สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ระหว่างการแช่เย็น

Computer Simulation Program of Temperature Changing of Meat Products During Chilling Process

โดย

นายจามร ภูวประเสริฐ

นางสาวจิรพร แซ่โค้ว

นางสาวอรอนงค์ บุญเทียน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62837
วัน,เดือน,ปี 23 ส.ค. 2549

ล.....
เ.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ระหว่างการแช่เย็น

Computer Simulation Program of Temperature Changing of Meat Products During Chilling Process

ผู้จัดทำ

นายจามร	ภูวประเสริฐ
นางสาวจิรพร	แซ่โค้ว
นางสาวอรอนงค์	บุญเทียน

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ มธุรดา จิโนรส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ระหว่างการแช่เย็น

นักศึกษา นายจามร ภูวประเสริฐ รหัสนักศึกษา 45010108
นางสาวจิรพร แซ่โค้ว รหัสนักศึกษา 45010120
นางสาวอรอนงค์ บุญเทียน รหัสนักศึกษา 45010945

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร

ปีการศึกษา 2548

อาจารย์ที่ปรึกษา อ. มธุรดา จิโนรส

บทคัดย่อ

การแช่เย็นเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารและลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งการวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของอาหารนั้นทำได้ยาก การจัดสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ระหว่างการแช่เย็นจึงช่วยอำนวยความสะดวกในการคำนวณหาอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วและง่ายขึ้น โดยโปรแกรมถูกจัดสร้างขึ้นบนโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งนอกจากการคำนวณหาเวลาในการแช่เย็นแล้วโปรแกรมยังช่วยจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาการแช่เย็นของอาหารอีกด้วย ทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมโดยนำผลจากการคำนวณของโปรแกรมเปรียบเทียบกับผลจากการวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่าเวลาจากการคำนวณของโปรแกรมกับการทดลองของอาหาร 2 ชนิด ได้แก่ ไส้กรอก และลูกชิ้น มีความแตกต่างกันดังนี้ ของไส้กรอกแตกต่างกัน $\pm$ 2.36 % และลูกชิ้นแตกต่างกัน $\pm$ 3.34 % เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิบริเวณผิวที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมกับการทดลองพบว่าสำหรับไส้กรอกแตกต่างกัน $\pm$ 9.80 % และลูกชิ้นแตกต่างกัน $\pm$ 9.89 % ดังนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ระหว่างการแช่เย็นที่พัฒนาขึ้นนี้จึงช่วยลดความยุ่งยากในการคำนวณเวลาการแช่เย็นและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการแช่เย็น อีกทั้งการจำลองลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในผลิตภัณฑ์ทำให้การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาอาหารด้วยการแช่เย็นสะดวกยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Computer Simulation Program of Temperature Changing of Meat Products During Chilling Process			
Student's	Mr.Jamorn	Puvaprasert	Student ID	45010108
	Ms.Chiraporn	Saekwo	Student ID	45010120
	Ms.Onanong	Bunthian	Student ID	45010945
Faculty	Engineering			
Academic Programme	Food Engineering			
Year	2548			
Thesis Advisor	Ms.Maturada	Jinorose		

ABSTRACT

Chilling process is a popular way to preserve food and decrease growth rate of microorganism in food industry but temperature within the food is difficult to measure. So this program computer for simulate the temperature changing of meat products during chilling process is created to make temperature calculation at each positions within the food to be easy and fast. Developing this computer application on Microsoft Visual Basic 6.0 made it easy to use because of it friendly user interface. The program can calculate chilling times and temperature profile of food during chilling process and testing program efficiency by measure temperature of food at the surface and several positions within while in chilling process. When compared the result of this program with value from the experiment of sausage and meat ball found that the different of value for sausages are $\pm$ 2.36 % and for meat balls are $\pm$ 3.34 %. As compared temperature at surface from program calculated and experiment are $\pm$ 9.80 % in sausages and are $\pm$ 9.89 % in meat balls. Computer simulation program of temperature changing of meat products during chilling process will reduce calculate chilling times and temperature profile several positions within in food products are exchanging that find to appropriate condition for preserve in food products .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอบพระคุณอาจารย์มธุรดา จิโนรส อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ได้ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในการทำโครงงาน การนำเสนอรายงานและการตรวจสอบรายงาน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยเอาใจใส่ดูแลถ่ายทอดวิชาความรู้มาโดยตลอด รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้สามารถก้าวมาถึงจุดนี้และทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด รวมถึงทุกท่านๆ ที่ไม่ได้กล่าว ณ ที่นี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงงานฉบับนี้ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งนี้หากรายงานมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VI

สารบัญรูปภาพ..... VII

รายการสัญลักษณ์..... X

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 คำนำ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 1

1.3 ขอบเขตของโครงการ..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร..... 3

2.1 กระบวนการแช่เย็นอาหาร..... 3

2.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของวัสดุอาหารกับเวลาที่แช่เย็นอาหาร..... 4

บทที่ 3 การออกแบบโปรแกรมและวิธีการทดลอง..... 15

3.1 การออกแบบโปรแกรม..... 15

3.2 สมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง..... 15

3.3 วิธีการทดลอง..... 22

3.4 สรุปขั้นตอนการดำเนินงาน..... 24

บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง..... 25

4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม..... 25

4.2 การใช้งานและการทดสอบ..... 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุป..... 40
5.1 สรุปผล..... 40
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 40
เอกสารอ้างอิง..... 41
ภาคผนวก..... 43
ภาคผนวก ก..... 44
ภาคผนวก ข..... 46
ภาคผนวก ค..... 62
ภาคผนวก ง..... 63
ภาคผนวก จ..... 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

3.1 รายละเอียดฐานข้อมูลคุณสมบัติของชิ้นอาหารที่ทดลอง..... 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

3.1 การนำความร้อนในทรงกระบอกตันรัศมี R ใน 1 มิติ พิกัด r ในสภาวะไม่คงตัว..... 16

3.2 อุณหภูมิที่เส้นศูนย์กลางของทรงกระบอกตันรัศมี R โดยมีเงื่อนไขขอบผิวชนิดที่สาม..... 17

3.3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ เทียบกับอุณหภูมิเส้นศูนย์กลางสำหรับทรงกระบอกตันรัศมี R. 18

3.4 ปริมาณความร้อนเข้าหรือออกจากทรงกระบอกตันรัศมี R 18

3.5 การนำความร้อนในทรงกลมตันรัศมี R ใน 1 มิติ พิกัด r ในสภาวะไม่คงตัว..... 19

3.6 อุณหภูมิที่เส้นศูนย์กลางของทรงกลมตันรัศมี R โดยมีเงื่อนไขขอบผิวชนิดที่สาม..... 20

3.7 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ เทียบกับอุณหภูมิเส้นศูนย์กลางสำหรับทรงกลมตันรัศมี R 21

3.8 ปริมาณความร้อนเข้าหรือออกจากทรงกลมตันรัศมี R 21

3.9 แสดงขั้นตอนการทำงาน.....24

4.1 หน้าต่างหลักของโปรแกรมเพื่อรับค่าในการคำนวณ..... 25

4.2 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณของโปรแกรม..... 27

4.3 หน้าต่างแสดงรูปจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของลูกชิ้น..... 28

4.4 หน้าต่างแสดงอุณหภูมิที่ระยะและเวลาที่กำหนด..... 29

4.5 หน้าต่างแสดงรูปทรงจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ เวลาสุดท้าย..... 29

4.6 หน้าต่างกราฟแสดงอุณหภูมิของลูกชิ้น..... 30

4.7 กราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งรัศมีที่ต้องการ.....31

4.8 หน้าต่างแสดงรูปทรงจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไส้กรอก..... 31

4.9 หน้าต่างเตือนเพื่อบอกอุณหภูมิที่ระยะและเวลาที่กำหนด..... 32

4.10 หน้าต่างแสดงรูปทรงจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ เวลาสุดท้าย..... 32

4.11 หน้าต่างกราฟแสดงอุณหภูมิของไส้กรอก..... 33

4.12 กราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งรัศมีที่ต้องการ..... 34

4.13 หน้าต่างเตือนให้เลือกชนิดของผลิตภัณฑ์..... 34

4.14 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์..... 34

4.15 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์..... 34

4.16 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์..... 34

4.17 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าอุณหภูมิของห้องเย็น..... 35

4.18 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์..... 35

4.19 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผลิตภัณฑ์..... 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.20 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผลิตภัณฑ์..... 35

4.21 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์..... 36

4.22 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่ารัศมีของผลิตภัณฑ์..... 36

4.23 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่ารัศมีน้อยกว่าค่ารัศมีที่ป้อนในหน้าจอหลัก..... 36

4.24 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าเวลา..... 36

4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของโปรแกรมและค่าที่วัดได้จากการทดลอง ของไส้กรอก..... 38

4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของโปรแกรมและค่าที่วัดได้จากการทดลอง ของลูกชิ้น..... 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

h_p	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของอาหาร ($W / m^2 K$)
h	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้าอาหาร ($W / m^2 K$)
L_p	=	ความหนาของบรรจุภัณฑ์ (m)
K	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (W / mK)
ΔT_F	=	ค่าอุณหภูมิที่ลดต่ำลงจาก 273 K
R_g	=	ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 $kJ / kg\ mole\ K$)
T_{A0}	=	จุดเยือกแข็งของของเหลวบริสุทธิ์ (273 K)
n	=	ค่าโมลาริตี้ (โมลตัวถูกละลาย / กิโลกรัมตัวทำละลาย)
L	=	ค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (kJ / kg)
T_F	=	อุณหภูมิเริ่มต้นที่จุดเยือกแข็งของอาหาร (^oC)
M_W	=	เศษส่วนมวลของน้ำในอาหาร (น้ำหนักน้ำ / น้ำหนักอาหาร)
ρ	=	ความหนาแน่น (kg / m^3)
M	=	มวล (kg)
V	=	ปริมาตร (m^3)
M_U	=	เศษส่วนมวลของน้ำที่ยังไม่แช่แข็งในผลิตภัณฑ์
M_S	=	เศษส่วนมวลของของแข็งในผลิตภัณฑ์
M_I	=	เศษส่วนมวลของน้ำที่แช่แข็งแล้ว
ρ_u	=	ความหนาแน่นของน้ำที่ยังไม่แช่แข็ง (kg / m^3)
ρ_S	=	ความหนาแน่นของของแข็งในผลิตภัณฑ์ (kg / m^3)
ρ_I	=	ความหนาแน่นของน้ำแข็ง (kg / m^3) (ภาคผนวกตาราง ค.1)
X_i	=	เศษส่วนเชิงมวลของส่วนประกอบในอาหาร
ρ_i	=	ความหนาแน่นของส่วนประกอบในอาหาร (kg / m^3) (ภาคผนวกตาราง ค.2)
I	=	เศษส่วนมวลของน้ำแข็งในอาหาร
S	=	เศษส่วนมวลของของแข็งในอาหาร
k	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหาร (W / mK)
H_Q	=	ปริมาณความร้อน (W)
L_F	=	ความหนาของอาหาร (m)
A	=	พื้นที่ (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (K)

S_{nf} = เศษส่วนมวลของของแข็งที่ไม่ใช่ไขมันในอาหาร

F = เศษส่วนมวลของไขมันในอาหาร

T = อุณหภูมิของอาหาร $(^{\circ}C)$

X_w = ปริมาณความชื้น $(\%)$

T_K = อุณหภูมิของอาหาร (K)

T_C = อุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ $(^{\circ}C)$

k_i = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของส่วนประกอบในอาหาร (W/mK)

X_{vi} = เศษส่วนเชิงปริมาตรของส่วนประกอบในอาหาร

C_P = ความร้อนจำเพาะ (kJ/kgK)

Q = ความร้อนที่รับหรือคายออก (kJ)

C_{PA} = ความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง (kJ/kgK)

C = เศษส่วนมวลของคาร์โบไฮเดรตในอาหาร

P = เศษส่วนมวลของโปรตีนในอาหาร

A_F = เศษส่วนมวลของเถ้าในอาหาร

C_{PB} = ความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (kJ/kgK)

C_{avg} = ความร้อนจำเพาะเฉลี่ย (kJ/kgK)

F_i = เศษส่วนมวลของไฟเบอร์ในอาหาร

ΔH_S = ความร้อนสัมผัสที่กำจัดออกจากผลิตภัณฑ์ของแข็ง (kJ/kg)

ΔH_U = ความร้อนสัมผัสที่กำจัดออกจากน้ำที่ยังไม่แข็งตัว (kJ/kg)

ΔH_L = ความร้อนแฝงที่ต้องดึงออกจากน้ำแข็ง (kJ/kg)

ΔH_I = ความร้อนสัมผัสที่กำจัดออกจากน้ำแข็ง (kJ/kg)

T_r = ตัวแปรในสมการที่ 2.66 $= (T-227.6)/(T_{Fi}-227.6)$

H_F = เอนทัลปีของผลิตภัณฑ์ที่จุดเริ่มต้นของการเยือกแข็ง (kJ/kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 คำนำ

การเก็บรักษาอาหารด้วยกระบวนการแช่เย็น เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการเก็บรักษาอาหาร เนื้อ ผัก และผลไม้ เพื่อคงคุณภาพของอาหาร ลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร เป็นต้น ซึ่งอาหารที่ได้จะมีคุณภาพสูงเนื่องจากไม่มีการใช้ความร้อนในกระบวนการ การเก็บรักษาอาหารโดยการแช่เย็นเป็นกระบวนการทำให้อาหารมีอุณหภูมิต่ำลงมาถึงระดับเหนือจุดเยือกแข็งเล็กน้อย โดยอาหารนั้นยังคงสภาพเดิมอยู่ โดยทั่วไปจะทำให้อาหารแช่เย็นมีอุณหภูมิระหว่าง 0 - 10 องศาเซลเซียส และต้องเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นหรือห้องเย็นที่มีอุณหภูมิไม่สูงกว่า 5 องศาเซลเซียส อาหารที่ทำการแช่เย็นจะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขณะที่ทำการแช่เย็นแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับตัวกลางที่ใช้ในการทำเย็น ชนิดของอาหาร รูปร่างและขนาดของอาหาร ซึ่งถ้าสามารถเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในตัวผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด และชิ้นวัสดุอาหารแต่ละรูปทรงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะใด ต้องใช้เวลานานเท่าใดเพื่อที่จะให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทุกจุดเท่ากันก็จะทำให้สะดวกในการทำนายเวลาในการแช่เย็นและการเก็บรักษา ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบและจัดสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของชิ้นวัสดุอาหารระหว่างการแช่เย็น ที่สัมพันธ์กับเวลาเพื่อให้เห็นภาพการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ได้จัดทำขึ้นเป็นโปรแกรมสำหรับศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชิ้นวัสดุอาหาร 2 ชนิด ได้แก่ ไส้กรอก และลูกชิ้น ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกในการคำนวณ และเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมที่เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและจัดสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ระหว่างการแช่เย็นของชิ้นวัสดุอาหาร 2 ชนิดที่มีรูปร่างแตกต่างกันได้แก่ ไส้กรอก ซึ่งเป็นตัวแทนของวัสดุทรงยาวรี และลูกชิ้นซึ่งเป็นตัวแทนของวัสดุทรงกลม

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของชิ้นวัสดุอาหารกับเวลาที่ใช้ในการแช่เย็น ตั้งแต่ระดับผิวขอบนอกของชิ้นวัสดุอาหารจนถึงจุดกึ่งกลางของชิ้นอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่น ๆ ต่อไป

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบและจัดสร้างโปรแกรมบน Microsoft Visual Basic 6.0

2. อุณหภูมิตัวกลางที่ใช้ทำการศึกษาคือ 0 องศาเซลเซียส

3. ชิ้นวัสดุอาหาร คือ ลูกชิ้น และไส้กรอก

4. ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิสำหรับลูกชิ้นแบ่งเป็น 3 ระดับคือ ผิว จุดกึ่งกลาง ระหว่างผิวและจุดกึ่งกลาง ส่วนไส้กรอกแบ่งเป็น 4 ระดับคือ ผิว จุดกึ่งกลาง ระหว่างผิวและจุดกึ่งกลางทางด้านยาว ระหว่างผิวและจุดกึ่งกลางทางด้านสั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณเกี่ยวกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการแช่เย็นของชิ้นวัสดุอาหาร ซึ่งสามารถนำโปรแกรมไปพัฒนาใช้งานกับอาหารชนิดอื่น ๆ ที่ต้องทำการแช่เย็นต่อไปในอนาคต

2. ทราบถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชิ้นวัสดุอาหาร

3. โปรแกรมสะดวก และง่ายต่อการใช้งาน แม้ไม่ได้เป็นผู้ที่ชำนาญเกี่ยวกับโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

2.1 กระบวนการแช่เย็นอาหาร [1]

การแช่เย็นอาหาร หมายถึง การเก็บอาหารที่อุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็งของอาหาร คือที่ประมาณ 0 – 10 องศาเซลเซียส ซึ่งแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของอาหาร ดังนั้นในการผลิตอาหารจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกกระบวนการแช่เย็นที่เหมาะสมกับลักษณะและชนิดของอาหาร โดยเฉพาะชนิดและวิธีการแช่เย็นที่ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการดึงความร้อนออกจากอาหารได้ดี สามารถลดอุณหภูมิของอาหารลงมาถึงสภาวะที่ต้องการได้ในเวลารวดเร็วที่สุด กระบวนการแช่เย็นนอกจากจะนำมาใช้ผลิตอาหารแช่เย็นแล้ว ยังใช้ในการลดอุณหภูมิวัตถุดิบ ก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปในขั้นต่อไป ซึ่งความเย็นจะมีผลในการช่วยลดอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายในอาหาร ดังนั้นการแช่เย็นมีจุดประสงค์หลัก 3 ประการ คือ

1. เพื่อรักษาความสด และยืดอายุการเก็บรักษาอาหารที่เน่าเสียง่าย เช่น การแช่เย็นผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์
2. เพื่อช่วยการปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร เช่น การแช่เย็นเนื้อสัตว์หลังการฆ่า การบ่มเนยแข็ง ซึ่งจะช่วยทำให้เนื้อนุ่ม และช่วยเพิ่มกลิ่นรสให้แก่ผลิตภัณฑ์บางชนิด
3. เพื่อช่วยยืดอายุการขายของอาหารสำเร็จรูปบางชนิด เช่นผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรซ์ อาหารสำเร็จรูปพร้อมบริโภค และน้ำผลไม้สดพาสเจอร์ไรซ์ เป็นต้น

ซึ่งวิธีการแช่เย็นที่ใช้ก็จะแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งอาหารได้เป็น 2 ประเภท คือ อาหารเหลว เช่น นม น้ำผลไม้ และอาหารที่เป็นของแข็ง เช่น ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ วิธีการทำเย็นมีด้วยกันหลายวิธี ต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดอาหารและลักษณะ รูปทรงของอาหารที่ต้องการแช่เย็นรวมถึงปริมาณการผลิต สำหรับวิธีการทำเย็นมีดังนี้

2.1.1 การทำเย็นโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง (Air cooling)

เป็นวิธีที่ใช้กันในชีวิตประจำวัน ได้แก่ ตู้เย็น สิ่งของที่เก็บในตู้เย็นถูกทำให้เย็นลง โดยการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางคือ อากาศ ซึ่งในตู้เย็นจะมีการหมุนเวียนของอากาศค่อนข้างต่ำ ห้องเย็นจะมีพัดลมเป่าให้อากาศหมุนเวียน ทำให้มีความสามารถในการทำให้เย็นสูงกว่าตู้เย็น เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเกิดได้ทั้งในรูปของการนำความร้อนและการพาความร้อน การทำให้เย็นโดยอาศัยรถห้องเย็น (Refrigerated container) จะมีกำลังในการทำความเย็นค่อนข้างต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำเย็นในห้องเย็น รถห้องเย็นจึงนิยมรับผลิตภัณฑ์ที่เย็นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การทำให้เย็นโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง (Hydro cooling)

เนื่องจากน้ำมีความจุความร้อนสูงและเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงสามารถใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงได้ดีกว่าการใช้อากาศ โดยน้ำตัวกลางจะต้องเย็นมากสุดเท่าอุณหภูมิที่จะทำการแช่เย็น และจะไม่ทำให้เกิดผลเสียกับผลิตภัณฑ์ที่จะทำการแช่เย็น

2.1.3 การทำให้เย็นด้วยน้ำแข็ง (Ice cooling)

โดยการใช้น้ำแข็งบดเป็นก้อนเล็ก ๆ เพื่อให้สัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรง แต่มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเนื่องจากน้ำแข็งไม่สามารถเข้าสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ได้อย่างทั่วถึง จึงเกิดช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์กับน้ำแข็งขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ขัดขวางการถ่ายเทความร้อนทำให้อุณหภูมิลดลงได้ช้า เป็นวิธีที่ไม่ค่อยนิยมใช้

2.1.4 การทำเย็นโดยอาศัยการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling)

เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายเพราะไม่ต้องใช้พลังงานที่มีราคาแพง แต่ไม่สามารถลดอุณหภูมิได้มากและรวดเร็วตามความต้องการ วิธีนี้ใช้ได้ผลดีในพื้นที่ที่มีความชื้นต่ำ ในทางปฏิบัติผลิตภัณฑ์จะถูกนำไปไว้ในห้อง โดยจัดให้มีน้ำไหลผ่านผนังทั้งด้านล่างและด้านข้าง เมื่อน้ำระเหยออกไปจะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากผลิตภัณฑ์ไปยังผนังห้องและน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิลดลง

2.1.5 การทำความเย็นโดยการลดความดัน (Vacuum cooling)

เป็นวิธีที่นิยมใช้กับผัก โดยบรรจุผักในภาชนะที่ผนึกแน่นใช้ปั๊มดูดอากาศภายในออก น้ำในอาหารจะระเหยอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ และดึงเอาความร้อนจากอาหารมาใช้ในการระเหย อาหารนั้นจึงเย็นลง หรือเย็นจนถึงระดับแช่เยือกแข็ง

2.1.6 การทำให้เย็นด้วยวิธีอื่น ๆ

นอกจากวิธีการทำเย็นที่กล่าวมาข้างต้นยังมีการทำเย็นด้วยวิธีอื่นๆ เช่นการใช้ไนโตรเจนเหลว และคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง (น้ำแข็งแห้ง) นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ในตู้สินค้าโดยการพ่นไนโตรเจนเหลว หรือคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในตู้สินค้า ทำให้อุณหภูมิภายในห้องเย็นลดลงและผลิตภัณฑ์เย็นลงอย่างรวดเร็ว

2.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของชิ้นวัสดุอาหารกับเวลาที่แช่เย็นอาหาร

เวลาที่ใช้ในการแช่เย็น (Chilling Time) คือ เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของอาหารจากอุณหภูมิเริ่มต้น ที่บริเวณผิวไปจนกระทั่งถึงจุดกึ่งกลางของอาหารให้มีอุณหภูมิตามต้องการ ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อเวลาในการแช่เย็นอาหาร มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ขนาดและรูปทรงของอาหาร (Dimension)

รูปทรงของอาหารมีอยู่หลายลักษณะ เช่น ทรงกลม ทรงรี ก้อน หรือว่าไม่เป็นรูปทรง โดยรูปทรงที่จะนำมาพิจารณาได้ง่ายจะเป็นพวกรูปทรงเรขาคณิต เช่น สี่เหลี่ยมชิ้นบาง (Finite, Infinite Slab) ทรงกระบอก (Finite, Infinite Cylinder) ทรงกลม (Sphere) หรือรูปทรงที่มีลักษณะเป็นก้อน (Brick หรือ Brock)

2.2.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่บริเวณผิวหน้าของอาหาร (Surface Heat Transfer Coefficient)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้าอาหาร จะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการแช่เย็น โดยเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้าอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้เวลาที่ใช้ในการแช่เย็นอาหารลดลง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้าอาหารขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอาหาร คือ ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ขนาดและรูปร่าง อุณหภูมิที่ผิวสัมผัส อุปกรณ์การถ่ายเทความร้อน และบรรจุภัณฑ์ ซึ่งถ้าอาหารถูกบรรจุแล้วค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้าอาหาร จะเปลี่ยนแปลงไปตามสมการของ Van Boxtel and De Fielliettaz Goethart (1983) [2]

$$\frac{1}{h_p} = \frac{1}{h} + \frac{L_p}{K} \qquad (2.1)$$

2.2.3 อุณหภูมิ

2.2.3.1 อุณหภูมิตัวกลางในการแช่เย็น (Medium Temperature)

เป็นอุณหภูมิของระบบที่ใช้ในการแช่เย็น โดยการลดอุณหภูมิตัวกลางในการแช่เย็นให้ต่ำลงจะช่วยระบายความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น ทำให้เวลาที่ต้องใช้ในการแช่เย็นลดลง ค่าอุณหภูมิตัวกลางการแช่เย็นจะขึ้นอยู่กับวิธีการแช่เย็นและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแช่เย็น เช่น ถ้าต้องการแช่เย็นวัวทั้งตัวด้วยวิธีการแช่เย็นแบบลมเป่าเย็นจัด จะใช้อุณหภูมิในการแช่เย็นที่ 0 – 2 องศาเซลเซียส เป็นต้น

2.2.3.2 อุณหภูมิจุดเยือกแข็งอาหาร (Freezing Temperature)

การหาจุดเริ่มเยือกแข็งของอาหาร (Initial Freezing Point) หาได้จากสมการ [2]

$$\Delta T_F = \frac{R_g T_{Ao}^2 n}{1000 L} \qquad (2.2)$$

หรือประมาณอย่างคร่าว ๆ ได้จากสมการของ Cleland (1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_F = -1.8 + M_W \tag{2.3}$$

2.2.3.3 **อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร** (Initial Temperature)

คืออุณหภูมิปกติของอาหารก่อนที่จะเริ่มทำการแช่เย็น ซึ่งโดยปกติจะมีค่าประมาณ 5–20 **องศาเซลเซียส**

2.2.3.4 **อุณหภูมิสุดท้ายของอาหาร** (Final Temperature)

สำหรับอาหารทั้ง 2 **ชนิดได้แก่ ไส้กรอกและลูกชิ้น จะมีช่วงอุณหภูมิของการแช่เย็นอยู่ระหว่าง** 3 – 5 **องศาเซลเซียส เพราะช่วงอุณหภูมินี้จะไม่ทำให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตและการเน่าเสียของอาหารเกิดขึ้นได้น้อยที่สุด ซึ่งในการเก็บรักษาและการขนส่งควรจะสามารถปรับอุณหภูมิให้ได้** 6 **องศาเซลเซียส**

2.2.4 คุณสมบัติทางความร้อนและคุณสมบัติของอาหาร

2.2.4.1 ความหนาแน่น (Density)

หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรของวัสดุหาได้จากสมการของ Rohman (1991)

$$\rho = \frac{M}{V} \tag{2.4}$$

Hsieh et al. (1977) **ได้เสนอวิธีหาความหนาแน่นในกรณีที่ทราบองค์ประกอบของอาหาร ดังนี้** [2]

$$\frac{1}{\rho} = M_u \frac{1}{\rho_u} + M_s \frac{1}{\rho_s} + M_l \frac{1}{\rho_l} \tag{2.5}$$

Choi and Okos (1987) **สามารถหาความหนาแน่นของแต่ละองค์ประกอบของอาหารได้จากสมการ ดังนี้** [2]

$$\rho = \frac{1}{\sum \frac{X_i}{\rho_i}} \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Water : $\rho_i = 0.997\ x\ 10^3 - 0.0031439T - 0.0037574T^2$ (2.7)

Ice : $\rho_i = 0.91996\ x\ 10^3 - 0.13071T$ (2.8)

Protein : $\rho_i = 1.3299\ x\ 10^3 - 5.1840\ x10^{-1}T$ (2.9)

Fat : $\rho_i = 9.2559\ x\ 10^3 - 4.1757\ x10^{-1}T$ (2.10)

Fiber : $\rho_i = 1.3115\ x\ 10^3 - 3.65589\ x10^{-1}T$ (2.11)

Ash : $\rho_i = 2.4238\ x\ 10^3 - 2.8063\ x10^{-1}T$ (2.12)

Carbohydrate : $\rho_i = 1.5991\ x\ 10^3 - 3.1046\ x10^{-1}T$ (2.13)

2.2.4.2 ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของอาหาร (Latent Heat of Fusion)

ค่าความร้อนแฝงของอาหารมีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นภายในอาหาร โดยที่ Lamb (1976) ได้ให้ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนแฝงกับปริมาณความชื้นไว้ดังนี้

$$L = 355M_W \tag{2.14}$$

หรือหาได้จาก

$$L = 333.6I \tag{2.15}$$

โดยเศษส่วนโมลของน้ำเมื่อแช่แข็งแล้ว หาได้จากสมการของ Cleland (1985)

$$I = \left(M_W - 0.25S\right)\left(1 - \frac{T_F}{-20}\right) \tag{2.16}$$

(หมายเหตุ T_F ในที่นี้คิดอุณหภูมิสุดท้าย -20 องศาเซลเซียส)

2.2.4.3 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหาร (Thermal Conductivity) [2]

เมื่อมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเกิดขึ้นในอาหาร จะมีการถ่ายเทความร้อนจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปยังด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า อัตราความร้อนที่ถ่ายเทต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยของอาหารในทิศทางหนึ่ง จะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิของอาหาร ดังสมการการนำความร้อนดังนี้

$$k = \frac{H_Q L_F}{A \Delta T} \tag{2.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหาร สามารถแบ่งได้ 2 สภาวะ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหารที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (Above Freezing Point) และ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหารที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Below Freezing Point) ซึ่งมีวิธีในการหาดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหารที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (Above Freezing Point)

Cleland (1985) ได้เสนอสมการที่ใช้ทำนายค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหาร ดังนี้

$$k = \rho\left[\frac{M_W}{1695} + \frac{S_{nf}}{5306} + \frac{F}{4722}\right] \qquad (2.18)$$

Riedel (1949) ได้เสนอสมการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ และสารละลายน้ำตาล ดังนี้

$$k = [326.575 + 1.0412T - 0.0033T^2][0.769 + 0.009346(X_W)][10-3] \qquad (2.19)$$

Earle (1966) ได้เสนอสมการที่ใช้ทำนายค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหาร โดยขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น ดังนี้

$$k = \frac{0.55}{100}(X_W) + \frac{0.26}{100}(100 - X_W) \qquad (2.20)$$

Sweat (1974) ได้สร้างสมการรีเกรสชั่นเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหาร ดังนี้

สำหรับผักและผลไม้ที่มีปริมาณน้ำมากกว่า 60% โดยน้ำหนักเปียก

$$k = 0.148 + 0.00493X_W \qquad (2.21)$$

สำหรับเนื้อที่มีอุณหภูมิระหว่าง 0 - 60 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำ 60 – 80% โดยน้ำหนักเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k = 0.88 + 0.0052X_W \quad (2.22)$$

$$k = 0.4448M_W + 0.0005T_K \quad (2.23)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหารที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Below Freezing Point)

Cleland (1985) ได้เสนอสมการที่ใช้ทำนายค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหาร ดังนี้

$$k = \rho\left[\frac{M_W - I}{1873} + \frac{I}{433} + \frac{S}{5306} + \frac{F}{4722}\right] \quad (2.24)$$

Earle (1966) ได้เสนอสมการที่ใช้ทำนายค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหาร โดยขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น คือ

$$k = \frac{2.4}{100}\left(X_W\right) + \frac{0.26}{100}\left(100 - X_W\right) \quad (2.25)$$

Sweat (1974) ได้เสนอสมการในกรณีที่เป็นเนื้อที่มีอุณหภูมิระหว่าง -40 ถึง -5 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำ 65 – 80% โดยน้ำหนักเปียก

$$k = 0.28 + 0.019M_W - 0.0093T \quad (2.26)$$

$$k = \left[1.745X_W\left(1 - \frac{T_F}{T}\right)\right] + 0.233 \quad (2.27)$$

(หมายเหตุ T คิดที่อุณหภูมิเฉลี่ย $(T_F + T_C)/2$)

Choi and Okos (1987) ได้ให้สมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหารทั้งที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็งและที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งไว้ ดังนี้

$$k = \sum\left(k_i X_{vi}\right) \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Water : $k = 0.5711 + 1.7625x10^{-3} - 6.7306x10^{-6}T^2$ (2.29)

Ice : $k = 2.2196 - 6.2489x10^{-3} + 1.0154x10^{-4}T^2$ (2.30)

Protein : $k = 0.1788 + 1.1958x10^{-3} - 2.7178x10^{-6}T^2$ (2.31)

Fat : $k = 0.1807 - 2.7604x10^{-3} - 1.7749x10^{7}T^2$ (2.32)

Fiber : $k = 0.1833 + 1.2497x10^{-3} - 3.1683x10^{-6}T^2$ (2.33)

Ash : $k = 0.3296 + 1.401x10^{-3} - 2.9069x10^{-6}T^2$ (2.34)

Carbohydrate : $k = 0.2014 + 1.3874x10^{-3} - 4.3312x10^{-6}T^2$ (2.35)

สำหรับเศษส่วนโดยปริมาตร , X_{vi} หาได้จากสมการ

$$X_{vi} = \frac{X_i \rho}{\rho_i} \tag{2.36}$$

และ ρ_i หาได้จากสมการ (2.6)

2.2.4.4 ค่าความร้อนจำเพาะของอาหาร (Specific Heat) [2], [3]

คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักเพื่อให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปตามต้องการที่ความดันคงที่ ซึ่งค่าจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของอาหาร

$$C_p = \frac{Q}{M \Delta T} \tag{2.37}$$

ความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์หนึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบในอาหาร ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ ความดัน โดยค่าความร้อนจำเพาะจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นในอาหารเพิ่มขึ้น

ค่าความร้อนจำเพาะของอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 2 สภาวะ คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอาหารที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (Above Freezing Point, C_{PA}) และค่าความร้อนจำเพาะของอาหารที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Below Freezing Point, C_{PB}) ซึ่งมีสมการในการหาดังนี้

1). ค่าความร้อนจำเพาะของอาหารที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (Above Freezing Point, C_{PA})

$$C_{PA} = 1.675F + 0.837S_{nf} + 4.187M_W \tag{2.38}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dickerson (1969) ได้เสนอสมการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง โดยประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์เนื้อที่มีปริมาณความชื้น 26 – 100% และน้ำผลไม้ที่มีปริมาณความชื้นมากกว่า 50% ดังนี้

$$C_{PA} = 1.675 + 0.025X_W \tag{2.39}$$

หรือเมื่อเราทราบองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ เราอาจใช้สมการของ Charm (1978) ดังนี้

$$C_{PA} = 2.094F + 1.256S + 4.187M_W \tag{2.40}$$

$$C_{PA} = 1.424C + 1.549P + 1.675F + 0.837A_F + 4.187M_W \tag{2.41}$$

Siebel (1892) ได้ทดลองวัดค่าความร้อนจำเพาะของอาหารหลายชนิด เช่น ไข่ เนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้ และได้เสนอว่าความร้อนจำเพาะของอาหารใด ๆ สามารถหาได้จากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร จากสมการดังนี้

$$C_{PA} = 3.349M_W + 0.837 \tag{2.42}$$

และค่าความร้อนจำเพาะในหน่วย J/kgK สำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์, ผัก, ผลไม้ และน้ำผลไม้ เมื่อ M_W อยู่ในช่วง 0.73 – 0.94

$$C_{PA} = 1597.3 + 2583.3M_W \tag{2.43}$$

2). ค่าความร้อนจำเพาะของอาหารที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Below Freezing Point, C_{PB})

Siebel (1892) ได้เสนอสมการ ดังนี้

$$C_{PB} = 1.256M_W + 0.837 \tag{2.44}$$

$$C_{PB} = 1.675F + 0.837S_{nf} + 2.093M_W \tag{2.45}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Choi and Okos (1987) ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณค่าความร้อนจำเพาะสำหรับส่วนประกอบในอาหารที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และส่วนประกอบทั้งที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็งและที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เป็นค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยไว้ดังนี้

$$C_{avg} = PC_p + FC_F + CC_C + FiC_{Fi} + A_FC_A + M_WC_W \quad (2.46)$$

โดย Protein : $C_p = 2.0028 + 1.2089x10^{-3} - 1.3129x10^{-6}T^2$ (2.47)

Fat : $C_F = 1.9872 - 1.4733x10^{-3} + 4.8008x10^{-6}T^2$ (2.48)

Fiber : $C_{Fi} = 1.8459 + 1.9306x10^{-3} - 4.6509x10^{-6}T^2$ (2.49)

Ash : $C_A = 1.0926 + 1.8896x10^{-3} - 3.6817x10^{-6}T^2$ (2.50)

Water : $C_W = 4.1762 + 9.9862x10^{-8} - 5.4731x10^{-6}T^2$ (2.51)

Carbohydrate : $C_C = 1.5488 + 1.9625x10^{-3} - 5.9399x10^{-6}T^2$ (2.52)

ต่อมาได้มีผู้เสนอสมการเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและค่าความร้อนจำเพาะอีกหลายสมการ ความแตกต่างของสมการขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและเทคนิคที่ใช้ในการวัดค่า [4]

$C_P = 2.990M_W + 1.200$ (Backstrom และ Emblik, 1965) (2.53)

$C_P = 2.391M_W + 1.256$ (Comini et al., 1974) (2.54)

$C_P = 2.930M_W + 1.381$ (Fikin, 1974) (2.55)

$C_P = 2.805M_W + 1.382$ (Dominguez et al., 1974) (2.56)

$C_P = 3.220M_W + 1.400$ (Sharma และ Thompson, 1973) (2.57)

$C_P = 2.720M_W + 1.470$ (Lamb, 1976) (2.58)

$C_P = 2.508M_W + 1.672$ (Reidel, 1956) (2.59)

2.2.4.5 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) [2]

สารละลายที่มีความเข้มข้นมากจะมีจุดเยือกแข็งที่ต่ำกว่าสารละลายที่มีน้ำมากกว่า (หรือสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อย) เช่น ถ้านำน้ำผลไม้กับน้ำไปแช่แข็ง น้ำจะแข็งตัวก่อน ในขณะที่น้ำผลไม้จะเป็นเกล็ดน้ำแข็งและของเหลว กล่าวคือ น้ำในน้ำผลไม้จะแข็งตัวก่อน แล้วส่วนที่เหลือที่มีความเข้มข้นมากกว่าน้ำจะแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารที่แตกต่างกันก็จะมีปริมาณความชื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้มีจุดเยือกแข็งที่แตกต่างกันด้วย และใช้เวลาในการแช่แข็งไม่เท่ากัน

2.2.4.6 เอนทัลปี (Enthalpy) [2], [3]

คือปริมาณความร้อนหรือระดับพลังงานความร้อนของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีทั้งหมดที่อุณหภูมิระดับหนึ่งจนลดลงเรื่อย ๆ ผ่านช่วงแช่แข็ง จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการเก็บรักษา มีสมการดังนี้

$$\Delta H = \Delta H_S + \Delta H_U + \Delta H_L + \Delta H_I \tag{2.60}$$

โดยที่ $$\Delta H_S = M_S C_{ps}\left(T_I - T_F\right) + M_S C_{ps}\left(T_F - T\right) \tag{2.61}$$

$$\Delta H_U = M_U C_{pu}\left(T_I - T_F\right) + M_U\left(T\right) C_{pu}\left(T_F - T\right) \tag{2.62}$$

$$\Delta H_L = M_L\left(T\right) L \tag{2.63}$$

$$\Delta H = M_I\left(T\right) C_{pI}\left(I\right)\left(T_F - T\right) \tag{2.64}$$

โดยทั่วไปตารางแสดงค่าเอนทัลปี มักจะกำหนดอุณหภูมิข้างเคียงไว้ที่ -40 องศาเซลเซียส ดังนั้นในสมการ (2.60) จะยึดเอาอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิอ้างอิงมีเอนทัลปีเป็นศูนย์

เมื่ออุณหภูมิถึงจุดเยือกแข็ง สัดส่วนขององค์ประกอบภายในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยจะมีน้ำบางส่วนกลายเป็นผลึก ดังนั้นสารละลายจึงเข้มข้นขึ้น ทำให้อุณหภูมิเยือกแข็งลดต่ำลงอีก ส่วนที่เป็นน้ำแข็งเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และส่วนที่ยังไม่เป็นน้ำแข็งลดลง

สำหรับการแช่แข็งค่าเอนทัลปีแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ

ค่าเอนทัลปีที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงกว่าจุดเยือกแข็ง

$$H = H_F + C_p\left(T - T_F\right) \tag{2.65}$$

ค่าเอนทัลปีที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง Chang and Tao (1981)

$$H = \left(aT_r + \left(1-a\right)\left(T_r\right)^b\right) H_F \tag{2.66}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่า a,b เป็นค่าคงที่ สามารถหาได้จากสมการดังนี้

ผลิตภัณฑ์ประเภทผัก, ผลไม้, และน้ำผลไม้ เมื่อ M_W อยู่ในช่วง 0.75 - 0.94

$$a = 0.362 + 0.0498(M_W - 0.73) - 3.465(M_w - 0.73)^2 \quad (2.67)$$

$$b = 27.2 - 129.04(a - 0.23) + 481.46(a - 0.23)^2 \quad (2.68)$$

ผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ เมื่อ M_W อยู่ในช่วง 0.73 - 0.84

$$a = 0.316 + 0.247(M_W - 0.73) - 0.688(M_w - 0.73)^2 \quad (2.69)$$

$$b = 22.95 - 54.68(a - 0.28) + 5589.03(a - 0.28)^2 \quad (2.70)$$

โดยค่า $H_F(J/kg)$ สำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์, ผัก, ผลไม้ และน้ำผลไม้ เมื่อ X_W อยู่ในช่วง 0.73 – 0.94 หาได้จากสมการ

$$H_F = 9792.46 + 405096X_W \quad (2.71)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบโปรแกรมและวิธีการทดลอง

3.1 การออกแบบโปรแกรม

โปรแกรมนี้ พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการคำนวณจากสมการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน คือการนำความร้อนในสภาวะไม่คงตัว (อุณหภูมิเปลี่ยนไปตามตำแหน่งและเวลา) โดยการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ (Analytical Solution) ผลลัพธ์เสนอในรูปของแผนภูมิทรงกลมและทรงกระบอกของ Heister chart สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม คือ Microsoft Visual Basic 6.0 ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้งานง่าย และเหมาะสมต่อการใช้งานกับระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 95, 98, 2000, Me และXP

ส่วนประกอบของโปรแกรมมีดังนี้

1. หน้าจอการรับค่าเพื่อใช้ในการคำนวณ
2. หน้าจอแสดงผลการคำนวณของโปรแกรม
3. หน้าจอแสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
4. หน้าจอแสดงรูปทรงจำลองและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชิ้นวัสดุอาหาร

ค่าฐานข้อมูลของไส้กรอกและลูกชิ้น ประกอบด้วย ความร้อนจำเพาะ ค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลว สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าความหนาแน่น ซึ่งได้ค่ามาจากการทดสอบความหนาแน่นของชิ้นอาหารที่จะทำการทดลองเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของข้อมูลที่หามาได้ ว่าข้อมูลใดมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกันแล้วนำข้อมูลคุณสมบัติที่มีความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกันมาใช้เป็นฐานข้อมูลคุณสมบัติ

ตาราง 3.1 รายละเอียดฐานข้อมูลคุณสมบัติของชิ้นอาหารที่ทดลอง [5], [7], [8], [9]

No	Properties					
	Food	Cp	L	h	k	Density
0	Meat Ball	2.6	124.0	312.85	0.488	858
1	Sausage	2.6	167.5	317.27	0.407	962

3.2 สมการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง [10]

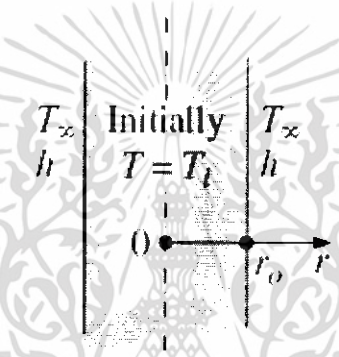
ปกติแล้วเราสามารถหาเวลาในการแช่เย็นได้จากการทดลอง ส่วนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในชิ้นอาหารนั้น ไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดได้ว่าอุณหภูมิของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แช่เย็นดำเนินไปถึงจุดสมดุลหรือแช่เย็นถึงอุณหภูมิจุดศูนย์กลางของชิ้นวัสดุอาหารหรือยัง ดังนั้น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของชิ้นวัสดุอาหารจะช่วยทำให้เห็นภาพของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นไปในลักษณะใด โดยชิ้นวัสดุอาหารที่จะพิจารณามีด้วยกัน 2 รูปทรงดังนี้

3.2.1. ทรงกระบอกยาว

สำหรับการวิเคราะห์ในพิกัดทรงกระบอก พิจารณาการนำความร้อน 1 มิติ พิกัดทรงกระบอก $T(r,t)$ ดังรูปที่ 3.1 ทรงกระบอกรัศมี R และมีสภาพนำความร้อนคงที่ k มีอุณหภูมิเริ่มต้น T_i ผิวด้านนอกสัมผัสของไหลที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ T_∞ และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h ภายใต้สภาวะไม่คงตัวและไม่มีแหล่งผลิตความร้อน มีชุดสมการในการแก้ปัญหาดังนี้



รูปที่ 3.1 การนำความร้อนในทรงกระบอกตันรัศมี R ใน 1 มิติ พิกัด r ในสภาวะไม่คงตัว

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \qquad \text{ใน} \qquad 0<r<R\ ,\ t>0 \tag{3.1}$$

$$\text{BC1}: \qquad \frac{\partial T}{\partial r}=0 \qquad \text{เมื่อ} \qquad r=0\ ,\ t>0 \tag{3.2}$$

$$\text{BC2}: \quad \frac{\partial T}{\partial r}+\frac{h}{k}(T-T_\infty)=0 \qquad \text{เมื่อ} \qquad r=R\ ,\ t>0 \tag{3.3}$$

$$\text{IC} \ : \qquad T=T_i \qquad \text{เมื่อ} \qquad r=0\ ,\ 0\le r\le R \tag{3.4}$$

กำหนดพารามิเตอร์ไร้มิติ

$$\theta(\xi,\tau)=\frac{T(r,t)-T_\infty}{T_i-T_\infty} \tag{3.5}$$

$$\xi=\frac{r}{R} \qquad \text{(พิกัดไร้มิติแนวรัศมี)} \tag{3.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau = \frac{\alpha t}{R^2} \qquad \text{(ตัวเลขฟูริเย)} \qquad (3.7)$$

$$Bi = \frac{hR}{k} \qquad \text{(ตัวเลขบิโย)} \qquad (3.8)$$

ชุดสมการใหม่

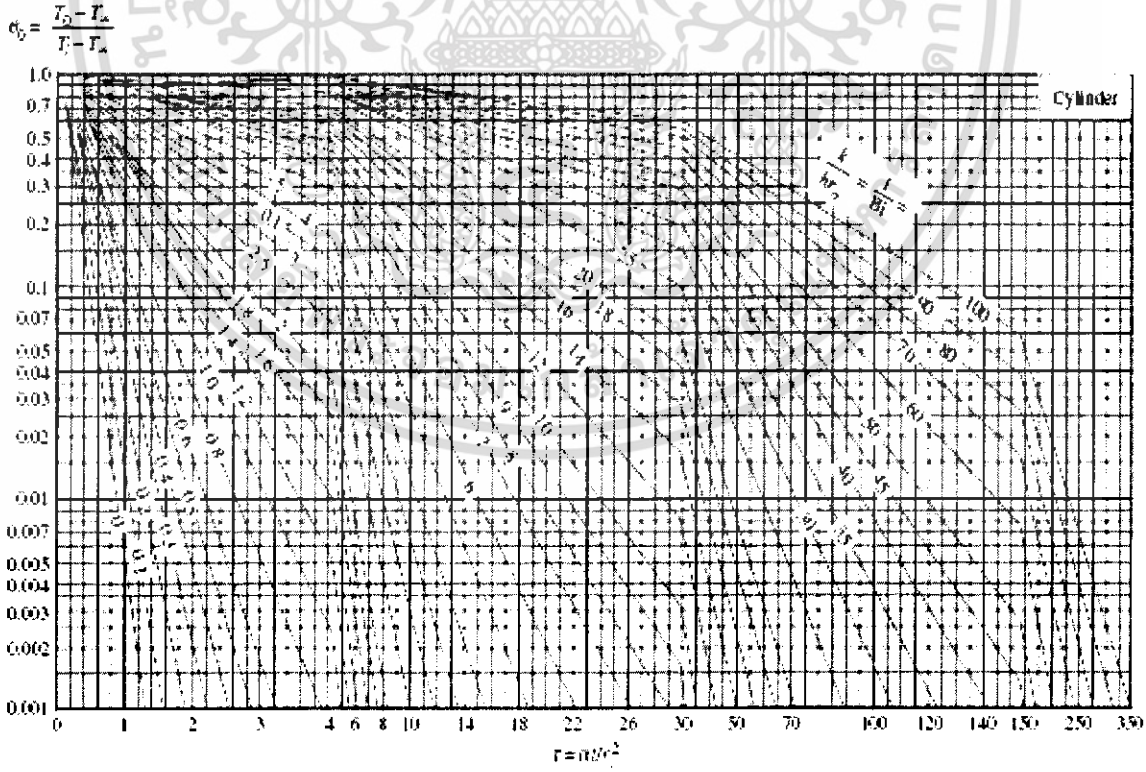
$$\frac{\partial^2\theta}{\partial\xi^2} + \frac{1}{\xi}\frac{\partial\theta}{\partial\xi} = \frac{\partial\theta}{\partial\tau} \qquad \text{ใน} \quad 0 < \xi < 1\ ,\ \tau > 0 \qquad (3.9)$$

BC1 : $$\frac{\partial\theta}{\partial\xi} = 0 \qquad \text{เมื่อ} \quad \xi = 0\ ,\ \tau > 0 \qquad (3.10)$$

BC2 : $$\frac{\partial\theta}{\partial\xi} + Bi\theta = 0 \qquad \text{เมื่อ} \quad \xi = 1\ ,\ \tau > 0 \qquad (3.11)$$

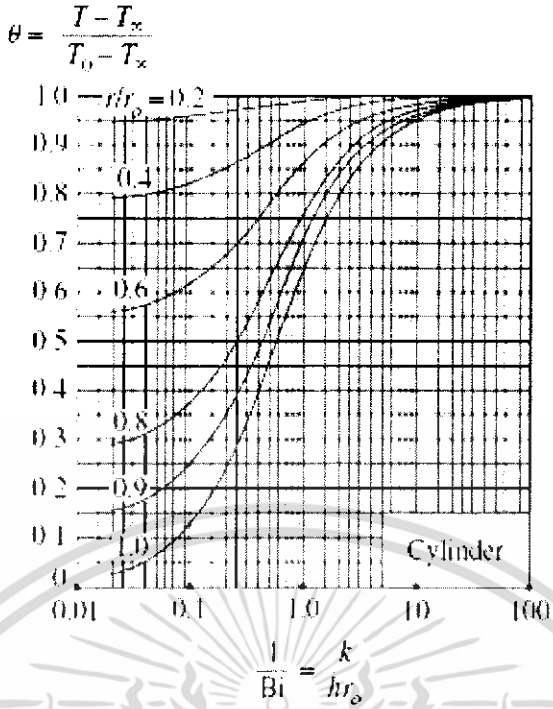
IC : $$\theta = 1 \qquad \text{เมื่อ} \quad \tau = 0 \text{ ใน } 0 \le \xi \le 1 \qquad (3.12)$$

ไฮส์เลอร์ได้แก้ปัญหาและสร้างเป็นแผนภูมิดังรูปที่ 3.2, 3.3 และ 3.4

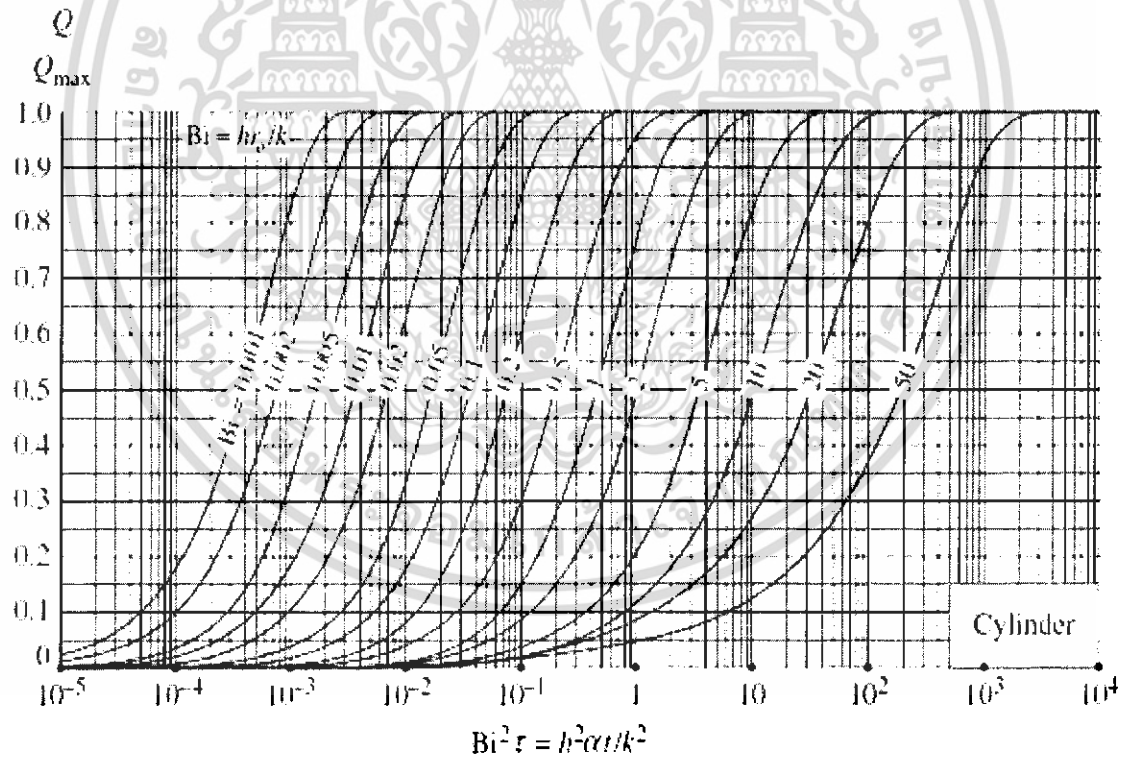


รูปที่ 3.2 อุณหภูมิที่เส้นศูนย์กลางของทรงกระบอกตันรัศมี R โดยมีเงื่อนไขขอบผิวชนิดที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62837



รูปที่ 3.3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ เทียบกับอุณหภูมิเส้นศูนย์กลางสำหรับทรงกระบอกตันรัศมี R

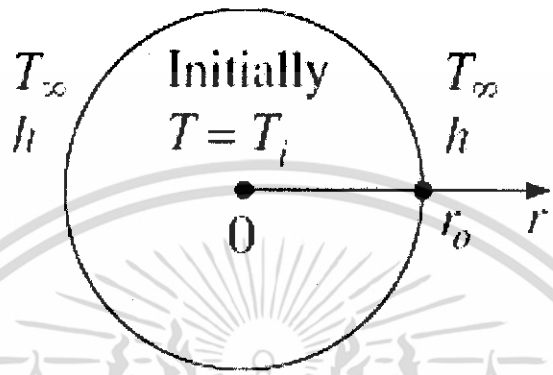


รูปที่ 3.4 ปริมาณความร้อนเข้าหรือออกจากทรงกระบอกตันรัศมี R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. ทรงกลม

สำหรับพิกัดทรงกลมตันรัศมี R พิจารณาจากรูปที่ 3.5 ทรงกลมตันมีสภาพนำความร้อนคงที่ k มีอุณหภูมิเริ่มต้น T_i ผิวด้านนอกทรงกลมสัมผัสของไหลที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ T_∞ และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h ภายใต้สภาวะไม่คงตัวและไม่มีแหล่งผลิตความร้อนในทรงกลม มีชุดสมการในการแก้ปัญหาดังนี้



รูปที่ 3.5 การนำความร้อนในทรงกลมตันรัศมี R ใน 1 มิติ พิกัด r ในสภาวะไม่คงตัว

$$\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial T}{\partial r}\right)=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \qquad \text{ใน} \quad 0<r<R\ ,\ t>0 \tag{3.13}$$

$$\text{BC1}: \quad \frac{\partial T}{\partial r}=0 \qquad \text{เมื่อ} \quad r=0\ ,\ t>0 \tag{3.14}$$

$$\text{BC2}: \quad \frac{\partial T}{\partial r}+\frac{h}{k}(T-T_\infty)=0 \qquad \text{เมื่อ} \quad r=R\ ,\ t>0 \tag{3.15}$$

$$\text{IC}: \quad T=T_i \qquad \text{เมื่อ} \quad r=0\ ,\ 0\le r\le R \tag{3.16}$$

กำหนดพารามิเตอร์ไร้มิติ

$$\theta(\xi,\tau)=\frac{T(r,t)-T_\infty}{T_i-T_\infty} \tag{3.17}$$

$$\xi=\frac{r}{R} \qquad \text{(พิกัดไร้มิติแนวรัศมี)} \tag{3.18}$$

$$\tau=\frac{\alpha t}{R^2} \qquad \text{(ตัวเลขฟูริเย)} \tag{3.19}$$

$$Bi=\frac{hR}{k} \qquad \text{(ตัวเลขบิโย)} \tag{3.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดสมการใหม่

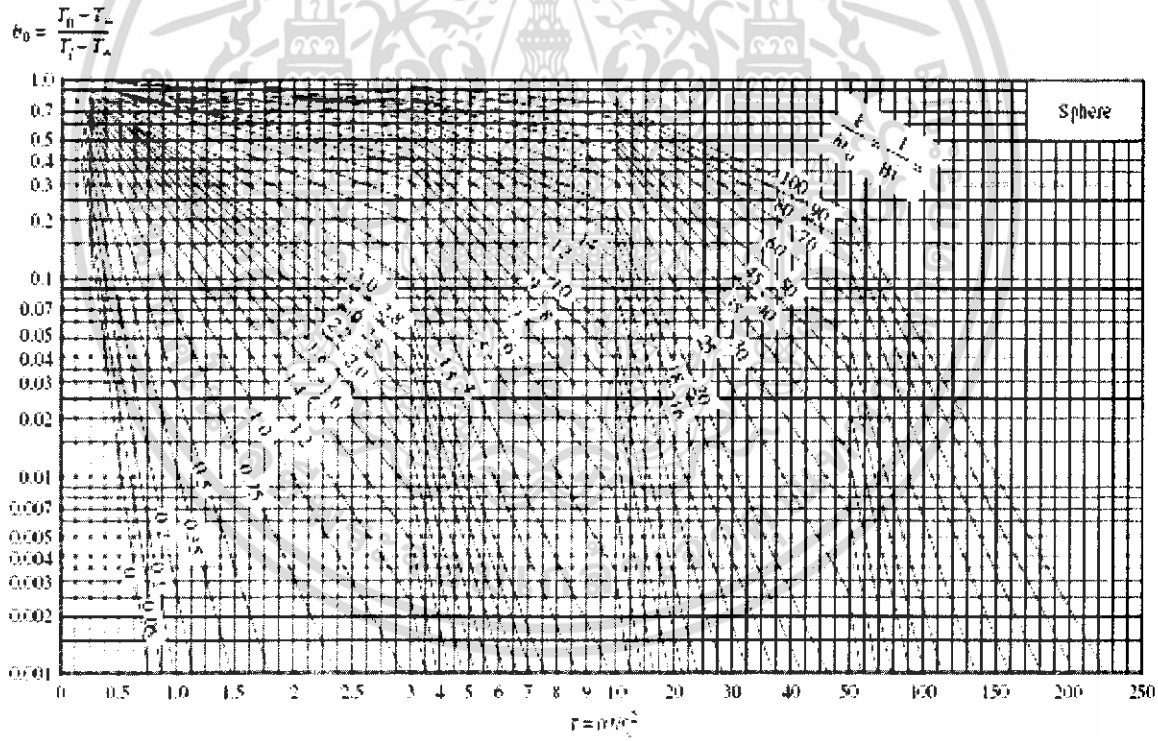
$$\frac{1}{\xi^2}\frac{\partial\theta}{\partial\xi}\left(\xi^2\frac{\partial\theta}{\partial\xi}\right)=\frac{\partial\theta}{\partial\tau} \qquad \text{ใน} \qquad 0<\xi<1\ ,\ \tau>0 \qquad (3.21)$$

BC1 : $$\frac{\partial\theta}{\partial\xi}=0 \qquad \text{เมื่อ} \qquad \xi=0\ ,\ \tau>0 \qquad (3.22)$$

BC2 : $$\frac{\partial\theta}{\partial\xi}+Bi\theta=0 \qquad \text{เมื่อ} \qquad \xi=1\ ,\ \tau>0 \qquad (3.23)$$

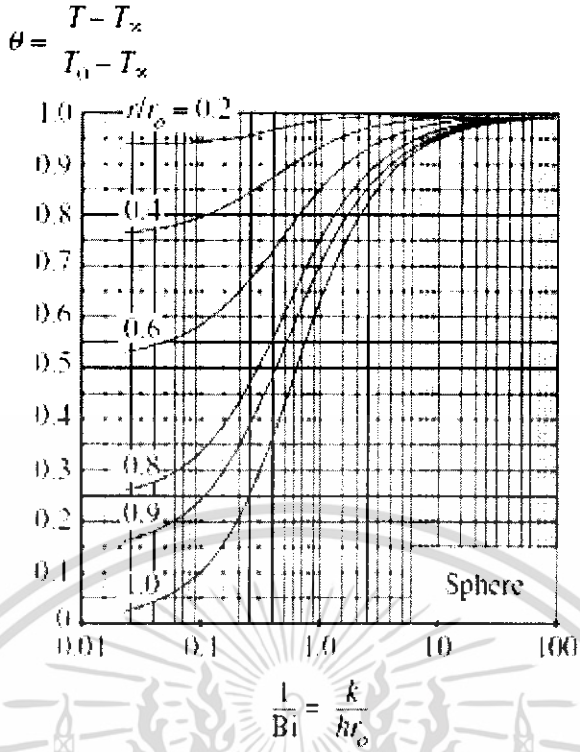
IC : $$\theta=1 \qquad \text{เมื่อ} \qquad \tau=0 \text{ ใน } 0\le\xi\le1 \qquad (3.24)$$

ไฮส์เลอร์ได้แก้ปัญหาและสร้างเป็นแผนภูมิดังรูปที่ 3.6, 3.7 และ 3.8

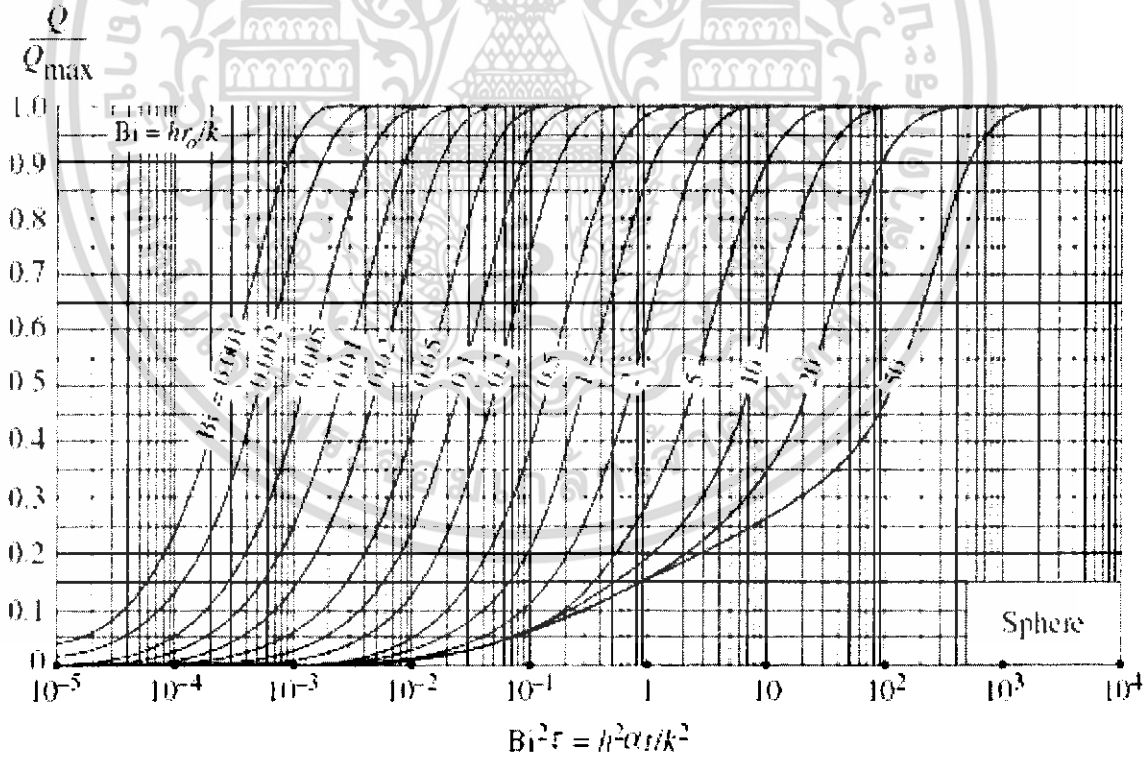


รูปที่ 3.6 อุณหภูมิที่เส้นศูนย์กลางของทรงกลมตันรัศมี R โดยมีเงื่อนไขขอบผิวชนิดที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ เทียบกับอุณหภูมิเส้นศูนย์กลางสำหรับทรงกลมตันรัศมี R



รูปที่ 3.8 ปริมาณความร้อนเข้าหรือออกจากทรงกลมตันรัศมี R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

<u>การทดลองที่ 1</u> การทดลองการวัดค่าเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารระหว่างการแช่เย็น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงของลูกไส้กรอกและชิ้นหมู

<u>วัตถุประสงค์</u> - เพื่อหาเวลาและค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงขณะทำการแช่เย็น

- เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองไปสร้างกราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และข้อมูลดิบเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรมคำนวณ

<u>วัสดุ – อุปกรณ์</u> - เครื่อง Data locker (Agilent 3490A 20 channels Multiplexer)

- สาย Thermocouple Type J
- ลูกชิ้นหมู PA ไส้กรอก CP
- เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ชนิดพลาสติก
- น้ำแข็ง
- ชามใส่น้ำแข็ง
- เกลือ
- เครื่องชั่งอิเลคโทรนิคหน่วยกรัมขนาดความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Yamato, HB-120)

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. เตรียมลูกชิ้นหมู (หรือไส้กรอก) ทำการสุ่มวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 จุดโดยเวอร์เนียร์ แล้วหาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลาง เพื่อที่จะได้หาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสียบสาย Thermocouple 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีสำหรับลูกชิ้น คือ ตำแหน่งบริเวณผิว ตำแหน่งจุดศูนย์กลาง และตำแหน่งระหว่างผิวและจุดศูนย์กลาง และ 4 ตำแหน่งสำหรับไส้กรอก คือ ตำแหน่งบริเวณผิว ตำแหน่งจุดศูนย์กลาง ตำแหน่งระหว่างผิวและจุดศูนย์กลางทางด้านสั้น และตำแหน่งระหว่างผิวและจุดศูนย์กลางทางด้านยาว

2. ตรวจสอบการต่อสาย Thermocouple และทำการ Calibrate เครื่องเพื่อตรวจสอบดูว่าสาย Thermocouple ใช้งานได้หรือไม่

3. เสียบสาย Thermocouple เข้าไปในอาหาร ณ ตำแหน่งที่ได้ทำการวัดค่าไว้ และทำการจดบันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นอาหาร และตัวกลางก่อนการแช่เย็นโดยตัวกลางการแช่เย็นที่ใช้คือน้ำแข็ง

4. ควบคุมอุณหภูมิตัวกลางให้คงที่ ตลอดการทดลองโดยการเติมเกลือเพื่อช่วยให้อุณหภูมิของตัวกลางคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใส่ลูกชิ้น (หรือไส้กรอก) ลงไปในตัวกลาง เริ่มจับเวลา และจดบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จากหน้าจอของเครื่อง Data locker จนกว่าอุณหภูมิใจกลางของผลิตภัณฑ์จะคงที่

6. ทำการทดลองซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง

<u>การทดลองที่ 2</u> การทดลองหาค่าความหนาแน่น

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อหาความหนาแน่นของ ไส้กรอกและลูกชิ้นด้วยการแทนที่

<u>วัสดุ – อุปกรณ์</u> - ถ้วยยูเรกา

- เครื่องชั่งอิเลคโทรนิคหน่วยกรัมขนาดความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Yamato, HB-120)
- น้ำเปล่า
- ไส้กรอกและลูกชิ้น
- บีกเกอร์

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. ชั่งน้ำหนัก ถ้วยยูเรกา ไส้กรอกและลูกชิ้น ด้วยตาชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง บันทึกค่า
2. นำน้ำใส่ถ้วยยูเรกา ชั่งน้ำหนักรวมของน้ำและถ้วย
3. ใส่ไส้กรอกหรือลูกชิ้นลงไปในถ้วยยูเรกาที่มีน้ำ
4. เก็บน้ำที่ล้นออกมาจากถ้วยยูเรกาไปชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปคำนวณหาความหนาแน่นต่อไป จากสมการที่ (2.4)

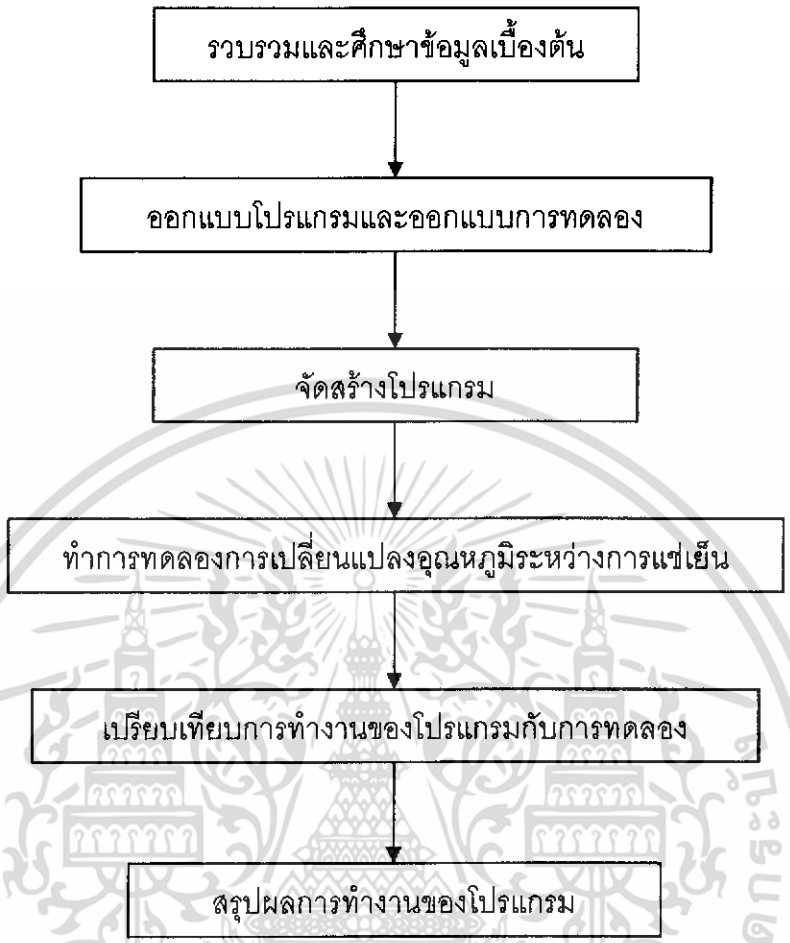
$$\rho = \frac{M}{V}$$

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง จากการทดลองที่เป็นข้อมูลดิบนำไปเทียบกับผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม และนำข้อมูลดิบไปสร้างกราฟโดย statistica 6 เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรูปของกราฟ เปรียบเทียบระหว่างผลจากโปรแกรมและการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สรุปขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบโปรแกรมและผลการทดลอง

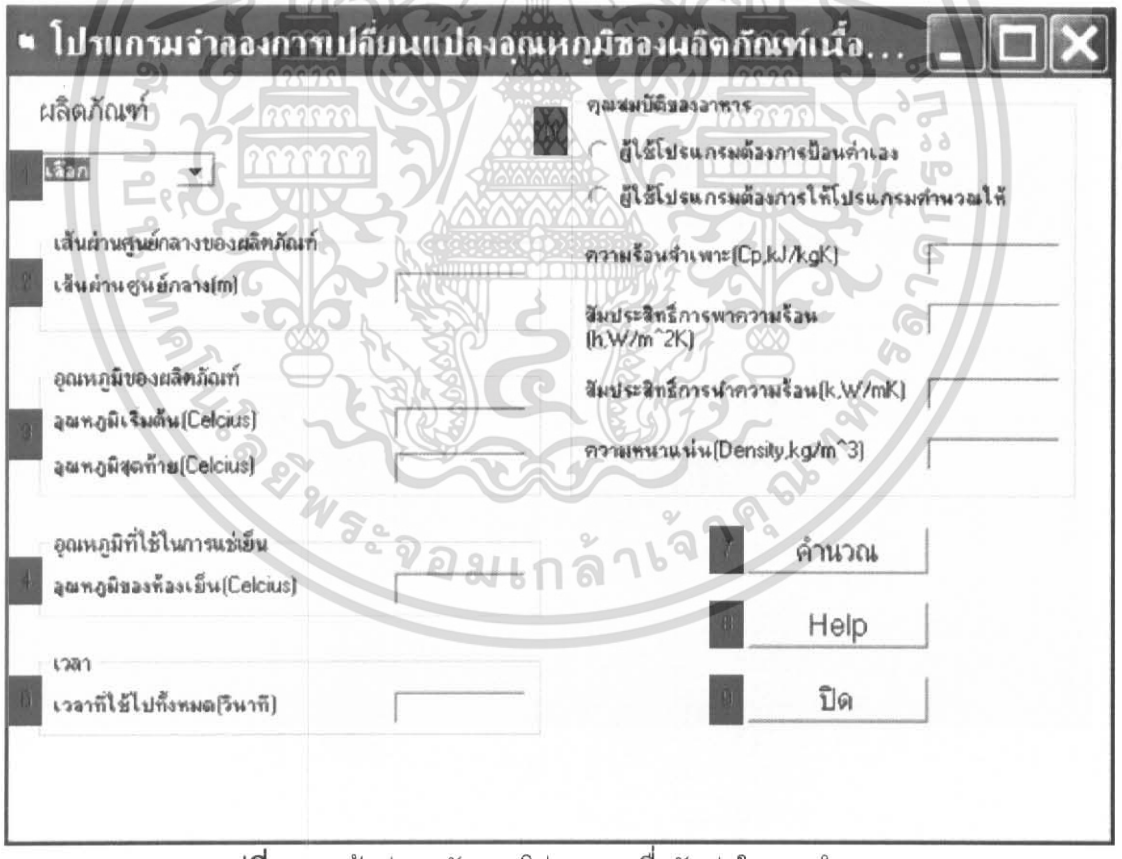
4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม

เมื่อเข้าสู่โปรแกรมแล้วภายในโปรแกรมจะประกอบด้วยหน้าจอหลักดังนี้

1. หน้าต่างการรับค่าเพื่อใช้ในการคำนวณ
2. หน้าต่างแสดงผลการคำนวณของโปรแกรม
3. หน้าต่างแสดงรูปทรงจำลองและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชิ้นวัสดุอาหาร
4. หน้าต่างแสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

4.2 การใช้งานและการทดสอบโปรแกรม

4.2.1 วิธีการใช้งานโปรแกรม



รูปที่ 4.1 หน้าต่างหลักของโปรแกรมเพื่อรับค่าในการคำนวณ

เมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างหลักของโปรแกรมเพื่อรับค่าในการคำนวณ ซึ่งภายในหน้าต่างหลักนี้ จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่ผู้ใช้ต้องป้อนค่าคุณสมบัติ ตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับขั้นตอนการทำงานของไส้กรอกและลูกชิ้นในส่วนหน้าต่างหลักนี้จะมีการทำงานที่เหมือนกัน โดยในหน้าต่างหลักจะประกอบด้วยส่วน ๆ ต่างดังรูปที่ 4.1

ส่วนที่ 1 ผลิตภัณฑ์ (หมายเลข 1 รูปที่ 4.1)

เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้โปรแกรมเลือกชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคำนวณ โดยแบ่งเป็น ไส้กรอก และลูกชิ้น ซึ่งเป็นส่วนแรกที่ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องป้อนค่า ถ้าผู้ใช้โปรแกรมไม่ทำการเลือกชนิดของผลิตภัณฑ์ จะปรากฏหน้าต่างเตือนให้เลือกชนิดของผลิตภัณฑ์ก่อนดังรูปที่ 4.13

ส่วนที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ (หมายเลข 2 รูปที่ 4.1)

เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้โปรแกรมป้อนค่าขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคำนวณ คือเส้นผ่านศูนย์กลางมีหน่วยเป็นเมตร ถ้าผู้ใช้โปรแกรมไม่ทำการป้อนค่า จะปรากฏหน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 4.14

ส่วนที่ 3 อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (หมายเลข 3 รูปที่ 4.1)

เป็นส่วนที่จะให้ผู้ใช้โปรแกรมป้อนค่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งเป็นอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้าย หน่วยเป็นองศาเซลเซียส ถ้าผู้ใช้โปรแกรมไม่ป้อนค่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ จะปรากฏหน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 4.15 และ 4.16

ส่วนที่ 4 อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เย็น (หมายเลข 4 รูปที่ 4.1)

เป็นส่วนที่จะให้ผู้ใช้โปรแกรมป้อนค่าอุณหภูมิของห้องเย็นหรืออุณหภูมิตัวกลางที่จะทำการแช่เย็น หน่วยเป็นองศาเซลเซียส ถ้าผู้ใช้โปรแกรมไม่ป้อนค่าอุณหภูมิของห้องเย็น จะปรากฏหน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าอุณหภูมิของห้องเย็นดังรูปที่ 4.17

ส่วนที่ 5 คุณสมบัติของอาหาร (หมายเลข 5 รูปที่ 4.1)

เป็นส่วนที่จะให้ผู้ใช้โปรแกรมป้อนค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของอาหาร โดยข้อมูลที่โปรแกรมต้องการประกอบด้วยความร้อนจำเพาะ (kJ/kgK) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/mK) และความหนาแน่น (kg/m^3) โดยผู้ใช้โปรแกรมสามารถเลือกที่จะป้อนค่าตัวแปรต่าง ๆ ด้วยตัวเอง หรือเลือกที่จะให้โปรแกรมคำนวณให้ซึ่งจะมีข้อมูลคุณสมบัติต่าง ๆ ของอาหารเก็บไว้ในฐานข้อมูล ถ้าผู้ใช้โปรแกรมเลือกที่จะป้อนค่าต่าง ๆ ด้วยตัวเอง จะปรากฏหน้าต่างเตือนในกรณีที่ป้อนค่าคุณสมบัติของอาหารไม่ครบตามที่โปรแกรมต้องการดังรูปที่ 4.18, 4.19, 4.20 และ 4.21

ส่วนที่ 6 เวลา (หมายเลข 6 รูปที่ 4.1)

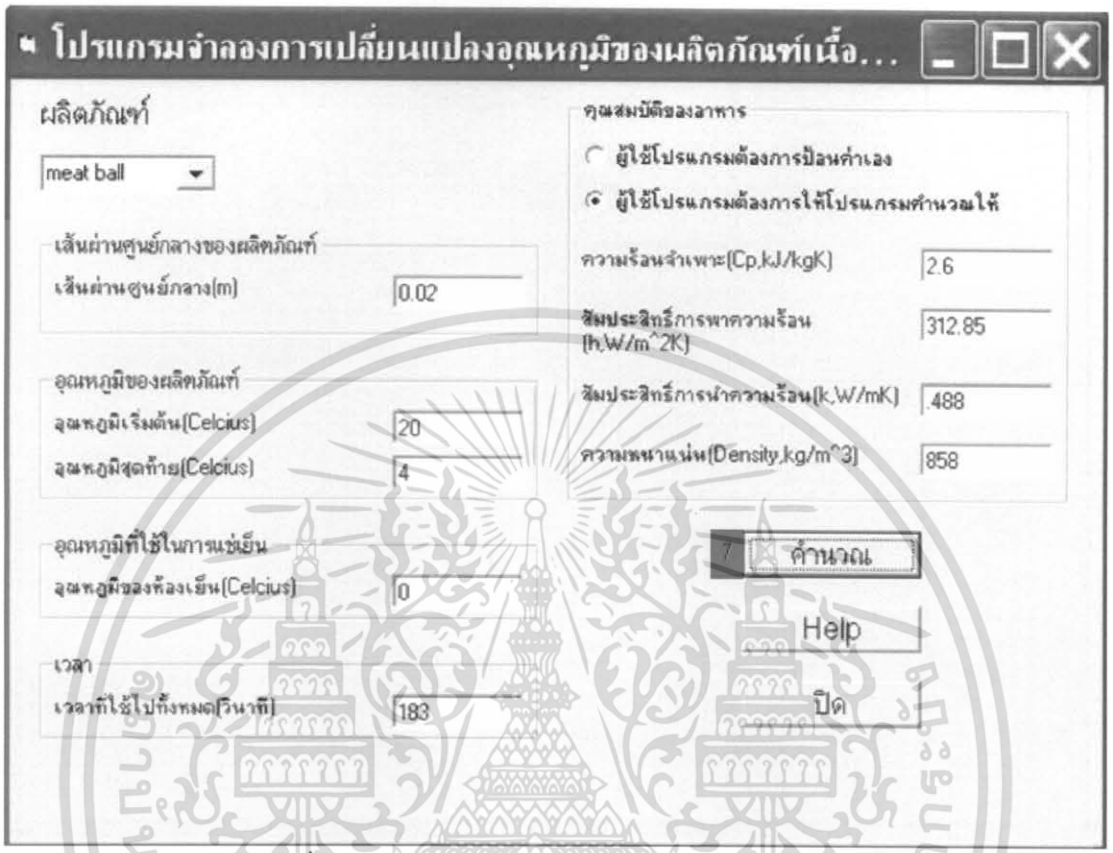
เป็นส่วนที่แสดงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการแช่เย็นมีหน่วยเป็นวินาที

ส่วนที่ 7 คำนวณ (หมายเลข 7 รูปที่ 4.1)

เมื่อเราป้อนข้อมูลพื้นฐานในส่วนต่าง ๆ ครบถ้วนแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม "คำนวณ" โปรแกรมจะทำการคำนวณและแสดงผลการคำนวณหาเวลาในการแช่เย็นในช่องหมายเลข 7 ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อมทั้งแสดงหน้าต่างโปรแกรมที่เวลาสุดท้ายดังรูปที่ 4.2 และหน้าต่างรูปจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดังรูปที่ 4.3 หรือ 4.8



รูปที่ 4.2 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณของโปรแกรม

ส่วนที่ 8 Help (หมายเลข 8 รูปที่ 4.1)

จะปรากฏหน้าต่างแสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมและวิธีการทำงานของโปรแกรม ผู้ใช้สามารถคลิกที่ปุ่ม "Help" เพื่อดูรายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรมได้

ส่วนที่ 9 ปิด (หมายเลข 9 รูปที่ 4.1)

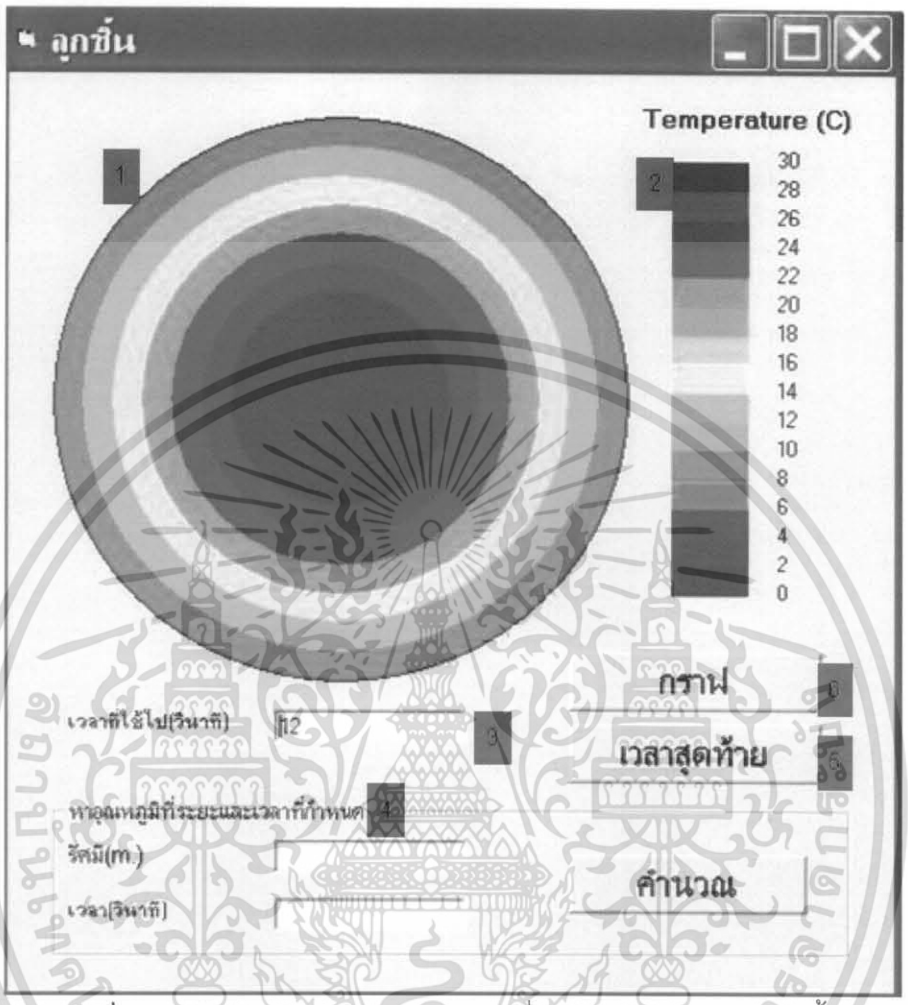
เมื่อผู้ใช้โปรแกรมคลิกที่ปุ่ม "ปิด" จะเป็นการออกจากโปรแกรม

ส่วนแสดงรูปจำลองการเปลี่ยนแปลง

หน้าต่างแสดงรูปทรงจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะประกอบด้วย ส่วนของรูปทรงจำลอง ส่วนแสดงแถบสีเพื่อเทียบกับอุณหภูมิ ส่วนของเวลาที่ใช้ไป ส่วนการหาอุณหภูมิที่ระยะและเวลาที่กำหนด ส่วนเวลาสุดท้าย ส่วนกราฟ ซึ่งหน้าต่างแสดงผลรายละเอียดของไส้กรอกกับของลูกชิ้นมีความแตกต่างกันไปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.หน้าต่างแสดงผลการคำนวณและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของลูกชิ้น



รูปที่ 4.3 หน้าต่างแสดงรูปจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของลูกชิ้น

ส่วนที่ 1 แสดงรูปจำลองของลูกชิ้น (หมายเลข 1 รูปที่ 4.3)

เป็นส่วนที่แสดงรูปจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอาหาร

ส่วนที่ 2 แถบสีแสดงระดับอุณหภูมิ (หมายเลข 2 รูปที่ 4.3)

เป็นส่วนที่แสดงระดับอุณหภูมิของแถบสีต่าง ๆ

ส่วนที่ 3 เวลาที่ใช้ไป (หมายเลข 3 รูปที่ 4.3)

เป็นส่วนแสดงเวลาที่ใช้ในการแช่เย็นลูกชิ้นที่สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของลูกชิ้น

ส่วนที่ 4 หาอุณหภูมิที่ระยะและเวลาที่กำหนด (หมายเลข 4 รูปที่ 4.3)

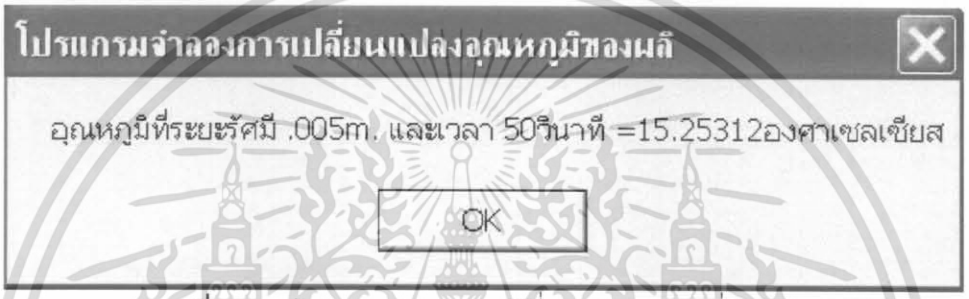
เมื่อผู้ใช้โปรแกรมต้องการทราบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ ของลูกชิ้น ให้ป้อนค่ารัศมีและเวลาที่ต้องการทราบ แล้วคลิกที่ปุ่ม "คำนวณ" จะปรากฏหน้าต่างแสดงผลการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

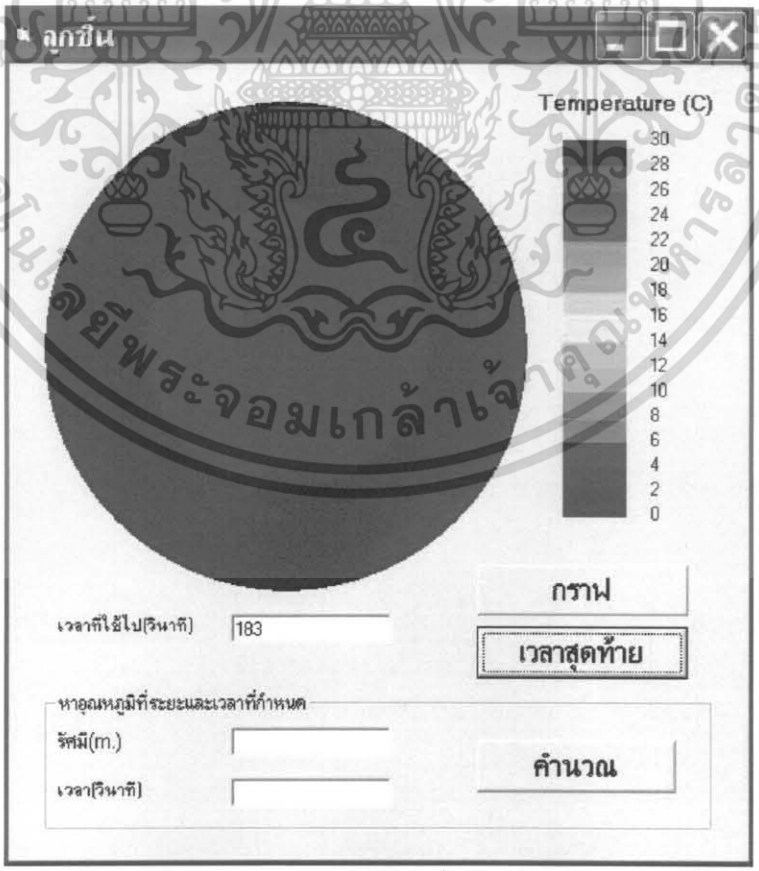
ขึ้นมาดังรูปที่ 4.4 แต่ถ้าผู้ใช้โปรแกรมไม่ป้อนค่ารัศมี เวลา หรือ ป้อนค่ารัศมีไม่ตรงกับข้อมูลที่ป้อนไว้ในหน้าต่างหลักของโปรแกรมแล้ว จะปรากฏหน้าต่างเตือนดังรูปที่ 4.22, 4.23 และ 4.24

ส่วนที่ 5 เวลาสุดท้าย (หมายเลข 5 รูปที่ 4.3)

หากผู้ใช้โปรแกรมต้องการหยุดการทำงานของรูปจำลองเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในลูกชิ้น ณ เวลาที่แสดงในหมายเลข 3 ให้คลิกที่ "ปุ่มเวลาสุดท้าย" 1 ครั้ง โปรแกรมจะหยุดการแสดงผลการเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าหากผู้ใช้โปรแกรมต้องการเห็นการเปลี่ยนแปลง ณ เวลาสุดท้ายของการแช่เย็นลูกชิ้น ให้คลิกที่ปุ่ม "เวลาสุดท้าย" อีก 1 ครั้ง โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างการเปลี่ยนแปลงรูปทรงจำลองที่เวลาสุดท้ายของการแช่เย็นลูกชิ้นดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 หน้าต่างแสดงอุณหภูมิที่ระยะและเวลาที่กำหนด



รูปที่ 4.5 หน้าต่างแสดงรูปทรงจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ เวลาสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา (หมายเลข 6 รูปที่ 4.3)

เป็นส่วนที่แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของลูกชิ้น เมื่อผู้ใช้โปรแกรมคลิกที่ปุ่ม "กราฟ" จะปรากฏหน้าต่างกราฟแสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 กราฟอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ (หมายเลข 1 รูปที่ 4.6)

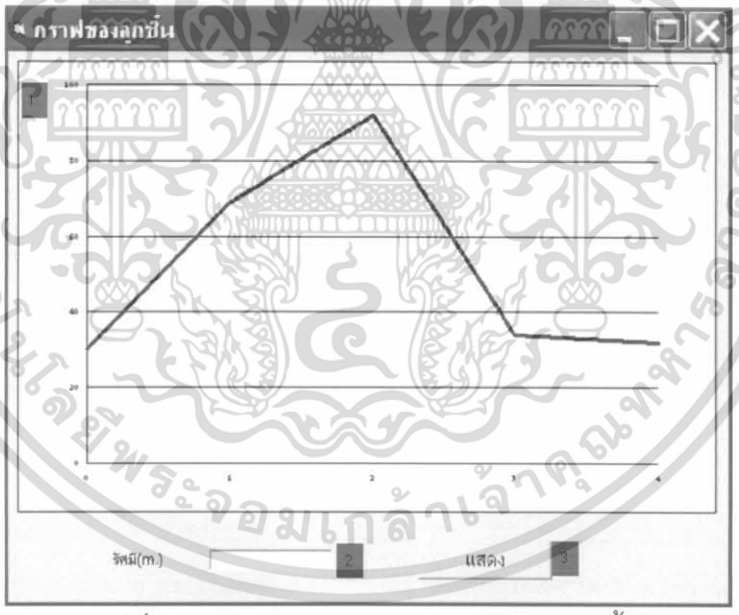
เป็นกราฟแสดงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในของลูกชิ้น

ส่วนที่ 2 ป้อนค่ารัศมี (หมายเลข 2 รูปที่ 4.6)

เป็นส่วนที่ผู้ใช้โปรแกรมต้องป้อนค่ารัศมี ณ ตำแหน่งที่ต้องการให้กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งถ้าผู้ใช้ป้อนข้อมูลขัดแย้งกับหน้าต่างหลักจะปรากฏหน้าต่างเตือนดังรูปที่ 4.22 และ 4.23

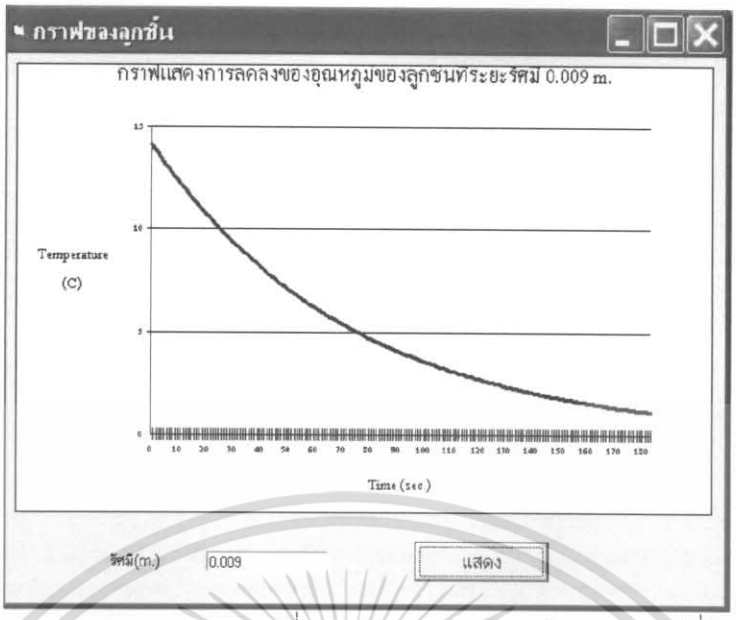
ส่วนที่ 3 แสดง (หมายเลข 3 รูปที่ 4.6)

เมื่อป้อนค่ารัศมี แล้วคลิกที่ปุ่ม "แสดง" กราฟจะแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งรัศมีนั้น ๆ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 หน้าต่างกราฟแสดงอุณหภูมิของลูกชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



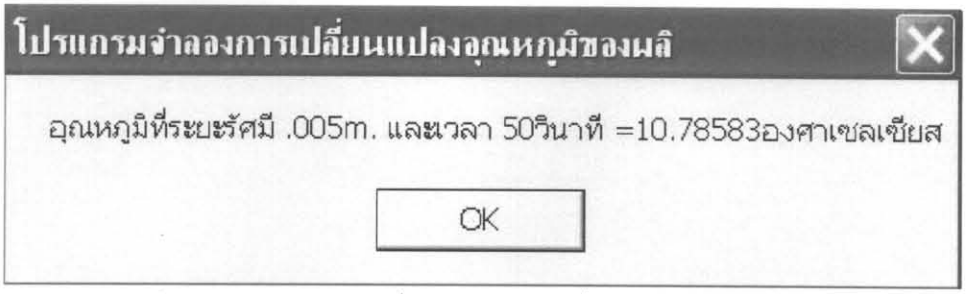
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งรัศมีที่ต้องการ

2.หน้าต่างแสดงผลการคำนวณและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของไส้กรอก

การแสดงผลการคำนวณ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และปุ่มคำสั่งของไส้กรอก เหมือนกันกับของลูกชิ้น

รูปที่ 4.8 หน้าต่างแสดงรูปทรงจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไส้กรอก

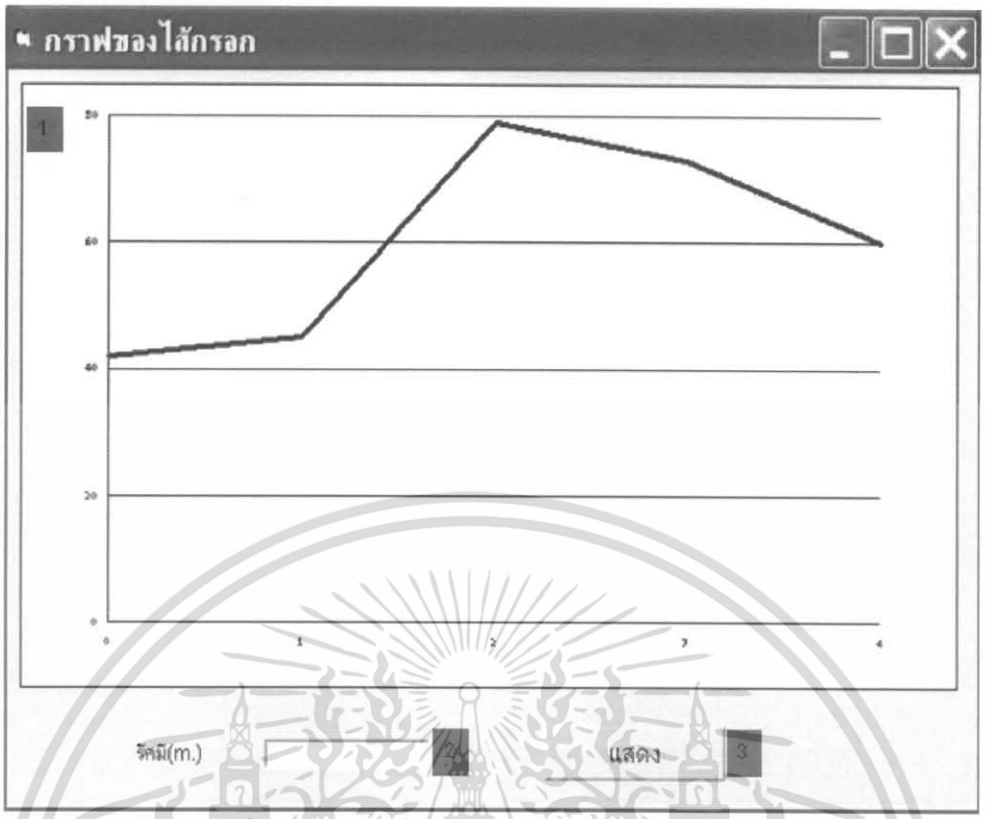
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



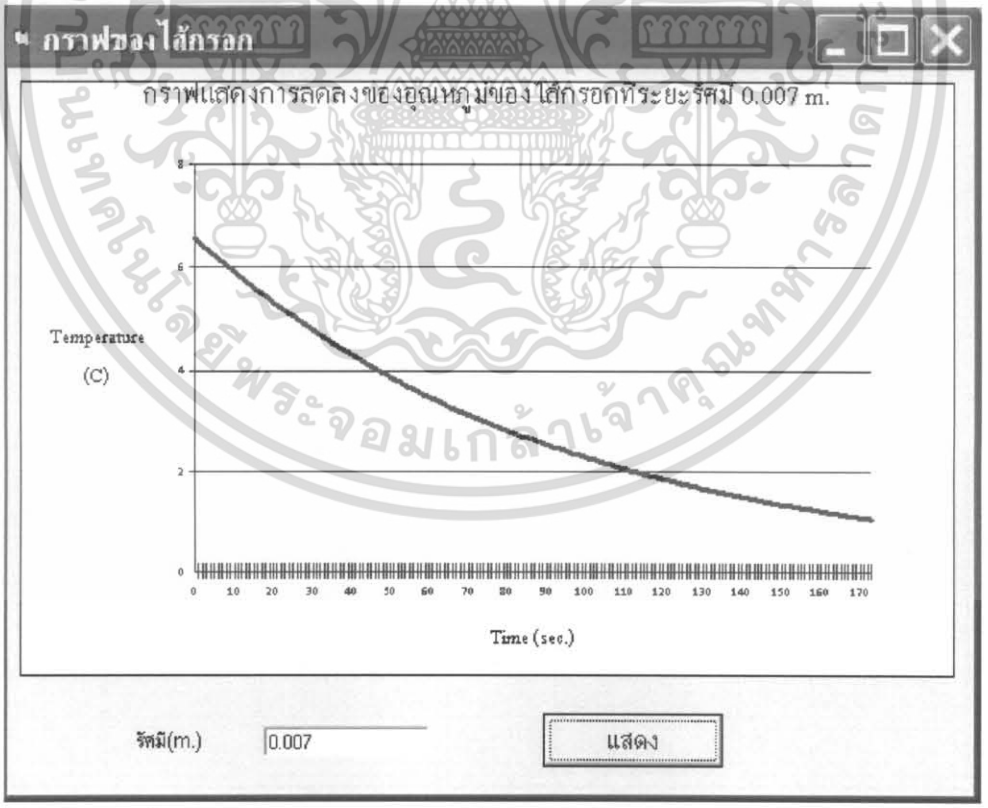
รูปที่ 4.9 หน้าต่างเตือนเพื่อบอกอุณหภูมิที่ระยะและเวลาที่กำหนด

รูปที่ 4.10 หน้าต่างแสดงรูปทรงจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ เวลาสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



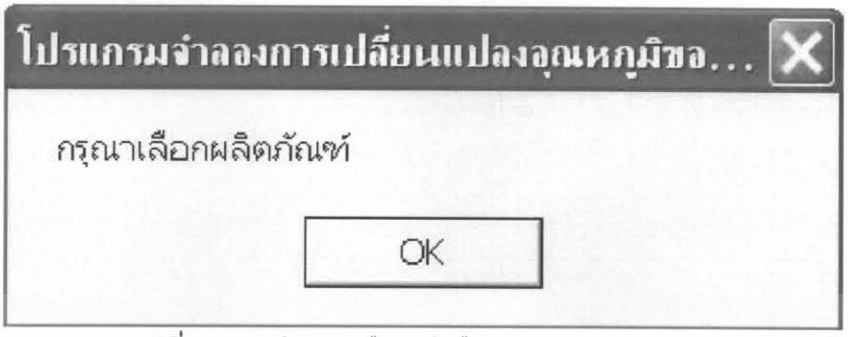
รูปที่ 4.11 หน้าต่างกราฟแสดงอุณหภูมิของไส้กรอก



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งรัศมีที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

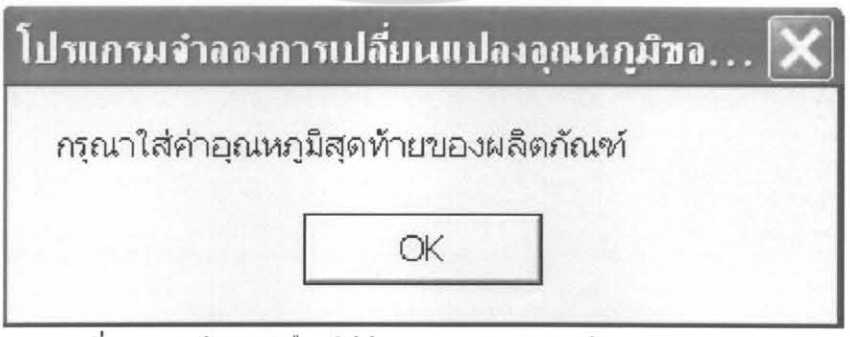
หน้าต่างเตือนแสดงการทำงานในแต่ละส่วนมีดังนี้



รูปที่ 4.13 หน้าต่างเตือนให้เลือกชนิดของผลิตภัณฑ์

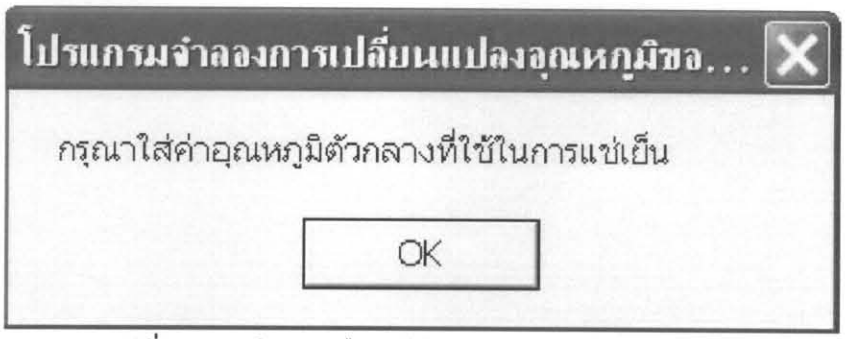
รูปที่ 4.14 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 4.15 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.16 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าอุณหภูมิสุดท้ายของผลิตภัณฑ์

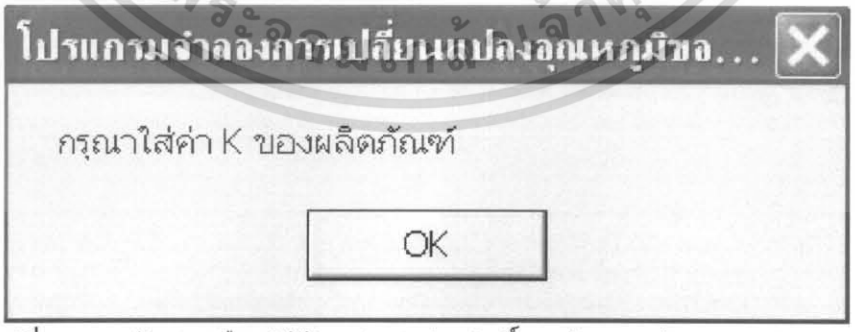
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าอุณหภูมิของห้องเย็น

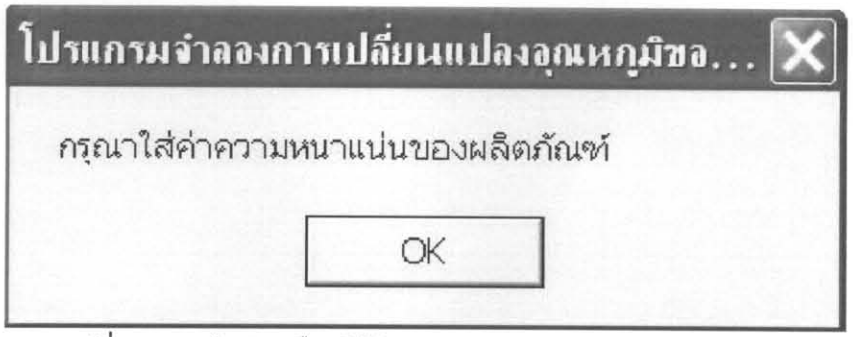
รูปที่ 4.18 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 4.19 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผลิตภัณฑ์



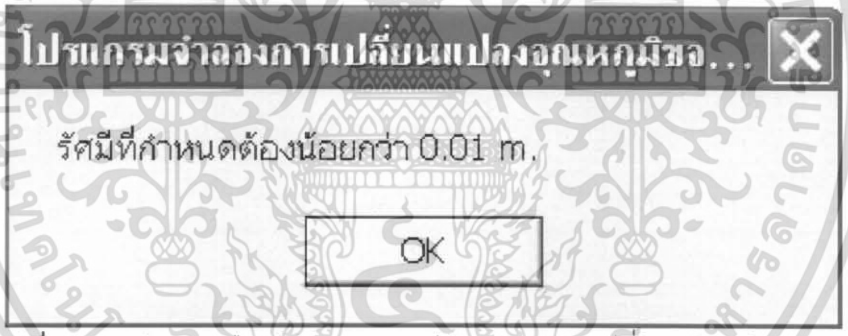
รูปที่ 4.20 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

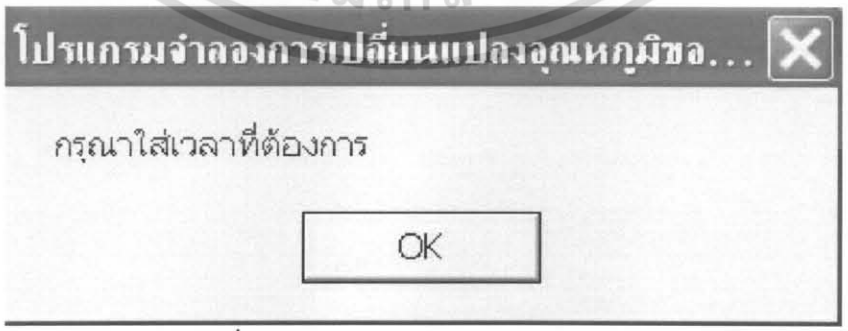


รูปที่ 4.21 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 4.22 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่ารัศมีของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.23 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่ารัศมีน้อยกว่าค่ารัศมีที่ป้อนในหน้าจอหลัก
(ในที่นี้รัศมีที่ป้อนไว้ในหน้าต่างหลักมีค่า 0.01 m.)



รูปที่ 4.24 หน้าต่างเตือนให้ป้อนค่าเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดสอบโปรแกรม

1. เปรียบเทียบระหว่างการคำนวณของโปรแกรมและการทดลองในการแช่เย็นไส้กรอก จากคุณสมบัติของไส้กรอกดังนี้

ความร้อนจำเพาะ	=	2.6	(kJ/kgK)
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	=	317.27	(W/m^2K)
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	=	0.407	(W/mK)
ความหนาแน่น	=	962	(kg/m^3)
อุณหภูมิเริ่มต้น	=	23.3	(^oC)
อุณหภูมิจุดกึ่งกลาง	=	7.3	(^oC)
อุณหภูมิตัวกลางน้ำเย็น	=	0	(^oC)
เส้นผ่านศูนย์กลาง	=	0.0152	(m)

<u>จากการคำนวณของโปรแกรมได้ผลดังนี้</u>

เวลาทั้งหมดที่ใช้	=	141.98	วินาที
อุณหภูมิที่ผิว	=	2.55	องศาเซลเซียส

<u>จากการทดลองได้ผลดังนี้</u>

เวลาทั้งหมดที่ใช้	=	138.63	วินาที
อุณหภูมิที่ผิว	=	2.8	องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณของโปรแกรมและค่าที่วัดได้จากการทดลองได้ผลดังรูปที่ 4.25

2. เปรียบเทียบระหว่างการคำนวณของโปรแกรมและการทดลองในการแช่เย็นลูกชิ้นหมู จากคุณสมบัติของลูกชิ้นหมูดังนี้

ความร้อนจำเพาะ	=	2.6	(kJ/kgK)
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	=	312.85	(W/m^2K)
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	=	0.488	(W/mK)
ความหนาแน่น	=	858	(kg/m^3)
อุณหภูมิเริ่มต้น	=	18.9	(^oC)
อุณหภูมิจุดกึ่งกลาง	=	3.9	(^oC)
อุณหภูมิตัวกลางน้ำเย็น	=	0	(^oC)
เส้นผ่านศูนย์กลาง	=	0.01159	(m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

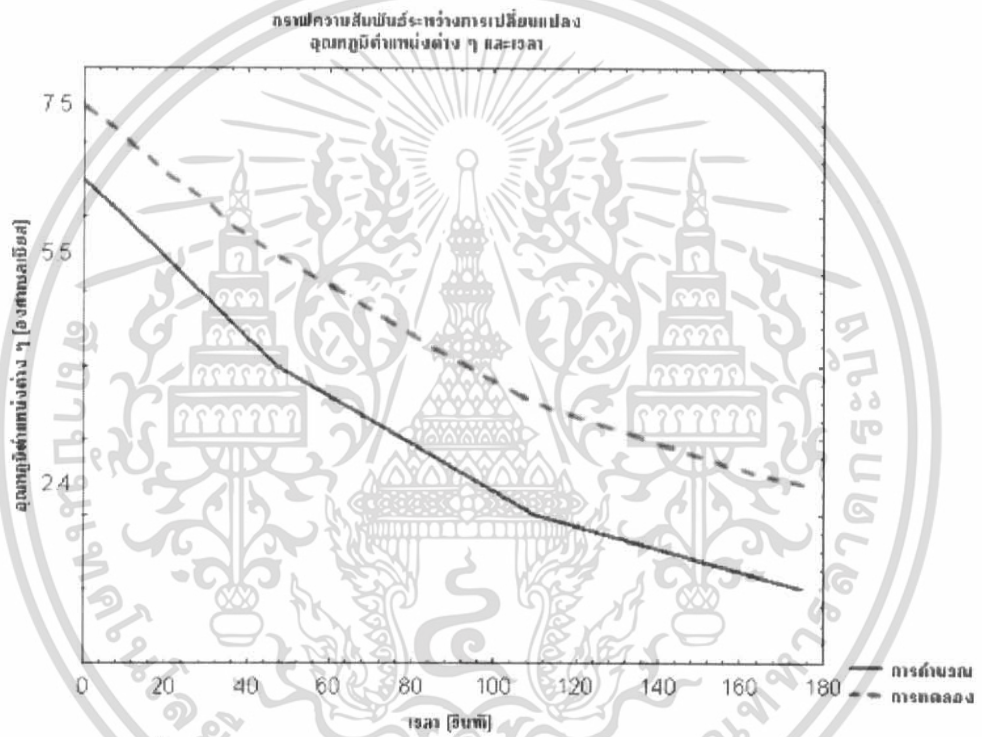
<u>จากการคำนวณของโปรแกรมได้ผลดังนี้</u>

เวลาทั้งหมดที่ใช้	=	214.97	วินาที
อุณหภูมิที่ผิว	=	1.36	องศาเซลเซียส

<u>จากการทดลองได้ผลดังนี้</u>

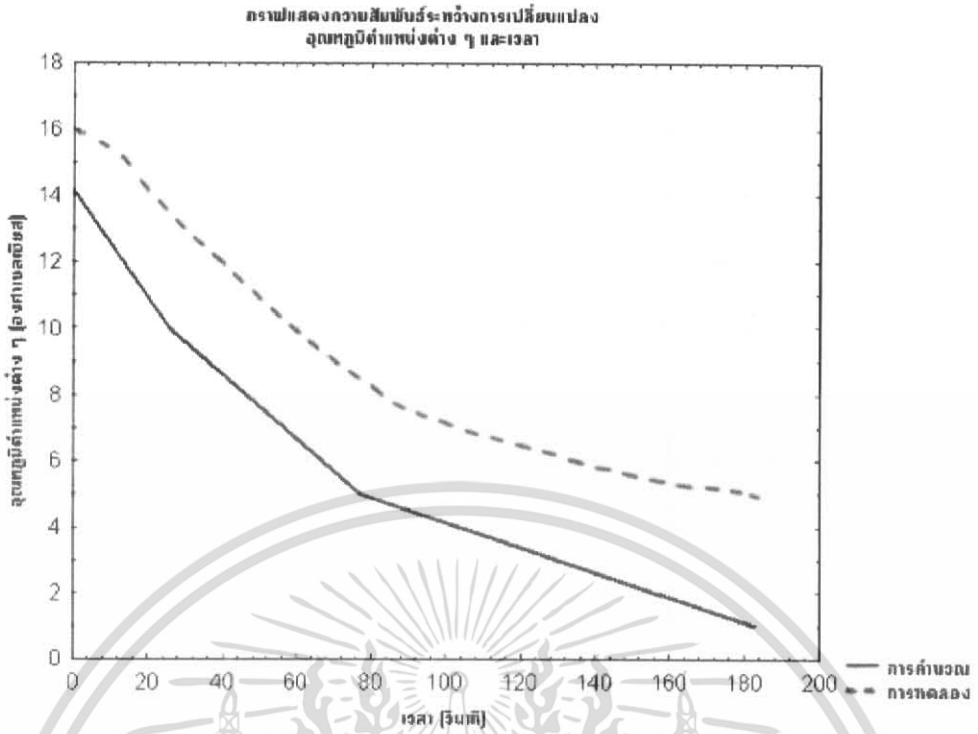
เวลาทั้งหมดที่ใช้	=	207.8	วินาที
อุณหภูมิที่ผิว	=	1.23	องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณของโปรแกรมและค่าที่วัดได้จากการทดลองได้ผลดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของโปรแกรมและค่าที่วัดได้จากการทดลองของไส้กรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของโปรแกรม และค่าที่วัดได้จากการทดลองของลูกชิ้น

จากกราฟจะเห็นว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไส้กรอกและลูกชิ้นที่คุณสมบัติเดียวกันมีลักษณะของกราฟที่คล้ายกันและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน แต่ค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมกับการทดลองมีค่าแตกต่างกันดังนี้ ของไส้กรอกจะแตกต่างกัน $\pm$ 2.36 % และลูกชิ้นแตกต่างกัน $\pm$ 3.34 % เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิบริเวณผิวที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมกับการทดลอง พบว่าสำหรับไส้กรอกแตกต่างกัน $\pm$ 9.80 % และลูกชิ้นแตกต่างกัน $\pm$ 9.89 % ค่าที่แตกต่างกันนี้อาจเนื่องมาจาก

1. อุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิมีค่าคลาดเคลื่อน
2. การจับเวลาโดยใช้คนอาจมีความคลาดเคลื่อนได้
3. ค่าคุณสมบัติของอาหารที่ใช้ในการคำนวณไม่ได้มาจากการทดลอง
4. สมการที่ใช้ในการคำนวณเป็นแบบ 1 มิติ ซึ่งมีความละเอียดไม่เพียงพอ

<u>แนวทางแก้ไข</u>

1. หาอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิพร้อมกับการจับเวลาในเครื่องเดียวกัน
2. ค่าคุณสมบัติของอาหารควรทำการทดลองหาก่อนนำไปใช้ในการคำนวณ
3. เลือกใช้สมการในการคำนวณให้มีรูปแบบ 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป

5.1 สรุปผล

1. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นวัสดุอาหารระหว่างการแช่เย็น สามารถคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการแช่เย็นของไส้กรอกและลูกชิ้นหมูได้ และมีการแสดงรูปทรงจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในชิ้นอาหารเมื่อเวลาผ่านไป เพื่อให้ผู้ใช้ได้เห็นภาพการเปลี่ยนแปลงชัดเจนขึ้น พร้อมทั้งแสดงกราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้งไส้กรอกและลูกชิ้น

2. จากการคำนวณของโปรแกรมจะได้กราฟของการเปลี่ยนแปลง ซึ่งกราฟที่คำนวณได้มีแนวโน้มเป็นไปตามกราฟที่ได้จากการทดลอง เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมกับการทดลองจริงพบว่า ไส้กรอกแตกต่างกันประมาณ $\pm$ 2.36 % ลูกชิ้นแตกต่างกันประมาณ $\pm$ 3.34 % และเปรียบเทียบอุณหภูมิที่พื้นผิวที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมกับการทดลองจริงพบว่า ไส้กรอกแตกต่างกันประมาณ $\pm$ 9.80 % ลูกชิ้นแตกต่างกันประมาณ $\pm$ 9.89 % และยังพบว่าเวลาที่ใช้ในการแช่เย็นจนกว่าอุณหภูมิภายในจุดศูนย์กลางเท่ากัน ลูกชิ้นใช้เวลาที่มากกว่าไส้กรอก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทดลองหาค่าคุณสมบัติของอาหารก่อนนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลและนำไปทดสอบกับอาหารชนิดอื่น รวมถึงผัก และผลไม้ ที่มีลักษณะแตกต่างกันไปหลายรูปทรง

2. รูปภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงควรมีการจำลองในลักษณะ 2 มิติ

3. ควรเพิ่มขีดจำกัดการคำนวณของโปรแกรมให้กว้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] อรวิน เลาหรัชตนันท์, ศศิมน ปรีดา และโชคชัย ธีรกุลเกียรติ. เอกสารการสอนชุดวิชา การถนอมและการแปรรูปอาหาร. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช : 2544. หน้า 143 - 190.

[2] ทัศนัย คงสุข, ระพีพรรณ จิระพิเชษฐ์ และสุภาวดี ชูสมภพ. "โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับทำนายเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งผลิตภัณฑ์อาหาร."**ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต** สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.

[3] Dickenson, R.W.,Jr., "**Thermal Properties of food**" In The Freezing Preservation of food,4th Edition, vol.2, D.K. Tressler, W.B. Van Arsdel, and M.J. Copley (Eds.). AVI, Westport, Conn, 1969.

[4] จตุพร ดอนเจดีย์, ทรงกลด จันทร์สวาท และนฤมล อินทรผล. "การออกแบบฐานข้อมูลคุณสมบัติทางความร้อนและการเก็บรักษาผักและผลไม้ในประเทศไทย." **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต** สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542.

[5] Dino Rahardiyan. "BAKSO (TRADITIONAL INDONESIAN MEATBALL) PROPERTIES WITH POSTMORTEM CONDITION AND FROZEN STORAGE." Ph.D. Thesis of B.S., Brawijaya University, Indonesia, The Interdepartmental Program of Animal and Dairy Sciences and Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. 2004.

[7] Uram, G.A., J.A. Carpenter, and J.O. Reagan. 1984. Effects of emulsions, particle size and levels of added water on the acceptability of smoked sausage. Journal Food Science 49: pp.966.

[8] Foegeding, E.A. and S.R. Ramsey. 1987. Rheological and water-holding properties of gelled meat batters containing iota carrageenan, kappa carrageenan or xanthan gum. Journal Food Science 52(3): pp.549.

[9] Zayas, J.F. 1985. Structural and water binding properties of meat emulsions prepared with emulsified and unemuslified fat. Journal Food Science 50(3): pp.689-692.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] McGraw-Hill. 2005. “Transient Heat Conduction”. [Online]. Available : http://highered.mcgraw-hill.com/sites/dl/free/0073129305/314124/cen29305_ch04.pdf.

[11] ASHRAE, "1993 ASHRAE Handbook Fundamentals SI Edition", American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Atlanta, 1993.

[12] ดำเกิง โตประเสริฐพงศ์, วนินทร วิโรจน์วรานุรักษ์, อรนุช พันธ์ไม้สี. โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำนายอุณหภูมิภายในอาหาร. **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต** สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

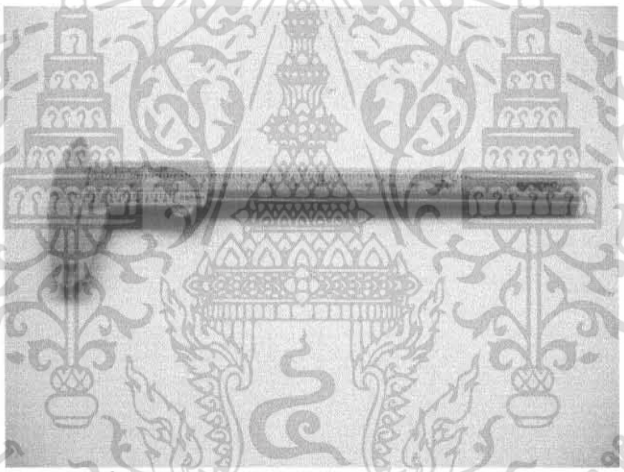
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

แสดงรูปอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ ก.1 เครื่อง Data locker (Agilent 3490A 20 channels Multiplexer)



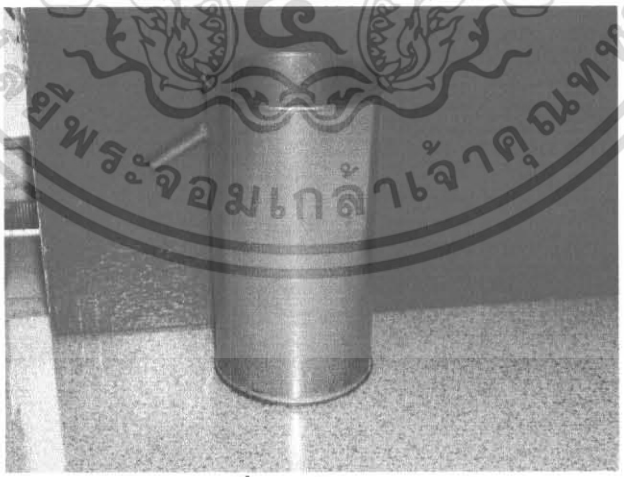
รูปที่ ก.2 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ชนิดพลาสติก

รูปที่ ก.3 เครื่องชั่งอิเลคโทรนิคหน่วยกรัม (ขนาดความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.4 ชามใส่น้ำแข็ง

รูปที่ ก.5 ตัวอย่างชิ้นอาหารที่ทดสอบ (ไส้กรอกและลูกชิ้น)



รูปที่ ก.6 ถ้วยยูเรกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตารางบันทึกผลการทดลองและกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นวัสดุอาหาร

ตาราง ข.1 การทดลองครั้งที่ 1 การเปลี่ยนอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของไส้กรอก

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิด้านยาว (^{o}C)	อุณหภูมิด้านสั้น (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	20.7	20.0	19.9	20.3	12.5
0	6.0	18.7	18.1	14.8	25.1
0	5.0	17.5	15.5	12.0	37.6
0	5.1	15.8	13.5	11.7	50.1
0	5.3	13.8	11.5	10.5	62.7
0	4.9	12.4	9.8	9.6	75.2
0	4.6	11.0	8.5	8.7	87.7
0	4.4	9.9	7.5	8.0	100.2
0	4.2	8.9	6.8	7.3	112.8
0	3.7	7.4	6.1	6.7	125.3
0	3.3	6.8	5.5	6.1	137.8
0	3.1	6.0	4.8	5.5	150.4
0	2.9	5.3	4.2	4.9	162.9
0	2.6	4.8	2.7	4.4	175.4
0	2.2	4.3	3.3	4.0	188.0
0	2.1	3.8	2.9	3.6	200.5
0	1.9	3.4	2.6	3.3	213.0
0	1.6	3.1	2.3	3.0	225.5
0	1.4	2.8	2.1	2.7	238.1
0	1.2	2.5	1.9	2.4	250.6
0	1.1	2.3	1.7	2.2	263.1
0	1.0	2.0	1.5	2.0	275.7
0	1.0	1.9	1.4	1.9	288.2
0	1.1	1.7	1.3	1.7	300.7
0	1.0	1.6	1.2	1.6	313.3
0	0.9	1.5	1.1	1.5	325.8
0	0.9	1.3	1.0	1.4	338.3
0	0.8	1.2	0.9	1.2	350.8
0	0.8	1.1	0.8	1.1	363.4
0	0.3	1.0	0.8	1.0	375.9
0	0.3	1.0	0.7	1.0	388.4
0	0.2	0.9	0.7	0.9	401.0
0	0.1	0.8	0.7	0.8	413.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.1 (ต่อ)

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิด้านยาว (^{o}C)	อุณหภูมิด้านสั้น (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	0.1	0.8	0.6	0.7	426.0
0	0.1	0.7	0.6	0.6	438.6
0	0.1	0.7	0.6	0.6	451.1
0	0.2	0.7	0.6	0.6	463.6
0	0.2	0.7	0.6	0.6	476.1
0	0.3	0.6	0.5	0.6	488.7
0	0.2	0.6	0.5	0.5	501.2
0	0.2	0.6	0.5	0.5	513.7
0	0.2	0.5	0.4	0.5	526.3
0	0.2	0.5	0.4	0.4	538.8
0	0.2	0.5	0.4	0.4	551.3
0	0.2	0.5	0.4	0.4	563.8
0	0.2	0.5	0.4	0.4	576.4
0	0.1	0.5	0.3	0.4	588.9
0	0.1	0.5	0.3	0.3	601.4
0	0.1	0.4	0.3	0.3	614.0
0	0.1	0.4	0.3	0.3	626.5
0	0.1	0.4	0.3	0.3	639.0
0	0.0	0.4	0.3	0.3	651.6
0	0.1	0.4	0.3	0.3	664.1
0	0.1	0.4	0.3	0.3	676.6
0	0.1	0.4	0.3	0.3	689.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.2 การทดลองครั้งที่ 2 การเปลี่ยนอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของไส้กรอก

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิด้านยาว (^{o}C)	อุณหภูมิด้านสั้น (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	23.7	23.6	22.9	23.0	11.9
0	4.9	18.0	11.9	12.9	23.8
0	5.0	16.0	10.4	11.5	35.7
0	4.8	14.3	9.3	10.3	47.6
0	4.4	13.5	8.2	9.4	59.5
0	4.0	12.3	7.3	8.5	71.3
0	3.7	7.4	6.7	7.7	83.2
0	3.4	10.2	6.1	7.0	95.1
0	3.0	9.4	5.5	6.4	107.0
0	2.8	8.6	5.2	5.9	118.9
0	2.6	8.0	4.8	5.4	130.8
0	2.4	7.4	4.4	5.0	142.7
0	2.2	6.8	4.1	4.6	154.6
0	2.1	6.3	3.9	4.3	166.5
0	2.0	5.9	3.6	4.0	178.4
0	1.8	5.5	3.4	3.8	190.2
0	1.7	5.2	3.2	3.5	202.1
0	1.7	4.8	3.1	3.3	214.0
0	1.6	4.5	2.9	3.1	225.9
0	1.5	4.2	2.7	2.9	237.8
0	1.4	3.9	2.6	2.7	249.7
0	1.3	3.6	2.4	2.5	261.6
0	1.2	3.4	2.3	2.3	273.5
0	1.1	3.1	2.2	2.2	285.4
0	1.1	2.9	2.0	2.1	297.3
0	1.0	2.8	2.0	2.0	309.1
0	0.9	2.6	1.9	1.8	321.0
0	0.9	2.4	1.8	1.7	332.9
0	0.8	2.3	1.7	1.6	344.8
0	0.8	2.2	1.6	1.6	356.7
0	0.8	2.1	1.6	1.5	368.6
0	0.7	2.0	1.5	1.5	380.5
0	0.7	1.9	1.5	1.4	392.4
0	0.7	1.8	1.5	1.3	404.3
0	0.7	1.8	1.4	1.3	416.2
0	0.6	1.7	1.4	1.3	428.0
0	0.6	1.6	1.3	1.2	439.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ช.2 (ต่อ)

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิด้านยาว (^{o}C)	อุณหภูมิด้านสั้น (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	0.6	1.5	1.3	1.1	451.8
0	0.5	1.5	1.3	1.1	463.7
0	0.5	1.4	1.2	1.0	475.6
0	0.5	1.4	1.2	1.0	487.5
0	0.5	1.3	1.2	1.0	499.4
0	0.4	1.3	1.1	0.9	511.3
0	0.4	1.2	1.1	0.9	523.2
0	0.4	1.2	1.1	0.9	535.1
0	0.4	1.2	1.1	0.9	546.9
0	0.3	1.2	1.1	0.9	558.8
0	0.3	1.1	1.1	0.9	570.7
0	0.3	1.1	1.1	0.9	582.6
0	0.2	1.1	1.1	0.9	594.5
0	0.3	1.0	1.1	0.7	606.4
0	0.3	1.0	1.1	0.6	618.3
0	0.3	1.0	1.1	0.6	630.2
0	0.3	1.0	1.0	0.5	642.1
0	0.2	1.0	1.0	0.5	653.9
0	0.2	1.0	1.0	0.5	665.8
0	0.2	1.0	1.0	0.5	677.7
0	0.2	1.0	1.0	0.4	689.6
0	0.1	1.0	0.9	0.3	701.5
0	0.1	0.9	0.9	0.3	713.4
0	0.1	0.9	0.8	0.3	725.3
0	0.2	0.9	0.8	0.3	737.2
0	0.1	0.9	0.8	0.3	749.1
0	0.1	0.9	0.7	0.3	761.0
0	0.1	0.8	0.7	0.3	772.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.3 การทดลองครั้งที่ 3 การเปลี่ยนอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของไส้กรอก

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิด้านยาว (^{o}C)	อุณหภูมิด้านสั้น (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	23.0	23.3	22.2	23.1	11.4
0	6.5	22.4	20.2	16.1	22.8
0	5.9	21.4	16.7	13.4	34.1
0	4.8	20.2	14.1	11.6	45.5
0	4.2	18.3	12.0	10.5	56.9
0	3.6	16.6	10.3	8.9	68.3
0	3.1	14.4	10.1	7.8	79.7
0	3.4	13.0	8.8	6.9	91.0
0	3.4	11.8	7.7	6.1	102.4
0	3.5	10.1	6.9	5.1	113.8
0	3.5	9.0	6.3	4.5	125.2
0	2.5	8.1	5.8	4.1	136.6
0	2.3	7.3	5.3	3.8	147.9
0	2.2	6.6	4.9	3.4	159.3
0	2.0	6.0	4.6	3.1	170.7
0	1.7	5.5	4.3	2.9	182.1
0	1.0	5.0	4.0	2.6	193.5
0	0.8	4.5	3.7	2.4	204.8
0	0.5	4.0	3.4	2.2	216.2
0	0.6	3.7	3.2	2.0	227.6
0	0.6	3.3	2.9	1.8	239.0
0	0.5	3.0	2.7	1.7	250.4
0	0.7	2.8	2.5	1.4	261.7
0	0.8	2.5	2.3	1.3	273.1
0	0.9	2.3	2.2	1.2	284.5
0	0.6	2.1	2.0	1.1	295.9
0	0.6	1.9	1.9	1.0	307.3
0	0.5	1.8	1.8	0.9	318.6
0	0.4	1.7	1.7	0.9	330.0
0	0.4	1.5	1.6	0.8	341.4
0	0.4	1.4	1.6	0.7	352.8
0	0.5	1.3	1.5	0.7	364.2
0	0.4	1.2	1.4	0.6	375.5
0	0.4	1.1	1.3	0.5	386.9
0	0.4	1.0	1.3	0.5	398.3
0	0.3	0.9	1.2	0.5	409.7
0	0.3	0.9	1.1	0.4	421.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.3 (ต่อ)

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิด้านยาว (^{o}C)	อุณหภูมิด้านสั้น (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	0.3	0.8	1.1	0.4	432.4
0	0.2	0.8	1.0	0.4	443.8
0	0.2	0.7	1.0	0.3	455.2
0	0.2	0.7	0.9	0.3	466.6
0	0.2	0.6	0.9	0.3	478.0
0	0.2	0.6	0.9	0.3	489.3
0	0.1	0.6	0.8	0.2	500.7
0	0.1	0.5	0.8	0.2	512.1
0	0.1	0.5	0.8	0.2	523.5
0	0.1	0.5	0.7	0.2	534.9
0	0.1	0.5	0.7	0.2	546.2
0	0.1	0.4	0.7	0.2	557.6
0	0.0	0.4	0.6	0.2	569.0
0	0.0	0.4	0.6	0.1	580.4
0	0.0	0.4	0.6	0.2	591.8
0	0.1	0.4	0.6	0.2	603.1
0	0.2	0.3	0.6	0.2	614.5
0	0.2	0.3	0.6	0.2	625.9
0	0.3	0.3	0.6	0.3	637.3
0	0.3	0.3	0.6	0.3	648.7
0	0.3	0.3	0.6	0.3	660.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.4 การทดลองครั้งที่ 1 การเปลี่ยนอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของลูกชิ้น

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิระหว่างผิวและศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	18.6	18.4	18.3	7.3
0	15.9	13.9	3.2	14.5
0	12.5	13.1	3.3	21.8
0	11.6	12.5	3.1	29.0
0	10.7	12.0	3.0	36.3
0	10.1	11.6	2.9	43.5
0	9.5	11.1	2.8	50.8
0	9.0	10.8	2.5	58.0
0	8.5	10.1	2.3	65.3
0	8.0	9.7	2.2	72.5
0	7.6	9.3	2.0	79.8
0	7.0	8.9	2.0	87.0
0	6.8	8.4	1.9	94.3
0	6.4	8.0	1.9	101.5
0	6.0	7.7	1.9	108.8
0	5.8	7.4	1.9	116.0
0	5.5	7.1	1.8	123.3
0	5.2	6.7	1.9	130.6
0	5.0	6.4	1.8	137.8
0	4.8	6.1	1.6	145.1
0	4.6	5.7	1.5	152.3
0	4.3	5.4	1.4	159.6
0	4.1	5.1	1.4	166.8
0	3.9	4.9	1.3	174.1
0	3.7	4.7	1.2	181.3
0	3.5	4.5	1.0	188.6
0	3.4	4.3	0.8	195.8
0	3.2	4.1	0.8	203.1
0	3.1	3.9	0.8	210.3
0	2.9	3.7	0.9	217.6
0	2.8	3.7	0.8	224.8
0	2.7	3.4	0.8	232.1
0	2.6	3.3	0.8	239.3
0	2.5	3.1	0.8	246.6
0	2.3	2.8	0.8	253.9
0	2.1	2.6	0.6	261.1
0	2.0	2.5	0.5	268.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.4 (ต่อ)

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิระหว่างผิวและศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	1.9	2.3	0.7	275.6
0	1.8	2.3	0.7	282.9
0	1.8	2.2	0.7	290.1
0	1.7	2.1	0.8	297.4
0	1.6	2.0	0.9	304.6
0	1.6	1.9	0.9	311.9
0	1.5	1.8	0.9	319.1
0	1.4	1.7	0.9	326.4
0	1.4	1.6	0.8	333.6
0	1.4	1.6	0.9	340.9
0	1.3	1.5	1.0	348.1
0	1.3	1.4	1.0	355.4
0	1.2	1.4	1.0	362.7
0	1.2	1.4	1.0	369.9
0	1.2	1.3	1.0	377.2
0	1.1	1.3	1.1	384.4
0	1.1	1.2	1.1	391.7
0	1.0	1.2	1.1	398.9
0	1.0	1.1	1.1	406.2
0	0.9	1.1	1.2	413.4
0	0.9	1.0	0.6	420.7
0	0.9	1.0	0.8	427.9
0	0.8	0.9	0.8	435.2
0	0.8	0.9	0.8	442.4
0	0.8	0.9	0.7	449.7
0	0.8	0.8	0.6	456.9
0	0.8	0.8	0.8	464.2
0	0.7	0.7	0.6	471.4
0	0.7	0.7	0.3	478.7
0	0.7	0.7	0.4	486.0
0	0.7	0.7	0.5	493.2
0	0.6	0.6	0.5	500.5
0	0.6	0.6	0.7	507.7
0	0.6	0.6	0.7	515.0
0	0.6	0.6	0.8	522.2
0	0.6	0.6	1.0	529.5
0	0.6	0.6	1.0	536.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.5 การทดลองครั้งที่ 2 การเปลี่ยนอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของลูกชิ้น

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิระหว่างผิวและศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	18.9	19.1	18.3	8.0
0	15.9	14.6	3.2	16.0
0	12.5	14.3	3.3	24.0
0	11.6	13.9	3.1	32.0
0	10.7	13.7	3.0	40.1
0	10.1	13.5	2.9	48.1
0	9.5	12.9	2.8	56.1
0	9.0	12.4	2.5	64.1
0	8.5	11.7	2.3	72.1
0	8.0	11.2	2.2	80.1
0	7.6	10.6	2.0	88.1
0	7.0	10.0	2.0	96.1
0	6.8	9.5	1.9	104.1
0	6.4	9.0	1.9	112.1
0	6.0	8.5	1.9	120.2
0	5.8	8.0	1.9	128.2
0	5.5	7.6	1.8	136.2
0	5.2	7.0	1.9	144.2
0	5.0	6.8	1.8	152.2
0	4.8	6.1	1.6	160.2
0	4.6	5.7	1.5	168.2
0	4.3	5.4	1.4	176.2
0	4.1	5.1	1.4	184.2
0	3.9	4.9	1.3	192.2
0	3.7	4.7	1.2	200.3
0	3.5	4.5	1.0	208.3
0	3.4	4.3	0.8	216.3
0	3.2	4.1	0.8	224.3
0	3.1	3.9	0.8	232.3
0	2.9	3.7	0.9	240.3
0	2.8	3.7	0.8	248.3
0	2.7	3.4	0.8	256.3
0	2.6	3.3	0.8	264.3
0	2.5	3.1	0.8	272.3
0	2.3	2.8	0.8	280.4
0	2.1	2.6	0.6	288.4
0	2.0	2.5	0.5	296.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.5 (ต่อ)

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิระหว่างผิวและศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	1.9	2.3	0.7	304.4
0	1.8	2.3	0.7	312.4
0	1.8	2.2	0.7	320.4
0	1.7	2.1	0.8	328.4
0	1.6	2.0	0.9	336.4
0	1.6	1.9	0.9	344.4
0	1.5	1.8	0.9	352.4
0	1.4	1.7	0.9	360.5
0	1.4	1.6	0.8	368.5
0	1.4	1.6	0.9	376.5
0	1.3	1.5	1.0	384.5
0	1.3	1.4	1.0	392.5
0	1.2	1.4	1.0	400.5
0	1.2	1.4	1.0	408.5
0	1.2	1.3	1.0	416.5
0	1.1	1.3	1.1	424.5
0	1.1	1.2	1.1	432.5
0	1.0	1.2	1.1	440.6
0	1.0	1.1	1.1	448.6
0	0.9	1.1	1.2	456.6
0	0.9	1.0	0.6	464.6
0	0.9	1.0	0.8	472.6
0	0.8	0.9	0.8	480.6
0	0.8	0.9	0.8	488.6
0	0.8	0.9	0.7	496.6
0	0.8	0.8	0.6	504.6
0	0.8	0.8	0.8	512.6
0	0.7	0.8	0.6	520.7
0	0.7	0.8	0.3	528.7
0	0.7	0.8	0.4	536.7
0	0.7	0.8	0.5	544.7
0	0.7	0.8	0.5	552.7
0	0.7	0.7	0.7	560.7
0	0.7	0.7	0.7	568.7
0	0.7	0.7	0.8	576.7
0	0.7	0.7	1.0	584.7
0	0.7	0.7	1.0	592.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.5 (ต่อ)

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิระหว่างผิวและศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	0.6	0.7	1.0	600.8
0	0.6	0.7	0.7	608.8
0	0.6	0.7	0.7	616.8
0	0.6	0.7	0.7	624.8
0	0.6	0.7	0.7	632.8
0	0.6	0.6	0.6	640.8
0	0.6	0.6	0.6	648.8
0	0.6	0.6	0.6	656.8
0	0.5	0.5	0.5	664.8
0	0.5	0.5	0.5	672.8
0	0.5	0.5	0.5	680.8
0	0.5	0.5	0.4	688.9
0	0.5	0.5	0.4	696.9
0	0.5	0.5	0.4	704.9
0	0.5	0.5	0.4	712.9
0	0.4	0.5	0.4	720.9
0	0.4	0.4	0.3	728.9
0	0.4	0.4	0.3	736.9
0	0.4	0.4	0.3	744.9
0	0.4	0.4	0.3	752.9
0	0.3	0.4	0.3	760.9
0	0.3	0.3	0.3	769.0
0	0.3	0.3	0.3	777.0
0	0.3	0.3	0.2	785.0
0	0.3	0.3	0.2	793.0
0	0.3	0.3	0.3	801.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.6 การทดลองครั้งที่ 3 การเปลี่ยนอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของลูกชิ้น

อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิระหว่างผิวและศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	18.7	18.9	18.3	9.5
0	18.1	18.7	6.0	19.0
0	15.5	17.5	5.7	28.5
0	13.5	15.8	5.4	38.1
0	12.4	14.6	5.3	47.6
0	11.5	13.8	5.0	57.1
0	9.8	12.4	4.9	66.6
0	8.5	11.0	4.7	76.1
0	8.1	10.4	4.5	85.6
0	7.5	9.9	4.4	95.1
0	6.8	8.9	4.2	104.7
0	6.1	7.4	3.7	114.2
0	5.8	7.1	3.5	123.7
0	5.5	6.8	3.3	133.2
0	4.8	6.0	3.1	142.7
0	4.2	5.3	2.9	152.2
0	2.7	4.8	2.6	161.7
0	3.3	4.3	2.2	171.3
0	2.9	3.8	2.1	180.8
0	2.6	3.4	1.9	190.3
0	2.3	3.1	1.6	199.8
0	2.1	2.8	1.4	209.3
0	1.9	2.5	1.2	218.8
0	1.7	2.3	1.1	228.3
0	1.5	2.0	1.0	237.9
0	1.4	1.9	1.0	247.4
0	1.3	1.7	1.1	256.9
0	1.2	1.6	1.0	266.4
0	1.1	1.5	0.9	275.9
0	1.0	1.3	0.9	285.4
0	0.9	1.2	0.8	294.9
0	0.8	1.1	0.8	304.4
0	0.8	1.0	0.7	314.0
0	0.7	1.0	0.7	323.5
0	0.7	0.9	0.6	333.0
0	0.7	0.8	0.6	342.5
0	0.6	0.8	0.5	352.0

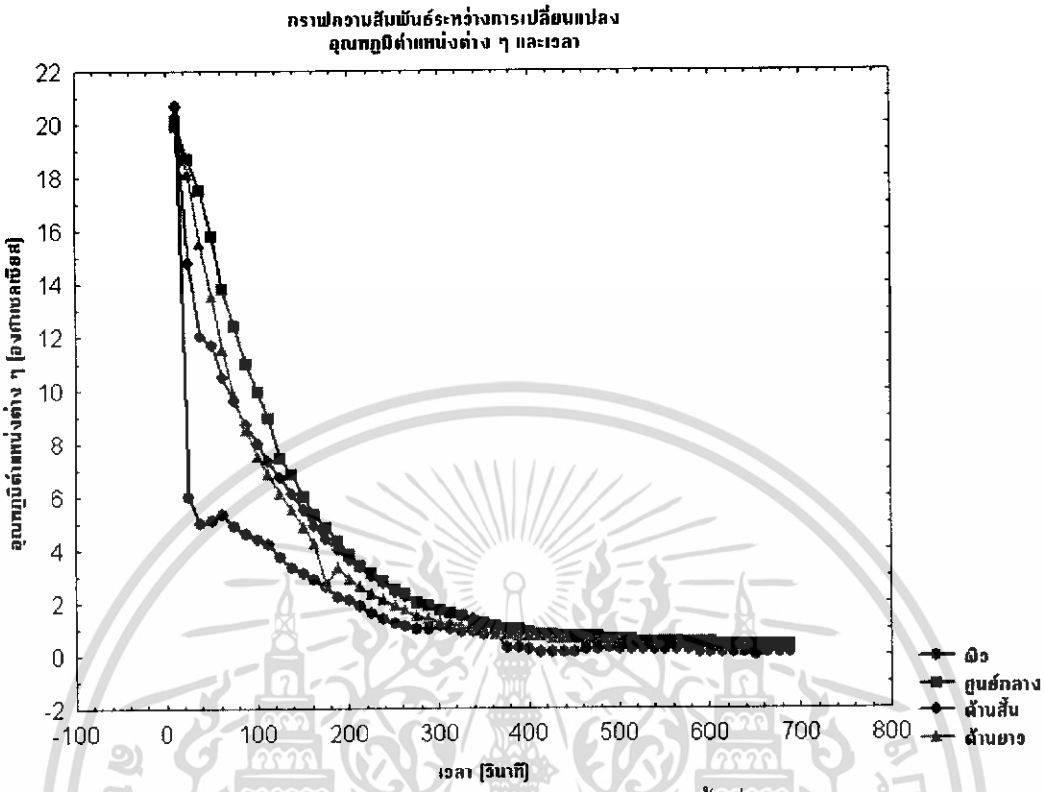
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.6 (ต่อ)

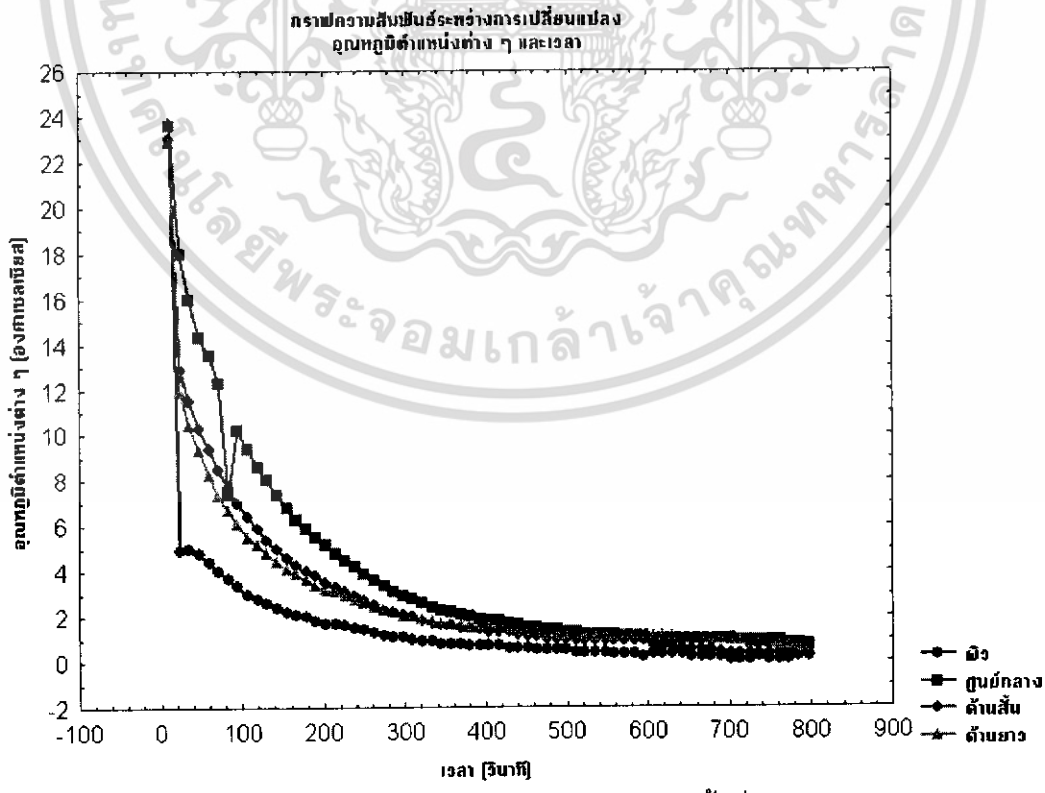
อุณหภูมิตัวกลาง (^{o}C)	อุณหภูมิระหว่างผิวและศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิศูนย์กลาง (^{o}C)	อุณหภูมิผิว (^{o}C)	เวลา (วินาที)
0	0.6	0.7	0.4	361.5
0	0.6	0.7	0.4	371.0
0	0.6	0.7	0.4	380.6
0	0.6	0.7	0.3	390.1
0	0.5	0.6	0.3	399.6
0	0.5	0.6	0.2	409.1
0	0.5	0.6	0.1	418.6
0	0.4	0.5	0.1	428.1
0	0.4	0.5	0.1	437.6
0	0.4	0.5	0.1	447.2
0	0.4	0.5	0.2	456.7
0	0.4	0.5	0.2	466.2
0	0.3	0.4	0.3	475.7
0	0.3	0.4	0.2	485.2
0	0.3	0.4	0.2	494.7
0	0.3	0.4	0.2	504.2
0	0.3	0.4	0.2	513.8
0	0.3	0.3	0.2	523.3
0	0.3	0.3	0.2	532.8
0	0.3	0.3	0.2	542.3
0	0.3	0.3	0.1	551.8
0	0.2	0.3	0.1	561.3
0	0.2	0.3	0.1	570.8
0	0.2	0.2	0.1	580.4
0	0.2	0.2	0.1	589.9
0	0.2	0.2	0.1	599.4
0	0.2	0.2	0.1	608.9
0	0.2	0.2	0.1	618.4
0	0.2	0.2	0.1	627.9
0	0.2	0.2	0.1	637.4
0	0.2	0.2	0.1	647.0
0	0.2	0.2	0.1	656.5
0	0.2	0.2	0.1	666.0
0	0.2	0.2	0.1	675.5
0	0.2	0.2	0.1	685.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไส้กรอก

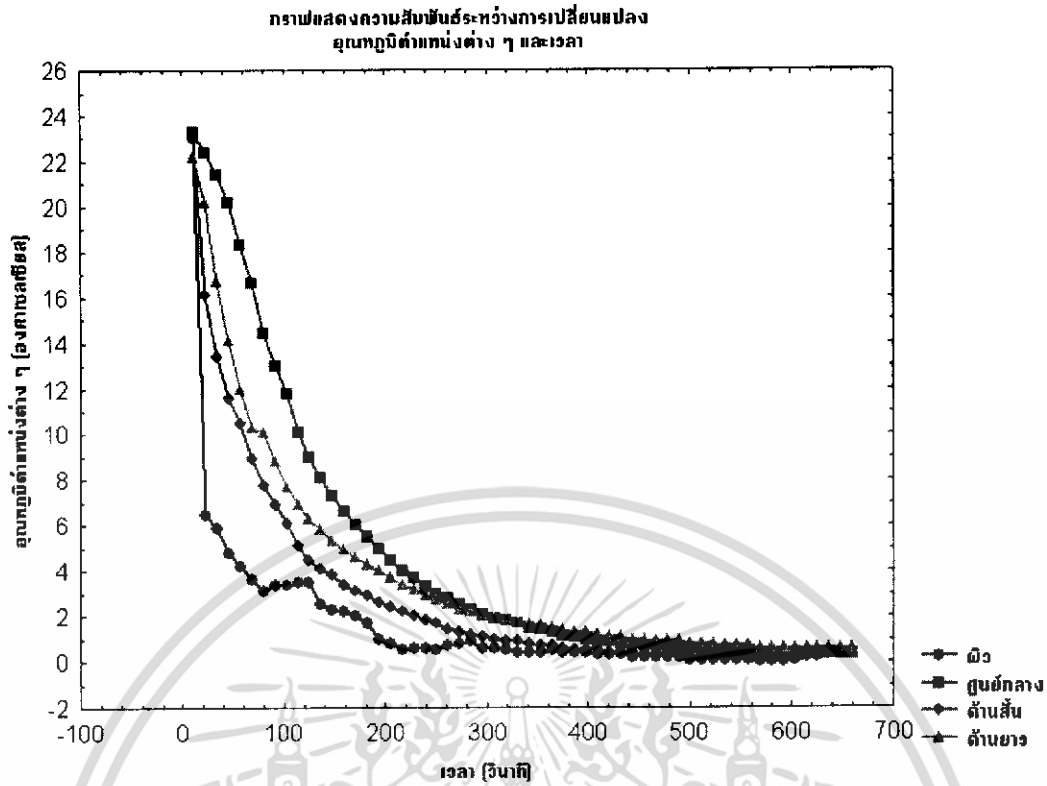


รูปที่ ข.1 กราฟการทดลองไส้กรอกครั้งที่ 1



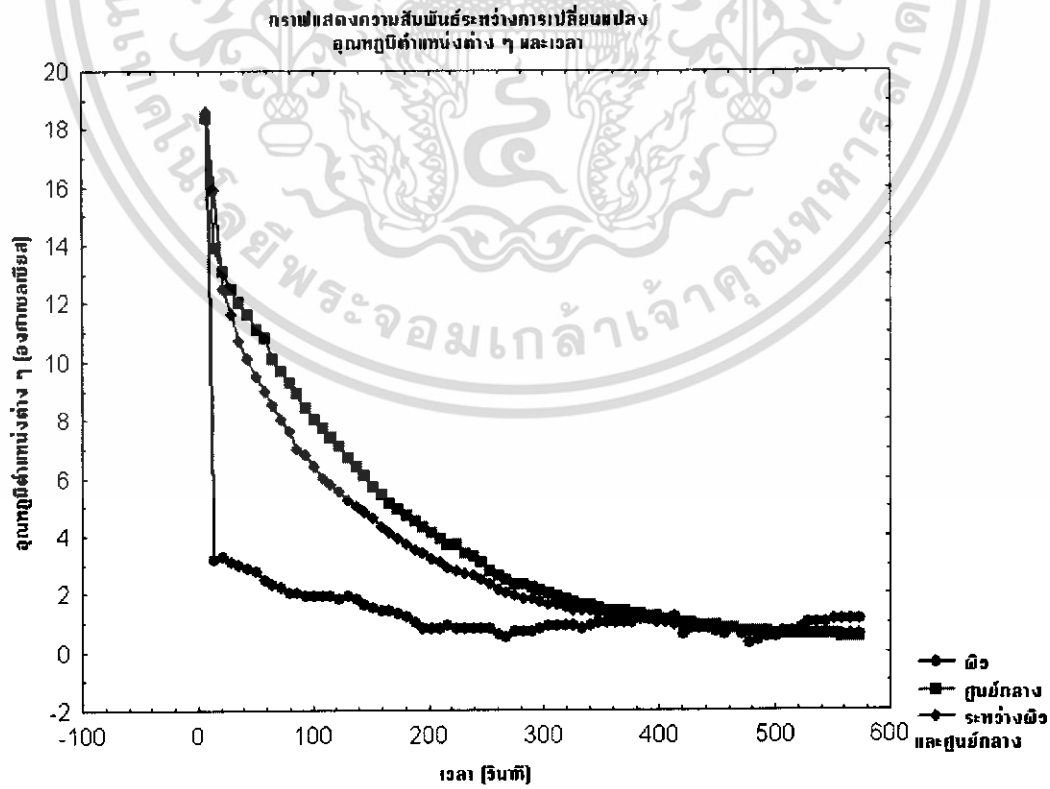
รูปที่ ข.2 กราฟการทดลองไส้กรอกครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



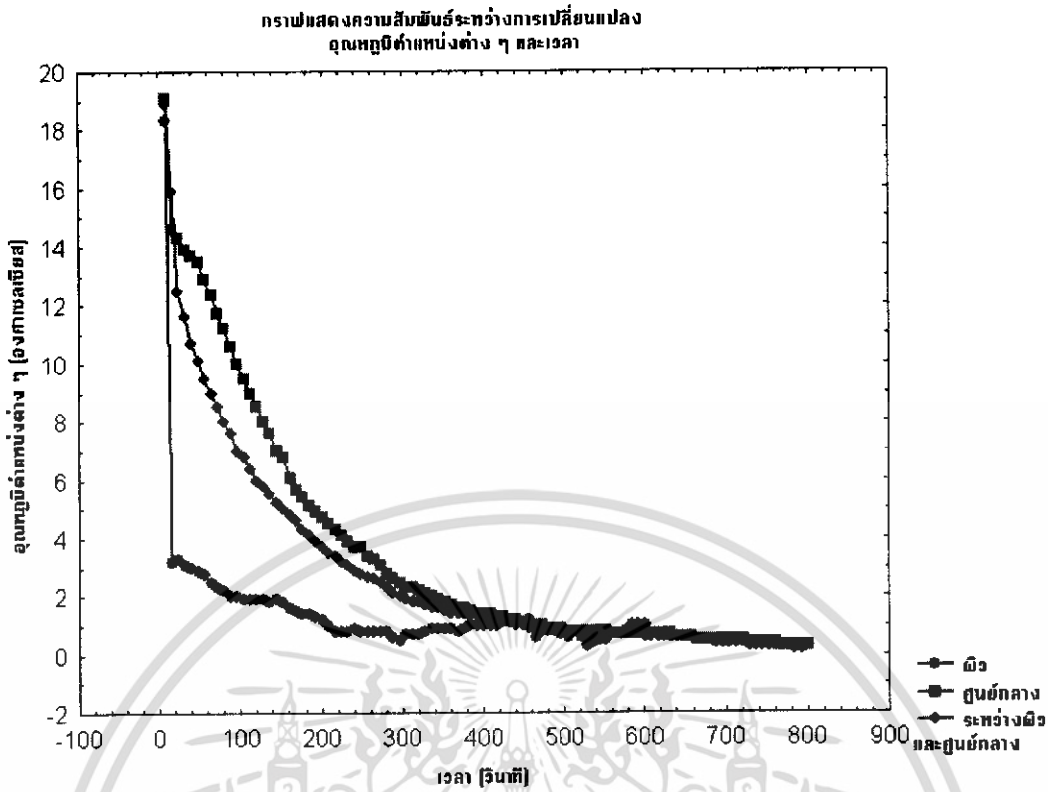
รูปที่ ข.3 กราฟการทดลองไส้กรอกครั้งที่ 3

กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของลูกชิ้น

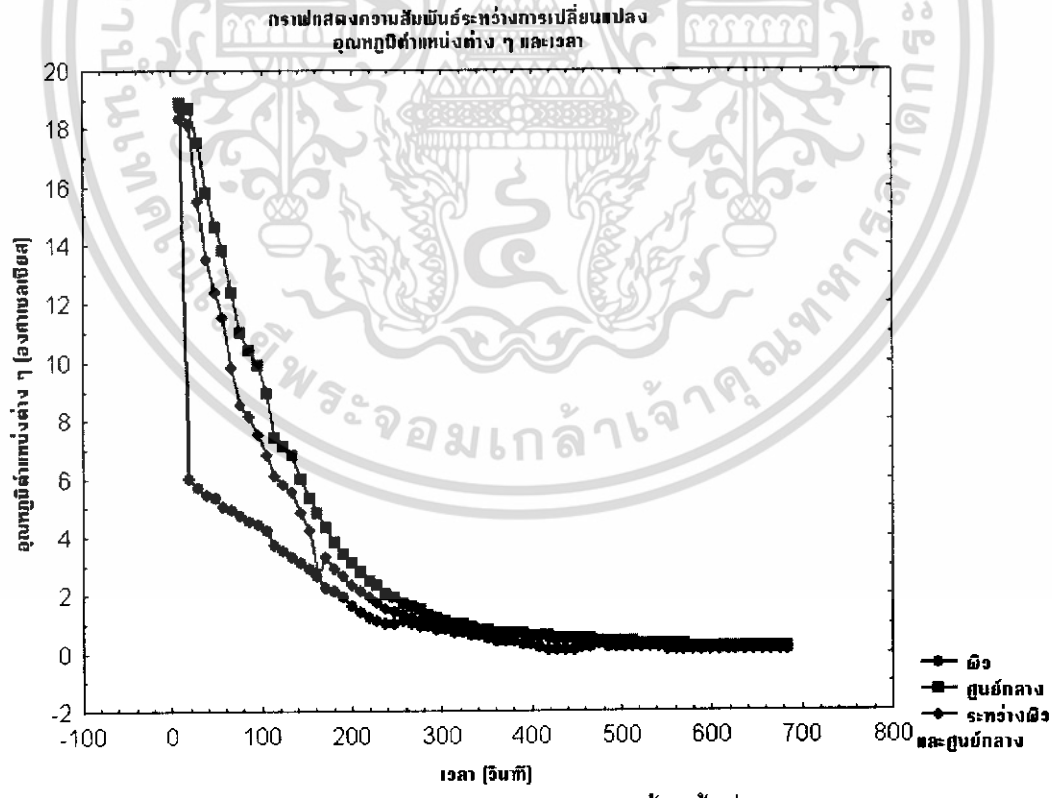


รูปที่ ข.4 กราฟการทดลองลูกชิ้นครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 กราฟการทดลองลูกชิ้นครั้งที่ 2



รูปที่ ข.6 กราฟการทดลองลูกชิ้นครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตารางแสดงค่าคุณสมบัติ

ตาราง ค.1 คุณสมบัติน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (^{o}C)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนอาหาร $k\ (W/mK)$	ความร้อนจำเพาะ $C_p\ (kJ/kgK)$	ความหนาแน่น $\rho\ (kg/m^3)$
0.0	2.22	2.05	924.2
-7.0	2.27	2.02	922.6
-12.0	2.32	1.98	919.4
-18.0	2.37	1.95	919.4
-23.0	2.41	1.92	919.4
-45.5	2.72	1.78	917.8
-73.0	3.08	1.58	916.2

ตาราง ค.2 ค่าความหนาแน่นของส่วนประกอบของอาหารที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (^{o}C)	ความหนาแน่น, $\rho\ (kg/m^3)$				
	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	ขี้เถ้า
20	997.6	1289.4	916.4	1424.6	1734.4
30	995.2	1272.2	913.5	1413.3	1731.2
40	991.2	1258.4	906.7	1399.2	1719.8
50	986.8	1246.2	902.7	1386.4	1704.7
60	983.3	1231.4	894.3	1369.5	1691.5
70	978.2	1222.6	884.9	1358.2	1679.1
80	971.5	1212.9	880.0	1346.4	1668.8
90	965.0	1204.3	876.0	1337.2	1658.4
100	958.0	1198.4	874.2	1331.7	1649.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

แสดงตัวอย่างการคำนวณ

1. แสดงเวลาคำนวณของไส้กรอก

จากคุณสมบัติของไส้กรอกดังนี้

ความร้อนจำเพาะ	=	2.6	(kJ/kgK)
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	=	317.27	(W/m^2K)
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	=	0.407	(W/mK)
ความหนาแน่น	=	962	(kg/m^3)
อุณหภูมิเริ่มต้น	=	23.3	^oC
อุณหภูมิจุดกึ่งกลาง	=	7.3	^oC
อุณหภูมิตัวกลางน้ำเย็น	=	0	^oC
เส้นผ่านศูนย์กลาง	=	0.0152	m

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

$$= \frac{0.407}{962 \times 2600}$$

$$\alpha = 1.62 \times 10^{-7}$$

หาค่า $$Bi = \frac{hR}{k}$$

$$= \frac{317.27 \times 0.0076}{0.407}$$

$$Bi = 5.92$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $$Bi^{-1} = 0.1687$$

หาค่า $$\theta(\xi,\tau) = \frac{T(r,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$= \frac{7.3 - 0}{23.3 - 0}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 0.313

จากกราฟรูปที่ 3.2 ที่ $Bi^{-1} = 0.1687$ และ $\theta(\xi,\tau) = 0.313$ อ่านค่าได้ $F_O = 0.4$

จากสูตร $$F_O = \frac{\alpha t}{r_0^2}$$

เพราะฉะนั้นจะหาเวลาทั้งหมดที่ใช้ได้ดังนี้

$$t = \frac{0.4 \times 0.0076^2}{1.62 \times 10^{-7}}$$

$$t = 141.98\ s$$

หาอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป 141.98 วินาที

$$F_O = \frac{\alpha t}{r_0^2}$$

$$F_O = 0.4$$

อุณหภูมิที่ผิว จะได้ $$\frac{r}{r_o} = 1.0$$

จากกราฟรูปที่ 3.3 ที่ $F_O = 0.4$ และ $\frac{r}{r_o} = 1.0$ อ่านค่าได้ $\theta(\xi,\tau) = 0.35$

$$\theta(\xi,\tau) = \frac{T(r,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$\frac{T - 0}{7.30 - 0} = 0.35$$

$$T = 2.55\ ^\circ C$$

อุณหภูมิที่ตำแหน่งลึกเป็น $$r = \frac{r_0}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นจะได้ $\frac{r}{r_o} = 0.5$

จากกราฟรูปที่ 3.3 ที่ $F_O = 0.4$ และ $\frac{r}{r_o} = 0.5$ อ่านค่าได้ $\theta(\xi,\tau) = 0.80$

$$\theta(\xi,\tau) = \frac{T(r,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$\frac{T-0}{7.30-0} = 0.80$$

$$T = 5.84 \ ^{o}C$$

ดังนั้น เวลาทั้งหมดที่ใช้ 141.98 วินาที

อุณหภูมิที่ผิว 2.55 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่ตำแหน่งลึก 5.84 องศาเซลเซียส

จากการทดลอง เวลาทั้งหมดที่ใช้ 138.63 วินาที

อุณหภูมิที่ผิว 2.8 องศาเซลเซียส

2. แสดงเวลาคำนวณของลูกชิ้นหมู

จากคุณสมบัติของลูกชิ้นหมูดังนี้

ความร้อนจำเพาะ	=	2.6	(kJ/kgK)
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	=	312.85	(W/m^2K)
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	=	0.488	(W/mK)
ความหนาแน่น	=	858	(kg/m^3)
อุณหภูมิเริ่มต้น	=	18.9	^{o}C
อุณหภูมิจุดกึ่งกลาง	=	3.9	^{o}C
อุณหภูมิตัวกลางน้ำเย็น	=	0	^{o}C
เส้นผ่านศูนย์กลาง	=	0.01159	m

จากสูตร $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$

$$= \frac{0.488}{858 \times 2600}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha = 2.187 \times 10^{-7}$$

หาค่า $$Bi = \frac{hR}{k}$$

$$= \frac{312.85 \times 0.01159}{0.488}$$

$$Bi = 7.430$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $$Bi^{-1} = 0.134$$

$$\theta(\xi,\tau) = \frac{T(r,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$= \frac{3.9 - 0}{18.3 - 0}$$

$$= 0.213$$

จากกราฟรูปที่ 3.6 ที่ $Bi^{-1} = 0.134$ และ $\theta(\xi,\tau) = 0.213$ อ่านค่าได้ $F_O = 0.35$

จากสูตร $$F_O = \frac{\alpha t}{r_0^2}$$

เพราะฉะนั้นจะหาเวลาทั้งหมดที่ใช้ได้ดังนี้

$$t = \frac{0.35 \times 0.01159^2}{2.187 \times 10^{-7}}$$

$$t = 214.97s$$

หาอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป 214.97 วินาที

$$F_O = \frac{\alpha t}{r_0^2}$$

$$F_O = 0.35$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่ผิว จะได้ $\frac{r}{r_o} = 1.0$

จากกราฟรูปที่ 3.7 ที่ $F_O = 0.35$ และ $\frac{r}{r_o} = 1.0$ อ่านค่าได้ $\theta(\xi,\tau) = 0.35$

$$\theta(\xi,\tau) = \frac{T(r,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$\frac{T-0}{3.9-0} = 0.35$$

$$T = 1.365\ ^{o}C$$

อุณหภูมิที่ตำแหน่งลึกเป็น $r = \frac{r_0}{2}$

เพราะฉะนั้นจะได้ $\frac{r}{r_o} = 0.5$

จากกราฟรูปที่ 3.7 ที่ $F_O = 0.35$ และ $\frac{r}{r_o} = 0.5$ อ่านค่าได้ $\theta(\xi,\tau) = 0.75$

$$\theta(\xi,\tau) = \frac{T(r,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$\frac{T-0}{3.9-0} = 0.75$$

$$T = 2.93\ ^{o}C$$

ดังนั้น	เวลาทั้งหมดที่ใช้	214.97	วินาที
	อุณหภูมิที่ผิว	1.365	องศาเซลเซียส
	อุณหภูมิที่ตำแหน่งลึก	2.93	องศาเซลเซียส
จากการทดลอง	เวลาทั้งหมดที่ใช้	207.8	วินาที
	อุณหภูมิที่ผิว	1.23	องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

Code โปรแกรม

Form1 (Code)

```
Private Sub Command1_Click()
If Text8 = "" Then
MsgBox ("ใส่ค่า Cp ด้วยครับ")
Exit Sub
End If

If Text9 = "" Then
MsgBox ("ใส่ค่า h ด้วยครับ")
Exit Sub
End If

If Text10 = "" Then
MsgBox ("ใส่ค่า K ด้วยครับ")
Exit Sub
End If

If Text1 = "" Then
MsgBox  ("ใส่ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยครับ")
Exit Sub
End If

If Text1 > 0.06 Then
MsgBox  ("ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมกับโปรแกรมนี้ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.06 m.")
Exit Sub
End If

If Text3 = "" Then
MsgBox  ("ใส่ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารด้วยครับ")
Exit Sub
End If

If Text4 = "" Then
MsgBox  ("ใส่ค่าอุณหภูมิสุดท้ายของอาหารด้วยครับ")
Exit Sub
End If

If Text4 > 6 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MsgBox ("ค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0 - 6 องศาเซลเซียส")
Exit Sub
End If

If Text5 = "" Then
MsgBox ("ใส่ค่าอุณหภูมิตัวกลางด้วยครับ")
Exit Sub
End If

If Text5 > 5 Or Text5 < -5 Then
MsgBox ("ค่าอุณหภูมิตัวกลางควรอยู่ในช่วง -5 ถึง 5 องศาเซลเซียส")
Exit Sub
End If

If Text11 = "" Then
MsgBox ("ใส่ค่าความหนาแน่นด้วยครับ")
Exit Sub
End If

Cp = Text8
h = Text9
K = Text10
Ti = Text3
Tc = Text4
Tm = Text5
roll = Text11
D = Text1

If Combo1.ListIndex = 0 Then Form2.Show

If Combo1.ListIndex = 1 Then Form4.Show

Text6 = CInt(time)

End Sub

Private Sub Command2_Click()
Shell ("C:\Program Files\Internet Explorer\IEXPLORE.EXE C:\Documents and Settings\XP\My
Documents\Project\web\index.htm")

End Sub

Private Sub Command4_Click()
Unload Me
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Public Sub Form_Load()

    Dim cnnstr As String
    Dim cnnstr2 As String
    Dim cnnstr3 As String
    Dim cnnstr4 As String
    Dim cnnstr5 As String
    Dim cnnstr6 As String

    Set cn = New ADODB.Connection
    Set cn2 = New ADODB.Connection
    Set cn3 = New ADODB.Connection
    Set cn4 = New ADODB.Connection
    Set cn5 = New ADODB.Connection
    Set cn6 = New ADODB.Connection
    cnnstr = "Provider = Microsoft.Jet.OLEDB.4.0; Data Source = table-Fo-circle.mdb;"
    cnnstr2 = "Provider = Microsoft.Jet.OLEDB.4.0; Data Source = table-r-circle.mdb;"
    cnnstr3 = "Provider = Microsoft.Jet.OLEDB.4.0; Data Source = table-Fo-Cylender.mdb;"
    cnnstr4 = "Provider = Microsoft.Jet.OLEDB.4.0; Data Source = table-r-Cylender.mdb;"
    cnnstr5 = "Provider = Microsoft.Jet.OLEDB.4.0; Data Source = table-seta-circle.mdb;"
    cnnstr6 = "Provider = Microsoft.Jet.OLEDB.4.0; Data Source = table-seta-Cylender.mdb;"

    cn.Open cnnstr
    cn2.Open cnnstr2
    cn3.Open cnnstr3
    cn4.Open cnnstr4
    cn5.Open cnnstr5
    cn6.Open cnnstr6

    Set rs = New ADODB.Recordset
    Set rs2 = New ADODB.Recordset

End Sub

Private Sub Option1_Click()
Text8 = ""
Text9 = ""
Text10 = ""
Text11 = ""
End Sub

Private Sub Option2_Click()
Dim n As String
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Combo1.ListIndex = -1 Then
MsgBox ("àÅ×Í¡¼ÅÔµÀÑ³±ì¡èÍ¹¤ÃÑº")
Unload Me
Me.Show
End If
If Combo1.ListIndex <> -1 Then
Data1.Enabled = True
Data1.RecordSource = "property"
Data1.Refresh
n = Combo1.ListIndex
If n <> "" Then
   Data1.Recordset.Index = "No"

   Data1.Recordset.Seek "=", n
End If
End If
End Sub
```

Form2 (Code)

```
Sub DotA()
        ReDim T(X)
        T(X) = Tm + ((seta4) * (Tc - Tm))
        If X = 1 Then a1 = T(1)
        If X = 2 Then a2 = T(2)
        If X = 3 Then a3 = T(3)
        If X = 4 Then a4 = T(4)
        If X = 5 Then a5 = T(5)
        If X = 6 Then a6 = T(6)
        If X = 7 Then a7 = T(7)
        If X = 8 Then a8 = T(8)
        If X = 9 Then a9 = T(9)
        If X = 10 Then a10 = T(10)
        X = X + 1

End Sub

Sub changecolor()
If e = 1 Then

   Select Case a1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Case Is <= 2
   Shape1.FillColor = Shp1.FillColor
Case Is <= 4
   If a1 > 2 Then
   Shape1.FillColor = Shp2.FillColor: End If
Case Is <= 6
   If a1 > 4 Then
   Shape1.FillColor = Shp3.FillColor: End If
Case Is <= 8
   If a1 > 6 Then
   Shape1.FillColor = Shp4.FillColor: End If
Case Is <= 10
   If a1 > 8 Then
   Shape1.FillColor = Shp5.FillColor: End If
Case Is <= 12
   If a1 > 10 Then
   Shape1.FillColor = Shp6.FillColor: End If
Case Is <= 14
   If a1 > 12 Then
   Shape1.FillColor = Shp7.FillColor: End If
Case Is <= 16
   If a1 > 14 Then
   Shape1.FillColor = Shp8.FillColor: End If
Case Is <= 18
   If a1 > 16 Then
   Shape1.FillColor = Shp9.FillColor: End If
Case Is <= 20
   If a1 > 18 Then
   Shape1.FillColor = Shp10.FillColor: End If
Case Is <= 22
   If a1 > 20 Then
   Shape1.FillColor = Shp11.FillColor: End If
Case Is <= 24
   If a1 > 22 Then
   Shape1.FillColor = Shp12.FillColor: End If
Case Is <= 26
   If a1 > 24 Then
   Shape1.FillColor = Shp13.FillColor: End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Case Is <= 28
      If a1 > 26 Then
      Shape1.FillColor = Shp14.FillColor: End If
    Case Is <= 30
      If a1 > 28 Then
      Shape1.FillColor = Shp15.FillColor: End If
    Case Is > 30
      Shape1.FillColor = Shp15.FillColor
End Select
End If

If e = 2 Then
Select Case a2
    Case Is <= 2
      Shape2.FillColor = Shp1.FillColor
    Case Is <= 4
      If a2 > 2 Then
      Shape2.FillColor = Shp2.FillColor: End If
    Case Is <= 6
      If a2 > 4 Then
      Shape2.FillColor = Shp3.FillColor: End If
    Case Is <= 8
      If a2 > 6 Then
      Shape2.FillColor = Shp4.FillColor: End If
    Case Is <= 10
      If a2 > 8 Then
      Shape2.FillColor = Shp5.FillColor: End If
    Case Is <= 12
      If a2 > 10 Then
      Shape2.FillColor = Shp6.FillColor: End If
    Case Is <= 14
      If a2 > 12 Then
      Shape2.FillColor = Shp7.FillColor: End If
    Case Is <= 16
      If a2 > 14 Then
      Shape2.FillColor = Shp8.FillColor: End If
    Case Is <= 18
      If a2 > 16 Then
      Shape2.FillColor = Shp9.FillColor: End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Case Is <= 20
       If a2 > 18 Then
       Shape2.FillColor = Shp10.FillColor: End If
    Case Is <= 22
       If a2 > 20 Then
       Shape2.FillColor = Shp11.FillColor: End If
    Case Is <= 24
       If a2 > 22 Then
       Shape2.FillColor = Shp12.FillColor: End If
    Case Is <= 26
       If a2 > 24 Then
       Shape2.FillColor = Shp13.FillColor: End If
    Case Is <= 28
       If a2 > 26 Then
       Shape2.FillColor = Shp14.FillColor: End If
    Case Is <= 30
       If a2 > 28 Then
       Shape2.FillColor = Shp15.FillColor: End If
    Case Is > 30
       Shape2.FillColor = Shp15.FillColor
End Select
End If

If e = 3 Then
Select Case a3
    Case Is <= 2
       Shape3.FillColor = Shp1.FillColor
    Case Is <= 4
       If a3 > 2 Then
       Shape3.FillColor = Shp2.FillColor: End If
    Case Is <= 6
       If a3 > 4 Then
       Shape3.FillColor = Shp3.FillColor: End If
    Case Is <= 8
       If a3 > 6 Then
       Shape3.FillColor = Shp4.FillColor: End If
    Case Is <= 10
       If a3 > 8 Then
       Shape3.FillColor = Shp5.FillColor: End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Case Is <= 12
       If a3 > 10 Then
       Shape3.FillColor = Shp6.FillColor: End If
    Case Is <= 14
       If a3 > 12 Then
       Shape3.FillColor = Shp7.FillColor: End If
    Case Is <= 16
       If a3 > 14 Then
       Shape3.FillColor = Shp8.FillColor: End If
    Case Is <= 18
       If a3 > 16 Then
       Shape3.FillColor = Shp9.FillColor: End If
    Case Is <= 20
       If a3 > 18 Then
       Shape3.FillColor = Shp10.FillColor: End If
    Case Is <= 22
       If a3 > 20 Then
       Shape3.FillColor = Shp11.FillColor: End If
    Case Is <= 24
       If a3 > 22 Then
       Shape3.FillColor = Shp12.FillColor: End If
    Case Is <= 26
       If a3 > 24 Then
       Shape3.FillColor = Shp13.FillColor: End If
    Case Is <= 28
       If a3 > 26 Then
       Shape3.FillColor = Shp14.FillColor: End If
    Case Is <= 30
       If a3 > 28 Then
       Shape3.FillColor = Shp15.FillColor: End If
    Case Is > 30
       Shape3.FillColor = Shp15.FillColor
End Select
End If

If e = 4 Then
Select Case a4
   Case Is <= 2
      Shape4.FillColor = Shp1.FillColor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Case Is <= 4
   If a4 > 2 Then
   Shape4.FillColor = Shp2.FillColor: End If
Case Is <= 6
   If a4 > 4 Then
   Shape4.FillColor = Shp3.FillColor: End If
Case Is <= 8
   If a4 > 6 Then
   Shape4.FillColor = Shp4.FillColor: End If
Case Is <= 10
   If a4 > 8 Then
   Shape4.FillColor = Shp5.FillColor: End If
Case Is <= 12
   If a4 > 10 Then
   Shape4.FillColor = Shp6.FillColor: End If
Case Is <= 14
   If a4 > 12 Then
   Shape4.FillColor = Shp7.FillColor: End If
Case Is <= 16
   If a4 > 14 Then
   Shape4.FillColor = Shp8.FillColor: End If
Case Is <= 18
   If a4 > 16 Then
   Shape4.FillColor = Shp9.FillColor: End If
Case Is <= 20
   If a4 > 18 Then
   Shape4.FillColor = Shp10.FillColor: End If
Case Is <= 22
   If a4 > 20 Then
   Shape4.FillColor = Shp11.FillColor: End If
Case Is <= 24
   If a4 > 22 Then
   Shape4.FillColor = Shp12.FillColor: End If
Case Is <= 26
   If a4 > 24 Then
   Shape4.FillColor = Shp13.FillColor: End If
Case Is <= 28
   If a4 > 26 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Shape4.FillColor = Shp14.FillColor: End If
    Case Is <= 30
        If a4 > 28 Then
        Shape4.FillColor = Shp15.FillColor: End If
    Case Is > 30
        Shape4.FillColor = Shp15.FillColor
End Select
End If

If e = 5 Then
Select Case a5
    Case Is <= 2
        Shape5.FillColor = Shp1.FillColor
    Case Is <= 4
        If a5 > 2 Then
        Shape5.FillColor = Shp2.FillColor: End If
    Case Is <= 6
        If a5 > 4 Then
        Shape5.FillColor = Shp3.FillColor: End If
    Case Is <= 8
        If a5 > 6 Then
        Shape5.FillColor = Shp4.FillColor: End If
    Case Is <= 10
        If a5 > 8 Then
        Shape5.FillColor = Shp5.FillColor: End If
    Case Is <= 12
        If a5 > 10 Then
        Shape5.FillColor = Shp6.FillColor: End If
    Case Is <= 14
        If a5 > 12 Then
        Shape5.FillColor = Shp7.FillColor: End If
    Case Is <= 16
        If a5 > 14 Then
        Shape5.FillColor = Shp8.FillColor: End If
    Case Is <= 18
        If a5 > 16 Then
        Shape5.FillColor = Shp9.FillColor: End If
    Case Is <= 20
        If a5 > 18 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      Shape5.FillColor = Shp10.FillColor: End If
   Case Is <= 22
      If a5 > 20 Then
      Shape5.FillColor = Shp11.FillColor: End If
   Case Is <= 24
      If a5 > 22 Then
      Shape5.FillColor = Shp12.FillColor: End If
   Case Is <= 26
      If a5 > 24 Then
      Shape5.FillColor = Shp13.FillColor: End If
   Case Is <= 28
      If a5 > 26 Then
      Shape5.FillColor = Shp14.FillColor: End If
   Case Is <= 30
      If a5 > 28 Then
      Shape5.FillColor = Shp15.FillColor: End If
   Case Is > 30
      Shape5.FillColor = Shp15.FillColor
End Select
End If

If e = 6 Then
Select Case a6
   Case Is <= 2
      Shape6.FillColor = Shp1.FillColor
   Case Is <= 4
      If a6 > 2 Then
      Shape6.FillColor = Shp2.FillColor: End If
   Case Is <= 6
      If a6 > 4 Then
      Shape6.FillColor = Shp3.FillColor: End If
   Case Is <= 8
      If a6 > 6 Then
      Shape6.FillColor = Shp4.FillColor: End If
   Case Is <= 10
      If a6 > 8 Then
      Shape6.FillColor = Shp5.FillColor: End If
   Case Is <= 12
      If a6 > 10 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Shape6.FillColor = Shp6.FillColor: End If
    Case Is <= 14
        If a6 > 12 Then
        Shape6.FillColor = Shp7.FillColor: End If
    Case Is <= 16
        If a6 > 14 Then
        Shape6.FillColor = Shp8.FillColor: End If
    Case Is <= 18
        If a6 > 16 Then
        Shape6.FillColor = Shp9.FillColor: End If
    Case Is <= 20
        If a6 > 18 Then
        Shape6.FillColor = Shp10.FillColor: End If
    Case Is <= 22
        If a6 > 20 Then
        Shape6.FillColor = Shp11.FillColor: End If
    Case Is <= 24
        If a6 > 22 Then
        Shape6.FillColor = Shp12.FillColor: End If
    Case Is <= 26
        If a6 > 24 Then
        Shape6.FillColor = Shp13.FillColor: End If
    Case Is <= 28
        If a6 > 26 Then
        Shape6.FillColor = Shp14.FillColor: End If
    Case Is <= 30
        If a6 > 28 Then
        Shape6.FillColor = Shp15.FillColor: End If
    Case Is > 30
        Shape6.FillColor = Shp15.FillColor
End Select
End If

If e = 7 Then
Select Case a7
    Case Is <= 2
        Shape7.FillColor = Shp1.FillColor
    Case Is <= 4
        If a7 > 2 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Shape7.FillColor = Shp2.FillColor: End If
Case Is <= 6
    If a7 > 4 Then
    Shape7.FillColor = Shp3.FillColor: End If
Case Is <= 8
    If a7 > 6 Then
    Shape7.FillColor = Shp4.FillColor: End If
Case Is <= 10
    If a7 > 8 Then
    Shape7.FillColor = Shp5.FillColor: End If
Case Is <= 12
    If a7 > 10 Then
    Shape7.FillColor = Shp6.FillColor: End If
Case Is <= 14
    If a7 > 12 Then
    Shape7.FillColor = Shp7.FillColor: End If
Case Is <= 16
    If a7 > 14 Then
    Shape7.FillColor = Shp8.FillColor: End If
Case Is <= 18
    If a7 > 16 Then
    Shape7.FillColor = Shp9.FillColor: End If
Case Is <= 20
    If a7 > 18 Then
    Shape7.FillColor = Shp10.FillColor: End If
Case Is <= 22
    If a7 > 20 Then
    Shape7.FillColor = Shp11.FillColor: End If
Case Is <= 24
    If a7 > 22 Then
    Shape7.FillColor = Shp12.FillColor: End If
Case Is <= 26
    If a7 > 24 Then
    Shape7.FillColor = Shp13.FillColor: End If
Case Is <= 28
    If a7 > 26 Then
    Shape7.FillColor = Shp14.FillColor: End If
Case Is <= 30
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If a7 > 28 Then
    Shape7.FillColor = Shp15.FillColor: End If
  Case Is > 30
    Shape7.FillColor = Shp15.FillColor
End Select
End If

If e = 8 Then
Select Case a8
  Case Is <= 2
    Shape8.FillColor = Shp1.FillColor
  Case Is <= 4
    If a8 > 2 Then
    Shape8.FillColor = Shp2.FillColor: End If
  Case Is <= 6
    If a8 > 4 Then
    Shape8.FillColor = Shp3.FillColor: End If
  Case Is <= 8
    If a8 > 6 Then
    Shape8.FillColor = Shp4.FillColor: End If
  Case Is <= 10
    If a8 > 8 Then
    Shape8.FillColor = Shp5.FillColor: End If
  Case Is <= 12
    If a8 > 10 Then
    Shape8.FillColor = Shp6.FillColor: End If
  Case Is <= 14
    If a8 > 12 Then
    Shape8.FillColor = Shp7.FillColor: End If
  Case Is <= 16
    If a8 > 14 Then
    Shape8.FillColor = Shp8.FillColor: End If
  Case Is <= 18
    If a8 > 16 Then
    Shape8.FillColor = Shp9.FillColor: End If
  Case Is <= 20
    If a8 > 18 Then
    Shape8.FillColor = Shp10.FillColor: End If
  Case Is <= 22
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If a8 > 20 Then
    Shape8.FillColor = Shp11.FillColor: End If
  Case Is <= 24
    If a8 > 22 Then
    Shape8.FillColor = Shp12.FillColor: End If
  Case Is <= 26
    If a8 > 24 Then
    Shape8.FillColor = Shp13.FillColor: End If
  Case Is <= 28
    If a8 > 26 Then
    Shape8.FillColor = Shp14.FillColor: End If
  Case Is <= 30
    If a8 > 28 Then
    Shape8.FillColor = Shp15.FillColor: End If
  Case Is > 30
    Shape8.FillColor = Shp15.FillColor
End Select
End If

If e = 9 Then
Select Case a9
  Case Is <= 2
    Shape9.FillColor = Shp1.FillColor
  Case Is <= 4
    If a9 > 2 Then
    Shape9.FillColor = Shp2.FillColor: End If
  Case Is <= 6
    If a9 > 4 Then
    Shape9.FillColor = Shp3.FillColor: End If
  Case Is <= 8
    If a9 > 6 Then
    Shape9.FillColor = Shp4.FillColor: End If
  Case Is <= 10
    If a9 > 8 Then
    Shape9.FillColor = Shp5.FillColor: End If
  Case Is <= 12
    If a9 > 10 Then
    Shape9.FillColor = Shp6.FillColor: End If
  Case Is <= 14
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If a9 > 12 Then
        Shape9.FillColor = Shp7.FillColor: End If
    Case Is <= 16
        If a9 > 14 Then
        Shape9.FillColor = Shp8.FillColor: End If
    Case Is <= 18
        If a9 > 16 Then
        Shape9.FillColor = Shp9.FillColor: End If
    Case Is <= 20
        If a9 > 18 Then
        Shape9.FillColor = Shp10.FillColor: End If
    Case Is <= 22
        If a9 > 20 Then
        Shape9.FillColor = Shp11.FillColor: End If
    Case Is <= 24
        If a9 > 22 Then
        Shape9.FillColor = Shp12.FillColor: End If
    Case Is <= 26
        If a9 > 24 Then
        Shape9.FillColor = Shp13.FillColor: End If
    Case Is <= 28
        If a9 > 26 Then
        Shape9.FillColor = Shp14.FillColor: End If
    Case Is <= 30
        If a9 > 28 Then
        Shape9.FillColor = Shp15.FillColor: End If
    Case Is > 30
        Shape9.FillColor = Shp15.FillColor
End Select
End If

If e = 9 Then
    Select Case Tc
        Case Is <= 2
        Shape10.FillColor = Shp1.FillColor
        Case Is <= 4
        If Tc > 2 Then
        Shape10.FillColor = Shp2.FillColor: End If
        Case Is <= 6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Tc > 4 Then
Shape10.FillColor = Shp3.FillColor: End If
Case Is <= 8
If Tc > 6 Then
Shape10.FillColor = Shp4.FillColor: End If
Case Is <= 10
If Tc > 8 Then
Shape10.FillColor = Shp5.FillColor: End If
Case Is <= 12
If Tc > 10 Then
Shape10.FillColor = Shp6.FillColor: End If
Case Is <= 14
If Tc > 12 Then
Shape10.FillColor = Shp7.FillColor: End If
Case Is <= 16
If Tc > 14 Then
Shape10.FillColor = Shp8.FillColor: End If
Case Is <= 18
If Tc > 16 Then
Shape10.FillColor = Shp9.FillColor: End If
Case Is <= 20
If Tc > 18 Then
Shape10.FillColor = Shp10.FillColor: End If
Case Is <= 22
If Tc > 20 Then
Shape10.FillColor = Shp11.FillColor: End If
Case Is <= 24
If Tc > 22 Then
Shape10.FillColor = Shp12.FillColor: End If
Case Is <= 26
If Tc > 24 Then
Shape10.FillColor = Shp13.FillColor: End If
Case Is <= 28
If Tc > 26 Then
Shape10.FillColor = Shp14.FillColor: End If
Case Is <= 30
If Tc > 28 Then
Shape10.FillColor = Shp15.FillColor: End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Case Is > 30
        Shape10.FillColor = Shp15.FillColor
    End Select
End If
End Sub

Private Sub Command1_Click()
Form5.Show
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Timer1.Interval = 0
txtime = CInt(time)
Fo2 = (alpha * CInt(time)) / (R * R)
        If B = 0 Then
        seta3 = 2.5753 * Exp(-9.6939 * Fo2): End If
        If B = 0.05 Then
        seta3 = 2.769 * Exp(-8.7352 * Fo2): End If
        If B = 0.1 Then
        seta3 = 2.4496 * Exp(-7.831 * Fo2): End If
        If B = 0.2 Then
        seta3 = 2.0239 * Exp(-6.2928 * Fo2): End If
        Tc = Tm + (seta3 * (Ti - Tm))
        For e = 1 To 9
        If e = 1 Then
        seta4 = b1: End If
        If e = 2 Then
        seta4 = b2: End If
        If e = 3 Then
        seta4 = b3: End If
        If e = 4 Then
        seta4 = b4: End If
        If e = 5 Then
        seta4 = b5: End If
        If e = 6 Then
        seta4 = b6: End If
        If e = 7 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        seta4 = b7: End If
        If e = 8 Then
        seta4 = b8: End If
        If e = 9 Then
        seta4 = b9: End If

      DotA

changecolor
Next
End Sub

Private Sub Command3_Click()
If Text1 = "" Then
MsgBox ("กรุณาใส่ค่ารัศมีด้วยครับ")
Exit Sub
End If

If Text2 = "" Then
MsgBox ("กรุณาใส่ค่าเวลาที่ต้องการด้วยครับ")
Exit Sub
End If

Rad = Text1
time2 = Text2

If Rad > R Then
MsgBox ("รัศมีที่กำหนดต้องน้อยกว่า " & R)
Exit Sub
End If

If Rad <= 0 Then
MsgBox ("รัศมีที่กำหนดต้องมากกว่า0")
Exit Sub
End If

        Rf = Rad / R 'Ro is other R

        Select Case Rf
          Case Is < 0.25
            Rf = 0.2
          Case Is < 0.35
            If Rf >= 0.25 Then Rf = 0.3
          Case Is < 0.45
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            If Rf >= 0.35 Then Rf = 0.4
        Case Is < 0.55
            If Rf >= 0.45 Then Rf = 0.5
        Case Is < 0.65
            If Rf >= 0.55 Then Rf = 0.6
        Case Is < 0.75
            If Rf >= 0.65 Then Rf = 0.7
        Case Is < 0.85
            If Rf >= 0.75 Then Rf = 0.8
        Case Is < 0.95
            If Rf >= 0.85 Then Rf = 0.9
        Case Is >= 0.95
            Rf = 1
    End Select

    Dim sqlcmd2 As String

    sqlcmd2 = "Select * from Table2 where Bi = " & B & " AND r = " & Rf

    rs.Open sqlcmd2, cn2, adOpenStatic, , adCmdText

    seta5 = rs.Fields!seta

    rs.Close

    Fo3 = (alpha * time2) / (R * R)

    If B = 0 Then
    seta3 = 2.5753 * Exp(-9.6939 * Fo3): End If

    If B = 0.05 Then
    seta3 = 2.769 * Exp(-8.7352 * Fo3): End If

    If B = 0.1 Then
    seta3 = 2.4496 * Exp(-7.831 * Fo3): End If

    If B = 0.2 Then
    seta3 = 2.0239 * Exp(-6.2928 * Fo3): End If

    Tc = Tm + (seta3 * (Ti - Tm))
    Tt = Tm + ((seta5) * (Tc - Tm))
  MsgBox ("อุณหภูมิที่ระยะรัศมี " & Rad & "m. และเวลา " & time2 & "วินาที =" & Tt & "องศาเซลเซียส")

End Sub

Private Sub Form_Load()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
R = D / 2
Bi = (h * R) / K
Bi2 = 1 / Bi
seta = (Tc - Tm) / (Ti - Tm)
alpha = K / (roll * (Cp * 1000))
B = Bi2

  If seta <> 0 And B <> 0 Then
    Select Case B
      Case Is < 0.025
        B = 0
      Case Is < 0.075
        If B >= 0.025 Then B = 0.05
      Case Is < 0.15
        If B >= 0.075 Then B = 0.1
      Case Is >= 0.15
        B = 0.2
    End Select

    Select Case seta
      Case Is < 0.035
        seta = 0.03
      Case Is < 0.045
        If seta >= 0.035 Then seta = 0.04
      Case Is < 0.06
        If seta >= 0.045 Then seta = 0.05
      Case Is < 0.085
        If seta >= 0.06 Then seta = 0.07
      Case Is < 0.15
        If seta >= 0.085 Then seta = 0.1
      Case Is < 0.25
        If seta >= 0.15 Then seta = 0.2
      Case Is < 0.35
        If seta >= 0.25 Then seta = 0.3
      Case Is < 0.45
        If seta >= 0.35 Then seta = 0.4
      Case Is < 0.6
        If seta >= 0.45 Then seta = 0.5
      Case Is < 0.85
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            If seta >= 0.6 Then seta = 0.7
        Case Is >= 0.85
            seta = 1
    End Select

    Dim sqlcmd1 As String

    sqlcmd1 = "Select * from Table1 where seta = " & seta & " AND Bi = " & B

    rs.Open sqlcmd1, cn, adOpenStatic, , adCmdText

    Fo = rs.Fields!Fo

    rs.Close
End If

time = (Fo * R * R) / alpha

e = 1

    For Rad = R To R / 10 Step -(R / 10)
        Rf = Rad / R 'Ro is other R

        Select Case Rf
            Case Is < 0.25
                Rf = 0.2
            Case Is < 0.35
                If Rf >= 0.25 Then Rf = 0.3
            Case Is < 0.45
                If Rf >= 0.35 Then Rf = 0.4
            Case Is < 0.55
                If Rf >= 0.45 Then Rf = 0.5
            Case Is < 0.65
                If Rf >= 0.55 Then Rf = 0.6
            Case Is < 0.75
                If Rf >= 0.65 Then Rf = 0.7
            Case Is < 0.85
                If Rf >= 0.75 Then Rf = 0.8
            Case Is < 0.95
                If Rf >= 0.85 Then Rf = 0.9
            Case Is >= 0.95
                Rf = 1
        End Select
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Dim sqlcmd2 As String
        sqlcmd2 = "Select * from Table2 where Bi = " & B & " AND r = " & Rf

        rs.Open sqlcmd2, cn2, adOpenStatic, , adCmdText

        ReDim seta2(e)
        seta2(e) = rs.Fields!seta
        If e = 1 Then b1 = seta2(1)
        If e = 2 Then b2 = seta2(2)
        If e = 3 Then b3 = seta2(3)
        If e = 4 Then b4 = seta2(4)
        If e = 5 Then b5 = seta2(5)
        If e = 6 Then b6 = seta2(6)
        If e = 7 Then b7 = seta2(7)
        If e = 8 Then b8 = seta2(8)
        If e = 9 Then b9 = seta2(9)
        e = e + 1
        rs.Close
    Next
Timer1.Interval = 200

i = 1
End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
If i <= CInt(time) Then

X = 1

        Fo2 = (alpha * i) / (R * R)

        If B = 0 Then
        seta3 = 2.5753 * Exp(-9.6939 * Fo2): End If

        If B = 0.05 Then
        seta3 = 2.769 * Exp(-8.7352 * Fo2): End If

        If B = 0.1 Then
        seta3 = 2.4496 * Exp(-7.831 * Fo2): End If

        If B = 0.2 Then
        seta3 = 2.0239 * Exp(-6.2928 * Fo2): End If

        Tc = Tm + (seta3 * (Ti - Tm))
        For e = 1 To 9
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If e = 1 Then
        seta4 = b1: End If
        If e = 2 Then
        seta4 = b2: End If
        If e = 3 Then
        seta4 = b3: End If
        If e = 4 Then
        seta4 = b4: End If
        If e = 5 Then
        seta4 = b5: End If
        If e = 6 Then
        seta4 = b6: End If
        If e = 7 Then
        seta4 = b7: End If
        If e = 8 Then
        seta4 = b8: End If
        If e = 9 Then
        seta4 = b9: End If

      DotA

changecolor
Next
        txtime = i
      If X = 10 Then X = 1
i = i + 1
Else
Timer1.Interval = 0: Exit Sub
End If
End Sub
```

Form3 (Code)

```
Private Sub Command1_Click()
Dim i1 As Integer
Dim Mdata() As Double

If Text1 = "" Then
MsgBox ("กรุณาใส่ค่ารัศมีด้วยครับ")
Exit Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End If
Rad = Text1

If Rad > R Then
MsgBox ("รัศมีที่กำหนดต้องน้อยกว่า " & R)
Exit Sub
End If

If Rad > 0 Then
        Rf = Rad / R

        Select Case Rf
          Case Is < 0.25
            Rf = 0.2
          Case Is < 0.35
            If Rf >= 0.25 Then Rf = 0.3
          Case Is < 0.45
            If Rf >= 0.35 Then Rf = 0.4
          Case Is < 0.55
            If Rf >= 0.45 Then Rf = 0.5
          Case Is < 0.65
            If Rf >= 0.55 Then Rf = 0.6
          Case Is < 0.75
            If Rf >= 0.65 Then Rf = 0.7
          Case Is < 0.85
            If Rf >= 0.75 Then Rf = 0.8
          Case Is < 0.95
            If Rf >= 0.85 Then Rf = 0.9
          Case Is >= 0.95
            Rf = 1
        End Select

        Dim sqlcmd4 As String

        sqlcmd4 = "Select * from Table4 where Bi = " & B & " AND r = " & Rf

        rs.Open sqlcmd4, cn4, adOpenStatic, , adCmdText

        seta6 = rs.Fields!seta
        rs.Close

End If

ReDim Mdata(CInt(time)) As Double
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
For i = 0 To CInt(time)
Fo2 = (alpha * i) / (R * R)

        If B = 0.2 Then
        seta3 = 1.1323 * Exp(-3.6502 * Fo2): End If

        If B = 0.1 Then
        seta3 = 1.1024 * Exp(-4.404 * Fo2): End If

        If B = 0 Then
        seta3 = 1.3215 * Exp(-5.3745 * Fo2): End If

        Tc = Tm + (seta3 * (Ti - Tm))

        Tt = Tm + ((seta6) * (Tc - Tm))

If Rad = 0 Then
Mdata(i) = Tc: End If

If Rad > 0 Then
Mdata(i) = Tt: End If

Next
With Graph1
   .DataReset = gphAllData
   .GraphType = gphLine
   .GridStyle = gphHorizontal
If CInt(time) / 10 < 10 Then
   .LabelEvery = 1
End If

If CInt(time) / 10 > 10 And CInt(time) / 20 <= 10 Then
   .LabelEvery = 10
End If

If CInt(time) / 20 > 10 And CInt(time) / 50 <= 10 Then
   .LabelEvery = 20
End If

If CInt(time) / 50 > 10 And CInt(time) / 100 < 10 Then
   .LabelEvery = 100
End If

.GraphTitle = "กราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของไส้กรอกที่ระยะรัศมี 0" & Rad & " m."
.LeftTitle = "Temperature  (C)"
.BottomTitle = "Time (sec.)"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
.NumPoints = CInt(time) + 1
.NumSets = 1
.ThisSet = 1
For i1 = 0 To CInt(time)
.ThisPoint = i1 + 1
.GraphData = Mdata(i1)
Next
.DrawMode = gphDraw
End With
i = 0

End Sub
```

Form4 (Code)

```
Sub DotA()
        ReDim T(X)
        T(X) = Tm + ((seta4) * (Tc - Tm))
        If X = 1 Then a1 = T(1)
        If X = 2 Then a2 = T(2)
        If X = 3 Then a3 = T(3)
        If X = 4 Then a4 = T(4)
        If X = 5 Then a5 = T(5)
        If X = 6 Then a6 = T(6)
        If X = 7 Then a7 = T(7)
        If X = 8 Then a8 = T(8)
        If X = 9 Then a9 = T(9)
        If X = 10 Then a10 = T(10)
        X = X + 1

End Sub
Sub changecolor()
If e = 1 Then

   Select Case a1
      Case Is <= 2
         Shape1.FillColor = Shp1.FillColor
         Shape19.FillColor = Shp1.FillColor
      Case Is <= 4
         If a1 > 2 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Shape1.FillColor = Shp2.FillColor
    Shape19.FillColor = Shp2.FillColor: End If
Case Is <= 6
    If a1 > 4 Then
    Shape1.FillColor = Shp3.FillColor
    Shape19.FillColor = Shp3.FillColor: End If
Case Is <= 8
    If a1 > 6 Then
    Shape1.FillColor = Shp4.FillColor
    Shape19.FillColor = Shp4.FillColor: End If
Case Is <= 10
    If a1 > 8 Then
    Shape1.FillColor = Shp5.FillColor
    Shape19.FillColor = Shp5.FillColor: End If
Case Is <= 12
    If a1 > 10 Then
    Shape1.FillColor = Shp6.FillColor
    Shape19.FillColor = Shp6.FillColor: End If
Case Is <= 14
    If a1 > 12 Then
    Shape1.FillColor = Shp7.FillColor
    Shape19.FillColor = Shp7.FillColor: End If
Case Is <= 16
    If a1 > 14 Then
    Shape1.FillColor = Shp8.FillColor
    Shape19.FillColor = Shp8.FillColor: End If
Case Is <= 18
    If a1 > 16 Then
    Shape1.FillColor = Shp9.FillColor
    Shape19.FillColor = Shp9.FillColor: End If
Case Is <= 20
    If a1 > 18 Then
    Shape1.FillColor = Shp10.FillColor
    Shape19.FillColor = Shp10.FillColor: End If
Case Is <= 22
    If a1 > 20 Then
    Shape1.FillColor = Shp11.FillColor
    Shape19.FillColor = Shp11.FillColor: End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Case Is <= 24
      If a1 > 22 Then
      Shape1.FillColor = Shp12.FillColor
      Shape19.FillColor = Shp12.FillColor: End If
    Case Is <= 26
      If a1 > 24 Then
      Shape1.FillColor = Shp13.FillColor
      Shape19.FillColor = Shp13.FillColor: End If
    Case Is <= 28
      If a1 > 26 Then
      Shape1.FillColor = Shp14.FillColor
      Shape19.FillColor = Shp14.FillColor: End If
    Case Is <= 30
      If a1 > 28 Then
      Shape1.FillColor = Shp15.FillColor
      Shape19.FillColor = Shp15.FillColor: End If
End Select
End If

If e = 2 Then
Select Case a2
    Case Is <= 2
      Shape2.FillColor = Shp1.FillColor
      Shape18.FillColor = Shp1.FillColor
    Case Is <= 4
      If a2 > 2 Then
      Shape2.FillColor = Shp2.FillColor
      Shape18.FillColor = Shp2.FillColor: End If
    Case Is <= 6
      If a2 > 4 Then
      Shape2.FillColor = Shp3.FillColor
      Shape18.FillColor = Shp3.FillColor: End If
    Case Is <= 8
      If a2 > 6 Then
      Shape2.FillColor = Shp4.FillColor
      Shape18.FillColor = Shp4.FillColor: End If
    Case Is <= 10
      If a2 > 8 Then
      Shape2.FillColor = Shp5.FillColor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Shape18.FillColor = Shp5.FillColor: End If
Case Is <= 12
    If a2 > 10 Then
    Shape2.FillColor = Shp6.FillColor
    Shape18.FillColor = Shp6.FillColor: End If
Case Is <= 14
    If a2 > 12 Then
    Shape2.FillColor = Shp7.FillColor
    Shape18.FillColor = Shp7.FillColor: End If
Case Is <= 16
    If a2 > 14 Then
    Shape2.FillColor = Shp8.FillColor
    Shape18.FillColor = Shp8.FillColor: End If
Case Is <= 18
    If a2 > 16 Then
    Shape2.FillColor = Shp9.FillColor
    Shape18.FillColor = Shp9.FillColor: End If
Case Is <= 20
    If a2 > 18 Then
    Shape2.FillColor = Shp10.FillColor
    Shape18.FillColor = Shp10.FillColor: End If
Case Is <= 22
    If a2 > 20 Then
    Shape2.FillColor = Shp11.FillColor
    Shape18.FillColor = Shp11.FillColor: End If
Case Is <= 24
    If a2 > 22 Then
    Shape2.FillColor = Shp12.FillColor
    Shape18.FillColor = Shp12.FillColor: End If
Case Is <= 26
    If a2 > 24 Then
    Shape2.FillColor = Shp13.FillColor
    Shape18.FillColor = Shp13.FillColor: End If
Case Is <= 28
    If a2 > 26 Then
    Shape2.FillColor = Shp14.FillColor
    Shape18.FillColor = Shp14.FillColor: End If
Case Is <= 30
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If a2 > 28 Then
        Shape2.FillColor = Shp15.FillColor
        Shape18.FillColor = Shp15.FillColor: End If
End Select
End If

If e = 3 Then
Select Case a3
    Case Is <= 2
        Shape3.FillColor = Shp1.FillColor
        Shape17.FillColor = Shp1.FillColor
    Case Is <= 4
        If a3 > 2 Then
        Shape3.FillColor = Shp2.FillColor
        Shape17.FillColor = Shp2.FillColor: End If
    Case Is <= 6
        If a3 > 4 Then
        Shape3.FillColor = Shp3.FillColor
        Shape17.FillColor = Shp3.FillColor: End If
    Case Is <= 8
        If a3 > 6 Then
        Shape3.FillColor = Shp4.FillColor
        Shape17.FillColor = Shp4.FillColor: End If
    Case Is <= 10
        If a3 > 8 Then
        Shape3.FillColor = Shp5.FillColor
        Shape17.FillColor = Shp5.FillColor: End If
    Case Is <= 12
        If a3 > 10 Then
        Shape3.FillColor = Shp6.FillColor
        Shape17.FillColor = Shp6.FillColor: End If
    Case Is <= 14
        If a3 > 12 Then
        Shape3.FillColor = Shp7.FillColor
        Shape17.FillColor = Shp7.FillColor: End If
    Case Is <= 16
        If a3 > 14 Then
        Shape3.FillColor = Shp8.FillColor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Shape17.FillColor = Shp8.FillColor: End If
  Case Is <= 18
    If a3 > 16 Then
    Shape3.FillColor = Shp9.FillColor
    Shape17.FillColor = Shp9.FillColor: End If
  Case Is <= 20
    If a3 > 18 Then
    Shape3.FillColor = Shp10.FillColor
    Shape17.FillColor = Shp10.FillColor: End If
  Case Is <= 22
    If a3 > 20 Then
    Shape3.FillColor = Shp11.FillColor
    Shape17.FillColor = Shp11.FillColor: End If
  Case Is <= 24
    If a3 > 22 Then
    Shape3.FillColor = Shp12.FillColor
    Shape17.FillColor = Shp12.FillColor: End If
  Case Is <= 26
    If a3 > 24 Then
    Shape3.FillColor = Shp13.FillColor
    Shape17.FillColor = Shp13.FillColor: End If
  Case Is <= 28
    If a3 > 26 Then
    Shape3.FillColor = Shp14.FillColor
    Shape17.FillColor = Shp14.FillColor: End If
  Case Is <= 30
    If a3 > 28 Then
    Shape3.FillColor = Shp15.FillColor
    Shape17.FillColor = Shp15.FillColor: End If

End Select
End if

If e = 4 Then
Select Case a4
  Case Is <= 2
    Shape4.FillColor = Shp1.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp1.FillColor
  Case Is <= 4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If a4 > 2 Then
    Shape4.FillColor = Shp2.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp2.FillColor: End If
Case Is <= 6
    If a4 > 4 Then
    Shape4.FillColor = Shp3.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp3.FillColor: End If
Case Is <= 8
    If a4 > 6 Then
    Shape4.FillColor = Shp4.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp4.FillColor: End If
Case Is <= 10
    If a4 > 8 Then
    Shape4.FillColor = Shp5.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp5.FillColor: End If
Case Is <= 12
    If a4 > 10 Then
    Shape4.FillColor = Shp6.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp6.FillColor: End If
Case Is <= 14
    If a4 > 12 Then
    Shape4.FillColor = Shp7.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp7.FillColor: End If
Case Is <= 16
    If a4 > 14 Then
    Shape4.FillColor = Shp8.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp8.FillColor: End If
Case Is <= 18
    If a4 > 16 Then
    Shape4.FillColor = Shp9.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp9.FillColor: End If
Case Is <= 20
    If a4 > 18 Then
    Shape4.FillColor = Shp10.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp10.FillColor: End If
Case Is <= 22
    If a4 > 20 Then
    Shape4.FillColor = Shp11.FillColor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Shape16.FillColor = Shp11.FillColor: End If
  Case Is <= 24
    If a4 > 22 Then
    Shape4.FillColor = Shp12.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp12.FillColor: End If
  Case Is <= 26
    If a4 > 24 Then
    Shape4.FillColor = Shp13.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp13.FillColor: End If
  Case Is <= 28
    If a4 > 26 Then
    Shape4.FillColor = Shp14.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp14.FillColor: End If
  Case Is <= 30
    If a4 > 28 Then
    Shape4.FillColor = Shp15.FillColor
    Shape16.FillColor = Shp15.FillColor: End If

End Select
End If

If e = 5 Then
Select Case a5
  Case Is <= 2
    Shape5.FillColor = Shp1.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp1.FillColor
  Case Is <= 4
    If a5 > 2 Then
    Shape5.FillColor = Shp2.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp2.FillColor: End If
  Case Is <= 6
    If a5 > 4 Then
    Shape5.FillColor = Shp3.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp3.FillColor: End If
  Case Is <= 8
    If a5 > 6 Then
    Shape5.FillColor = Shp4.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp4.FillColor: End If
  Case Is <= 10
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If a5 > 8 Then
    Shape5.FillColor = Shp5.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp5.FillColor: End If
Case Is <= 12
    If a5 > 10 Then
    Shape5.FillColor = Shp6.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp6.FillColor: End If
Case Is <= 14
    If a5 > 12 Then
    Shape5.FillColor = Shp7.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp7.FillColor: End If
Case Is <= 16
    If a5 > 14 Then
    Shape5.FillColor = Shp8.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp8.FillColor: End If
Case Is <= 18
    If a5 > 16 Then
    Shape5.FillColor = Shp9.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp9.FillColor: End If
Case Is <= 20
    If a5 > 18 Then
    Shape5.FillColor = Shp10.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp10.FillColor: End If
Case Is <= 22
    If a5 > 20 Then
    Shape5.FillColor = Shp11.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp11.FillColor: End If
Case Is <= 24
    If a5 > 22 Then
    Shape5.FillColor = Shp12.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp12.FillColor: End If
Case Is <= 26
    If a5 > 24 Then
    Shape5.FillColor = Shp13.FillColor
    Shape15.FillColor = Shp13.FillColor: End If
Case Is <= 28
    If a5 > 26 Then
    Shape5.FillColor = Shp14.FillColor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Shape15.FillColor = Shp14.FillColor: End If
    Case Is <= 30
        If a5 > 28 Then
        Shape5.FillColor = Shp15.FillColor
        Shape15.FillColor = Shp15.FillColor: End If

End Select
End If

If e = 6 Then
Select Case a6
    Case Is <= 2
        Shape6.FillColor = Shp1.FillColor
        Shape14.FillColor = Shp1.FillColor
    Case Is <= 4
        If a6 > 2 Then
        Shape6.FillColor = Shp2.FillColor
        Shape14.FillColor = Shp2.FillColor: End If
    Case Is <= 6
        If a6 > 4 Then
        Shape6.FillColor = Shp3.FillColor
        Shape14.FillColor = Shp3.FillColor: End If
    Case Is <= 8
        If a6 > 6 Then
        Shape6.FillColor = Shp4.FillColor
        Shape14.FillColor = Shp4.FillColor: End If
    Case Is <= 10
        If a6 > 8 Then
        Shape6.FillColor = Shp5.FillColor
        Shape14.FillColor = Shp5.FillColor: End If
    Case Is <= 12
        If a6 > 10 Then
        Shape6.FillColor = Shp6.FillColor
        Shape14.FillColor = Shp6.FillColor: End If
    Case Is <= 14
        If a6 > 12 Then
        Shape6.FillColor = Shp7.FillColor
        Shape14.FillColor = Shp7.FillColor: End If
    Case Is <= 16
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If a6 > 14 Then
    Shape6.FillColor = Shp8.FillColor
    Shape14.FillColor = Shp8.FillColor: End If
  Case Is <= 18
    If a6 > 16 Then
    Shape6.FillColor = Shp9.FillColor
    Shape14.FillColor = Shp9.FillColor: End If
  Case Is <= 20
    If a6 > 18 Then
    Shape6.FillColor = Shp10.FillColor
    Shape14.FillColor = Shp10.FillColor: End If
  Case Is <= 22
    If a6 > 20 Then
    Shape6.FillColor = Shp11.FillColor
    Shape14.FillColor = Shp11.FillColor: End If
  Case Is <= 24
    If a6 > 22 Then
    Shape6.FillColor = Shp12.FillColor
    Shape14.FillColor = Shp12.FillColor: End If
  Case Is <= 26
    If a6 > 24 Then
    Shape6.FillColor = Shp13.FillColor
    Shape14.FillColor = Shp13.FillColor: End If
  Case Is <= 28
    If a6 > 26 Then
    Shape6.FillColor = Shp14.FillColor
    Shape14.FillColor = Shp14.FillColor: End If
  Case Is <= 30
    If a6 > 28 Then
    Shape6.FillColor = Shp15.FillColor
    Shape14.FillColor = Shp15.FillColor: End If

End Select
End If

If e = 7 Then
Select Case a7
  Case Is <= 2
    Shape7.FillColor = Shp1.FillColor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Shape13.FillColor = Shp1.FillColor
Case Is <= 4
    If a7 > 2 Then
    Shape7.FillColor = Shp2.FillColor
    Shape13.FillColor = Shp2.FillColor: End If
Case Is <= 6
    If a7 > 4 Then
    Shape7.FillColor = Shp3.FillColor
    Shape13.FillColor = Shp3.FillColor: End If
Case Is <= 8
    If a7 > 6 Then
    Shape7.FillColor = Shp4.FillColor
    Shape13.FillColor = Shp4.FillColor: End If
Case Is <= 10
    If a7 > 8 Then
    Shape7.FillColor = Shp5.FillColor
    Shape13.FillColor = Shp5.FillColor: End If
Case Is <= 12
    If a7 > 10 Then
    Shape7.FillColor = Shp6.FillColor
    Shape13.FillColor = Shp6.FillColor: End If
Case Is <= 14
    If a7 > 12 Then
    Shape7.FillColor = Shp7.FillColor
    Shape13.FillColor = Shp7.FillColor: End If
Case Is <= 16
    If a7 > 14 Then
    Shape7.FillColor = Shp8.FillColor
    Shape13.FillColor = Shp8.FillColor: End If
Case Is <= 18
    If a7 > 16 Then
    Shape7.FillColor = Shp9.FillColor
    Shape13.FillColor = Shp9.FillColor: End If
Case Is <= 20
    If a7 > 18 Then
    Shape7.FillColor = Shp10.FillColor
    Shape13.FillColor = Shp10.FillColor: End If
Case Is <= 22
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If a7 > 20 Then
        Shape7.FillColor = Shp11.FillColor
        Shape13.FillColor = Shp11.FillColor: End If
    Case Is <= 24
        If a7 > 22 Then
        Shape7.FillColor = Shp12.FillColor
        Shape13.FillColor = Shp12.FillColor: End If
    Case Is <= 26
        If a7 > 24 Then
        Shape7.FillColor = Shp13.FillColor
        Shape13.FillColor = Shp13.FillColor: End If
    Case Is <= 28
        If a7 > 26 Then
        Shape7.FillColor = Shp14.FillColor
        Shape13.FillColor = Shp14.FillColor: End If
    Case Is <= 30
        If a7 > 28 Then
        Shape7.FillColor = Shp15.FillColor
        Shape13.FillColor = Shp15.FillColor: End If

End Select
End If
If e = 8 Then
Select Case a8
    Case Is <= 2
        Shape8.FillColor = Shp1.FillColor
        Shape12.FillColor = Shp1.FillColor
    Case Is <= 4
        If a8 > 2 Then
        Shape8.FillColor = Shp2.FillColor
        Shape12.FillColor = Shp2.FillColor: End If
    Case Is <= 6
        If a8 > 4 Then
        Shape8.FillColor = Shp3.FillColor
        Shape12.FillColor = Shp3.FillColor: End If
    Case Is <= 8
        If a8 > 6 Then
        Shape8.FillColor = Shp4.FillColor
        Shape12.FillColor = Shp4.FillColor: End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Case Is <= 10
   If a8 > 8 Then
   Shape8.FillColor = Shp5.FillColor
   Shape12.FillColor = Shp5.FillColor: End If
Case Is <= 12
   If a8 > 10 Then
   Shape8.FillColor = Shp6.FillColor
   Shape12.FillColor = Shp6.FillColor: End If
Case Is <= 14
   If a8 > 12 Then
   Shape8.FillColor = Shp7.FillColor
   Shape12.FillColor = Shp7.FillColor: End If
Case Is <= 16
   If a8 > 14 Then
   Shape8.FillColor = Shp8.FillColor
   Shape12.FillColor = Shp8.FillColor: End If
Case Is <= 18
   If a8 > 16 Then
   Shape8.FillColor = Shp9.FillColor
   Shape12.FillColor = Shp9.FillColor: End If
Case Is <= 20
   If a8 > 18 Then
   Shape8.FillColor = Shp10.FillColor
   Shape12.FillColor = Shp10.FillColor: End If
Case Is <= 22
   If a8 > 20 Then
   Shape8.FillColor = Shp11.FillColor
   Shape12.FillColor = Shp11.FillColor: End If
Case Is <= 24
   If a8 > 22 Then
   Shape8.FillColor = Shp12.FillColor
   Shape12.FillColor = Shp12.FillColor: End If
Case Is <= 26
   If a8 > 24 Then
   Shape8.FillColor = Shp13.FillColor
   Shape12.FillColor = Shp13.FillColor: End If
Case Is <= 28
   If a8 > 26 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Shape8.FillColor = Shp14.FillColor
        Shape12.FillColor = Shp14.FillColor: End If
    Case Is <= 30
        If a8 > 28 Then
        Shape8.FillColor = Shp15.FillColor
        Shape12.FillColor = Shp15.FillColor: End If

End Select
End If

If e = 9 Then
Select Case a9
    Case Is <= 2
        Shape9.FillColor = Shp1.FillColor
        Shape11.FillColor = Shp1.FillColor
    Case Is <= 4
        If a9 > 2 Then
        Shape9.FillColor = Shp2.FillColor
        Shape11.FillColor = Shp2.FillColor: End If
    Case Is <= 6
        If a9 > 4 Then
        Shape9.FillColor = Shp3.FillColor
        Shape11.FillColor = Shp3.FillColor: End If
    Case Is <= 8
        If a9 > 6 Then
        Shape9.FillColor = Shp4.FillColor
        Shape11.FillColor = Shp4.FillColor: End If
    Case Is <= 10
        If a9 > 8 Then
        Shape9.FillColor = Shp5.FillColor
        Shape11.FillColor = Shp5.FillColor: End If
    Case Is <= 12
        If a9 > 10 Then
        Shape9.FillColor = Shp6.FillColor
        Shape11.FillColor = Shp6.FillColor: End If
    Case Is <= 14
        If a9 > 12 Then
        Shape9.FillColor = Shp7.FillColor
        Shape11.FillColor = Shp7.FillColor: End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Case Is <= 16
      If a9 > 14 Then
      Shape9.FillColor = Shp8.FillColor
      Shape11.FillColor = Shp8.FillColor: End If
    Case Is <= 18
      If a9 > 16 Then
      Shape9.FillColor = Shp9.FillColor
      Shape11.FillColor = Shp9.FillColor: End If
    Case Is <= 20
      If a9 > 18 Then
      Shape9.FillColor = Shp10.FillColor
      Shape11.FillColor = Shp10.FillColor: End If
    Case Is <= 22
      If a9 > 20 Then
      Shape9.FillColor = Shp11.FillColor
      Shape11.FillColor = Shp11.FillColor: End If
    Case Is <= 24
      If a9 > 22 Then
      Shape9.FillColor = Shp12.FillColor
      Shape11.FillColor = Shp12.FillColor: End If
    Case Is <= 26
      If a9 > 24 Then
      Shape9.FillColor = Shp13.FillColor
      Shape11.FillColor = Shp13.FillColor: End If
    Case Is <= 28
      If a9 > 26 Then
      Shape9.FillColor = Shp14.FillColor
      Shape11.FillColor = Shp14.FillColor: End If
    Case Is <= 30
      If a9 > 28 Then
      Shape9.FillColor = Shp15.FillColor
      Shape11.FillColor = Shp15.FillColor: End If
End Select
End If

If e = 9 Then
  Select Case Tc
    Case Is <= 2
    Shape10.FillColor = Shp1.FillColor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Case Is <= 4
If Tc > 2 Then
Shape10.FillColor = Shp2.FillColor: End If
Case Is <= 6
If Tc > 4 Then
Shape10.FillColor = Shp3.FillColor: End If
Case Is <= 8
If Tc > 6 Then
Shape10.FillColor = Shp4.FillColor: End If
Case Is <= 10
If Tc > 8 Then
Shape10.FillColor = Shp5.FillColor: End If
Case Is <= 12
If Tc > 10 Then
Shape10.FillColor = Shp6.FillColor: End If
Case Is <= 14
If Tc > 12 Then
Shape10.FillColor = Shp7.FillColor: End If
Case Is <= 16
If Tc > 14 Then
Shape10.FillColor = Shp8.FillColor: End If
Case Is <= 18
If Tc > 16 Then
Shape10.FillColor = Shp9.FillColor: End If
Case Is <= 20
If Tc > 18 Then
Shape10.FillColor = Shp10.FillColor: End If
Case Is <= 22
If Tc > 20 Then
Shape10.FillColor = Shp11.FillColor: End If
Case Is <= 24
If Tc > 22 Then
Shape10.FillColor = Shp12.FillColor: End If
Case Is <= 26
If Tc > 24 Then
Shape10.FillColor = Shp13.FillColor: End If
Case Is <= 28
If Tc > 26 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Shape10.FillColor = Shp14.FillColor: End If
        Case Is <= 30
        If Tc > 28 Then
        Shape10.FillColor = Shp15.FillColor: End If

    End Select
End If
End Sub
Private Sub Command1_Click()
Form3.Show
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Timer1.Interval = 0
txtime = CInt(time)
Fo2 = (alpha * CInt(time)) / (R * R)

        If B = 0.2 Then
        seta3 = 1.1323 * Exp(-3.6502 * Fo2): End If

        If B = 0.1 Then
        seta3 = 1.1024 * Exp(-4.404 * Fo2): End If

        If B = 0 Then
        seta3 = 1.3215 * Exp(-5.3745 * Fo2): End If

         Tc = Tm + (seta3 * (Ti - Tm))

        For e = 1 To 9
        If e = 1 Then
        seta4 = b1: End If
        If e = 2 Then
        seta4 = b2: End If
        If e = 3 Then
        seta4 = b3: End If
        If e = 4 Then
        seta4 = b4: End If
        If e = 5 Then
        seta4 = b5: End If
        If e = 6 Then
        seta4 = b6: End If
        If e = 7 Then
        seta4 = b7: End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If e = 8 Then
        seta4 = b8: End If
        If e = 9 Then
        seta4 = b9: End If

DotA
changecolor
Next
End Sub

Private Sub Command3_Click()

If Text1 = "" Then
MsgBox ("กรุณาใส่ค่ารัศมีด้วยครับ")
Exit Sub
End If

If Text2 = "" Then
MsgBox ("กรุณาใส่ค่าเวลาที่ต้องการด้วยครับ")
Exit Sub
End If

Rad = Text1
time2 = Text2

If Rad > R Then
MsgBox ("รัศมีที่กำหนดต้องน้อยกว่า " & R)
Exit Sub
End If

If Rad <= 0 Then
MsgBox ("รัศมีที่กำหนดต้องมากกว่า0")
Exit Sub
End If

        Rf = Rad / R

        Select Case Rf
          Case Is < 0.25
            Rf = 0.2
          Case Is < 0.35
            If Rf >= 0.25 Then Rf = 0.3
          Case Is < 0.45
            If Rf >= 0.35 Then Rf = 0.4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Case Is < 0.55
          If Rf >= 0.45 Then Rf = 0.5
        Case Is < 0.65
          If Rf >= 0.55 Then Rf = 0.6
        Case Is < 0.75
          If Rf >= 0.65 Then Rf = 0.7
        Case Is < 0.85
          If Rf >= 0.75 Then Rf = 0.8
        Case Is < 0.95
          If Rf >= 0.85 Then Rf = 0.9
        Case Is >= 0.95
          Rf = 1
    End Select
    Dim sqlcmd4 As String
    sqlcmd4 = "Select * from Table4 where Bi = " & B & " AND r = " & Rf
    rs.Open sqlcmd4, cn4, adOpenStatic, , adCmdText
    seta5 = rs.Fields!seta
    rs.Close
    Fo3 = (alpha * time2) / (R * R)
    If B = 0.2 Then
    seta3 = 1.1323 * Exp(-3.6502 * Fo3): End If
    If B = 0.1 Then
    seta3 = 1.1024 * Exp(-4.404 * Fo3): End If
    If B = 0 Then
    seta3 = 1.3215 * Exp(-5.3745 * Fo3): End If
     Tc = Tm + (seta3 * (Ti - Tm))
     Tt = Tm + ((seta5) * (Tc - Tm))
      MsgBox ("อุณหภูมิที่ระยะรัศมี " & Rad & "m. และเวลา " & time2 & "วินาที =" & Tt & "องศาเซลเซียส")
End Sub
Private Sub Form_Load()
R = D / 2
Bi = (h * R) / K
Bi2 = 1 / Bi
seta = (Tc - Tm) / (Ti - Tm)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
alpha = K / (roll * (Cp * 1000))
B = Bi2

  If seta <> 0 And B <> 0 Then
    Select Case B
      Case Is < 0.05
        B = 0
      Case Is < 0.15
        If B >= 0.05 Then B = 0.1
      Case Is > 0.15
        B = 0.2
    End Select

    Select Case seta
      Case Is < 0.035
        seta = 0.03
      Case Is < 0.045
        If seta >= 0.035 Then seta = 0.04
      Case Is < 0.06
        If seta >= 0.045 Then seta = 0.05
      Case Is < 0.085
        If seta >= 0.06 Then seta = 0.07
      Case Is < 0.15
        If seta >= 0.085 Then seta = 0.1
      Case Is < 0.25
        If seta >= 0.15 Then seta = 0.2
      Case Is < 0.35
        If seta >= 0.25 Then seta = 0.3
      Case Is < 0.45
        If seta >= 0.35 Then seta = 0.4
      Case Is >= 0.45
        seta = 0.5
    End Select

    Dim sqlcmd3 As String

    sqlcmd3 = "Select * from Table3 where seta = " & seta & " AND Bi = " & B

    rs.Open sqlcmd3, cn3, adOpenStatic, , adCmdText

    Fo = rs.Fields!Fo

    rs.Close
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End If

time = (Fo * R * R) / alpha

e = 1

For Rad = R To R / 10 Step -(R / 10)
    Rf = Rad / R

    Select Case Rf
      Case Is < 0.25
        Rf = 0.2
      Case Is < 0.35
        If Rf >= 0.25 Then Rf = 0.3
      Case Is < 0.45
        If Rf >= 0.35 Then Rf = 0.4
      Case Is < 0.55
        If Rf >= 0.45 Then Rf = 0.5
      Case Is < 0.65
        If Rf >= 0.55 Then Rf = 0.6
      Case Is < 0.75
        If Rf >= 0.65 Then Rf = 0.7
      Case Is < 0.85
        If Rf >= 0.75 Then Rf = 0.8
      Case Is < 0.95
        If Rf >= 0.85 Then Rf = 0.9
      Case Is >= 0.95
        Rf = 1
    End Select

    Dim sqlcmd4 As String

    sqlcmd4 = "Select * from Table4 where Bi = " & B & " AND r = " & Rf

    rs.Open sqlcmd4, cn4, adOpenStatic, , adCmdText

    ReDim seta2(e)
    seta2(e) = rs.Fields!seta
    If e = 1 Then b1 = seta2(1)
    If e = 2 Then b2 = seta2(2)
    If e = 3 Then b3 = seta2(3)
    If e = 4 Then b4 = seta2(4)
    If e = 5 Then b5 = seta2(5)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If e = 6 Then b6 = seta2(6)
        If e = 7 Then b7 = seta2(7)
        If e = 8 Then b8 = seta2(8)
        If e = 9 Then b9 = seta2(9)
        e = e + 1
         rs.Close
  Next
Timer1.Interval = 200
i = 1
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
If i <= CInt(time) Then
X = 1
        Fo2 = (alpha * i) / (R * R)
        If B = 0.2 Then
        seta3 = 1.1323 * Exp(-3.6502 * Fo2): End If
        If B = 0.1 Then
        seta3 = 1.1024 * Exp(-4.404 * Fo2): End If
        If B = 0 Then
        seta3 = 1.3215 * Exp(-5.3745 * Fo2): End If
         Tc = Tm + (seta3 * (Ti - Tm))
        For e = 1 To 9
        If e = 1 Then
        seta4 = b1: End If
        If e = 2 Then
        seta4 = b2: End If
        If e = 3 Then
        seta4 = b3: End If
        If e = 4 Then
        seta4 = b4: End If
        If e = 5 Then
        seta4 = b5: End If
        If e = 6 Then
        seta4 = b6: End If
        If e = 7 Then
        seta4 = b7: End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If e = 8 Then
        seta4 = b8: End If
        If e = 9 Then
        seta4 = b9: End If

DotA

changecolor
Next
        txtime = i
      If X = 10 Then X = 1

i = i + 1
Else
Timer1.Interval = 0: Exit Sub
End If
End Sub
```

Form5 (Code)

```
Private Sub Command1_Click()
Dim i1 As Integer
Dim Mdata() As Double

If Text1 = "" Then
MsgBox ("กรุณาใส่ค่ารัศมีด้วยครับ")
Exit Sub
End If

Rad = Text1

If Rad > R Then
MsgBox ("รัศมีที่กำหนดต้องน้อยกว่า" & R)
Exit Sub
End If

Rf = Rad / R
        Select Case Rf
          Case Is < 0.25
            Rf = 0.2
          Case Is < 0.35
            If Rf >= 0.25 Then Rf = 0.3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Case Is < 0.45
               If Rf >= 0.35 Then Rf = 0.4
            Case Is < 0.55
               If Rf >= 0.45 Then Rf = 0.5
            Case Is < 0.65
               If Rf >= 0.55 Then Rf = 0.6
            Case Is < 0.75
               If Rf >= 0.65 Then Rf = 0.7
            Case Is < 0.85
               If Rf >= 0.75 Then Rf = 0.8
            Case Is < 0.95
               If Rf >= 0.85 Then Rf = 0.9
            Case Is >= 0.95
               Rf = 1
         End Select

         Dim sqlcmd2 As String

         sqlcmd2 = "Select * from Table2 where Bi = " & B & " AND r = " & Rf

         rs.Open sqlcmd2, cn2, adOpenStatic, , adCmdText

         seta6 = rs.Fields!seta

         rs.Close

ReDim Mdata(CInt(time)) As Double
For i = 0 To CInt(time)
Fo2 = (alpha * i) / (R * R)

         If B = 0 Then
         seta3 = 2.5753 * Exp(-9.6939 * Fo2): End If

         If B = 0.05 Then
         seta3 = 2.769 * Exp(-8.7352 * Fo2): End If

         If B = 0.1 Then
         seta3 = 2.4496 * Exp(-7.831 * Fo2): End If

         If B = 0.2 Then
         seta3 = 2.0239 * Exp(-6.2928 * Fo2): End If

         Tc = Tm + (seta3 * (Ti - Tm))

         Tt = Tm + ((seta6) * (Tc - Tm))

If Rad = 0 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Mdata(i) = Tc: End If

If Rad > 0 Then

Mdata(i) = Tt: End If

Next

With Graph1

   .DataReset = gphAllData

   .GraphType = gphLine

   .GridStyle = gphHorizontal

If CInt(time) / 10 < 10 Then

   .LabelEvery = 1

End If

If CInt(time) / 10 > 10 And CInt(time) / 20 <= 10 Then

   .LabelEvery = 10

End If

If CInt(time) / 20 > 10 And CInt(time) / 50 <= 10 Then

   .LabelEvery = 20

End If

If CInt(time) / 50 > 10 And CInt(time) / 100 < 10 Then

   .LabelEvery = 100

End If

.GraphTitle = "กราฟแสดงการลดลงของอุณหภูมิของลูกชิ้นที่ระยะรัศมี 0" & Rad & " m."

.LeftTitle = "Temperature  (C)"

.BottomTitle = "Time (sec.)"

.NumPoints = CInt(time) + 1

.NumSets = 1

.ThisSet = 1

For i1 = 0 To CInt(time)

.ThisPoint = i1 + 1

.GraphData = Mdata(i1)

Next

.DrawMode = gphDraw

End With

i = 0

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้