รหัสโครงการ [SUT7-703-46-12-39]

รายงานการวิจัย

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักสดและผักสดแปรรูปเล็กน้อย

(Computer Programming for the Designing of Modified Atmosphere Packaging for Fresh or Minimally Processed Vegetables)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ [SUT7-703-46-12-39]

รายงานการวิจัย

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักสดและผักสดแปรรูปเล็กน้อย

(Computer Programming for the Designing of Modified Atmosphere Packaging for Fresh or Minimally Processed Vegetables)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2546

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน 2553

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

หัวหน้าโครงการวิจัยขอขอบคุณ นายนพนิตย์ จรัสสินวิชัย ผู้ช่วยวิจัยที่มีส่วนร่วมสำคัญในการทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในการสนับสนุนงบประมาณเพื่อโครงการวิจัยนี้

บทคัดย่อภาษาไทย

รายงานวิจัยเรื่องการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักสดและผักสดแปรรูปเล็กน้อยกล่าวถึงการประยุกต์ทฤษฎีการคำนวณค่าอัตราการหายใจของพืชผล ทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อน ร่วมกับทฤษฎีการซึมผ่านของแก๊สในแผ่นฟิล์มเพื่อพัฒนาเป็นซอฟท์แวร์ “MAP DESIGN” ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สด และใช้ทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศโดยอาศัยหลักการการคำนวณเชิงตัวเลข รายงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงหลักการการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาซอฟท์แวร์ ลักษณะปรากฏและขอบเขตของการประยุกต์ใช้งานซอฟท์แวร์ “MAP DESIGN” นอกจากนี้ในรายงานวิจัยฉบับนี้ยังครอบคลุมการทดสอบความถูกต้องและความสามารถของซอฟท์แวร์ “MAP DESIGN” เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

The research report entitled “Computer Programming for the Designing of Modified Atmosphere Packaging for Fresh or Minimally Processed Vegetables” revealed how to apply the theory of fresh plant respiration rate, heat transfer, and gas permeation through film for the development of “MAP DESIGN” software which is used for the designing of modified atmosphere packaging for fresh or minimally processed vegetables and to predict the product shelf life. In detail, this report mentioned the principle of computer programming applied in the software development process, the appearance and features of “MAP DESIGN” software. Besides that the report covered a software validation processes and capabilities of “MAP DESIGN” in order for the industrial sector to have a view of the beneficial of “MAP DESIGN” software.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ ……..	ก
บทคัดย่อภาษาไทย ……..……	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ……..……..	ค
สารบัญ ……..	ง
สารบัญตาราง …….	จ
สารบัญภาพ ……	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย ……..…….	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย ……..……..	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย ……..……..…….	3
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น ……...……..…….	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย ……..……..…….	3
1.6 ทบทวนวรรณกรรม……	3
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย ……..……..……..	3
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 หลักการที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบ……. บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักสดและผักสดแปรรูปเล็กน้อย	1
2.2 วิธีการประดิษฐ์……..	3
บทที่ 3 ผลการวิจัย	
3.1 ซอฟท์แวร์ MAP DESIGN ……..……..	1
3.2 ผลการทดสอบการทำงานของ ซอฟท์แวร์ MAP DESIGN……	10
3.3 บทสรุป……..	21
บทที่ 4 บทสรุปโครงการวิจัย	
สรุปผลการวิจัย ……..……..	1
บรรณานุกรม ……	1
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก Partial Source Code ของโปรแกรม M.A.P. Design……	1
ประวัติผู้วิจัย …….	1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1. ผลของมิติของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อความเข้มข้นของแก๊ส ณ สภาวะสมดุลของบรอคคลอรี 16
ในถุง Orega® bag โดยใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบจลนศาสตร์เอนไซม์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 3.1 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม M.A.P. Design 2

รูปที่ 3.2 ภาพแสดงหน้าต่างเลือกชนิดฟิล์มของโปรแกรม M.A.P. Design 2

รูปที่ 3.3 หน้าต่างกำหนดค่าตัวแปรชนิดฟิล์มเองโดยผู้ใช้งานของโปรแกรม M.A.P. Design 3

รูปที่ 3.4 หน้าต่างเลือกชนิดพืชของโปรแกรม M.A.P. Design 3

รูปที่ 3.5 หน้าต่างกำหนดชนิดพืชเองโดยผู้ใช้งานของโปรแกรม M.A.P. Design 4

รูปที่ 3.6 หน้าต่างกำหนดค่าตัวแปรพืชเองโดยผู้ใช้งานตามทฤษฎี Transition State Model ของ 4
โปรแกรม M.A.P. Design

รูปที่ 3.7 หน้าต่างกำหนดค่าตัวแปรพืชเองโดยผู้ใช้งานตามทฤษฎี Enzyme Kinetic Model ของ
5
โปรแกรม M.A.P. Design

รูปที่ 3.8 หน้าต่างกำหนดค่าตัวแปรพืชเองโดยผู้ใช้งานตามทฤษฎี Respiration Rate Constant Model
5
ของโปรแกรม M.A.P. Design

รูปที่ 3.9 หน้าต่างกำหนดค่าการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม M.A.P.Design
6

รูปที่ 3.10 หน้าต่างกำหนดค่าการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม
M.A.P.Design6
(ต่อ)

รูปที่ 3.11 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ของการประมวลผลการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศของ
7
โปรแกรม M.A.P. Design

รูปที่ 3.12 ผลลัพธ์ของการประมวลผลค่าการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของแก๊สที่มีในบรรจุภัณฑ์7
ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม M.A.P. Design ในรูปของตารางข้อมูล (Microsoft Access File)

รูปที่ 3.13 ผลลัพธ์ของการประมวลผลค่าการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของแก๊สที่มีในบรรจุภัณฑ์8
ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม M.A.P. Design ในรูปของแผนภาพ

รูปที่ 3.14 ผลลัพธ์ของการประมวลผลค่าการเปลี่ยนแปลงระดับความชื้นที่มีในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่ง 8
บรรยากาศของโปรแกรม M.A.P. Design ในรูปของตารางข้อมูล (Microsoft Access File)

รูปที่ 3.15 ผลลัพธ์ของการประมวลผลค่าการเปลี่ยนแปลงระดับความชื้นที่มีในบรรจุภัณฑ์ 9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม M.A.P. Design ในรูปของแผนภาพ
รูปที่ 3.16 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส O_2 และ CO_2 ภายในถุง Orega® บรรจุบรอคคลอรี 14
โดยซอฟท์แวร์ “MAP DESIGN” โดยใช้แบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์
รูปที่ 3.17 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส O_2 และ CO_2 ภายในถุง Orega® บรรจุบรอคคลอรี 14
โดยซอฟท์แวร์ “MAP DESIGN” โดยใช้แบบสมการ transition state

หน้า

รูปที่ 3.18 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ในการเก็บรักษา
18
บลูเบอร์รี 200 g ในถุง LDPE+10% starch, size: 0.0005 m^3 and 0.069 m^2 โดยใช้แบบ
สมการอัตราการหายใจแบบ transition state
รูปที่ 3.19 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ในการเก็บรักษา
19
บลูเบอร์รี 200 g ในถุง LDPE+10% starch, size: 0.0005 m^3 and 0.069 m^2 โดยใช้แบบ
สมการอัตราการหายใจแบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์
รูปที่ 3.20 ผลของความหนาของแผ่นฟิล์มที่มีต่อการทำนายค่าความเข้มข้นของแก๊ส O_2 and CO_2 ณ
20
สภาวะสมดุลโดยใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบจลนศาสตร์ของเอนไซม์ (E-model)
กับ transition state (T-model)
รูปที่ 3.21 ผลของขนาดถุงที่มีต่อการทำนายค่าความเข้มข้นของแก๊ส O_2 and CO_2 ณ สภาวะสมดุล
21
โดยใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบจลนศาสตร์ของเอนไซม์ (E-model) กับ transition
state (T-model)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพฤติกรรมการซื้อสินค้าประเภทผักสดเพื่อการบริโภคจากซูปเปอร์มาร์เก็ต และความต้องการในปริมาณที่เพิ่มขึ้นของสินค้าในลักษณะผักสดที่ผ่านกระบวนการคัดล้างหรือแม้ กระทั่งแปรรูปจนอยู่ในสภาพพร้อมบริโภค (precut or minimally processed vegetables) ของภาค อุตสาหกรรม เช่น ภัตตราคาร ร้านอาหาร โรงพยาบาล และผู้บริโภครายย่อย เป็นต้น ก่อให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงรูปแบบการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เพื่อการขนส่ง ปัญหาที่สำคัญระหว่างการขนส่งคือ การเน่าเสียง่ายอันเนื่องมาจากลักษณะธรรมชาติทางชีวภาพของพืช บรรจุภัณฑ์ที่ดีสำหรับตลาดที่ว่านี้
ต้องมีคุณสมบัติที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาพร้อมๆกันกับการรักษาคุณภาพความสดสะอาด และมีอัตราความเสี่ยงต่อ การติดเชื้อ และการเจริญเติบโตของเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ต่ำ ปัจจุบันนี้บรรจุภัณฑ์ที่ เรียกว่า modified atmosphere packaging (MAP)" กำลังได้รับความนิยมใช้ในการผลิตเพื่อจำหน่ายของผักและผลไม้สด หลักการของ MAP คือการรักษาความสดของผักโดยการชะลออัตราการหายใจของผักสดด้วยการควบคุมสมดุลของแก๊ส O_2 และ CO_2 ที่มีอยู่ในภาชนะบรรจุควบคู่ไปกับการเก็บ ผลิตภัณฑ์ที่ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับพืชผลชนิดนั้นๆ การชะลออัตราการหายใจเป็นการลด metabolic rate ของ การใช้ substrates จำพวก แป้ง น้ำตาล กรดอินทรีย์ และ ไขมัน ที่มีอยู่ใน plant tissue จึงส่งผลให้ผักสด สามารถคงความสด เช่น ความหวาน และ ความกรอบได้ยาวนานขึ้นนั่นเอง (Zagory, 1995)

เนื่องจากว่าการหายใจของผักและผลไม้สดมีการใช้ แก๊ส O_2 และคาย CO_2 ยังมี ไอน้ำ และความร้อนเกิดขึ้น โดยทั่วไปอัตราการหายใจของพืชเพิ่มขึ้นประมาณสองถึงสามเท่าสำหรับการเพิ่มของอุณหภูมิทุกๆ 10 ˚C และที่ความเข้มข้นของ O_2 ต่ำกว่า 10% ผักและผลไม้ส่วนใหญ่จะมีอัตราการหายใจที่ลดลง การควบคุมสมดุลของแก๊สเพื่อชะลออัตราการหายใจ (ลดความเข้มข้นของO_2 และเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2) ทำได้โดยใช้คุณสมบัติการแพร่ผ่านได้ของแก๊สสู่แผ่นฟิลม์ที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ ลักษณะเฉพาะของ MAP ที่ทำให้เหมาะที่จะใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผักสดก็เพราะว่าการที่ระบบนั้นเป็นแบบ dynamics or active packaging ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ประเภท MAP คือ อัตราการหายใจของพืชผลอุณหภูมิที่เหมาะสมระหว่างการขนส่งและเก็บรักษา และวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ การทำนายอัตราการหายใจที่ขึ้นกับอุณหภูมิ และอัตราส่วนความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ให้ใกล้เคียงกับสภาพสิ่งแวดล้อมจริงนั้นถือเป็นเรื่องท้าทาย ซึ่งส่งผลโดยตรงว่าบรรจุภัณฑ์สามารถทeขึ้นได้หรือไม่ นับเป็นระยะเวลามากกว่าสามทศวรรษที่ได้มีการทำวิจัยเพื่อพัฒนาสมการทาง คณิตศาสตร์เพื่อใช้

ทำนายอัตราการหายใจของพืชผล เริ่มจากการทำ respiration model โดยอาศัย หลักการอย่างง่าย (Jurin and Karel, 1963; Hayakawa, et al., 1975) อาศัย Michaelis-Mentel type equation (Lee et al., 1991,) และล่าสุดโดยใช้ transition state theory (Makino et al., 1996; Makino et al., 1997) สืบเนื่องมาจากผลงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุพอลิเมอร์ที่ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วทำให้มี flexible packaging materials ประเภทพอลิเมอร์หลากหลายชนิดที่มีคุณสมบัติเหมาะที่จะทำเป็น MAP เช่น microporous membrane (biaxially oriented film ที่ทำจาก propylene homopolymer) ceramic-filled film และ biodegradable laminated film (ทำจาก chitosan-cellulose และ polycaprolactone) เป็นต้น (Yam and Lee, 1995; Makino and Hirata, 1997) การคัดเลือกวัสดุพอลิเมอร์จะขึ้นกับค่าการแพร่ผ่านได้ของแก๊ส O_2 และ CO_2 สู่แผ่นฟิลม์ร่วมกับความหนาของแผ่นฟิลม์ และพื้นที่ผิวของบรรจุภัณฑ์นั้นโดยต้องมีค่าที่สามารถรักษาสมดุลของปริมาณ O_2 และ CO_2 อยู่ในช่วงที่ต้องการใช้เพื่อชะลออัตราการหายใจ

ความหลากหลายของทั้งสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายอัตราการหายใจ และวัสดุพอลิเมอร์นี้มีผลดีในแง่งานออกแบบบรรจุภัณฑ์ซึ่งมีความหยืดหยุ่นในการเลือกระบบบรรจุภัณฑ์ให้มีต้นทุนที่เหมาะสม แต่ปัญหาของการออกแบบนั้นอยู่ที่ความจำเป็นที่จะต้องทำการทดลองจริงเพื่อพิสูจน์ผลสัมฤทธิ์ของบรรจุภัณฑ์เพราะว่าสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายอัตราการหายใจที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดนั้น ยังไม่มีสมการใดที่ได้รับการพิสูจน์กันอย่างแพร่หลายว่าเหมาะสมกับพืชผลทุกชนิด แต่ทั้งนี้ก็มีความเหมาะสมเพียงพอที่จะใช้เป็นเครื่องกำหนดขอบเขตของการทดลองจริงได้ดีขึ้น ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือยังไม่มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์เชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่จะใช้ลดระยะเวลาในส่วนของการออกแบบ งานวิจัยชิ้นนี้จึงให้ความสำคัญกับการพัฒนาโปรแกรม ที่จะเป็นเครื่องมือในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ต้นแบบให้มีความสามารถที่จะใช้ในกำหนดขนาดของ บรรจุภัณฑ์ให้ได้อายุการเก็บรักษาที่ต้องการโดยการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่ต้องการจากฐานข้อมูล และโปรแกรมนี้สามารถที่จะคำนวณ ค่าการแพร่ผ่านของแก๊ส O_2 และ CO_2 สู่แผ่นฟิลม์ที่วัสดุนั้นควรมีเพื่อนำไปสู่การพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์หรือ composite material ชนิดใหม่ในกรณีที่ไม่มีวัสดุที่เหมาะสมอยู่เลย นอกจากนี้งานสำคัญส่วนหนึ่งของโครงงานนี้เป็นการปรับปรุงพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายอัตราการหายใจของผักสด และคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของแก๊สที่มีอยู่ในระบบ MAP และให้ข้อสรุปถึงขีดจำกัด ของแบบทำนายที่กล่าวมาข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับออกแบบ modified atmosphere packaging สำหรับผักสดและผักสดแปรรูป
2. เพื่อใช้เป็นสื่อการสอน และงานบริการชุมชน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เน้นการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักสด และผักสดแปรรูป และกระบวนการวิจัยยังนำไปสู่การพัฒนาแบบสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายอัตราการหายใจของผักสด

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

ไม่มี

1.5 ทบทวนวรรณกรรม

การนำหลักการเกี่ยวกับ modified atmosphere packaging มาใช้สำหรับสินค้าจำพวกผักและผลไม้สดได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด การประยุกต์ใช้ MAP นั้นค่อยๆมีความซับซ้อนและมีการใช้ในผลิตผลและผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภทมากหยิ่งขึ้น ในยุคปลายทศวรรษที่ 80 MAP มีข้อจำกัดอันเนื่องมาจากวัสดุพอลิเมอร์ที่เป็นวัสดุหลักของงานบรรจุภัณฑ์ประเภท MAP รูปแบบของสินค้าจำพวกผักและผลไม้สดที่วางจำหน่ายจึงค่อนข้างมีอยู่ในวงจำกัดของผักสดที่ไม่ได้แปรรูปเท่านั้น ความพยายามในการทำนายอายุการเก็บรักษาผักสดที่บรรจุอยู่ใน MAP ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของอัตราการหายใจ ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์ และแบบบรรจุภัณฑ์ร่วมกันกับการเก็บผลการทดลองจริงก่อให้เกิดความรู้ถึงปัญหาและข้อจำกัดในเรื่องของวัสดุที่มีอยู่ ณ ขณะนั้น ความสำเร็จนี้เองจึงนำไปสู่การพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ชนิดที่มีคุณสมัตตรงกับความต้องการของตลาดมากขึ้น และการพัฒนาของเทคโนโลยีอื่นที่เกี่ยวข้องกับงานบรรจุภัณฑ์กันอย่างกว้างขวางในช่วงทศวรรษที่ 90 (Yam and Lee, 1995, Zagory, 1995, Day, 1993, Powrie and Skura, 1991) ผลงานวิจัยเชิงประยุกต์เพื่ออุตสาหกรรมเกษตรจึงมีกระจายอยู่ให้เห็นจำนวนมากในหลายประเทศ (Silva et al., 1999, Sanz et al., 1999, Talasila et al., 1995) โดยที่แก่นของตัวเทคโนโลยียังคงมาจากญี่ปุ่น และอเมริกา (Makino et al., 1997 (a), (b), Makino et al., 1996, Fishman et al., 1996, Cameron et al., 1995, Fishman et al., 1995, Lee et al., 1991)

การสำรวจฐานข้อมูลเหล่านี้พบว่าแก่นของตัวเทคโนโลยีที่ประเทศไทยน่าจะมีศักยภาพทำได้คือ การพัฒนาแบบสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการออกแบบ MAP ขึ้นมาใช้เอง สาเหตุจูงใจให้ผู้เขียนมุ่งประเด็นที่การพัฒนางานชิ้นนี้เพราะว่าการกระจัดกระจายของข้อมูลที่จำเป็นต่องานออกแบบบรรจุภัณฑ์ และปราศจากโปรแกรมช่วยคำนวณออกแบบ MAP ในประเทศซึ่งน่าจะมีความสำคัญทั้งต่อธุรกิจภายในประเทศและการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมเกษตร

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เป็นพื้นฐานในการวิจัยต่อไป
2. บริการความรู้แก่ประชาชน

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ สถาบันการศึกษา ชุมชน และภาคธุรกิจ

บทที่ 2
วิธีดำเนินการวิจัย

ปัจจุบันนี้มีการขยายตัวของการผลิตและจำหน่ายสินค้าจำพวกผักและผลไม้สดทั้งเพื่อการค้าในประเทศ และการส่งออก แต่การดำเนินการดังกล่าวประสบกับปัญหาสำคัญคืออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างสั้นทำให้ผู้ผลิตและจำหน่ายมีความต้องการยืดอายุการเก็บรักษาหรือการรักษาคุณภาพสินค้าให้คงตัวตลอดช่วงเวลาจำหน่าย ในกรณีนี้สามารถกระทำได้โดยอาศัยการใช้ระบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ (modified atmosphere packaging system) ที่ออกแบบให้เหมาะสมกับพืชผลแต่ละชนิดซึ่งงานออกแบบอาศัยวิธีการคำนวณที่มีความซับซ้อน ทั้งนี้ปัจจุบันยังไม่มีซอฟท์แวร์เชิงพาณิชย์ที่ใช้คำนวณการออกแบบบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวที่มีความถูกต้องสูงและมีความหลากหลายในการตอบปัญหาด้านการออกแบบอย่างแท้จริงให้กับสินค้าจำพวกผักและผลไม้สด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาซอฟท์แวร์คำนวณเพื่อใช้ออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศและทำนายอายุการเก็บรักษาสำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ (MAP DESIGN SOFTWARE) ขึ้นเพื่อรองรับกับความต้องการใช้งานของอุตสาหกรรมการผลิตและจำหน่ายผักและผลไม้สด นอกจากนี้ตัวซอฟท์แวร์ยังมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสื่อการสอนหรือฝึกอบรมเทคนิคการออกแบบระบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศที่มีประสิทธิภาพสูงได้ด้วย

2.1 หลักการที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักสดและผักสดแปรรูปเล็กน้อย

ซอฟท์แวร์ MAP DESIGN นี้ประกอบไปด้วยโปรแกรมคำนวณเพื่อใช้ออกแบบขนาดที่เหมาะสมสำหรับบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สด และทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ ซึ่งสร้างขึ้นโดยอาศัยทฤษฎีการคำนวณค่าอัตราการหายใจของพืชผลที่ขึ้นกับปัจจัยระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ปัจจัยด้านการดูดซับโมเลกุลของแก๊สบนเซลพืช และปัจจัยด้านความร้อนซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีจลนศาสตร์ของเอนไซม์ (enzyme kinetic theory) ทฤษฎีการดูดซับแก๊ส (gas adsorption theory) และทฤษฎีอิทธิพลของค่าความร้อน (heat dependence theory) ร่วมกับทฤษฎีการซึมผ่านของแก๊สในแผ่นฟิล์มที่ทำจากพอลิเมอร์ทั้งที่มาจากปิโตรเคมิคอลและที่มาจากวัสดุย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (gas permeation through film theory) และทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อน (heat transfer theory)

แบบสมการคณิตศาสตร์

แบบสมการอัตราการหายใจของพืช

1. แบบสมการ Transition State

มาคิโนะ และคณะได้พัฒนาแบบสมการคำนวณอัตราการหายใจของผักและผลไม้สดที่ขึ้นกับอุณหภูมิโดยใช้ทฤษฎี transition state (Makino et al.,1997) คณะนักวิจัยนี้ได้เสนอแบบสมการทำนายอัตราการใช้ออกซิเจนซึ่งได้พิสูจน์ให้เห็นว่าใช้ทำนายได้ดีกับผักและผลไม้สดหลายชนิดได้แก่ บรอคคอลี เชอรี เป็นต้น (Makino et al., 1996, 1997(a), 1997(b)) ดังความสัมพันธ์ที่ปรากฏต่อไปนี้

$$R_{O_2} = \frac{abp_{O_2}}{1 + ap_{O_2} + aip_{O_2}p_{CO_2}} \qquad (2.1)$$

เมื่อ a, i =ตัวแปรอัตรา [Pa^{-1}], b =จำนวนโมลสูงสุดของการใช้ O_2 [$mol.kg^{-1}.s^{-1}$], p_{O_2}, p_{CO_2} = ความดันไอย่อยของ O_2 และ CO_2 ปรากฏโดยรอบผักและผลไม้สด [Pa] ตัวแปร a, b และ i เป็นค่าจำเพาะขึ้นกับชนิดของพืชผลและได้มาจากการทดลองตรวจวัดอัตราการหายใจดังกรรมวิธีการหาตามที่รายงานโดยคณะนักวิจัยนี้

ส่วนอัตราการสร้าง CO_2 ประมาณโดยอาศัยค่าอัตราส่วนอัตราการหายใจ (respiration quotient) ดังสมการ

$$R_{CO_2} = RQ \times R_{O_2} \qquad (2.2)$$

2. แบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์

แบบสมการอัตราการหายใจอธิบายได้โดยอาศัยทฤษฎีจลนศาสตร์ของเอนไซม์หรือที่รู้จักกันในชื่อแบบสมการ Michaelis-Menten อัตราการใช้ O_2 และอัตราการสร้าง CO_2 ทำนายได้เป็นอิสระจากกันโดยความสัมพันธ์ขึ้นกับความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 and O_2 ดังสมการ (Song et al., 2002)

$$R_{O_2} = \frac{V_{m1}[O_2]_i}{K_{m1} + [O_2]_i + \{[O_2]_i[CO_2]_i\}/K_{i1}} \qquad (2.3)$$

$$R_{CO_2} = \frac{V_{m2}[O_2]_i}{K_{m2} + [O_2]_i + \{[O_2]_i[CO_2]_i\}/K_{i2}} \qquad (2.4)$$

เมื่อให้ V_{m1} =สัมประสิทธิ์ O_2 สำหรับอัตราการใช้ O_2, K_{m1} =% O_2 สำหรับอัตราการใช้ O_2 และ K_{i1} =%CO_2 สำหรับอัตราการใช้ O_2, V_{m2}= สัมประสิทธิ์ CO_2 สำหรับอัตราการสร้าง CO_2, K_{m2}=% O_2 สำหรับอัตราการสร้าง CO_2 และ K_{i2} =%CO_2 อัตราการสร้าง CO_2 ค่าตัวแปรทุกตัวที่ปรากฏในสมการ (2.3) และ (2.4) เป็นค่าคงที่ ณ อุณหภูมิคงที่ค่าใดค่าหนึ่งและขึ้นกับชนิดของพืชผลซึ่งได้มาจากการตรวจวิเคราะห์อัตราการหายใจโดยอาศัยหลักการหาค่าตัวแปรไม่ทราบค่าแบบไม่เชิงเส้น

แบบสมการเพื่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์

แบบสมการเพื่อหาอัตราการถ่ายโอนแก๊ส

บรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักและผลไม้สดเป็นวิธีการที่ควบคุมปริมาณเหมาะสมของแก๊ส O_2 และ CO_2 ร่วมกับการรักษาระดับอุณหภูมิเก็บรักษาที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สด อายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นได้เนื่องมาจากการชะลออัตราการเสื่อมถอยของคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผักและผลไม้สดอันเป็นผลมาจากการลดอัตราการหายใจลง (Yam et al., 1995 และ Fonseca et al., 2002) โดยทั่วไปการตั้งค่าสภาวะเหมาะสมเป็นไปตามหลักการหรือแนวทางที่จะทำให้อัตราการหายใจลดลงหรือเพื่อลดกิจกรรมทางชีวภาพ การควบคุมอัตราส่วนของแก๊ส O_2 และ CO_2 ในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศให้เหมาะสมหรือการควบคุมอัตราการถ่ายโอนแก๊สทั้งสองระหว่างภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์ทำได้โดยอาศัยคุณสมบัติการซึมของแก๊สผ่านวัสดุบรรจุภัณฑ์และสภาวะอากาศภายนอก แบบสมการอนุพันธ์ที่ใช้ทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนโมลของแก๊ส O_2 และ CO_2 ในบรรจุภัณฑ์ทำนายได้จากสมการ (2.5) และ (2.6) ดังนี้

$$\frac{dn_{O_2}}{dt} = \frac{P_{O_2} A\left(p_{O_2,out} - p_{O_2,in}\right)}{L} - R_{O_2} M \qquad (2.5)$$

$$\frac{dn_{CO_2}}{dt} = R_{CO_2} M - \frac{P_{CO_2} A\left(p_{CO_2,in} - p_{CO_2,out}\right)}{L} \qquad (2.6)$$

เมื่อให้ n_{O_2} =จำนวนโมลของ O_2, n_{CO_2} =จำนวนโมลของ CO_2, P_{O_2} =ค่าสัมประสิทธิ์การซึมของแก๊ส O_2 ผ่านแผ่นฟิล์ม, P_{CO_2} = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมของแก๊ส O_2 ผ่านแผ่นฟิล์ม, p_{O_2} =ความดันไอย่อยของ O_2, p_{CO_2} = ความดันไอย่อยของ CO_2, A = พื้นที่ผิวของบรรจุภัณฑ์, M = มวลผลิตภัณฑ์, L = ความหนาของแผ่นฟิล์ม และ t = เวลาเก็บรักษา

แบบสมการสมดุลพลังงาน

แบบสมการสมดุลพลังงานที่ใช้ในซอฟท์แวร์ “MAP DESIGN” พัฒนาขึ้นตามหลักการอนุรักษ์พลังงานโดยคำนึงถึงปริมาณความร้อนที่ผลิตโดยผักและผลไม้สดและพลังงานจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบบรรจุภัณฑ์ แบบสมการสมดุลพลังงานมีความสำคัญมากเนื่องจากแบบสมการดังกล่าวมีผลกระทบโดยตรงต่อความถูกต้องของระดับอุณหภูมิซึ่งมีผลกระทบต่อเนื่องถึงการทำนายค่าอัตราคุณสมบัติการซึมของแก๊สผ่านแผ่นฟิล์ม และการทำนายอัตราการสร้าง O_2 และใช้ CO_2 ในที่สุด

2.2 วิธีการประดิษฐ์

สถาปัตยกรรมของการออกแบบซอฟท์แวร์เป็นแบบ object oriented programming ที่กระชับและง่ายต่อการใช้งานจึงเป็นมิตรต่อผู้ใช้ อีกทั้งโปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นบนภาษา Visual C#.net ซึ่งจัดว่ามีความสามารถในการรองรับการพัฒนาอัลกอริทึมทางการคำนวณระบบสมการคณิตศาสตร์ที่เป็นสากลตามลักษณะพื้นฐานของภาษา C อันเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคำนวณทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ระดับสูง ดังนั้นโปรแกรมนี้จึงถือได้ว่าพัฒนาขึ้นเพื่อให้รับกับการขยายตัวอย่างรวดเร็วของภาษาโปรแกรมที่ทันสมัยที่สุดภาษาหนึ่งจึงสะดวกต่อการนำไปพัฒนาต่อเนื่องหรือพัฒนาเชื่อมโยงเข้ากับโปรแกรมอื่นๆ

ซอฟท์แวร์ MAP DESIGN ได้ถูกออกแบบและพัฒนาเป็นซอฟท์แวร์เดี่ยวที่สามารถทำงานได้อิสระโดยไม่ต้องอาศัยโปรแกรม Visual C#.net หรือซอฟท์แวร์อื่นร่วมด้วยนอกเหนือจากระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows และ Microsoft office เท่านั้น

บทที่ 3
ผลการวิจัย

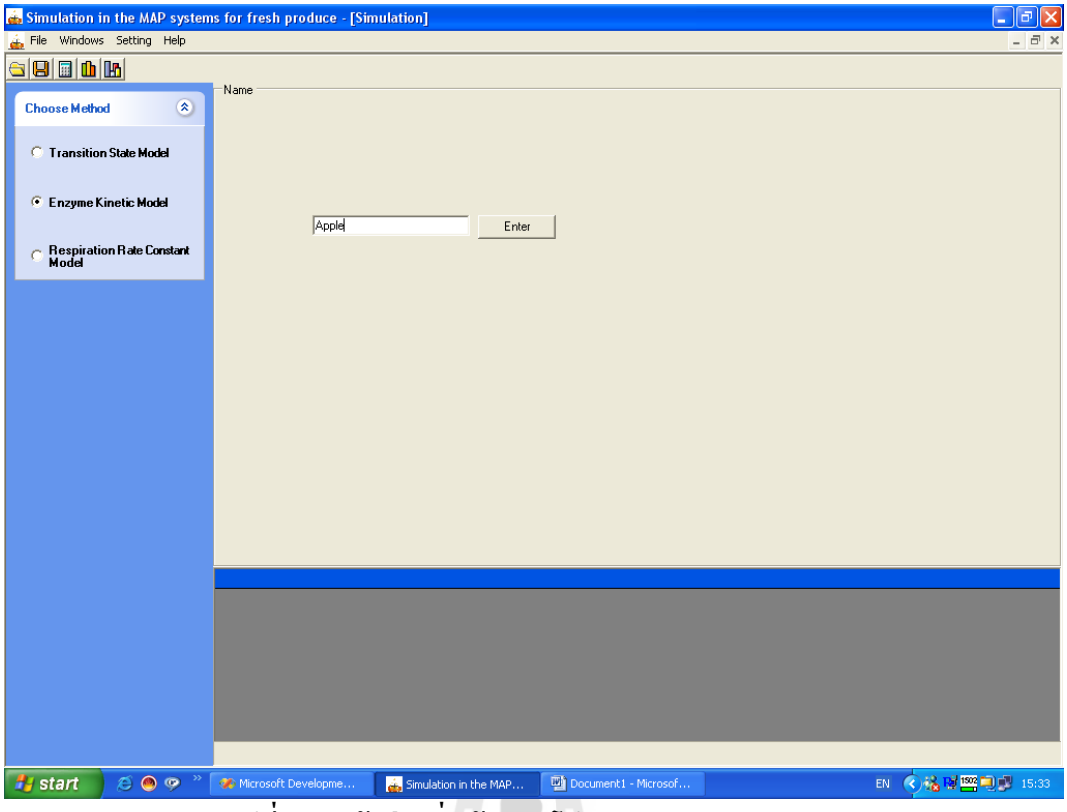
เนื้อหาในบทนี้รายงานถึงผลการวิจัยครอบคลุมเรื่องของซอฟท์แวร์ MAP DESIGN ที่พัฒนาขึ้น และผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำนายของซอฟท์แวร์ โดยแสดงผลความถูกต้องของการทำนายค่าของซอฟท์แวร์ผ่านกรณีศึกษาของสองตัวอย่าง พร้อมทั้งกล่าวถึงขอบเขตและตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของซอฟท์แวร์ MAP DESIGN

3.1. ซอฟท์แวร์ MAP DESIGN

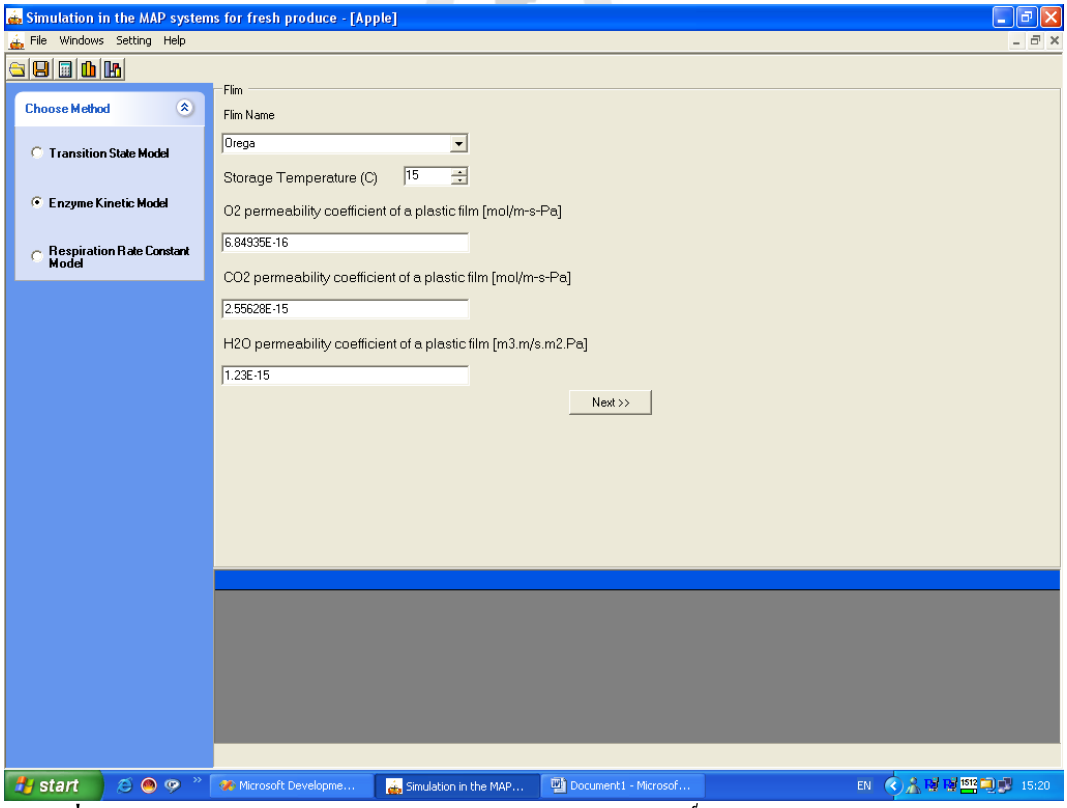
เนื่องด้วยซอฟท์แวร์ MAP DESIGN ที่พัฒนาขึ้นภายใต้โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและพัฒนาจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และนักวิจัยได้มอบสิทธ์ดังกล่าวให้มหาวิทยาลัยจดลิขสิทธ์กับกรมทรัพย์สินทางปัญญาตามคำขอแจ้งข้อมูลเลขที่ 121623 ภายใต้ชื่อผลงาน “โปรแกรมคำนวณเพื่อใช้ออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศและทำนายอายุการเก็บรักษาสำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้” เมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2547 ดังนั้นนักวิจัยจึงไม่สามารถเปิดเผยคอมพิวเตอร์โค้ดดังกล่าวข้างต้นได้ทั้งหมดจึงขอแสดงข้อมูลบางส่วนของคอมพิวเตอร์โค้ดที่ปรากฏในซอฟท์แวร์ MAP DESIGN ไว้ในภาคผนวก 1

ซอฟท์แวร์ MAP DESIGN ที่พัฒนาขึ้นเพื่อออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ และทำนาย อายุการเก็บรักษาสำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ภายใต้โครงการวิจัยนี้มีลักษณะหน้าต่างรับข้อมูลปรากฏดังรูปที่ 3.1-3.15

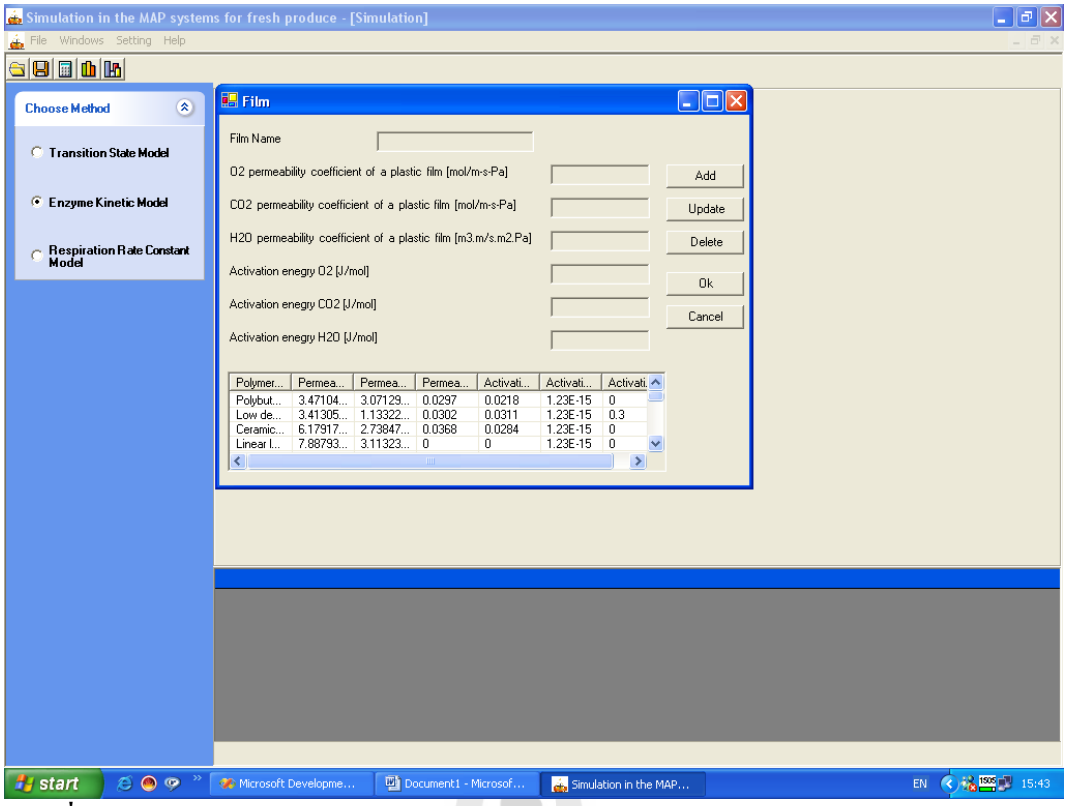
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



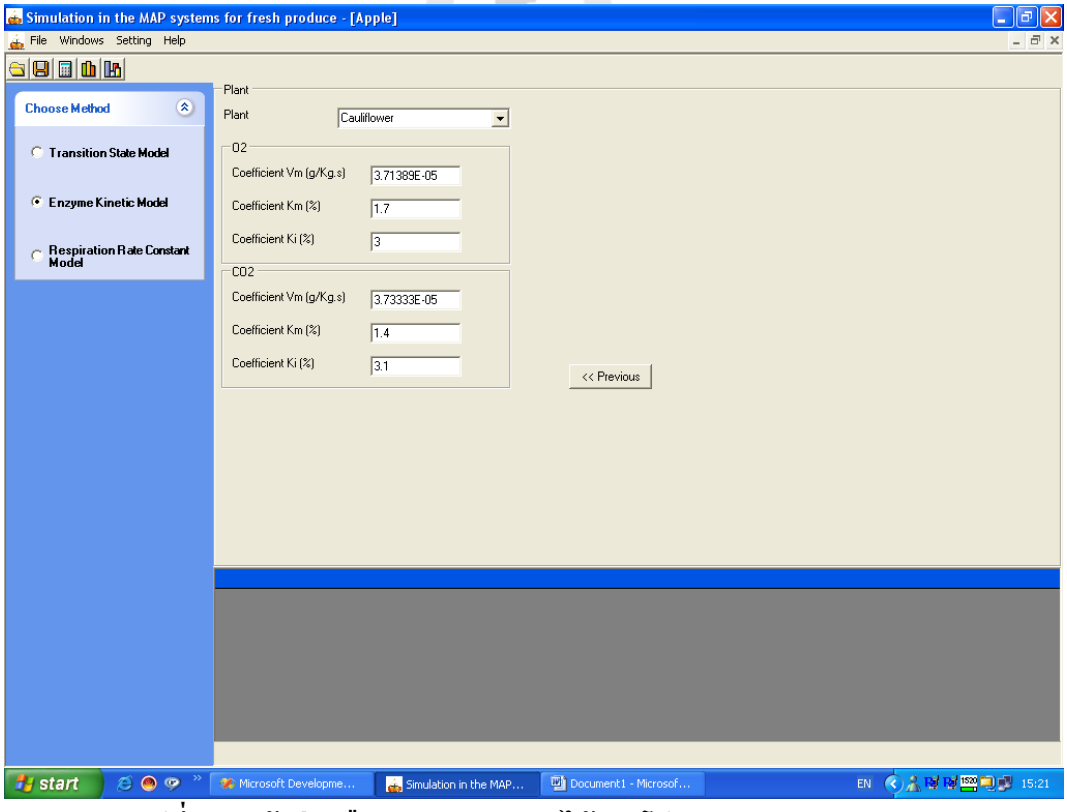
รูปที่ 3.1 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม M.A.P. Design



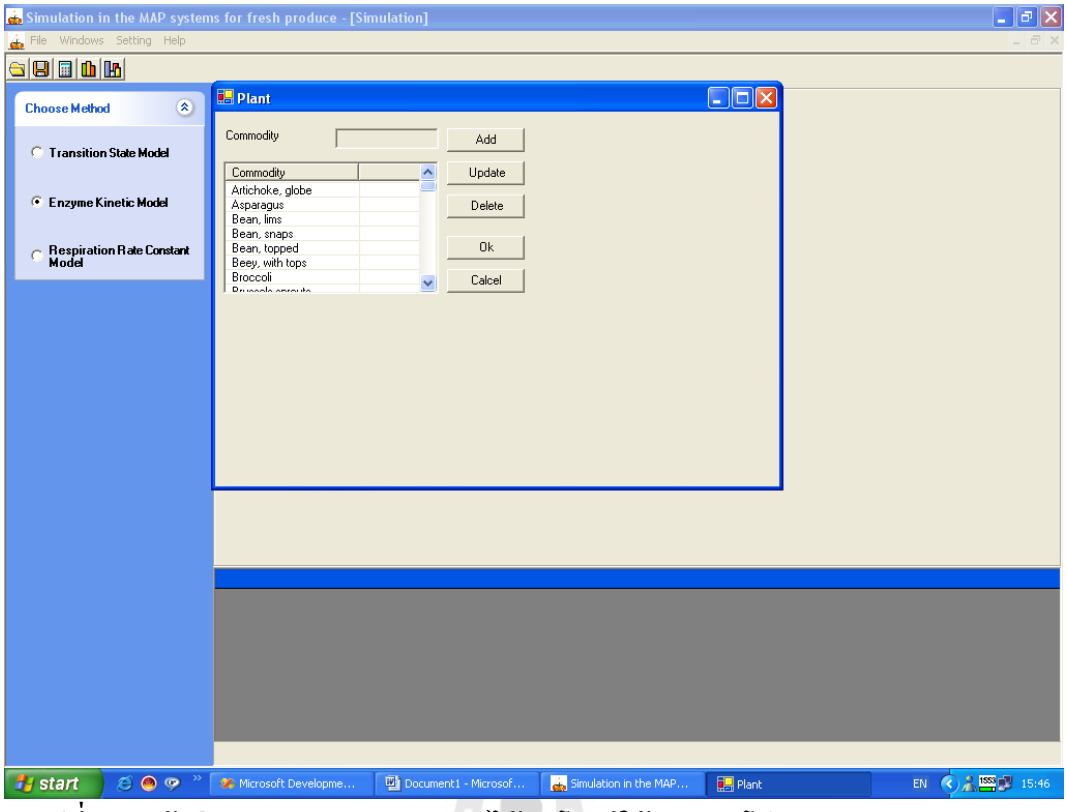
รูปที่ 3.2 หน้าต่างเลือกชนิดฟิล์มและกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การซึมของแก๊สผ่านแผ่นฟิล์ม



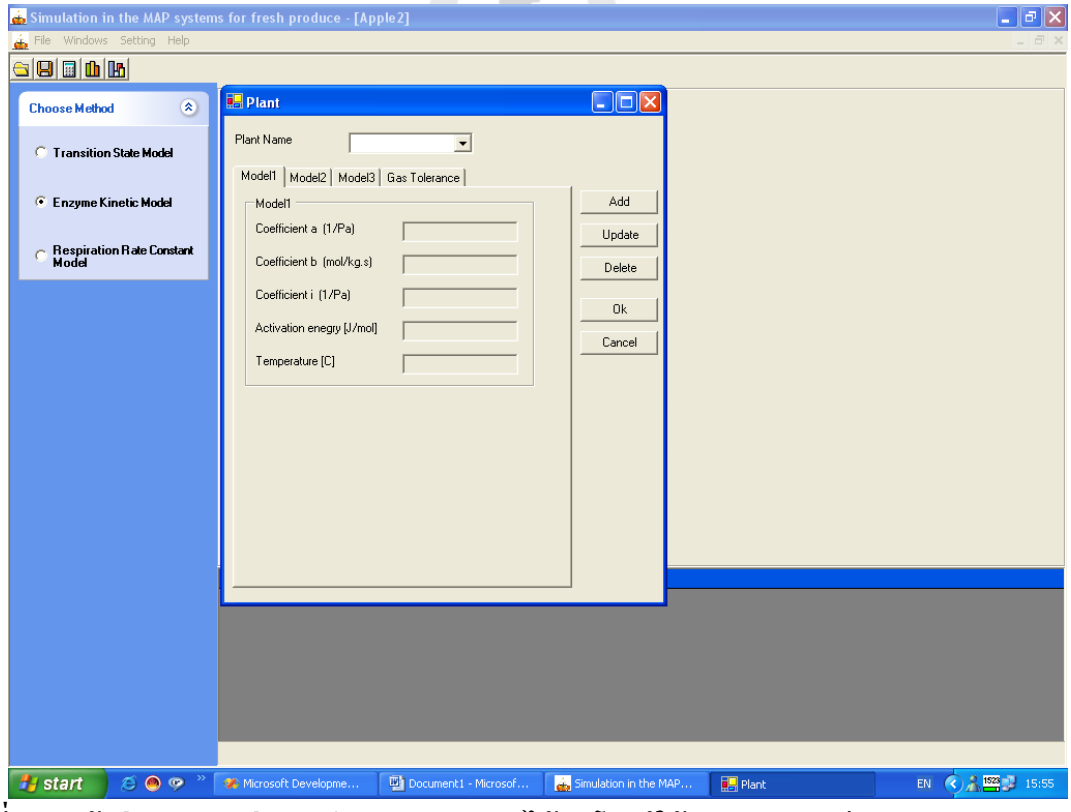
รูปที่ 3.3 หน้าต่างกำหนดค่าตัวแปรชนิดฟิล์มเองโดยผู้ใช้งานของโปรแกรม M.A.P. Design



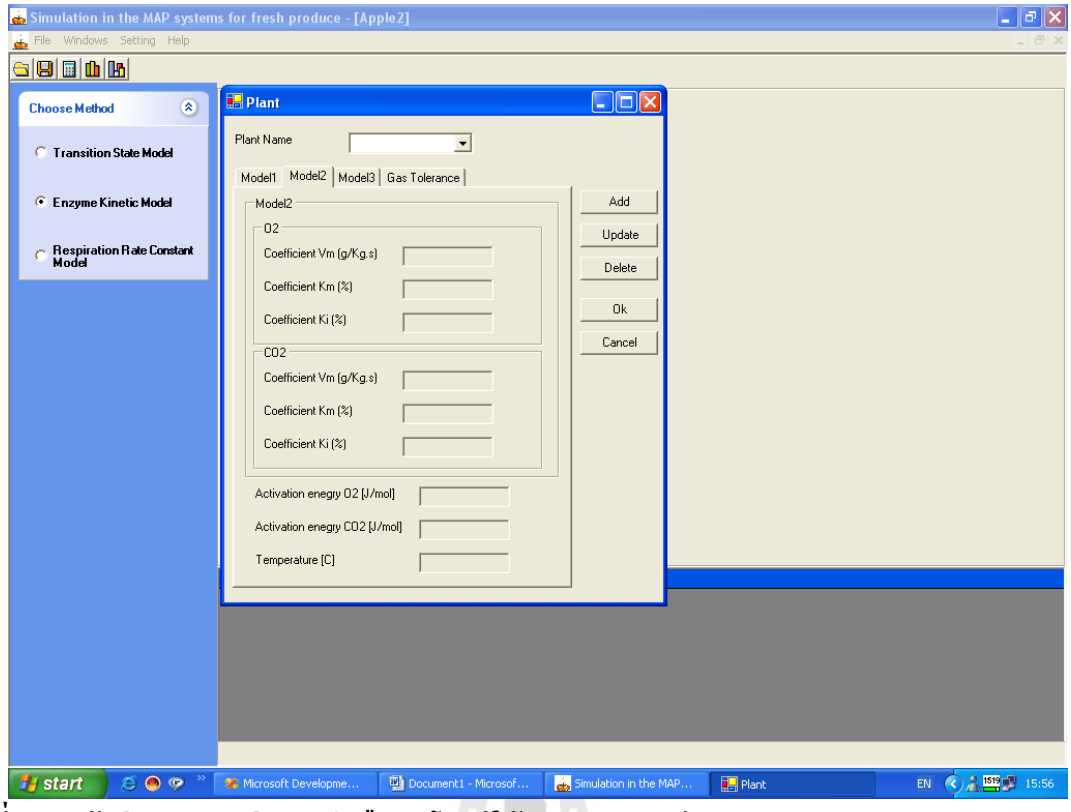
รูปที่ 3.4 หน้าต่างเลือกชนิดผักและผลไม้ของโปรแกรม M.A.P. Design



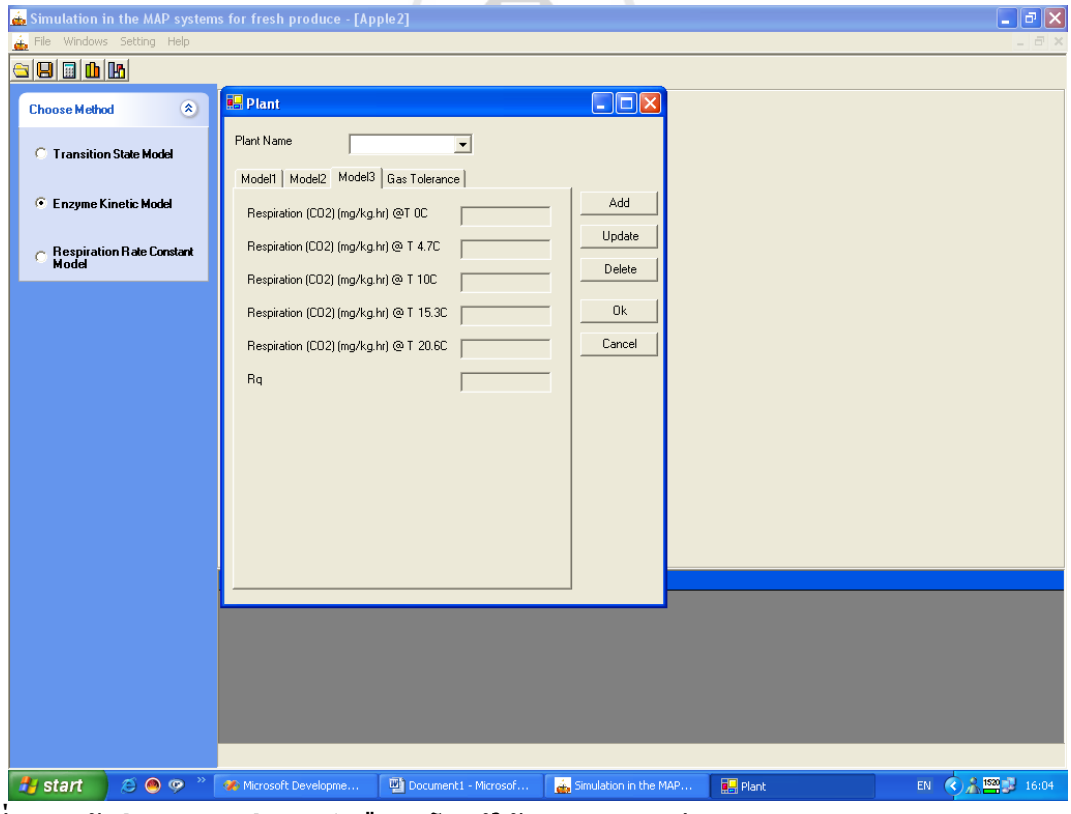
รูปที่ 3.5 หน้าต่างกำหนดชนิดผักและผลไม้เองโดยผู้ใช้งานของโปรแกรม M.A.P. Design



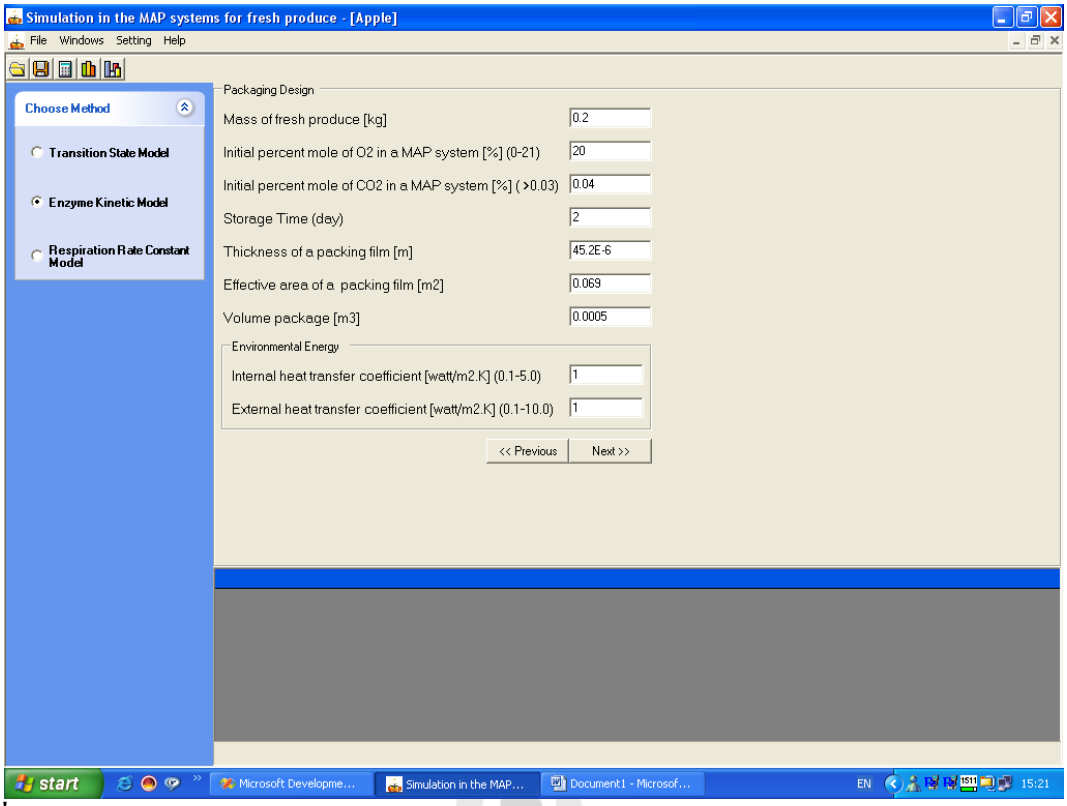
รูปที่ 3.6 หน้าต่างกำหนดค่าตัวแปรชนิดผักและผลไม้เองโดยผู้ใช้งานตามทฤษฎี Transition State Model ของโปรแกรม M.A.P. Design



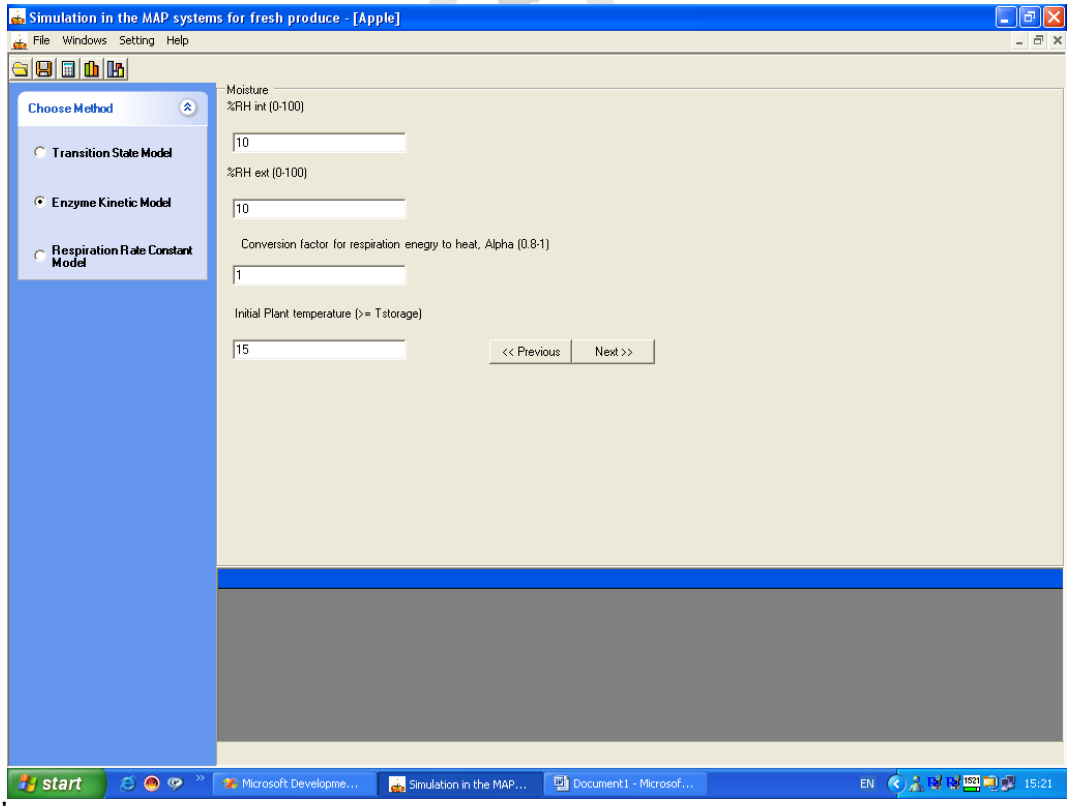
รูปที่ 3.7 หน้าต่างกำหนดค่าตัวแปรพืชเองโดยผู้ใช้งานตามทฤษฎี Enzyme Kinetic Model ของโปรแกรม M.A.P. Design



รูปที่ 3.8 หน้าต่างกำหนดค่าตัวแปรพืชเองโดยผู้ใช้งานตามทฤษฎี Respiration Rate Constant Model ของโปรแกรม M.A.P. Design

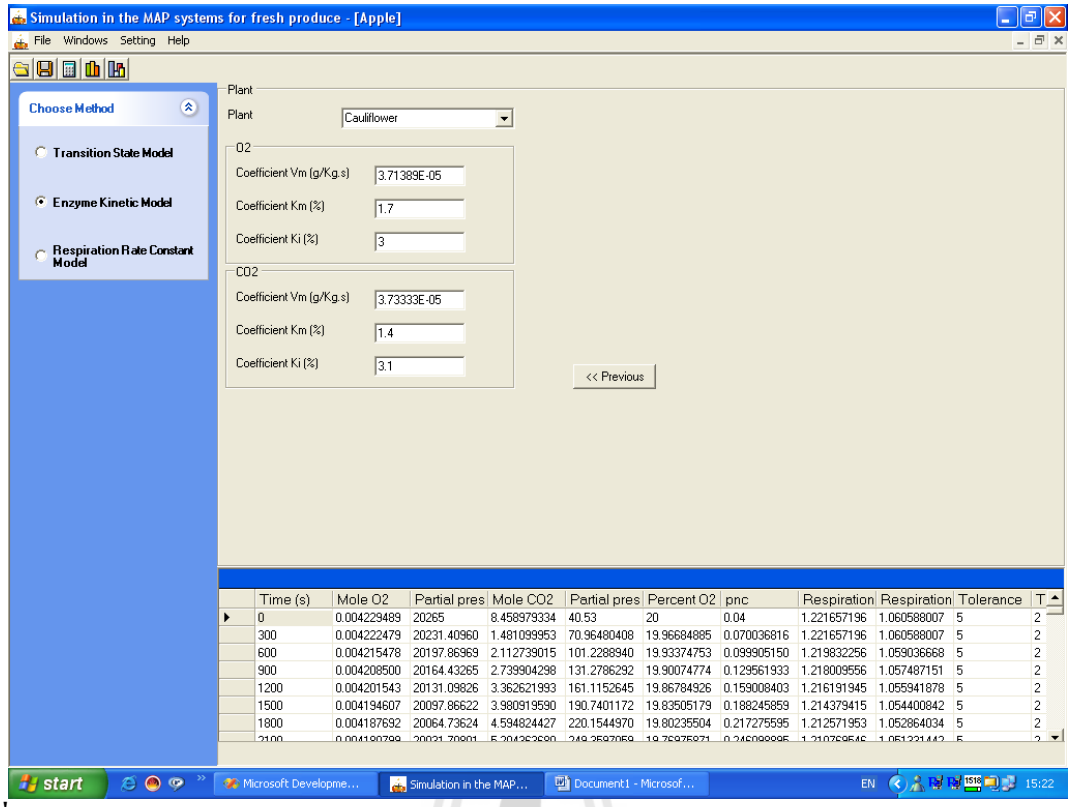


รูปที่ 3.9 หน้าต่างกำหนดค่าการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม M.A.P. Design

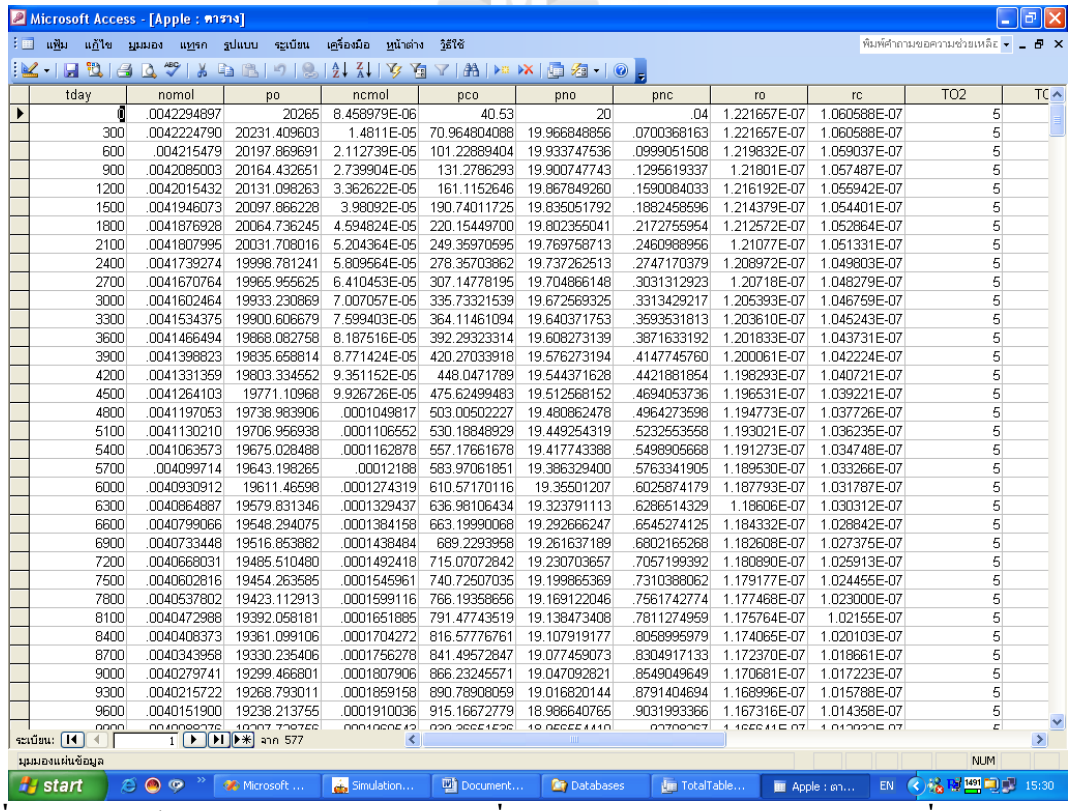


รูปที่ 3.10 หน้าต่างกำหนดค่าการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม M.A.P. Design

(ต่อ)

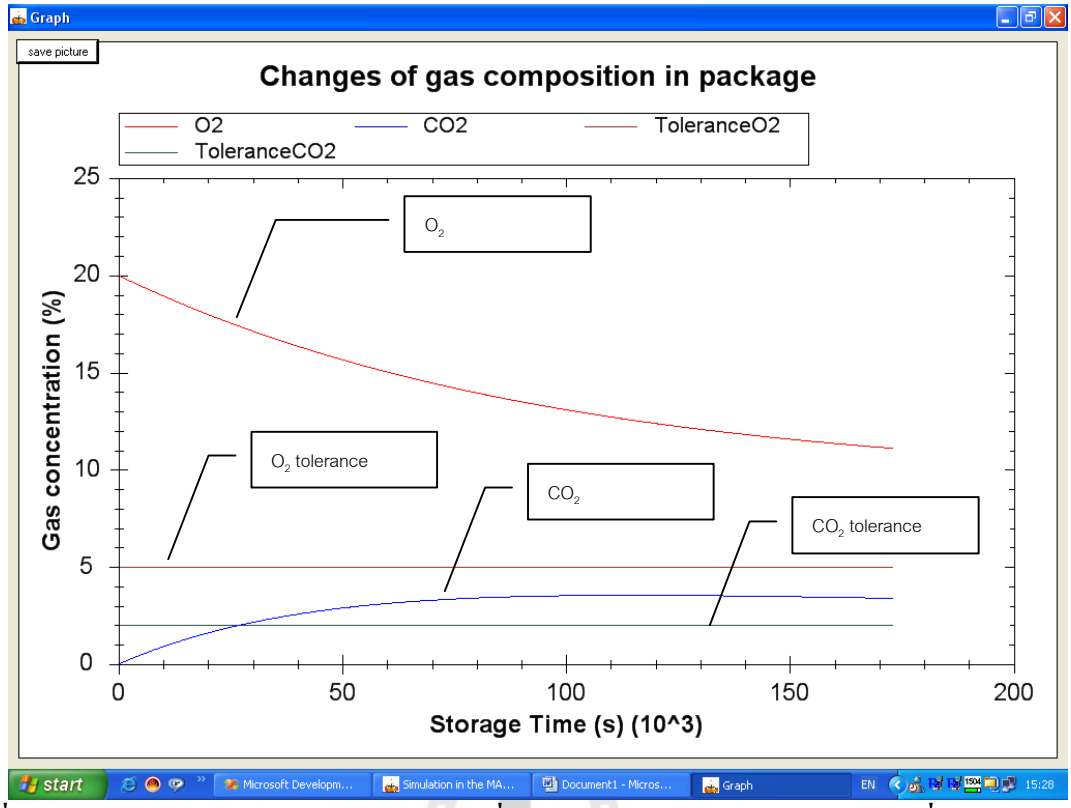


รูปที่ 3.11 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ของการประมวลผลการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม M.A.P. Design



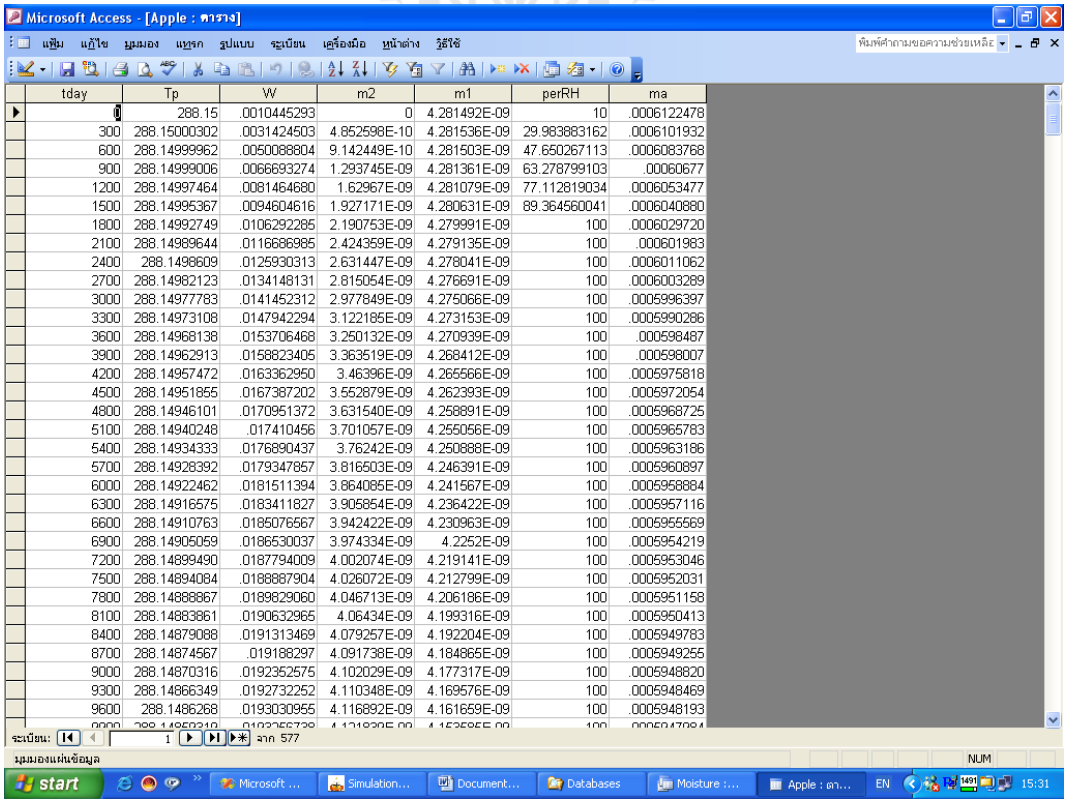
รูปที่ 3.12 ผลลัพธ์ของการประมวลผลค่าการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของแก๊สที่มีในบรรจุภัณฑ์

ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม M.A.P. Design ในรูปของตารางข้อมูล (Microsoft Access File)



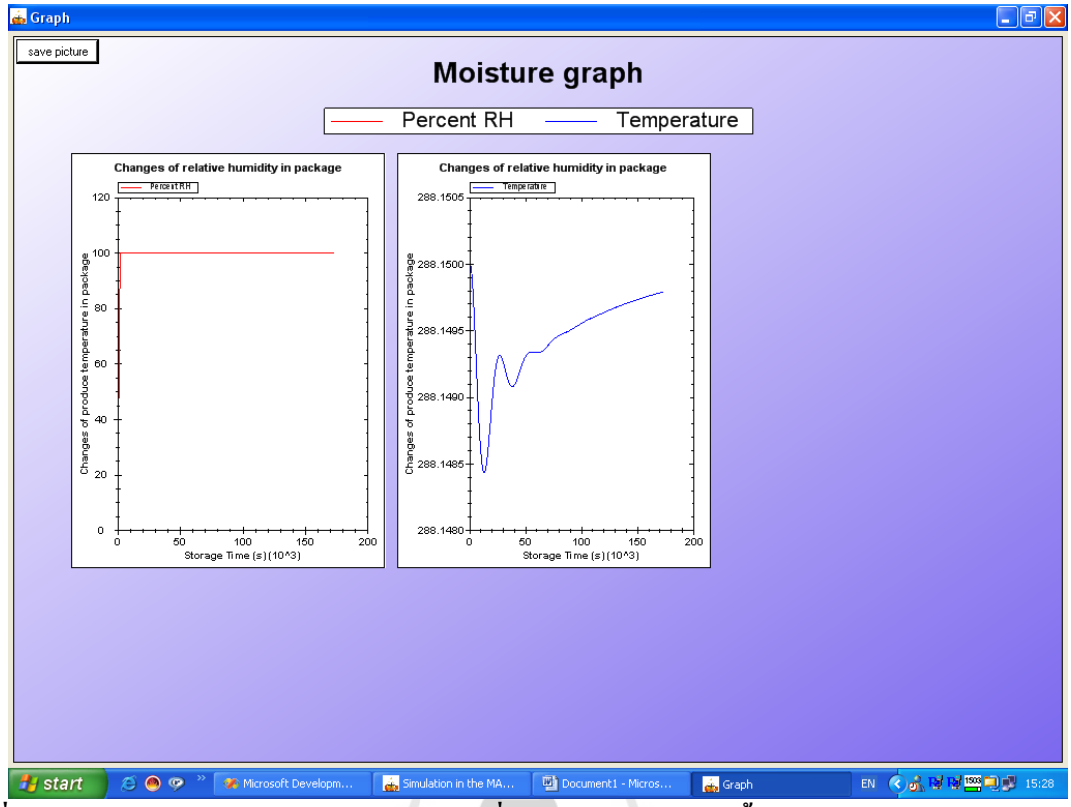
รูปที่ 3.13 ผลลัพธ์ของการประมวลผลค่าการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของแก๊สที่มีในบรรจุภัณฑ์

ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม M.A.P. Design ในรูปของแผนภาพ



tday	Tp	W	m2	m1	perRH	ma
0	288.15	.0010445293	0	4.281492E-09	10	.0006122478
300	288.15000302	.0031424503	4.852598E-10	4.281536E-09	29.983883162	.0006101932
600	288.14999962	.0050088804	9.142449E-10	4.281503E-09	47.650267113	.0006083768
900	288.14999006	.0066693274	1.293745E-09	4.281361E-09	63.278799103	.00060677
1200	288.14997464	.0081464680	1.62967E-09	4.281079E-09	77.112819034	.0006053477
1500	288.14995367	.0094604616	1.927171E-09	4.280631E-09	89.364560041	.0006040880
1800	288.14992749	.0106292285	2.190753E-09	4.279991E-09	100	.0006029720
2100	288.14989644	.0116686985	2.424359E-09	4.279135E-09	100	.000601983
2400	288.1498609	.0125930313	2.631447E-09	4.278041E-09	100	.0006011062
2700	288.14982123	.0134148131	2.815054E-09	4.276691E-09	100	.0006003289
3000	288.14977783	.0141452312	2.977849E-09	4.275066E-09	100	.0005996397
3300	288.14973108	.0147942294	3.122185E-09	4.273153E-09	100	.0005990286
3600	288.14968138	.0153706468	3.250132E-09	4.270939E-09	100	.000598487
3900	288.14962913	.0158823405	3.363519E-09	4.268412E-09	100	.000598007
4200	288.14957472	.0163362950	3.46396E-09	4.265566E-09	100	.0005975818
4500	288.14951855	.0167387202	3.552879E-09	4.262393E-09	100	.0005972054
4800	288.14946101	.0170951372	3.631540E-09	4.258891E-09	100	.0005968725
5100	288.14940248	.017410456	3.701057E-09	4.255056E-09	100	.0005965783
5400	288.14934333	.0176890437	3.76242E-09	4.250888E-09	100	.0005963186
5700	288.14928392	.0179347857	3.816503E-09	4.246391E-09	100	.0005960897
6000	288.14922462	.0181511394	3.864085E-09	4.241567E-09	100	.0005958884
6300	288.14916575	.0183411827	3.905854E-09	4.236422E-09	100	.0005957116
6600	288.14910763	.0185076567	3.942422E-09	4.230963E-09	100	.0005955569
6900	288.14905059	.0186530037	3.974334E-09	4.2252E-09	100	.0005954219
7200	288.14899490	.0187794009	4.002074E-09	4.219141E-09	100	.0005953046
7500	288.14894084	.0188887904	4.026072E-09	4.212799E-09	100	.0005952031
7800	288.14888867	.0189829060	4.046713E-09	4.206186E-09	100	.0005951158
8100	288.14883861	.0190632965	4.06434E-09	4.199316E-09	100	.0005950413
8400	288.14879088	.0191313469	4.079257E-09	4.192204E-09	100	.0005949783
8700	288.14874567	.019188297	4.091738E-09	4.184865E-09	100	.0005949255
9000	288.14870316	.0192352575	4.102029E-09	4.177317E-09	100	.0005948820
9300	288.14866349	.0192732252	4.110348E-09	4.169576E-09	100	.0005948469
9600	288.1486268	.0193030955	4.116892E-09	4.161659E-09	100	.0005948193

รูปที่ 3.14 ผลลัพธ์ของการประมวลผลค่าการเปลี่ยนแปลงระดับความชื้นที่มีในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม M.A.P. Design ในรูปของตารางข้อมูล (Microsoft Access File)



รูปที่ 3.15 ผลลัพธ์ของการประมวลผลค่าการเปลี่ยนแปลงระดับความชื้น (ซ้าย) และอุณหภูมิ (ขวา) ที่มีในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศของโปรแกรม M.A.P. Design ในรูปของแผนภาพ

จุดเด่นที่เป็นข้อพิเศษของซอฟท์แวร์ MAP DESIGN นี้คือ

หนึ่ง: ระบบสมการที่ใช้เป็นกรรมวิธีในการคำนวณ และอัลกอริทึมของการคำนวณที่มีความถูกต้องสูง ทำให้สามารถติดตามคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้นได้อย่างแม่นยำตามทฤษฎีการคำนวณค่าอัตราการหายใจของพืชแบบต่างๆที่ประดิษฐ์ไว้ครบถ้วนให้เลือกใช้ และสามารถใช้ทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

สอง: ความยืดหยุ่นของโครงสร้างของตัวโปรแกรมที่ได้ออกแบบให้สามารถรับข้อมูลค่าตัวแปรตามที่ผู้ออกแบบมีอิสระในการกำหนดค่าเองได้ (user defined function value mode) ซึ่งครอบคลุมกลุ่มของตัวแปรทุกด้านที่ใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักและผลไม้สดอันได้แก่ ปัจจัยด้านพืชผล ปัจจัยด้านบรรจุภัณฑ์ และปัจจัยด้านบรรยากาศที่ใช้เก็บรักษา ดังนั้นโปรแกรมนี้จึงเป็นโปรแกรมช่วยออกแบบอย่างแท้จริงตามความต้องการของผู้ออกแบบ

สาม: ความฉลาดของอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบให้มีระบบเชื่อมโยงข้อมูลที่สำคัญมากต่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ เช่นข้อมูลตัวแปรด้านชนิดและขนาดของบรรจุภัณฑ์ ข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวกับพืชผล และข้อมูลตัวแปรภายนอกที่มีผลต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ทำให้โปรแกรมนี้มีระบบฐานข้อมูลที่มีความคล่องตัวในเชิงคำนวณและมีความยืดหยุ่นสูงในการรองรับการขยายตัวของฐานข้อมูลได้ไม่จำกัด

สี่: ลักษณะการวางตรรกของการคำนวณ และการแสดงผลนั้นยังทำให้โปรแกรมนี้สามารถใช้เพื่อหาค่าเหมาะสมด้านคุณสมบัติการซึมผ่านของแก๊สผ่านแผ่นฟิล์มอันได้แก่ ค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ซึ่งค่าการซึมผ่านของแก๊สที่เหมาะสมนี้เป็นค่าที่สำคัญที่สุดและเป็นประโยชน์มากต่ออุตสาหกรรมการผลิตแผ่นฟิล์มเพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักและผลไม้ที่มีลักษณะพิเศษขึ้นกับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สด รวมถึงผักและผลไม้สดแปรรูป

3.2. ผลการทดสอบการทำงานของ ซอฟท์แวร์ MAP DESIGN

3.2.1 กรณีศึกษา “ความไวของแบบสมการการหายใจของพืชผลที่มีในซอฟท์แวร์ MAP-DESIGN ต่อการทำนายอายุการเก็บรักษาบรอคคอลีในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ”

การหาค่าเหมาะสมในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับบรอคคอลีทำโดยใช้ซอฟท์แวร์ MAP-DESIGN ซึ่งประดิษฐ์โดยผู้แต่ง ซอฟท์แวร์นี้มีความสามารถในการคำนวณตัวแปรทุกประเภทที่เกี่ยวพันกับการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักและผลไม้สดอันประกอบไปด้วย ชนิดของวัสดุบรรจุภัณฑ์ ขนาดบรรจุภัณฑ์ สภาวะการเก็บรักษา และแบบสมการอัตราการหายใจ อัลกอริทึมของการคำนวณถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานของทฤษฎีว่าด้วยเรื่องอัตราการหายใจของพืชผล การซึมของแก๊สผ่านแผ่นฟิล์ม และการถ่ายโอนความร้อน บทความนี้แสดงให้เห็นถึงความไวของตัวเลือกแบบสมการการหายใจที่ปรากฏอยู่ในซอฟท์แวร์นี้ที่มีต่อความถูกต้องของการทำนายอายุผลิตภัณฑ์โดยใช้บรอคอลีเป็นตัวอย่างทดสอบ กระบวนการคำนวณเพื่อทำนายอายุผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบนี้ครอบคลุมตัวแปรด้านวัสดุบรรจุภัณฑ์ ขนาดบรรจุภัณฑ์ และสภาวะการเก็บรักษาเฉพาะในด้านอุณหภูมิ และความชื้น ผลการคำนวณอายุผลิตภัณฑ์ที่ได้ผ่านการยืนยันความเป็นไปได้โดยเปรียบเทียบกับค่าอายุผลิตภัณฑ์ที่ทราบจากข้อมูลการทดลองสำหรับชนิดบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศที่คัดเลือกมาหนึ่งแบบ

3.2.1.1 วัสดุทดลอง
ตัวอย่างผักสด

การทดสอบความไวของแบบสมการการหายใจของพืชผลที่มีในซอฟท์แวร์ MAP-DESIGN ต่อผลการจำลองเพื่อทำนายอายุการเก็บรักษาบรอคคอลีในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ แบบสมการคำนวณอัตราการหายใจของบรอคคอลี (ไม่ระบุสายพันธุ์) สองแบบนำมาจากคณะนักวิจัยสองคณะที่ได้ทำการทดลองตรวจวัดและนำเสนอแบบสมการไว้ในบทความวิจัย (Makino et al., 1996, Yam et al., 1995) ตัวแปรค่าทุกตัวที่ปรากฏในแต่ละแบบสมการจะสมมติว่ามีความถูกต้องและนำมาประยุกต์เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพของซอฟท์แวร์ MAP โดยไม่มีการดัดแปลงค่าแต่อย่างใด ดังนั้นข้อมูลอัตราการหายใจที่ต่างกันที่ได้จากแบบสมการสองแบบจึงเปรียบเป็นการเปรียบเทียบแบบไม่มีอคติว่าแบบสมการของทีมใดให้ความถูกต้องสูงกว่ากัน อย่างไรก็ตามจากเอกสารงานวิจัยของทั้งสองคณะที่นำเสนอแบบสมการอัตราการหายใจพบว่าขนาดตัวอย่างที่ใช้เพื่อการตรวจวัดอัตราการหายใจของทั้งสองทีมนั้นไม่เท่ากันจึงอาจเป็นไปได้ว่าอาจมีผลต่อความแตกต่างของอัตราการหายใจที่ตรวจวัดได้ แม้กระนั้นยังไม่มีรายงานวิจัยที่ศึกษาถึงผลของแบบสมการอัตราการหายใจต่อการทำนายอายุการเก็บรักษาพืชผลสดในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ ดังนั้นผลของขนาดของตัวอย่างทดสอบจึงถูกกำหนดเป็นหนึ่งในตัวแปรทดสอบของวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ และในที่นี้ยังสมมติให้ว่าตัวอย่างบรอคคลอรีที่ใช้มีขนาดเล็กแต่ไม่ใช่หั่นเป็นชิ้นละเอียด ในทุกกรณีศึกษาเพื่อจำลองอายุผลิตภัณฑ์กำหนดให้ใช้น้ำหนักตัวอย่างเท่ากับ 0.5 kg โดยค่าตัวแปรของแบบสมการทั้งสองแบบของสองคณะวิจัยดังกล่าวข้างต้นเป็นดังที่ปรากฏ

แบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์: O_2 consumption; $V_{m1}= 5.84\times10^{-5}$, $K_{m1}=0.6$, and $K_{i1}=2.3$, CO_2 evolution; $V_{m2}= 6.53 \times 10^{-5}$, $K_{m2}=1.7$, and $K_{i2}=1.93$

แบบสมการ Transition state: $a=5.48\times10^{-4}$, $b=1.80\times10^{-6}$, $i=5.69 \times 10^{-5}$, and $RQ=1$

ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์

ถุงชนิดยืดหยุ่นได้ทำจากฟิล์ม Orega® (low density polyethylene and 5% zeolite) หนา 45 micron ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับการทดลองนี้ ฟิล์มดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมของแก๊ส O_2, CO_2 และ H_2O ณ อุณหภูมิ 15 ˚C เป็น 6.84×10^{-16}, 2.56×10^{-15}, 1.23×10^{-15} $mol.m^{-1}.s^{-1}.Pa^{-1}$ ตามลำดับ ปริมาตรของถุงเป็น 0.0005 m^3 และพื้นที่ผิวเป็น 0.069 m^2 ค่าปริมาตรช่องว่างอากาศในถุงหลังใส่ผลิตภัณฑ์คำนวณโดยหักปริมาตรผลิตภัณฑ์ออกจากปริมาตรถุงที่เติมด้วยอากาศ

3.2.1.2 วิธีการจำลอง

สภาวะที่ใช้เพื่อการจำลอง

การจำลองอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแก๊สในบรรจุภัณฑ์ทำโดยการกำหนดให้ภายในถุง ณ สภาวะเริ่มต้นมี O_2 อยู่ 20% และมี CO_2 0.04 % โดยให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในถุงและ

นอกถุงเท่ากันที่ 10% อุณหภูมิเก็บรักษาเป็น 15 ˚C และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนทั้งในถุงและนอกถุงเป็น 1 $W/m^2.K$

3.3.1.3 ผลการจำลอง

ผลของแบบสมการการหายใจของพืชผลที่มีในซอฟท์แวร์ MAP-DESIGN ต่อการทำนายส่วนประกอบของแก๊สในบรรจุภัณฑ์

การทดสอบผลของแบบสมการอัตราการหายใจที่มีต่อผลการจำลองหาอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สที่ปรากฏในบรรจุภัณฑ์ทำโดยการกำหนดให้ตัวแปรอื่นทุกตัวที่ไม่ใช่แบบสมการอัตราการหาย ใจมีค่าคงตัวหนึ่งชุด ชุดของตัวแปรอื่น ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน ตัวแปรค่าที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์ และมวลของผลิตภัณฑ์

การทดสอบทำโดยสมมติให้บรรจุบรอคคลอรี 0.5 kg ในถุงขนาด 0.5 L ที่ทำมาจากฟิล์ม Orega® หลังจากนั้นให้ปิดผนึกโดยมีอัตราส่วนความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 เท่าบรรยากาศ และเก็บที่ห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 15 ˚C และความชื้นสัมพัทธ์เป็น 10%. การจำลองหาอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบของแก๊ส (O_2 และ CO_2) ในบรรจุภัณฑ์กำหนดให้มีระยะเวลาเก็บรักษา 2 วัน ผลที่ได้สำหรับแบบสมการอัตราการหายใจตามแบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์ และตามแบบสมการ transition state เป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.16 และ 3.17 ความถูกต้องของซอฟท์แวร์ MAP ต่อการใช้จำลองอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สนี้ผ่านการทดสอบซึ่งทำโดยการเปรียบเทียบผลจำลองที่ได้กับผลการวัดจริงซึ่งนำเสนอโดยคณะของ Makino (1996) ที่พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

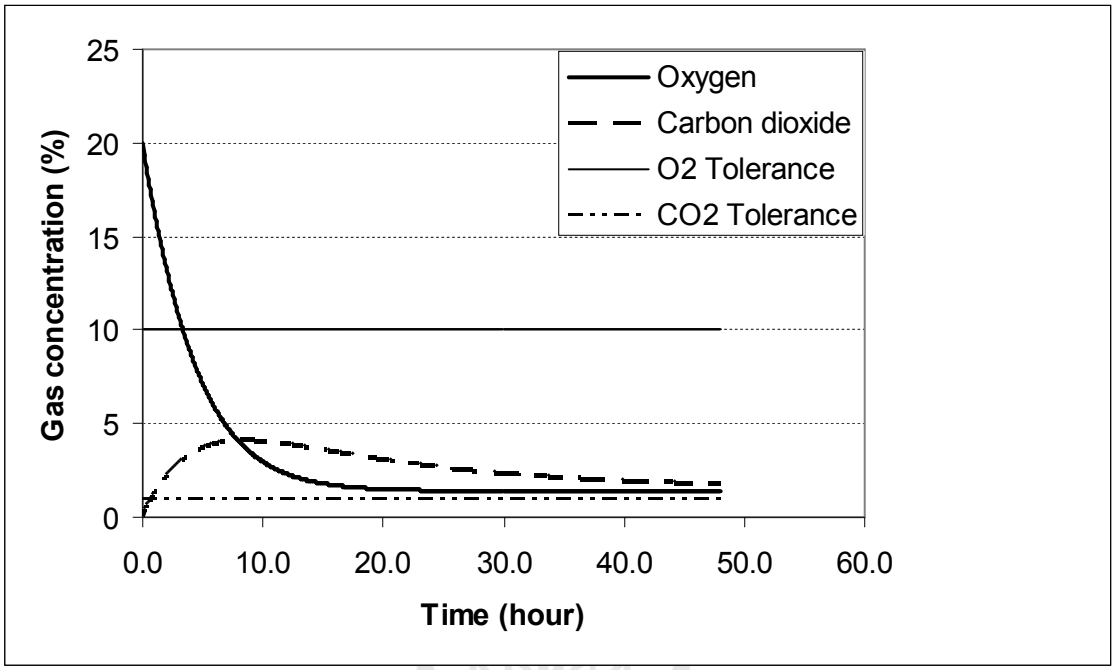
ในกรณีของแบบสมการอัตราการหายใจเป็นแบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์ จากผลการจำลองตามรูปที่ 3.16 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก๊ส O_2 จะลดจาก 20% ลงต่ำกว่าค่าขีดจำกัดที่ 10% เพื่อป้องกันการเข้าสู่กระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ O_2 ภายในเวลาเพียง 4 ชั่วโมง ในขณะที่จะใช้เวลาเพียงแค่ 2.8 ชั่วโมงก่อนที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก๊ส O_2 จะลดลงจนเกือบเป็นศูนย์เมื่อแบบสมการอัตราการหายใจเป็นแบบสมการ Transition state ความแตกต่างของผลการจำลองอันเนื่องมาจากแบบสมการอัตราการหายใจที่ใช้เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ยิ่งปรากฏชัดเจนเมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 โดยในกรณีของแบบสมการ Transition state ดังปรากฏในรูปที่ 3.17 พบว่าความเข้มข้นของ CO_2 ในช่วงเวลาตั้งต้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเพิ่มไปถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งก่อนมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ณ เวลาขณะที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแก๊ส O_2 ในบรรจุภัณฑ์มีค่าเกือบเป็นศูนย์ซึ่งเวลาดังกล่าวพบว่าอัตราการซึมของแก๊ส CO_2 ออกจากบรรจุภัณฑ์มีค่าสูงกว่าอัตราการสร้างแก๊ส CO_2 จากกระบวนการหายใจ แต่สำหรับแบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์ผลการจำลองพบว่าความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 กลับเพิ่มขึ้นทีละน้อยและ

ลดลงเมื่อความเข้มข้นของแก๊ส O_2 ในบรรจุภัณฑ์เริ่มเข้าสู่ระดับคงตัวค่าหนึ่ง และที่สำคัญคืออัตราการกลับลดลงของความเข้มข้นของ CO_2 มีค่าเข้าสู่ค่าคงตัวใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่สมดุลของแก๊ส O_2 โดยมีค่ามากกว่าเล็กน้อย

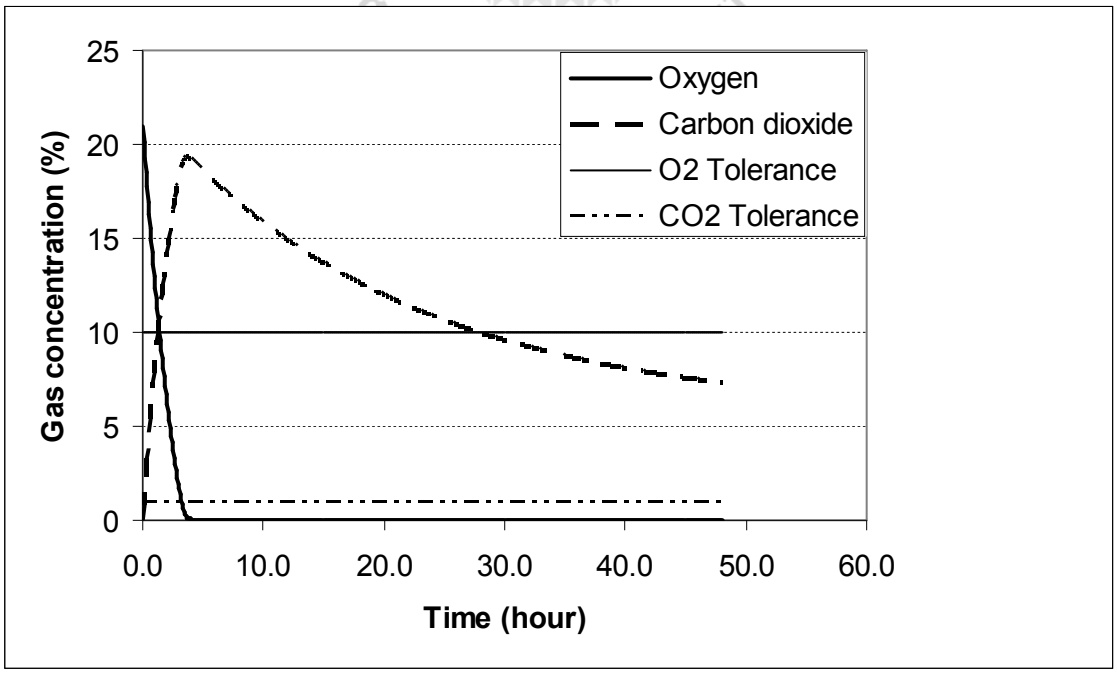
ระดับความเข้มข้นของ CO_2 ในช่วงเวลาตั้งต้นที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสอดคล้องกับค่า RQ ดังปรากฏในสมการ 2.4 ซึ่งจำเป็นต่อการใช้คำนวณปริมาณ CO_2 ในกรณีของแบบสมการ Transition state และเนื่องจากว่าค่า RQ เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นแบบผกผันกับปริมาณการเพิ่มขึ้นของแก๊ส O_2 ดังนั้นจึงส่งผลให้ปริมาณ CO_2 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะเมื่อการจำลองนี้สมมติให้ค่า RQ = 1.0 ส่วนการจำลองการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ CO_2 ในกรณีของการใช้แบบสมการอัตราการหายใจเป็นแบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์แตกต่างอย่างสิ้นเชิงกับกรณีของแบบสมการ Transition state ตรงที่การจำลองนั้นใช้การติดตามการสร้าง CO_2 จากกระบวนการแคตาโบลิกของพืชผลโดยตรงผ่านสมการจลนศาสตร์เอนไซม์แบบที่มีพื้นฐานหลักการในรูปแบบปฏิกิริยาจลนศาสตร์เอนไซม์แบบการยับยั้งอย่างไม่แข่งขัน (uncompetitive inhibitory mode) ดังที่ปรากฏในสมการ 2.4 แม้ว่าผลการจำลองโดยใช้แบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์จะให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ CO_2 ที่แลดูต่อเนื่องมากกว่ากรณีของอีกแบบสมการอัตราการหายใจที่ทดสอบ ผลที่ได้ก็ไม่ได้บอกเป็นนัยว่าความถูกต้องของแบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์นั้นสูงกว่ากรณีอื่นโดยเฉพาะกับกรณีของพืชผลชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากว่ามีรายงานการวิจัยที่นำเสนอว่าพืชผลชนิดอื่นมีอัตราการหายใจที่มีแนวโน้มเข้ากันกับแบบสมการอัตราการหายใจบนพื้นฐานของรูปแบบปฏิกิริยาจลนศาสตร์เอนไซม์ในรูปแบบอื่นที่ไม่ใช่รูปแบบการยับยั้งอย่างไม่แข่งขัน หรือแม้แต่มีรายงานว่าอัตราการหายใจของพืชผลอื่นยังอาจเป็นไปตามแบบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์รูปแบบอื่น ได้แก่ ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ฟังก์ชันเอกซโปเนนต์ และฟังก์ชันพอลิโนเมียล เป็นต้น (Fonseca et al., 2002) ในขณะเดียวกันก็ยังไม่มีรายงานโต้แย้งถึงความผิดพลาดของแบบสมการอัตราการหายใจแบบ Transition state หรือรายงานถึงว่าเป็นแบบสมการรูปทั่วไปที่ประยุกต์ใช้ได้หลากหลายพืชผล แม้กระนั้นก็ตามแบบสมการอัตราการหายใจสองแบบที่ให้ไว้เป็นแบบสมการมาตรฐานในซอฟท์แวร์ MAP DESIGN เนื่องจากเป็นแบบสมการที่เป็นยอมรับและนิยมใช้กันมากสุดในหมู่นักพฤกษศาสตร์

ดังที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าแบบสมการอัตราการหายใจมีผลต่อการทำนายปริมาณของแก๊ส O_2 และ CO_2 ที่ปรากฏในบรรจุภัณฑ์ใดๆ การประมาณอายุของผลิตภัณฑ์โดยเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของแก๊สทั้งสองภายในบรรจุภัณฑ์กับค่าเกณฑ์ความเข้มข้นขั้นต่ำเหมาะสมของ O_2 และ CO_2 ซึ่งขึ้นกับชนิดของผักและผลไม้สดจึงต้องทำด้วยความระมัดระวัง ผลงานวิจัยนี้ยังสำรวจพบว่าปัจจุบันยังไม่มีรายงานถึงแบบสมการอัตราการหายใจของผักและผลไม้สดที่มีลักษณะใช้ได้กับทุกชนิดพืชผลซึ่งประเด็นดังกล่าวนี้เป็นข้อมูลที่สำคัญมากที่สุดต่อผู้ออกแบบบรรจุภัณฑ์ต้องใช้ในการกำหนดอายุผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงข้อถกเถียงกันถึงว่าแบบสมการอัตราการหายใจใดให้ความถูกต้องสูงสุดจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบสมการอัตราการหายใจของพืชผลอย่างเร่งด่วนให้เกิด

ประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรมการผลิต อย่างไรก็ตามหลักการการเลือกใช้แบบสมการอัตราการหายใจที่เหมาะสมหรือเชื่อถือได้สำหรับพืชผลจำแนกชนิดไปก็นับว่าเป็นแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดของนักออกแบบบรรจุภัณฑ์ควรพิจารณาในขณะปัจจุบันนี้ การออกแบบบรรจุภัณฑ์ในประเด็นของการหาขนาดหรือมิติเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์ด้วยซอฟท์แวร์ MAP DESIGN ได้นำเสนอไว้ในส่วนถัดไปจากนี้



รูปที่ 3.16 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส O_2 และ CO_2 ภายในถุง Orega® บรรจุบรอคคลอรีโดย
ซอฟท์แวร์ "MAP DESIGN" โดยใช้แบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์



รูปที่ 3.17 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส O_2 และ CO_2 ภายในถุง Orega® บรรจุบรอคคลอรี โดย
ซอฟท์แวร์ "MAP DESIGN" โดยใช้แบบสมการ transition state

ผลการจำลองเพื่อหามิติเหมาะสมสำหรับบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

โดยทั่วไปอายุผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดสามารถยืดออกไปได้โดยอาศัยบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศที่มีการปรับสภาวะอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้มีความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับสภาวะเหมาะสมกับพืชผลชนิดนั้นๆ โดยพยายามรักษาระดับเหมาะสมดังกล่าวตลอดช่วงเวลาการเก็บรักษาหากกระทำ ระดับเหมาะสมของความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 อาจนิยมเรียกอีกอย่างว่าสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ ณ ระดับสมดุล เนื่องจากการเข้าสู่สภาวะสมดุลของความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามหลักการของการถ่ายโอนมวลสารและการถ่ายโอนพลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างสภาพอากาศภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์ โดยกระบวน การถ่ายโอนทั้งสองเกิดขึ้นผ่านบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นชนิดของวัสดุบรรจุภัณฑ์และมิติของบรรจุภัณฑ์จึงเป็นกลไกหลักที่สร้างสภาวะอากาศดัดแปลงที่เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ให้อยู่ในสภาวะเหมาะสม หรือใกล้เคียงจุดเหมาะสมของพืชผลชนิดนั้นๆ ในเชิงปฏิบัติกระบวนการออกแบบบรรจุภัณฑ์นี้ต้องทำโดยกระบวนการลองผิดลองถูกซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลา และเงินมากเพื่อแสวงหาตั้งแต่ชนิดของวัสดุบรรจุภัณฑ์ไปจนถึงการกำหนดค่าอัตราส่วนเหมาะสมของแก๊ส O_2 และ CO_2 ตั้งต้นเพื่อให้ได้สภาวะอากาศที่มีอัตราส่วนเหมาะสม ณ สมดุล กระบวนการดังกล่าวนี้ยังคงใช้เวลามากแม้แต่นักออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศที่มีความเชี่ยวชาญเพื่อหากรณีทดสอบ หรือทดลองผลิตที่มีโอกาสสำเร็จสูงในการยืดอายุผลิตภัณฑ์ก่อนการลงมือผลิตจริงเพื่อการค้า ด้วยการใช้ซอฟท์แวร์ "MAP DESIGN" ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสภาวะอากาศ ณ จุดสมดุล ได้แก่ วัสดุบรรจุภัณฑ์ มิติบรรจุภัณฑ์ ค่าอัตราส่วนเริ่มต้นของ แก๊ส O_2 และ CO_2 ที่ปรากฏในบรรจุภัณฑ์ สภาวะอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ และปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณค่าการถ่ายโอนความร้อน สามารถปรับแต่งเพื่อคำนวณศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ต่อระดับความเข้มข้นหรือปริมาณของแก๊ส O_2 และ CO_2 และความร้อนและความชื้นที่ปรากฏในบรรจุภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็ว และง่ายดายซึ่งค่าระดับความเข้มข้นหรือปริมาณของแก๊ส O_2 และ CO_2 ยังใช้ประมาณอายุผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถของซอฟท์แวร์ "MAP DESIGN" ผลการจำลองเพื่อศึกษาถึงมิติของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อเวลาที่ระดับความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 เข้าสู่สภาวะสมดุลของตัวอย่างบรอคคลอรีแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 การจำลองทำโดยกำหนดปัจจัยอื่นๆเหมือนกันทุกกรณีทดสอบแต่ให้มิติของบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนแปลงเทียบกับขนาดพื้นที่มาตรฐาน 0.069 m^2 ในลักษณะที่อัตรา ส่วนพื้นที่ผิวและปริมาตรของบรรจุภัณฑ์มีค่าคงตัว และใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบจล

นพล- ศาสตร์เอนไซม์ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าเวลาที่อัตราการถ่ายโอนแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์เข้าสู่สภาวะคงตัวหรือเข้าสู่สมดุลภายในเวลา 40 ชั่วโมงนับจากบรรจุเสร็จสำหรับเกือบทุกขนาดมิติถุง ยกเว้นกรณีที่ถุงมีขนาดที่ใหญ่มากที่สุด (0.3 m^2) ผลการจำลองยังแสดงให้เห็นว่าในกรณีของฟิล์ม Orega นี้ขนาดของบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดพื้นที่ผิวใหญ่ขึ้นจะมีแนวโน้มในการรักษาปริมาณ O_2 ภายในบรรจุภัณฑ์ในขณะที่มีผลกระทบน้อยกว่าการรักษาระดับแก๊ส CO_2 แม้กระนั้นก็ตามแม้ว่าจะเพิ่มขนาดของพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นถึงห้าเท่าตัวซึ่งเป็นขนาดที่ไม่เหมาะต่อการผลิตจริงความเข้มข้นของ O_2 ภายในบรรจุภัณฑ์ ณ จุดสมดุลยังคงต่ำกว่าเกณฑ์ความเข้มข้นของ O_2 ขั้นต่ำ 10% เมื่อเปรียบเทียบกับถุงขนาดเล็กที่ทดสอบใส่มวลบรอคคลอรีเท่ากันกลับพบว่าความเข้มข้นของ O_2 ในบรรจุภัณฑ์ ณ จุดสมดุลมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 10% และต่ำกว่าค่าที่จำลองได้จากถุงที่มีขนาดพื้นที่มาตรฐาน 0.069 m^2 ผลการจำลองผลของมิติขนาดบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์ม Orega® แสดงให้เห็นว่าไม่ใช่ชนิดฟิล์มที่เหมาะสำหรับทำถุงใส่บรอคคลอรี โดยชนิดฟิล์มและขนาดบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมควรให้ค่าระดับความเข้มข้นของ O_2 ไม่ต่ำกว่าค่าขีดจำกัดของ % O_2 ที่ผักและผลไม้สดชนิดนั้นจะไม่กลับโหมดการหายใจเป็นแบบไม่ใช้ O_2

ตารางที่ 3.1. ผลของมิติของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อความเข้มข้นของแก๊ส ณ สภาวะสมดุลของบรอคคลอรีในถุง Orega® bag โดยใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบจลนศาสตร์เอนไซม์

Surface Area of Package (m^2)	Modification Factor (%)	Time to reach steady state (hour)	CO_2 (% by mole)	O_2 (% by mole)
0.069	**0**	**40**	**2.17**	**1.40**
0.12	73.91	41.7	1.95	2.38
0.3	335	48	1.74	5.83
0.015	-78.26	41.6	1.93	0.31
0.03	-56.52	41.7	1.93	0.62

3.2.2 กรณีศึกษา “การทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของแก๊สในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับบลูเบอร์รี”

3.2.2.1 วัสดุทดลอง

ตัวอย่างผลไม้สด บลูเบอร์รีไม่ระบุสายพันธุ์ถูกเลือกเป็นตัวอย่างทดสอบเนื่องด้วยมีรายงานวิจัยแสดงถึงแบบสมการอัตราการหายใจทั้งสองแบบมาตรฐานที่ปรากฏในซอฟท์แวร์ MAP DESIGN (Lee et al., 1991 และ Fonseca et al., 2002) ค่าคงที่ของแต่ละแบบสมการอัตราการหายใจของบลูเบอร์รีแสดงดังด้านล่างนี้

แบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์: O_2 consumption; $V_{m1}= 9.0059\times10^{-6}$, $K_{m1}=0.0763$, and $K_{i1}=0.1442$,

CO_2 evolution; $V_{m2}= 9.6189\times10^{-6}$, $K_{m2}=0.0508$, and $K_{i2}=0.1199$

แบบสมการ Transition state : $a=2.20\times10^{-4}$, $b=1.75\times10^{-7}$, $i=1.00\times10^{-5}$, and RQ=0.8

ขนาดตัวอย่างจำนวน 200 g ถูกกำหนดให้เป็นค่าคงตัวทุกเงื่อนไขทดสอบที่ใช้การจำลองเพื่อทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของแก๊สในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับบูลเบอร์รี

ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ ถุงบรรจุภัณฑ์ขนาดปริมาตรบรรจุ 0.0005 m^3 และพื้นที่ผิว 0.069 m^2 ทำจากฟิล์ม low density polyethylene ผสมแป้ง 10% ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ทดสอบโดยฟิล์มดังกล่าวมีค่าการซึมของแก๊ส O_2 CO_2 และไอน้ำ ณ อุณหภูมิ 15 °C เป็น 9.67×10^{-16}, 3.33×10^{-15} และ 1.30×10^{-15} $m^3.m/m^2.s.Pa$ ตามลำดับ

3.2.2.2 วิธีการจำลอง

สภาวะที่ใช้เพื่อการจำลอง

การจำลองอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแก๊สในบรรจุภัณฑ์ทำโดยการกำหนดให้ภายในถุง ณ สภาวะเริ่มต้นมี O_2 อยู่ 21% และมี CO_2 0.04 % โดยให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในถุงและนอกถุงเท่ากันที่ 50% อุณหภูมิเก็บรักษาเป็น 15 °C และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนทั้งในถุงและนอกถุงเป็น 1 $W/m^2.K$

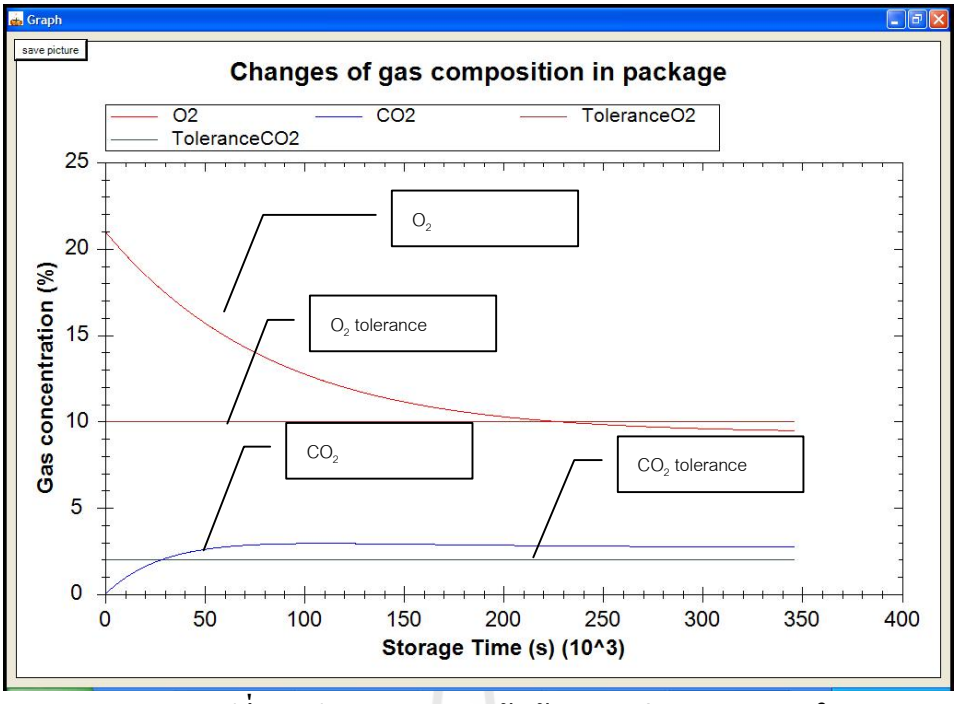
3.2.2.3 ผลการจำลอง

เกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดอายุผลิตภัณฑ์ที่ใช้เพื่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์

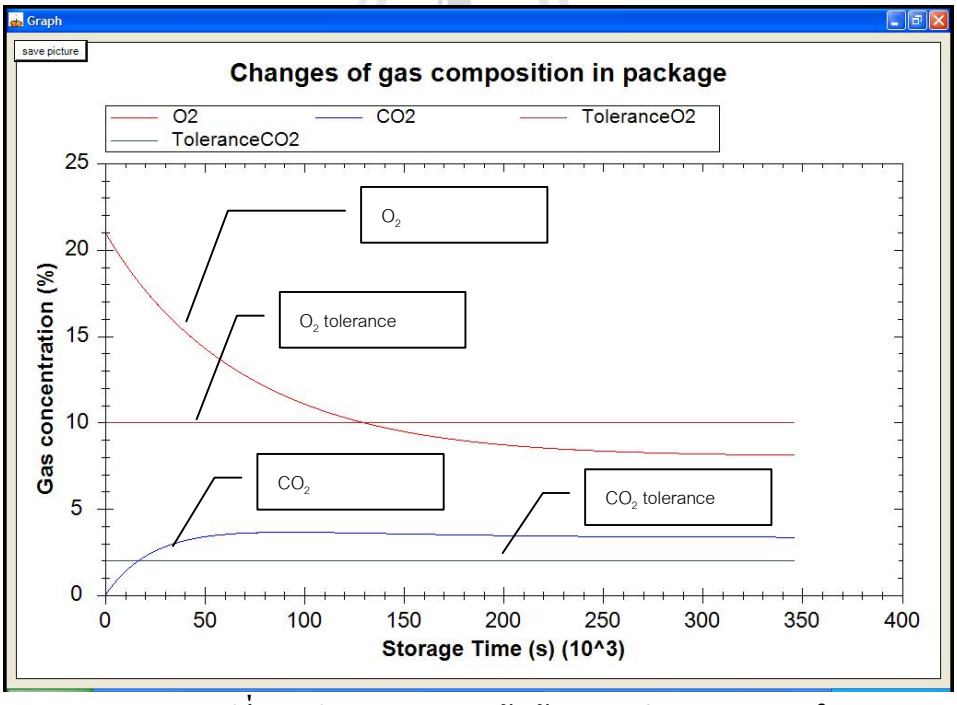
เพื่อแสดงให้เห็นถึงวัตถุประสงค์ของการใช้ซอฟท์แวร์เพื่อออกแบบบรรจุภัณฑ์ ตัวแปรที่เกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ทุกตัวได้แก่ ความหนาของแผ่นฟิล์ม พื้นที่ผิวของถุง และชนิดของวัสดุฟิล์มทำถุงจึงถูกทดสอบเพื่อระบุถึงปัจจัยที่กล่าวมานี้ว่ามีผลสัมพันธ์อย่างไรกับแบบสมการอัตราการหายใจของบลูเบอร์รี ผลการหาความสัมพันธ์ทำได้โดยการเปรียบเทียบรูปแบบอายุของผลิตภัณฑ์ที่ทำนายได้ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาเดียวกันสภาวะหนึ่ง (อุณหภูมิ ความชื้น และอัตราการถ่ายโอนความร้อน) เกณฑ์ที่ใช้เพื่อการระบุอายุของผลิตภัณฑ์อ้างอิงจากผลงานวิจัยของ Beaudry (Fonseca et al., 2002) ที่พบว่าอัตราการหายใจของบลูเบอร์รีลดลงภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่มีความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 อยู่ในระดับสูง (5-60 %) ร่วมกับความเข้มข้นของแก๊ส O_2ในระดับ 2-16% ดังนั้นเกณฑ์ที่ใช้ระบุอายุของบลูเบอร์รีที่ได้จากการจำลองด้วยซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นโดยโครงการวิจัยนี้จึงกำหนดให้เป็นเวลาที่ระดับความเข้มข้นของแก๊ส O_2 มีค่าต่ำกว่า 10% โดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงระดับของแก๊ส CO_2 ที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นที่สูงขึ้นของแก๊ส CO_2 มีแนวโน้มไปลดอัตราการหายใจหรืออีกนัยหนึ่งก็คือจะเพิ่มอายุผลิตภัณฑ์นั่นเอง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นขององค์ประกอบของแก๊ส

ผลการจำลองพบว่าผลิตภัณฑ์บลูเบอร์รี 200 g ในถุงทดสอบขนาดพื้นที่ 0.0005 m^3 และปริมาตร 0.069 m^2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้น 50% จะมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 2.6 วันเมื่อจำลองด้วยแบบสมการอัตราการหายใจ transition state และ 1.5 วันในกรณีของการใช้แบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ขึ้นกับเวลาในการเก็บรักษาของผลการจำลองทั้งสองกรณีคือ transition state และแบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์เป็นดังรูปที่ 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ รูปแบบการลดลงของระดับความเข้มข้นของแก๊ส O_2 ในกรณีของแบบสมการ transition state แสดงให้เห็นว่าอัตราการหายใจต่ำกว่าในกรณีของแบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์ และระดับความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ที่สร้างขึ้นก็ช้ากว่าเช่นกันเนื่องจากระดับการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการใช้แก๊ส O_2 เมื่อพิจารณาเวลาที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สเข้าสู่สมดุลของผลการจำลองของทั้งสองแบบสมการพบว่าให้ค่าใกล้เคียงกันสำหรับกรณีของบลูเบอร์รี ทั้งนี้จากกรณีศึกษาที่รายงานในหัวข้อก่อนหน้ายังคงจริงอยู่ที่ว่าข้อมูลแบบสมการอัตราการหายใจที่ถูกต้องมีผลอย่างมากต่อการใช้ผลการจำลองเพื่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันนี้มีรายงานวิจัยจำนวนมากได้รายงานแบบสมการอัตราการหายใจให้กับผักและผลไม้สด ได้แก่ แบบสมการอย่างง่ายแบบเชิงเส้น และแบบไม่เชิงเส้น และแบบสมการที่อิงทฤษฎีจลนศาสตร์ของเอนไซม์[10] ตัวเลือกของแบบสมการอัตราการหายใจที่มากมายที่ต่างอ้างอิงผลการวิเคราะห์เพื่อยืนยันความถูกต้องสำหรับพืชผลชนิดเดียวกันกลับนำ ไปสู่ปัญหาสำหรับวิศวกรบรรจุภัณฑ์ว่าควรประยุกต์ใช้แบบสมการใดในการจำลองมากกว่ากัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าขณะนี้ยังไม่มีการสรุปถึงว่าแบบสมการอัตราการหายใจใดมีลักษณะเป็นรูปทั่วไปที่เหมาะกับพืชผลหลายกลุ่ม ดังนั้นการเลือกใช้แบบสมการอัตราการหายใจเพื่อใช้คำนวณกำหนดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดจึงยังคงต้องอ้างอิงประสบการณ์ของนักออกแบบบรรจุภัณฑ์เป็นสำคัญ เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลของแบบสมการอัตราการหายใจว่ามีความสำคัญมากเพียงใดต่อการกำหนดอายุผลิต- ภัณฑ์ ผลดังกล่าวที่มีต่อคุณลักษณะของบรรจุภัณฑ์จึงได้นำเสนอในหัวข้อต่อไป



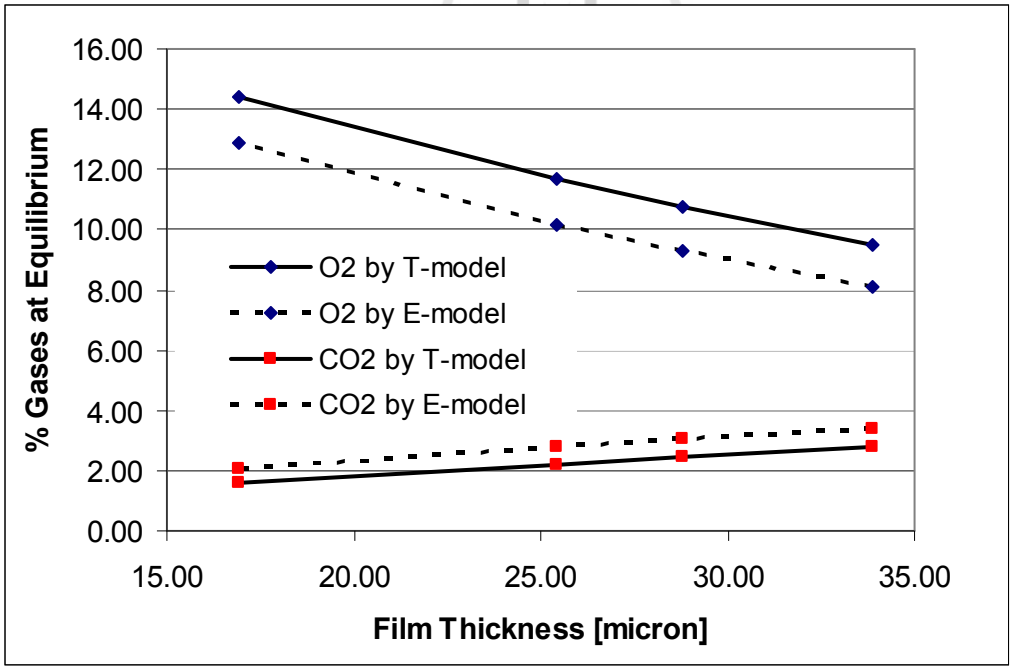
รูปที่ 3.18 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ในการเก็บรักษาบลูเบอร์รี 200 g ในถุง LDPE+10% starch, size: 0.0005 m^3 and 0.069 m^2 โดยใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบ transition state



รูปที่ 3.19 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ในการเก็บรักษาบลูเบอร์รี 200 g ในถุง LDPE+10% starch, size: 0.0005 m^3 and 0.069 m^2 โดยใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบสมการจลนศาสตร์เอนไซม์

ปัจจัยด้านความหนาของฟิล์มบรรจุภัณฑ์

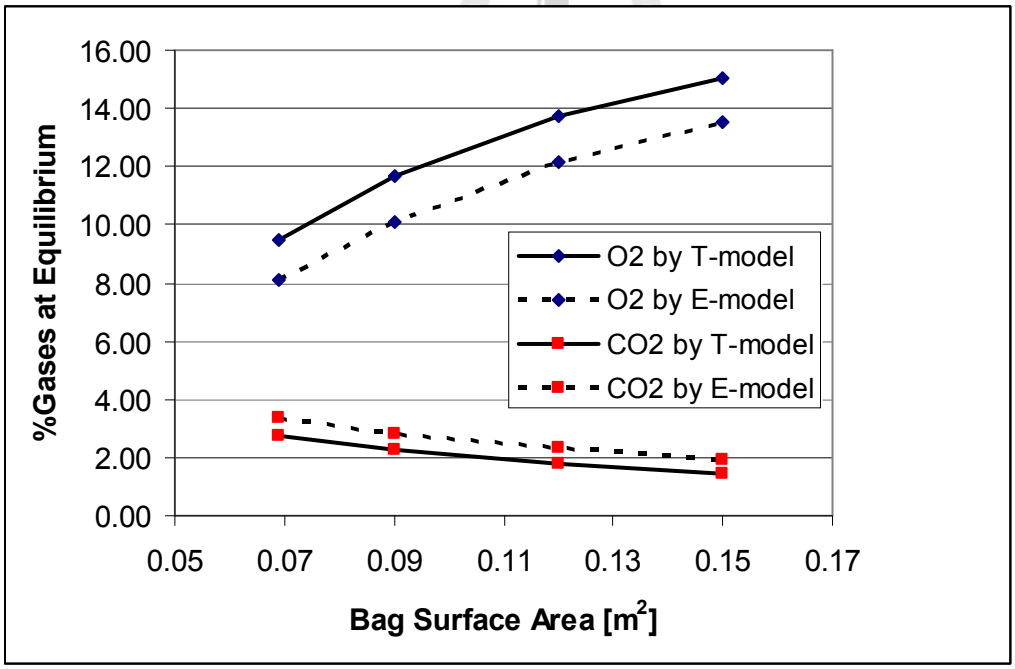
เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาบลูเบอร์รีฟิล์มบรรจุภัณฑ์ควรมีความหนาที่ค่อนข้างบางเพื่อยอมให้อัตราการซึมของ O_2 มีค่าสูงขึ้น ผลของความหนาของแผ่นฟิล์มที่มีต่อการทำนายค่าความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ณ สภาวะสมดุลโดยใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบจลนศาสตร์ของเอนไซม์กับ transition state แสดงในรูปที่ 3.20 สำหรับแผ่นฟิล์มทดสอบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมของแก๊สผ่านแผ่นฟิล์มคงที่ดังที่ระบุไว้ในส่วนของวัสดุทดลองในหัวข้อก่อนหน้านี้ พบว่าค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ณ สภาวะสมดุลเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นกับความหนาของแผ่นฟิล์มกับทั้งสองแบบสมการอัตราการหายใจ แม้ว่าค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแก๊ส O_2 ณ สภาวะสมดุลที่ขึ้นกับความหนาเกือบมีค่าใกล้เคียงกันของทั้งสองแบบสมการอัตราการหายใจก็ตาม แต่ผลการทำนายยังชี้ให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของแก๊ส O_2 ณ สภาวะสมดุลที่ความหนาใดความหนาหนึ่งมีค่าแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่นในกรณีที่ทำนายโดยใช้แบบสมการ transition state พบว่าความหนาของแผ่นฟิล์มต้องมีค่าลดลงจากความหนา 33.9 ไมครอนราว 6.4% เพื่อที่จะทำให้ระดับความเข้มข้นของแก๊ส O_2 ณ สภาวะสมดุล อยู่สูงกว่าเกณฑ์วิกฤติ 10% ในขณะที่ความหนาของแผ่นฟิล์มต้องมีค่าลดลงจากความหนา 33.9 ไมครอนมากถึง 20% เพื่อให้ได้สภาวะเดียวกันเมื่อใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบจลนศาสตร์ของเอนไซม์ เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งซึ่งผลการทำนายโดยซอฟท์แวร์ MAP Design เน้นให้เห็นถึงความสำคัญของแบบสมการอัตราการหายใจที่มีต่อการคำนวณเพื่อออกแบบบรรจุภัณฑ์



รูปที่ 3.20 ผลของความหนาของแผ่นฟิล์มที่มีต่อการทำนายค่าความเข้มข้นของแก๊ส O_2 and CO_2 ณ สภาวะสมดุลโดยใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบจลนศาสตร์ของเอนไซม์ (E-model) กับ transition state (T-model)

ปัจจัยด้านพื้นที่ผิวของถุงบรรจุภัณฑ์

การยืดอายุการเก็บรักษาบลูเบอร์รีทำได้อีกวิธีคือการปรับขนาดของถุงบรรจุภัณฑ์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ในที่นี้การทดสอบทำนายอายุการเก็บรักษาทำโดยการปรับขนาดของถุงบรรจุภัณฑ์โดยให้อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรบรรจุมีค่าคงตัว ผลของขนาดถุงที่มีต่อการทำนายค่าความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ณ สภาวะสมดุลโดยใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบจลนศาสตร์ของเอนไซม์กับ transition state แสดงในรูปที่ 3.21 ในทางตรงกันข้ามกับปัจจัยด้านความหนา พบว่าความสัมพันธ์ของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 ณ สภาวะสมดุลกับขนาดถุงที่ทำนายจากทั้งสองแบบสมการอัตราการหายใจเป็นฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้น ในกรณีของตัวอย่างทดสอบนี้ผลการทำนายโดยใช้แบบสมการ transition state พบว่าพื้นที่ผิวของถุงต้องมีค่าเพิ่มขึ้นจากขนาด 0.069 m^2 ราว 6.4% เพื่อที่จะทำให้ระดับความเข้มข้นของแก๊ส O_2 ณ สภาวะสมดุล อยู่สูงกว่าเกณฑ์วิกฤติ 10% ในขณะที่พื้นที่ผิวของถุงต้องต้องมีค่าเพิ่มขึ้นมากถึง 29.3% เพื่อให้ได้สภาวะเดียวกันเมื่อใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบจลนศาสตร์ของเอนไซม์ อย่างไรก็ตามผลการทำนายให้ข้อสังเกตว่าการเพิ่มขนาดพื้นที่ผิวของถุงเพียงปัจจัยเดียวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาบลูเบอร์รีในบางกรณีอาจได้ขนาดของถุงบรรจุภัณฑ์ที่ไม่สมจริง หรือได้ขนาดถุงที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าจะใช้บรรจุมวลผลิตภัณฑ์มากๆ นั่นเอง



รูปที่ 3.21 ผลของขนาดถุงที่มีต่อการทำนายค่าความเข้มข้นของแก๊ส O_2 and CO_2 ณ สภาวะสมดุลโดยใช้แบบสมการอัตราการหายใจแบบจลนศาสตร์ของเอนไซม์ (E-model) กับ transition state (T-model)

3.3 บทสรุป

เนื้อหาในบทที่ 3 นี้ครอบคลุมรายละเอียดของผลงานวิจัย ได้แก่ ลักษณะปรากฏของซอฟท์แวร์ MAP DESIGN ตัวอย่างบางส่วนของโปรแกรมซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก รายละเอียดของฟังก์ชันการประยุกต์ใช้ซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้เพื่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์ กรณีศึกษาที่ใช้เป็นผลการทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องของอัลกอริทึมของซอฟท์แวร์ และใช้เพื่อแสดงถึงศักยภาพของซอฟท์แวร์ในการประยุกต์ใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรมอาหารเพื่อลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตสินค้าชนิดใหม่ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ นอกจากนี้ยังกล่าวถึงความสำคัญของแบบสมการอัตราการหายใจที่มีต่อผลการทำนายอายุผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
บทสรุปโครงการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักสดและผักสดแปรรูปเล็กน้อยได้ดำเนินการวิจัยเสร็จสิ้นตามขอบเขตของโครงการวิจัยดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 โดยผลงานวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่เสนอไว้ทุกประการซึ่งผลสัมฤทธิ์ของโครงการวิจัยสรุปได้ดังรายการต่อไปนี้

1. โครงการวิจัยนี้ได้พัฒนาซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศสำหรับผักสดและผักสดแปรรูปเล็กน้อยโดยตั้งชื่อซอฟท์แวร์ว่า “MAP DESIGN” โดยที่สถาปัตยกรรมของการออกแบบซอฟท์แวร์เป็นแบบ object oriented programming ที่กระชับและง่ายต่อการใช้งานจึงเป็นมิตรต่อผู้ใช้ อีกทั้งโปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นบนภาษา Visual C#.net ซึ่งจัดว่ามีความสามารถในการรองรับการพัฒนาอัลกอริทึมทางการคำนวณระบบสมการคณิตศาสตร์ที่เป็นสากลตามลักษณะพื้นฐานของภาษา C อันเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคำนวณทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ระดับสูง ดังนั้นโปรแกรมนี้จึงถือได้ว่าพัฒนาขึ้นเพื่อให้รับกับการขยายตัวอย่างรวดเร็วของภาษาโปรแกรมที่ทันสมัยที่สุดภาษาหนึ่งจึงสะดวกต่อการนำไปพัฒนาต่อเนื่องหรือพัฒนาเชื่อมโยงเข้ากับโปรแกรมอื่นๆ

ซอฟท์แวร์ “MAP DESIGN” ได้ถูกออกแบบและพัฒนาเป็นซอฟท์แวร์เดี่ยวที่สามารถทำงานได้อิสระโดยไม่ต้องอาศัยโปรแกรม Visual C#.net หรือซอฟท์แวร์อื่นร่วมด้วยนอกเหนือจากระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows และ Microsoft office เท่านั้นพัฒนาขึ้นและผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำนายของซอฟท์แวร์ โดยแสดงผลความถูกต้องของการทำนายค่าของซอฟท์แวร์ผ่านกรณีศึกษาของสองตัวอย่าง พร้อมทั้งกล่าวถึงขอบเขตและตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของซอฟท์แวร์ “MAP DESIGN”

2. เนื่องด้วยซอฟท์แวร์ “MAP DESIGN” ที่พัฒนาขึ้นภายใต้โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและพัฒนาจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และนักวิจัยได้มอบสิทธ์ดังกล่าวให้มหาวิทยาลัยจดลิขสิทธ์กับกรมทรัพย์สินทางปัญญาตามคำขอแจ้งข้อมูล**เลขที่ 121623** ภายใต้ชื่อผลงาน “โปรแกรมคำนวณเพื่อใช้ออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศและทำนายอายุการเก็บรักษาสำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้” เมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2547

3. การทดสอบความถูกต้องของซอฟท์แวร์ “MAP DESIGN” ในการประยุกต์ใช้งานจริงทำโดยการเปรียบเทียบผลการจำลองกับข้อมูลที่มีการทำการทดลองที่ได้จากวารสารเชิงวิชาการหลายฉบับ และได้นำเสนอผลงานวิจัยดังกล่าวจำนวนสามฉบับดังที่รายงานไว้ในบทบรรณานุกรมของรายงานฉบับนี้

บรรณานุกรม

Cameron A.C., Talasila P.C., and Joles D.W. (1995). Predicting film permeability needs for modified-atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. HortScience. Vol30(1): 25-34.

Day B.P.F., (1993). Fruits and Vegetables. In Parry R.T. Principles and applications of modified atmosphere packaging of food. p. 114-132. Blackie Academic & Professinoal, Chapman & Hall: Glasgow, NZ.

Fishman S., Rodov V., Peretz J., and Ben-Yehoshua S. (1995). Model for gas exchange dynamics in modified-atmosphere packages of fruits and vegetables. Journal of food science. Vol. 60, No. 5: 1078-1083, 1087.

Fishman S., Peretz J., and Ben-Yehoshua S. (1996). Mathematical model for perforation effect on oxygen and water vapor dynamics in modified-atmosphere packages. Journal of food science. Vol. 61, No. 5: 957-961.

Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., and Brecht J.K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. Journal of Food Engineering. 52, 99-119.

Kader, A.A. (1987). Respiration of gas exchange in vegetables. In J. Weichmann (Ed), Post Harvest Physiology of Vegetables. Chapter 3. Marcel Dekker: NY.

Lee, D.S., Haggar, P.E., and Yam, K.L. (1991). Model for fresh produce respiration in modified atmosphere based on principles of enzyme kinetics. Journal of Food Science. 56, 1580-1585.

Lertsiriyothin, W., Jarussinwichai, N. (2005). Computational Software for the Designing of Modified Atmosphere Packaging Used for Fresh or Precut Vegetables and Fruits ("M.A.P. Design"), Licensing No. 121623, Department of Intellectual Property, Ministry of Commerce. Thailand.

Lertsiriyothin W. (2006). Computational Software for the Designing of Modified Atmosphere Packaging Used for Fresh or Precut Vegetables and Fruits. Proceeding of the 8th Agro-Industrial Conference: Food Innovation.15-16 June 2006, Bitec, Bangna, Bangkok, Thailand.

Makino, Y., Iwasaki, K., and Hirata, T. (1996). A theoretical model for oxygen consumption in fresh produce under an atmosphere with carbon dioxide. J. agric. Eng. Res. 65:193-203.

Makino, Y. and Hirata, T. (1997) (a). Modified atmosphere packaging of fresh produce with a biodegradable laminate of chitosane-cellulose and polycaprolactone. Postharvest Biology and Technology. 10:247-254.

Makino, Y., Iwasaki, K., and Hirata, T. (1997) (b). Application of transition state theory in model

development for temperature dependence of respiration of fresh produce, J. agric. Eng. Res. 67:47-59.

Powrie W.D. and Skura B.J. (1991). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. In Ooraikul B. and Stiles M.E., Modified atmosphere packaging of food. p.169-228. Ellis Horwood: West Sussex, UK,.

Sanz C., Perez A.G., Olias R., and Olias J.M. (1999). Quality of strawberries packed with perforated polypropylene. Journal of food science. Vol. 64, No. 4: 749-752.

Silva F.M., Chau K.V., Bretch J.K. and Sargent S.A. (1999). Modified atmosphere packaging for mixed loads of horticultural commodities exposed to two postharvest temperatures. Postharvest Biology and Technology. 17: 1-9.

Song, Y. Vorsa, N., and Yam, K.L. (2002). Modeling respiration-transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry. Journal of Food Engineering. 53: 103-109.

Talasila P.C., Chau K.V., and Brecht J.K. (1995). Design of rigid modified atmosphere packages for fresh fruits and vegetables. Journal of food science. Vol. 60, No. 4: 758-761, 769.

Yam, K.L. and Lee, D.S. (1995). Design of modified atmosphere packaging for fresh produce. In M.L.

Rooney (Ed), Active food packaging. p. 55-72. Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall: Glasgow, NZ.

Zagory D. (1995). Principles and practice of modified atmosphere packaging of horticultural commodities. In Farber J.M. and Dodds K.L., Principles of modified-atmosphere and sous vide product packaging. p. 175-206. Technomic: Lancaster, Pennsylvania, US.

ภาคผนวก ก

Partial Source Code ของซอฟท์แวร์ MAP DESIGN

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
using System;
```

```
using System.Drawing;
using System.Collections;
using System.ComponentModel;
using System.Windows.Forms;
using MAP1._0.Engine;
using MAP1._0.ModelValue;
using MAP1._0.Utils;


namespace MAP1._0
{
	/// <summary>
	/// </summary>
	public class Film : System.Windows.Forms.Form
	{
		private static int option = 0;
		private static string id;
		private Util utils;

		private System.Windows.Forms.Label label1;
		private System.Windows.Forms.Label label2;
		private System.Windows.Forms.Label label3;
		private System.Windows.Forms.Label label4;
		private System.Windows.Forms.Label label5;
		private System.Windows.Forms.Label label6;
		private System.Windows.Forms.Label label7;
		private System.Windows.Forms.ListView FilmList;
		private System.Windows.Forms.ColumnHeader columnHeader1;
		private System.Windows.Forms.ColumnHeader columnHeader2;
		private System.Windows.Forms.ColumnHeader columnHeader3;
		private System.Windows.Forms.ColumnHeader columnHeader4;
		private System.Windows.Forms.ColumnHeader columnHeader5;
		private System.Windows.Forms.ColumnHeader columnHeader6;
		private System.Windows.Forms.ColumnHeader columnHeader7;
		private System.Windows.Forms.ColumnHeader columnHeader8;
		private System.Windows.Forms.Button addbnt;
		private System.Windows.Forms.Button deletebnt;
		private System.Windows.Forms.Button updatebnt;
		private System.Windows.Forms.TextBox txtname;
		private System.Windows.Forms.TextBox txtPo;
		private System.Windows.Forms.TextBox txtPco2;
		private System.Windows.Forms.TextBox txtPh2o;
		private System.Windows.Forms.TextBox txteph2o;
		private System.Windows.Forms.TextBox txtepco2;
		private System.Windows.Forms.TextBox txtepo2;
		private System.Windows.Forms.Button clearbnt;
		private System.Windows.Forms.Button okbnt;
		/// <summary>
		/// </summary>
		private System.ComponentModel.Container components = null;

		public Film()
		{
			InitializeComponent();
			utils = new Util();

		}

		/// <summary>
		/// </summary>
		protected override void Dispose( bool disposing )
		{
			if( disposing )
			{
```

```
                        if(components != null)
                        {
                              components.Dispose();
                        }
                  }
                  base.Dispose( disposing );
            }

            #region Windows Form Designer generated code
            /// <summary>
            /// </summary>
            private void InitializeComponent()
            {
                  this.label1 = new System.Windows.Forms.Label();
                  this.txtname = new System.Windows.Forms.TextBox();
                  this.txtPo = new System.Windows.Forms.TextBox();
                  this.label2 = new System.Windows.Forms.Label();
                  this.txtPco2 = new System.Windows.Forms.TextBox();
                  this.label3 = new System.Windows.Forms.Label();
                  this.txtPh2o = new System.Windows.Forms.TextBox();
                  this.label4 = new System.Windows.Forms.Label();
                  this.txteph2o = new System.Windows.Forms.TextBox();
                  this.label5 = new System.Windows.Forms.Label();
                  this.txtepco2 = new System.Windows.Forms.TextBox();
                  this.label6 = new System.Windows.Forms.Label();
                  this.txtepo2 = new System.Windows.Forms.TextBox();
                  this.label7 = new System.Windows.Forms.Label();
                  this.FilmList = new System.Windows.Forms.ListView();
                  this.columnHeader1 = new
System.Windows.Forms.ColumnHeader();
                  this.columnHeader2 = new
System.Windows.Forms.ColumnHeader();
                  this.columnHeader3 = new
System.Windows.Forms.ColumnHeader();
                  this.columnHeader4 = new
System.Windows.Forms.ColumnHeader();
                  this.columnHeader5 = new
System.Windows.Forms.ColumnHeader();
                  this.columnHeader6 = new
System.Windows.Forms.ColumnHeader();
                  this.columnHeader7 = new
System.Windows.Forms.ColumnHeader();
                  this.columnHeader8 = new
System.Windows.Forms.ColumnHeader();
                  this.addbnt = new System.Windows.Forms.Button();
                  this.deletebnt = new System.Windows.Forms.Button();
                  this.updatebnt = new System.Windows.Forms.Button();
                  this.clearbnt = new System.Windows.Forms.Button();
                  this.okbnt = new System.Windows.Forms.Button();
                  this.SuspendLayout();
                  this.label1.Location = new System.Drawing.Point(8,
16);
                  this.label1.Name = "label1";
                  this.label1.TabIndex = 0;
                  this.label1.Text = "Film Name";
                  this.txtname.Location = new System.Drawing.Point(152,
16);
                  this.txtname.Name = "txtname";
                  this.txtname.Size = new System.Drawing.Size(152, 20);
                  this.txtname.TabIndex = 1;
                  this.txtname.Text = "";
                  this.txtPo.Location = new System.Drawing.Point(320,
48);
                  this.txtPo.Name = "txtPo";
```

```
                    this.txtPo.Size = new System.Drawing.Size(96, 20);
                    this.txtPo.TabIndex = 3;
                    this.txtPo.Text = "";
                    this.label2.Location = new System.Drawing.Point(8,
48);
                    this.label2.Name = "label2";
                    this.label2.Size = new System.Drawing.Size(296, 23);
                    this.label2.TabIndex = 2;
                    this.label2.Text = "O2 permeability coefficient of a
plastic film [mol/m-s-Pa]";
                    this.txtPco2.Location = new System.Drawing.Point(320,
80);
                    this.txtPco2.Name = "txtPco2";
                    this.txtPco2.Size = new System.Drawing.Size(96, 20);
                    this.txtPco2.TabIndex = 5;
                    this.txtPco2.Text = "";
                    this.label3.Location = new System.Drawing.Point(8,
80);
                    this.label3.Name = "label3";
                    this.label3.Size = new System.Drawing.Size(296, 23);
                    this.label3.TabIndex = 4;
                    this.label3.Text = "CO2 permeability coefficient of a
plastic film [mol/m-s-Pa]";
                    this.txtPh2o.Location = new System.Drawing.Point(320,
112);
                    this.txtPh2o.Name = "txtPh2o";
                    this.txtPh2o.Size = new System.Drawing.Size(96, 20);
                    this.txtPh2o.TabIndex = 7;
                    this.txtPh2o.Text = "";
                    this.label4.Location = new System.Drawing.Point(8,
112);
                    this.label4.Name = "label4";
                    this.label4.Size = new System.Drawing.Size(312, 23);
                    this.label4.TabIndex = 6;
                    this.label4.Text = "H2O permeability coefficient of a
plastic film [m3.m/s.m2.Pa]";
                    this.txteph2o.Location = new System.Drawing.Point(320,
208);
                    this.txteph2o.Name = "txteph2o";
                    this.txteph2o.Size = new System.Drawing.Size(96, 20);
                    this.txteph2o.TabIndex = 13;
                    this.txteph2o.Text = "";
                    this.label5.Location = new System.Drawing.Point(8,
208);
                    this.label5.Name = "label5";
                    this.label5.Size = new System.Drawing.Size(160, 23);
                    this.label5.TabIndex = 12;
                    this.label5.Text = "Activation enegry H2O [J/mol]";
                    this.txtepco2.Location = new System.Drawing.Point(320,
176);
                    this.txtepco2.Name = "txtepco2";
                    this.txtepco2.Size = new System.Drawing.Size(96, 20);
                    this.txtepco2.TabIndex = 11;
                    this.txtepco2.Text = "";
                    this.label6.Location = new System.Drawing.Point(8,
176);
                    this.label6.Name = "label6";
                    this.label6.Size = new System.Drawing.Size(160, 23);
                    this.label6.TabIndex = 10;
                    this.label6.Text = "Activation enegry CO2 [J/mol]";
                    this.txtepo2.Location = new System.Drawing.Point(320,
144);
                    this.txtepo2.Name = "txtepo2";
                    this.txtepo2.Size = new System.Drawing.Size(96, 20);
```

```
                    this.txtepo2.TabIndex = 9;
                    this.txtepo2.Text = "";
                    this.label7.Location = new System.Drawing.Point(8,
144);
                    this.label7.Name = "label7";
                    this.label7.Size = new System.Drawing.Size(160, 23);
                    this.label7.TabIndex = 8;
                    this.label7.Text = "Activation enegry O2 [J/mol]";
                    this.FilmList.Columns.AddRange(new
System.Windows.Forms.ColumnHeader[]
                    {
                          this.columnHeader8,
                  this.columnHeader1,
                  this.columnHeader2,
                  this.columnHeader3,
                  this.columnHeader4,
                  this.columnHeader5,
                  this.columnHeader6,
                  this.columnHeader7});
                    this.FilmList.FullRowSelect = true;
                    this.FilmList.GridLines = true;
                    this.FilmList.Location = new System.Drawing.Point(8,
248);
                    this.FilmList.Name = "FilmList";
                    this.FilmList.Size = new System.Drawing.Size(424, 97);
                    this.FilmList.TabIndex = 14;
                    this.FilmList.View =
System.Windows.Forms.View.Details;
                    this.FilmList.DoubleClick += new
System.EventHandler(this.FilmList_DoubleClick);
                    this.columnHeader1.Text = "PolymerName";
                    this.columnHeader2.Text = "Permeability O2";
                    this.columnHeader3.Text = "Permeability CO2";
                    this.columnHeader4.Text = "Permeability H2O";
                    this.columnHeader5.Text = "Activation enegry O2";

                    this.columnHeader6.Text = "Activation enegry CO2";
                    this.columnHeader7.Text = "Activation enegry H2O";
                    this.columnHeader8.Text = "id";
                    this.columnHeader8.Width = 0;
                    this.addbnt.Location = new System.Drawing.Point(432,
48);
                    this.addbnt.Name = "addbnt";
                    this.addbnt.TabIndex = 15;
                    this.addbnt.Text = "Add";
                    this.addbnt.Click += new
System.EventHandler(this.addbnt_Click);
                    this.deletebnt.Location = new
System.Drawing.Point(432, 112);
                    this.deletebnt.Name = "deletebnt";
                    this.deletebnt.TabIndex = 16;
                    this.deletebnt.Text = "Delete";
                    this.deletebnt.Click += new
System.EventHandler(this.deletebnt_Click);
                    this.updatebnt.Location = new
System.Drawing.Point(432, 80);
                    this.updatebnt.Name = "updatebnt";
                    this.updatebnt.TabIndex = 17;
                    this.updatebnt.Text = "Update";
                    this.updatebnt.Click += new
System.EventHandler(this.updatebnt_Click);
                    this.clearbnt.Location = new System.Drawing.Point(432,
184);
                    this.clearbnt.Name = "clearbnt";
```

```
                this.clearbnt.TabIndex = 18;
                this.clearbnt.Text = "Cancel";
                this.clearbnt.Click += new
System.EventHandler(this.clearbnt_Click);
                this.okbnt.Location = new System.Drawing.Point(432,
152);
                this.okbnt.Name = "okbnt";
                this.okbnt.TabIndex = 19;
                this.okbnt.Text = "Ok";
                this.okbnt.Click += new
System.EventHandler(this.okbnt_Click);
                this.AutoScaleBaseSize = new System.Drawing.Size(5,
13);
                this.ClientSize = new System.Drawing.Size(512, 358);
                this.Controls.Add(this.okbnt);
                this.Controls.Add(this.clearbnt);
                this.Controls.Add(this.updatebnt);
                this.Controls.Add(this.deletebnt);
                this.Controls.Add(this.addbnt);
                this.Controls.Add(this.FilmList);
                this.Controls.Add(this.txteph2o);
                this.Controls.Add(this.label5);
                this.Controls.Add(this.txtepco2);
                this.Controls.Add(this.label6);
                this.Controls.Add(this.txtepo2);
                this.Controls.Add(this.label7);
                this.Controls.Add(this.txtPh2o);
                this.Controls.Add(this.label4);
                this.Controls.Add(this.txtPco2);
                this.Controls.Add(this.label3);
                this.Controls.Add(this.txtPo);
                this.Controls.Add(this.label2);
                this.Controls.Add(this.txtname);
                this.Controls.Add(this.label1);
                this.Name = "Film";
                this.ShowInTaskbar = false;
                this.StartPosition =
System.Windows.Forms.FormStartPosition.CenterScreen;
                this.Text = "Film";
                this.Load += new System.EventHandler(this.Film_Load);
                this.ResumeLayout(false);

        }
        #endregion

        /// <summary>
        /// </summary>
        protected static int OPTION
        {
              get{return option;}
              set{option = value;}
        }
        /// <summary>
        /// </summary>
        protected static string ID
        {
              get{return id;}
              set{id = value;}
        }
        private void Film_Load(object sender, System.EventArgs e)
        {
              SetFilmList();
              DisableAll();
        }
```

```
            private void SetFilmList()
            {
                  FilmList.Items.Clear();
                  FilmValue[] Value = new FilmManager().ListFilm();
                  IEnumerator film_enum = Value.GetEnumerator();
                  while(film_enum.MoveNext())
                  {
                        FilmValue film = (FilmValue)film_enum.Current;
                        ListViewItem list = new
ListViewItem(film.ID.ToString());
                        list.SubItems.Add(film.POLYMERNAME);
                        list.SubItems.Add(film.PO2.ToString());
                        list.SubItems.Add(film.PCO2.ToString());
                        list.SubItems.Add(film.EPO2.ToString());
                        list.SubItems.Add(film.EPCO2.ToString());
                        list.SubItems.Add(film.PH2O.ToString());
                        list.SubItems.Add(film.EPH2O.ToString());
                        FilmList.Items.Add(list);
                  }
            }

            private void FilmList_DoubleClick(object sender,
System.EventArgs e)
            {
                  ID = this.FilmList.FocusedItem.SubItems[0].Text;
                  txtname.Text =
this.FilmList.FocusedItem.SubItems[1].Text;
                  txtPo.Text = FilmList.FocusedItem.SubItems[2].Text;
                  txtPco2.Text = FilmList.FocusedItem.SubItems[3].Text;
                  txtepo2.Text = FilmList.FocusedItem.SubItems[4].Text;
                  txtepco2.Text = FilmList.FocusedItem.SubItems[5].Text;
                  txtPh2o.Text = FilmList.FocusedItem.SubItems[6].Text;
                  txteph2o.Text = FilmList.FocusedItem.SubItems[7].Text;

                  DisableAll();
            }

            private void EnableAll()
            {
                  txtname.Enabled = true;
                  txtPo.Enabled = true;
                  txtPco2.Enabled = true;
                  txtepo2.Enabled = true;
                  txtepco2.Enabled = true;
                  txtPh2o.Enabled = true;
                  txteph2o.Enabled = true;
            }
            private void DisableAll()
            {
                  txtname.Enabled = false;
                  txtPo.Enabled = false;
                  txtPco2.Enabled = false;
                  txtepo2.Enabled = false;
                  txtepco2.Enabled = false;
                  txtPh2o.Enabled = false;
                  txteph2o.Enabled = false;
            }
            private void ClearTextAll()
            {
                  txtname.Text = "";
                  txtPo.Text = "";
                  txtPco2.Text = "";
                  txtepo2.Text = "";
```

```
                txtepco2.Text = "";
                txtPh2o.Text = "";
                txteph2o.Text = "";
            }

            private void addbnt_Click(object sender, System.EventArgs e)
            {
                OPTION = 1;
                ClearTextAll();
                EnableAll();
            }

            private void clearbnt_Click(object sender, System.EventArgs
e)
            {
                ClearTextAll();
                DisableAll();
            }

            private void updatebnt_Click(object sender, System.EventArgs
e)
            {
                OPTION = 2;
                EnableAll();
            }

            private void deletebnt_Click(object sender, System.EventArgs
e)
            {
                DisableAll();
                if(MessageBox.Show("Are you sure you want to delete?",
"Confirm", MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Question) ==
DialogResult.Yes)
                {
                    new FilmManager().DeleteFilm(ID);
                    ClearTextAll();
                    SetFilmList();
                }
            }

            private void okbnt_Click(object sender, System.EventArgs e)
            {
                if(OPTION == 1)
                {
                    try
                    {
                        if(null != new
FilmManager().GetFilmByName(txtname.Text))
                        {
                            utils.alert("Film is duplicate");
                        }
                        else
                        {
                            FilmValue film = new FilmValue();
                            film.POLYMERNAME = txtname.Text;
                            film.PO2 =
Convert.ToDouble(txtPo.Text.ToString());
                            film.PCO2 =
Convert.ToDouble(txtPco2.Text);
                            film.EPO2 =
Convert.ToDouble(txtepo2.Text);
                            film.EPCO2 =
Convert.ToDouble(txtepco2.Text);
```

```
                                    film.PH2O =
Convert.ToDouble(txtPh2o.Text);
                                    film.EPH2O =
Convert.ToDouble(txteph2o.Text);
                                    new FilmManager().AddFilm(film);
                                    utils.alert("เพิ่ม film เรียบร้อย");
                                    SetFilmList();
                              }
                        }
                        catch(InvalidCastException invalid)
                        {
                              Console.WriteLine(invalid.ToString());
                              utils.alert("Please fill all the field ");
                        }
                        catch(FormatException invalid)
                        {
                              Console.WriteLine(invalid.ToString());
                              utils.alert("Please fill all the field ");
                        }
                  }
                  else if (OPTION == 2)
                  {
                        try
                        {
                              FilmValue film = new FilmValue();
                              film.POLYMERNAME = txtname.Text;
                              film.PO2 =
Convert.ToDouble(txtPo.Text.ToString());
                              film.PCO2 =
Convert.ToDouble(txtPco2.Text);
                              film.EPO2 =
Convert.ToDouble(txtepo2.Text);
                              film.EPCO2 =
Convert.ToDouble(txtepco2.Text);
                              film.PH2O =
Convert.ToDouble(txtPh2o.Text);
                              film.EPH2O =
Convert.ToDouble(txteph2o.Text);
                              film.ID = Convert.ToInt32(ID);
                              new FilmManager().UpdateFilm(film);
                              utils.alert("แก้ไข film เรียบร้อย");
                              SetFilmList();
                        }
                        catch(InvalidCastException invalid)
                        {
                              Console.WriteLine(invalid.ToString());
                              utils.alert("Please fill all the field ");
                        }
                        catch(FormatException invalid)
                        {
                              Console.WriteLine(invalid.ToString());
                              utils.alert("Please fill all the field ");
                        }
            }
            }
      }
}
```

```
using System;
using System.Drawing;
using System.Collections;
using System.ComponentModel;
using System.Windows.Forms;
using System.Data.OleDb;
using System.Data.SqlClient;
using System.Data;
using MAP1._0.Utils;
using MAP1._0.ModelValue;
using MAP1._0.Engine;

namespace MAP1._0.Core
{
	/// <summary>
	/// Summary description for calModel3.
	/// </summary>
	public class calModel3
	{
		private ToleranceManager toleranceManager;
		private TotalTableValue totalValue = null;
		private MAPManager mapManager = null;
		private MoistureValue moistureValue = null;
		private Moisture moisture = null;
		private Model model = null;
		public calModel3(object obj)
		{
			toleranceManager = new ToleranceManager();
			mapManager = new MAPManager();
			totalValue = new TotalTableValue();
			moistureValue = new MoistureValue();
			moisture = new Moisture();
			model = (Model)obj;
		}
		public void Cal(Model3Value model3, string tableName, string
plantName)
		{

		mapManager.DeleteDataFromTable(tableName);

			ToleranceValue tolerance =
toleranceManager.GetToleranceByPrimaryKey(plantName);
			if(tolerance.TOLERANCE_ID == 0)
			{
				totalValue.TO2 = 10;
				totalValue.TCO2 = 2;
			}
```

```
                    else
                    {
                          totalValue.TO2 = tolerance.TO2;
                          totalValue.TCO2 = tolerance.TCO2;
                    }

                    double time;
                    int h=Utils.Constant.STEP_SIZE;
                    double t=0,no,nc;
                    double mo1,mo2,mo3,mo4,mc1,mc2,mc3,mc4;

                    double nT = 0;


                    time = model3.DAY*24*60*60;

                    model.progressBar1.Maximum = Convert.ToInt32(time);
                    model.progressBar1.Minimum = 0;

                    // start loop
                    for(int i=0;i<=time;i+=h)
                    {
                          totalValue.TIME = i;
                          moistureValue.TIME = i;
                          totalValue.RO = model3.RO;
                          totalValue.RC = model3.RC;

                          if(i == 0)
                          {
                                #region Start calculate initial Condition

      totalValue.PO = (model3.YO0*101325)/100;
                                totalValue.PCO = (model3.YCO0*101325)/100;
                                totalValue.NO0 =
((totalValue.PO*model3.VOLUME)/(8.314*model3.TSTORAGE));

                                nT =
((101325*model3.VOLUME)/(8.314*model3.TSTORAGE));

                                totalValue.PNO =
(totalValue.PO*100)/(101325);
                    #endregion

                                moistureValue =
moisture.CalculateInitialCondition(model3,totalValue);
                          }
                          else
                          {
                                model.progressBar1.Value +=
Utils.Constant.STEP_SIZE;

                                #region Calculate package design
                                mo1 =
eqno(model3,totalValue,t,totalValue.NO0);
                                mo2 =
eqno(model3,totalValue,t+0.5*h,totalValue.NO0+0.5*h*mo1);
                                mo3 =
eqno(model3,totalValue,t+0.5*h,totalValue.NO0+0.5*h*mo2);
                                mo4 =
eqno(model3,totalValue,t+h,totalValue.NO0+h*mo3);
                                no =
totalValue.NO0+((mo1+(2.0*mo2)+(2.0*mo3)+mo4)*(h/6));
```

```
                                totalValue.NO0 = no;
                                totalValue.PO =
(8.314*totalValue.NO0*model3.TSTORAGE)/model3.VOLUME;

                                totalValue.PNO =
(totalValue.NO0*100)/(nT);

                                if(totalValue.PNO < 0 )
                                      totalValue.PNO = 0;
                                #endregion

                                #region Calculate Moisture
                                moistureValue =
moisture.CalculateMoisture(model3,totalValue,t);
                                #endregion
                          }

      mapManager.InsetResult(totalValue,tableName);

      mapManager.InsetMoisture(moistureValue,tableName);

                  }
                  model.progressBar1.Value = 0;
                  MessageBox.Show("การคำนวณเสร็จสิ้น
แล้ว","Information",MessageBoxButtons.OK,MessageBoxIcon.Information);

            }
            #region
            private double eqno(Model3Value model3,TotalTableValue
totalValue,double t,double no0)
            {
                  return
((model3.PO/model3.THICKNESS)*model3.AREA*(21283.0-totalValue.PO))-
(model3.RO*model3.MASS);
            }

            #endregion
      }
}

using System;
using System.Drawing;
using System.Collections;
using System.ComponentModel;
using System.Windows.Forms;
using System.Data.OleDb;
using System.Data.SqlClient;
using System.Data;
using MAP1._0.ModelValue;
using MAP1._0.Utils;

namespace MAP1._0.Engine
{
      /// <summary>
      /// </summary>
      public class MAPManager
      {
            public MAPManager()
            {

            }
            /// <summary>
            /// <b> </b>
```

```
        /// </summary>
        /// <param name="tableName">Table name</param>
        public void DeleteDataFromTable(string tableName)
        {
            OleDbConnection conn = new
OleDbConnection(Utils.Constant.STRCONN_TOTALTABLE);
            OleDbConnection conn1 = new
OleDbConnection(Utils.Constant.STRCONN_MOISTURE);
            if(conn.State == ConnectionState.Open)
            {
                conn.Close();
            }
            conn.Open();
            if(conn1.State == ConnectionState.Open)
            {
                conn1.Close();
            }
            conn1.Open();

            string sqlDelete = "DELETE FROM "+tableName;

            OleDbCommand comDelete = new OleDbCommand();

            comDelete.CommandType = CommandType.Text;
            comDelete.CommandText = sqlDelete;
            comDelete.Connection = conn;

            OleDbCommand comDelete1 = new OleDbCommand();

            comDelete1.CommandType = CommandType.Text;
            comDelete1.CommandText = sqlDelete;
            comDelete1.Connection = conn1;
            try
            {
                comDelete.ExecuteNonQuery();
                comDelete1.ExecuteNonQuery();
            }
            catch (Exception e)
            {
                Console.WriteLine(e.ToString());
            }
            finally
            {
                conn.Close();
                conn1.Close();
            }
        }

        /// <summary>
        /// </summary>
        /// <param name="totalValue"></param>
        /// <param name="tablename"></param>
        public void InsetResult(TotalTableValue totalValue,string
tablename)
        {
            OleDbConnection myConnection = null;
            OleDbCommand command = null;

            myConnection = new
OleDbConnection(Utils.Constant.STRCONN_TOTALTABLE);
            if(myConnection.State == ConnectionState.Open)
            {
                myConnection.Close();
            }
```

```
                    myConnection.Open();

                    string sqlAdd = "INSERT INTO "+tablename+" VALUES
(@time,@no0,@po,@nc0,@pco,@pno,@pnc,@Ro,@Rc,@TO2,@TCO2)";

                    command = new OleDbCommand();
                    command.CommandType = CommandType.Text;
                    command.CommandText = sqlAdd;
                    command.Connection = myConnection;
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@time",totalValue.TIME));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@no0",totalValue.NO0));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@po",totalValue.PO));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@nc0",totalValue.NC0));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@pco",totalValue.PCO));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@pno",totalValue.PNO));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@pnc",totalValue.PNC));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@Ro",totalValue.RO));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@Rc",totalValue.RC));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@TO2",totalValue.TO2));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@TCO2",totalValue.TCO2));

                    try
                    {
                          command.ExecuteNonQuery();
                          myConnection.Close();
                    }
                    catch(Exception e)
                    {
                          Console.WriteLine(e.ToString());
                    }
              }
              /// <summary>
              /// </summary>
              /// <param name="moistureValue"></param>
              /// <param name="tablename"></param>
              public void InsetMoisture(MoistureValue moistureValue,string
tablename)
              {
                    OleDbConnection myConnection = null;
                    OleDbCommand command = null;

                    myConnection = new
OleDbConnection(Utils.Constant.STRCONN_MOISTURE);
                    if(myConnection.State == ConnectionState.Open)
                    {
                          myConnection.Close();
                    }
                    myConnection.Open();

                    string sqlAdd = "INSERT INTO "+tablename+"
VALUES(@time,@tplant,@W0,@m2,@m1,@perRH,@ma) ";

                    command = new OleDbCommand();
```

```
                    command.CommandType = CommandType.Text;
                    command.CommandText = sqlAdd;
                    command.Connection = myConnection;
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@time",moistureValue.TIME));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@tplant",moistureValue.TP));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@W0",moistureValue.ABSOLUTE_HUMIDITY));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@m2",moistureValue.M2));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@m1",moistureValue.M1));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@perRH",moistureValue.PERCENT_RH));
                    command.Parameters.Add(new
OleDbParameter("@ma",moistureValue.MA));

                    try
                    {
                          command.ExecuteNonQuery();
                          myConnection.Close();
                    }
                    catch(Exception e)
                    {
                          Console.WriteLine(e.ToString());
                    }
              }
              /// <summary>
              /// </summary>
              /// <param name="connection"></param>
              /// <param name="tablename"></param>
              /// <param name="column"></param>
              /// <returns></returns>
              public double[] GetAxis(string connection,string
tablename,string column)
              {
                    OleDbConnection myConnection = new
OleDbConnection(connection);
                    string queryaxis = "select "+column+" from
"+tablename;
                    OleDbCommand cmd = new OleDbCommand(queryaxis,
myConnection);
                    OleDbDataAdapter myAdapterFilm = new OleDbDataAdapter(
queryaxis, myConnection );
                    DataSet axis= new DataSet();
                    myAdapterFilm.Fill (axis, column);
                    myConnection.Open();
                    OleDbDataReader reader;
                    reader = cmd.ExecuteReader();
                    int Row = axis.Tables[column].Rows.Count;
                    double[] X = new double[Row];
                    for(int i=0;i<Row;i++)
                    {
                          reader.Read();
                          X[i] = reader.GetDouble(0);
                    }
                    myConnection.Close();
                    return X;
              }

        }
}
```

```
using System;

namespace MAP1._0.ModelValue
{
	/// <summary>
	/// </summary>
	public class Model3Value : GeneralValue
	{
		public Model3Value()
		{
			//
			// TODO: Add constructor logic here
			//
		}
		/// <summary>
		/// This Constructor have General Value
		/// </summary>
		/// <param name="generalValue">Set GeneralValue</param>
		///
		public Model3Value(GeneralValue generalValue)
		{
			PO = generalValue.PO;
			PCO = generalValue.PCO;
			TPLANT = generalValue.TPLANT;
			TSTORAGE = generalValue.TSTORAGE;
			MASS = generalValue.MASS;
			YO0 = generalValue.YO0;
			YCO0 = generalValue.YCO0;
			DAY = generalValue.DAY;
			ALPHA = generalValue.ALPHA;
			AREA = generalValue.AREA;
			THICKNESS = generalValue.THICKNESS;
			VOLUME = generalValue.VOLUME;
			RHINT = generalValue.RHINT;
			RHEXT = generalValue.RHEXT;
			HEAT_OUTSIDE = generalValue.HEAT_OUTSIDE;
			HEAT_INSIDE = generalValue.HEAT_INSIDE;
			IsHEAT_INSIDE_NOTNULL =
generalValue.IsHEAT_INSIDE_NOTNULL;
			IsHEAT_OUTSIDE_NOTNULL =
generalValue.IsHEAT_OUTSIDE_NOTNULL;
			Pw = generalValue.Pw;
		}
		private double rq;
		private double rc;
		private double ro;

		/// <summary>
		/// Get or Set RQ
		/// </summary>
		public double RQ
		{
			get{return rq;}
			set{rq = value;}
		}
		/// <summary>
		/// Get or Set RC
		/// </summary>
		public double RC
		{
			get{return rc;}
			set{rc = value;}
		}
		/// <summary>
```

```
		/// Get or Set RO
		/// </summary>
		public double RO
		{
			get{return ro;}
			set{ro = value;}
		}
	}
}

using System;
using MAP1._0.ModelValue;
using MAP1._0.Engine;
using NUnit.Framework;
using System.Collections;
namespace MAP1._0.Test
{
	/// <summary>
	/// </summary>
	[TestFixture]
	public class TestFilmManager
	{
		public TestFilmManager()
		[Test]
		public void TestGetAllFilm()
		{
			FilmValue[] Value =  new FilmManager().ListFilm();
			IEnumerator ienum = Value.GetEnumerator();
			while(ienum.MoveNext())
			{
				FilmValue film = (FilmValue)ienum.Current;
				Assert.IsNotNull(film);
			}
		}
		[Test]
		public void TestGetFilm()
		{
			FilmValue film = new
FilmManager().GetFilmByName("Orega");
			Assert.IsNotNull(film);
		}
		[Test]
		public void TestAddFilm()
		{
			FilmValue film = new FilmValue();
			film.POLYMERNAME = "Film";
			film.PO2 = 0;
			film.PCO2 = 1;
			film.EPO2 = 2;
			film.EPCO2 = 3;
			film.PH2O = 4;
			film.EPH2O = 5;
			new FilmManager().AddFilm(film);

			FilmValue filmValue = new
FilmManager().GetFilmByName("Film");
			Assert.AreEqual(filmValue.POLYMERNAME,"Film");
			Assert.AreEqual(filmValue.PO2,0);
			Assert.AreEqual(filmValue.PCO2,1);
			Assert.AreEqual(filmValue.EPO2,2);
			Assert.AreEqual(filmValue.EPCO2,3);
			Assert.AreEqual(filmValue.PH2O,4);
			Assert.AreEqual(filmValue.EPH2O,5);
		}
```

```
            [Test]
            public void TestUpdateFilm()
            {
                  FilmValue film = new FilmValue();
                  film.POLYMERNAME = "Film1";
                  film.PO2 = 5;
                  film.PCO2 = 4;
                  film.EPO2 = 3;
                  film.EPCO2 = 2;
                  film.PH2O = 1;
                  film.EPH2O = 0;
                  new FilmManager().UpdateFilm(film);

                  FilmValue filmValue = new
FilmManager().GetFilmByName("Film1");
                  Assert.AreEqual(filmValue.POLYMERNAME,"Film1");
                  Assert.AreEqual(filmValue.PO2,5);
                  Assert.AreEqual(filmValue.PCO2,4);
                  Assert.AreEqual(filmValue.EPO2,3);
                  Assert.AreEqual(filmValue.EPCO2,2);
                  Assert.AreEqual(filmValue.PH2O,1);
                  Assert.AreEqual(filmValue.EPH2O,0);
            }

      }
}
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกจาก Department of Food Science, Rutgers, the State University of New Jersey, US ปี ค.ศ. 2001 และระดับปริญญาโทจาก School of Packaging, Michigan State University, US ปี ค.ศ. 1997 มีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ และวิศวกรรมอาหาร นอกจากงานสอนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ และวิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาบัณฑิต และดุษฎีบัณฑิต ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง ยังสนใจดำเนินงานวิจัยอย่างต่อเนื่องโดยดำรงตำแหน่งเป็นหัวหน้าหน่วยวิจัยนวัตกรรมบรรจุภัณฑ์และอาหาร (Packaging and Food Innovation Research Unit, PFIR) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยผลิตผลงานวิจัยในสาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ซึ่งครอบคลุม งานวิจัยด้านวัสดุบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจนถึงงานพัฒนาซอฟท์แวร์ประยุกต์ด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ และงานวิจัยด้านนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตอาหาร และงานพัฒนาแบบความสัมพันธ์ทางวิศวกรรมการผลิตอาหาร ได้แก่ food process modeling, extrusion processing, non-thermal processing, plasma technology, rheological modeling & measurement และ advanced sensing device.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี