สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบฐานข้อมูลคุณสมบัติทางความร้อนและการเก็บรักษาผักและผลไม้ในประเทศไทย

Database for Thermal Properties and Storage Condition of Thai Fruits and Vegetables

T 0 3 6 7 2 3

โดย

นางสาวจตุพร คอนเจดีย์

นายทรงกรด จันทร์สวาท

นางสาวนฤมล อินทรผล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....36723.....
วัน, เดือน, ปี.....28 ส.ค. 2543

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบฐานข้อมูลคุณสมบัติทางความร้อนและการเก็บรักษาผักและผลไม้ในประเทศไทย

ผู้จัดทำ

นางสาวจตุพร คอนเจดีย์

นายทรงกรด จันทร์สวาท

นางสาวนฤมล อินทรผล

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานข้อมูลคุณสมบัติทางความร้อนและการเก็บรักษาผักและผลไม้ในประเทศไทย

นางสาว จตุพร ดอนเจดีย์
นาย ทรงกรด จันทร์สวาท
นางสาว นฤมล อินทรผล

ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาและคุณสมบัติทางความร้อนเป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับผักผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวและกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้คือการรวบรวมและสร้างฐานข้อมูลสำหรับผักและผลไม้ในประเทศไทย ประกอบด้วยสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา อัตราการหายใจ ส่วนประกอบทางเคมี และได้รวบรวมสมการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ การแพร่กระจายความร้อน และความหนาแน่นจากเอกสารอ้างอิง ฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นมาสามารถแสดงรูปภาพ ข้อมูลเกี่ยวข้องกับผักผลไม้ และคำนวณค่าคุณสมบัติต่างๆที่ทำนายได้จากความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบและอุณหภูมิที่ผู้ใช้กำหนด

จากการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วย Line Heat Source Probe วัดค่าความร้อนจำเพาะด้วยวิธี Vacuum Bottle Calorimeter และความหนาแน่นของผักและผลไม้รวม 18 ชนิด ที่มีค่าความชื้นระหว่าง 59.8 – 96.23% พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากการทดลองใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสมการของ Comini et.al. (1974) ซึ่งทำนายจากปริมาณน้ำของผักผลไม้และอุณหภูมิ โดยมีความแตกต่างเฉลี่ย 12.11% ค่าความหนาแน่นจากการทดลองมีค่าแตกต่างเฉลี่ยจากค่าที่ทำนายได้จากสมการของ Choi และ Okos (1983) 9.15% ค่าความร้อนจำเพาะมีค่าความแตกต่างจากสมการทำนายเฉลี่ย 38.93 – 53.56%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Database for Thermal Properties and Storage Condition of Thai Fruits and Vegetables

Jatuporn Donjaydee

Songkrod Jansawat

Narumon Intaraphol

Dr. Pimpen Pornchaluempong Adviser

Abstract

Good knowledge of storage conditions and thermophysical characteristics of fruits and vegetables are necessary information for post harvest treatment and heat-related process. The purpose of this work is to build a reliable and easy to use database for Thai fruits and vegetables. Storage condition , respiration rate , chemical composition and predicting equations for thermal conductivity , specific heat , thermal diffusivity and density were compiled from literature. The database shows picture , related storage information and calculate predicted properties of each commodity.

Eighteen varieties of fruits and vegetables were experimentally evaluated for thermal conductivity (using Line Heat Source Probe) , specific heat (using Vacuum Bottle Calorimeter) and density. The samples had moisture content ranging from 59.8-96% .The Comini et.al.(1974) and Coli and Okos (1983) equations was useful to estimate thermal conductivity, and density because they more closely represented the actually determined values with the average different of 12.11 and 9.15% respectively. The experimental and predicted specific heat value had average different between 38-53.56% .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

สารบัญ	ก
สารบัญรูปภาพ	ข
สารบัญตาราง	ค
บทที่ 1 บทนำและจุดประสงค์ของโครงงาน	1
1.1 บทนำ	
1.2 วัตถุประสงค์	
บทที่ 2 ทฤษฎี	2
2.1 ความร้อนจำเพาะ	
2.2 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	
2.3 สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายความร้อน	
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาผักและผลไม้	
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการทดลอง	13
3.1 ฐานข้อมูลผักผลไม้ไทย	
3.2 วิธีการทดลอง	
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	26
บทที่ 5 บทสรุป	35
ภาคผนวก	36
ภาคผนวก ก.	37
ภาคผนวก ข.	38
ภาคผนวก ค.	39
ภาคผนวก ง.	40
ภาคผนวก จ.	41
ภาคผนวก ฉ.	45
ภาคผนวก ช.	46
ภาคผนวก ซ.	48
กิตติกรรมประกาศ	51
หนังสืออ้างอิง	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง

ตารางที่ 3.1แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลของส่วนประกอบผักผลไม้ 13

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลของการเก็บรักษาผักผลไม้ 16

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลของการหายใจของผักผลไม้ 17

ตารางที่ 3.4 แสดงอัตราการหายใจของผักและผลไม้ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ 18

ตารางที่ 4.1 ตารางส่วนประกอบของผักและผลไม้ที่ใช้ในการทดลอง 26

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองค่าคุณสมบัติต่างๆ 29

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธ์การนำความร้อนของผักและผลไม้ที่ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ 30

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธ์การนำความร้อนของผักและผลไม้ที่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและอุณหภูมิ 31

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความร้อนจำเพาะของผักและผลไม้กับสมการที่ขึ้นกับปริมาณน้ำ 32

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความร้อนจำเพาะของผักและผลไม้กับสมการที่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและอุณหภูมิ 33

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผักและผลไม้ 34

ตารางภาคผนวก ก. ตารางตัวอย่างแสดงการเก็บรักษาผักผลไม้ชนิดต่างๆ 37

ตารางภาคผนวก ข. ตารางแสดงอัตราการหายใจของผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่างๆ 38

ตารางภาคผนวก ค. ผลการทดลองหาค่าความร้อนจำเพาะ 39

ตารางภาคผนวก ง. ผลการทดลองหาค่าความจุความร้อนของแคลอรี่มิเตอร์ 40

ตารางภาคผนวก จ. ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของผักและผลไม้ 41

ตารางภาคผนวก ฉ. ผลการทดลองหาค่า pH ของผักและผลไม้ 45

ตารางภาคผนวก ช. ผลการทดลองหาค่าความชื้นของผักและผลไม้ 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ

รูปที่ 2.1 เครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์การนำความร้อนขณะที่อยู่ในสภาวะไม่คงที่ 7
รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของ Line Heat Source Thermal Conductivity Probe 9
รูปที่ 2.3 แสดงการเขียนกราฟในการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 9
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างแสดงกราฟอัตราการหายใจและสมการการหายใจของสับประรด 17
รูปที่ 3.2 หน้าจอแสดงฐานข้อมูลส่วนคุณสมบัติทางความร้อนของผักและผลไม้ 21
รูปที่ 3.3 หน้าจอแสดงฐานข้อมูลส่วนการเก็บรักษาของผักและผลไม้ 21
รูปที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์หาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 22
รูปที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์หาค่าความร้อนจำเพาะ 25
รูปที่ ซ.1 ตัวอย่างผลไม้ที่นำมาทดลอง 48
รูปที่ ซ.2 แสดงการหาปริมาณน้ำของผักและผลไม้ 49
รูปที่ ซ.3 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผักและผลไม้ 49
รูปที่ ซ.4 แสดงการหาค่าความหนาแน่นของผักและผลไม้ 50
รูปที่ ซ.5 แสดงการหาค่าความร้อนจำเพาะของผักและผลไม้ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำและวัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.1 บทนำ

ประเทศไทยมีศักยภาพสูงในการผลิตผักผลไม้ เนื่องจากความเหมาะสมของสภาพดินฟ้าอากาศ ความหลากหลายของชนิดและพันธุ์ ตลอดจนรสชาติและคุณภาพที่โดดเด่น ผักผลไม้ของประเทศไทย ผลิตทั้งเพื่อบริโภคสด และเพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายรูปแบบ เช่น บรรจุกระป๋อง แช่แข็ง อบแห้ง ทั้งเพื่อจำหน่ายตลาดภายในประเทศและเพื่อการส่งออก การแข่งขันทางการตลาดที่รุนแรง มีผลให้ต้องมีการพัฒนาคุณภาพผักผลไม้และผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค พัฒนากรรมวิธีการผลิตเพื่อลดการสูญเสีย ประหยัดพลังงาน พัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ และภาชนะบรรจุใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง

ปัญหาที่ผู้วิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์ เกี่ยวข้องกับผักผลไม้ทั้งสดและแปรรูปในประเทศไทย มักประสบคือ ขาดข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็น เช่น สภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม อัตราการหายใจ ตลอดจนคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางความร้อน ข้อมูลดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เพื่อออกแบบกระบวนการผลิต ภาชนะบรรจุ กำหนดขนาดเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ข้อมูลที่พบในหนังสือและวารสารส่วนมากเป็นข้อมูลของผักผลไม้ต่างประเทศ ถึงแม้จะมีการวิจัยวิเคราะห์ข้อมูลของผักผลไม้ในประเทศไทย แต่ก็ไม่มีผู้รวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลที่สำคัญเพื่อสะดวกในการนำมาใช้

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1.รวบรวมวิธีการเก็บรักษา อัตราการหายใจ และส่วนประกอบของผักผลไม้รวมทั้งสมการที่ใช้ในการทำนายคุณสมบัติทางความร้อนของผักผลไม้

2.จัดทำฐานข้อมูลเพื่อแสดงผลข้อมูลที่รวบรวมได้

3.ทำการทดลองวัดค่า คุณสมบัติทางความร้อนของผักผลไม้ ความร้อนจำเพาะ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน การแพร่กระจายของความร้อนและความหนาแน่น ทำการเปรียบเทียบค่าดังกล่าวกับสมการที่ทำนายได้จากส่วนประกอบของผักผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎี

สมบัติทางความร้อน ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) การแพร่กระจายของความร้อน (Thermal Diffusivity) และความหนาแน่น (Density) เป็น คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนทั้งกระบวนการความร้อนและความเย็นใช้คำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องเพิ่มหรือลดในกระบวนการแปรรูป ใช้คำนวณหาขนาดของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตของเครื่องทำความเย็นเพื่อใช้ในการเก็บรักษาผักผลไม้ นอกจากนี้ยังใช้คำนวณอัตราเร็วของการถ่ายเทความร้อนเพื่อกำหนดเวลาที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป การแปรรูปของผักผลไม้มีปริมาณเพิ่มขึ้น เช่น กระบวนการแปรรูปผักและผลไม้กระป๋อง ทำให้สมบัติเชิงความร้อนของผักผลไม้จำเป็นมากขึ้นตามไปด้วย โดยใช้การแปรรูปผักผลไม้เพื่อควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ กำหนดขนาดเครื่องจักรและควบคุมกระบวนการผลิตให้แม่นยำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอยิ่งขึ้น

2.1ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat,C_p)

ความร้อนจำเพาะ คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุที่มีมวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหนึ่งองศาเซลเซียส สัญลักษณ์คือ C_p หน่วยของความร้อนจำเพาะคือ $J/kg^{\circ}C$

จากสมการ

$$Q = mc_p\Delta T \qquad \text{---------(1)}$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อน (J)

m = มวลของวัสดุ (kg)

ΔT= อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ($^{\circ}C$)

2.1.1สมการความสัมพันธ์สำหรับความร้อนจำเพาะเหนือจุดเยือกแข็ง

1) ความร้อนจำเพาะของอาหารที่ขึ้นกับปริมาณน้ำ

Seibel (1892) ได้ทดลองวัดค่าความร้อนจำเพาะของอาหารหลายชนิด เช่น ไข่ เนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้ และได้เสนอว่าความร้อนจำเพาะของอาหารใดๆ สามารถหาได้จากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร

สมการต้นแบบที่ใช้ทำนายความร้อนจำเพาะคือ

$$C_p = X + YW \qquad \text{--------(2)}$$

X,Y = ค่าคงที่

W = ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร (% มาตราฐานเปียก)

$C_p = (0.837+3.349W)*1000$ (Seibel ,1892) ------(3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาได้มีผู้เสนอสมการเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและค่าความร้อนจำเพาะอีกหลายสมการ ความแตกต่างของสมการขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและเทคนิคที่ใช้วัดค่า

$C_p = (1.200+2.990W)*1000$ (Backstrom และ Emblik ,1965) ---------(4)

$C_p = (1.256+2.391W)*1000$ (Comini et al., 1974) ---------(5)

$C_p = (1.381+2.930W)*1000$ (Fikin , 1974) ---------(6)

$C_p = (1.382+2.805W)*1000$ (Dominguez et al.,1974) ---------(7)

$C_p = (1.400+3.220W)*1000$ (Sharma และ Thompson,1973) ---------(8)

$C_p = (1.470+2.720W)*1000$ (Lamb ,1976) ---------(9)

$C_p = (1.672+2.508W)*1000$ (Reidel ,1956) -------(10)

2) ความร้อนจำเพาะของอาหารที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของอาหาร

ในกรณีของอาหารที่มีปริมาณน้ำต่ำ การใช้สมการที่อาศัยแค่ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำและความร้อนจำเพาะไม่เพียงพอและเกิดการผิดพลาดมาก จึงมีผู้เสนอสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$C_p = (1.424C+1.549P+1.675F+0.837A+4.187W)*1000$ (Heldman และ Singh ,1981) -------(11)

$C_p=(1.547C+1.711P+1.928F+0.908A+4.180W)*1000$ (Choi และ Okos,1983) --------(12)

W,F,C,P,A เป็นปริมาณน้ำ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เถ้า ที่เป็นส่วนประกอบของอาหาร

3) ความร้อนจำเพาะของอาหารที่แปรเปลี่ยนไปตามส่วนประกอบและอุณหภูมิ

ความร้อนจำเพาะของอาหารเหนือจุดเยือกแข็งเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

Fernandez Martin and Montes(1972) ได้เสนอความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความร้อนจำเพาะของอาหาร โดยขึ้นอยู่กับปริมาณ ความชื้นของอาหาร

$C_p=[(1.370+0.0113T)+(1-W)]*1000+4190W$ -------(13)

W = ความชื้นของอาหาร

T = อุณหภูมิ

Choi และ Okos (1983) ได้เสนอสมการความร้อนจำเพาะสำหรับส่วนประกอบในอาหารที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และส่วนประกอบโดย

โปรตีน $C_{pro}=2.0082+1.2089*10^{-3}T-1.3129*10^{-6}T^2$ -------(14)

ไขมัน $C_f=1.9842+1.4733*10^{-3}T-4.8008*10^{-6}T^2$ -------(15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์โบไฮเดรต $C_c = 1.5488+1.9625*10^{-3}T-5.9399*10^{-6}T^2$ -------(16)

ไฟเบอร์ $C_{fi} = 1.8459+1.9306*10^{-3}T-4.6509*10^{-6}T^2$ -------(17)

ขี้เถ้า $C_a = 1.0926+1.8896*10^{-3}T-3.6817*10^{-6}T^2$ -------(18)

น้ำ $C_w = 4.1762-9.9862*10^{-3}T+5.4731*10^{-6}T^2$ -------(19)

ค่าความร้อนจำเพาะของอาหารคำนวนได้จาก

$$C_{avg} = P(C_{pro})+F(C_f)+C(C_c)+Fi(C_{fi})+A(C_a)+W(C_w) \quad \text{-------(20)}$$

W,F,C,P,A,Fi เป็นปริมาณน้ำ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เถ้า ไฟเบอร์ที่เป็นส่วนประกอบของอาหาร ตามลำดับ

2.1.2 สมการความสัมพันธ์สำหรับความร้อนจำเพาะ ของอาหารที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

Seibel(1892) ได้เสนอสมการดังนี้

$C_p = (0.837+1.256W)*1000$ -------(21)

2.1.3 วิธีการทดลองหาค่าความร้อนจำเพาะ

วิธีการทดลองหาค่าความร้อนจำเพาะมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีอยู่ 2 วิธีคือวิธีแรก คือ Differential scanning calorimeter technique (DSC) ซึ่งนิยมใช้ในการวัดค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์อาหาร ที่มีความแตกต่างของปริมาณความชื้นและอุณหภูมิในช่วงกว้าง สามารถให้ความถูกต้องในการวัดสูง วัดง่ายและใช้ตัวอย่างปริมาณสูง แต่มีข้อเสียคือราคาสูง ความแตกต่างของความร้อนที่ต้องการสำหรับตัวอย่างเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่น แล้วทำการวัดและบันทึกผล Sweat(1985) ได้อธิบายการวัดค่าความร้อนจำเพาะด้วยวิธี DSC ไว้อย่างละเอียด

อีกวิธีหนึ่งที่ใช้วัดค่าความร้อนจำเพาะคือวิธี Vacuum Bottle Calorimeter วิธีนี้ใช้หลักการสมดุลพลังงาน โดยใส่อาหารและน้ำที่ทราบอุณหภูมิเริ่มต้นและน้ำหนักที่แน่นอนลงในขวดแก้วสูญญากาศ ซึ่งมีสมมติฐานว่าไม่มีการสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอกระบบ ปริมาณความร้อนที่ตัวอย่างได้รับคือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทมาจากน้ำ แคลอรีมิเตอร์
โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าได้แก่

[(C_pของแคลอรีมิเตอร์*น้ำหนักของแคลอรีมิเตอร์*ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นกับอุณหภูมิที่สมดุลย์)+(C_pของตัวอย่าง*น้ำหนักตัวอย่าง*ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นกับอุณหภูมิที่สมดุลย์)] = (C_pของน้ำ*น้ำหนักทั้งหมด*ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นกับอุณหภูมิที่สมดุลย์)

ข้อดีคือเครื่องมือที่ใช้ง่ายและประหยัด ความผิดพลาดของวิธีนี้คือสภาวะสมดุลย์สุดท้ายของขวดแก้วสูญญากาศและตัวอย่างอาจจะไม่อยู่ที่จุดเดียวกันเนื่องจากการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการนำความร้อน

2.2 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity,k)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนเป็นค่าที่บอกความสามารถในการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับโครงสร้าง องค์ประกอบ ชนิดของวัสดุและอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามก็ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ รูปร่าง ความพรุน ความเป็นเนื้อเดียวกัน และความดัน การถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อนผ่านวัตถุที่เป็นของแข็งรูปทรงเรขาคณิตแสดงได้ด้วยสมการ

$$Q = kA\Delta T/\Delta x \quad \text{---------- (22)}$$

Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

A = พื้นที่หน้าตัดวัตถุ (m^2)

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m.^{\circ}C$)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิเริ่มต้น กับอุณหภูมิสุดท้าย ($^{\circ}C$)

Δx = ระยะทางในการนำความร้อน (m)

2.2.1 สมการความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

1.<u>สัมประสิทธิ์การนำความร้อนขึ้นกับปริมาณน้ำ</u>

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหารมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความชื้นของอาหารในอาหารรูปแบบความสัมพันธ์

$$k = X + YW \quad \text{---------- (23)}$$

ซึ่งใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหารและหาค่าความร้อนจำเพาะ

โดยที่ X,Y = ค่าคงที่

W = ปริมาณน้ำ (% มาตราฐานเปียก)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาณน้ำของอาหารหลายสมการ

ความแตกต่างของสมการขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและเทคนิคของนักวิจัย

$k = (0.26 + 0.34W)$ (Backstrom และ Emblik , 1965) ---------- (24)

$k = (0.056 + 0.567W)$ (Bowman, 1970a) ---------- (25)

$k = (0.081 + 0.568W)$ (Bowman, 1970b) ---------- (26)

$k = (0.26 + 0.33W)$ (Comini, 1974) ---------- (27)

$k = (0.564 + 0.08585W)$ สำหรับฟางข้าว (Sharma และ Thompson , 1973) ----------(28)

$k = (0.140 + 0.42W)$ สำหรับน้ำผลไม้ (Kolarov และ Gromov , 1973) ---------- (29)

$k = (0.148 + 0.493W)$ สำหรับผักและผลไม้ (Sweat, 1975) ---------- (30)

2) <u>สัมประสิทธิ์การนำความร้อนขึ้นกับสัดส่วนขององค์ประกอบของอาหาร</u>

$k = (0.6W + 0.2P - 0.245C + 0.18W)$ (Dominguez et.al., 1974) ---------- (31)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$k = (0.61W + 0.2P - 0.205C + 0.175F + 0.135A)$ (Choi และ Okos, 1983) ----------(32)

โดย F = เศษส่วนโมลของไขมัน

S = เศษส่วนโมลของของแข็ง

C = เศษส่วนโมลของคาร์โบไฮเดรต

P = เศษส่วนโมลของโปรตีน

A = เศษส่วนโมลของเถ้า

3) <u>สัมประสิทธิ์การนำความร้อนในอาหารขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของอาหารและอุณหภูมิ</u>

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหารมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของส่วนประกอบในอาหาร โดย Choi และ Okos (1987) ได้ให้สมการสำหรับคำนวณหาค่าการนำความร้อนไว้ดังนี้ โดยใช้สมการดังนี้

$$k = \sum(k_i X_{vi}) \quad \text{---------- (33)}$$

โดย k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน , W/m.°C

k_i = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของส่วนประกอบในอาหาร ,W/m.°C

X_{iv} = เศษส่วนเชิงปริมาตรของส่วนประกอบในอาหาร

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของส่วนประกอบในอาหารได้แก่

$$k_w = 0.5711+1.7625*10^{-3}T-6.7306*10^{-6}T^2 \quad \text{---------- (34)}$$

$$k_{ic} = 2.2196-6.2489*10^{-3}T+1.0154*10^{-4}T^2 \quad \text{---------- (35)}$$

$$k_p = 0.1788+1.1958*10^{-3}T-2.7178*10^{-6}T^2 \quad \text{---------- (36)}$$

$$k_f = 0.1807-2.7604*10^{-3}T-1.7749*10^{-7}T^2 \quad \text{---------- (37)}$$

$$k_c = 0.2014+1.3874*10^{-3}T-4.3312*10^{-6}T^2 \quad \text{---------- (38)}$$

$$k_{fi} = 0.1833+1.2497*10^{-3}T-3.1683*10^{-6}T^2 \quad \text{---------- (39)}$$

$$k_a = 0.3296+1.401*10^{-3}T-2.9069*10^{-6}T^2 \quad \text{---------- (40)}$$

โดย k_w = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำในอาหาร , W/m.°C

k_{ic} = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำแข็งในอาหาร ,W/m.°C

k_p = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของโปรตีนในอาหาร

k_c = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคาร์โบไฮเดรตในอาหาร

k_f = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของไขมันในอาหาร

k_{fi} = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของไฟเบอร์ในอาหาร

k_a = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของขี้เถ้าในอาหาร

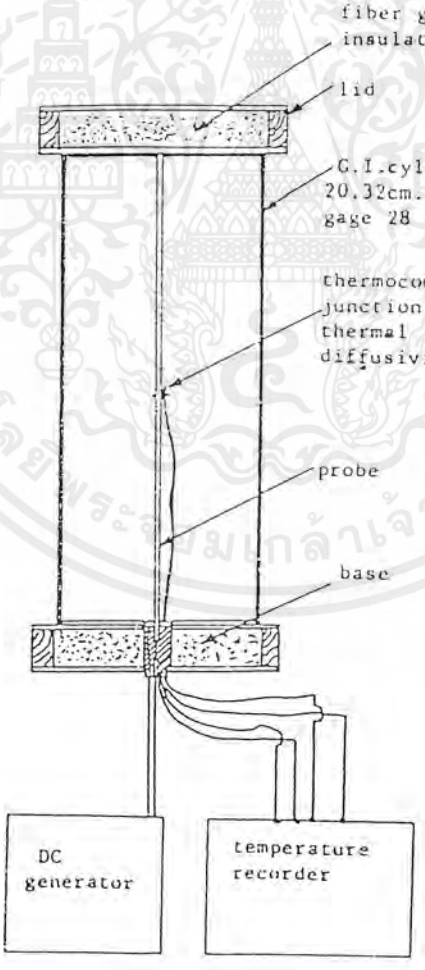
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

การหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

1. การหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุในขณะที่อยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่าย โดยให้ความร้อนผ่านวัสดุที่ต้องการ วัดปริมาณความร้อนที่ใช้และอุณหภูมิที่แตกต่างของผิวหน้าสัมผัสทั้งสองที่ความร้อนไหลผ่าน แล้วนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ข้อจำกัดของวิธีนี้คือให้ความร้อนไหลผ่านวัสดุจะต้องใช้เวลานานพอสมควรเพื่อให้เกิดสภาวะคงที่จึงจะวัดอุณหภูมิได้ ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่เหมาะในการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่เป็นของแข็งที่มีปริมาณความชื้นสูง เพราะทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ง่ายเนื่องจากผลกระทบของการเคลื่อนย้ายความชื้นในวัสดุ

เครื่องมือการวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแบบสภาวะคงที่ แสดงในรูป 2.1



รูปที่ 2.1 เครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์การนำความร้อนขณะที่อยู่ในสภาวะไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุในขณะที่อยู่ในสภาวะไม่คงที่ (Unsteady state)

เป็นวิธีการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในขณะช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งที่ให้ความร้อนไหลผ่านวัสดุ ซึ่งใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าแบบสภาวะคงที่มาก

วิธีการที่นิยมใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแบบไม่คงที่ คือ Line Heat Source Thermal Conductivity Probe วิธีการนี้เสนอโดย van der Held และ van Drunen(1950) และได้มีการพัฒนาอย่างกว้างขวาง เป็นวิธีการที่ง่ายรวดเร็วและต้องการตัวอย่างน้อย

รูปที่ 2.2 แสดง Line Heat Source Thermal Conductivity Probe: เป็นเข็มยาวภายในกลวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก ภายในเข็มมีเส้นลวดให้ความร้อนซึ่งหุ้มฉนวนตลอดเส้นและเทอร์โมคอปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ การวัดจะเสียบ เข็มวัดเข้าไปในอาหารตัวอย่าง เปิดสวิตช์ปล่อยความร้อนให้กับเส้นลวดอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง บันทึกอุณหภูมิและเขียนกราฟระหว่างค่า ln ของเวลาและอุณหภูมิ จะได้กราฟเส้นตรงดังแสดงในภาพ 2.3

$$k = Q\frac{\left[\ln\dfrac{(t_2 - t_0)}{(t_1 - t_0)}\right]}{\left[4\pi(T_2 - T_1)\right]} \qquad \text{--------(40)}$$

โดย k = ค่าการนำความร้อนของวัสดุ ,W/m°C

Q = ปริมาณความร้อนที่จ่ายให้เส้นลวดความร้อน ,W/m

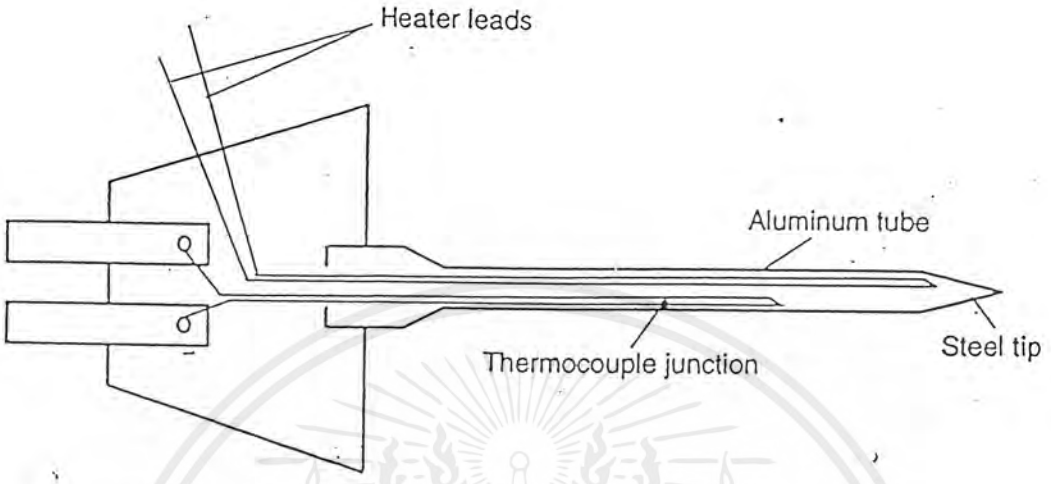
t_1, t_2 = เวลาตั้งแต่เปิดสวิตช์จ่ายกระแสไฟฟ้า ,s

t_0 = ค่าแก้ความคลาดเคลื่อนของเวลา

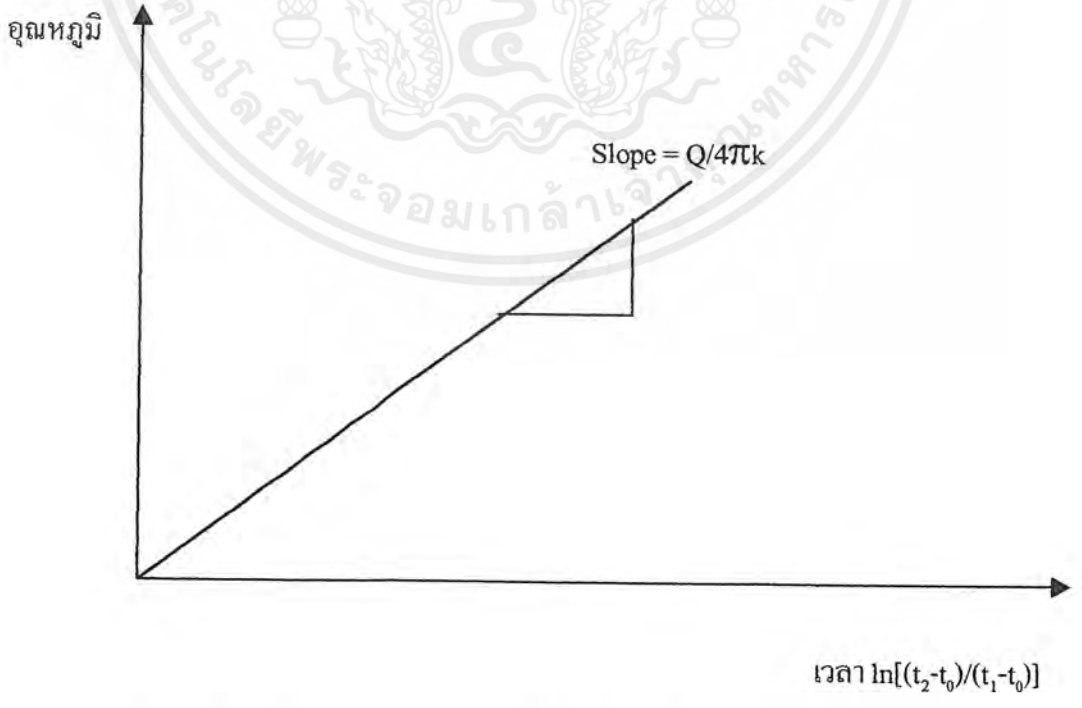
T_1 = อุณหภูมิที่อ่านได้ด้วยเทอร์โมคอปเปิลที่เวลา t_1 ,°C

T_2 = อุณหภูมิที่อ่านได้ด้วยเทอร์โมคอปเปิลที่เวลา t_2 ,°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.2 แสดงส่วนประกอบของ Line Heat Source Thermal Conductivity Probe



รูปที่ 2.3 แสดงการเขียนกราฟในการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของความร้อน (Thermal Diffusivity, α)

สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของความร้อนเป็นคุณสมบัติทางความร้อนหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความร้อนจำเพาะและความหนาแน่น ดังสมการ

$$\alpha = k / \rho C_p$$

Riedel (1969) ได้พัฒนาวิธีการที่ใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของความร้อนของอาหารที่มีช่วงกว้างโดยอาศัยความชื้นของอาหาร สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของความร้อนได้จากความสัมพันธ์ของ Riedel

$$\alpha = 0.088*10^{-6} + (\alpha_w - 0.088*10^{-6})\ W$$

โดยที่ α = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายความร้อนของวัตถุ , m^2/s

α_w = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายความร้อนของน้ำ, m^2/s $= 1.3339*10^{-7}\ m^2/s$

W = ปริมาณน้ำ(%มาตราฐานเปียก)

สมการนี้สามารถใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของความร้อนของอาหารได้ แต่มีข้อจำกัดคือใช้ได้กับอาหารที่มีปริมาณน้ำมากกว่า 40 % โดยมวล

Martents (1980) ทำการศึกษาผลกระทบจากน้ำ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และอุณหภูมิ ในสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของความร้อนของอาหารและพบว่า อุณหภูมิและปริมาณน้ำเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของความร้อน ตามความสัมพันธ์

$$\alpha = [0.057363W + 0.000288(T + 273)] * 10^{-6}$$

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาผักและผลไม้สด

2.4.1 อัตราการหายใจของผักและผลไม้สด

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพที่เกิดขึ้นกับผักและผลไม้สดหลังการเก็บเกี่ยว สืบเนื่องมาจากการหายใจของผลิตผล ผลจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีนี้ ทำให้ผลิตผลเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพ การเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นอยู่กับอายุในการเก็บรักษา ความแก่ของผลิตผล การปฏิบัติต่อผลิตผล และการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลนั้น เกี่ยวข้องกับอัตราการหายใจดังนี้

1. <u>ปัจจัยภายใน</u> (internal factors) ได้แก่

-ระยะการพัฒนาของผลิตผล อัตราการหายใจจะต่ำสุดเมื่อผลแก่และจะคงที่จนกว่าจะเก็บเกี่ยว อัตราการหายใจก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงผลสุก หลังจากนั้นก็จะลดลงอย่างช้าๆ

-ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อเยื่อผักและผลไม้ชนิดต่างๆ

-ขนาดของผักและผลไม้ผลเล็กจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าเพราะพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสอากาศมากกว่าฉะนั้นทำให้ออกซิเจนแพร่กระจายเข้าได้มากกว่า

-เปลือกหุ้มผลิตผลตามธรรมชาติ เป็นตัวช่วยลดอัตราการหายใจ

เอกสารนี้เป็น... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ชนิดของเนื้อเยื่อ ในเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่จะมีอัตราการหายใจสูงกว่าเนื้อเยื่อที่กำลังพักตัว

2. ปัจจัยภายนอก (external factors) ได้แก่

-อุณหภูมิ อุณหภูมิระหว่าง 32-95 องศาฟาเรนไฮท์ อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้น2-2.5 เท่าทุกๆ 18 องศาฟาเรนไฮท์ ถ้าสูงกว่าอัตราการหายใจจะลดลงเนื่องมาจาก ออกซิเจนไม่สามารถแพร่กระจายเข้าในเซลล์พืชได้เร็วเท่ากับอัตราการหายใจ เกิดการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์จนเกิดการยับยั้งเมตาโบลิซึม และอาหารสะสมที่ใช้ในการหายใจไม่พอเพียงกับอัตราการหายใจ

-เอทิลีน พบว่าความเข้มข้นของเอทิลีนที่เพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับจุดวิกฤตจะทำให้อัตราการหายใจเร็วขึ้น

-ออกซิเจนที่พืชใช้ ถ้ามีการเพิ่มออกซิเจนในบรรยากาศจะทำให้การหายใจของพืชเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนเพิ่มมากกว่า 20% จะมีผลทำให้การหายใจน้อยลง และถ้าปรับออกซิเจนให้มีความเข้มข้นน้อยกว่าบรรยากาศ จะชะลอการสุก

-คาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นในปริมาณที่เหมาะสมจะยืดอายุการเก็บเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จะยับยั้งการหายใจ

2.4.2 การเก็บรักษาผักและผลไม้สด

การเก็บรักษาเป็นการปรับปัจจัยต่างๆของผลิตผลเพื่อให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันก็ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลออกไปให้นานที่สุด โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

-อุณหภูมิสำหรับผักและผลไม้แต่ละชนิด อุณหภูมิในการเก็บรักษาสำหรับผักและผลไม้แตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของผักและผลไม้ว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากเขตใด ความแปรปรวนของอุณหภูมิภายในห้องเก็บรักษาเพียง2-3องศาฟาเรนไฮท์ สูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการเน่าและสุกได้ นอกจากนี้ถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมมาก จะเกิดการรวมตัวของไอน้ำ และเกาะอยู่บนผิวของผักและผลไม้ ทำให้ผักและผลไม้เกิดการหดตัวเสียคุณภาพและมีการเก็บรักษาสั้นลง

การเก็บรักษาผลิตผลทุกชนิดจึงควรเก็บรักษาไว้ในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่จะไม่เกิดอันตรายหรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ตารางภาคผนวก ก. แสดงถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผักและผลไม้ชนิดต่างๆ พร้อมทั้งอายุการเก็บรักษา ผักและผลไม้ในเขตร้อนมักมีอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงกว่าผักและผลไม้ในเขตกึ่งร้อนและเขตหนาว อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ต่ำเกินไปอาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับผลิตผลได้

-ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นของห้องที่ใช้ในการเก็บรักษามีความสำคัญต่อคุณภาพผักและผลไม้จะทำให้ผลิตผลผักและผลไม้เกิดการสูญเสียน้ำในสภาพความชื้นต่ำ โดยทั่วไปห้องเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรมีความชื้นสูง ผักและผลไม้ที่นำไปเก็บรักษาจะคายน้ำน้อยและสดอยู่เสมอ การที่ห้องเก็บรักษามีความชื้นสูงจะมีข้อเสียคือ ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ดี ทำให้ผักและผลไม้เกิดการเน่าเสีย

-<u>เอทิลีน</u> จัดเป็นสารอินทรีย์ที่มีสถานะเป็นแก๊ส ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย จัดเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน มีสูตรทางเคมีคือ $CH_2=CH_2$ พืชและจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถผลิตแก๊สเอทิลีนได้ โดยทั่วไปเอทิลีนจะไปเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืชหรือส่วนของพืช ทั้งนี้เพราะเอทิลีนสามารถกระตุ้นเนื้อเยื่อทุกชนิดให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้นได้ สามารถกระตุ้นให้เกิดการหลุดร่วงของใบ ส่วนในผลไม้เอทิลีนกระตุ้นให้เกิดการสุกได้เร็วขึ้น รวมถึงการเกิดสีน้ำตาลบนผัก เป็นสาเหตุให้ผลิตผลมีรสขม ทำให้อายุในการเก็บรักษาผลิตผลลดลง จึงควรหลีกเลี่ยงการเก็บผสมระหว่างผลิตผลที่ผลิตเอทิลีนกับผลิตผลที่ว่องไวต่อปฏิกริยาของเอทิลีน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตและการทำงานของเอทิลีน

1.ชนิดหรือพันธุ์ อัตราการผลิตเอทิลีนในพืชต่างชนิดนั้นแตกต่างกันไป แม้กระทั่งในพืชชนิดเดียวกัน

2.ด้วยอายุทางสรีระวิทยาเมื่อเก็บเกี่ยว จะมีการผลิตเอทิลีนสูงมากเมื่อสุก แต่จะผลิตในปริมาณที่ต่ำเมื่อยังอ่อนอยู่ การตอบสนองต่อเอทิลีนยังขึ้นอยู่กับอายุ

3.อุณหภูมิการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจาก 0-25 องศาเซลเซียสแต่ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่าจะทำให้การผลิต ตลอดจนการทำงานของเอทิลีนลดลง

4.ปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศ การลดปริมาณออกซิเจนลงจะยับยั้งหรือลดการผลิตเอทิลีนลง ความเข้มข้นของออกซิเจนที่เหมาะสมจึงขึ้นอยู่กับว่าต้องการให้เอทิลีนมีอิทธิพลมากน้อยเพียงไร

5.ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ การใช้ในปริมาณความเข้มข้นสูงเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการยืดอายุผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

6.ปริมาณเอทิลีนสามารถกระตุ้นให้ผลไม้ผลิตเอทิลีนในปริมาณที่สูงขึ้นได้หากให้เอทิลีนก่อนกระบวนการสุกจะเริ่มขึ้น ในการเก็บรักษาผลิตผลจึงต้องมีการกำจัดเอทิลีนออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและวิธีการทดลอง

3.1 ฐานข้อมูลผักผลไม้ไทย

3.1.1รวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย

3.1.1.1 ชนิดและส่วนประกอบของผักและผลไม้

ชนิดและส่วนประกอบของผักและผลไม้ แสดงชนิดและส่วนประกอบคือ ปริมาณน้ำ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และใยอาหาร นำมาจัดทำเป็นตารางดังในภาคผนวก ก แสดงส่วนประกอบของผักและผลไม้ ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลจาก รัชนี (2532) และตารางคุณค่าทางโภชนาการของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณะสุข

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลของส่วนประกอบผักผลไม้

สคมภ์ที่	หัวข้อ	ชนิดของข้อมูล	รายละเอียดของข้อมูล
1	ชื่อภาษาไทย	อักขระ	ชื่อภาษาอังกฤษของผักผลไม้
2	ชื่อภาษาอังกฤษ	อักขระ	ชื่อภาษาไทยของผักผลไม้
3	ชื่อวิทยาศาสตร์	อักขระ	ชื่อวิทยาศาสตร์ของผักและผลไม้
4	ปริมาณน้ำ (%)	ตัวเลข	เปอร์เซ็นต์น้ำที่มีอยู่ในผักผลไม้
5	ปริมาณไขมัน (%)	ตัวเลข	เปอร์เซ็นต์ไขมันที่มีอยู่ในผักผลไม้
6	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%)	ตัวเลข	เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในผักผลไม้
7	ปริมาณใยอาหาร (%)	ตัวเลข	เปอร์เซ็นต์ใยอาหารที่มีอยู่ในผักผลไม้
8	ปริมาณโปรตีน (%)	ตัวเลข	เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่มีอยู่ในผักผลไม้
9	รูปภาพ	OLE Object	รูปภาพของผักและผลไม้

3.1.1.2 สมการที่ใช้ในการทำนายคุณสมบัติทางความร้อน

3.1.1.2.1 การคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat : C_p)

ค่าความร้อนจำเพาะของอาหารเหนือจุดเยือกแข็ง

1. *สมการของ Siebel (1892)*

$$C_p = (0.837+3.349W)*1000$$

2. *สมการของ Comini et.al. (1974)*

$$C_p = (1.256+2.931W)*1000$$

3. *สมการของ Finkin (1974)*

$$C_p = (1.381+2.930W)*1000$$

4. *สมการของ* Lamb (1976)

$$C_p = (1.470+2.720W)*1000$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. *สมการของ* Reidel (1956)

$C_p = (1.672+2.508W)*1000$

6. *สมการของ Heldmand and Singh (1981)*

$C_p = (1.424C+1.549P+1.675F+0.837A+4.187W)*1000$

7. *สมการของ Choi and Okos (1983)*

$C_p = (1.547C+1.711P+1.928F+0.908A+4.180W)*1000$

8. *สมการของ Choi and Okos (1987) ขึ้นกับอุณหภูมิ*

โปรตีน $C_{pro} = 2.0082+1.2089*10^{-3}T-1.3129*10^{-6}T^2$

ไขมัน $C_f = 1.9842+1.4733*10^{-3}-4.8008*10^{-6}T^2$

คาร์โบไฮเดรต $C_c = 1.5488+1.9625*10^{-3}-5.9399*10^{-6}T^2$

ไฟเบอร์ $C_{fi} = 1.8459+1.9306*10^{-3}T-4.6509*10^{-6}T^2$

ขี้เถ้า $C_a = 1.0926+1.8896*10^{3}T-3.6817*10^{-6}T^2$

น้ำที่เหนือจุดเยือกแข็ง

$C_w = 4.1762-9.9862*10^{-3}T+5.4731*10^{-6}T^2$

$C_{avg} = P(C_{pro}) + F(C_f) + C(C_c) + Fi(C_{fi}) + A(C_a) + W(C_w)$

9. *ค่าความร้อนจำเพาะที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจากสมการของ Siebel(1892)*

$C_p = (0.837 +1.256W)*1000$

3.1.1.2.2การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity,k)

1. *สมการของBackstrom and Emblik (1965)*

$k = (0.26+0.34W)$

2. *สมการของBowman (1970)*

$k = (0.056+0.567W)$

3. *สมการของComini et al. (1974)*

$k = (0.26+0.33W)$

4.*สมการสำหรับผักและผลไม้ Sweat (1974)*

$k = (0.148+0.493W)$

5. *สมการของ Dominguez et al.(1974)*

$k = (0.6W+0.2P-0.245C+0.18F)$

6. *สมการของ Choi and Okos (1983)*

$k = (0.61W+0.2P-0.205C+0.175F+0.135A)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. *สมการของ Choi and Okos (1987)*

$$k = \sum(k_i X_{vi})$$

โดย k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน , W/m.°C

k_i = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของส่วนประกอบในอาหาร, W/m.°C

X_{vi} = เศษส่วนเชิงปริมาตรของส่วนประกอบในอาหาร

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของส่วนประกอบในอาหารได้แก่

$$k_w = 0.5711+1.7625*10^{-3}T-6.7306*10^{-6}T^2$$

$$k_{ic} = 2.2196-6.2489*10^{-3}T+1.0154*10^{-4}T^2$$

$$k_p = 0.1788+1.1958*10^{-3}T-2.7178*10^{-6}T^2$$

$$k_f = 0.1807-2.7604*10^{-3}T-1.7749*10^{-7}T^2$$

$$k_c = 0.2014+1.3874*10^{-3}T-4.3312*10^{6}T^2$$

$$k_{fi} = 0.1833+1.2497*10^{-3}T-3.1683*10^{-6}T^2$$

$$k_a = 0.3296+1.401*10^{-3}T-2.9069*10^{-6}T^2$$

คำนวณจากสมการที่เก็บรวบรวมมาทำนายสมบัติทางความร้อนของผักและผลไม้ ซึ่งจะใช้ข้อมูลของส่วนประกอบของผักผลไม้ที่เก็บรวมรวมได้ และข้อมูลของอุณหภูมิ มาแทนค่าลงในสมการเพื่อทำนายสมบัติทางความร้อนของผักและผลไม้

3.1.1.2.3 การคำนวณหาค่าความหนาแน่น

$$p = \sum(p_i X_{vi})$$

p = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน , kg/m^3

p_i = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของส่วนประกอบในอาหาร , kg/m^3

โดยที่

$$p_w = 997.18 + (0.0031439 * T) - (0.0037574 * T^2)$$

$$p_p = 1329.9 - (0.51814 * T)$$

$$p_f = 925.59 - (0.14757 * T)$$

$$p_c = 1599.1 - (0.31046 * T)$$

$$p_{fi} = 1311.5 + (0.36589 * T)$$

X_{vi} = เศษส่วนเชิงปริมาตรของส่วนประกอบในอาหาร

T = อุณหภูมิ(°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2.4 การคำนวณการแพร่ความร้อน

1. $\alpha = k/\rho Cp$

2. สมการของ Riedel(1969)

$$\alpha = 0.088*10^{-6} + (\alpha_w - 0.088*10^{-6})W$$

โดย α = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายความร้อนของวัตถุ , m^2/s

α_w = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของความร้อนของน้ำ, m^2/s

$= 1.3339*10^{-7} m^2/s$

W = เศษส่วนของปริมาณน้ำ

3. สมการของ Martents(1980)

$$\alpha = [0.057363*W + 0.000288(T + 273)]*10^{-6}$$

3.1.1.3 การเก็บรักษาผักและผลไม้

การเก็บรักษา ประกอบด้วย อายุในการเก็บรักษา อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษา อุณหภูมิจุดเยือกแข็ง เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพันธ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษา ปริมาณเอทิลีนที่ผลไม้ผลิต ความไวของการเก็บปฏิกิริยาต่อเอทิลีน

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลของการเก็บรักษาผักผลไม้

สดมภ์ที่	1	2	3	4	5	6	7
ชื่อ	Commodity	Maximum transit & Shelf life	Optimum transit temperature	Highest freezing point	%Relative humidity	Ethylene production rate	Sensitivity to ethylene action
ชนิดของข้อมูล	อักขระ	อักขระ	ตัวเลข	ตัวเลข	อักขระ	อักขระ	อักขระ
รายละเอียดของข้อมูล	ชื่อภาษาอังกฤษของผักผลไม้	อายุในการเก็บรักษาผักผลไม้	อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผักผลไม้	อุณหภูมิที่ยอมรับได้ในการเก็บรักษาผักผลไม้	เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของผักผลไม้	ปริมาณเอทิลีนที่มีอยู่ในผักผลไม้ แบ่งออกเป็น 5 ระดับ 1.VL(very low) 2.L(low) 3.M(Moderate) 4.H(high) 5.VH(very high)	ความไวของการเกิดปฏิกิริยาต่อเอทิลีนของผักผลไม้แบ่งออกเป็น 3ระดับ 1.L(low) 2.M(Moderate) 3.H(high)

3.1.1.4 อัตราการหายใจ (respiration rate) ของผักและผลไม้ชนิดต่างๆ รวบรวมจาก Robert (1986) ซึ่งเป็นข้อมูลช่วงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ กับช่วงอุณหภูมิหาค่าเฉลี่ยทั้งปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิ(ในภาคผนวก ข) จากการหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและอัตราการ

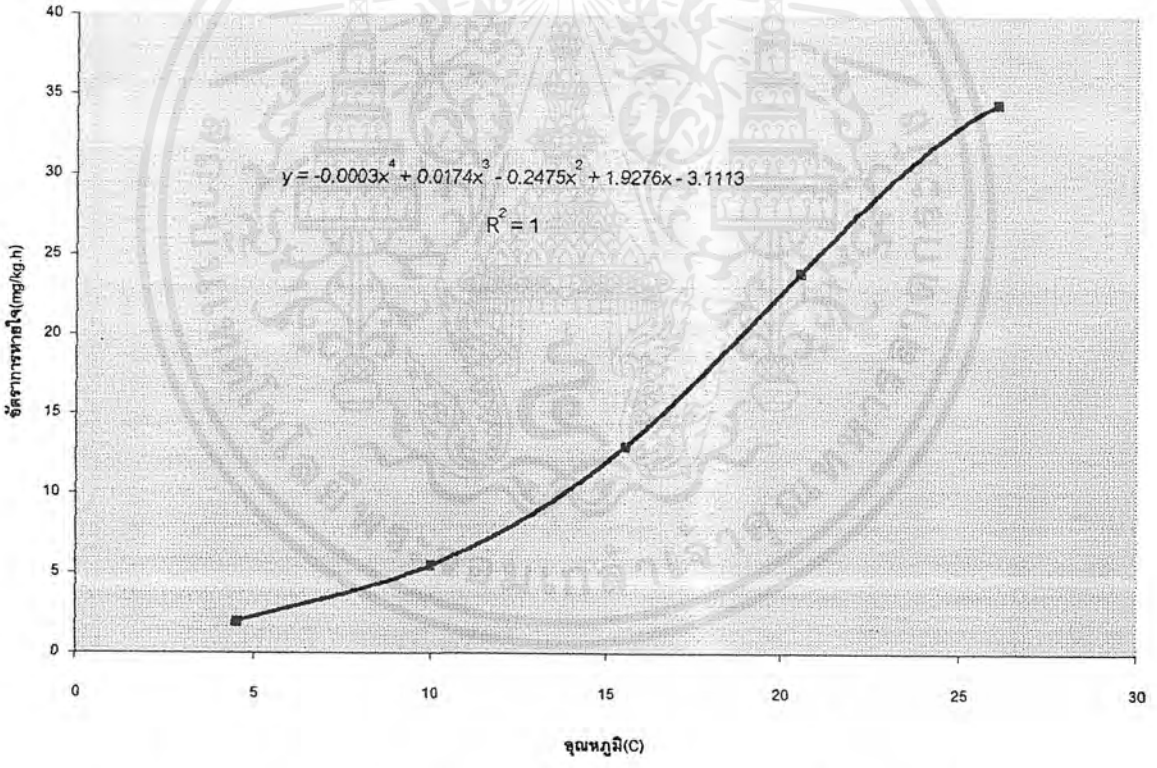
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หายใจ แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างข้อมูลของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย (mg/kg.h) กับอุณหภูมิเฉลี่ยดังรูปที่3.1 ได้สมการความสัมพันธ์ตารางที่3.4

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดฐานข้อมูลของการหายใจของผักผลไม้

สคมภ์ที่	1	2	3
ชื่อ	ผักและผลไม้	สมการการหายใจ	R-square
ชนิดของข้อมูล	อักขระ	ตัวเลข	ตัวเลข
รายละเอียดของข้อมูล	ชื่อภาษาไทยของผักและผลไม้	สมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการหายใจ	ความเที่ยงตรงของสมการการหายใจ



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างแสดงกราฟอัตราการหายใจและสมการการหายใจของสับประรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
36723

ตารางที่3.4 แสดงอัตราการหายใจของผักและผลไม้ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ

ผักและผลไม้	สมการการหายใจ	R^2
กระเจี๊ยบ,ผล (Okra)	$-0.0084x^4-0.4828x^3+8.828x^2+69.2x+117.21$	1
กระเทียม,หัว (Garlic)	$-0.0047x^4-0.1962x^3-2.5473x^2+10.583x+9$	1
กล้วยหอม,สุก (Banana)	$2.4x-15.2$	1
กระหล่ำดอก (Cauliflower)	$0.0023x^4 - 0.083x^3 + 0.9976x^2 - 2.1241x + 6$	1
กระหล่ำดอกอิตาเลียน (Brocoli)	$-0.0046x^4+0.0351x^3+0.1235x^2+2.0161x+20$	1
กระหล่ำปม (Kale rabi)	$-0.0058x^3+0.2234x^2+0.4453x+10$	1
กระหล่ำปลี (Cabbage)	$-0.00003x^5 + 0.0016x^4 - 0.0336x^3 + 0.2821x^2+0.4277x+5.3$	0.9973
แครอท (Carrot)	$-0.0032x^4 + 0.1281x^3 - 1.4205x^2 + 6.6453x +26.5$	1
แตงกวา (Cucumber)	$0.0032x^3-0.145x^2+2.544x+11.809$	1
บีท (Beet)	$0.0046x^3-0.0815x^2+1.0504x+6$	1
ผักกาดสลัด,ชนิดไม่เป็นหัว (Luttuce,head)	$-0.00006x^5+0.0025^4-0.0261x^3+0.092x^2+1.3539x+23$	1
ผักกาดสลัด,ชนิดต้ว (Luttuce,leaves)	$-0.000002x^5+0.0001x^4-0.0024x^3-0.066x^2+0.8497x+11.5$	1
ผักคะน้า,ใบและก้าน (Kale)	$-0.0047x^4+0.1547x^3-1.3192x^2+8.5643x+16.5$	1
ผักชี (Celery)	$-0.0108x^3 +0.2424x^2 + 0.7931x + 4.5$	1
พริกไทย (Pepper)	$-0.0018x^4 + 0.1004x^3 - 1.8024x^2 + 13.389x -22.166$	1
มะเดื่อฝรั่ง (Fig)	$0.0021x^4-0.1441x^3+3.3571x^2-26.678x+78.327$	1
มะม่วง,สุก (Mango)	$-0.0018x^4 + 0.1004x^3 - 1.8024x^2 + 13.389x -22.166$	1
มะละกอ,สุก (Papaya)	$0.1423x^2 - 1.6178x + 9.3994$	0.9591
มันฝรั่ง (Potato)	$0.0051x^3.186x^2+2.3086x-1.0878$	1
ลูกท้อ,เหลือง (Peach)	$-0.0001x^5+0.0074x^4-0.1266x^3+0.9541x^2-1.7934x+5$	
ลูกเนย (Avogado)	$-0.0755x^3 3.8418x^2-44.203x+153.01$	1
สมอจีน,สด (Olive)	$-0.1576x^2+10.873x-84.17$	1
สับปะรด (Pineapple)	$-0.0003x^4+0.0161x^3-0.2257x^2+1.781x-2.7841$	1
สาลี่ (pear)	$-0.0019x^4+0.0695x^3-0.6214x^2+2.1185x+5$	1
หน่อไม้ฝรั่ง (Asparagus)	$-0.00112x^5 +0.069x^4-1.5065x^3+13.236x^2-25.571x+53.5$	1
หอมหัวใหญ่,แก่ (Onion,dry)	$0.00003x^5+0.0017x^4-0.0428x^3+0.4217x^2-1.0899x+3$	1
หอมหัวใหญ่,หัวและยอดอ่อน(Onion,green)	$0.00006x^5-0.0043^4+0.0997x^3-0.6097x^2+2.649x+21$	1
เห็ดฟาง (Mushroom)	$0.0513x^3-0.9945x^2+11.214x+36$	1
องุ่น (Grape)	$0.00006x^5+0.0031x^4-0.051x^3+0.3389x^2-0.3078x+3$	1
แอปเปิล (Apple)	$0.0004x^4 - 0.0184x^3 + 0.2909x^2 - 0.1923x +4.5$	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การจัดแสดงฐานข้อมูล

ข้อมูลที่รวบรวมได้จัดแสดงด้วยโปรแกรม Microsoft Access

การใช้งานฐานข้อมูลเมื่อเปิดเข้าไปในฐานข้อมูลผักและผลไม้ในประเทศไทยแล้วกดไปที่ฟอร์ม แล้วเปิดฐานข้อมูลผักและผลไม้ เมื่อต้องการทราบค่าของผักหรือผลไม้อะไรก็กดไปที่ช่องชื่อผักและผลไม้แล้วกดลูกศรลงเลือกผักและผลไม้ที่ต้องการหรือพิมพ์ชื่อผักและผลไม้ลงไป แล้วจะได้ค่าที่ปรากฏดังนี้

3.1.2.1 ส่วนข้อมูลพื้นฐานของผักและผลไม้ ประกอบด้วย ชื่อภาษาอังกฤษ ชื่อวิทยาศาสตร์ ปริมาณน้ำ ปริมาณไขมัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณโปรตีน ปริมาณเส้นใย

3.1.2.2 ส่วนข้อมูล Thermal Properties เมื่อกดเลือก Thermal Properties ได้ค่าประกอบด้วย

1.ความร้อนจำเพาะ (Cp)

-ขึ้นกับปริมาณน้ำ สูงกว่าจุดเยือกแข็ง

สมการของ Siebel(1982)

สมการของ Finkin(1974)

สมการของ Comini el al.(1979)

สมการของ Lamb(1974)

สมการของ Reidel(1956)

-ขึ้นกับปริมาณน้ำ ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

สมการของ Siebel(1982)

-ขึ้นกับส่วนประกอบ

สมการของ Helman and Sigh(1981)

สมการของ Choi and Okos (1983)

2.สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

-ขึ้นกับปริมาณน้ำ สูงกว่าจุดเยือกแข็ง

สมการของ Sweat(1974)

สมการของ Bowman(1970)

สมการของ Comini et.al.(1974)

สมการของ Backstrom and Emblik(1970)

-ขึ้นกับส่วนประกอบ

สมการของ Dominguez et.al.(1974)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของ Choi and Okos(1983)

3.อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

แสดงค่าเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง โดยการใส่อุณหภูมิ(°C)ลงในช่อง Temperature แล้วกดปุ่มคำสั่งคำนวณ จะได้ค่าที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิประกอบด้วย ค่าความร้อนจำเพาะ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น ความสามารถในการกระจายความร้อน

4.ค่าจากการทดลอง

เป็นค่าที่ได้จากการทดลองจะมีเฉพาะบางชนิดของผักและผลไม้ ประกอบด้วย ค่าความร้อนจำเพาะ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น ความสามารถในการกระจายความร้อน

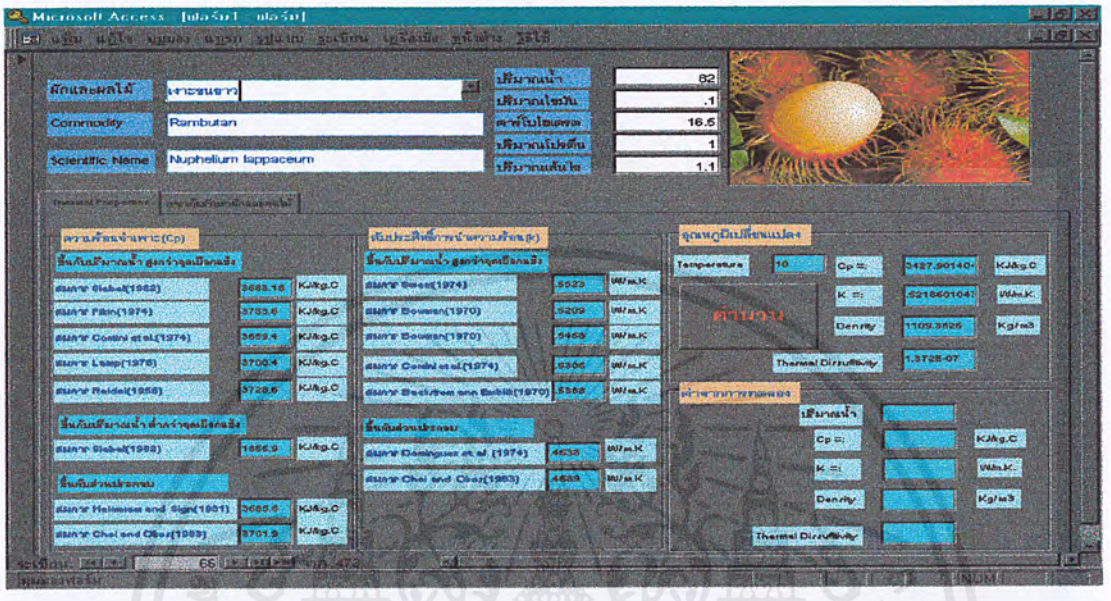
3.1.2.3 ส่วนการเก็บรักษาผักและผลไม้ประกอบด้วย

1. อายุในการเก็บรักษา
2. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษา
3. อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมรับได้
4. ความชื้นสัมพันธ์
5. ปริมาณเอทิลีนในผักและผลไม้
6. ความไวของการเกิดปฏิกิริยากับเอทิลีน
7. อัตราการหายใจ

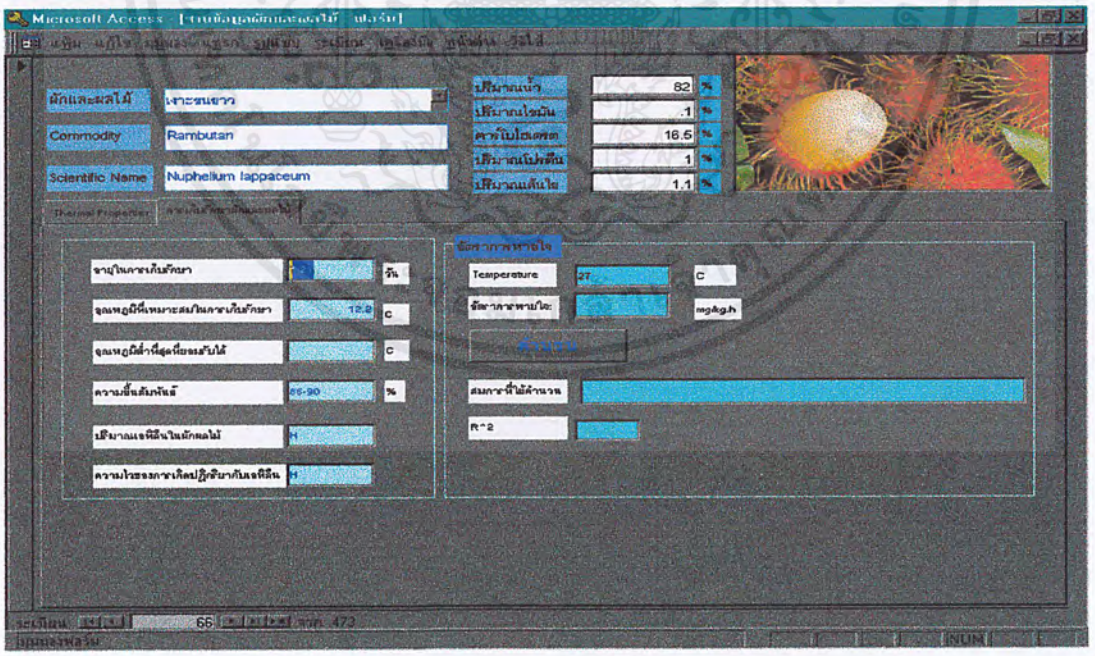
เมื่อต้องการทราบอัตราการหายใจของผักหรือผลไม้ให้เติมค่าอุณหภูมิลงในช่อง แล้วกดปุ่มคำสั่งคำนวณแล้วค่าอัตราการหายใจจะออกมาที่กล่องข้อความอัตราการหายใจ แต่ได้เฉพาะผักและผลไม้ที่มีค่าสมการการคำนวณที่กล่องข้อความสมการที่ใช้ในการคำนวน และจะมีค่าความเที่ยงตรงของสมการในช่อง R^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการจัดแสดงข้อมูลในฐานข้อมูล(database) ทำการนำเสนอข้อมูลในรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 หน้าจอแสดงฐานข้อมูลส่วนคุณสมบัติทางความร้อนของผักและผลไม้



รูปที่3.3 หน้าจอแสดงฐานข้อมูลส่วนการเก็บรักษาผักและผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

1) เตรียมอุปกรณ์ในการวัดดั่งรูปที่ 3.4

2) ปรับกระแสไฟฟ้าที่เครื่องแปรงไฟฟ้าให้ได้ 6 Volt Dc

3) ปรับเทียบมาตรฐานเทอร์โมคอปเปิล

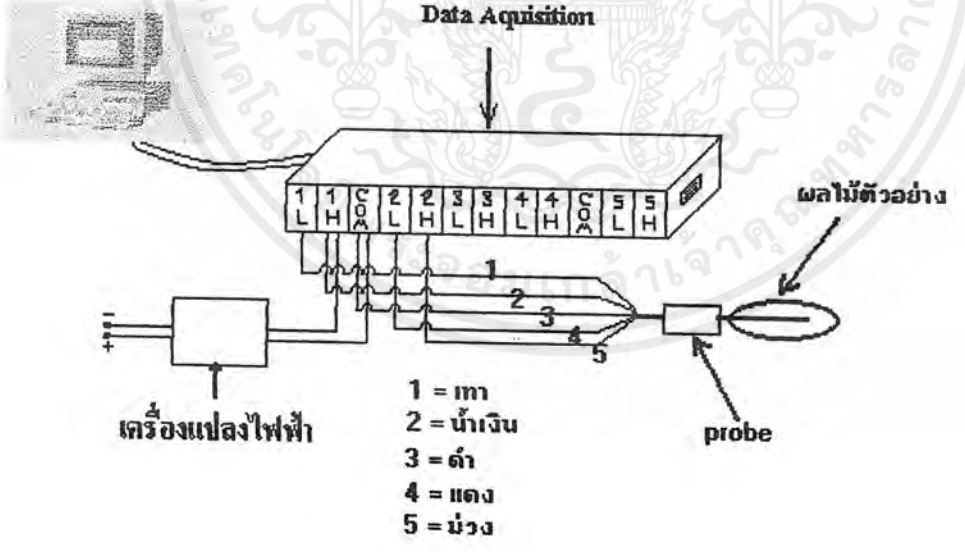
4) เสียบ probe ที่จุดกึ่งกลางของผักผลไม้ตัวอย่าง ปล่อยให้ probe มีอุณหภูมิสมดุลย์กับเนื้อผลไม้ ประมาณ 10 วินาที จากนั้นเปิดสวิตซ์ให้ลวดความร้อนทำงาน บันทึกอุณหภูมิเป็นเวลา 10 วินาที ปิดสวิตซ์

5)ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยเสียบ probe ในส่วนต่าง ๆ ของผลไม้ตัวอย่าง

6)เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับ ln เวลา

7)หาความชันของส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟ และคำนวณค่าการนำความร้อนจากสมการ

$k = Q/4\pi slope$($Q = I^2R$)



รูปที่3.4 แสดงอุปกรณ์หาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

3.2.2 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น *Moisture Content* (Wet basis)

1) ตัดกระดาษฟอยด์ พับเป็นรูปถ้วย ชั่งน้ำหนักจดบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 10 กรัม หั่นเป็นชิ้นบางๆใส่ฟอยด์แผ่กระจายให้ทั่ว จดบันทึกน้ำหนักที่เป็นของฟอยด์และตัวอย่างก่อนอบไว้

3) อบกระดาษฟอยด์พร้อมตัวอย่าง ในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3วันหรือจนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง

4) นำกระดาษฟอยด์พร้อมตัวอย่างใส่ใน desecrator ทิ้งให้เย็นประมาณ 30 นาที นำออกมาชั่งและจดน้ำหนักไว้

5) คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นตามสูตร

$$\% \text{ moisture content} = [(\text{น้ำหนักฟอยด์} + \text{น้ำหนักตัวอย่าง})_{\text{ก่อนอบ}} - (\text{น้ำหนักฟอยด์} + \text{ตัวอย่าง})_{\text{หลังอบ}}] \times 100 \ / \ \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$$

6) ทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง

3.2.3วิธีการหาค่าความหนาแน่นของผักและผลไม้

1) หาปริมาตรของตัวอย่าง โดยการนำเอาตัวอย่างมาตัดเป็นรูปทรงเรขาคณิต เช่น ทรงลูกบาศก์ ทรงกระบอก จดบันทึกปริมาตรไว้

2) นำตัวอย่างที่ทราบปริมาตรแล้วมาชั่งน้ำหนักจดบันทึกไว้

3) ความหนาแน่นของวัสดุหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างมวลและปริมาตรของวัสดุ ดังสมการ

$$\rho = \frac{m}{v}$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่นของวัสดุ , kg / m^3

m = มวลของวัสดุ , kg

v = ปริมาตรของวัสดุ , m^3

3) ทำซ้ำตัวอย่างละ 10 ครั้ง

3.2.4 การหาค่าความจุความร้อนจำเพาะ ประกอบด้วย

3.2.4.1 การหาความจุความร้อนของแคลอรี่มิเตอร์(Heat capacity , H_c)

1) ชั่งน้ำหนักแคลอรี่มิเตอร์ , m (kg)

2) เติมน้ำเย็นลงไปในแคลรี่มิเตอร์พอสมควร แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก , m_1 (kg)
วัดอุณหภูมิของน้ำเย็น อุณหภูมิของน้ำเย็น $= t_1 \ (^{\circ}C)$
มวลของน้ำเย็น = $m_1 - m_2$ (kg)

3) เติมน้ำร้อน วัดอุณหภูมิน้ำร้อน , t_2 ($^{\circ}$C) ลงไปในแคลอรี่มิเตอร์แล้วปิดฝา เขย่าให้น้ำร้อนและน้ำเย็นเข้ากัน และอ่านอุณหภูมิของน้ำในแคลอรี่มิเตอร์ทุก 1 นาที จนอุณหภูมิขึ้นสูงสุดซึ่งก็คืออุณหภูมิผสมขั้นสุดท้าย , t_3 ($^{\circ}C$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ชั่งน้ำหนักของแคลอรี่มิเตอร์อีกครั้ง m_2 (kg)

มวลน้ำร้อน = $m_2 - m_1$ kg

5) นำค่าต่างๆที่วัดได้มาคำนวณหาค่าความจุความร้อนของแคลอรี่มิเตอร์จากความสัมพันธ์ดังนี้ ค่าความจุความร้อนของวัตถุ (Heat capacity , H_c)คือปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุทั้งก้อนมีอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 องศา

ความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ $Q_1 = (m_1 - m)C_p(t_3 - t_1)$

ความร้อนที่แคลอรี่มิเตอร์ได้รับ $Q_2 = H_c(t_3 - t_1)$

ความร้อนที่น้ำเสียไป $Q_3 = (m_2 - m_1)C_p(t_2 - t_3)$

ความร้อนลด = ความร้อนเพิ่ม

โดยที่ C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ 4.18 kJ / kg°C

$Q_3 = Q_1 + Q_2$

$(m_2 - m_1)C_p(t_2 - t_3) = (m_1 - m)C_p(t_3 - t_1) + H_c(t_3 - t_1)$

6)ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

3.2.4.2วิธีการหาค่าความร้อนจำเพาะของผักและผลไม้

1) แยกเนื้อของอาหารตัวอย่างออกจากเมล็ดหรือเม็ด แล้วตัดเป็นชิ้นเล็กๆชิ้นละประมาณ 100 กรัม

2) เติมน้ำ 300 g ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าผลไม้ประมาณ 30 °C ลงไปในแคลอรี่มิเตอร์ วัดอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ ทิ้งไว้ 20 นาที ให้อุณหภูมิของน้ำสมดุลกับอุณหภูมิของแคลอรี่มิเตอร์ แล้ววัดอุณหภูมิสมดุล

3) นำชิ้นของอาหารตัวอย่างมาห่อด้วยแผ่นฟิล์มยืดหุ้มอาหารแล้ววัดอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารตัวอย่าง

4) ใส่อาหารตัวอย่างลงไปในแคลอรี่มิเตอร์แล้วเขย่าเป็นระยะๆเพื่อให้อาหารตัวอย่างมีอุณหภูมิสมดุลกับน้ำและแคลอรี่มิเตอร์ ทิ้งไว้ 20 นาที แล้วทำการวัดและบันทึกอุณหภูมิสุดท้ายของตัวอย่างและน้ำ

5) นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะของอาหาร จากสมการ

$c_s w_s \Delta T_s = c_l w_l \Delta T_l + H_c \Delta T_c$

โดยที่ c_s = ความร้อนจำเพาะของอาหารตัวอย่าง , kJ / kg °C

W_s = น้ำหนักของอาหารตัวอย่าง , kg

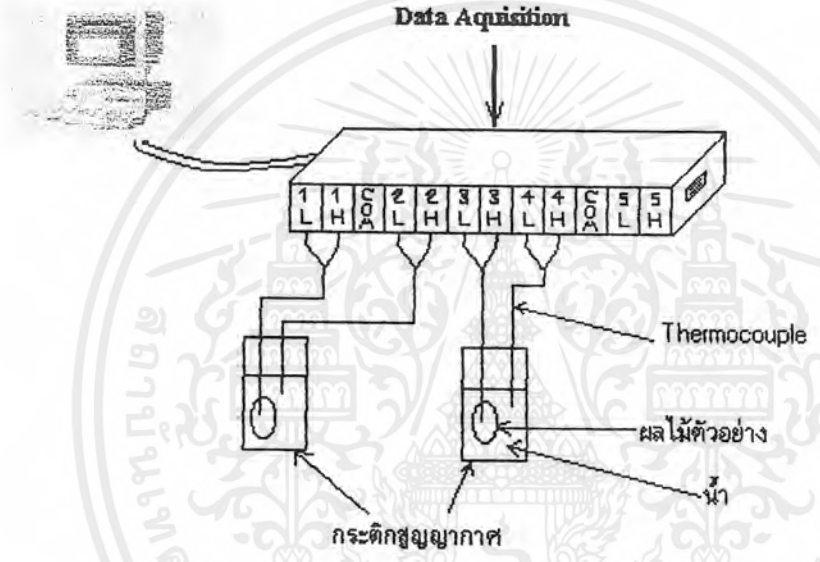
ΔT_s = ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่างกับอุณหภูมิแก้ไขสมดุล , °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= อุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่าง - อุณหภูมิแก้ไขสมดุล

c_l = ความร้อนจำเพาะของน้ำ 4.18 kJ / kg °C

w_l = น้ำหนักของน้ำ , kg



รูปที่3.5 แสดงอุปกรณ์หาค่าความร้อนจำเพาะ

3.2.5 วิธีการหาค่าpH ของผักและผลไม้

เตรียมตัวอย่างผักและผลไม้ ชนิดละ 50 กรัม มาปั่นละเอียดและวัดค่าpH ด้วย pH มิเตอร์ MODEL DEPOSE ทำซ้ำตัวอย่างละ 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองหาค่าความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์ความชื้น pH ความร้อนจำเพาะ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ของผักและผลไม้ ได้แก่ แตงกวา ถั่วฝักยาว เผือก มันเทศ มะละกอดิบ มะละกอสุกพันธุ์แขกดำ แก้วมังกร ทุเรียน ชมพู่ สับปะรดภูเก็ต กล้วยน้ำว้าดิบ กล้วยน้ำว้าสุก กล้วยไข่ กล้วยหอม มะม่วงดิบพันธุ์น้ำดอกไม้ มะม่วงสุกพันธุ์น้ำดอกไม้ ละมุด และ ฝรั่ง ส่วนประกอบของผักผลไม้ดังกล่าวและใช้ในการทำนายค่าคุณสมบัติต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.1
รวบรวมข้อมูลจาก รัชนี (2532) และตารางคุณค่าทางโภชนาการของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

ตารางที่ 4.1 ตารางส่วนประกอบของผักและผลไม้ที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของผักผลไม้	ปริมาณน้ำ(%)	ปริมาณไขมัน(%)	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต(%)	ปริมาณโปรตีน(%)	ปริมาณเส้นใย(%)
กล้วยน้ำว้าสุก	71.6	0.3	26.1	1.2	0.6
กล้วยน้ำว้าดิบ	69	0.2	28.7	1.4	0.5
กล้วยหอม	66.3	0.2	31.4	1	0.3
กล้วยไข่	62.8	0.2	34.4	1.5	0.4
ละมุด	75.2	0.5	21.9	0.4	1.4
ชมพู่	84.5	0.3	14.2	0.6	1.1
ทุเรียน	66.8	1.6	28.3	2.5	1.4
มะม่วงสุก	82.6	0.3	15.9	0.6	0.5
มะม่วงดิบ	82.9	0.4	15.3	0.6	0.4
สับปะรด	87	0.3	11.6	0.7	0.5
ฝรั่ง	80.7	0.1	11.6	0.9	6
ฟักทอง	85.2	0.2	12.5	1.4	0.8
เผือก	74.5	0.4	21	2.2	0.8
มันเทศ	70.7	0.3	27.1	1.2	0.8
มะละกอสุก	87.1	0.1	11.8	0	0.5
มะละกอดิบ	92.1	0.1	6.2	1	0.9
แตงกวา	95.1	0.1	3.4	0.9	0.6
ถั่วฝักยาว	88.1	0.2	8.2	2.8	1.5

ค่าคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความชื้น ความหนาแน่นของเนื้อ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ และ ค่า pH ของผักและผลไม้ที่ได้จากการทดลอง จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงในตารางที่ 4.2

จากการทดลองความชื้นมีค่า 59.8 - 96.23 % ผักและผลไม้ที่มีความชื้นต่ำสุดคือทุเรียน ส่วนแตงกวามีความชื้นสูงสุด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.3 – 2.16 ความหนาแน่นของเนื้อมีค่า 751.54 - 1277.89 kg/ m^3 ฝรั่งมีความหนาแน่นมากที่สุด ชมพู่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 22.9 – 324.8 พบว่าค่าความหนาแน่นของเนื้อที่ได้จากการทดลองมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรปรวนมากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของเนื้อผักและผลไม้ การตัดตัวอย่างไม่ได้เป็นรูปทรงเรขาคณิตและเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ไม่ละเอียดพอ ควรใช้เครื่องชั่งที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่งขึ้นไป ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่า 0.3834 - 0.6878 W/m°C ฝรั่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ฟักทองมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.0286 – 0.4855 แสดงว่ามีความแปรปรวนน้อยมาก ค่าความร้อนจำเพาะมีค่า 1.71 – 3.16 kJ/kg°C มะม่วงสุกมีค่าความร้อนจำเพาะสูงที่สุด กล้วยน้ำว้าสุกมีค่าความร้อนจำเพาะต่ำสุด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.1 – 0.95 ค่า pH มีค่า 2.15 – 6.5 ฟักทองมีค่า pH สูงที่สุด มะม่วงสุกมีค่า pH ต่ำที่สุด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0 – 0.28 ผักและผลไม้ที่มีค่า pH น้อยกว่า 4.6 จัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดสูง ส่วนผักและผลไม้ที่มีค่า pH มากกว่า 4.6 จัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผักและผลไม้ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการใช้สมการของนักวิจัยทำนายค่า โดยใช้สมการที่อาศัยความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำ พบว่าค่าที่ได้มีเปอร์เซ็นต์แตกต่างอยู่ระหว่าง 12.11 – 21.47 ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายได้จากสมการของ Comini et. al (1974) มากที่สุด รองลงมาคือค่าที่ได้จากสมการของ Backstrom (1970) , Sweat (1974) และ Bowman (1970) ด้วยความแตกต่าง 12.11% , 12.15% , 14.63% และ 21.47% ตามลำดับ เห็นได้ว่าเมื่อเราทราบปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารเราก็สามารถทำนายค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหารได้

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผักและผลไม้ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการใช้สมการทำนายค่าโดยอาศัยความสัมพันธ์ของส่วนประกอบที่มีอยู่ในอาหารและอุณหภูมิของอาหาร ค่าที่ได้มีเปอร์เซ็นต์แตกต่างอยู่ระหว่าง 14.22 – 23.10 ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสมการของ Choi และ Okos (1987) มากที่สุดซึ่งสมการที่อาศัยความสัมพันธ์ของส่วนประกอบและอุณหภูมิของอาหาร เห็นว่าเมื่อเราทราบค่าส่วนประกอบและอุณหภูมิของอาหารจะทำให้เราทำนายค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้ค่าที่แม่นยำและใกล้เคียงกับความจริง รองลงมาคือค่าที่ได้จากสมการของ Choi และ Okos (1983) และ Domonguez et. al (1974) ด้วยความแตกต่าง 14.22% , 21.71% และ 23.10% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนจำเพาะของผักและผลไม้ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการใช้สมการทำนายค่าโดยอาศัยความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำ ค่าที่ได้มีเปอร์เซ็นต์แตกต่างอยู่ระหว่าง 44.23 – 53.56 ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายได้จากสมการของ Siebel (1892) มากที่สุด รองลงมาคือ Comini et. al (1974) , Lamp (1976) ,Reidel (1956) และ Faikin (1974) ด้วยความแตกต่าง 44.23% , 48.22% , 50.49% , 51.96% และ 53.56% ตามลำดับ ค่าที่ทดลองได้มีค่าแตกต่างจากค่าที่ทำนายมากเนื่องจากในการทดลองใช้จำนวนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยเกินไปและขณะที่ทำการทดลองต้องรอให้แคลอรี่มิเตอร์กับผักผลไม้ตัวอย่างมีอุณหภูมิสมดุลกันซึ่งใช้เวลานานจึงทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไป

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนจำเพาะของผักและผลไม้ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการใช้สมการทำนายค่าโดยอาศัยความสัมพันธ์ของส่วนประกอบที่มีอยู่ในอาหารและอุณหภูมิของอาหาร ค่าที่ได้มีเปอร์เซ็นต์แตกต่างอยู่ในช่วง 38.93 – 50.83 ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายได้จากสมการของ Choi และ Okos (1983) มากที่สุดซึ่งเป็นค่าที่ได้จากสมการที่อาศัยความสัมพันธ์ของส่วนประกอบและอุณหภูมิของอาหาร รองลงมาคือค่าที่ทำนายได้จากสมการของ Heldman และ Sign (1981) และ Choi และ Okos (1983) ด้วยความแตกต่าง 38.93% , 49.77% และ 50.83% ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากสมการที่อาศัยความสัมพันธ์ของส่วนประกอบในอาหาร เห็นว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าแตกต่างจากค่าที่ทำนายได้เนื่องจากที่กล่าวถึงในตารางที่ 4.5 แล้วยังมีสาเหตุมาจากค่าที่ทายได้จากสมการที่อาศัยส่วนประกอบในอาหารเราใช้ค่าจากตารางของกรมอนามัยซึ่งค่านี้อาจไม่เป็นตัวแทนที่แท้จริงของผักและผลไม้ที่ใช้ทำการทดลอง ถ้าอยากให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงมากควรทำการวิเคราห์หาส่วนประกอบของผักและผลไม้เพื่อมาทำนายค่าด้วย

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นเนื้อของผักและผลไม้ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ใช้สมการที่อาศัยความสัมพันธ์ของส่วนประกอบและอุณหภูมิของอาหารในการทำนายค่าความหนาแน่นเนื้อ ค่าที่ได้มีเปอร์เซ็นต์แตกต่างอยู่ในช่วง 1.42 – 15.52 จากตารางพบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ใช้สมการทำนายค่า ยกเว้นชมพู่มีค่าเปอร์เซ็นต์แตกต่าง 45.22 ซึ่งมีค่าแตกต่างจากค่าที่ทำนายได้มากมีสาเหตุมาจากเนื้อของชมพู่ไม่สม่ำเสมอกันคือมีทั้งส่วนที่เป็นเนื้อแน่นและส่วนที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำและขนาดตัวอย่างที่ได้ตัดมาหาค่าความหนาแน่นเนื้ออาจไม่เป็นตัวแทนที่แท้จริงของเนื้อชมพู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองค่าคุณสมบัติต่างๆ

ชนิดของผักผลไม้	ความชื้น (%)			ความหนาแน่นของเนื้อ(kg/m^3)			สัมประสิทธิ์การนำความร้อน(W/m.K)			ความร้อนจำเพาะ(kJ/kg.K)			pH		
	จำนวนตย.	เฉลี่ย	SD	จำนวนตย.	เฉลี่ย	SD	จำนวนตย.	เฉลี่ย	SD	จำนวนตย.	เฉลี่ย	SD	จำนวนตย.	เฉลี่ย	SD
กล้วยน้ำว้าสุก	3	65.2	0.7	8	1127.1	124.07	20	0.5052	0.0668	2	1.84	0.27	2	3.85	0.07
กล้วยน้ำว้าดิบ	3	61.53	1.19	10	1160.07	324.83	10	0.4883	0.0286	4	1.71	0.35	2	3.8	0.14
กล้วยหอม	3	72.37	1.5	10	1153.94	158.54	10	0.5012	0.0412	4	2.61	0.61	2	3.95	0.07
กล้วยไข่	3	67.9	1.11	10	1180.91	47.6	20	0.514	0.0402	4	3.04	0.53	2	4.15	0.07
ละมุด	3	74.5	2.14	10	1145.12	155.79	16	0.5214	0.0661	4	2.21	0.34	2	5.05	0.07
ชมพู่	3	91.13	0.83	10	751.54	303.27	20	0.5642	0.1186	2	2.65	0.56	2	3.2	0
ทุเรียน	3	59.8	1.28	4	1171.91	76.94	3	0.4609	0.0668	4	2.62	0.1	2	2.95	0.07
แก้วมังกร	3	81.63	0.95	10	1113.48	72	4	0.5162	0.0335	4	2.72	0.22	2	3.2	0.14
มะม่วงสุก	3	81	1.49	3	1169.23	22.9	3	0.5765	0.0405	4	3.16	0.87	2	2.15	0.07
มะม่วงดิบ	3	82.1	0.92	10	1249.21	233.1	8	0.59995	0.0517	2	2.37	0.11	2	4.65	0.21
สับปะรด	3	78.9	0.92	4	934.47	77.23	4	0.5061	0.0784	4	2.57	0.95	2	2.75	0.07
ฝรั่ง	3	88.93	1.01	4	1277.89	158.11	3	0.6878	0.4855	4	2.33	0.45	2	3.1	0
ฟักทอง	3	86.93	0.6	10	1114.55	129.45	3	0.3824	0.131	4	2.43	0.32	2	6.5	0.14
เผือก	3	68.8	2.16	12	972.94	113.97	6	0.5593	0.0597	4	2.18	0.21	2	5.4	0.28
มันเทศ	3	67.7	0.96	5	1099.61	25.8	10	0.5433	0.0295	-	-	-	2	6	0.14
แกนสับปะรด	3	84.1	1.25	4	1121.76	48.67	-	-	-	4	2.9	0.69	2	4	0.14
มะละกอสุก	3	91.2	1.25	20	1155.68	69.81	3	0.3958	0.1818	4	2.22	0.91	2	5.45	0.07
มะละกอดิบ	2	92.9	0.99	10	1064.8	95.16	3	0.4852	0.1383	4	2.45	0.55	2	5.9	0.14
แตงกวา	3	96.23	0.93	-	-	-	10	0.5546	0.0607	-	-	-	-	-	-
ถั่วฝักยาว	3	95.57	0.38	-	-	-	10	0.4516	0.0652	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผักและผลไม้ที่ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ (W/m.C)

ชนิดของผักผลไม้	ปริมาณน้ำ(%wb.	ค่าจากการทดลอง	Eq. 1*	%แตกต่าง	Eq. 2*	%แตกต่าง	Eq. 3*	%แตกต่าง	Eq. 4*	%แตกต่าง
กล้วยน้ำว้าสุก	65.20	0.5052	0.4694	7.09	0.4257	15.74	0.4752	5.94	0.4817	4.65
กล้วยน้ำว้าดิบ	61.53	0.4883	0.4514	7.56	0.4049	17.08	0.4631	5.16	0.4692	3.91
กล้วยหอม	72.37	0.5012	0.5048	0.72	0.4663	6.00	0.4988	0.48	0.5061	0.98
กล้วยไข่	67.90	0.5140	0.4827	6.09	0.4410	96.00	0.4841	5.82	0.4909	4.49
ละมุด	74.50	0.5214	0.5153	1.17	0.4784	8.25	0.5059	2.97	0.5133	1.55
ชมพู่	91.13	0.5642	0.5973	5.87	0.5727	1.51	0.5607	0.62	0.5698	0.99
ทุเรียน	59.80	0.4609	0.4428	3.93	0.3951	14.28	0.4573	0.78	0.4633	0.52
มะม่วงดิบ	82.10	0.5749	0.5528	3.84	0.5215	9.29	0.5309	7.65	0.5391	6.23
มะม่วงสุก	81.00	0.5765	0.5473	5.07	0.5153	10.62	0.5273	8.53	0.5354	7.13
สับปะรด	78.90	0.5061	0.5419	7.07	0.5090	0.57	0.5237	3.48	0.5317	5.06
ฝรั่ง	88.93	0.6878	0.5864	14.74	0.5602	18.55	0.5535	19.53	0.5624	18.23
ฟักทอง	86.93	0.3824	0.5766	50.78	0.5489	43.54	0.5469	43.02	0.5556	45.29
เผือก	68.80	0.5593	0.4872	12.89	0.4461	20.24	0.4870	12.93	0.4939	11.69
มันเทศ	67.70	0.5433	0.4818	11.32	0.4399	19.03	0.4834	11.03	0.4902	9.77
มะละกอสุก	91.20	0.3958	0.5976	50.99	0.5731	44.80	0.5610	41.74	0.5701	44.04
มะละกอดิบ	92.90	0.4852	0.6060	24.90	0.5827	20.09	0.5666	16.78	0.5759	18.69
แตงกวา	96.23	0.5546	0.6224	12.23	0.6016	8.47	0.5776	4.15	0.5872	5.88
ถั่วฝักยาว	95.57	0.4516	0.6192	37.11	0.5979	32.40	0.5754	27.41	0.5849	29.52
		ค่าเฉลี่ย%แตกต่า	14.63		21.47		12.11		12.15	

หมายเหตุ Eq. 1* Sweat , 1974

Eq. 2* Bowman , 1970

Eq. 3* Comini et.al , 1974

Eq. 4* Backstrom , 1970

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผักและผลไม้ที่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและอุณภูมิ (W/m.C)

ชนิดของผักผลไม้	ปริมาณน้ำ(%wb.)	ไขมัน(%)	คาร์โบไฮเดรท(%)	โปรตีน(%)	เส้นใย(%)	ค่าจากการทดลอง	Eq. 1*	%แตกต่าง	Eq. 2*	%แตกต่าง	Eq. 3*	%แตกต่าง
กล้วยน้ำว้าสุก	71.6	0.3	26.1	1.2	0.6	0.5052	0.3686	27.04	0.3867	23.46	0.5051	0.02
กล้วยน้ำว้าดิบ	69	0.2	28.7	1.4	0.5	0.4883	0.3468	28.98	0.3658	25.09	0.4954	1.45
กล้วยหอม	66.3	0.2	31.4	1	0.3	0.5012	0.3232	35.51	0.343	31.56	0.4839	3.45
กล้วยไข่	62.8	0.2	34.4	1.5	0.4	0.5140	0.2952	42.57	0.3166	38.40	0.4707	8.42
ละมุด	75.2	0.5	21.9	0.4	1.4	0.5214	0.3992	23.44	0.4159	20.23	0.5176	29.66
ชมพู่	84.5	0.3	14.2	0.6	1.1	0.5642	0.474	15.99	0.4883	13.45	0.5561	1.44
ทุเรียน	66.8	1.6	28.3	2.5	1.4	0.4609	0.3393	26.38	0.3578	22.37	0.4866	5.58
มะม่วงดิบ	82.6	0.3	15.9	0.6	0.5	0.5749	0.4618	19.67	0.4765	17.12	0.5474	4.78
มะม่วงสุก	82.9	0.4	15.3	0.6	0.4	0.5765	0.4584	20.49	0.4733	17.90	0.5471	5.10
สับปะรด	87	0.3	11.6	0.7	0.5	0.5061	0.4955	2.09	0.5091	0.59	0.5642	11.48
ฝรั่ง	80.7	0.1	11.6	0.9	6	0.6878	0.4578	33.44	0.4707	31.56	0.5375	21.85
ฟักทอง	85.2	0.2	12.5	1.4	0.8	0.3824	0.4837	26.49	0.4975	31.10	0.5573	45.74
เผือก	74.5	0.4	21	2.2	0.8	0.5593	0.4007	28.36	0.4169	25.46	0.5135	8.19
มันเทศ	70.7	0.3	27.1	1.2	0.8	0.5433	0.3607	33.61	0.3792	30.20	0.5024	7.53
มะละกอสุก	87.1	0.1	11.8	0	0.5	0.3958	0.4939	24.79	0.5075	28.22	0.5836	47.45
มะละกอดิบ	92.1	0.1	6.2	1	0.9	0.4852	0.5396	11.21	0.5514	13.64	0.5840	20.36
แตงกวา	95.1	0.1	3.4	0.9	0.6	0.5546	0.5643	1.75	0.5752	3.71	0.5950	7.28
ถั่วฝักยาว	88.1	0.2	8.2	2.8	1.5	0.4516	0.5145	13.93	0.5267	16.63	0.5694	26.09
						ค่าเฉลี่ย%แตกต่าง	23.10		21.71		14.22	

หมายเหตุ Eq.1* Dominguez et. al , 1974

Eq. 2* Choi and Okos , 1983

Eq. 3* Choi and Okos , 1987 ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความร้อนจำเพาะของผักและผลไม้กับสมการที่ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ (kJ/kg C)

ชนิดของผักผลไม้	ปริมาณน้ำ(%wb.	ค่าจากการทดลอง	Eq. 1*	%แตกต่าง	Eq. 2*	%แตกต่าง	Eq. 3*	%แตกต่าง	Eq. 4*	%แตกต่าง	Eq. 5*	%แตกต่าง
กล้วยน้ำว้าสุก	65.20	1.84	3.02	64.13	3.29	78.80	3.16	71.74	3.24	76.09	3.30	79.35
กล้วยน้ำว้าดิบ	61.53	1.71	2.89	69.01	3.18	85.96	3.06	78.95	3.14	83.63	3.22	88.30
กล้วยหอม	72.37	2.61	3.26	24.90	3.50	34.10	3.38	29.50	3.44	31.80	3.48	33.33
กล้วยไข่	67.90	3.04	3.11	2.30	3.37	10.86	3.24	6.58	3.32	9.21	3.27	7.57
ละมุด	74.50	2.21	3.33	50.68	3.56	61.09	3.44	55.66	3.49	57.92	3.54	60.18
ชมพู่	91.13	2.65	3.88	46.42	4.05	52.83	3.92	47.92	3.94	48.68	3.96	49.43
ทุเรียน	59.80	2.62	2.84	8.40	3.13	19.47	3.00	14.50	3.09	17.94	3.17	20.99
มะม่วงดิบ	82.10	2.37	3.58	51.05	3.78	59.49	3.66	54.43	3.70	56.12	3.73	57.38
มะม่วงสุก	81.00	3.16	3.54	12.03	3.75	18.67	3.63	14.87	3.67	16.14	3.70	17.09
สับปะรด	78.90	2.57	3.51	36.58	3.72	44.75	3.56	38.52	3.64	41.63	3.67	42.80
ฝรั่ง	88.93	2.33	3.82	63.95	3.98	70.82	3.86	65.67	3.88	66.52	3.90	67.38
ฟักทอง	86.93	2.43	3.74	53.91	3.92	61.32	3.80	56.38	3.83	57.61	3.85	58.44
เผือก	68.80	2.18	3.14	44.04	3.39	55.50	3.27	50.00	3.34	53.21	3.39	55.50
มะละกอสุก	91.20	2.22	3.89	75.23	4.05	82.43	3.92	76.58	3.95	77.93	3.96	78.38
มะละกอดิบ	92.90	2.45	3.94	60.82	4.10	67.35	3.97	62.04	3.99	62.86	4.00	63.27
		ค่าเฉลี่ย%แตกต่าง	44.23		53.56		48.22		50.49		51.96	

หมายเหตุ Eq. 1* Siebel , 1892

Eq. 2* Faikin , 1974

Eq. 3* Comini et. al , 1974

Eq. 4* Lamp , 1976

Eq. 5* Reidel , 1956

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความร้อนจำเพาะของผักและผลไม้กับสมการที่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและอุณหภูมิ (kJ/kg.C)

ชนิดของผักผลไม้	ปริมาณน้ำ(%wb.	ไขมัน(%)	คาร์โบไฮเดรท(%)	โปรตีน(%)	เส้นใย(%)	ค่าจากการทดลอง	Eq. 1*	%แตกต่าง	Eq. 2*	%แตกต่าง	Eq. 3*	%แตกต่าง
กล้วยน้ำว้าสุก	71.6	0.3	26.1	1.2	0.6	1.84	3.39	84.23	3.42	85.86	2.99	62.50
กล้วยน้ำว้าดิบ	69	0.2	28.7	1.4	0.5	1.71	3.32	94.15	3.35	95.9	2.88	68.40
กล้วยหอม	66.3	0.2	31.4	1	0.3	2.61	3.24	24.14	3.27	25.28	2.77	6.13
กล้วยไข่	62.8	0.2	34.4	1.5	0.4	3.04	3.14	3.28	3.18	4.6	2.62	13.82
ละมุด	75.2	0.5	21.9	0.4	1.4	2.21	3.41	54.29	3.49	57.9	3.14	42.08
ชมพู่	84.5	0.3	14.2	0.6	1.1	2.65	3.75	41.5	3.76	41.88	3.53	33.21
ทุเรียน	66.8	1.6	28.3	2.5	1.4	2.62	3.26	24.42	3.3	25.95	2.79	6.49
มะม่วงดิบ	82.6	0.3	15.9	0.6	0.5	2.37	3.7	56.11	3.71	56.54	3.46	45.99
มะม่วงสุก	82.9	0.4	15.3	0.6	0.4	3.16	3.69	16.77	3.71	17.4	3.45	9.18
สับปะรด	87	0.3	11.6	0.7	0.5	2.57	3.82	48.63	3.83	49.02	3.64	41.63
ฝรั่ง	80.7	0.1	11.6	0.9	6	2.33	3.55	52.36	3.57	53.21	3.37	44.64
ฟักทอง	85.2	0.2	12.5	1.4	0.8	2.43	3.77	55.14	3.78	55.56	3.56	46.50
เผือก	74.5	0.4	21	2.2	0.8	2.18	3.45	58.25	3.48	59.63	3.11	42.66
มะละกอสุก	87.1	0.1	11.8	0	0.5	2.22	3.81	71.62	3.82	72.07	3.64	63.96
มะละกอดิบ	92.1	0.1	6.2	1	0.9	2.45	3.96	61.63	3.96	61.63	3.84	56.73
						ค่าเฉลี่ย%แตกต่าง	49.77		50.83		38.93	

หมายเหตุ Eq. 1* Heldman and Sign ,1981

Eq. 2* Choi and Okos ,1983

Eq. 3* Choi and Okos , 1983 ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของผักและผลไม้ (kg/m^3)

ชนิดของผักผลไม้	ปริมาณน้ำ(%wb.)	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	%แตกต่าง
ทุเรียน	59.80	1171.91	1188.66	1.42
กล้วยน้ำว้าดิบ	61.53	1160.07	1196.63	3.15
กล้วยน้ำว้าสุก	65.20	1127.10	1153.74	2.36
มันเทศ	67.70	1099.61	1163.34	5.80
กล้วยไข่	67.90	1180.91	1198.64	1.50
เผือก	68.80	972.94	1118.18	14.92
กล้วยหอม	72.37	1153.94	1177.82	2.06
ละมุด	74.50	1145.12	1124.62	1.79
สับปะรด	78.90	934.47	1068.34	14.32
มะม่วงสุก	81.00	1169.23	1091.70	6.63
มะม่วงดิบ	82.10	1249.21	1084.71	13.16
ฟักทอง	86.93	1114.55	1077.01	3.36
ฝรั่ง	88.93	1277.89	1079.53	15.52
ชมพู่	91.13	751.54	1091.45	45.22
มะละกอสุก	91.20	1155.68	1061.46	8.15
มะละกอดิบ	92.90	1064.80	1140.56	7.11
			ค่าเฉลี่ย%แตกต่าง	9.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

1. ฐานข้อมูลคุณสมบัติทางความร้อนและการเก็บรักษาผักและผลไม้ในประเทศไทยจัดทำโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ แล้วจัดแสดงฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Access ประกอบด้วย รูปภาพและส่วนประกอบของผักผลไม้ สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษา อัตราการหายใจ และคุณสมบัติทางความร้อนได้แก่ ความร้อนจำเพาะ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น และการแพร่กระจายความร้อน ที่ทำนายได้จากความสัมพันธ์กับส่วนประกอบของผักผลไม้ที่รวบรวมได้จากเอกสารอ้างอิงและค่าจากการทดลอง

2. การทดลองผักและผลไม้18 ชนิดมีค่าความชื้นระหว่าง 59.8-96.23% ที่ทำการทดลองมีค่าความหนาแน่น ความชื้น สัมประสิทธิ์การนำความร้อนใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายได้จากสมการของนักวิจัย แต่ค่าความร้อนจำเพาะมีค่าห่างจากค่าจากการทดลอง วัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วย Line heat source thermal conductivity probe ค่าสัมประสิทธ์ทางความร้อนสามารถใช้สมการทำนายได้เพราะเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างและส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานต่ำโดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากการทดลองใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสมการของ Comini et.al.(1974) ซึ่งทำนายจากปริมาณน้ำของผักผลไม้และอุณหภูมิ โดยมีความแตกต่างเฉลี่ย 12.11% วัดค่าความร้อนจำเพาะด้วยวิธี Vacuum bottle calorimeter technique ค่าความร้อนจำเพาะค่าความแตกต่างจากสมการทำนายเฉลี่ย 38.93-53.56%ไม่สามารถใช้สมการทำนายได้เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงแม้ว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานจะต่ำก็ตาม และวัดค่าความหนาแน่นของผลไม้ พบว่า ค่าความหนาแน่นจากการทดลองมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยจากค่าที่ทำนายได้จากสมการของ Choi และ Okos (1983) 9.15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ตารางตัวอย่างแสดงการเก็บรักษาผักผลไม้ชนิดต่างๆ

Commodity	อายุในการเก็บรักษา (วัน)	อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษา (C)	อุณหภูมิต่ำสุดที่ยอมรับได้ (C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ปริมาณเอทิลีนในผักผลไม้(1)	ความไวของการเกิดปฏิกิริยาต่อเอทิลีน (2)
Apple	90.0-240.0	-1.1	-1.5	90.0-95.0	VH	H
Banana	7.0-28.0	14.4	-0.8	85.0-95.0	M	H
Cabbage	90.0-180.0	0	-1.4	90.0-100.0	VL	H
Carrot	28.0-180.0	0	-1.4	95.0-100.0	VL	L
Cauliflower	20.0-30.00	0	-0.8	90.0-95.0	VL	H
Celery	14.0-28.0	0	-0.5	90.0-95.0	VL	M
Cherry	3.0-7.0	-0.5	-1.7	90.0-95.0	VL	L
Cucumber	10.0-14.0	10	-0.5	90.0-95.0	L	H
Grape	56.0-180.0	-1.1	-2.2	90.0-95.0	VL	L
Mango	14.0-25.0	13.3	-0.9	85.0-90.0	M	H
Orange	21.0-56.0	7.2	-0.8	85.0-90.0	VL	M
Papaya	7.0-21.0	12.2	-0.9	85.0-90.0	H	H
Pepper	12.0-18.0	10	-0.7	90.0-95.0	L	L

(1) VL (very low) = < 0.1 µl [microcroliter] C_2H_4/Kg.hr

L (low) = 0.1 – 1.0 µl [microcroliter] C_2H_4/Kg.hr

M (moderate) = 1.0 - 10.0 µl [microcroliter] C_2H_4/Kg.hr

H (high) = 10 - 100 µl [microcroliter] C_2H_4/Kg.hr

VH (very high) = > 100 µl [microcroliter] C_2H_4/Kg.hr

(2) L = low sensitivity

M = moderate sensitivity

H = high sensitivity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ตารางแสดงอัตราการหายใจของผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่างๆ

commodity	อัตราการหายใจ(mg/kg.h)					
	0 C	4.5 C	10.5 C	15.5 C	20.5 C	26 C
	0	4.5	10	15.5	20.5	26
กระเจี๊ยบ,ผล (Okra)	-	56	90.5	145.5	261	345
กระเทียม,หัว (Garlic)	9	21	9.5	21.5	19	-
กล้วยหอม,สุก (Banana)	-	-	-	22	34	-
กระหล่ำดอก (Cauliflower)	17.5	20.5	34	46	80.5	112
กระหล่ำดอกอิตาเลียน (Brocoli)	20	34.5	81	173.5	299	-
กระหล่ำปม (Kale rabi)	10	16	31	49	-	-
กระหล่ำปลี (Cabbage)	-	10.5	18	26	38.5	56
แครอท (Carrot)	26.5	38	47	80.5	104	-
แตงกวา (Cucumber)	-	-	26	28.5	31	37
บีท (Beet)	6	9.5	13	20	-	-
ผักกาดสลัด,ชนิดไม่เป็นหัว (Luttuce,head)	23	29.5	39	62.5	100.5	128.5
ผักกาดสลัด,ชนิดต้น (Luttuce,leaves)	11.5	16.5	25.5	38.5	55.5	82
ผักคะน้า,ใบและก้าน (Kale)	16.5	40.5	78	137.5	141.5	-
ผักชี (Celery)	6	10	24.0	33.5	64.00	-
พริกไทย (Pepper)	-	10.0	14.0	23.0	44.0	55.0
มะเดื่อฝรั่ง (Fig)	-	12	22.5	56	76	95.5
มะม่วง,สุก (Mango)	-	116.5	-	45.0	113	120.0
มะละกอ,สุก (Papaya)	-	5	-	18.5	-	63.5
มันฝรั่ง (Potato)	-	6	8.5	9	12	-
ลูกท้อ,เหลือง (Peach)	5	7.5	16	37.5	80.5	101.5
ลูกเนย (Avogado)	-	25	-	109.5	210.5	273
สมอจีน,สด (Olive)	-	-	-	46.5	72.5	92
สับประรด (Pineapple)	-	2	5.5	13	23.9	34.5
สาลี่ (pear)	5	7.5	14.5	37.5	50	-
หน่อไม้ฝรั่ง (Asparagus)	53.5	95.5	197	242	387.5	550
หอมหัวใหญ่,แก่ (Onion,dry)	3	3.5	7.5	10.5	16.5	28
หอมหัวใหญ่,หัวและยอดอ่อน (Onion,green)	21	28	49	90.5	178.5	154
เห็ดฟาง (Mushroom)	36	71	100	-	290	-
องุ่น (Grape)	3.0	5.0	8.0	16.0	33.0	39.0
แอปเปิล (Apple)	4.50	8.00	17	24.5	30.5	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.ผลการทดลองหาค่าความร้อนจำเพาะ

ชนิดของผักผลไม้	ความชุความร้อน	น.น.ตย.(g)	อุณหภูมิตย.(องศา)		อุณหภูมิน้ำ(องศา)			ความร้อนจำเพาะ	เฉลี่ย	SD
			เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สมดุล(Te)	สุดท้าย			
กล้วยไข่ 1	-0.175	45.87	30.77	10.63	6.72	6.85	9.71	2.48	3.04	0.53
กล้วยไข่ 2	-0.08	48.36	31.36	9.66	6.06	6.28	9.64	2.83		
กล้วยไข่ 3	-0.0175	40.83	30.35	12.60	9.42	9.51	12.46	3.24		
กล้วยไข่ 4	-0.08	42.96	31.15	11.68	7.89	8.06	11.08	3.13		
กล้วยน้ำว้าสุก 1	-0.175	103.37	31.26	14.40	6.10	6.66	11.51	1.66	1.84	0.27
กล้วยน้ำว้าสุก 2	-0.08	95.74	30.73	15.67	3.67	4.53	9.97	2.03		
กล้วยหอม 1	-0.175	57.00	31.01	14.20	5.94	6.77	9.51	1.77	2.61	0.61
กล้วยหอม 2	-0.08	65.37	31.06	10.77	5.01	4.18	8.43	2.55		
กล้วยหอม 3	-0.0175	61.42	30.59	13.45	4.60	6.48	11.02	2.97		
กล้วยหอม 4	-0.08	53.90	31.12	11.45	5.05	5.33	9.76	3.15		
กล้วยน้ำว้าดิบ 1	-0.175	106.96	31.02	13.18	5.24	6.02	11.94	1.84	1.71	0.35
กล้วยน้ำว้าดิบ 2	-0.08	112.05	31.14	15.03	3.72	5.35	10.84	1.71		
กล้วยน้ำว้าดิบ 3	-0.0175	105.42	30.90	12.36	5.67	5.68	8.64	1.23		
กล้วยน้ำว้าดิบ 4	-0.08	87.72	31.17	13.14	4.43	6.71	11.78	2.07		
ละมุด 1	-0.175	75.30	30.44	15.22	4.36	6.16	10.06	1.72	2.21	0.34
ละมุด 2	-0.08	75.84	30.04	11.56	3.96	5.47	10.28	2.36		
ละมุด 3	-0.0175	69.99	29.97	14.60	6.76	8.26	11.73	2.29		
ละมุด 4	-0.08	76.45	29.12	12.32	6.67	7.54	11.97	2.49		
ชมพู่ 1	-0.175	68.47	29.99	11.23	4.79	6.03	10.46	2.25	2.65	0.56
ชมพู่ 2	-0.08	46.80	29.79	10.47	5.59	6.80	10.24	3.05		
มะม่วงดิบ 1	-0.175	50.48	30.99	10.55	4.66	5.74	9.09	2.29	2.37	0.11
มะม่วงดิบ 2	-0.08	64.11	30.89	12.23	5.10	6.14	10.20	2.44		
เนื้อสับปะรด 1	-0.0175	60.80	28.20	10.71	4.39	5.62	10.66	3.54	2.57	0.95
เนื้อสับปะรด 2	-0.08	72.66	28.20	10.48	4.44	4.85	10.00	2.86		
เนื้อสับปะรด 3	-0.175	40.62	26.62	8.90	3.46	5.94	7.53	1.27		
เนื้อสับปะรด 4	-0.08	41.64	26.16	6.59	3.04	4.04	6.45	2.59		
แกนสับปะรด 1	-0.0175	31.14	28.01	9.87	4.85	5.69	8.15	3.81	2.9	0.69
แกนสับปะรด 2	-0.08	42.00	26.18	10.75	3.85	4.41	6.72	2.58		
แกนสับปะรด 3	-0.175	31.05	26.82	8.27	3.73	4.63	6.35	2.2		
แกนสับปะรด 4	-0.08	36.07	26.18	8.41	3.85	4.08	6.38	3.02		
แก้วมังกร 1	-0.0175	62.00	28.76	10.07	4.15	5.30	9.05	2.63	2.72	0.22
แก้วมังกร 2	-0.08	68.32	29.41	11.60	3.44	4.75	9.96	2.82		
แก้วมังกร 3	-0.175	66.24	30.89	11.39	4.13	5.61	10.67	2.47		
แก้วมังกร 4	-0.08	64.32	30.90	12.08	3.11	4.75	10.29	2.97		
ทุเรียน 1	-0.0175	66.38	31.02	13.19	3.64	3.88	8.28	2.58	2.62	0.1
ทุเรียน 2	-0.08	63.05	31.36	10.32	2.87	3.92	8.56	2.57		
ทุเรียน 3	-0.175	49.20	31.57	10.65	2.69	4.07	8.13	2.55		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. (ต่อ)

ชนิดของผักผลไม้	ความจุความร้อน	น.น.ตย.(g)	อุณหภูมิตย.(องศา)		อุณหภูมิน้ำ(องศา)			ความร้อนจำเพาะ	เฉลี่ย	SD
			เริ่มต้น	สุดท้าย	เริ่มต้น	สมดุล(Te)	สุดท้าย			
มะละกอดิบ 1	-0.175	73.66	28.67	16.40	3.76	5.01	11.04	3.26	2.45	.0.55
มะละกอดิบ 2	-0.08	67.47	28.71	16.94	3.76	4.92	8.31	2.04		
มะละกอดิบ 3	-0.175	70.18	28.90	14.24	4.97	5.74	9.95	2.23		
มะละกอดิบ 4	-0.08	80.51	28.57	14.78	3.07	4.23	8.98	2.25		
มะละกอสุก 1	-0.0175	65.72	28.47	14.22	2.85	4.85	6.35	1.02	2.22	0.91
มะละกอสุก 2	-0.08	65.70	28.75	9.45	3.04	3.79	7.10	2.01		
มะละกอสุก 3	-0.175	52.78	29.33	10.27	4.03	4.83	8.99	2.8		
มะละกอสุก 4	-0.08	59.43	28.62	11.76	3.18	4.12	8.82	3.04		
ฝรั่ง 1	-0.0175	74.62	27.75	13.15	3.54	4.28	8.73	2.57	2.33	0.45
ฝรั่ง 2	-0.08	67.76	27.92	11.65	3.80	4.31	8.65	2.62		
ฝรั่ง 3	-0.175	65.73	27.92	12.40	3.23	4.38	7.39	1.67		
ฝรั่ง 4	-0.08	63.45	28.59	14.05	2.28	3.86	8.06	2.48		
เผือก 1	-0.0175	72.00	27.91	12.45	3.13	5.15	9.01	2.29	2.18	0.21
เผือก 2	-0.08	77.00	27.73	13.52	2.54	4.09	8.50	2.22		
เผือก 3	-0.175	80.22	27.07	11.95	3.21	4.38	9.65	2.35		
เผือก 4	-0.08	86.91	28.39	13.19	3.29	4.48	8.62	1.88		
ฟักทอง 1	-0.0175	75.42	28.95	12.80	4.05	4.56	9.91	2.9	2.43	0.32
ฟักทอง 2	-0.08	76.20	28.68	16.85	3.65	4.97	9.45	2.29		
ฟักทอง 3	-0.175	73.14	30.65	15.84	6.66	7.05	11.30	2.19		
ฟักทอง 4	-0.08	79.96	30.30	15.10	4.65	6.08	11.05	2.34		
มะม่วงสุก 1	-0.0175	54.67	29.63	8.93	5.89	6.18	8.67	2.14	3.16	0.87
มะม่วงสุก 2	-0.08	52.84	29.06	10.24	5.85	4.91	10.27	4.22		
มะม่วงสุก 3	-0.175	53.25	30.34	11.16	6.91	6.93	10.83	2.89		
มะม่วงสุก 4	-0.08	53.60	29.95	8.37	4.18	4.56	9.33	3.4		

ภาคผนวก ง. ผลการทดลองหาค่าความจุความร้อนของแคลอรี่มิเตอร์

ชนิด	m (g)	m1 (g)	m2 (g)	t1 (C)	t2 (C)	t3 (C)	ความจุความร้อน	เฉลี่ย	SD
กระติก 1.1	413.17	660.66	882.77	3.24	87.436	48.91	-0.25	-0.175	0.11
กระติก 1.2	413.17	666.45	893.46	3.04	90.7085	46.61	-0.10		
กระติก 2.1	413.65	615.00	918.40	3.49	78.1355	49.65	-0.06	-0.08	0.03
กระติก 2.2	413.65	692.38	905.90	4.35	81.8025	39.60	-0.10		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ. ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของผักและผลไม้

ชนิด	ปริมาตร (cm^3)	มวล (g)	ความหนาแน่น (kg / m^3)	เฉลี่ย	SD
กล้วยน้ำว้าสุก 1	3.67	5.06	1378.00	1127.10	124.07
กล้วยน้ำว้าสุก 2	5.78	6.41	1109.00		
กล้วยน้ำว้าสุก 3	4.90	5.01	1023.28		
กล้วยน้ำว้าสุก 4	5.17	5.84	1130.03		
กล้วยน้ำว้าสุก 5	5.36	5.62	1049.49		
กล้วยน้ำว้าสุก 6	5.06	5.07	1002.37		
กล้วยน้ำว้าสุก 7	5.06	6.23	1231.71		
กล้วยน้ำว้าสุก 8	5.51	6.02	1092.96		
ฝรั่ง 1	4.16	5.76	1384.62	1277.89	158.11
ฝรั่ง 2	3.90	4.55	1166.67		
ฝรั่ง 3	4.08	4.57	1120.10		
ฝรั่ง 4	2.34	3.37	1440.17		
มะม่วงดิบ 1	3.31	4.65	1406.53	1249.21	233.10
มะม่วงดิบ 2	2.64	4.76	1803.03		
มะม่วงดิบ 3	3.99	4.53	1135.34		
มะม่วงดิบ 4	3.46	4.26	1231.93		
มะม่วงดิบ 5	3.36	3.90	1160.71		
มะม่วงดิบ 6	8.98	12.29	1369.21		
มะม่วงดิบ 7	11.79	14.39	1220.53		
มะม่วงดิบ 8	12.32	12.58	1021.10		
มะม่วงดิบ 9	10.42	10.58	1015.75		
มะม่วงดิบ 10	3.09	3.49	1127.99		
ละมุด 1	2.39	3.23	1349.21	1145.12	155.79
ละมุด 2	2.75	3.80	1379.81		
ละมุด 3	3.28	3.13	954.27		
ละมุด 4	3.42	3.26	953.22		
ละมุด 5	3.08	3.67	1192.33		
ละมุด 6	2.88	3.07	1065.97		
ละมุด 7	2.78	3.28	1181.98		
ละมุด 8	3.56	4.39	1231.76		
ละมุด 9	2.05	2.40	1171.88		
ละมุด 10	3.56	3.46	970.82		
สับปะรด 1	14.70	13.41	912.24	934.47	77.23
สับปะรด 2	16.25	14.29	879.38		
สับปะรด 3	13.16	11.81	897.69		
สับปะรด 4	13.80	14.47	1048.55		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ. (ต่อ)

ชนิด	ปริมาตร (cm^3)	มวล (g)	ความหนาแน่น (kg / m^3)	เฉลี่ย	SD
มะม่วงสุก 1	13.20	15.73	1192.12	1169.23	22.90
มะม่วงสุก 2	10.93	12.78	1169.26		
มะม่วงสุก 3	9.91	11.36	1146.32		
กล้วยดิบ 1	6.22	6.43	1034.43	1160.07	324.83
กล้วยดิบ 2	9.21	9.65	1047.77		
กล้วยดิบ 3	5.85	6.19	1058.48		
กล้วยดิบ 4	7.90	8.65	1095.49		
กล้วยดิบ 5	8.40	8.19	975.00		
กล้วยดิบ 6	8.82	9.64	1092.97		
กล้วยดิบ 7	7.94	7.77	978.84		
กล้วยดิบ 8	6.08	7.11	1169.41		
กล้วยดิบ 9	6.68	7.20	1078.09		
กล้วยดิบ 10	2.76	5.72	2070.21		
กล้วยหอม 1	7.76	12.33	1588.92	1153.94	158.54
กล้วยหอม 2	13.07	14.20	1086.62		
กล้วยหอม 3	10.76	11.58	1076.21		
กล้วยหอม 4	11.13	13.03	1170.50		
กล้วยหอม 5	11.81	13.70	1160.03		
กล้วยหอม 6	11.09	12.58	1134.56		
กล้วยหอม 7	14.30	15.01	1049.65		
กล้วยหอม 8	12.90	13.71	1062.79		
กล้วยหอม 9	13.37	15.17	1135.05		
กล้วยหอม 10	12.65	13.60	1075.10		
กล้วยไข่ 1	4.28	4.81	1125.15	1180.91	47.60
กล้วยไข่ 2	2.87	3.49	1214.76		
กล้วยไข่ 3	3.15	3.94	1250.79		
กล้วยไข่ 4	3.05	3.56	1169.13		
กล้วยไข่ 5	3.57	3.86	1081.23		
กล้วยไข่ 6	2.45	2.93	1195.92		
กล้วยไข่ 7	2.94	3.50	1190.48		
กล้วยไข่ 8	2.18	2.63	1204.21		
กล้วยไข่ 9	2.74	3.23	1178.83		
กล้วยไข่ 10	2.82	3.38	1198.58		
แกนสับปะรด 1	9.41	10.67	1134.38	1121.76	48.67
แกนสับปะรด 2	14.06	16.53	1175.47		
แกนสับปะรด 3	12.47	13.96	1119.13		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ. (ต่อ)

ชนิด	ปริมาตร (cm^3)	มวล (g)	ความหนาแน่น (kg / m^3)	เฉลี่ย	SD
แกนสับปะรด 4	19.32	20.44	1058.08		
มะละกอสุก 1	7.52	7.65	1016.75	1055.68	69.81
มะละกอสุก 2	5.25	4.98	948.57		
มะละกอสุก 3	2.94	2.86	972.79		
มะละกอสุก 4	2.89	3.07	1063.20		
มะละกอสุก 5	3.94	3.42	868.57		
มะละกอสุก 6	6.83	6.99	1024.18		
มะละกอสุก 7	4.56	4.86	1065.09		
มะละกอสุก 8	4.56	4.77	1045.36		
มะละกอสุก 9	3.17	3.38	1066.92		
มะละกอสุก 10	3.15	3.32	1053.97		
มะละกอสุก 11	8.53	9.07	1063.93		
มะละกอสุก 12	5.99	6.74	1124.83		
มะละกอสุก 13	5.83	6.48	1111.30		
มะละกอสุก 14	5.30	5.95	1121.79		
มะละกอสุก 15	2.73	3.18	1164.84		
มะละกอสุก 16	6.44	6.89	1069.88		
มะละกอสุก 17	5.57	5.70	1023.71		
มะละกอสุก 18	4.66	5.24	1125.67		
มะละกอสุก 19	2.39	2.71	1132.94		
มะละกอสุก 20	2.75	2.89	1049.38		
ชมพู่ 1	4.16	2.90	697.12	751.54	303.27
ชมพู่ 2	4.05	2.09	516.62		
ชมพู่ 3	5.75	3.84	667.94		
ชมพู่ 4	6.13	4.20	685.27		
ชมพู่ 5	2.83	1.94	686.00		
ชมพู่ 6	3.27	2.55	780.53		
ชมพู่ 7	3.24	2.75	848.77		
ชมพู่ 8	1.04	1.48	1429.95		
ชมพู่ 9	1.99	1.88	946.86		
ชมพู่ 10	5.81	1.49	256.34		
ทุเรียน 1	1.66	2.06	1240.96	1171.91	76.94
ทุเรียน 2	1.60	1.76	1100.69		
ทุเรียน 3	2.84	3.51	1235.92		
ทุเรียน 4	3.23	3.59	1110.08		
แก้วมังกร 1	5.25	5.90	1123.81	1113.48	72.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ. (ต่อ)

ชนิด	ปริมาตร (cm^3)	มวล (g)	ความหนาแน่น (kg / m^3)	เฉลี่ย	SD
แก้วมังกร 2	5.81	6.34	1091.22		
แก้วมังกร 3	5.95	6.60	1109.24		
แก้วมังกร 4	7.06	9.18	1301.02		
แก้วมังกร 5	9.64	10.91	1131.74		
แก้วมังกร 6	10.00	10.33	1033.00		
แก้วมังกร 7	9.28	9.96	1073.04		
แก้วมังกร 8	7.50	8.07	1076.00		
แก้วมังกร 9	8.51	9.20	1081.72		
แก้วมังกร 10	7.02	7.82	1113.96		
เผือก 1	6.16	5.85	949.68	972.94	113.97
เผือก 2	6.4262	5.06	787.40		
เผือก 3	4.522	3.95	873.51		
เผือก 4	6.825	6.35	930.40		
เผือก 5	10.556	11.22	1062.90		
เผือก 6	14.0998	12.32	873.77		
เผือก(2) 1	23.31	23.07	989.70		
เผือก(2) 2	27	27.07	1002.59		
เผือก(2) 3	25.08	26.95	1074.56		
เผือก(2) 4	24.975	22.84	914.51		
เผือก(2) 5	27.047	26.84	992.35		
เผือก(2) 6	8.064	9.87	1223.96		
มันเทศ 1	11.935	13.09	1096.77	1099.61	25.80
มันเทศ 2	5.1	5.83	1143.14		
มันเทศ 3	8.81	9.95	1129.40		
มันเทศ 4	12.152	14.03	1154.54		
มันเทศ 5	21.735	23.9	1099.61		
ฟักทอง 1	20.46	21.26	1039.10	1114.55	129.45
ฟักทอง 2	13.97	14.01	1002.86		
ฟักทอง 3	7.14	7.63	1068.63		
ฟักทอง 4	3.76	5.26	1398.94		
ฟักทอง 5	12.79	14.08	1100.86		
ฟักทอง 6	5.775	6.06	1049.35		
ฟักทอง 7	6.321	8.19	1295.68		
ฟักทอง 8	7.8	7.94	1017.95		
ฟักทอง 9	6.45	6.83	1058.91		
ฟักทอง 10	4.68	5.21	1113.25		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. (ต่อ)

ชนิด	ปริมาตร (cm^3)	มวล (g)	ความหนาแน่น (kg / m^3)	เฉลี่ย	SD
มะละกอดิบ 1	3.978	4.3	1080.95	1064.80	95.16
มะละกอดิบ 2	2.844	3.14	1104.08		
มะละกอดิบ 3	4.031	4.17	1034.48		
มะละกอดิบ 4	4.085	3.33	815.18		
มะละกอดิบ 5	3.24	3.52	1086.42		
มะละกอดิบ 6	2.772	3.15	1136.36		
มะละกอดิบ 7	3.402	3.59	1055.26		
มะละกอดิบ 8	1.804	2.1	1164.08		
มะละกอดิบ 9	2	2.16	1080.00		
มะละกอดิบ 10	3.354	3.66	1091.23		

ภาคผนวก ฉ. ผลการทดลองหาค่า pH ของผักและผลไม้

ชนิด	ค่า pH	เฉลี่ย	SD
มะม่วงสุก 1	4.7	4.65	0.07
มะม่วงสุก 2	4.6		
กล้วยน้ำว้าดิบ 1	3.7	3.80	0.14
กล้วยน้ำว้าดิบ 2	3.9		
มะม่วงดิบ 1	2.0	2.15	0.21
มะม่วงดิบ 2	2.3		
เผือก 1	5.6	5.40	0.28
เผือก 2	5.2		
กล้วยน้ำว้าสุก 1	3.8	3.85	0.07
กล้วยน้ำว้าสุก 2	3.9		
กล้วยหอม 1	3.9	3.95	0.07
กล้วยหอม 2	4.0		
กล้วยไข่ 1	4.1	4.15	0.07
กล้วยไข่ 2	4.2		
มันเทศ 1	6.1	6.00	0.14
มันเทศ 2	5.9		
ฟักทอง 1	6.4	6.50	0.14
ฟักทอง 2	6.6		
แกนสับปะรด 1	4.1	4.00	0.14
แกนสับปะรด 2	3.9		
ละมุด 1	5.1	5.05	0.07
ละมุด 2	5.0		
ฝรั่ง 1	3.1	3.10	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ. (ต่อ)

ชนิด	ค่า pH	เฉลี่ย	SD
ฝรั่ง 2	3.1		
สับปะรด 1	2.8	2.75	0.07
สับปะรด 2	2.7		
ทุเรียน 1	6.0	5.95	0.07
ทุเรียน 2	5.9		
แก้วมังกร 1	3.1	3.20	0.14
แก้วมังกร 2	3.3		
มะละกอดิบ 1	6.0	5.90	0.14
มะละกอดิบ 2	5.8		
มะละกอสุก 1	5.4	5.45	0.07
มะละกอสุก 2	5.5		
ชมพู่ 1	3.2	3.20	0.00
ชมพู่ 2	3.2		

ภาคผนวก ช. ผลการทดลองหาค่าความชื้นของผักและผลไม้

ชนิดผักผลไม้	น.น.ฟอยด์ (g)	น.น.ตย. (g)	น.น.ฟอยด์+ตย.(g)ก่อนอบ	น.น.ฟอยด์+ตย.(g)หลังอบ	%moisture	เฉลี่ย	SD
มะม่วงสุก 1	1.11	10.00	11.11	3.07	80.40	81.00	1.49
มะม่วงสุก 2	1.09	10.00	11.09	2.82	82.70		
มะม่วงสุก 3	1.13	10.00	11.13	3.14	79.90		
กล้วยน้ำว้าดิบ 1	1.09	10.00	11.09	4.84	62.50	61.53	1.19
กล้วยน้ำว้าดิบ 2	1.25	10.00	11.25	5.06	61.90		
กล้วยน้ำว้าดิบ 3	1.06	10.00	11.06	5.04	60.20		
มะม่วงดิบ 1	1.07	10.00	11.07	2.88	81.90	82.10	0.92
มะม่วงดิบ 2	1.15	10.00	11.15	2.84	83.10		
มะม่วงดิบ 3	1.08	10.00	11.08	2.95	81.30		
เผือก 1	1.23	10.00	11.23	4.17	70.60	68.80	2.16
เผือก 2	1.04	10.00	11.04	4.10	69.40		
เผือก 3	1.14	10.00	11.14	4.50	66.40		
กล้วยน้ำว้าสุก 1	1.06	10.00	11.06	4.46	66.00	65.20	0.70
กล้วยน้ำว้าสุก 2	1.13	10.00	11.13	4.64	64.90		
กล้วยน้ำว้าสุก 3	1.11	10.00	11.11	4.64	64.70		
กล้วยหอม 1	1.50	10.00	11.50	4.11	73.90	72.37	1.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช. (ต่อ)

ชนิดผักผลไม้	น.น.ฟอยด์ (g)	น.น.ตย. (g)	น.น.ฟอยด์+ตย.(g)ก่อนอบ	น.น.ฟอยด์+ตย.(g)หลังอบ	%moisture	เฉลี่ย	SD
กล้วยหอม 2	1.36	10.00	11.36	4.13	72.30		
กล้วยหอม 3	1.34	10.00	11.34	4.25	70.90		
กล้วยไข่ 1	1.15	10.00	11.15	4.26	68.90	67.90	1.11
กล้วยไข่ 2	1.16	10.00	11.16	4.35	68.10		
กล้วยไข่ 3	1.47	10.00	11.47	4.80	66.70		
มันเทศ 1	1.27	10.00	11.27	4.43	68.40	67.70	0.96
มันเทศ 2	1.03	10.00	11.03	4.22	68.10		
มันเทศ 3	1.01	10.00	11.01	4.35	66.60		
ฟักทอง 1	1.21	10.00	11.21	2.51	87.00	86.93	0.60
ฟักทอง 2	1.14	10.00	11.14	2.51	86.30		
ฟักทอง 3	1.15	10.00	11.15	2.40	87.50		
แกนสับปะรด 1	1.10	10.00	11.10	2.79	83.10	84.10	1.25
แกนสับปะรด 2	1.07	10.00	11.07	2.70	83.70		
แกนสับปะรด 3	1.11	10.00	11.11	2.56	85.50		
ละมุด 1	0.79	10.00	10.79	3.58	72.10	74.50	2.14
ละมุด 2	0.74	10.00	10.74	3.22	75.20		
ละมุด 3	0.80	10.00	10.80	3.18	76.20		
ฝรั่ง 1	0.80	10.00	10.80	1.96	88.40	88.93	1.01
ฝรั่ง 2	0.80	10.00	10.80	1.79	90.10		
ฝรั่ง 3	0.83	10.00	10.83	2.00	88.30		
สับปะรด 1	0.57	10.00	10.57	2.60	79.70	78.90	0.92
สับปะรด 2	0.82	10.00	10.82	2.91	79.10		
สับปะรด 3	0.77	10.00	10.77	2.98	77.90		
ทุเรียน 1	0.99	10.00	10.99	4.87	61.20	59.80	1.28
ทุเรียน 2	1.15	10.00	11.15	5.20	59.50		
ทุเรียน 3	1.10	10.00	11.10	5.23	58.70		
แก้วมังกร 1	1.03	10.00	11.03	2.94	80.90	81.63	0.95
แก้วมังกร 2	1.18	10.00	11.18	3.05	81.30		
แก้วมังกร 3	0.98	10.00	10.98	2.71	82.70		
มะละกอดิบ 1	1.05	10.00	11.05	1.69	93.60	92.90	0.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

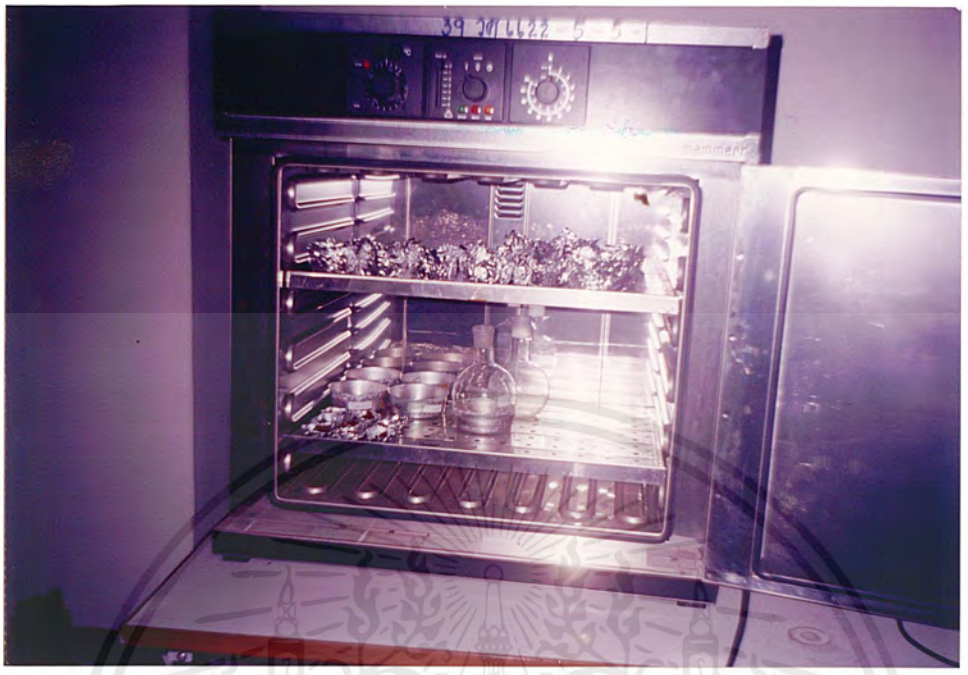
ภาคผนวก ช. (ต่อ)

ชนิดผักผลไม้	น.น.ฟอยด์ (g)	น.น.ตย. (g)	น.น.ฟอยด์+ตย.(g)ก่อนอบ	น.น.ฟอยด์+ตย.(g)หลังอบ	%moisture	เฉลี่ย	SD
มะละกอดิบ 2	0.99	10.00	10.99	1.77	92.20		
มะละกอสุก 1	1.02	10.00	11.02	2.02	90.00	91.20	1.25
มะละกอสุก 2	1.04	10.00	11.04	1.93	91.10		
มะละกอสุก 3	1.09	10.00	11.09	1.84	92.50		
ชมพู่ 1	0.80	10.00	10.80	1.62	91.80	91.13	0.83
ชมพู่ 2	0.83	10.00	10.83	1.81	90.20		
ชมพู่ 3	0.87	10.00	10.87	1.73	91.40		
แตงกวา 1	0.77	10.00	10.77	1.21	95.60	96.23	0.93
แตงกวา 2	0.83	10.00	10.83	1.1	97.30		
แตงกวา 3	0.81	10.00	10.81	1.23	95.80		
ถั่วฝักยาว 1	0.82	10.00	10.82	1.22	96.00	95.57	0.38
ถั่วฝักยาว 2	0.73	10.00	10.73	1.2	95.30		
ถั่วฝักยาว 3	0.78	10.00	10.78	1.24	95.40		

ภาคผนวก ซ. แสดงรูปอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ ซ.1 ตัวอย่างผลไม้ที่นำมาทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ซ.2 แสดงการหาปริมาณน้ำของผักและผลไม้

รูปที่ ซ.3 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผักและผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ซ.4 แสดงการหาค่าความหนาแน่นของผักและผลไม้

รูปที่ ซ.5 แสดงการหาค่าความร้อนจำเพาะของผักและผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณ อาจารย์ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนแนวทางในการแก้ปัญหา อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงงาน

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ สาทิป รัตนภาสกร อาจารย์ สรรวริศ อุ่ยวัฒนา อาจารย์ กันฑ์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา ที่กรุณามาเป็นกรรมการสอบโครงงานและให้คำแนะนำอื่นๆ ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการสร้างและการปรับปรุงแก้ไข เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง จนประสบผลสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ และขอบใจ ผู้ที่ให้กำลังใจในการทำโครงงานฉบับนี้จนสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กนกมณฑล ศรศรีวิชัย. 2525. การเก็บรักษาผลผลิตการเกษตรหลังเก็บเกี่ยว:เทคโนโลยีและสรีรวิทยา. มปท.มปป. หน้า 182-201.

กรมอนามัย. 2535. ตารางคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. สำนักพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก. กรุงเทพมหานคร. หน้า 4-27.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. หน้า 58-71.

ช.ณัฏณ์ศิริ สุยสุวรรณ. 2526. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร. หน้า 27-35.

ปานมนัส ศิริสมบูรณ์. 2528. สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร. หน้า 231-267.

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. 2532. เคมีอาหาร. มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพมหานคร. หน้า 127- 142.

ประวิทย์ โคมทองชูสกุล. 2537. เรียนรู้และเข้าใจ Microsoft Access. เอช เอ็น กรุ๊ป จำกัด. กรุงเทพมหานคร.

Backstrom, E.H.M. and E. Embilk. 1965. Kaltetechnik. 3rd ed. Verlag G. Braun. Karlsruhe.

Bowman, R.C.M.R. 1970. M.Sc.Thesis. Leed University. UK. Cited in Lamb(1976).

Choi, Y. and M.R. Okos. 1983. The thermal properties of tomato juice concentrates. Trans. ASAE 26(1). pp.305-311.

Comini, G., C. Bonacina and S. Barina. 1974. Thermal properties of foodstuffs. Bulletin of Int. Inst. Refrigeration. Annexe 1974-3. 163p.

D'Eustachio and R.E. Schreiner. 1952. A study of a transient method for measuring thermal conductivity. Trans. ASHRAE 58. pp.332-339.

Dominguez, M., C. de Elvira and C. Fuster. 1974. Influence of air velocity and temperature on the two-stage cooling of perishable large-sized products. Annexe 1974-3. pp.83-90.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fernandz-Martin, F. and F. Montes. 1972. Influence of temperature and composition on some physical properties of milk and milk concentration. III. Thermal conductivity. Milch wissenchaft. 27(12). 772p.

Fikin, A. G. 1974. On the thermophysical parameters of frozen foodstuffs. Bulletin of Int. Inst. Refrigeration. Annexe 1974-3. 173p.

Hardenbury, R.E., A.E. Watada and C.Y. Wang. 1986. The Commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. The Superintendent of Dociments. U.S.A. 130p.

Heldman, D.R. and D.P. Gorby. 1975. Prediction of thermal conductivity in frozen foods. Trans. ASAE 18. pp.740-744.

Heldman, D.R. and D.P. Gorby. 1981. Food Process Engineering. 2rd ed. AVI. Westport. Conn.

Heldman, D.R. and R.P. Singh. 1981. Thermal properties of frozen foods. Presented at the Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineering, Chicaco, III., Paper No. 83-6518.

Hooper, F.C. and F.R. Lepper. 1950. Transient heat flow apparatus for the determination of thermal conductivity. Trans. ASHRAE 56. pp.309-324.

Hwang, M.P. and K. Hayakawa. 1979. A specific heat calorimeter for foods. J.Food Sci. 44(2). pp.435-438.

Ibrahim Dincer. 1997. Heat transfer in food cooling applications. Taylor&Francis. U.S.A. 399p.

Kalarov, K.M. and M.A. Gromov. 1973. Khromitelna Promishlenost. 22(10). pp.33. Cited in Lamb(1976).

Lamb, J. 1976. Influence of water on the thermal properties of foods. Chem. Ind. 24. pp.1046-1048.

Lentz, C.P. 1952. A transient heat flow method of determining thermal conductivity: application to insulating materials. Can. J.Technol. 30(6). pp.153-166.

Martens, T. 1980. Mathematical model of heat processing in flat containers. Ph.D. Thesis. Katholeike University. Leuven. Belgium.

Riedel, L. 1956. Calorimetric investigations of the meat freezing of fish meat. Kaltetechni.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8(12). pp.374-377.

Riedel, L. 1969. Measurement of thermal diffusivity of foodstuffs rich in water. Kaltetechnik- Klimatisierung. 21(11). pp.315-316.

Sea Land. 1991. Shipping Guide for Perishables. Sea Land Service.Inc.NJ. pp.21-27.

Sharma, D.K. and T.L. Thompson. 1973. Specific heat and thermal conductivity of sorghum. Trans. ASAE 16(1). pp.114-117.

Siebel, J.E. 1892. Specific heat of various products. Ice Refrig. 2. pp.256-257.

Sweat, V.E. 1974. Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetables. J.Food Sci. 39. pp.1080-1083.

Sweat, V.E. 1975. Modeling the thermal conductivity of meats. Trans. ASAE 18(3). pp.564-568.

Sweat, V.E. 1976. A miniature thermal conductivity probe for foods. ASAE Paper 76-HT-60 Presented at the ASME-AIChE Heat Transfer Conference. St. Louis. Mo.

Sweat, V.E. 1985. Thermal properties of low- and intermediate-moisture food. Trans. ASHRAE 91(2A). pp.369-390.

van der Held , E.F.M. and F.G. van Drunen. 1949. A method of measuring the thermal conductivity of liquid. Physica. 15. pp.865-881.

Wallapapan K. 1984. Thermal diffusivity and conductivity of defatted soy flour. Trans. ASAE 27(5). pp.1610-1613.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้