ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก 1 การวัดความถ่วงจำเพาะโดยวิธี Platform Scale (Mohsenin, 1986)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างในอากาศ จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่อยู่ในน้ำ คำนวณปริมาตรของตัวอย่างได้จากสมการ

$$V = \frac{W_1}{\rho_w}$$

เมื่อ ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

V คือ ปริมาตรของตัวอย่าง (m^3)

W_1 คือ น้ำหนักน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยตัวอย่าง (kg)

เมื่อทราบน้ำหนักในอากาศและปริมาตรของตัวอย่างแล้ว สามารถหาความหนาแน่นของตัวอย่างได้จากอัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นคำนวณหาความถ่วงจำเพาะได้จากสมการ

$$SG = \frac{W_a \times SG_w}{W_1}$$

เมื่อ SG คือ ความถ่วงจำเพาะของตัวอย่าง

SG_w คือ ความถ่วงจำเพาะของน้ำ

W_a คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ (kg)

โดย น้ำที่ 27°C มีความถ่วงจำเพาะ 1.003 (Perry *et al*., 1984)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก 2 การหาปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรตได้โดยวิธี Glass Electrode Method (AOAC 942.15, 2000)

ก่อนการวิเคราะห์ ทำการตรวจสอบ pH meter โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน จุ่ม electrode ในบีกเกอร์ซึ่งบรรจุตัวอย่าง (ตัวอย่างควรจะมีปริมาตร 100-200 ml และใช้ 0.1 M NaOH ในการไตเตรต ในช่วง 10-50 ml) เขย่าสม่ำเสมอ วัดปริมาณ 0.1 M NaOH ที่ใช้ในการไตเตรตจนค่า pH ของตัวอย่างอยู่ในช่วง 8.10 ± 0.02 คำนวณปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรตได้ในรูปของปริมาณกรดซิตริกซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกรดในเนื้อมะม่วง โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรตได้ (ร้อยละ)} = \frac{(\text{ml NaOH})(\text{N NaOH})(\text{meq.wt.Citric acid}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เมื่อ ml NaOH คือ ปริมาณสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไตเตรต (ml)

N NaOH คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (N)

meq.wt.Citric acid คือ น้ำหนักโมเลกุลของกรดซิตริกมีค่าเป็น 0.064

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก 3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์ความชื้น โดยวิธี Oven Method (AOAC, 2000)

นำตัวอย่างมะม่วงมาปั่นละเอียด ให้ได้ชิ้นละประมาณ 20 g อบในตู้อบด้วยอุณหภูมิ 70°C ภายใต้ความดัน $\leq$ 100 mm Hg (13.3 kPa) อบจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นทิ้งให้เย็นใน desicator นาน 30 นาที บันทึกน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและน้ำหนักแห้งหลังอบ คำนวณหาความชื้นจากสูตร

$$\text{ความชื้น (\% มาตรฐานเปียก)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ - น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl Method

ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC 920.152 (2000)

ในการทดลองได้ดัดแปลงการทดลองโดยใช้น้ำหนักตัวอย่าง 3.0000 ± 0.0005 g เปลี่ยนปริมาตรของกรด H_2SO_4 จาก 2 ml เป็น 20 ml และใช้สารเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนจาก K_2SO_4 1.30 ± 0.05 g และ HgO 40 ± 5 mg เป็น K_2SO_4 10 ± 0.05 g และ $CuSO_4$ 1 ± 0.05 g และมีการเติมน้ำกลั่นเปลี่ยนจาก 5 ml เป็น 40 ml จากนั้นดักจับไอแอมโมเนียด้วย H_3BO_4 4% w/v ปริมาตรเปลี่ยนจาก 5 ml เป็น 40 ml และสำหรับ NaOH 32% w/v ที่ใช้กลั่นในการทดลองจะไม่มีการเติม $Na_2S_2O_3.5H_2O$ ลงไป

<u>การเตรียมสารละลาย Indicating Boric acid</u>

ชั่ง 200 ml Methyl red indicator ละลายใน 5 % Ethylalcohol 100 ml และชั่ง 100 ml Methylene blue indicator ละลายใน 95% Ethylalcohol 50 ml แล้วผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน นำสารละลายที่ผสมได้มา 10 ml แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้งที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2.0 g ใส่ลงใน Kjeldahl tube

2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา 10 g และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 ml

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3. นำไปย่อยด้วยเครื่อง Kjeldahltherm อุณหภูมิที่ใช้ย่อย 400°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนตัวอย่างเป็นสีเขียวใส

4. ทิ้งให้ Kjeldahl tube เย็นที่อุณหภูมิห้อง

5. ต่อ Kjeldahl tube เข้ากับเครื่องกลั่น เติมน้ำกลั่นลงไป 40 ml เพื่อละลายตะกอนที่เกิดขึ้น เติม 32% NaOH ลงไป 50 ml หรือจนตัวอย่างกลายเป็นสีดำ

6. ดักจับไอแอมโมเนียที่กลั่นได้ด้วย 4% Boric acid 40 ml หยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด สารละลายที่ได้จะมีสีม่วงอ่อน

7. กลั่นตัวอย่างประมาณ 4 นาทีหรือจนไอของ NH_3 ถูกกลั่นจนหมด

8. นำสารละลายในขวดรองรับที่เปลี่ยนจากสีม่วงอ่อนกลายเป็นสีเขียวอ่อนมาไตเตรตด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวอ่อนเป็นสีม่วงอ่อน คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีน โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{\text{ปริมาตร NaOH ที่ใช้ไตเตรต (ml) x ความเข้มข้นNaOH (N) x 1.4}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (g)}}$$

ปริมาณโปรตีนในมะม่วง (ร้อยละ) = ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ) × 6.25*

* factor ที่ใช้คำนวณปริมาณโปรตีนในผลไม้ = 6.25

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยวิธี Soxhlet Method

ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2000) Solvent ที่ใช้คือ Petroleum ether โดยเปลี่ยนจากเติม Solvent 50 ml เป็น 80 ml

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างแห้งที่บดละเอียด 3.0000 $\pm$ 0.0010 g (W_1) ลงในกระดาษกรอง
2. พับกระดาษกรองห่อตัวอย่างให้เรียบร้อย ใส่ลงใน Thimble
3. ใส่ Thimble เข้าไปในเครื่อง Soxtec HT
4. ชั่งน้ำหนักถ้วย (Extraction cup) (W_2) จากนั้นเติม Solvent ลงในถ้วย 80 ml
5. ใส่ถ้วยเข้าไปในเครื่อง Soxtec HT
6. กำหนดขั้นตอนการทำงานของเครื่อง ดังนี้

- Boiling 25 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

- Rinsing 50 นาที
- Solvent Recovering 10 นาที
- Drying 5 นาที

7. นำถ้วยออกจากเครื่อง Soxtec HT นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 30 นาที

8. นำมาทิ้งให้เย็นใน desicator จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วย (W_3)

คำนวณหาปริมาณไขมันจาก

$$\% fat = \frac{W_3 - W_2}{W_1} \times 100$$

หมายเหตุ : ขั้นตอน Boiling เป็นการจุ่ม thimble ลงใน solvent เพื่อให้ solvent ละลายไขมันส่วนใหญ่ออกจากตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC 940.26 (2000)

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 5.00 $\pm$ 0.01 g ใส่ใน crucible ที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักแน่นอน

2. นำตัวอย่างเข้าเผาใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 525°C จนได้เถ้าสีขาวหรือเมื่อน้ำหนักคงที่

3. ทิ้งให้เย็นใน desicator เป็นเวลา 30 นาที

4. ชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาปริมาณเถ้า โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังเผา(กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}} \times 100$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5. การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยวิธี Proximate Analysis

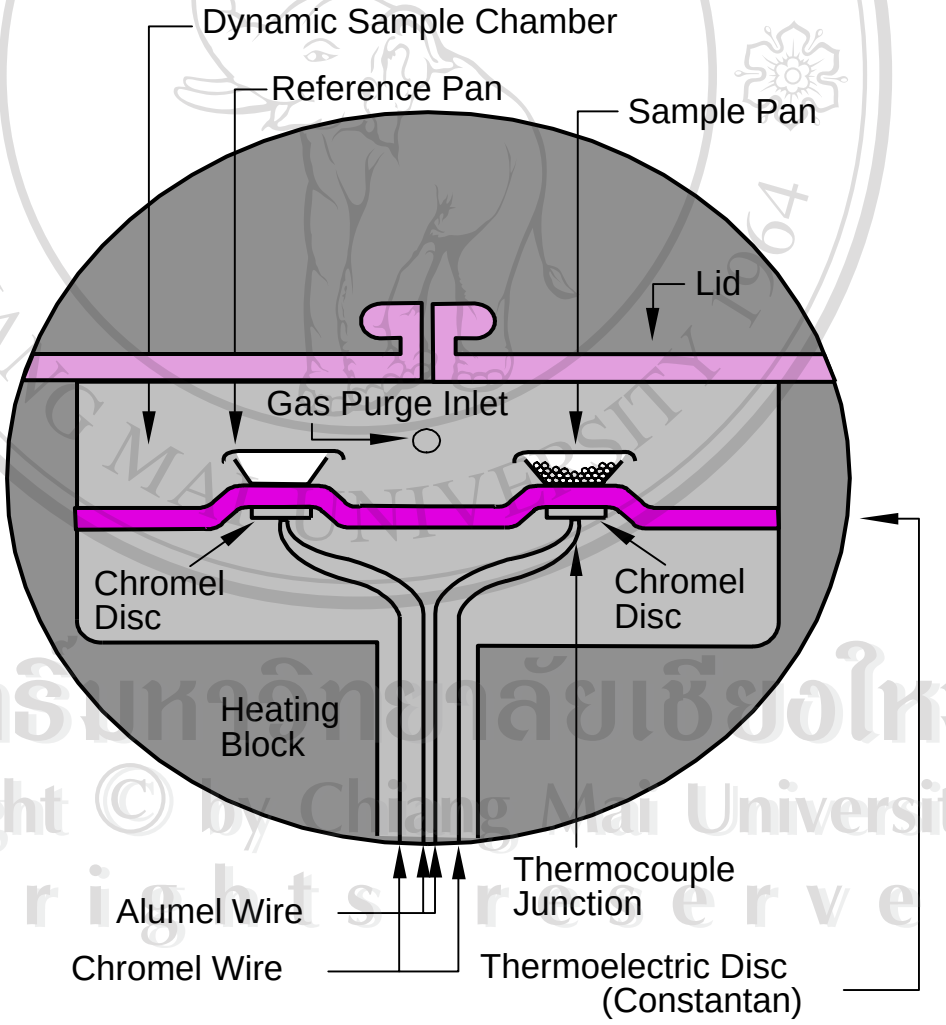
เป็นการหาค่าโดยวิธีหักออก (by difference) โดยที่

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ) = 100 – (ความชื้น + โปรตีน + ไขมัน + เถ้า)

ภาคผนวก ก 4 หลักการทำงานของ Differential Scanning Calorimetry (DSC)

(TA Instruments, 1998)

ภายในตัวเครื่องประกอบด้วยถ้วยที่บรรจุวัสดุที่ทำการวัด (sample pan) และถ้วยเปล่าที่เป็นตัวอ้างอิง (reference pan) วางในลักษณะตามรูป ก1 ซึ่งแผ่นนำความร้อน (heating block) จะให้ความร้อนกับถ้วยทั้งสอง ในการทำงานจะวัดความแตกต่างของอุณหภูมิของถ้วยทั้งสองด้วยเทอร์โมคับเปิล ดังรูป จากนั้นเครื่องจะทำการประมวลผล



รูป ก 1 ส่วนประกอบของห้องอบในเครื่อง DSC

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก 5 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์อัตราการหายใจ โดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph

สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีรายละเอียด ดังนี้

หัววัด	:	ระบบ Thermal Conductivity Detector (TCD)
ก๊าซพา (Carrier gas)	:	Helium
อุณหภูมิของ Block	:	60°C
อุณหภูมิในการ Transfer	:	120°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข 1 ค่าความร้อนจำเพาะของมะม่วงในช่วงการลดอุณหภูมิจาก 28.0°C ไปเป็น 13.0°C

อุณหภูมิ (°C)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·°C)			
	เปลือกมะม่วง		เนื้อมะม่วง	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
28.0	3.457	0.144	3.731	0.175
27.0	3.466	0.116	3.715	0.162
26.0	3.471	0.097	3.701	0.151
25.0	3.476	0.087	3.687	0.146
24.0	3.480	0.084	3.677	0.145
23.0	3.484	0.083	3.670	0.146
22.0	3.485	0.082	3.662	0.148
21.0	3.484	0.084	3.655	0.150
20.0	3.482	0.087	3.651	0.151
19.0	3.482	0.091	3.649	0.153
18.0	3.483	0.094	3.648	0.154
17.0	3.483	0.098	3.647	0.156
16.0	3.484	0.102	3.645	0.158
15.0	3.484	0.105	3.644	0.160
14.0	3.484	0.108	3.642	0.161
13.0	3.484	0.112	3.640	0.162

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข 2 ค่าความร้อนจำเพาะของมะม่วงในช่วงการเพิ่มอุณหภูมิจาก 28.0°C ไปเป็น 47.0°C

อุณหภูมิ (°C)	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·°C)			
	เปลือกมะม่วง		เนื้อมะม่วง	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
28.0	3.158	0.074	3.702	0.168
29.0	3.179	0.061	3.708	0.167
30.0	3.203	0.062	3.715	0.170
31.0	3.224	0.073	3.718	0.173
32.0	3.244	0.089	3.718	0.173
33.0	3.266	0.108	3.719	0.173
34.0	3.290	0.133	3.721	0.175
35.0	3.316	0.160	3.723	0.177
36.0	3.343	0.188	3.724	0.178
37.0	3.373	0.219	3.725	0.180
38.0	3.406	0.252	3.727	0.182
39.0	3.440	0.288	3.730	0.185
40.0	3.476	0.326	3.735	0.189
41.0	3.515	0.366	3.740	0.192
42.0	3.558	0.410	3.747	0.196
43.0	3.603	0.455	3.754	0.199
44.0	3.651	0.503	3.761	0.202
45.0	3.703	0.552	3.769	0.203
46.0	3.757	0.604	3.780	0.200
47.0	3.815	0.657	3.813	0.159

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข 3 ปริมาณความร้อนจากการหายใจขณะทำการลดอุณหภูมิจาก 28.0°C ไปเป็น 13.0°C (ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 13.0 ± 0.5°C)

ชั่วโมงที่	ความร้อนจากการหายใจ (W/kg)
0	0.164[b]
1	0.143[b]
2	0.065[a]
3	0.076[a]
4	0.067[a]
5	0.044[a]
6	0.053[a]

หมายเหตุ : อักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (Least Significant Difference) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข 4 ปริมาณความร้อนจากการหายใจขณะทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 28.0°C ไปเป็น 46.5°C (ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 50.0 $\pm$ 0.5°C)

นาทีที่	ความร้อนจากการหายใจ (W/kg)
0	0.253^{c}
60	0.307^{b}
160	0.741^{a}

หมายเหตุ : อักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (Least Significant Difference) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข 5 ผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลมะม่วงขณะทำการลดอุณหภูมิจาก 28.0°C ไปเป็น 13.0°C (ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 13.0 ± 0.5°C)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)						
	อากาศ	Plane m =					
		5	4	3	2	1	0
0	12.8	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
10	12.8	24.5	26.1	27.1	27.7	27.9	28.0
20	12.8	23.3	24.8	25.9	26.7	27.1	27.3
30	12.8	22.4	23.8	24.9	25.6	26.1	26.2
40	12.8	21.7	22.9	23.9	24.6	25.0	25.2
50	12.8	21.0	22.1	23.0	23.7	24.1	24.2
60	12.8	20.3	21.4	22.2	22.8	23.2	23.3
70	12.8	19.7	20.7	21.4	22.0	22.3	22.5
80	12.8	19.2	20.0	20.8	21.3	21.6	21.7
90	12.8	18.6	19.5	20.1	20.6	20.9	21.0
101	12.8	18.2	18.9	19.5	20.0	20.2	20.3
111	12.8	17.8	18.4	19.0	19.4	19.6	19.7
121	12.8	17.4	18.0	18.5	18.9	19.1	19.2
131	12.8	17.0	17.6	18.1	18.4	18.6	18.7
141	12.8	16.7	17.2	17.6	17.9	18.1	18.2
151	12.8	16.4	16.8	17.2	17.5	17.7	17.8
161	12.8	16.1	16.5	16.9	17.2	17.3	17.4
171	12.8	15.8	16.2	16.6	16.8	17.0	17.0
181	12.8	15.6	16.0	16.3	16.5	16.6	16.7
191	12.8	15.3	15.7	16.0	16.2	16.3	16.4
201	12.8	15.1	15.5	15.7	15.9	16.0	16.1
211	12.8	15.0	15.3	15.5	15.7	15.8	15.8
220	12.8	14.8	15.1	15.3	15.5	15.6	15.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข 5 (ต่อ) ผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลมะม่วงขณะทำการลดอุณหภูมิจาก 28.0°C ไปเป็น 13.0°C (ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 13.0 ± 0.5°C)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)						
	อากาศ	Plane m =					
		5	4	3	2	1	0
230	12.8	14.7	14.9	15.1	15.3	15.4	15.4
240	12.8	14.5	14.7	14.9	15.1	15.2	15.2
250	12.8	14.4	14.6	14.8	14.9	15.0	15.0
260	12.8	14.2	14.4	14.6	14.7	14.8	14.8
270	12.8	14.1	14.3	14.5	14.6	14.6	14.7
280	12.8	14.0	14.2	14.3	14.4	14.5	14.5
290	12.8	13.9	14.1	14.2	14.3	14.4	14.4
300	12.8	13.8	14.0	14.1	14.2	14.2	14.2
310	12.8	13.8	13.9	14.0	14.1	14.1	14.1
320	12.8	13.7	13.8	13.9	14.0	14.0	14.0
330	12.8	13.6	13.7	13.8	13.9	13.9	13.9
340	12.8	13.5	13.6	13.7	13.8	13.8	13.8
350	12.8	13.5	13.6	13.7	13.7	13.7	13.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข 6 ผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลมะม่วงขณะทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 28.3°C ไปเป็น 46.5°C (ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 48.0 $\pm$ 0.5°C)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)						
	น้ำร้อน	Plane m =					
		5	4	3	2	1	0
0	48.4	38.4	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3
1	48.4	48.4	31.4	28.3	28.3	28.3	28.3
2	48.4	48.4	36.0	29.3	28.3	28.3	28.3
3	48.4	48.4	38.2	31.3	28.7	28.3	28.3
5	48.4	48.4	39.7	32.9	29.6	28.5	28.3
6	48.4	48.4	40.7	34.3	30.6	29.0	28.5
7	48.4	48.4	41.5	35.5	31.6	29.7	29.0
8	48.4	48.4	42.2	36.5	32.6	30.5	29.7
9	48.4	48.4	42.7	37.4	33.5	31.3	30.5
10	48.4	48.4	43.2	38.2	34.4	32.2	31.3
12	48.4	48.4	43.6	38.9	35.3	33.1	32.2
13	48.4	48.4	43.9	39.6	36.1	34.0	33.1
14	48.4	48.4	44.2	40.1	36.9	34.8	34.0
15	48.4	48.4	44.5	40.7	37.6	35.6	34.8
16	48.4	48.4	44.8	41.2	38.3	36.4	35.6
17	48.4	48.4	45.0	41.6	38.9	37.1	36.4
19	48.4	48.4	45.2	42.1	39.5	37.8	37.1
20	48.4	48.4	45.4	42.5	40.0	38.5	37.8
21	48.4	48.4	45.6	42.9	40.6	39.1	38.5
22	48.4	48.4	45.8	43.2	41.1	39.7	39.1
23	48.4	48.4	46.0	43.5	41.5	40.2	39.7
24	48.4	48.4	46.1	43.8	42.0	40.7	40.2
26	48.4	48.4	46.3	44.1	42.4	41.2	40.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข 6 (ต่อ) ผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลมะม่วงขณะทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 28.3°C ไปเป็น 46.5°C (ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 48.0 ± 0.5°C)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)						
	น้ำร้อน	Plane m =					
		5	4	3	2	1	0
27	48.4	46.4	44.4	42.7	41.7	41.2	46.4
28	48.4	46.5	44.6	43.1	42.1	41.7	46.5
29	48.4	46.6	44.9	43.4	42.5	42.1	46.6
30	48.4	46.8	45.1	43.7	42.9	42.5	46.8
31	48.4	46.9	45.3	44.0	43.2	42.9	46.9
32	48.4	47.0	45.5	44.3	43.5	43.2	47.0
34	48.4	47.0	45.7	44.6	43.8	43.5	47.0
35	48.4	47.1	45.9	44.8	44.1	43.8	47.1
36	48.4	47.2	46.0	45.0	44.4	44.1	47.2
37	48.4	47.3	46.2	45.2	44.6	44.4	47.3
38	48.4	47.4	46.3	45.4	44.9	44.6	47.4
39	48.4	47.4	46.4	45.6	45.1	44.9	47.4
41	48.4	47.5	46.6	45.8	45.3	45.1	47.5
42	48.4	47.5	46.7	46.0	45.5	45.3	47.5
43	48.4	47.6	46.8	46.1	45.7	45.5	47.6
44	48.4	47.6	46.9	46.3	45.9	45.7	47.6
45	48.4	47.7	47.0	46.4	46.0	45.9	47.7
46	48.4	47.7	47.1	46.5	46.2	46.0	47.7
48	48.4	47.8	47.2	46.6	46.3	46.2	47.8
49	48.4	47.8	47.2	46.7	46.4	46.3	47.8
50	48.4	47.9	47.3	46.9	46.6	46.4	47.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

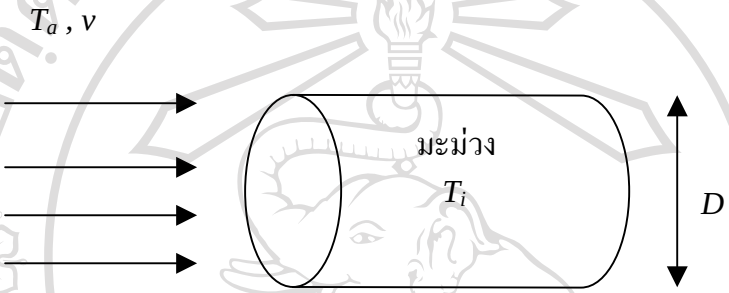
การคำนวณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค 1 การคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Geankoplis, 1993)

สมมติฐาน

พิจารณามะม่วงมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก สมบัติทางความร้อนของมะม่วงมีค่าคงที่ และตัวกลางไหลผ่านทรงกระบอกในแนวแกน



ตัวกลาง

สภาวะเริ่มต้น:

มะม่วง;	อุณหภูมิเริ่มต้น (T_i)	=	28.0°C
	เส้นผ่าศูนย์กลาง (D)	=	0.06775 m
ตัวกลาง;	อากาศ		
	อุณหภูมิ (T_a)	=	12.8°C
	ความเร็ว (v)	=	0.6 m/s

การคำนวณ:

คำนวณอุณหภูมิฟิล์ม (T_f)

$$T_f = \frac{T_i + T_a}{2}$$

$$T_f = 20.4°C$$

สมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ 20.4°C

ค่าการนำความร้อน (k)	=	0.0257 W/m·°C
ความหนาแน่น (ρ)	=	1.205 kg/m^3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ความหนืด (μ) = 1.82×10^{-5} kg/m·s

Prandtl number (Pr) = 0.71

คำนวณ Reynolds number (Re)

$$\mathrm{Re} = \frac{Dv\rho}{\mu}$$

$$\mathrm{Re} = 2.69 \times 10^{3}$$

เมื่อ $40 < \mathrm{Re} < 4 \times 10^{3}$

$C = 0.683$

$m = 0.466$

คำนวณ Nusselt number (Nu) จาก

$$Nu = C\,\mathrm{Re}^{m}\,\mathrm{Pr}^{1/3}$$

$$Nu = 24.17$$

คำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) จาก

$$Nu = \frac{hD}{k}$$

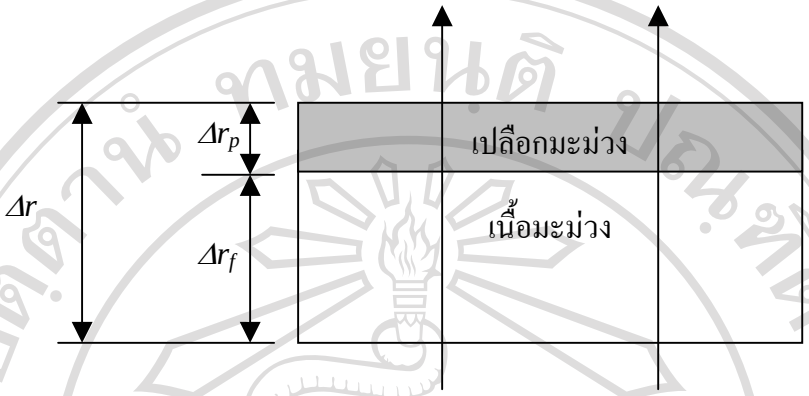
$$h = Nu\frac{k}{D}$$

$h = 9.17$ W/m^2·°C

ดังนั้น สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศในสภาวะนี้เท่ากับ 9.17 W/m^2·°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค 2 การคำนวณค่าการนำความร้อนของเปลือกรวมกับเนื้อมะม่วง



กำหนดให้

ค่าการนำความร้อนของเปลือก	(k_p)	=	0.4692 W/m·°C
ค่าการนำความร้อนของเนื้อ	(k_f)	=	0.4398 W/m·°C
ความหนาของส่วน *m*	(Δr)	=	6.78×10^{-3} m
ความหนาของเปลือก	(Δr_p)	=	1.15×10^{-3} m
ความหนาของเนื้อ	(Δr_f)	=	$\Delta r - \Delta r_p$
		=	5.63×10^{-3} m

พื้นที่หน้าตัด (*A*) มีหน่วยเป็น m^2

สัดส่วนปริมาตรของเปลือก (v_p)

$$v_p = \frac{\Delta r_p A}{\Delta r A} = \frac{\Delta r_p}{\Delta r}$$

$$v_p = 0.17$$

สัดส่วนปริมาตรของเนื้อ (v_f)

$$v_f = \frac{\Delta r_f A}{\Delta r A} = \frac{\Delta r_f}{\Delta r}$$

$$v_f = 0.83$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การถ่ายเทความร้อนจากผิวมะม่วงลึกลงไปเป็นระยะ Δr เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบอนุกรม ค่าการนำความร้อนของเปลือกและเนื้อ (k_{pf}) คำนวณโดยใช้ Series Model (Sweat, 1994)

$$\frac{1}{k_{pf}} = \frac{v_p}{k_p} + \frac{v_f}{k_f}$$

$$k_{pf} = 0.4445 \text{ W/m·°C}$$

พบว่าที่ช่วงความหนา Δr จากเปลือกมะม่วง ค่าการนำความร้อนที่คำนวณได้มีค่า แตกต่างจากค่าการนำความร้อนของเนื้อน้อยมาก โดยแตกต่างกันน้อยกว่า 5% ดังนั้นในการใช้งานจริงสามารถใช้ค่าการนำความร้อนของเนื้อในการคำนวณแทน ทั้งนี้เพราะการวัดค่าการนำ ความร้อนที่บริเวณเปลือกโดยตรงมีข้อจำกัดบางประการ อย่างไรก็ตามการหาค่าการนำความร้อนจากองค์ประกอบทางเคมีก็ถือเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเช่นกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค 3 ผลของความร้อนจากการหายใจต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลมะม่วง

สมดุลพลังงานสำหรับวัตถุทรงกระบอก

Heating rate = Heat conduction within fruit + Heat generation

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}\right) + Q$$

หารด้วย ρC_p ทั้งสองข้าง ;

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{1}{\rho C_p}Q$$

เมื่อ $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$;

$$\frac{T_{m,n+1} - T_{m,n}}{\Delta t} = \alpha\left(\frac{T_{m,n} - 2T_{m,n} + T_{m-1,n}}{(\Delta r)^2}\right) + \alpha\left(\frac{1}{m\Delta r}\frac{T_{m+1,n} - T_{m,n}}{\Delta r}\right) + \frac{1}{\rho C_p}Q$$

คูณด้วย Δt ;

$$T_{m,n+1} - T_{m,n} = \frac{\alpha\Delta t}{(\Delta r)^2}\left(T_{m+1,n} - 2T_{m,n} + T_{m-1,n}\right) + \frac{\alpha\Delta t}{(\Delta r)^2}\frac{1}{m}\left(T_{m+1,n} - T_{m,n}\right) + \frac{\Delta t}{\rho C_p}Q$$

$$T_{m,n+1} = T_{m,n} + \frac{\alpha\Delta t}{(\Delta r)^2}\left(T_{m+1,n} - 2T_{m,n} + T_{m-1,n}\right) + \frac{\alpha\Delta t}{(\Delta r)^2}\frac{1}{m}\left(T_{m+1,n} - T_{m,n}\right) + \frac{\Delta t}{\rho C_p}Q$$

ที่ตำแหน่งใด ๆ ($0 < m < 5$)

$$T_{m,n+1} = T_{m,n} + F_0\left(T_{m+1,n} - 2T_{m,n} + T_{m-1,n}\right) + \frac{F_0}{m}\left(T_{m+1,n} - T_{m,n}\right) + \frac{\Delta t}{\rho C_p}Q$$

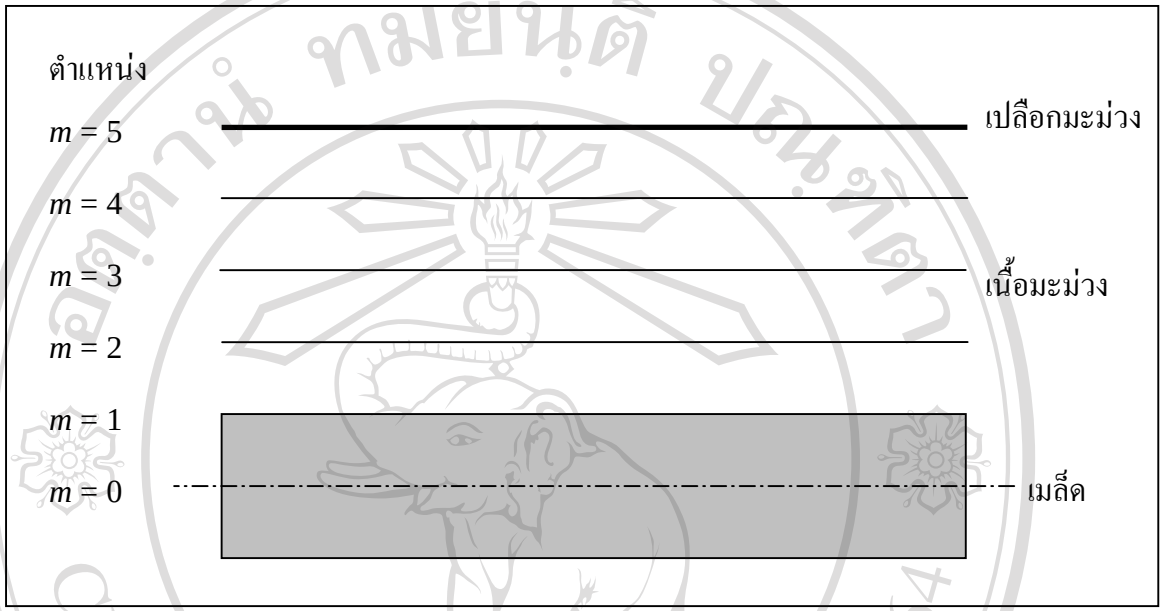
ที่แกนกลาง ($m = 0$)

$$T_{m,n+1} = T_{m,n} + 4F_0\left(T_{m+1,n} - T_{m,n}\right) + \frac{\Delta t}{\rho C_p}Q$$

ผลของความร้อนจากการหายใจอยู่ในเทอมของ Q (W/m^3) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นปริมาณ $\frac{\Delta t}{\rho C_p}Q$ °C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค 4 การใช้ระเบียบวิธี finite difference ทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลมะม่วงขณะทำการลดอุณหภูมิจาก 28.0°C ไปเป็น 13.0°C (ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 13.0 $\pm$ 0.5°C)



มะม่วง; อุณหภูมิเริ่มต้น (T_i) = 28.0°C

เส้นผ่าศูนย์กลาง (D) = 0.06775 m

ความหนาของเมล็ด = 13.55×10^{-3} m

แบ่งพิจารณาเป็น 5 ส่วน (m = 5)

$$\Delta r = \frac{D}{2m}$$

$$\Delta r = 6.78 \times 10^{-3} \text{ m}$$

ตัวกลาง; อากาศ

อุณหภูมิ (T_a) = 12.8°C

ความเร็ว (v) = 0.6 m/s

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน(h) = 9.17 W/m^2·°C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

มะม่วงมีสมบัติทางความร้อนดังนี้

ค่าความร้อนจำเพาะของเนื้อ (C_p)	=	3.726 kJ/kg·°C
ความหนาแน่นของเนื้อ (ρ)	=	1033 kg/m^3
ค่าการนำความร้อนของเนื้อ (k_f)	=	0.4398 W/m·°C
ค่าการนำความร้อนของเปลือก (k_p)	=	0.3583 W/m·°C
ค่าการนำความร้อนของเปลือกและเนื้อ (k_{pf})	=	0.4445 W/m·°C

คำนวณค่าการแพร่ความร้อน (α)

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

α = 1.143 x 10 $^{-7}$ m^2/s

สมการ finite difference สำหรับหาอุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ ของวัตถุรูปทรงกระบอกเป็นดังนี้

ที่แกนกลาง (m = 0) ;

$$T_{0,n+1} = 4F_0T_{1,n} + (1-4F_0)T_{0,n}$$

ที่ตำแหน่งใด ๆ ภายในผล (5 < m <0);

$$T_{m,n+1} = (F_0 + \frac{F_0}{m})T_{m+1,n} + \left(1-2F_0-\frac{F_0}{m}\right)T_{m,n} + (F_0)T_{m-1,n}$$

ที่บริเวณผิวหน้า (m = 5);

$$T_{m,n+1} = \frac{BiT_{a,n+1} + T_{m-1,n+1}}{1+Bi}$$

เมื่อ Bi คือ finite difference form of Biot number

$$Bi = \frac{h\Delta r}{k_{pf}}$$

Bi = 0.140

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับทรงกระบอก ใช้ $F_0 \leq ¼$ (Geankoplis, 1993)

กำหนดให้ F_0 = ¼

คำนวณ Δt จาก

$$F_0 = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta r)^2}$$

$$\Delta t = 100.54 \text{ s}$$

Initial condition ($t = 0$) ;

$$T_{(m,0)} = T_i$$

จากค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ สมการ finite difference สำหรับหาอุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ ของผลมะม่วงเป็นดังนี้

เมื่อ F_0 = ¼

ที่แกนกลาง ($m = 0$) ;

$$T_{0,n+1} = T_{1,n}$$

ที่ตำแหน่งใด ๆ ภายในผล ($5 < m < 0$);

$$T_{m,n+1} = (0.25 + \frac{0.25}{m})T_{m+1,n} + \left(0.5 - \frac{0.25}{m}\right)T_{m,n} + (0.25)T_{m-1,n}$$

ที่บริเวณผิวหน้า ($m = 5$);

$$T_{5,n+1} = \frac{0.140T_{a,n+1} + T_{m-1,n+1}}{1.140}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค 5 การใช้ระเบียบวิธี finite difference ทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผลมะม่วงขณะทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 28.3°C ไปเป็น 46.5°C (ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 48.0 $\pm$ 0.5°C)

มะม่วง; อุณหภูมิเริ่มต้น (T_i) = 28.3°C

เส้นผ่าศูนย์กลาง (D) = 0.05642 m

ความหนาของเมล็ด = 11.28×10^{-3} m

แบ่งพิจารณาเป็น 5 ส่วน (m = 5)

$$\Delta r = \frac{D}{2m}$$

$$\Delta r = 5.64 \times 10^{-3} \text{ m}$$

ตัวกลาง; น้ำร้อน

อุณหภูมิ (T_a) = 48.4°C

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลการทดลอง พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวมะม่วงเป็นไปอย่างรวดเร็ว จึงถือว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) มีค่าสูงมาก

มะม่วงมีสมบัติทางความร้อนดังนี้

ค่าความร้อนจำเพาะของเนื้อ (C_p) = 3.726 kJ/kg·°C

ความหนาแน่นของเนื้อ (ρ) = 1033 kg/m^3

ค่าการนำความร้อนของเนื้อ (k_f) = 0.4398 W/m·°C

ค่าการนำความร้อนของเปลือก (k_p) = 0.4692 W/m·°C

ค่าการนำความร้อนของเปลือกและเนื้อ (k_{pf}) = 0.4225 W/m·°C

คำนวณค่าการแพร่ความร้อน (α)

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

$$\alpha = 1.143 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สมการ finite difference สำหรับหาอุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ ของวัตถุรูปทรงกระบอกเป็นดังนี้

ที่แกนกลาง ($m = 0$) ;

$$T_{0,n+1} = 4F_0T_{1,n} + (1-4F_0)T_{0,n}$$

ที่ตำแหน่งใดๆ ภายในผล ($5<m<0$);

$$T_{m,n+1} = (F_0 + \frac{F_0}{m})T_{m+1,n} + \left(1-2F_0 - \frac{F_0}{m}\right)T_{m,n} + (F_0)T_{m-1,n}$$

สำหรับทรงกระบอก ใช้ $F_0 \leq$ ¼ (Geankoplis, 1993)

กำหนดให้ F_0 = ¼

คำนวณ Δt จาก

$$F_0 = \frac{\alpha\Delta t}{(\Delta r)^2}$$

Δt = 69.57 s

Initial condition ($t = 0$) ;

$$T_{5,0} = \frac{T_i(r) + T_a}{2}$$

$$T(r,t) = T_i(r)$$

จากค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ สมการ finite difference สำหรับหาอุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ ของมะม่วงเป็นดังนี้

เมื่อ F_0 = ¼

ที่แกนกลาง ($m = 0$) ;

$$T_{0,n+1} = T_{1,n}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ตำแหน่งใด ๆ ภายในผล ($5< m < 0$);

$$T_{m,n+1} = (0.25 + \frac{0.25}{m})T_{m+1,n} + \left(0.5 - \frac{0.25}{m}\right)T_{m,n} + (0.25)T_{m-1,n}$$

ที่บริเวณผิวหน้า ($m = 5$);

ตั้งสมมติฐานว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าสูงมาก (จากข้อมูลการวัดโดยตรง) ถือว่าเมื่อเวลาผ่านไป 1 Δt อุณหภูมิที่ผิวมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของน้ำร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล นางสาวพิรัญชนา ภาณุสัณห์

วัน เดือน ปีเกิด 11 มกราคม 2524

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา ศูนย์บริการการศึกษานอกโรงเรียน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน ปีการศึกษา 2541

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2544

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีบริหารธุรกิจบัณฑิต (การจัดการทั่วไป) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี ปีการศึกษา 2546

ทุนการศึกษา ได้รับทุนอุดหนุนการศึกษา
โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว
ปีการศึกษา 2545-2546

ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท
สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว
โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved