โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการทำนายเวลาที่ใช้ในกระบวนการแช่แข็งของอาหาร

COMPUTER PROGRAMMING FOR PREDICTING TIME IN FOOD FREEZING PROCESS

ณฐนนท์ ประยูรมหิศร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปีการศึกษา 2563

COMPUTER PROGRAMMING FOR PREDICTING TIME IN FOOD FREEZING PROCESS

NATHANON PRAYOONMAHISORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKABANG

ACADEMIC YEAR 2020

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการทำนายเวลาที่ใช้ในกระบวนการแช่แข็งของอาหาร

COMPUTER PROGRAMMING FOR PREDICTING TIME IN FOOD FREEZING PROCESS

ผู้จัดทำ

1.นายณฐนนท์ ประยูรมหิศร 60010274

.....

(ผศ. ดร. ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์	โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการทำนายเวลาที่ใช้ในกระบวนการแช่แข็งของอาหาร COMPUTER PROGRAMMING FOR PREDICTING TIME IN FOOD FREEZING PROCESS
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายณฐนนท์ ประยูรมหิศร รหัสนักศึกษา 60010274
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

ปัจจุบันในทุกปีมีการผลิตอาหารเป็นจำนวนมากในการตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคและยังมีแน้วโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีก ปัจจุบันกฎหมายเกี่ยวกับวิธีการจัดเก็บอาหารมีข้อจำกัดที่มากขึ้น การแช่แข็งซึ่งวิธีการที่เหมาะสมในการชะลอการถนอมอาหารที่เสื่อม การแช่แข็งเป็นกระบวนการที่มีมายาวนานซึ่งผลิตอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่มีคุณภาพสูงและมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานวิศวกรอาหารมีความสนใจในการทำนายเวลาในการทำความเย็นและการแช่แข็งเพื่อประมาณความต้องการในการทำความเย็นสำหรับระบบแช่แข็งและออกแบบอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการแปรรูปที่สมบูรณ์แบบและมีเหตุผล ต้องคำนึงถึงการลดความต้องการพลังงาน ความน่าเชื่อถือความปลอดภัยและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้น้อยที่สุดด้วยโครงการมี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการถนอมอาหารแบบแช่แข็งรวมไปถึงศึกษาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการทำนายเวลาในกระบวนการแช่แข็งออกด้วยภาษา Python

คำสำคัญ : การถนอมอาหร; กระบวนการแช่แข็งผลิตภัณฑ์อาหาร; การทำนายเวลา; Python

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis Title	COMPUTER PROGRAMMING FOR PREDICTING TIME IN FOOD FREEZING PROCESS
Authors	Mr. Nathanon Prayoonmahisorn
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Teerin Chysirichote
Year	2020

Abstract

There is a huge amount of food produced every year in response to consumer demand, and there is still a growing trend. Nowadays, laws on food storage methods are becoming more and more restrictive, including freezing, which is the right way to slow down the preservation of degraded food. High-quality nutrition and a long shelf life .Food engineers are interested in predicting cooling and freezing times to estimate cooling requirements for cryogenic systems and designing essential equipment for Perfect and rational transformation Must consider the reduction of energy requirements. The reliability, safety and quality of the product are minimized. The project aims to study the frozen food preservation process as well as study computer programming for predicting the freezing process time in Python.

Keyword: Preservation of food; The process of freezing food products; Time prediction; Python

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอสจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะแนวทางปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ และช่วยเหลือแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำโครงงานวิจับนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ คำแนะนำและกำลังใจในการทำโครงงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำโครงงานวิจัยนี้

สำหรับคุณความดีอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้บิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์ที่ดีเสมอมา

นายณฐนนท์ ประยูรมหิศร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3ขอบเขตของโครงการ	2
1.4ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การถนอมอาหาร	3
2.1.1หลักการถนอมอาหาร	3
2.2 การแช่แข็ง	5
2.3 กระบวนการแช่แข็ง	5
2.3.1 การตกผลึกระหว่างการแช่แข็ง	5
2.3.2 การคายน้ำในการแช่แข็ง	6
2.3.3 นิยามเวลาแช่แข็ง	6
2.4 แบบจำลองความร้อน	7
2.4.1 คุณสมบัติของอาหารและตัวกลางของเหลว	7
2.4.2 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	7
2.4.3 การกำหนดเวลาแช่แข็ง	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	11
3.1 แผนผังการดำเนินงาน	11
3.2 วิธีการดำเนินงาน	12
3.2.1 การกำหนดค่าตัวแปร	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การแปลงค่า	14
3.2.3 เขียนโปรแกรมสำหรับการทำนายเวลาในกระบวนการแช่แข็งอาหาร	15
3.2.4 เขียนโปรแกรมสำหรับแสดงผลออกมาในรูปของหน้าต่างโปรแกรม	15
3.2.5 เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมและตรวจสอบความแม่นยำ	15
บทที่ 4 ผลการทดลอง	17
4.1 ผลการทดลองเกี่ยวกับการเก็บค่าตัวแปร	17
4.2 ผลการทดลองเกี่ยวกับการแสดงผล	21
4.3 ผลการทดลองเกี่ยวกับ	21
4.4 ผลการทดลองเกี่ยวกับการตรวจสอบโปรแกรม	22
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์ปริญญานิพนธ์	27
5.1 สรุปผลการทดลอง	27
5.2 ปัญหาที่พบ	27
5.3 ข้อเสนอแนะ	27
บรรณานุกรม	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ค่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารและข้อมูลทางเรขาคณิต 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
3.1 แผนผังการดำเนินงาน	11
3.2 การกำหนดค่าฟังก์ชั่น	12
3.3 คำสั่งรับค่าอุณหภูมิจากการป้อนข้อมูลด้วยการพิมพ์	12
3.4 คำสั่งรับค่ารัศมีจากการป้อนข้อมูลด้วยการพิมพ์	12
3.5 คำสั่งรับค่าความยาวจาการป้อนข้อมูลด้วยการพิมพ์	13
3.6 คำสั่งการเลือกชนิดอาหาร	13
3.7 คำสั่งการเลือกชนิดตัวกลาง	13
3.8 คำสั่งการเลือกรูปทรงของอาหาร	13
3.9 คำสั่งการเรียกใช้ค่าจาก Data bass	14
3.10 คำสั่งคำนวณค่า Nusselt number	14
3.11 คำสั่งคำนวณค่า heat transfer coefficient	14
3.12 คำสั่งคำนวณเวลาในกระบวนการแช่แข็ง	15
3.13 คำสั่งแสดงผลในรูปแบบของหน้าต่างโปรแกรม	15
3.14 กรณีศึกษาการหาเวลาในการแข็งอาหารสามชนิด	16
4.1 หน้าต่างโปรแกรมแสดงชนิดของอาหาร	17
4.2 หน้าต่างโปรแกรมแสดงชนิดของตัวกลาง	17
4.3 หน้าต่างโปรแกรมแสดงชนิดของรูปทรงของอาหร	18
4.4 หน้าต่างโปรแกรมแสดงช่องสำหรับป้อนข้อมูลของอุณหภูมิเริ่มต้น	18
4.5 หน้าต่างโปรแกรมแสดงช่องสำหรับป้อนข้อมูลของอุณหภุมิตัวกลาง	19
4.6 หน้าต่างโปรแกรมแสดงช่องสำหรับป้อนข้อมูลของอุณหภูมิสุดท้าย	19
4.7 หน้าต่างโปรแกรมแสดงช่องสำหรับป้อนข้อมูลของรัศมี	20
4.8 หน้าต่างโปรแกรมแสดงช่องสำหรับป้อนข้อมูลความยาว	20
4.9 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์ของการคำนวน	21
4.10 หน้าต่างโปรแกรมแสดงปุ่มลัดของการคำนวณ	21
4.11 หน้าต่างโปรแกรมแสดงปุ่มลัดสำหรับการล้างข้อมูล	22
4.12 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของไส้กรอกภายใต้อุณหภูมิของ ตัวกลาง -110°C และความเร็ว 0.4 m/s	23
4.13 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของสับปะรดภายใต้อุณหภูมิของ ตัวกลาง -110°C และความเร็ว 0.4 m/s	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.14 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของเมล็ดถั่วภายใต้อุณหภูมิของตัวกลาง -110°C และความเร็ว 0.4 m/s 24

4.15 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของไส้กรอกภายใต้อุณหภูมิของตัวกลาง -30°C และความเร็ว 20 m/s 25

4.16 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของสับปะรดภายใต้อุณหภูมิของตัวกลาง -30°Cและความเร็ว 20 m/s 25

4.17 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของเมล็ดถั่วภายใต้อุณหภูมิของตัวกลาง -30°C และความเร็ว 20 m/s 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1.ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ทุกปีมีการผลิตอาหารเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคมีจำนวนมากและยังคงเพิ่มขึ้น ปัจจุบันกฎหมายเกี่ยวกับวิธีการจัดเก็บอาหารมีข้อ จำกัด มากขึ้นในแง่ของคุณภาพขั้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์อาหารและการเปลี่ยนแปลง(Biglia, Alessandro, et al , 2015)และประสิทธิภาพของกระบวนการจัดเก็บ(Castro-Giráldez, Marta, et al , 2014) ในสถานการณ์นี้การแช่แข็งถือว่ามีบทบาทที่เกี่ยวข้องเนื่องจากเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการชะลอการถนอมอาหาร การแช่แข็งเป็นกระบวนการถนอมอาหารที่มีมายาวนานซึ่งผลิตอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่มีคุณภาพสูงและมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานโดยทั่วไปคำว่าการแช่แข็งหมายถึงกระบวนการที่อุณหภูมิของอาหารลดลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งในขณะที่คำว่าแช่แข็งใช้เพื่ออธิบายสถานะที่ตามมาที่อาหารถูกเก็บไว้เช่นการบำรุงรักษา อาหารที่ต่ำกว่าอุณหภูมินั้นในช่วงที่เหลือของห่วงโซ่ความเย็น การก่อตัวของผลึกน้ำแข็งในระหว่างการแช่แข็งและการเก็บแช่แข็งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่อโครงสร้างของอาหาร ในกรณีส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ถูกมองว่าเป็นการลดคุณภาพของวัสดุที่ละลายได้ ในกรณีที่รุนแรงเช่นแตงกวาหรือผักสลัดการแช่แข็งจะทำลายโครงสร้างของอาหารโดยสิ้นเชิง ในเนื้อสัตว์และปลาผลลัพธ์หลักคือหยดเพิ่มขึ้นจากการละลาย มีมุมมองทั่วไปว่าการแช่แข็งอย่างรวดเร็วและการก่อตัวของผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กมีข้อดีบางประการแม้ว่าจะไม่เป็นความจริงสำหรับอาหารทุกชนิด. อย่างไรก็ตามการลดเวลาในการแช่แข็งให้น้อยที่สุดอาจเป็นประโยชน์ในการลดการใช้พลังงานเพิ่มปริมาณงานและเพิ่มผลผลิต

วิศวกรอาหารมีความสนใจในการทำนายเวลาในการทำความเย็นและการแช่แข็งเพื่อประมาณความต้องการในการทำความเย็นสำหรับระบบแช่แข็งและออกแบบอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการแปรรูปที่สมบูรณ์แบบและมีเหตุผล ต้องคำนึงถึงการลดความต้องการพลังงาน ความน่าเชื่อถือความปลอดภัยและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้น้อยที่สุดด้วย การปฏิวัติคุณภาพได้หยั่งรากลึกในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากการประกันคุณภาพเปลี่ยนไปเป็นการจัดการคุณภาพ ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพการเพิ่มความสามารถในการยอมรับของผู้บริโภคให้สูงสุดนั่นคือระดับการซื้อต่อเนื่องหรือการบริโภคโดยประชากรที่ระบุไว้สามารถใช้เพื่อปรับเงื่อนไขของกระบวนการให้เหมาะสมเช่นอัตราการแช่แข็งระดับของส่วนผสมที่เลือกหรือสภาวะการเก็บรักษา(Shewfelt, Erickson, Hung, &

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Malundo, 1997). โครงงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษากระบวนการแช่แข็งของอาหาร รวมไปถึงศึกษาและออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการทำนายเวลาในการแช่แข็งของอาหารด้วยภาษา Python

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการแช่แข็งของอาหาร

1.2.2 เพื่อออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้ภาษา Python สำหรับการทำนายเวลาที่ใช้ในกระบวนการแช่แข็งของผลิตภัณฑ์อาหาร

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษากระบวนการแช่แข็งผลิตภัณฑ์อาหาร

1.3.2 ศึกษาหลักการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา Python

1.3.2 ประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำนายเวลาที่ใช้ในกระบวนการแช่แข็งของอาหาร โดยใช้ภาษา Python

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงหลักการของกระบวนการแช่แข็งของผลิตภัณฑ์อาหาร

1.4.2 ทราบถึงหลักการในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาย Python

1.4.3 ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นมาสามารถทำนายเวลาที่ใช้ในกระบวนการแช่แข็งของผลิตภัณฑ์อาหารอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถนอมอาหาร

การถนอมอาหาร (food preservation) คือ วิธีการปฏิบัติที่มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารชะลอการเสื่อมเสียของอาหาร (food spoilage) จากสาเหตุต่างๆ ทั้งด้าน จุลินทรีย์ เคมี และทางกายภาพโดยการถนอมอาหารจะเน้นการรักษาคุณภาพด้านต่างๆของอาหาร ทั้งทางด้านรสชาติ คุณค่าทางโภชนาการให้เป็นที่ยอมรับ และทำให้อาหารปลอดภัย (food safety) ต่อการบริโภค

2.1.1 หลักการถนอมอาหาร

2.1.1.1 ป้องกันไม่ให้อาหารหรือวัตถุดิบปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ วัตถุแปลกปลอม วัตถุอันตราย

เป็นการจัดการทั้งระบบการผลิต ตั้งแต่ผลผลิตอยู่ในฟาร์ม จนกระทั่งอาหารถึงมือผู้บริโภค เป็นหลักการสำคัญเบื้องต้นที่ผู้ประกอบการในอุตสหกรรมอาหารต้องยึดถือเป็นหลักปฏิบัติ โดยในระบบการเกษตรให้ใช้หลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี และเหมาะสม (Good Agricultural Practice, GAP) ทั้งในขั้นตอนการเพาะปลูก และการเลี้ยงสัตว์ โดยต้องคำนึงถึงแหล่งน้ำที่ใช้ อาหารสัตว์ รวมทั้งปุ๋ยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (pesticides) ต้องสะอาดปลอดภัย ไม่มีสารพิษตกค้าง หรือปนเปื้อน ระหว่างการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาและการขนย้ายผลิตผลภายในแปลง ต้องขนย้ายผลิตผลอย่างระมัดระวัง สถานที่เก็บรักษา ต้องสะอาด อากาศถ่ายเทได้ดีและสามารถป้องกันการปนเปื้อนของวัตถุแปลกปลอม วัตถุอันตราย และสัตว์พาหะนำโรค รวมถึงอุปกรณ์และพาหนะในการขนย้ายต้องสะอาดปราศจากการปนเปื้อนสิ่งอันตรายที่มีผลต่อความปลอดภัยในกระบวนการผลิตอาหารจะต้องมีการควบคุม สถานที่ผลิต กรรมวิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต บุคลาการ และการเก็บรักษาอาหารให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (Good Manufacturing Practice, GMP) ซึ่งเป็นเกณฑ์หรือข้อกำหนดขั้นพื้นฐานที่จำเป็นในการผลิตและควบคุมเพื่อให้ผู้ผลิตปฏิบัติตาม และทำให้สามารถผลิตอาหารได้อย่างปลอดภัยโดยเน้นการป้องกันและขจัดความเสี่ยงที่อาจจะทำให้อาหารเป็นพิษ เป็นอันตราย หรือเกิดความไม่ปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.1.2 ขจัดหรือแยกจุลลินทรีย์ หรือสิ่งปนเปื้อน ที่มีอยู่ในอาหารออก

การทำความสะอาด (cleaning) คัดแยก ตัดแต่ง เพื่อทำความสะอาด แยกสิ่งสกปรก สิ่งปนเปื้อน และแยกวัตถุดิบส่วนที่เน่าเสียออกจากส่วนที่ดี เป็นการลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น เพราะวัตถุดิบที่เน่าเสีย หรือส่วนของวัตถุดิบ ที่มีแนวโน้มเป็นแหล่งสะสมของจุลินทรีย์ปริมาณมาก เช่น เหงือกปลา หัวกุ้ง ขน ผิวหนัง ลำไส้ของสัตว์ ตลอดจนส่วนของพืชที่สัมผัสดินโดยตรง เช่น รากลำต้นใต้ดิน มีจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก หากไม่ล้างให้สะอาด หรือแยกออก ปล่อยให้สัมผัส ปนเปื้อนกับวัตถุดิบส่วนที่ดีจะทำให้จุลินทรีย์จะเพิ่มปริมาณและแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในขั้นตอน การล้างด้วยน้ำ การลดขนาด (size reduction) เช่น การหั่น การผสม การสับ การบด ทำให้เป็นปัญหาให้การแปรรูปในขั้นตอนต่อไปทำได้ยากขึ้น มีความเสี่ยงที่อาหารจะเน่าเสียได้ง่ายและเป็นอันตรายต่อการบริโภคในอาหารเหลว เช่น น้ำนม หรือน้ำผลไม้ อาจใช้การเหวี่ยงแยก (centrifuge) เพื่อแยกเซลล์ของจุลินทรีย์ หรือสิ่งสกปรกที่มีความหนาแน่น (density) แตกต่างจากความหนาแน่นของอาหารเหลวออกจากกัน หรืออาจแยกด้วยการกรอง โดยใช้เยื่อกรอง (membrane filtration) ซึ่งเป็นเยื่อที่มีขนาดของรูกรองเล็กกว่าเซลล์ของจุลลินทรีย์ เช่น ระบบ Ultra filtrationใช้ในการกรองเซลล์ของจุลินทรีย์ ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม เช่น เบียร์ (beer) ไวน์ (wine) น้ำผลไม้ (fruit juice) ถือเป็นวิธีการที่ทำให้อาหารปลอดเชื้อโดยไม่ใช้ความร้อน (cold sterilization) ใช้กับอาหารเหลว ของที่เสื่อมคุณภาพได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน

2.1.1.3. ปรับสภาพอาหาร หรือสภาวะแวดล้อมของอาหารให้ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์และสาเหตุอื่นๆ

จุลินทรีย์เมื่อปนเปื้อนอยู่ในอาหาร จะมีระยะการเจริญโดยระยะแรกเป็นระยะปรับตัว (lag phase) ช่วงนี้การเพิ่มจำนวนจะช้าเพราะจุลินทรีย์ต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อม เมื่อผ่านระยะนี้ไปได้ จะเข้าสู่ระยะเพิ่มจำนวน (growth phase) ซึ่งจุลินทรีย์จะมีการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วแบบ logarithmic จนมีจำนวนมากพอที่จะเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย หรือทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ หลังจากผ่านช่วงนี้ไปได้ จะเป็นระยะคงที่ (stationary phase) อัตราการเพิ่มจำนวนและการตายของจุลินทรีย์จะเท่าๆ กัน เนื่องจากจุลินทรีย์มีปริมาณมาก เริ่มสร้างของเสีย สารพิษ ทำให้สภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์คงที่ หลังจากนั้นจะเข้าสู่ระยะการตาย (death phase) ซึ่งจำนวนจุลินทรีย์เริ่มลดจำนวนลงอัตราการตายมากกว่าการเพิ่มจำนวน เนื่องจากมีสารพิษสะสมมากขึ้นหากจุลินทรีย์อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญ เช่น มีสารอาหารอุดมสมบูรณ์ มีน้ำเพียงพอ บรรยากาศ และอุณหภูมิที่พอเหมาะ ทำให้ระยะปรับตัวสั้นลง เข้าสู่ระยะการถนอมอาหาร ทำได้ด้วยการปรับสภาพอาหาร หรือ สภาวะแวดล้อมของอาหารให้ไม่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์เป็นการยืดระยะปรับตัวให้ยาวนานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- การปรับค่า pH ของอาหาร เช่น การเติมกรด หรือการหมักให้เกิดกรด ซึ่งกรดที่สร้างขึ้นจากจุลินทรีย์ในระหว่างการหมัก เช่นกรดแล็กทิก (lactic acid) กรดแอซีติก (acetic acid) จะไปยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่นไม่ให้เจริญ

- การลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity, aw) ด้วยการลดปริมาณน้ำในอาหารด้วยการทำแห้ง (dehydration) การทำให้เข้มข้น (concentration) หรือใส่ตัวถูกละลาย เช่น เกลือ หรือน้ำตาล เพื่อเพิ่มแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ของอาหารซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ ได้แก่ การดองหรือหมักด้วยเกลือ (salt curing) หรือการกวน การเชื่อม การแช่อิ่ม ด้วยน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูง

- การลดอุณหภูมิ

- การกำจัดอากาศหรือกำจัดออกซิเจน เช่น การบรรจุแบบสุญญากาศ (vacuum packaging) และการควบคุมบรรยากาศ(controlled atmosphere packaging) หรือการปรับเปลี่ยนสภาพบรรยากาศ (modified atmosphere packaging)

2.1.4. ทำลายจุลินทรีย์รวมทั้งสปอร์และสารพิษที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น

- การใช้ความร้อน (thermal processing)
- การแช่เยือกแข็ง (freezing)
- การใช้รังสี (irradiation)
- การใช้สารกันเสีย (preservative)
- การใช้แรงกล เช่น การใช้ความดันสูง (high pressure processing)

2.2 การแช่แข็ง

การแช่แข็งหมายถึงกระบวนการถนอมอาหารที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งส่งผลให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ จุดประสงค์ของกระบวนการคือการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายในผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนเหล่านี้ส่งผลให้ยืดอายุการเก็บรักษาอาหารที่เน่าเสียง่าย เอกสารหลักฐานส่วนใหญ่เกี่ยวกับการแช่แข็งเป็นกระบวนการถนอมอาหารปรากฏขึ้นภายใน 150 ปีที่ผ่านมาและกระบวนการดังกล่าวได้กลายเป็นส่วนสำคัญของการจัดการและจำหน่ายอาหารในประเทศที่พัฒนาแล้วส่วนใหญ่

2.3 กระบวนการแช่แข็ง

2.3.1 การตกผลึกระหว่างการแช่แข็ง

กระบวนการแช่แข็งประกอบด้วยการแช่แข็ง ที่เก็บและการละลายซึ่งแต่ละกระบวนการต้องได้รับการดำเนินการอย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการถนอมอาหารและตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สิ่งมีชีวิต การแช่แข็งเกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปเป็น -18°C หรือต่ำกว่า (Fennema, Powrie, & Marth, 1973) กระบวนการลดอุณหภูมิสามารถแบ่งออกเป็นสามช่วงที่แตกต่างกันคือ 1. ขั้นตอนก่อนการทำความเย็นหรือการแช่เย็นซึ่งวัสดุจะถูกทำให้เย็นลงจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง 2. ระยะเวลาการเปลี่ยนเฟสซึ่งแสดงถึงการตกผลึกของน้ำส่วนใหญ่ และ 3. ขั้นตอนที่ผลิตภัณฑ์ถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ การเปลี่ยนแปลงของน้ำ-น้ำแข็งมีข้อได้เปรียบของโครงสร้างของเนื้อเยื่อและการแยกส่วนของน้ำในรูปของผลึกน้ำแข็งในลักษณะที่ไม่สามารถใช้เป็นตัวทำละลายหรือส่วนประกอบที่ทำปฏิกิริยาได้ ดังนั้นการแพร่ของตัวถูกละลายอื่นๆ ในเนื้อเยื่อจึงช้ามาก ซึ่งร่วมกับการลดอุณหภูมิจะช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม ขนาดและตำแหน่งของผลึกน้ำแข็งอาจทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เสียหายและทำลายโครงสร้างทางกายภาพได้ ดังนั้นสาเหตุของการดัดแปลงทางกายภาพ-ทางเคมีที่ไม่พึงปรารถนาในระหว่างการแช่แข็งคือการตกผลึกของน้ำและบางครั้งก็ถูกละลาย การลดระยะเวลาการเปลี่ยนเฟสให้น้อยที่สุดทำให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด (Brennan, Butters, Cowell, & Lilly, 1990)

2.3.2 การคายน้ำในการแช่แข็ง

แม้ว่าการแช่แข็งจะเปลี่ยนผลิตภัณฑ์อาหารน้อยกว่าวิธีการถนอมอาหารอื่น ๆ แต่อาจมีการคายน้ำหรือการสูญเสียน้ำบางส่วนซึ่งนำไปสู่การสูญเสียคุณภาพและส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ ผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่บรรจุหีบห่อซึ่งอุ่นกว่าการถ่ายเทความร้อนโดยรอบตัวกลาง (อากาศ, จาน , ของเหลวที่แช่แข็งหรือก๊าซ) เริ่มคายน้ำ กระบวนการนี้เริ่มต้นที่พื้นผิวและด้านล่างทันทีตามด้วยการลำเลียงน้ำจากชิ้นส่วนด้านในของผลิตภัณฑ์ไปยังพื้นผิว ยิ่งสัมผัสกับสภาวะที่ทำให้สูญเสียความชื้นนานเท่าไรการสูญเสียการคายน้ำสูงขึ้น (Anonymous, 1994) ในระหว่างการระบายความร้อนด้วยอากาศของอาหารที่เป็นของแข็ง น้ำจะถ่ายเทจากไปยังผลิตภัณฑ์เสมอ ควรลดการถ่ายเทน้ำนี้เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Hallstrom, 1990). เส้นโค้งการคายน้ำได้รับผลกระทบจากผลิตภัณฑ์ประเภทของช่องแช่แข็ง ตัวกลางในการทำความเย็นและสภาวะการทำงาน โดยทั่วไปแล้วน้ำการสูญเสียจากการระเหยจะมากกว่าในช่วงก่อนการทำความเย็นเนื่องจากอัตราการถ่ายเทมวลจะลดลงเมื่อผลิตภัณฑ์แข็งตัว โดยทั่วไปอุณหภูมิเริ่มต้นที่สูงจะทำให้สูญเสียการคายน้ำสูง เนื่องจากการคายน้ำเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจึงมีการแสดงอัตราส่วนของพื้นผิวต่อน้ำหนัก บทบาทสำคัญ ยิ่งน้ำหนักที่สามารถปิดทับด้วยพื้นที่ผิวบางส่วนการคายน้ำก็จะยิ่งลดลง อุณหภูมิความเร็วและความปั่นป่วนของตัวกลางทำความเย็นยังส่งผลต่อการคายน้ำ (Anonymous, 1994) ดังนั้นการเลือกสภาพการทำงานให้เหมาะสมสามารถลดการคายน้ำทำให้ผลผลิตดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.3. นิยามเวลาแช่แข็ง

เนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างมากในระหว่างกระบวนการแช่แข็งจึงต้องกำหนดเวลาในการแช่แข็งตามตำแหน่ง โดยทั่วไปแล้วศูนย์ความร้อนจะถูกใช้อ้างอิงซึ่งเป็นตำแหน่งที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด มีทางเลือกสองทางในการพิจารณาความสมบูรณ์ของกระบวนการแช่แข็ง หนึ่งคือเมื่อศูนย์อุณหพลศาสตร์ถึงอุณหภูมิหนึ่งและอีกอย่างคือเมื่อได้อุณหภูมิเฉลี่ยมวลที่แน่นอน ข้อเสียของการใช้จุดสิ้นสุดของอุณหภูมิเฉลี่ยมวลคือค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจำนวนมากนั้นมีความหลากหลายในการวัดหรือประมาณการในทางปฏิบัติโดยไม่มีข้อมูลอุณหภูมิที่ครอบคลุม (Cleland, 1985).ดังนั้นคำจำกัดความของเวลาในการแช่แข็งมักจะอ้างว่าเป็นเวลาในการเข้าถึงอุณหภูมิโดยเฉพาะที่จุดทำความเย็นที่ช้าที่สุด (ศูนย์ความร้อน)

2.4 แบบจำลองความร้อน

ในระหว่างการแช่แข็งอาหารจะถูกทำให้เย็นลงโดยการขจัดความร้อนที่เหมาะสมและแฝงออกโดยใช้ตัวกลางในการทำความเย็นกระบวนการเป็นปัญหาการนำความร้อนในระหว่างที่การเปลี่ยนเฟสเกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์อาหาร ทั้งหมด กระบวนการแบ่งออกเป็นสามขั้นตอน: (1) อาหารถูกทำให้เย็นก่อนจากอุณหภูมิเริ่มต้น T_1 จนถึงการแช่แข็งเริ่มต้น อุณหภูมิ T_F (ความร้อนที่เหมาะสม); จากนั้น (2) น้ำที่มีอยู่ในอาหารจะเริ่มแข็งตัว (ความร้อนแฝง) และ (3) อาหาร ถูกทำให้เย็นลงจนกว่าจะถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการ T_2 (ความร้อนที่เหมาะสม)

2.4.1 คุณสมบัติของอาหารและตัวกลางของเหลว

คุณสมบัติทางความร้อนของอาหารซึ่งจำเป็นสำหรับการอธิบายพลวัตของกระบวนการแช่แข็งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อย่างเคร่งครัด ชุดขององค์ประกอบหลักของอาหารสามารถสรุปได้เป็น : น้ำ, โปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต, ไฟเบอร์และวิตามิน องค์ประกอบของอาหารในแง่ของส่วนแบ่งของแต่ละองค์ประกอบอาจแตกต่างกันอย่างมากระหว่างอาหารประเภทต่างๆ แต่ในระดับเล็กน้อยภายในผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกันขึ้นอยู่กับคุณภาพปัจจุบัน และ/หรือสูตรอาหารที่นำมาใช้ คุณสมบัติของอาหาร (เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ฯลฯ) สามารถประเมินเป็นการรวมกันของคุณสมบัติของแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งประมาณโดยความสัมพันธ์ที่เสนอโดยChoi and Okos (Choi, Y.O.M.R. , 1986) ตามหน้าที่ของอุณหภูมิอาหาร กระบวนการแช่แข็งยังได้รับอิทธิพลจากคุณสมบัติของตัวกลางในการทำความเย็น แท้จริงแล้วการแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิและความเร็วของตัวกลางในการทำความเย็น ในแบบจำลองความร้อนที่นำเสนออาหารจะถูกทำให้เย็นลงด้วยอากาศซึ่งคุณสมบัติได้รับการประเมินโดยใช้ฐานข้อมูล REFPROP (Pham, Q. Tuan, 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2. การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน h ระหว่างอาหารและตัวกลางทำความเย็นเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแช่แข็ง เนื่องจากอธิบายถึงประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อน ขึ้นอยู่กับรูปร่างขนาดและชนิดของอาหารและ เกี่ยวกับอุณหภูมิและความเร็ว (โมดูลัสและทิศทาง) ของตัวกลางของเหลวและสามารถคำนวณได้จาก Nusselt number ,N_u การสร้างรูปทรงอาหารโดยใช้รูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน (ทรงกระบอก,ทรงกลม, ระนาบแบน ฯลฯ) ช่วยให้ การประเมิณ N_u โดยการกำหนดเชิงประจักษ์ตามหน้าที่ของ Reynolds number (Re) และ Prandtl number (Pr).

ตัวอย่างเช่นในกรณีของอาหารที่มีพื้นผิวเรียบ (อาทิเช่น ชิ้นผลไม้หรือผัก, แฮมเบอร์เกอร์เป็นต้น) และทิศทางสัมผัสของของไหลของตัวกลาง N_u สามารถคำนวณได้โดยประมาณเป็น (Holman JP, 2010):

$$\begin{cases} Nu=0.037Re^{0.8}Pr^{1/3} & \text{with } 5\cdot10^5\leq Re\leq 10^7 \text{ and } 0.6\leq Pr\leq 60 \\ Nu=0.664Re^{0.5}Pr^{1/3} & \text{with } Re<5\cdot10^5 \end{cases} \quad (1)$$

สำหรับปริมาตรรูปทรงกระบอก (เช่น แครอท, ไส้กรอก, แตงกวา ฯลฯ) และของเหลวตัวกลางที่ตั้งฉากกับควรนำสมการของเชอร์ชิลล์และเบิร์นสไตน์ (Holman JP, 2010) มาใช้

$$Nu=0.3+\frac{0.62Re^{0.5}Pr^{1/3}}{(1+(0.4/Pr)^{2/3})^{0.25}}\cdot\left(1+(re/28200)^{5/8}\right)^{4/5} \quad \text{with } Re\cdot Pr>0.2 \quad (2)$$

ส่วนผลิตภัณฑ์ทรงกลม (เช่น ถั่ว เชอร์รี่ บลูเบอร์รี่ เป็นต้น) สูตรของวิเทเกอร์ (Holman JP, 2010)

$$Nu=2+(0.4Re^{0.5}+0.06Re^{2/3})\ Pr^{0.4}\left(\frac{\mu_{medium}}{\mu_{food}}\right)^{0.25} \text{ with } 3.5\leq Re\leq 8\cdot10^4 \text{and } 0.7\leq Pr\leq 380 \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อกำหนด Nu ค่า h สามารถหาได้จาก

$$h = \frac{Nu \cdot k}{l} \quad (4)$$

โดยที่ k เป็นค่าการนำความร้อน และ l เป็นความยาวลักษณะของรายการอาหารตามลำดับ

2.4.3. การกำหนดเวลาแช่แข็ง

เวลาในการแช่แข็ง t , ซึ่งเป็นดัชนีเชิงพรรณนาที่สำคัญของกระบวนการแช่แข็งอาหาร มีความเกี่ยวข้องอย่างเคร่งครัดกับคุณภาพขั้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง และการประมาณค่านี้เป็นตัวช่วยในขั้นตอนการออกแบบโรงงานในอุตสาหกรรมอาหาร สามารถคำนวณได้โดยสมการพื้นฐานของปัญหาการนำความร้อนซึ่งสามารถเขียนได้โดยใช้กฎของฟูริเยร์โดยไม่ต้องสร้างความร้อนภายใน

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (5)$$

โดยมีสมมติฐานดังต่อไปนี้ (1) ในกรณีของปัญหาที่มีมิติเดียวและสภาวะคงตัว; (2) พิจารณาเฉพาะความร้อนแฝงที่ต้องกำจัดออกจากอาหาร; (3) โดยไม่คำนึงถึงความร้อนที่เหมาะสมในการทำให้อาหารเย็นลงจาก T_1 ถึง T_f (ขั้นตอนก่อนการทำให้เย็น) และจากT_f ถึง T_2 (ขั้นตอนการทำความเย็นย่อย); (4) สมมติให้อุณหภูมิและคุณสมบัติทางความร้อนของผลิตภัณฑ์คงที่ระหว่างการเปลี่ยนเฟส สูตรเวลาแช่แข็งที่เสนอโดย Plank คือ

$$t_{plank} = \frac{L}{T_f - T_m}\left(\frac{PD}{h} + \frac{RD^2}{k}\right) \quad (6)$$

เมื่อ L คือความร้อนแฝง, T_f คืออุณหภูมิเริ่มต้น, T_m คืออุณหภูมิของตัวกลาง, h คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน, k คือค่าการนำความร้อน และ P, R และ D คือปัจจัยรูปร่างของอาหาร เพื่อก้าวข้ามขีดข้อกำหนดสูตรของ Plank, Pham ได้เสนอสูตรใหม่ (Pham QT,1984) โดยพิจารณาถึงความร้อนที่เหมาะสมที่ปล่อยออกมาจากอาหารในระหว่างขั้นตอนก่อนการทำให้เย็นและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทำให้เย็นยิ่ง นอกจากนี้อุณหภูมิเฉลี่ยในการเยือกแข็ง T_{fm} ควรจะต่ำกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นเริ่มต้น ที่ 1.5 K ให้ต่ำกว่าอุณหภูมิเริ่มต้น T_f เพื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการเปลี่ยนเฟสอาหาร สูตรของ Pham นำมาใช้ในที่นี้คือ

$$t_{pham} = f_{pham} \sum_{i=1}^{3} t_i \quad (7)$$

โดยที่ t_1 แทนเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิจาก T_1 เป็นTf (pre-cooling), t_2 เวลาที่ต้องการแช่แข็งอาหารและ t_3 เวลาลดอุณหภูมิจาก T_f ถึง T_2 (sub-cooling) ปัจจัยการแก้ไข f_{pham}, เสนอโดยPham (Pham QT,2014) ได้รับการแนะนำให้คำนึงถึงผลกระทบของตัวกลางของเหลวที่อุณหภูมิต่ำมาก (<<-40°C) และสามารถแสดงเป็น

$$f_{pham} = 1 + 0.41 \cdot R_T^{0.5} \cdot (1 - e^{-Bi}) \quad (8)$$

เมื่อ R_T คืออัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิแช่แข็งของอาหาร T_f และอุณหภูมิของตัวกลางของเหลว T_m ที่ Bi แสดงถึง Biot number ของอาหาร โดยละเอียดมากขึ้นในแต่ละครั้ง t_i สามารถคำนวณได้เป็น

$$t_i = \frac{Q_i}{h\, A_s \Delta T_{m,i}} \left(1 + \frac{Bi_i}{k_i}\right) \quad (9)$$

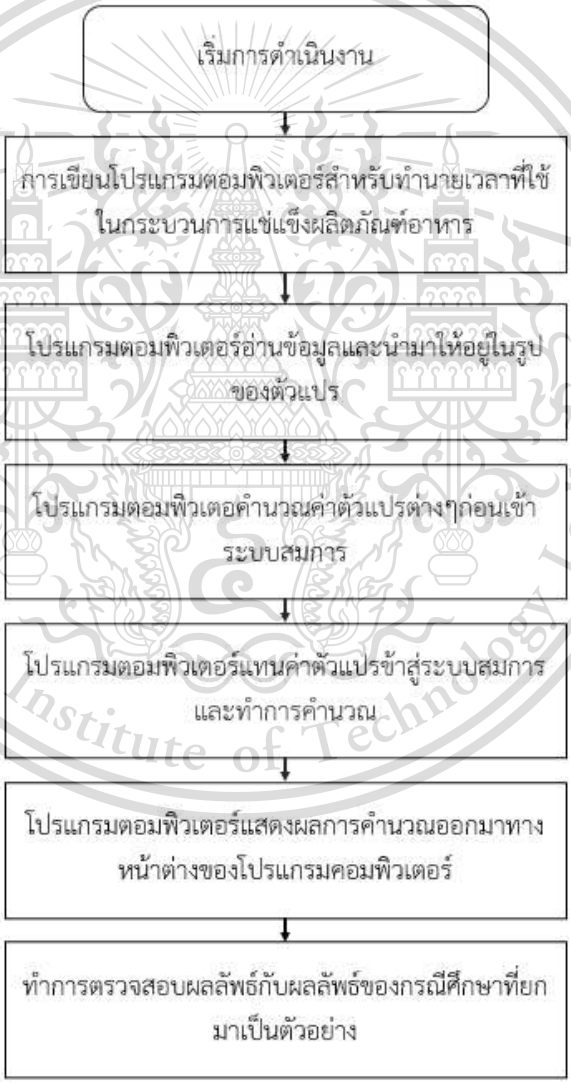
เมื่อ Q_i แสดงถึงความร้อนที่จะถูกดึงออกมาในแต่ละขั้นตอน; h คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยระหว่างอาหารผลิตภัณฑ์และตัวกลางของเหลว; A_s พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของอาหาร; $\Delta T_{m,i}$ ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของอุณหภูมิลอการิทึมในช่วงการแช่แข็งที่แตกต่างกัน; Bi คือ Biot number; k_i ค่าสัมประสิทธิ์สูตรของ Pham พารามิเตอร์ Q_i, k_i และ $\Delta T_{m,i}$ สามารถประเมินได้ตาม (ASHRAE,2010) เมื่อกำหนดอุณหภูมิอาหารเริ่มต้นและขั้นสุดท้าย T_1 และ T_2 ของกระบวนการแช่แข็ง ความร้อน Q_i ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารโดยเฉพาะความร้อนและความหนาแน่นเฉพาะและปริมาณอาหาร ผลกระทบของรูปร่างอาหารต่อกระบวนการแช่แข็งถูกรวมไว้ในค่าเฉลี่ย ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน h, Biot number Bi และพื้นผิวที่ใช้งานการแลกเปลี่ยนความร้อน A_s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 แผนผังการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

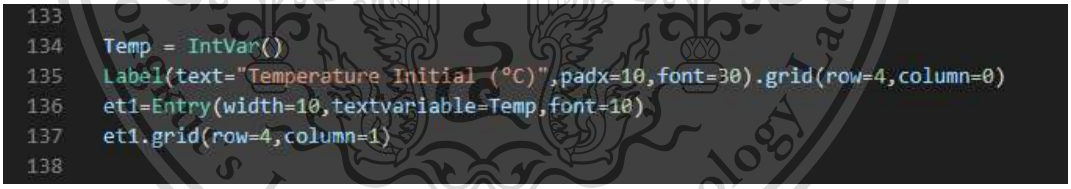
3.2 วิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้มีการดำเนินงาน 5 ส่วน นั้นคือ การเก็บค่าตัวแปร, การแปลงค่า, การคำนวณในสมการ, การแสดงผล และ การรันโปรแกรมและตรวจสอบ

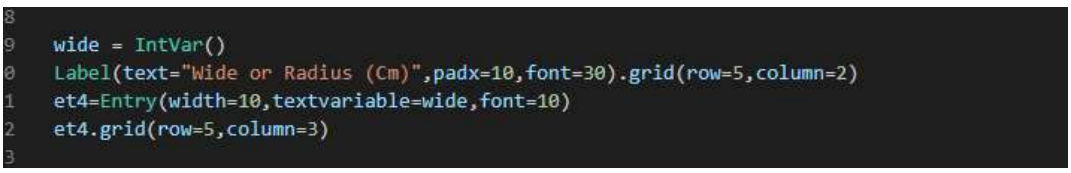
3.2.1 การเก็บค่าตัวแปร

3.2.1.1 ทำการเขียนโปรแกรมสำหรับการเก็บค่าพารามิเตอร์จากการป้อนข้อมูลด้วยแป้นพิมพ์ให้อยู่ในรูปของตัวแปรที่กำหนดไว้

รูปที่3.2 การกำหนดค่าฟังก์ชั่น



รูปที่3.3 คำสั่งรับค่าอุณหภูมิจากการป้อนข้อมูลด้วยแป้นพิมพ์



รูปที่ 3.4 คำสั่งรับค่ารัศมีจากการป้อนข้อมูลด้วยการพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
153
154   length = IntVar()
155   Label(text="Length (Cm)",padx=10,font=30).grid(row=6,column=0)
156   et5=Entry(width=10,textvariable=length,font=10)
157   et5.grid(row=6,column=1)
158
```

รูปที่ 3.5 คำสั่งรับข้อมูลความยาวจากการป้อนข้อมูลด้วยการพิมพ์

3.2.1.2 ทำการเขียนโปรแกรมสำหรับการเลือกรูปทรงและชนิดของอาหาร

```
10
11   choice = StringVar(value=" Kind of Food")
12   Label(text="Kind of Food ",padx=10,font=30).grid(row=2,column=0)
13   combo=ttk.Combobox(width=15,textvariable=choice)
14   combo["value"] = ("Apple","Avocado","Beef","Peach","Potato","Strawberry","Egg")
15   combo.grid(row=2,column=1)
16
```

รูปที่3.6 คำสั่งการเลือกชนิดของอาหาร

```
1   choice = StringVar(value=" Kind of Food")
2   Label(text="Kind of Food ",padx=10,font=30).grid(row=2,column=0)
3   combo=ttk.Combobox(width=15,textvariable=choice)
4   combo["value"] = ("Apple","Avocado","Beef","Peach","Potato","Strawberry","Egg")
5   combo.grid(row=2,column=1)
```

รูปที่ 3.7 คำสั่งการเลือกชนิดของตัวกลาง

```
22
23   cho2 = StringVar(value="Shape")
24   Label(text="Shape of Food ",padx=10,font=30).grid(row=3,column=2)
25   combo=ttk.Combobox(width=15,textvariable=cho2)
26   combo["value"] = ("Sphere","Cylinder","Square rod")
27   combo.grid(row=3,column=3)
```

รูปที่ 3.8 คำสั่งการเลือกรูปทรงของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
29    file = 'SpecificHeat.xlsx'
30    df = pd.read_excel(file, sheet_name=0)
31    df1 = pd.read_excel(file, sheet_name=1)
32    df2 = pd.read_excel(file, sheet_name=2)
33    df3 = pd.read_excel(file, sheet_name=3)
```

รูปที่ 3.9 คำสั่งสำหรับการเรียกใช้ค่าจาก Data bass

3.2.2 การแปลงค่า

3.2.2.1 ทำการเขียนโปรแกรมสำหรับการคำนวณ Nusselt number จากข้อมูลพารามิเตอร์ที่ได้ทำการจัดเก็บมา

```
175
176
177  c3=cho2.get()
178      if c3 == 'Sphere':
179          Nu = 2 + ((0.4*(Re**0.5)) + (0.06*(Re**(2/3))) * (Pr **0.4) * ((u1/u2)**0.25)
180
181      elif c3 == 'Cylinder':
182          Nu = 0.3+((0.60 * Re**0.5 * Pr**(2/3))/(1+(0.4/PR)**2/3)**0.25)* (1+(Re/282000)**5/8)**4/5
183
184      elif c3 == 'Square rod':
185          Nu = 0.037* Re**0.8 * Pr**1/3
186
187
```

รูปที่3.10 คำสั่งคำนวณหาค่า Nusselt number

โดยมีเงื่อนไขคือ ถ้ารูปทรงของอาหารเป็นทรงกลมจะใช้สมการที่(3) ในการคำนวณ, ทรงกระบอกจะใช้สมการที่(2) ในการคำนวณและทรงสี่เหลี่ยมจะใช้สมการที่(1) ในการคำนวณ

3.2.2.2 ทำการเขียนโปรแกรมสำหรับการคำนวณค่า h หรือ

```
176
177    h = Nu * k / l
178
179
```

รูปที่ 3.11 คำสั่งคำนวณหาค่า heat transfer coefficient

โดยคำนวณด้วยสมการที่(4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.3 ทำการเขียนโปรแกรมสำหรับการคำนวณการทำนายเวลาของกระบวนการแช่แข็งอาหาร

```
175
176
177    t = L/(Tf-Tm) * ((P*D/h) - (R*(D**2)/k)
178
179
180
```

รูปที่ 3.12 คำสั่งสำหรับการคำนวณหาเวลาในกระบวนการแช่แข็งอาหาร

โดยคำนวณด้วยการใช้สมการที่ (6) ในการคำนวณ

3.2.4 ทำการเขียนโปรแกรมสำหรับการแสดงผลการคำนวณออกมากในรูปแบบของหน้าต่างโปรแกรม

```
6
7   gui=Tk()
8   gui.geometry("700x400")
9   gui.title("Freezinf Time Fomula For Food")
10
```

รูปที่ 3.13 คำสั่งแสดงผลออกมาในรูปแบบหน้าต่างของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.5 ทำการเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมตั้งแต่ต้นจนแสดงค่าออกมาจานั้นทำการตรวจสอบความแม่นยำจากค่าที่ได้กับปัญหาที่ได้มีผลเฉลยที่ถูกและแม่นยำ

The analysis of the trade-off between a batch process or an in-line process is here applied to three different case studies: (1) sausages, (2) peas and (3) slices of pineapple. The selected products represent different foods in terms of composition, size and shape. For each sample, standard values of composition [11] were adopted and the shapes were approximated by elementary geometric objects, depending on the heat exchange surface: a cylinder for the sausage, a sphere for the pea and a flat plate for the slice of pineapple. Air was selected as medium fluid since its cheapness, large availability and low risk of contaminating foods. Composition and shape data of the selected foods are reported in Table 1.

รูปที่ 3.14 กรณีศึกษาการหาเวลาในการแช่แข็งอาหาร 3 ชนิด

จากรูปที่ 3.14 เป็นการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างกระบวนการแบบเป็นชุดหรือแบบอินไลน์ถูกนำไปใช้กับกรณีศึกษาที่แตกต่างกันสามกรณี: (1) ไส้กรอก (2) ถั่วลันเตา และ (3) ชิ้นสับปะรด ผลิตภัณฑ์ที่เลือกเป็นตัวแทนของอาหารที่แตกต่างกันในแง่ขององค์ประกอบ ขนาด และรูปร่าง สำหรับแต่ละตัวอย่างจะนำค่ามาตรฐานขององค์ประกอบ มาใช้และรูปร่างถูกประมาณโดยวัตถุทางเรขาคณิตเบื้องต้นขึ้นอยู่กับพื้นผิวการแลกเปลี่ยนความร้อน: ทรงกระบอกสำหรับไส้กรอกทรงกลมสำหรับถั่วและแผ่นแบนสำหรับชิ้นสับปะรด . อากาศได้รับเลือกให้เป็นของเหลวขนาดกลางเนื่องจากมีราคาถูกมีปริมาณมากและมีความเสี่ยงต่ำที่จะปนเปื้อนในอาหาร ข้อมูลองค์ประกอบและรูปร่างของอาหารที่เลือกแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารและข้อมูลทางเรขาคณิตที่โจทย์กำหนดมาให้

	Sausage	Pea	Pineapple
Moisture fraction content: x_{wa} [%]	51.08	78.86	86.50
Protein fraction content: x_{pr} [%]	14.25	5.42	0.39
Fat fraction content: x_{ft} [%]	31.33	0.40	0.43
Carbohydrate fraction content: x_{ca} [%]	0.65	14.46	12.39
Fiber fraction of carbohydrate: x_{fb} [%]	0.00	5.10	1.20
Other fraction content: x_{ot} [%]	2.70	0.86	0.29
Bound water fraction: x_{bw} [%]	$0.4 \cdot x_{pr}$	$0.4 \cdot x_{pr}$	$0.4 \cdot x_{pr}$
Initial temperature: T_1 [°C]	5	5	5
Initial freezing temperature: T_f [°C]	-1.7	-0.6	-1.0
Final temperature: T_2 [°C]	-18	-18	-18
Latent heat: L [kJ/kg]	171	263	289
Radius [cm]	1.25	0.3	5.5
Height [cm]	10	-	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

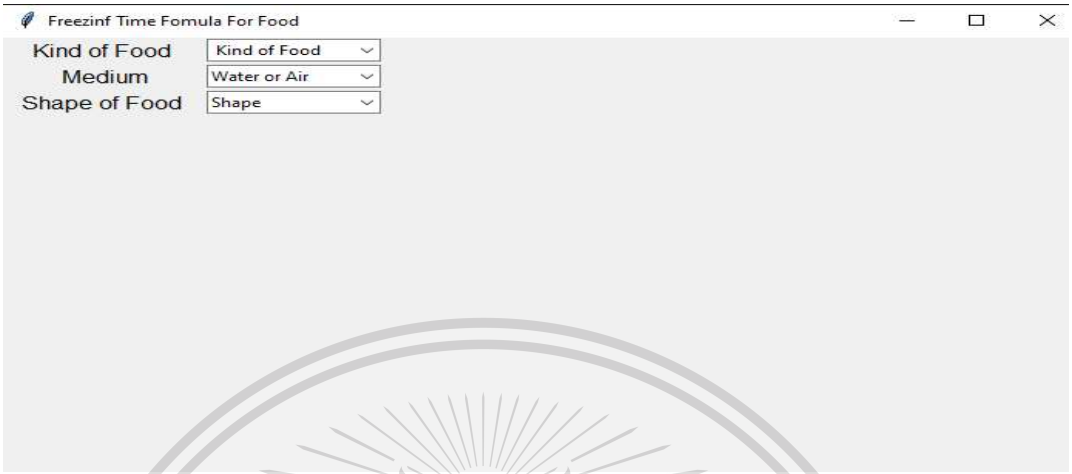
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองเกี่ยวกับการเก็บค่าตัว

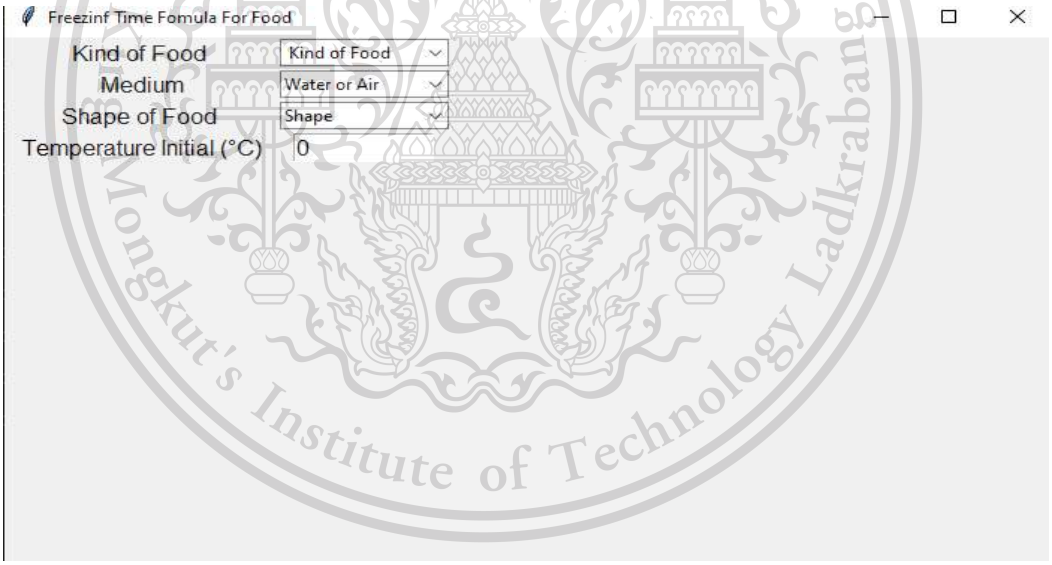
รูปที่ 4.1 หน้าต่างโปรแกรมแสดงชนิดของอาหาร

รูปที่ 4.2 หน้าต่างโปรแกรมแสดงชนิดของตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

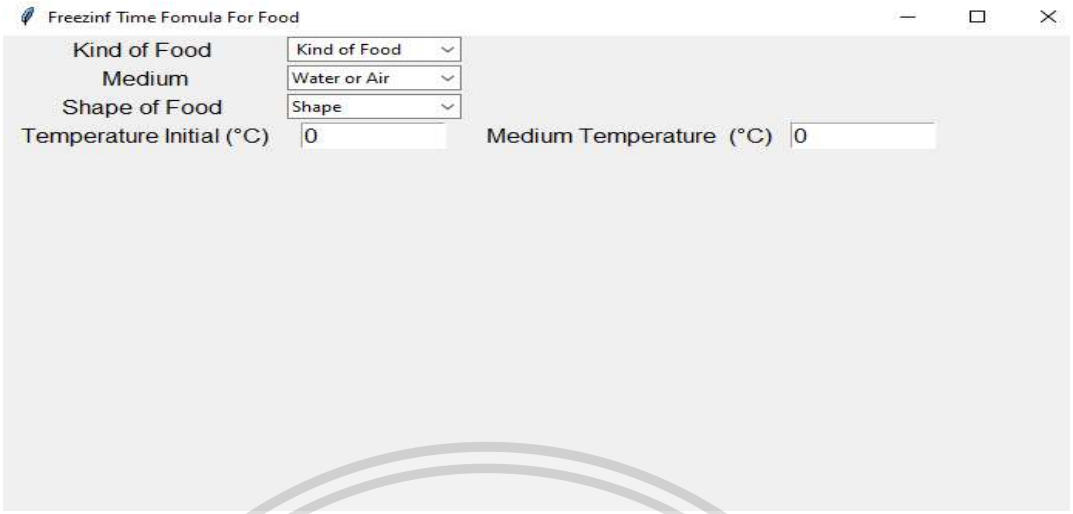


รูปที่ 4.3 หน้าต่างโปรแกรมแสดงชนิดรูทรงของอาหาร

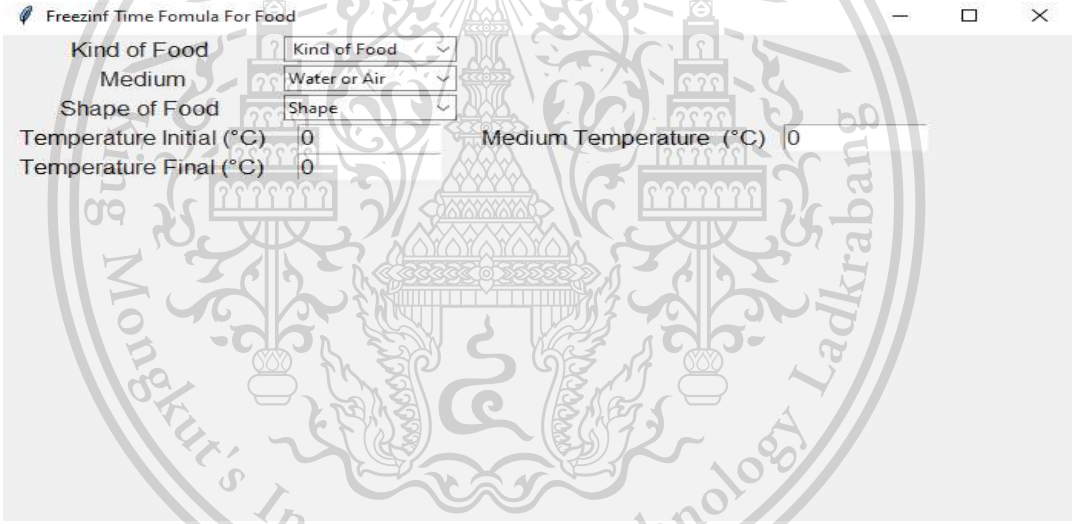


รูปที่ 4.4 หน้าต่างโปรแกรมแสดงช่องสำหรับป้อนข้อมูลของอุณหภูมิเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

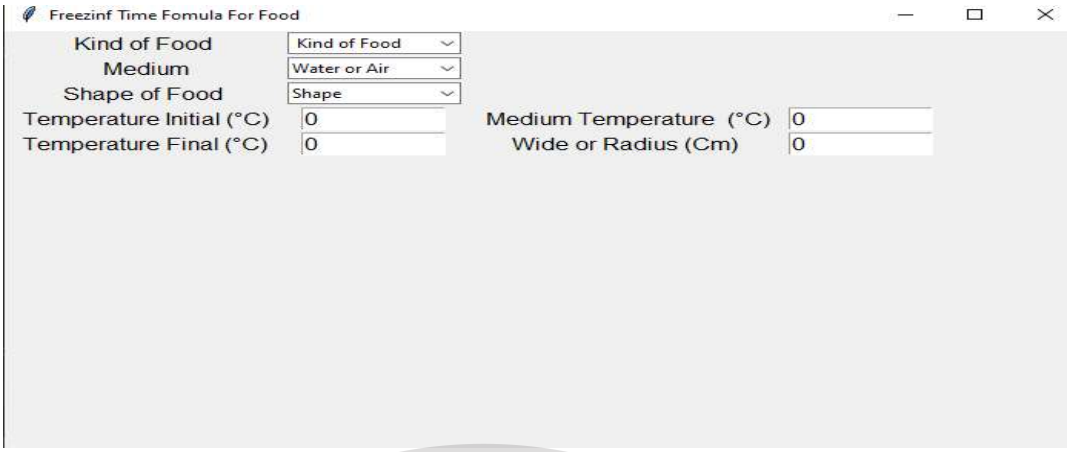


รูปที่ 4.5 หน้าต่างโปรแกรมแสดงช่องสำหรับการป้อนข้อมูลของอุณหภูมิตัวกลาง

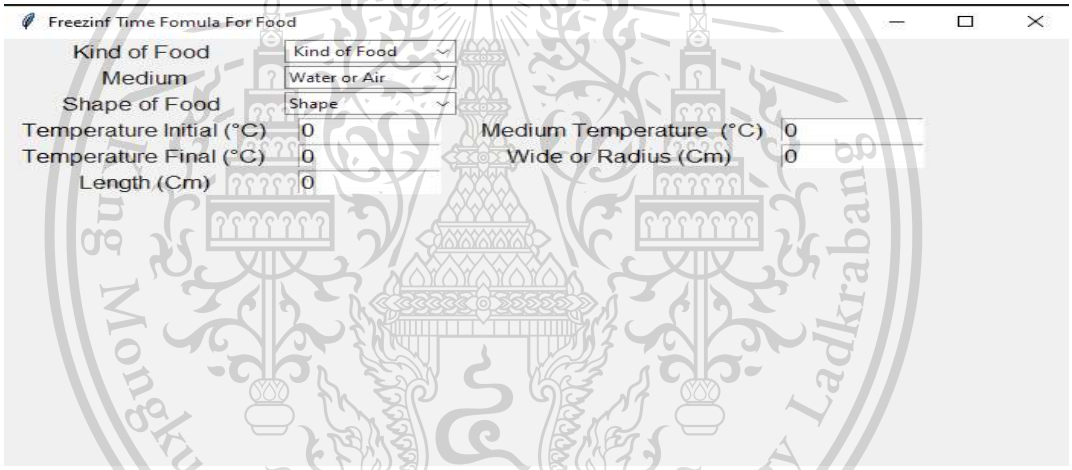


รูปที่ 4.6 หน้าต่างโปรแกรมแสดงช่องสำหรับป้อนข้อมูลของอุณหภูมิสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



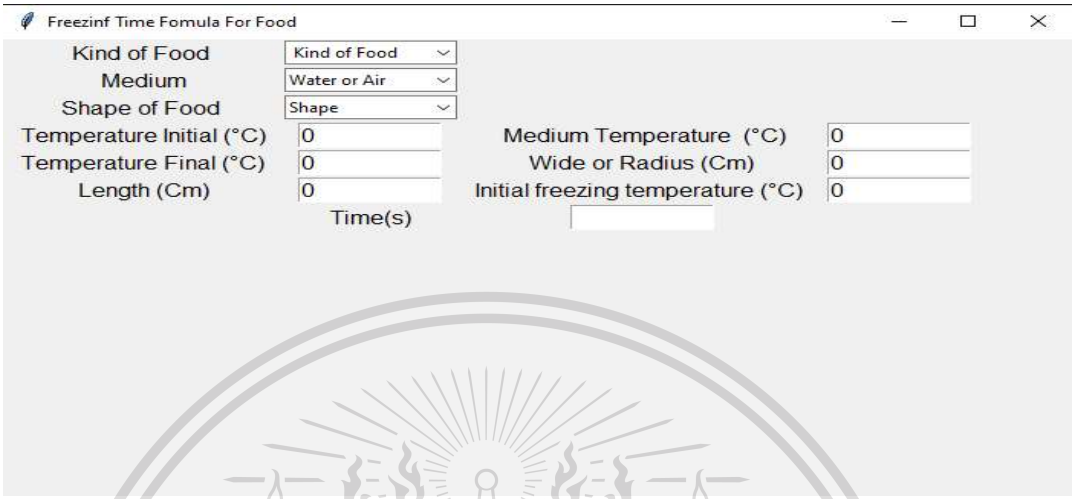
รูปที่ 4.7 หน้าต่างโปแกรมแสดงช่องสำหรับป้อนของมูลของรัศมี



รูปที่ 4.8 หน้าต่างโปแกรมแสดงช่องสำหรับป้อนข้อมูลของความยาว

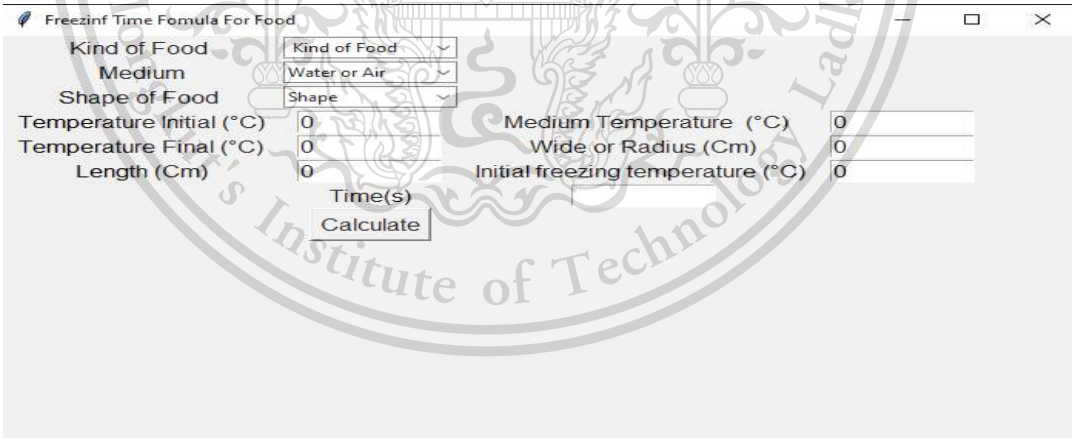
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 ผลการทดลองเกี่ยวกับการแสดงผล



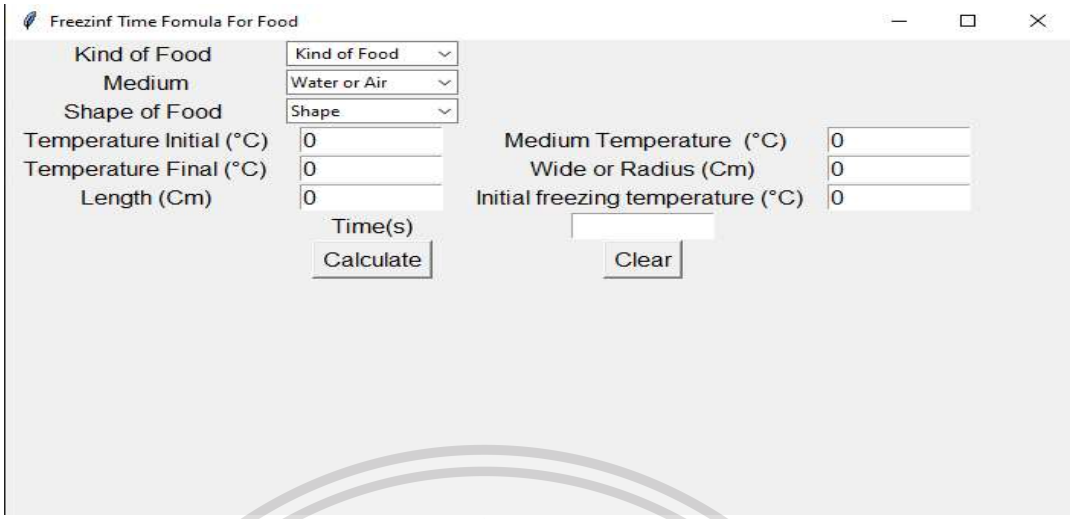
รูปที่ 4.9 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์ของการคำนวณ

4.3 ผลการทดลองเกี่ยวกับการแปลงค่าและการคำนวณสมการ



รูปที่ 4.10 หน้าต่างโปรแกรมแสดงปุ่มลัดสำหรับการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

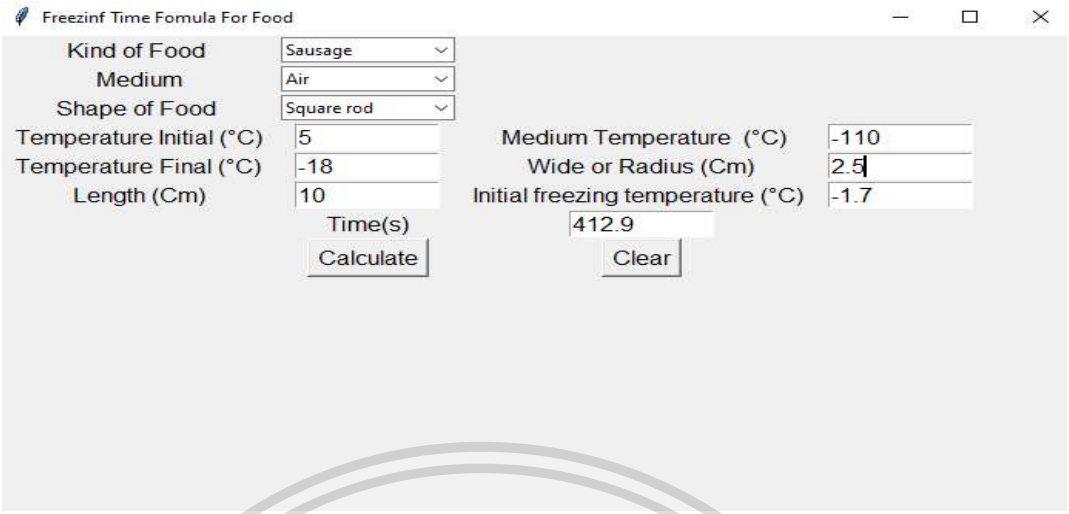


รูปที่ 4.11 หน้าต่างโปรแกรมแสดงปุ่มลัดสำหรับการล้างข้อมูล

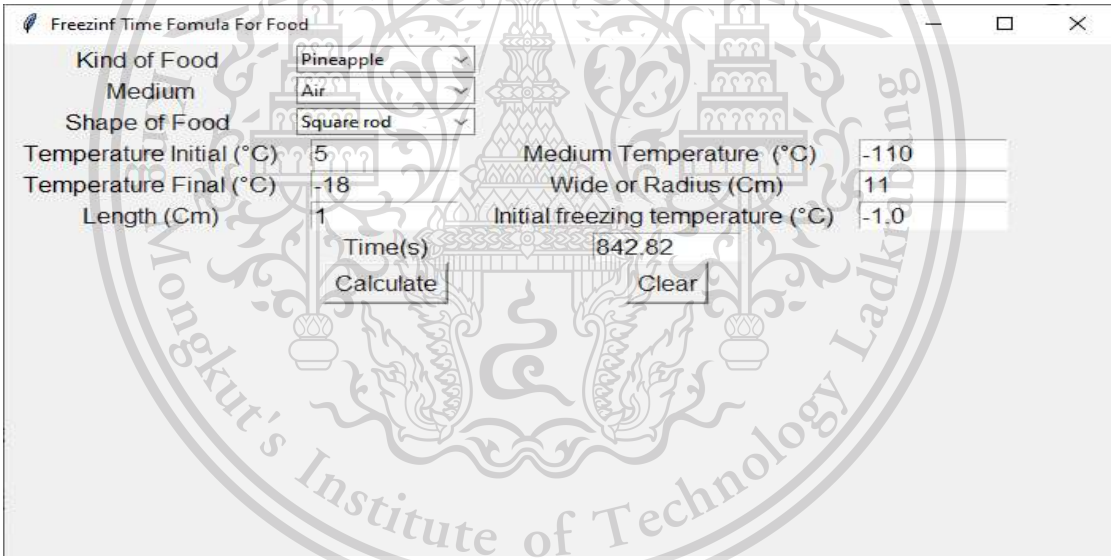
4.4 ผลการทดลองเกี่ยวกับการตรวจสอบโปรแกรม

จากกรณีศึกษาข้างต้น ระยะเวลาของการแช่แข็งภายใต้อุณหภูมิของตัวกลางคือ -110 °C และความเร็ว 0.4 m/s ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเย็นลงและแช่แข็ง จากอุณหภูมิเริ่มต้น เท่ากับ 5°C จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ -18°C ไส้กรอกใช้เวลา 420 วินาทีหรือคิดเป็น 7 นาที, สับปะรดใช้เวลา 840 วินาทีหรือคิดเป็น 14 นาที และเมล็ดถั่วใช้เวลา 42 วินาทีหรีคิดเป็น 0.7 นาที (Biglia, Alessandro, et al.,2016) โดยทำการคิดระยะเวลาของการแช่แข็งภายใต้อุณหภูมิตัวกลางเดียวกัน ความเร็วดียวกัน อุณห๓มิเริ่มต้นและสุดท้ายเหมือนกันด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น (จากรูปที่ 4.12)ไส้กรอกใช้เวลา 412.9 วินาทีหรือคิดเป็นเป็น 6.88 นาที ทำให้ผลลัพธ์ของโปรแกรมมีความคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ของกรณีศึกษาอยู่ที่ 1.714% (จากรูปที่ 4.13) สับปะรดใช้เวลา 842.82 วินาทีหรือคิดเป็น 14.047 นาที ทำให้ผลลัพธ์ของโปรแกรมมีความคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ของกรณีศึกษาอยู่ที่ 0.33% (จากรูปที่ 4.13) เมล็ดถั่วใช้เวลา 42.02 วินาทีหรือคิดเป็น 0.70 นาที ทำให้ผลลัพธ์ของโปรแกรมมีความคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ของกรณีศึกษาอยู่ที่ 0.05%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

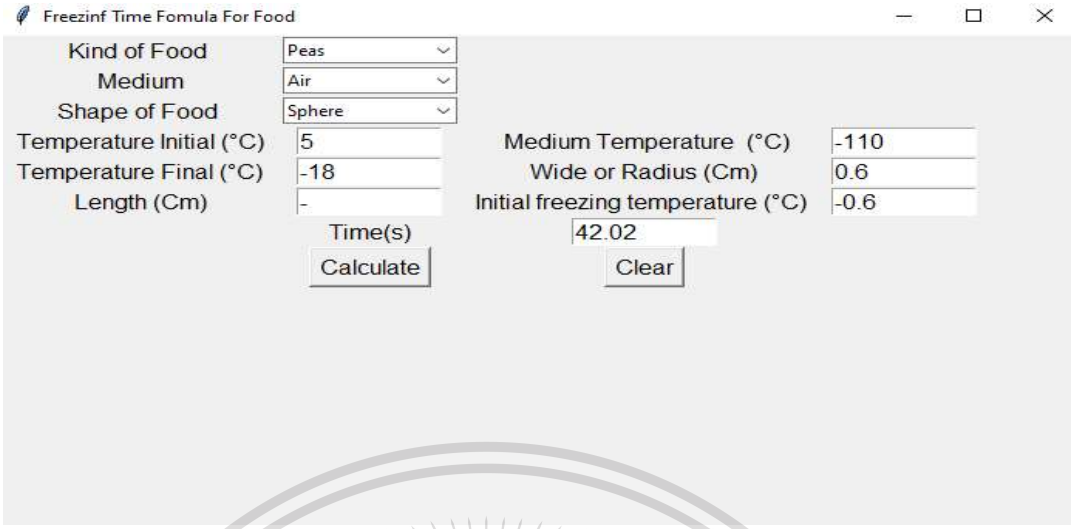


รูปที่ 4.12 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของไส้กรอกภายใต้อุณหภูมิของตัวกลาง -110 °C และความเร็ว 0.4 m/s



รูปที่ 4.13 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของสับปะรดภายใต้อุณหภูมิของตัวกลาง -110 °C และความเร็ว 0.4 m/s

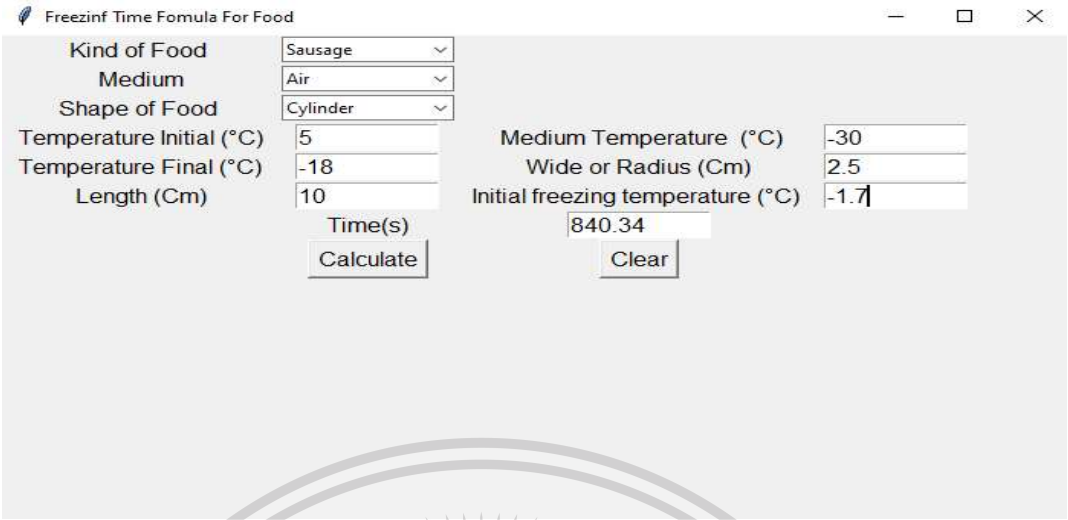
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



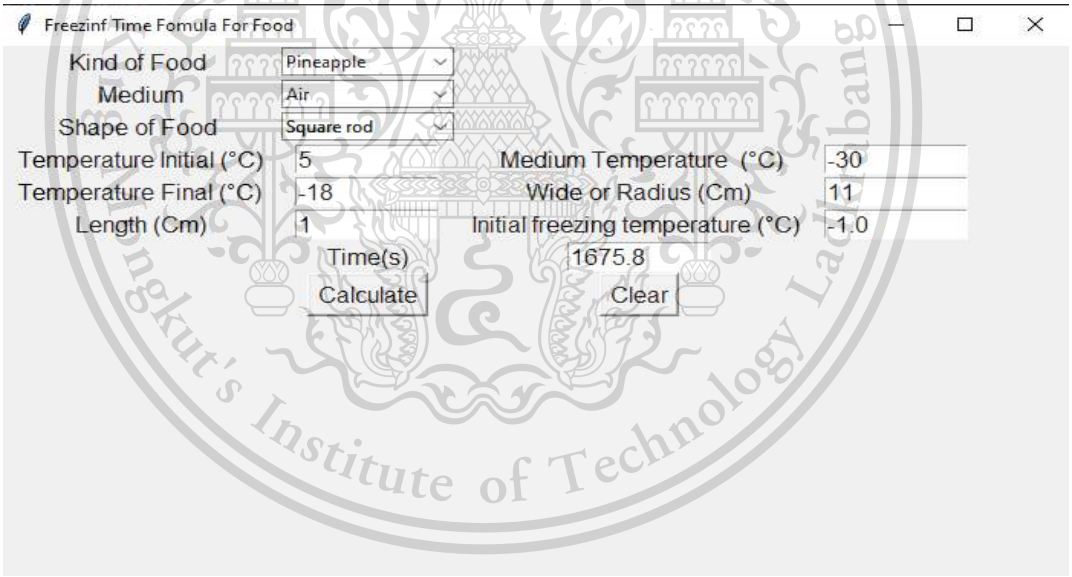
รูปที่ 4.14 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของเมล็ดถั่วภายใต้อุณหภูมิของตัวกลาง -110°C และความเร็ว 0.4 m/s

ในลักษณะเดียวกัน ระยะเวลาของการแช่แข็งภายใต้อุณหภูมิของตัวกลางเปลี่ยนเป็น -30 °C และความเร็ว 20 m/s ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเย็นลงและแช่แข็ง จากอุณหภูมิเริ่มต้น เท่ากับ 5°C จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ -18°C ไส้กรอกใช้เวลา 840 วินาทีหรือคิดเป็น 14 นาที, สับปะรดใช้เวลา 1680 วินาทีหรือคิดเป็น 28 นาที และเมล็ดถั่วใช้เวลา 90 วินาทีหรือคิดเป็น 1.5 นาที (Biglia, Alessandro, et al.,2016) โดยทำการคิดระยะเวลาของการแช่แข็งภายใต้อุณหภูมิตัวกลางเดียวกัน ความเร็วดียวกัน อุณห๓มิเริ่มต้นและสุดท้ายเหมือนกันด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น (จากรูปที่ 4.15)ไส้กรอกใช้เวลา 840.39 วินาทีหรือคิดเป็นเป็น 14.0065 นาที ทำให้ผลลัพธ์ของโปรแกรมมีความคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ของกรณีศึกษาอยู่ที่ 0.04% (จากรูปที่ 4.16) สับปะรดใช้เวลา 1675.8 วินาทีหรือคิดเป็น 27.93 นาที ทำให้ผลลัพธ์ของโปรแกรมมีความคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ของกรณีศึกษาอยู่ที่ 0.25 % (จากรูปที่ 4.17) เมล็ดถั่วใช้เวลา 75.81 วินาที หรือคิดเป็น 1.26 นาที ทำให้ผลลัพธ์ของโปรแกรมมีความคลาดเคลื่อนกับผลลัพธ์ของกรณีศึกษาอยู่ที่ 15.77 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

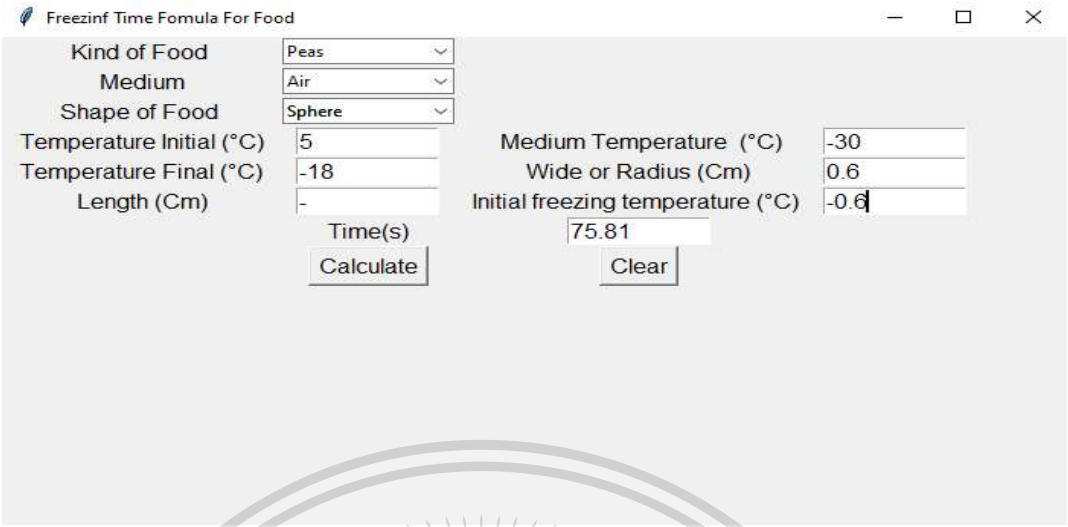


รูปที่ 4.15 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของไส้กรอกภายใต้อุณหภูมิของตัวกลาง -30°C และความเร็ว 20 m/s



รูปที่ 4.16 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของสับปะรดภายใต้อุณหภูมิของตัวกลาง -30°C และความเร็ว 20 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.17 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลลัพธ์การคำนวณของเมล็ดถั่วภายใต้อุณหภูมิของตัวกลาง -30°C และความเร็ว 20 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์ปริญญานิพนธ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการแช่แข็งผลิตภัณฑ์อาหารภายใต้ 2สภาวะ คืออุณหภูมิของตัวกลางที่ -110℃ และ -30℃ รวมไปถึงความเร็วที่ 0.4 m/s และ 20 m/s พบว่าภายใต้อุณหภูมิของตัวกลางมีค่าเท่ากัน ความเร็วท่ากัน แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งไม่เท่า โดยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่ อาทิเช่น ลักษณะรูปร่างของอาหาร ขนาดของอาหาร ค่าความร้อนต่างๆของอาหาร

และส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการทำนายเวลาที่ใช้ในการแช่แข็งผลิตภัณฑ์อาหารนั้น จากการทำการรันโปรแกรมและทดลองคำนวณพบว่ายังมีการคลาดเคลื่อนของเวลาโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนดังนี้ การแช่แข็งผลิตภัณฑ์ไส้กรอกคลาดเคลื่อน 1.714 % สับปะรด 0.33% และเมล็ดถั่ว 0.05% ที่อุณหภูมิตัวกลาง -110 °และที่อุณหภูมิตัวกลาง -30 °C การแช่แข็งผลิตภัณฑ์ไส้กรอกคลาดเคลื่อน 0.04 % สับปะรด 0.25% และเมล็ดถั่ว 15.77%

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างงาน

ปัญหาที่พบคือการระบาดของ Covid-19 ที่ทำให้ไม่สามารถไปมหาวิทยาลัยได้

5.3 แนวทางในการพัฒนา

งานวิจัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับทำนายอุณหภูมิในกระบวนการแช่แข็งผลิตภัณฑ์อาหารสมามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ โดยอาจจะเป็นการเพิ่มกระบวนการแปรรูปอาหารชนิดอื่นเข้าไปด้วยเพื่อเป้นการยกระดับตัวโปรแกรมให้สามารถทำงานได้หลายมากยิ่งขึ้น รวมถึงการตกตกแต่งหน้าต่างโปรแกรมให้มีความสวยงามต่อไปได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณนานุกรม

ASHRAE. Refrigeration ASHRAE Handbook. 2010; ISBN 978 1 933742 82 3.

Biglia, Alessandro, et al. "Performance assessment of a multi-energy system for a food industry." *Energy Procedia* 82 (2015): 540-545.

Brennan, J. G., et al. "Size reduction and screening of solids (Chapter 4)." Food Engineering Operations (1990): 121-122

Castro-Giráldez, Marta, et al. " Thermodynamic approach of meat freezing process." Innovative Food Science & Emerging Technologies 23 (2014): 138-145.

Choi, Y. O. M. R. "Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods." Transport phenomena (1986).

Fennema, Owen R., William D. Powrie, and Elmer H. Marth. Low-temperature preservation of foods and living matter. 1973.

Holman JP. Heat Transfer. 10th ed. New York: McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering; 2010.

Pham QT. An extension to Plank's equation for predicting freezing times for foodstuffs of simple shape. Int J Refrig 1984;7:377-83.

Pham QT. Freezing time formulas for foods with low moisture content, low freezing point and for cryogenic freezing. J Food Eng 2014;127:85-92.

Shewfelt, R. L., et al. "Applying quality concepts in frozen food development." Food technology (Chicago) 51.2 (1997): 56-59.

Weaver, W. Douglas, et al. "Myocardial Infarction Triage and Intervention Projectphase I: patient characteristics and feasibility of prehospital initiation of thrombolytic therapy." Journal of the American College of Cardiology 15.5 (1990): 925-931.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.