สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบวิธีการคำนวณหาอัตราส่วนผสมของอาหาร 3 ชนิด

(Designing the Method for Calculating the proportion of 3 Ingredients)

โดย

นายการุณ สุขสองห้อง

นางสาวนิติยา ศิริทรัพย์

นางสาวเนตรดาว อดิศรพันธ์กุล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....42326
วัน, เดือน, ปี 17 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่องการออกแบบโปรแกรมคำนวณหาอัตราส่วนผสมของอาหาร 3 ชนิด

ผู้จัดทำ

นายการุณ สุขสองห้อง

นางสาวนิติยา ศิริทรัพย์

นางสาวเนตรดาว อดิศรพันธ์กุล

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์กันต์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวิธีการคำนวณหาอัตราส่วนผสมของอาหาร 3 ชนิด

นายการุณ สุขสองห้อง
นางสาวนิติยา ศิริทรัพย์
นางสาวเนตรดาว อดิศรพันธ์กุล

อาจารย์กันต์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการนำอาหารหลายชนิดมาผสมกันเป็นอาหารประเภทพร้อมรับประทาน เมื่ออาหารที่มีอัตราส่วนไม่เหมาะสมอยู่ในสภาวะสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาย ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่อยู่ในเกณฑ์คุณภาพที่ยอมรับได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาสมการการทำนายและออกแบบวิธีการคำนวณเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ โดยที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในขอบเขตคุณภาพที่ยอมรับได้ เพื่อแก้ปัญหาข้างต้น

จากการออกแบบวิธีการและคำนวณหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์(ปลาข้าวสารทอด,ถั่วลันเตาอบกรอบและลูกเกด) โดยอาศัยวิธีการทำนายของ Lang และ Steinberg ซึ่งใช้ข้อมูลจากกราฟวอเตอร์ชอร์ปชั่นไอโซเทอร์มและการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ได้จากการทดลอง พบว่าช่วงคุณภาพที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์คือช่วงวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.3243-0.5286 และยังพบอีกว่าอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคำนวณ โดยเมื่อกำหนดให้อัตราส่วนของปลา-ข้าวสารทอดและถั่วลันเตาอบกรอบเป็น 5 ต่อ 5 กรัมแล้ว ปริมาณที่เหมาะสมของลูกเกดจะอยู่ในช่วง 1.37-8.38 กรัม ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Designing the Method for Calculating the proportion of 3 Ingredients

Karoon Suksonghong

Nitiya Sirisup

Natedao Adisornpunkul

Miss Kankanit Tanasiriwatana Advisor

Abstract

When packaged instant food which consists of two or more ingredients is in equilibrium, it will change physically, chemically and microbiologically, if its proportion is improper. As a result, the product's quality will be reduced and unacceptable. The objective of this research was to study a predicting equation and to design a method for calculating a proper proportion of a product to solve the problem mentioned above.

Due to the method design and the calculation of the proper proportion of the ingredients (anchovy, peanut and raisin) by using Lang and Steinberg's method, which bases on water sorption isotherm graph and on the sensory test of the experiment, the water activity range of the product whose quality was acceptable was 0.3273-0.5286. In addition, it was found that, with the proportion of anchovy: peanut, 5:5 g., the proper proportion range of raisin, that made the product's quality acceptable, was 1.37-8.38 g.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญรูปภาพ	ค
สารบัญตาราง	จ
บทที่ 1 บทนำและจุดประสงค์ของโครงงาน	1
1.1 บทนำ	
1.2 วัตถุประสงค์	
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัย	2
2.1 ทฤษฎีความชื้น	
2.2 ทฤษฎีคุณสมบัติของอากาศ-น้ำ	
2.3 วอเตอร์แอกติวิตี้	
2.4 ไอโซเทอร์ม	
2.5 ลักษณะกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม	
2.6 วอเตอร์ซอร์ปชั่นของของผสม	
2.7 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	
2.8 การเลือกบรรจุภัณฑ์	
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	17
บทที่ 4 วิธีการคำนวณ	22
บทที่ 5 ผลการทดลอง	24
บทที่ 6 ตัวอย่างการคำนวณ	28
บทที่ 7สรุปผลการทดลอง	31
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	32
ภาคผนวก ข	33
ภาคผนวก ค	34
ภาคผนวก ง	35
ภาคผนวก จ	35
ภาคผนวก ฉ	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช 36
ภาคผนวก ซ 37
กิตติกรรมประกาศ 38
เอกสารอ้างอิง 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่1 แสดงการแลกเปลี่ยนความชื้นของผลิตภัณฑ์กับอากาศ	4
รูปที่2 แสดงอิทธิพลของวอเตอร์แอกติวิตี้ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆในอาหาร	7
รูปที่3 แสดงการสูญเสียความกรอบของอาหารที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ต่างๆกัน	8
รูปที่4 แสดงวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มอาหารโดยทั่วไปที่มีความชื้นสูง	9
รูปที่5 แสดงวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของอาหารบางชนิดที่มีความชื้นต่ำที่อุณหภูมิ 20 ^{0}C	10
รูปที่6 แสดงวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอเทอร์มที่อุณหภูมิต่างๆกัน	10
รูปที่7 แสดงให้เห็นน้ำในแต่ละโซน	11
รูปที่8 แสดงฮีสเทอเรซีสของซอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม	13
รูปที่9 กราฟแสดงประเภทของวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มทั้ง 3 ชนิด	13
รูปที่10 กราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม ของเมล็ดทานตะวัน	14
รูปที่11 กราฟ วอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม ของลูกเกด ที่ 30 องศาเซลเซียส	14
รูปที่12 แสดงการหาปริมาณความชื้นที่วอเตอร์แอกติวิตี้ต่างๆของอาหาร	18
รูปที่13 แสดงการหาปริมาณความชื้นที่วอเตอร์แอกติวิตี้ต่างๆของอาหารแต่ละชนิด	18
รูปที่14 อุปกรณ์วัดความแข็งของอาหาร	19
รูปที่15 แสดงการทดลองวัดความแข็งของอาหาร	20
รูปที่16- แสดงการหาค่าปริมาณของแข็งในอาหาร	21
รูปที่17 กราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของปลาข้าวสารทอด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	24
รูปที่18 กราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของถั่วลันเตาอบกรอบ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	24
รูปที่19 กราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของลูกเกด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	25
รูปที่20 กราฟแสดงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของปลาข้าวสารทอด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	25
รูปที่21 กราฟแสดงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของถั่วลันเตาอบกรอบ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่22 กราฟแสดงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของลูกเกดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 26
รูปที่23 กราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของผลิตภัณฑ์(ปลาข้าวสารทอด, 29
ถั่วลันเตาอบกรอบและลูกเกด)ในอัตราส่วน 5 กรัม : 5กรัม: 4.62 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง

ตารางที่1 แสดงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของอาหารบางประเภท 6

ตารางที่2 เปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ต่างระหว่างการคำนวณ และการทดลองของอาหารผสม(แป้งข้าวโพด:ซูโครส:เกลือ)ในอัตราส่วน 80:10:10 16

ตารางภาคผนวก ก ข้อมูลเกี่ยวกับการทำกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของปลาข้าวสารทอดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 32

ตารางภาคผนวก ข ข้อมูลเกี่ยวกับการทำกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของถั่วลันเตาอบกรอบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 33

ตารางภาคผนวก ค ข้อมูลเกี่ยวกับการทำกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของลูกเกดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 34

ตารางภาคผนวก ง ผลการทดลองวัดค่ามุม(องศา)ที่เหมาะสมของปลาข้าวสารทอดในสภาวะปกติโดยใช้เครื่องมือทดสอบ 35

ตารางภาคผนวก จ ผลการทดลองจำนวนปลาที่แตกที่สภาวะวอเตอร์แอคติวิตี้ต่างๆ (ที่มุม 25 องศา) 35

ตารางภาคผนวก ฉ ผลการทดลองวัดค่ามุม(องศา)ที่เหมาะสมของถั่วลันเตาอบกรอบในสภาวะปกติโดยใช้เครื่องมือทดสอบ 36

ตารางภาคผนวก ช ผลการทดลองลักษณะการแตกของถั่วลันเตาที่สภาวะวอเตอร์แอคติวิตี้ต่างๆ (ที่มุม 40 องศา) 36

ตารางภาคผนวก ซ ผลการทดลองวัดความนุ่มของลูกเกดโดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบ 11 คน 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำและจุดประสงค์ของโครงงาน

บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันมีการแข่งขันทางเศรษฐกิจ เวลาจึงเป็นตัวกำหนดการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับอาหารประเภทใดก็ตามควรจะมีสารอาหารครบถ้วนและไม่เสียเวลาในการประกอบอาหารก็จะเป็นที่นิยมของผู้บริโภค อย่างเช่นอาหารประเภทพร้อมรับประทานต่างๆ ยิ่งถ้าได้คุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนแล้วก็จะเป็นการดีอย่างยิ่ง ดังนั้นจึงมีการริเริ่มผสมอาหารหลายชนิดเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทาน เพื่อวัตถุประสงค์ข้างต้น

ปัญหาสำคัญที่เกิดกับการผสมอาหารหลายชนิด คือ การเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพเช่น การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ผลิตภัณฑ์ที่กรอบอาจจะนุ่มหรือผลิตภัณฑ์ที่นุ่มจะแข็งไป การเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การเหม็นหืน การเกิดสีน้ำตาล ดังนั้นการหาสัดส่วนน้ำหนักที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในการยอมรับของผู้บริโภค

1.2. จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. หาค่าวอเตอร์ชอร์ปชั่นไอโซเทอร์มและกำหนดปัจจัยคุณภาพที่สำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคของส่วนผสมแต่ละชนิดตลอดจน เพื่อกำหนดขอบเขตคุณภาพที่เหมาะสม
2. ศึกษาสมการการทำนายสภาวะสมดุลของอาหารผสม เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบวิธีการคำนวณหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัย

2.1. ทฤษฎีความชื้น (รัชนี,2537)

Jason(1992) ได้ให้นิยามความชื้นว่า ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารหรือวัสดุใดๆ มักกำหนดเป็นอัตราร้อยละของน้ำหนักต่อน้ำหนักของวัสดุ กำหนดไว้ 2 แบบ คือ แบบมาตรฐานเปียก (wet basis) และแบบมาตรฐานแห้ง(dry basis)

2.1.1. ปริมาณความชื้นแบบมาตรฐานเปียก(wet basis)

เป็นอัตราร้อยละของน้ำต่อน้ำหนักทั้งหมดของวัสดุ คำนวณจาก

$$\%\text{ความชื้นมาตรฐานเปียก} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำในวัสดุ X 100}}{\text{น้ำหนักของวัสดุทั้งหมด}}$$

$$= \frac{\text{น้ำหนักของน้ำในวัสดุ X 100}}{\text{น้ำหนักของวัสดุที่แห้ง+ น้ำหนักของน้ำในวัสดุ}}$$

$$\text{หรือ\%ความชื้น } M_w = (W_m/W_t)x100$$

$$= \frac{W_m \times 100}{W_m+W_{dm}}$$

เมื่อ

W_m = น้ำหนักของน้ำในวัสดุ

W_t = น้ำหนักของวัสดุทั้งหมด

W_{dm} = น้ำหนักของวัสดุที่แห้ง

หรือ % ความชื้น $M_w = ((w-d)/w) * 100$

เมื่อ

M_w = % ความชื้นมาตรฐานเปียก

w = มวลของแข็งและน้ำหน่วยเป็นกรัม

d = มวลของแข็งหน่วยเป็นกรัม

2.1.2. ปริมาณความชื้นแบบมาตรฐานแห้ง(dry basis)

เป็นอัตราร้อยละของน้ำต่อน้ำหนักวัสดุที่แห้ง คำนวณได้จากสูตร

$$\%\text{ ความชื้นมาตรฐานแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำในวัสดุ X 100}}{\text{น้ำหนักของวัสดุที่แห้ง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ% ความชื้น M_d = $W_m/W_{dm}x100$

เมื่อ

M_d = ความชื้นมาตรฐานแห้งหน่วยเป็นกรัม

W_m = น้ำหนักของน้ำในวัสดุ

W_{dm} = น้ำหนักของวัสดุที่แห้ง

หรือ % ความชื้น M_d = $(w-d)/dx100$

เมื่อ

M_d = % ความชื้นมาตรฐานแห้ง

w = มวลของแข็งและน้ำหน่วยเป็นกรัม

d = มวลของแข็งหน่วยเป็นกรัม

2.2. ทฤษฎีคุณสมบัติของอากาศ-น้ำ (รัชนี, 2537)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) หมายถึง อุณหภูมิของอากาศซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์โดยตรง ค่าที่อ่านได้จะเป็นอุณหภูมิของอากาศแบบ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

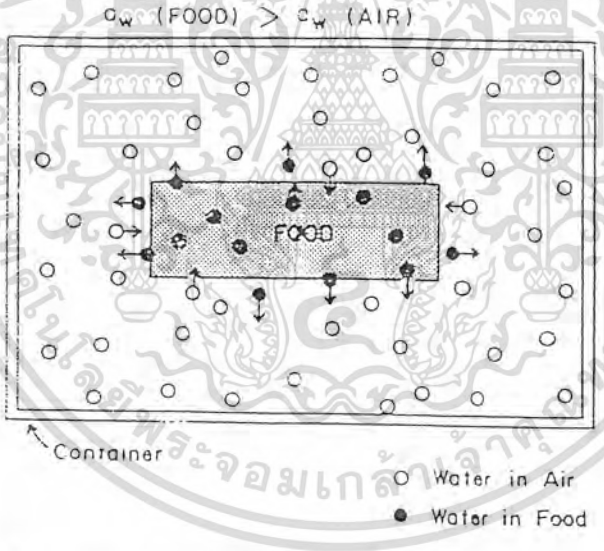
อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) หมายถึง อุณหภูมิของอากาศโดยการวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดาแต่ตรงปลายหลอดแก้วที่เป็นกระเปาะ โดยบรรจุปรอทห่อหุ้มด้วยผ้าชุบน้ำดังนั้นอุณหภูมิที่อ่านได้จะเป็นอุณหภูมิของน้ำที่หุ้มกระเปาะ โดยปรอทภายในหลอดแก้วจะลดลงอย่างรวดเร็วตามอุณหภูมิของน้ำที่ห่อหุ้มปรอท และจะต้องอ่านอุณหภูมิทันที

โดยปกติแล้วค่าอุณหภูมิของกระเปาะเปียก จะอ่านค่าได้ต่ำกว่าค่าของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์ที่อ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกนั้นมีผ้าชุบน้ำหุ้มอยู่ ไอน้ำจากถุงผ้าที่อยู่รอบๆ กระเปาะเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจะระเหยออกมา ซึ่งน้ำที่ระเหยออกมารอบๆกระเปาะนี้จะทำให้ปรอทเย็นลง ทำให้ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้โดยอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ซึ่งความแตกต่างระหว่าง 2 ค่านี้ จะมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในอากาศด้วย ถ้าไอน้ำในอากาศมีอัตราการระเหยของน้ำจากถุงผ้าก็จะต่ำ แต่ไอน้ำในอากาศมีน้อยมากๆ หรือ สภาพของอากาศแห้งทำให้อากาศดูดไอน้ำในอากาศได้มาก อัตราการระเหยของน้ำจากถุงผ้าจะสูง ทำให้ค่าที่อ่านได้แตกต่างกันมากขึ้น แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเป็น 100% (100% Relative Humidity) อุณหภูมิแบบกระเปาะเปียกจะมีค่าเท่ากับของกระเปาะแห้ง เนื่องจากสภาพดังกล่าวอากาศไม่สามารถดูดซึมความชื้น หรือ ไอน้ำได้อีกแล้ว ทำให้การระเหยของไอน้ำจากถุงผ้าไม่มีจึงอ่านอุณหภูมิได้เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความชื้นสมดุล

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน เช่น เมล็ดพืชไปวางไว้ในอากาศที่มีสภาวะคงที่คือมี อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์คงที่ผลิตภัณฑ์นั้นอาจจะคายความชื้นให้กับอากาศ (Desorption) หรือ ดูดซับความชื้นจากอากาศ (Adsorption) ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของอากาศและเมื่อวางไว้เป็นเวลานานๆ ผลิตภัณฑ์นี้จะมีความชื้นคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, EMC) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาวะสมดุลนั้นอัตราการสูญเสียความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศรอบๆ มีค่าเท่ากับอัตราการได้รับความชื้นจากอากาศ รอบๆ หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าในขณะที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาวะสมดุลนั้นความดันไอที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศรอบๆ การแลกเปลี่ยนความชื้นของผลิตภัณฑ์กับอากาศแสดงดังรูปที่1 ค่างความชื้นสมดุลนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และชนิดของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1 แสดงการแลกเปลี่ยนความชื้นของผลิตภัณฑ์กับอากาศ

2.3. วอเตอร์แอกติวิตี้ (Water activity) ในอาหาร

วอเตอร์แอกติวิตี้ (Water activity) ใช้สัญลักษณ์ a_w คือปริมาณน้ำในอาหารซึ่งใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ในอาหาร และที่จุลลินทรีย์ในอาหารสามารถใช้ในการเจริญเติบโตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1. ความหมายของ วอเตอร์แอกติวิตี้ (ประเสริฐ และคณะ, 2539)

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ มีความหมายได้สามอย่างดังนี้

1. วอเตอร์แอกติวิตี้ คือ อัตราส่วนระหว่างความดันไอของน้ำในสารละลาย (P) ต่อความดันไอ ของน้ำบริสุทธิ์ (P_0) ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$a_w = P/P_0 \qquad \text{ที่อุณหภูมิเดียวกัน}$$

หรืออีกนัยหนึ่ง P เป็นค่าความดันของไอน้ำนั่นเอง

2.วอเตอร์แอกติวิตี้ ของอาหารที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Equilibrium Relative Humidity) ของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์เป็นอัตราส่วนของความดันไอของความชื้นใช้สัญลักษณ์ ERH ความสัมพันธ์ระหว่าง วอเตอร์แอกติวิตี้ และความชื้นสัมพัทธ์เป็นดังนี้

$$a_w = ERH/100$$

ถึงแม้ว่าวอเตอร์แอกติวิตี้และความชื้นสัมพัทธ์จะมีความสัมพันธ์กัน แต่ทว่าวอเตอร์แอกติวิตี้เป็นสมบัติที่ขึ้นกับปริมาณสารตัวอย่าง ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นสมบัติของบรรยากาศล้อมรอบ ซึ่งอยู่ในสมดุลกับสารตัวอย่าง

3.วอเตอร์แอกติวิตี้ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนจำนวนโมลตัวทำละลายต่อผลรวมของจำนวนโมลตัวทำละลายและตัวถูกละลายเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a_w = n_1/(n_1+n_2)$$

n_1 = จำนวนโมลตัวทำละลาย

n_2 = จำนวนโมลตัวถูกละลาย

2.3.2. ความสำคัญของวอเตอร์แอกติวิตี้(ประเสริฐ และคณะ,2539)

วอเตอร์แอกติวิตี้ของอาหารสดโดยเฉพาะอย่างยิ่งผักและผลไม้มีค่าสูง ตรงข้ามกับวอเตอร์แอกติวิตี้ของอาหารแห้งจะมีค่าต่ำกว่า ตารางที่1 แสดงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของอาหารบางประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่1 แสดงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของอาหารบางประเภท(ประเสริฐ และคณะ,2539)

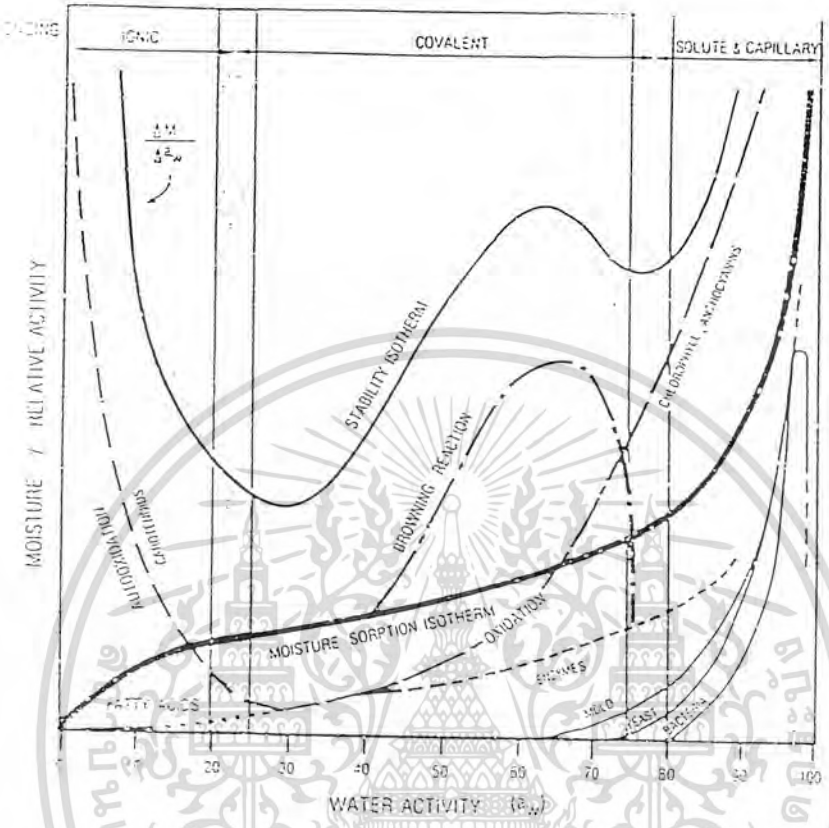
อาหาร	วอเตอร์แอกทิวิทิ	อาหาร	วอเตอร์แอกทิวิทิ
ผักผลไม้สด	0.97 - 1.00	แป้ง	0.67 - 0.87
เนื้อสัตว์ปีกสดและปลาสด	0.98 - 1.00	โมลาส	0.76
เนื้อสด	0.95 - 1.00	น้ำผึ้ง	0.54 - 0.75
ไข่สด	0.97	ผลไม้แห้ง	0.51 - 0.89
น้ำผลไม้คั้น	0.97	ลูกกวาดผสม	0.69
ขนมปัง	0.95 - 0.96	น้ำตาลทราย	0.10
เนื้อหมัก	0.87 - 0.95	ลูกกวาด	0.60 - 0.65
เค้ก	0.90 - 0.94	คาราเมล	0.60 - 0.65
ถั่วเมล็ดแห้ง	0.66 - 0.84	ก๋วยเตี๋ยว	0.50
แยม	0.75 - 0.80	ขนมปังกรอบ	0.30
เยลลี่	0.82 - 0.94	ผักแห้ง	0.20
ข้าวสวย	0.80 - 0.87	ธัญชาติ	0.10 - 0.20

การที่อาหารประเภทต่างๆมีค่า วอเตอร์แอกติวิตี้ แตกต่างกันจะทำให้สมบัติของอาหารอันเนื่องจากน้ำในอาหารเปลี่ยนแปลงไป วอเตอร์แอกติวิตี้ ของอาหารนอกจากมีผลต่อคุณภาพและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหารแล้ว ยังเป็นปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อีกด้วย

2.3.2.1 ความสำคัญของวอเตอร์แอคติวิตี้ทางด้านชีวเคมี(วิฑูรย์, 2539)

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าอาหารในธรรมชาติหรือที่ยังไม่ผ่านการแปรรูปมีน้ำประกอบอยู่ในปริมาณมาก น้ำในอาหารดังกล่าวเป็นปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในอาหารที่สำคัญ ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน (Lipid oxidation) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส (hydrolytic reaction) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) รวมทั้งความสามารถของเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยา (enzyme activity) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวมีอัตราการเกิดที่สอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอาหารและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ดังแสดงตามรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2 แสดงอิทธิพลของวอเตอร์แอกติวิตี้ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆในอาหาร(Louis and Beuchat,1987)

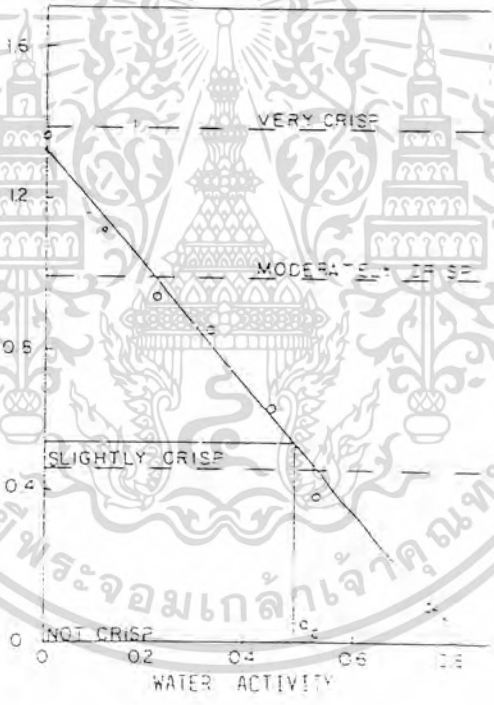
2.3.2.2. ความสำคัญของวอเตอร์แอกติวิตี้ทางด้านจุลินทรีย์(วิฑูรย์,2539)

จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ในผลิตภัณฑ์ ที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในระดับที่พอเหมาะเรียกว่า อ็อบติมอล วอเตอร์แอกติวิตี้ เมื่อวอเตอร์แอกติวิตี้ลดลงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะลดลงตามไปด้วย จนถึงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในระดับหนึ่งซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จุลินรีย์แต่ละชนิดมีความต้องการปริมาณน้ำที่ใช้ประโยชน์หรือวอเตอร์แอกติวิตี้แตกต่างกัน ระดับวอเตอร์แอกติวิตี้ต่ำสุด ที่จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้เรียกว่า มินิมอลวอเตอร์แอกติวิตี้ ซึ่งเชื้อรามีความต้องการวอเตอร์แอกติวิตี้น้อยกว่ายีสต์และแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3. ความสำคัญของวอเตอร์แอกติวิตี้ทางด้านกายภาพ(วิฑูรย์,2539)

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ นอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และปฏิกิริยาทางด้านชีวเคมีต่างๆ ในอาหารแล้วยังมีผลต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของอาหารด้วย ได้แก่ ในด้านความกรอบ(Crispness) ของผลิตภัณฑ์อาหารจากธัญญาพืช(Cereal-Base Product) เช่นแครกเกอร์ ขนมทอดกรอบ(Fried Snacks) และในด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์ (Hardness) ซึ่งแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกติวิตี้และความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารแสดงตามรูปที่ 3



รูปที่3 แสดงการสูญเสียความกรอบของอาหารที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ต่างๆกัน(Theodor,1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4. ไอโซเทอร์ม(Isotherm)

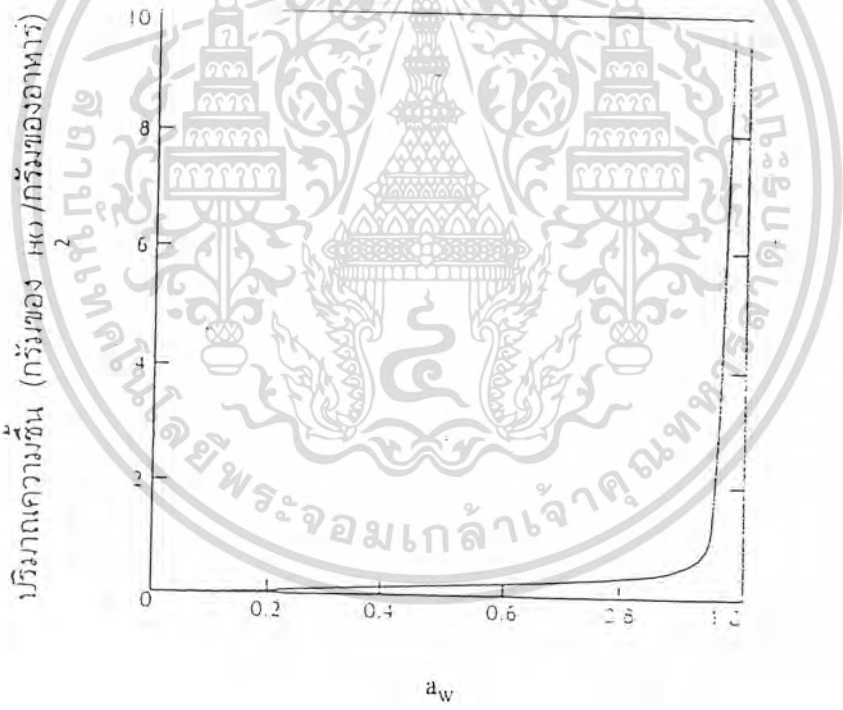
2.4.1. ความหมายของไอโซเทอร์ม

ไอโซเทอร์มคือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในระหว่างการกำจัดน้ำออกจากอาหาร ณ อุณหภูมิคงที่

2.4.2. ความสำคัญของไอโซเทอร์ม(ประเสริฐ และคณะ,2539)

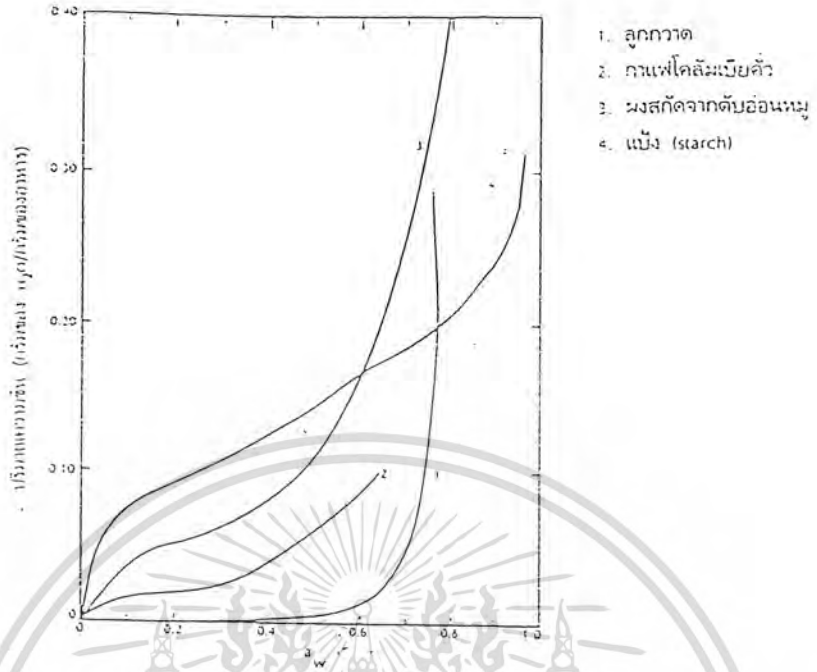
การเก็บรักษาอาหาร

การศึกษาไอโซเทอร์มของอาหารทำให้เราทราบว่ามีตัวแปรใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อการเก็บรักษาอาหาร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเก็บรักษาอาหารเพื่อไม่ให้เสื่อมเสียง่าย อาหารแต่ละชนิดจะมีชอร์ปชั่นไอโซเทอร์มที่มีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างกันตามชนิดของอาหาร ดังแสดงตามรูปที่4 และ รูปที่5



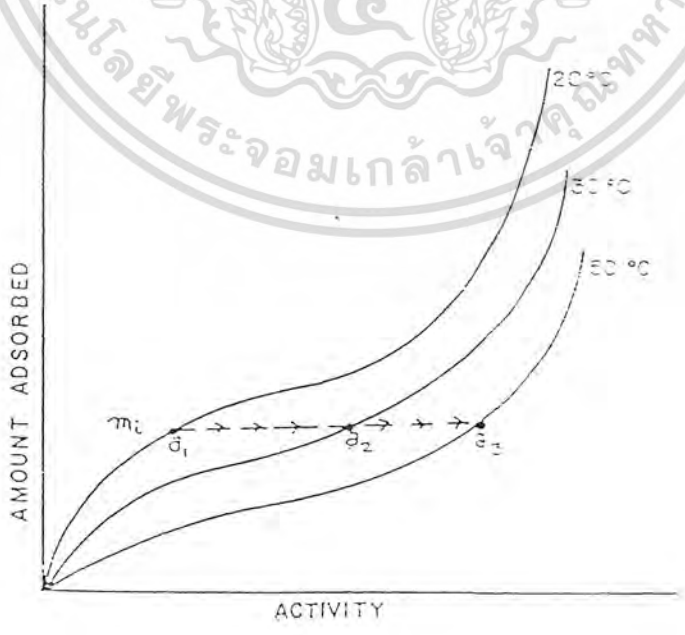
รูปที่4 แสดงวอเตอร์ชอร์ปชั่นไอโซเทอร์มอาหารโดยทั่วไปที่มีความชื้นสูง (ประเสริฐ และคณะ,2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5 แสดงวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของอาหารบางชนิดที่มีความชื้นต่ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส(ประเสริฐ และคณะ,2539)

รูปที่5 แสดงวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของอาหารบางชนิดที่มีความชื้นต่ำเปรียบเทียบกันที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปลักษณะของวอเตอร์ซอร์ปชันไอโซเทอร์มก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังแสดงตามรูปที่ 6



รูปที่6 แสดงวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอเทอร์มที่อุณหภูมิต่างๆกัน(Theodore,1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

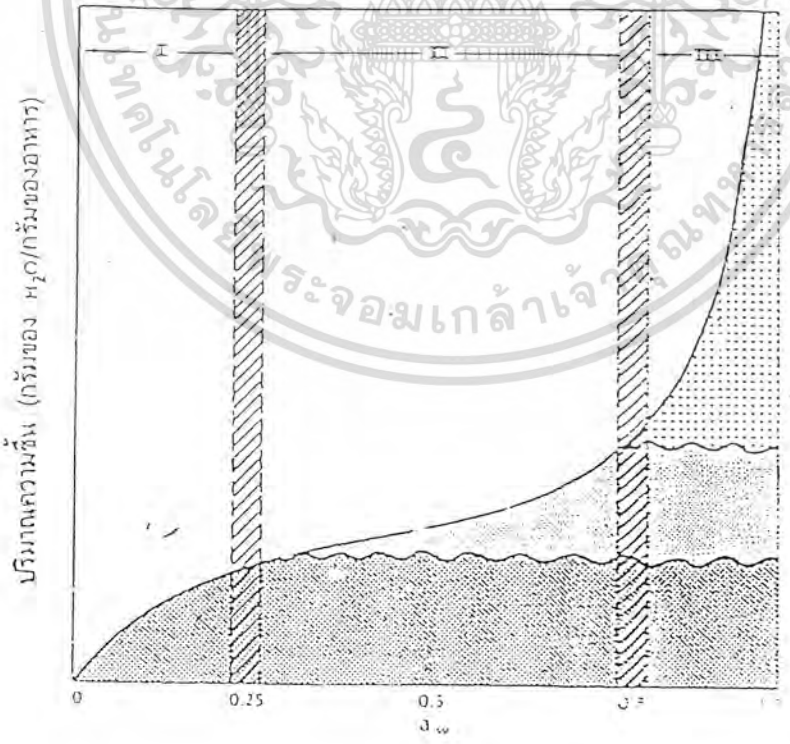
นอกจากนี้ปริมาณน้ำในโซนต่าง ๆ ของไอโซเทอร์มในอาหาร และลักษณะการยึดเกาะของโมเลกุลของน้ำในอาหาร ในช่วงวอเตอร์แอกติวิตี้ต่าง ๆ ก็ยังมีผลต่อการเก็บรักษาอาหารด้วย โดยในช่วงวอเตอร์แอกติวิตี้ต่างกัน น้ำที่ยึดเกาะอยู่ในผลิตภัณฑ์ก็แตกต่างกันดังนี้

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ระหว่าง 0.00-0.25 เป็นช่วงที่โมเลกุลของน้ำยึดเกาะกันด้วยพันธะอิออนิก เช่น NH^{+}_{3} ยึดกับโปรตีนและ CO_{2} ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ประมาณ 0.25 จะมีความชื้นใกล้อาหารแห้งซึ่งอาหารจะมีความคงตัวมากที่สุด โดยที่ยังคงมีปริมาณลิพิดที่ถูกออกซิไดซ์ง่ายอยู่มากพอสมควร

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ระหว่าง 0.25-0.75 เป็นช่วงที่โมเลกุลของน้ำยึดเกาะกันด้วยพันธะโควาเลนต์ เช่น OH ในโปรตีนและโพลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง เพกติน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ระหว่าง 0.75-1.00 เป็นช่วงที่มีชั้นของน้ำอยู่หลายชั้นบนโปรตีนและโพลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต

ปริมาณน้ำในโซนต่างๆของไอโซเทอร์มในอาหารแบ่งออกเป็น 3 โซน ดังแสดงตามรูปที่7



รูปที่7 แสดงให้เห็นน้ำในแต่ละโซน(ประเสริฐ และคณะ,2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

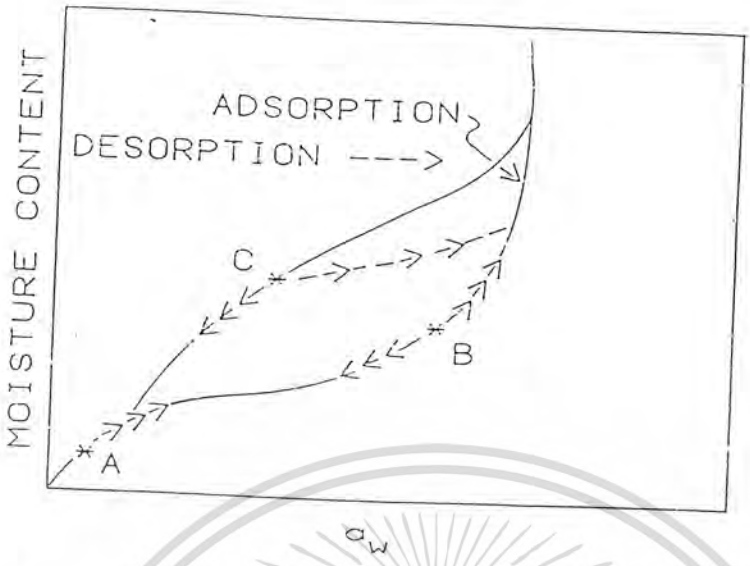
ในการกำจัดน้ำออกจากอาหารนั้นน้ำส่วนแรกจะถูกกำจัดออกได้ง่ายและมีวอเตอร์แอกติวิตี้ ต่ำกว่าน้ำบริสุทธิ์เล็กน้อยคือ โซน 3 ตามรูปที่7 น้ำชนิดนี้มีเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์เป็นแหล่งเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และใช้สำหรับเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆในอาหาร เมื่อน้ำส่วนนี้ถูกกำจัดออกไปหมด วอเตอร์แอกติวิตี้จะมีค่าประมาณ 0.8 ความชื้นจะเหลือประมาณร้อยละ 12-25

น้ำส่วนที่ 2 ตามรูปที่ 7 ซึ่งถูกกำจัดได้ยากกว่าส่วนแรก การกำจัดน้ำส่วนนี้ออกเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ลดลงอย่างมาก การกำจัดน้ำส่วนนี้ออกบางส่วนนี้อออกบางส่วนช่วยลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และลดปฏิกิริยาในอาหารส่วนใหญ่ หากกำจัดน้ำส่วนนี้ออกหมดหรือเกือบหมดจนเหลือความชื้นร้อยละ 3-7 ค่า วอเตอร์แอกติวิตี้ประมาณ 0.25 จะมีความชื้นใกล้เคียงกับอาหารแห้ง ซึ่งอาหารจะมีความคงตัวมากที่สุด โดยที่ยังคงมีปริมาณลิพิดที่ถูกออกซิไดส์ง่ายอยู่มากพอสมควร

เมื่อน้ำส่วน 2 ส่วน (โซน 3 และ โซน 2) ถูกกำจัดออกไปแล้ว น้ำในอาหารส่วนที่เหลือโซน 1 ตามรูปที่7 สามารถกำจัดออกได้ด้วยวิธีการดึงน้ำออก(dehydration) น้ำส่วนนี้กำจัดออกได้ยากเนื่องจากเป็นน้ำผูกพันที่ถูกยึดไว้แน่นมาก น้ำส่วนนี้จะไม่มีสมบัติเป็นตัวทำละลายและไม่เป็นตัวกลางในปฏิกิริยาเคมีใดๆ ที่เกิดขึ้นในอาหาร การเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดกับอาหารในโซน 1 นี้คือการเหม็นหืนของลิพิดในอาหาร

ปรากฏการณ์ที่น่าสนใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น และวอเตอร์แอกติวิตี้ ของอาหารอีกประการหนึ่งก็คือ การคายน้ำ (desorption) และการดูดน้ำเข้าไปใหม่ (resorption) ของระบบอาหารใดๆ กระบวนการคายน้ำและดูดน้ำเข้าไปใหม่ของอาหารนี้เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับวอเตอร์แอกติวิตี้ แล้วเส้นกราฟที่ได้จะไม่ซ้ำกัน ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า ฮีสเทอเรซิส(hysteresis) ดังแสดงตามรูปที่8 แสดงให้เห็นฮีสเทอเรซิสของอาหารโดยทั่วไป ซึ่ง ณ ระดับความชื้นที่กำหนดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของอาหารระหว่างการคายน้ำจะมีค่าต่ำกว่า วอเตอร์แอกติวิตี้ของอาหารระหว่างการดูดน้ำเข้าไปใหม่

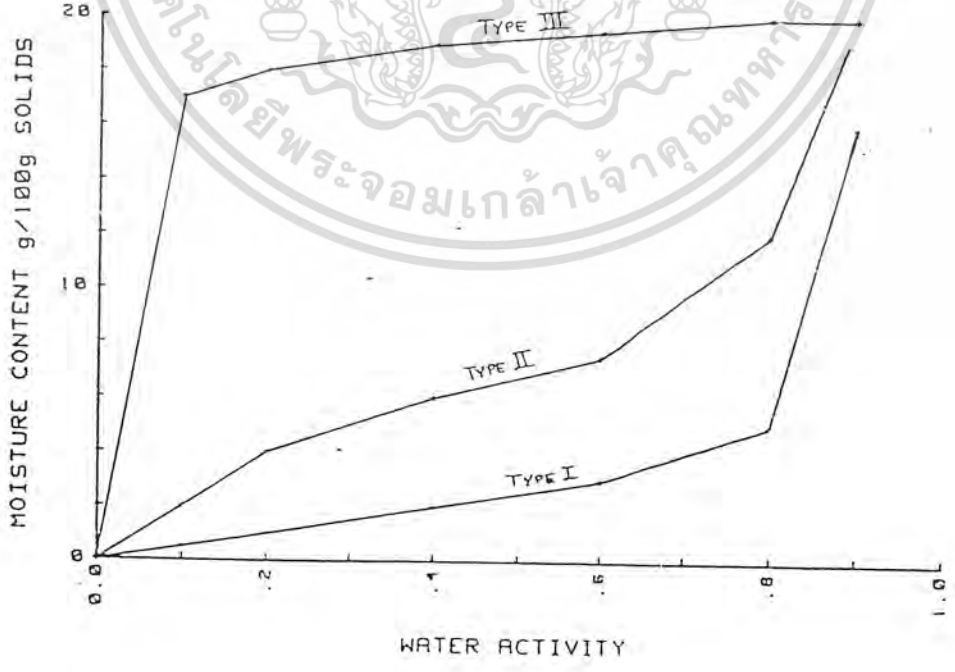
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่8 แสดงฮีสเทอเรซีสของซอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม(Louis And Beuchat, 1987)

2.5. ลักษณะกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม แบ่งเป็น 3 ประเภท(Labuza, 1984) ดังนี้

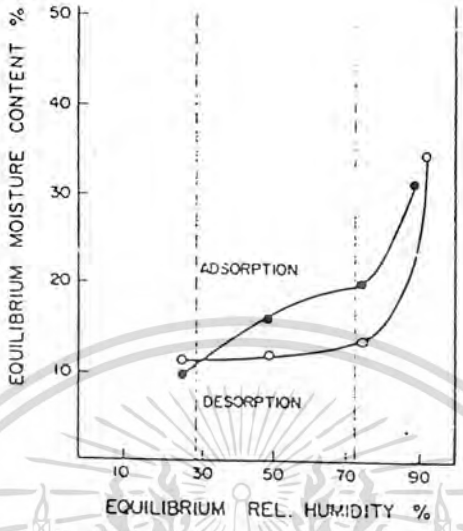
- ประเภทที่ 1 เป็นอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น ลูกเกด บลูเบอร์ลี่ เป็นต้น
- ประเภทที่ 2 เป็นอาหารแห้ง เช่น ธัญพืช (cereal) ปลาแห้ง เป็นต้น
- ประเภทที่ 3 เป็นอาหารที่ไม่ค่อยละลายน้ำ



รูปที่9 กราฟแสดงประเภทของวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มทั้ง 3 ชนิด (Labuza, 1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

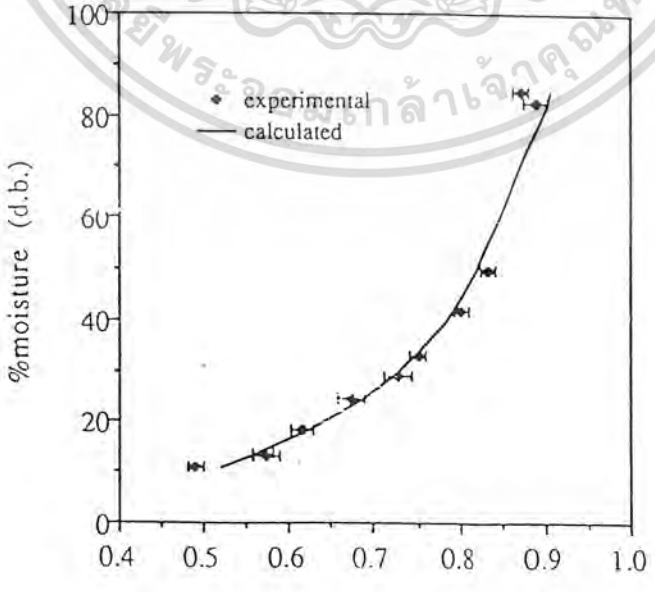
ในการศึกษาวอเตอร์ชอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของเมล็ดทานตะวัน (Huffman et al., 1975)จะพบว่ากราฟ จะมีลักษณะดังรูปข้างล่าง



รูปที่10 กราฟวอเตอร์ชอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม ของเมล็ดทานตะวัน(Huffman et al.,1975)

จากกราฟจะพบว่ามีลักษณะเส้นกราฟจัดอยู่ในประเภทที่ 2 ดังนั้นในการศึกษาถั่วลันเตาอบกรอบน่าจะมีลักษณะเส้นกราฟคล้ายกับของเมล็ดทานตะวันเพราะเป็นธัญญาพืชเหมือนกัน

ในการทดลองหาค่าวอเตอร์ชอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของลูกเกดที่อุณหภูมิ 25°C จะมีค่าความชื้นระหว่าง10-45% ถ้าความชื้นต่ำกว่านี้จะไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ส่วนวอเตอร์แอกติวิตี้ในช่วง 0.5-0.9 (Canellas et al. , 1993) ลักษณะของเส้นกราฟวอเตอร์ชอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของลูกเกดจัดอยู่ในประเภทที่ 1 ดังรูปที่ 11



รูปที่11 กราฟ วอเตอร์ชอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม ของลูกเกด ที่ 25°C(Canellas et al. , 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6. วอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของอาหารผสม

ผลิตภัณฑ์อาหารที่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลายชนิดรวมกัน โดยที่ส่วนประกอบนั้นมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้และปริมาณความชื้นแตกต่างกัน เนื่องจากการเก็บรักษามีการถ่ายเทความชื้นจนกระทั่งค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เข้าสู่สภาวะสมดุล (final equilibrium water activity) (Bone,1975)

สิ่งที่เกิดขึ้นในการผสมอาหาร

1. ส่วนประกอบที่มีค่าปริมาณความชื้นต่ำกว่าจะได้รับความชื้น ส่วนของส่วนประกอบที่มีค่าปริมาณความชื้นต่ำสูงกว่าจะสูญเสียความชื้น
2. คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏเป็นลักษณะส่วนตัวของแต่ละส่วนประกอบ
3. สภาวะสมดุลของอาหารผสมสามารถทำนายได้จาก

3.1. สมการของ Salwin (1963)

$$a_w = \frac{(W_1 * S_1 * a_{w1}) + (W_2 * S_2 * a_{w2})}{(W_1 * S_1) + (W_2 * S_2)}$$

W_1- น้ำหนักของแข็งของส่วนผสมที่1

S_1 – ความชันของเส้นกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของส่วนผสมที่1

a_{w1}- ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เริ่มต้นของส่วนผสมที่1

3.2. วิธีการของ K.W.Lang และ M.P.Steinberg(1980)

โดยใช้สมการ $$M_{cal} = \frac{\sum W_i M_i}{\sum W_i}$$

M_{cal} - ปริมาณความชื้นที่สภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์

M_i - ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของส่วนผสม i

W_i - น้ำหนักของแข็งของส่วนผสม i

Piot(1997) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวอเตอร์ซอปรชั่นไอโซเทอร์มและการประมาณค่าอาหารผสมโดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Water sorption isotherm and their estimation in food model mechanical mixture) พบว่าวิธีการทำนายของ Salwin (1963) มีข้อเสียคือกำหนดสมมติฐานของความชันวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มเป็นเส้นตรง ซึ่งกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มที่ได้จากการทดลองจะเป็นเส้นโค้ง จึงทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K.W.Lang และ M.P.Steinberg(1980) ได้ทำการเปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลองกับที่ได้จากการคำนวณที่สภาวะวอเตอร์แอกติวิตี้ต่างสำหรับของผสมสามชนิด(แป้งข้าวโพด:ซูโครส:เกลือ)ในอัตราส่วน 80:10:10 พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง 0.823%

ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงเลือกวิธีของ K.W.Lang และ M.P.Steinberg มาศึกษาและใช้เขียนโปรแกรมเพื่อหาอัตราส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด

ตารางที่2 เปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ต่างระหว่างการคำนวณและการทดลองของอาหารผสม(แป้งข้าวโพด:ซูโครส:เกลือ)ในอัตราส่วน 80:10:10 (Lang&Steinberg,1980)

	Moisture content g H_2O/g solids		Error
a_w	Exp	Calc	% of Exp
0.90	0.7899	0.8071	+2.13
0.79	0.3163	0.3212	+1.23
0.57	0.1412	0.1402	--0.S6
Algebraic average			+0.83

2.7. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ลักษณะของอาหารมีผลอย่างมากสำหรับผู้บริโภคในการเลือกบริโภคอาหาร ดังนั้นจึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหาร เพราะถ้าลักษณะของอาหารไม่ได้ตามความต้องการของผู้บริโภค ถึงแม้ว่าอาหารนั้นจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงก็ตามผู้บริโภคอาจจะไม่เลือกบริโภคอาหารนั้น เช่น คุกกี้ ผู้บริโภคต้องการคุกกี้ที่มีความกรอบ เป็นต้น ดังนั้น ความกรอบของคุกกี้จึงเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค(critical factor)

ปัจจัยคุณภาพที่สำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคหมายถึง ลักษณะของอาหาร รวมถึง สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ ความนุ่ม ความแข็ง การเหม็นหืนของอาหาร เป็นต้น จึงต้องมีการกำหนดเกี่ยวกับปัจจัยคุณภาพที่สำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคว่าผู้บริโภคต้องการลักษณะอาหารแต่ละอย่างเป็นอย่างไร เพื่อจะได้นำไปศึกษาและทดลองลักษณะของอาหารให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค ในการวัดค่าการประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสส่วนใหญ่จะใช้คนในการตัดสินแต่อาจจะเกิดการผิดพลาดได้ เพราะแต่ละบุคคลมีความรู้และความชำนาญไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลต่อค่าการประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสที่วัดได้ ในการวิจัยครั้งนี้จึงมีการใช้เครื่องมือมาช่วยในการวัด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำมากขึ้น โดยเครื่องมือที่ใช้วัดต้องให้ผลใกล้เคียงกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่วัดด้วยคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) ปลาข้าวสาร ร้านค้าสวัสดิการทหารอากาศ กรุงเทพฯ
2) ถั่วลันเตา กรีนนัท ผลิตโดย บริษัท บีบี จำกัด กรุงเทพฯ
3) ลูกเกด (raisin) ซันเมด ผลิตโดย ซันเมด โกรเออร์ รัฐคาลิฟอเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา
4) LiCl , CH_3COOK ,$MgCl_2$, K_2CO_3 $Mg(NO_3)_2$, NaBr , Nacl ,KCl, $Bacl_2$
5) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6) ชุดอุปกรณ์เพื่อหาค่าวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มประกอบด้วย โหลแก้วมีฝาปิดสนิท ภายในมีภาชนะขนาดเล็กสำหรับบรรจุอาหารตัวอย่าง
7) เครื่องแก้วและอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ เช่น แท่งแก้วคนสารละลาย, ช้อนตักสาร ภาชนะพลาสติกใส่สาร, เทอร์โมมิเตอร์ เป็นต้น

3.2. วิธีการทดลอง

3.2.1. การเตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัว

ต้มน้ำใส่สารเคมีทีละน้อยคนสารให้ละลายจนกระทั่งสารไม่สามารถละลายได้ ทิ้งขวดโหลไว้ให้เย็นถ้ามีเกลือตกตะกอนแสดงว่าสารละลายอิ่มตัวแล้ว สามารถนำสารไปใช้ได้แต่ถ้าไม่ตกตะกอนแสดงว่าสารละลายยังไม่อิ่มตัวให้เติมสารลงไปอีกจนกระทั่งมีเกลือตกตะกอน

3.2.2. การหาวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม ของส่วนผสมแต่ละชนิด

อาหารที่เตรียมไว้ (ปลาข้าวสารทอด,ถั่วลันเตาอบกรอบ,ลูกเกด)อย่างละ 5 กรัม แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอนและบันทึกผล จากนั้นนำตัวอย่างอาหารใส่ในภาชนะพลาสติกแล้วนำตัวอย่างอาหารไปแขวนในขวดโหลที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวที่เตรียมไว้ทั้ง 9 ชนิด โดยในแต่ละขวดจะใส่อาหารตัวอย่างแขวนให้เหนือสารละลายประมาณ 3 เซนติเมตร จากนั้นนำขวดทดลองไปตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง(ประมาณ 30 ° C) จากนั้นชั่งน้ำหนักอาหารตัวอย่างทุกๆ 2 วัน จนน้ำหนักมีความแตกต่างกันไม่เกิน 0.5% แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาเขียนกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของอาหาร(ปริมาณความชื้น,น้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักของวัสดุที่แห้งกับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้) และ กราฟระหว่างน้ำหนักของอาหารที่เปลี่ยนแปลงกับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ซึ่งใช้หาค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เริ่มต้นของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42326

รูปที่12. แสดงการหาปริมาณความชื้นที่วอเตอร์แอกติวิตี้ต่างๆของอาหาร

รูปที่13. แสดงการหาปริมาณความชื้นที่วอเตอร์แอกติวิตี้ต่างๆของอาหารแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3. กำหนดปัจจัยคุณภาพที่สำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคของส่วนผสมแต่ละชนิด

หลังจากอาหารตัวอย่างเข้าสู่สมดุลที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ แล้วนำออกมาเพื่อประเมินคุณสมบัติ ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดปัจจัยคุณภาพโดยที่

- ถั่ว พิจารณาความกรอบ
- ปลา พิจารณาความกรอบ
- ลูกเกด พิจารณาความนุ่ม

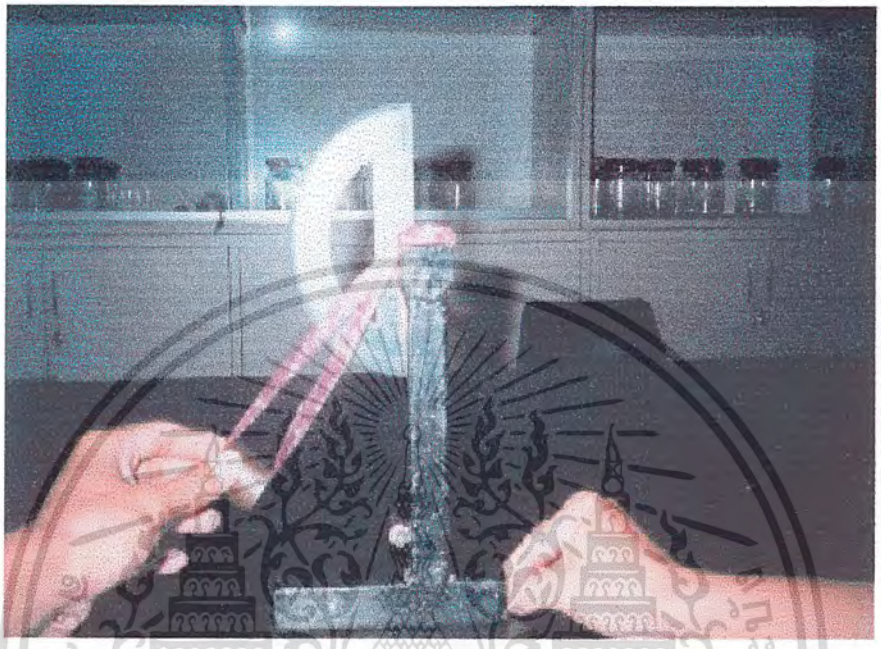
3.2.3.1. การพิจารณาความกรอบของปลาข้าวสารทอดและถั่วลันเตา

1. ทำการสุ่มตัวอย่างของส่วนผสมแต่ละชนิดจากสภาวะปกติ และที่สภาวะสมดุลที่วอเตอร์แอกตีวิตี้ต่างๆ
2. ทดสอบโดยใช้อุปกรณ์วัดความแข็งของอาหาร ซึ่งอาศัยความแตกต่างของมุม(องศา) ที่ปล่อยลูกเหล็กให้กระทบกับอาหารตัวอย่าง โดยลักษณะดังรูป

รูปที่ 14. อุปกรณ์วัดความแข็งของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กำหนดมุม(องศา)ที่ใช้ทดสอบ จากมุมที่ทำให้อาหารตัวอย่างที่สภาวะปกติมีลักษณะและจำนวนการแตกอยู่ในระดับที่ยอมรับคุณภาพ



รูปที่ 15. แสดงการทดลองวัดความแข็งของอาหาร

4. ทำการเปรียบเทียบลักษณะและจำนวนการแตกของอาหารตัวอย่างกับที่สภาวะปกติ โดยทำซ้ำ 3 ครั้งต่อตัวอย่าง 1 สภาวะ
5. เลือกช่วงการยอมรับคุณภาพของอาหารตัวอย่าง

3.2.3.2. การพิจารณาความนุ่มของลูกเกด

การประเมินโดยใช้ผู้ทดสอบ 11 คนที่มีความชำนาญ ให้คะแนนตามระดับและเลือกช่วงการยอมรับคุณภาพของอาหารตัวอย่าง

- คะแนนของความชอบ

ชอบมากที่สุด	5
ชอบมาก	4
ชอบ	3
พอใจ	2
เฉย ๆ	1
ไม่ชอบ	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คะแนนความนุ่ม

นุ่มมากที่สุด	5
นุ่มมาก	4
นุ่ม	3
นุ่มน้อย	2
ค่อนข้างแข็ง	1
แข็ง	0

3.2.4. กำหนดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่เหมาะสมโดยวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของค่าปัจจัยคุณภาพที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคของส่วนผสมแต่ละชนิด

3.2.5. นำผลที่ได้จากข้อ 3.2.4 มาใช้กำหนดขอบเขตคุณภาพที่ยอมรับได้ เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์

3.2.6. การหาปริมาณของแข็งของส่วนผสมแต่ละชนิด

นำอาหารตัวอย่างที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักอย่างละ 5 กรัม ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนบันทึกผล จากนั้นนำการดายฟอยล์มาชั่งน้ำหนักบันทึกผล แล้วนำอาหารตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ในกระดายฟอยล์ แล้วชั่งน้ำหนักรวมอีกครั้ง บันทึกผล นำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 65° C เมื่อครบประมาณ 3 ชั่วโมงนำออกมาชั่งน้ำหนัก บันทึกผลจากนั้นนำออกมาชั่งน้ำหนักทุก 3 ชั่วโมง อบจนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง (น้ำหนักแห้ง) พร้อมบันทึกน้ำหนักสุดท้ายที่ได้(Nancy andTom,1998) โดยอัตราส่วนของแข็งคือน้ำหนักของวัสดุที่แห้งต่อน้ำหนักของวัสดุ

รูปที่16. แสดงการหาค่าปริมาณของแข็งในอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการคำนวณ

ในงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้จัดการวิจัยเลือกวิธีการของLang และ Steinberg มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบวิธีการคำนวณหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์

$$M_{cal} = \frac{\sum W_i M_i}{\sum W_i}$$

M_{cal} = ปริมาณความชื้นที่สภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์

M_i = ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของส่วนผสมชนิดที่ 1 , 2 และ 3 ตามลำดับ

W_i = น้ำหนักของแข็งของส่วนผสมชนิดที่ 1 , 2 และ 3 ตามลำดับi
= น้ำหนักของอาหารทั้งหมด x อัตราส่วนของแข็ง (น้ำหนักของอาหารที่แห้งต่อน้ำหนักอาหารทั้งหมด)

ขั้นตอนการคำนวณ

1. กำหนดน้ำหนักอาหาราตัวอย่าง 2 ชนิด
2. กำหนดช่วงขอบเขตค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
3. กำหนดช่วงขอบเขตค่าปริมาณความชื้น แต่ละส่วนผสม จากกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของส่วนผสมแต่ละชนิด โดยพิจารณาจากช่วงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ในข้อ2
4. กำหนดช่วงขอบเขตค่าปริมาณความชื้นที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จากผลของการยูเนียนช่วงปริมาณความชื้นของแต่ละส่วนผสมที่ได้จากข้อ 3
5. ประมาณค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ณ.สภาวะสมดุล โดยเลือกค่าในช่วงขอบเขตค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้อ 4
6. คำนวณหาน้ำหนักอาหารตัวอย่างชนิดที่ 3 จากสมการของ Lang และ Steinberg
7. นำอัตราส่วนผสมที่คำนวณได้จากข้อ 6 คำนวณหาปริมาณความชื้น ณ สภาวะสมดุลโดยใช้สมการของ Lang และ Steinberg โดยใช่ค่าปริมาณความชื้นของแต่ละส่วนผสมที่วอเตอร์แอกติวิตี้ที่พิจารณา แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม
8. ตรวจสอบค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์จากกราฟในข้อ 7 ที่ค่าปริมาณความชื้นจากข้อ 5 ว่ายังอยู่ในช่วงขอบเขตค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

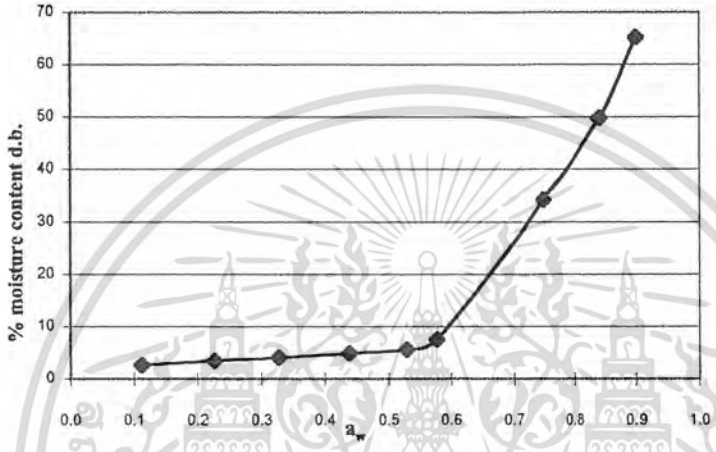
9. กรณีที่ผลการทดลองตรวจสอบจากข้อ 8 พบว่าอยู่ในเกณฑ์คุณภาพที่ยอมรับได้ ให้ทำการเปลี่ยนค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ครั้งละ $\pm$ 0.25 กรัม แล้วทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 6 –ข้อ 8 โดยใช้ค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ณ.สภาวะสมดุล จากกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของผลิตภัณฑ์ ที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่เปลี่ยนค่าไป จนกระทั่งผลการตรวจสอบค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

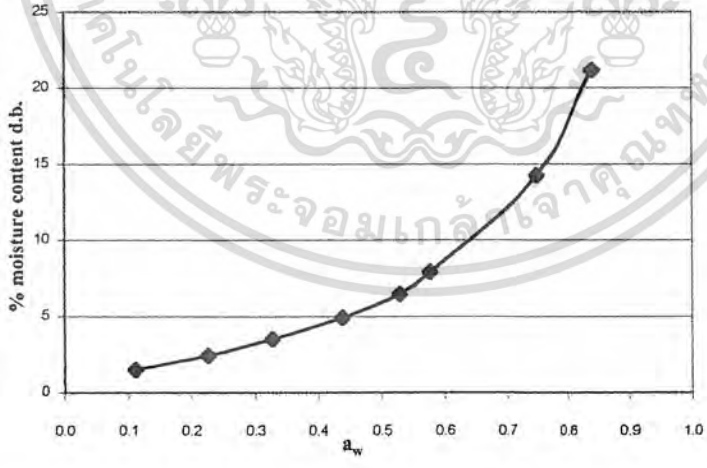
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

1. ลักษณะกราฟวอเตอร์ซอปชั่นไอโซเทอร์มของปลาข้าวสารทอด,ถั่วลันเตาอบกรอบ และลูกเกดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

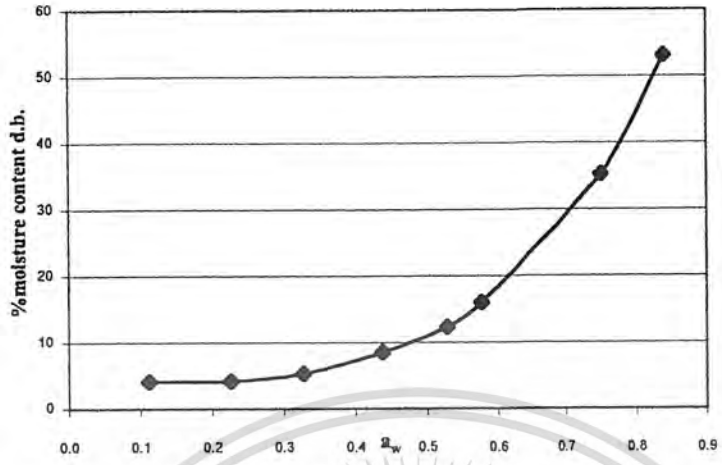


รูปที่18 กราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของปลาข้าวสารทอด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



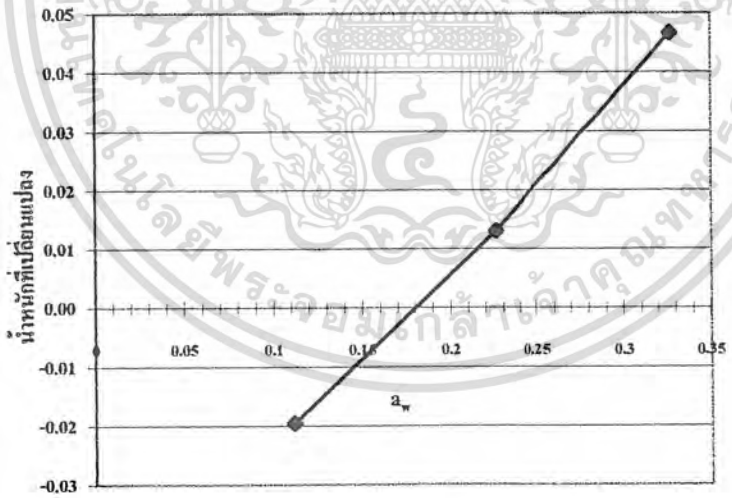
รูปที่19 กราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของถั่วลันเตาอบกรอบ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากกราฟวอเตอร์ชอร์ปชั่นไอโซเทอร์มทั้ง 3 สาม พบว่าสามารถหาค่าปริมาณความชื้นได้ เมื่อกำหนดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้

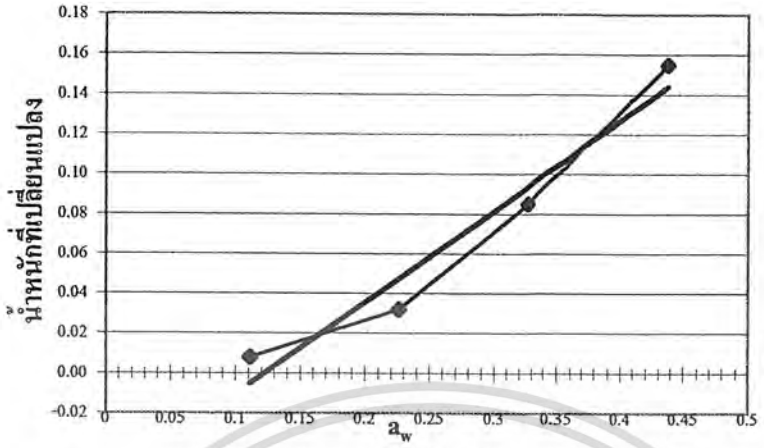
2. กราฟหาค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เริ่มต้นอของอาปลาข้าวสารทอด,ถั่วลันเตาอบกรอบ และลูกเกดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



รูปที่21 กราฟแสดงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เริ่มต้นของ ปลาข้าวสารทอด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

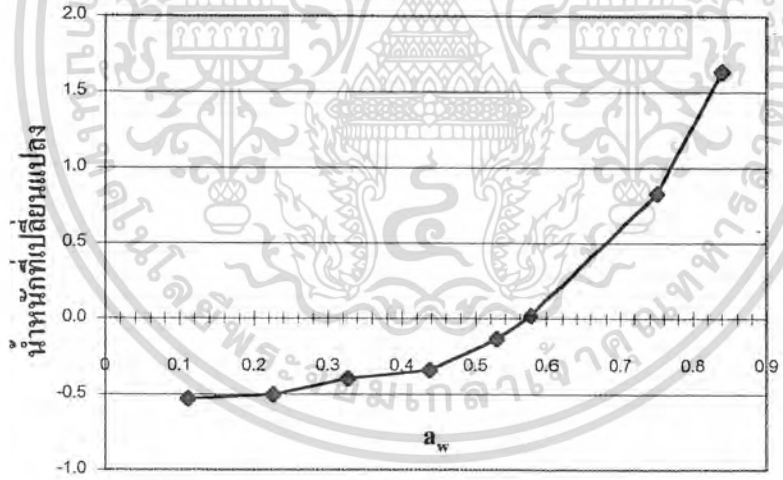
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้สามารถหาได้จากจุดตัดแกน x ซึ่งจากรูปพบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เริ่มต้นของปลาข้าวสารทอดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสคือ 0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 กราฟแสดงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เริ่มต้นของถั่วลันเตาอบกรอบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้สามารถหาได้จากจุดตัดแกน x ซึ่งจากรูปพบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เริ่มต้นของถั่วลันเตาอบกรอบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสคือ 0.12



รูปที่ 23 กราฟแสดงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เริ่มต้นของลูกเกดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้สามารถหาได้จากจุดตัดแกน x ซึ่งจากรูปพบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เริ่มต้นของลูกเกดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสคือ 0.58

จากค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เริ่มต้นที่ได้ของแต่ละส่วนผสม สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นจากจุดตัดแกน y ของกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มที่ได้จากผลการทดลองข้อ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น(น้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักของวัสดุที่แห้ง) ของปลาข้าวสารทอด,ถั่วลันเตาอบกรอบและลูกเกด(อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) จากกราฟวอเตอร์ชอปชั่นไอโซเทอร์มของปลาข้าวสารทอด,ถั่วลันเตาอบกรอบ และลูกเกดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

3.1. ปลาข้าวสารทอด มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 0.03130

3.2. ถั่วลันเตาอบกรอบ มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากั 0.01551

3.3. ลูกเกด มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 0.16350

4. ผลจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสจะได้ช่วงคุณภาพของการยอมรับดังนี้

4.1. ช่วงคุณภาพที่ยอมรับได้ของปลาข้าวสารทอด จากภาคผนวก จ คือค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ระหว่าง 0.115-0.5286 ซึ่งปลาข้าวสารทอดยังคงความกรอบอยู่ซึ่งจากช่วงวอเตอร์แอกติวิตี้นี้สามารถหาช่วงปริมาณความชื้นจากจุดตัดแกน y ของกราฟรูปที่ 18 ซึ่งจะได้ ช่วงปริมาณความชื้นระหว่าง 0.0269-0.0563 น้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักของวัสดุที่แห้ง

4.2. ช่วงคุณภาพที่ยอมรับได้ของถั่วลันเตาอบกรอบ จากภาคผนวก ช คือค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ระหว่าง 0.115-0.5286 ซึ่งถั่วลันเตาอบกรอบยังคงความกรอบอยู่ซึ่งจากช่วงวอเตอร์แอกติวิตี้นี้สามารถหาช่วงปริมาณความชื้นจากจุดตัดแกน y ของกราฟรูปที่ 19 ซึ่งจะได้ ช่วงปริมาณความชื้นระหว่าง 0.0151-0.0644 น้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักของวัสดุที่แห้ง

4.3. ช่วงคุณภาพที่ยอมรับได้ของลูกเกด จากภาคผนวก ช คือค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ระหว่าง 0.3273-0.577 ซึ่งลูกเกดยังคงความนุ่มอยู่ซึ่งจากช่วงวอเตอร์แอกติวิตี้นี้สามารถหาช่วงปริมาณความชื้นจากจุดตัดแกน y ของกราฟรูที่20 ซึ่งจะได้ ช่วงปริมาณความชื้นระหว่าง 0.0532-0.1598 น้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักของวัสดุที่แห้ง

5. ช่วงคุณภาพที่ยอมรับได้ของอาหารผสมระหว่างปลาข้าวสารทอด,ถั่วลันเตาอบกรอบและลูกเกดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียลคือ ช่วงปริมาณความชื้นระหว่าง 0.0532-0.0563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

ต้องการผสมอาหาร 3 ชนิด คือ ปลาข้าวสารทอด ถั่วลันเตาอบกรอบและลูกเกด

โดยกำหนดให้ -อัตราส่วนของปลาข้าวสารทอดและถั่วลันเตาอบกรอบเป็น 5 กรัม : 5 กรัม

-ให้ปริมาณความชื้นระหว่างจุด 2 จุดในเส้นกราฟเป็นเส้นตรง

1. ช่วงขอบเขตค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์(ปลาข้าวสารทอด,ถั่วลันเตาอบกรอบและลูกเกด)คือ 0.3273-0.5286
2. ช่วงขอบเขตค่าปริมาณความชื้นที่ยอมรับได้ของส่วนผสมแต่ละชนิด(น้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักของวัสดุที่แห้ง) จากผลการทดลอง

   -ปลาข้าวสารทอด ช่วงขอบเขตค่าปริมาณความชื้นที่ยอมรับได้คือ0.0269-0.0563

   -ถั่วลันเตาอบกรอบ ช่วงขอบเขตค่าปริมาณความชื้นที่ยอมรับได้คือ0.0151-0.0644

   -ลูกเกด ช่วงขอบเขตค่าปริมาณความชื้นที่ยอมรับได้คือ 0.0532-0.1598
3. จากข้อ 2 ได้ช่วงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.0151-0.1598 น้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักของวัสดุที่แห้ง
4. เลือกค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จากช่วงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้ในข้อ 3 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.0673 น้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักของวัสดุที่แห้ง
5. คำนวณหาน้ำหนักของลูกเกดจากสมการของ Lang และ Steinberg

$$0.0673 = \frac{(0.97)(5)(0.0313)+(0.99)(5)(0.01551)+(0.869)(W_3)(0.1635)}{(0.97)(5)+(0.99)(5)+(0.869)(W_3)}$$

$$W_3 = 4.62 \text{ กรัม}$$

ปริมาณลูกเกดเท่ากับ 4.62 กับ

ดังนั้น อัตราส่วนผสม ของผลิตภัณฑ์(ปลาข้าวสารทอด,ถั่วลันเตาอบกรอบและลูกเกด)เป็น 5 กรัม : 5 กรัม : 4.62 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. คำนวณหาปริมาณความชื้น ณ สภาวะสมดุลของผลิตภัณฑ์ ที่อัตราส่วนเป็น 5 กรัม: 5 กรัม: 4.62 กรัม ที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ต่างๆ

$$\text{จาก } Mcal = \frac{M1W1+M2W2+M3W3}{W1+W2+W3}$$

ที่ aw = 0.1115

$$Mcal = \frac{(0.0269)(0.97)(5)+(0.0151)(0.99(5)+(0.0406)(0.869)(4.62)}{(0.97)(5)+(0.99)(5)+(0.869)(4.62)}$$

$$Mcal = 0.0305$$

ที่ aw = 0.226

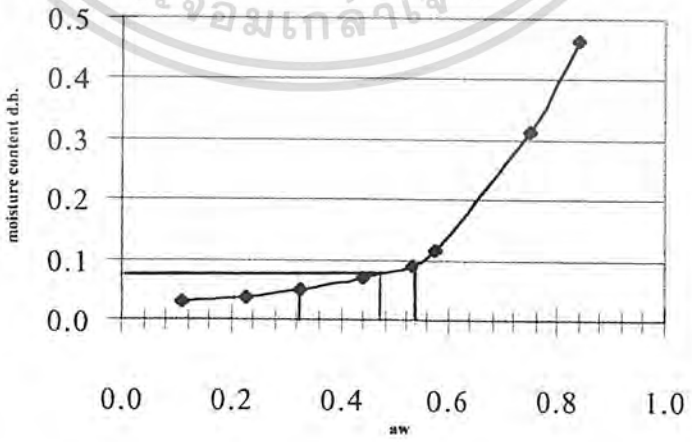
$$Mcal = \frac{(0.0346)(0.97)(5)+(0.0242)(0.99(5)+(0.0421)(0.869)(4.62)}{(0.97)(5)+(0.99)(5)+(0.869)(4.62)}$$

$$Mcal = 0.0378$$

จากการคำนวณจะได้

aw	0.1115	0.2260	0.3273	0.4380	0.5286	0.5770	0.7500	0.8400
M	0.0305	0.0378	0.0486	0.0684	0.0899	0.1157	0.3131	0.4635

นำข้อมูลที่ได้เขียนกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของอาหารผสม



รูปที่23 กราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของผลิตภัณฑ์(ปลาข้าวสารทอด,ถั่วลันเตาอบและลูกเกด)ในอัตราส่วน 5 กรัม : 5 กรัม : 4.62 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. จากกราฟข้อ 6 จะพบว่าที่ค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.0673 น้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักของวัสดุที่แห้ง ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.47 จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในขอบเขตค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์
8. เปลี่ยนค่าน้ำหนักของลูกเกด โดยเพิ่มครั้งละ 0.25 กรัม และลดครั้งละ 0.25 กรัม แล้วนำไปคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยใช้สมการของ Lang และ Steinberg ทำซ้ำข้อ 7-8
9. จากการคำนวณพบว่า ปริมาณลูกเกดที่สามารถผสมได้อยู่ในช่วงระหว่าง 1.37กรัม-8.37 กรัม ที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ 0.3276-0.5282 ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองเพื่อศึกษาหาเส้นกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์ม ของปลาข้าวสารทอด ถั่วลันเตาอบกรอบ และลูกเกด พบว่า ลักษณะเส้นกราฟของเส้นกราฟของปลาข้าวสารทอด และถั่วลันเตาอบกรอบ จัดอยู่ในประเภทที่ 2 ซึ่งเป็นลักษณะเส้นกราฟของอาหารแห้ง เช่น ธัญพืช และลักษณะเส้นกราฟของลูกเกดจัดอยู่ในประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นลักษณะเส้นกราฟของอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูง
2. จากการนำวิธีการทำนายสภาวะสมดุลของอาหารผสม ของ Lang และ Steinberg มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบวิธีการคำนวณหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ พบว่าเมื่อกำหนดอัตราส่วนผสมของปลาข้าวสารทอดและถั่วลันเตาอบกรบเป็น 5 กรัม ต่อ 5 กรัม จากการคำนวณได้ว่าสามารถผสมลูกเกดได้ในช่วง 1.37 กรัม - 8.38 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ข้อมูลเกี่ยวกับการทำกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของปลาข้าวสารทอด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

หมายเลขขวด	วันที่ชั่งน้ำหนัก														
	0	2	8	10	13	16	20	22	28	34	ภาชนะ	น้ำหนักที่ชั่ง-ภาชนะ	moisture d.b.	%	aw
1	6.5197	6.4988	6.4972	6.4967	6.4974	6.4976	6.4979	6.4981	6.4988	6.5001	1.5157	4.9844	0.0269	2.69	0.1115
2	6.2547	6.2400	6.2407	6.2409	6.2663	6.2652	6.2667	6.2652	6.2657	6.2677	1.2460	5.0217	0.0346	3.46	0.2260
3	6.1491	6.1839	6.1888	6.1879	6.1889	6.1909	6.1906	6.1920	6.1956	6.1957	1.1419	5.0538	0.0412	4.12	0.3273
4	6.1552	6.2380	6.2582	6.3059	6.3042	6.3030	6.3021	6.3017	6.2994	6.2145	1.1502	5.0643	0.0493	4.93	0.4380
5	6.2255	6.3725	6.3898	6.3919	6.3924	6.3947	6.3951	6.3963	6.3944	6.3421	1.2226	5.1195	0.0563	5.63	0.5286
6	6.3780	6.5717	6.5945	6.5972	6.5966	6.6008	6.5994	6.6014	6.5986	6.5975	1.3770	5.2205	0.0754	7.54	0.5770
7	6.2054	6.8326	7.4473	7.5421	7.5933	7.7029	7.7475	7.7822	7.7687	7.7286	1.2054	6.5232	0.3421	34.21	0.7500
8	6.2447	7.2169	8.2877	8.3301	8.3476	8.4459	8.4932	8.5082	8.4813	8.4454	1.2408	7.2046	0.4986	49.86	0.8400
9	6.3887	7.5817	8.8559	8.9417	8.9982	9.1427	9.2360	9.2643	9.3110	9.1548	1.3877	7.7671	0.6523	65.23	0.9000

น้ำหนักภาชนะ	น้ำหนักที่ชั่ง	น้ำหนักของแข็ง
0.3705	5.2243	4.854
0.4072	5.2612	4.854
	average	4.854

ภาคผนวก ข ข้อมูลเกี่ยวกับการทำกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของถั่วลันเตาอบกรอบ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

หมายเลขขวด	วันที่ชั่งน้ำหนัก														
	0	2	4	10	13	16	20	22	28	34	ภาชนะ	น้ำหนักที่ชั่ง-ภาชนะ	moisture d.b.	%	aw
10	6.3262	6.3253	6.3284	6.3286	6.3294	6.3311	6.3310	6.3317	6.3336	6.3340	1.3124	5.0216	0.0151	1.51	0.1115
11	6.4101	6.4200	6.4330	6.4324	6.4341	6.4360	6.4379	6.4386	6.4400	6.4419	1.3749	5.0670	0.0242	2.42	0.2260
12	6.2047	6.2293	6.2660	6.2705	6.2753	6.2789	6.2931	6.2850	6.2877	6.2896	1.1685	5.1211	0.0352	3.52	0.3273
13	6.3126	6.3696	6.4418	6.4476	6.4544	6.4579	6.4629	6.4636	6.4652	6.4674	1.2769	5.1905	0.0492	4.92	0.4380
14	6.3195	6.4236	6.6715	6.5391	6.5456	6.5513	6.5542	6.5566	6.5576	6.5594	1.2935	5.2659	0.0644	6.44	0.5286
15	6.4200	6.5438	6.5319	6.6808	6.6875	6.6910	6.6992	6.7005	6.7013	6.7018	1.3647	5.3371	0.0788	7.88	0.5770
16	6.2476	6.6086	6.9135	6.9208	6.9015	6.9276	6.9342	6.9344	6.9180	6.8904	1.2388	5.6516	0.1424	14.24	0.7500
17	6.3313	6.8876	7.2929	7.3041	7.2948	7.3367	7.3467	7.3452	7.3306	7.3030	1.3081	5.9949	0.2118	21.18	0.8400
18	6.2584	7.0000	7.5943	7.6134	7.6044	ราขึ้น	ราขึ้น	ราขึ้น	ราขึ้น	ราขึ้น	1.2452				0.9000

น้ำหนักภาชนะ	น้ำหนักที่ชั่ง	น้ำหนักของแข็ง
0.4179	5.3621	4.9440
0.4821	5.4321	4.9500
	average	4.9470

ภาคผนวก ค ข้อมูลเกี่ยวกับการทำกราฟวอเตอร์ซอร์ปชั่นไอโซเทอร์มของลูกเกดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

หมายเลขขวด	วันที่ชั่งน้ำหนัก									ภาชนะ	น้ำหนักที่ชั่ง-ภาชนะ	moisture d.b.	%	aw
	0	2	9	11	13	17	19	25	31					
19	6.2041	5.8661	5.8478	5.8237	5.8079	5.7905	5.7834	5.7654	5.6709	1.1556	4.5153	0.0406	4.06	0.1115
20	6.2355	5.9452	5.8856	5.8617	5.8451	5.8284	5.8214	5.8040	5.7321	1.1796	4.5525	0.0421	4.21	0.2260
21	6.2028	5.8970	5.8793	5.8560	5.8410	5.8285	5.8236	5.8123	5.8042	1.1910	4.6132	0.0532	5.32	0.3273
22	6.2564	6.0468	6.0315	6.0138	6.0028	5.9926	5.9892	5.9810	5.9145	1.1795	4.7350	0.0854	8.54	0.4380
23	6.4325	6.3514	6.3457	6.3387	6.3372	6.3357	6.3363	6.3333	6.2980	1.3791	4.9189	0.1230	12.30	0.5286
24	6.2542	6.2651	6.2672	6.2679	6.2735	6.2754	6.2773	6.2758	6.2738	1.2152	5.0586	0.1598	15.98	0.5770
25	6.2469	6.8932	6.9409	6.9893	7.0322	7.0596	7.0658	7.0747	7.0723	1.2017	5.8706	0.3530	35.30	0.7500
26	6.2619	7.4342	7.5461	7.6538	7.7544	7.8316	7.8605	7.9038	7.8940	1.2519	6.6421	0.5308	53.08	0.8400
27	6.2266	7.7884	8.0706	8.2871	ราขึ้น	ราขึ้น	ราขึ้น	ราขึ้น	ราขึ้น	1.1913				0.9000

น้ำหนักภาชนะ	น้ำหนักที่ชั่ง	น้ำหนักของแข็ง
0.4022	4.7443	4.3420
0.4126	4.7485	4.3360
	average	4.3390

ภาคผนวก ง. ผลการทดลองวัดค่ามุม(องศา)ที่เหมาะสมของปลาข้าวสารทอด ในสภาวะปกติโดยใช้เครื่องมือทดสอบ

มุม(องศา)	20	25	30
จำนวนปลาที่แตก(ตัว)	2	4	4

ภาคผนวก จ ผลการทดลองจำนวนปลาที่แตกที่สภาวะวอเตอร์แอคติวิตี้ต่างๆ (ที่มุม 25 องศา)

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	จำนวนปลาที่แตก(ตัว)
0.1150	5
0.2260	4
0.3273	4
0.4380	4
0.5286	3
0.5770	1
0.7500	0
0.8400	0
0.9000	0

หมายเหตุ 1.จำนวนปลาที่ใช้ทดลอง 5 ตัว

2.สภาวะที่จำนวนปลาที่แตกตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไป แสดงว่าปลายังคงมีความกรอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3.มุมที่ยอมรับได้คือมุมที่ทำให้ปลาแตกมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ตัว

4.ค่าที่ได้จากตารางเป็นการทดลองเฉลี่ย 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ ผลการทดลองวัดค่ามุม(องศา)ที่เหมาะสมของถั่วลันเตาอบกรอบในสภาวะปกติโ
ใช้เครื่องมือทดสอบ

มุม(องศา)	ลักษณะการแตก
20	เริ่มร้าว
25	เริ่มร้าว
30	แตกครึ่งเม็ด
35	แตกครึ่งเม็ด
40	แตก
45	แตกละเอียด

ภาคผนวก ช ผลการทดลองลักษณะการแตกของถั่วลันเตาที่สภาวะวอเตอร์แอคติวิตี้ต่างๆ
(ที่มุม 40 องศา)

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้	ลักษณะการแตก
0.1150	แตกละเอียด
0.2260	แตก
0.3273	แตก
0.4380	แตก
0.5286	แตกครึ่งเม็ด
0.5770	ไม่แตก
0.7500	ไม่แตก
0.8400	ไม่แตก
0.9000	ไม่แตก

หมายเหตุ 1.จำนวนถั่วที่ใช้ในการทดลอง 1 เม็ด

2.สภาวะที่ถั่วมีลักษณะการแตกตั้งแต่ครึ่งหนึ่งขึ้นไปแสดงว่า
ถั่วลันเตาอบกรอบยังคงมีความกรอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3.ค่าที่ได้จากตารางเป็นการทดลองเฉลี่ย 3 ครั้ง

4.มุมที่ยอมรับได้คือ มุมที่ทำให้ถั่วมีลักษณะการแตกดังนี้ แตกครึ่งเม็ด,แตก,
แตกละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ ผลการทดลองวัดความนุ่มของลูกเกดโดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบ 11 คน

คนที่ / aw	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	ฐานนิยม
0.115	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
0.226	(1,1)	(1,1)	(1,2)	(1,1)	(2,2)	(1,1)	(1,2)	(1,0)	(1,1)	(1,0)	(1,1)	(1,1)
0.327	(2,2)	(3,2)	(3,3)	(2,1)	(3,2)	(2,2)	(2,3)	(3,2)	(3,3)	(2,1)	(2,2)	(2,2)
0.438	(3,4)	(4,4)	(4,3)	(3,3)	(3,3)	(3,4)	(4,4)	(4,3)	(3,4)	(3,3)	(4,4)	(3,4)
0.528	(4,4)	(4,3)	(4,2)	(4,3)	(3,2)	(3,2)	(4,4)	(4,3)	(4,4)	(3,3)	(4,5)	(4,3)
0.57	(4,4)	(4,3)	(4,3)	(4,3)	(4,3)	(4,3)	(4,5)	(4,4)	(4,4)	(4,4)	(4,5)	(4,3)
0.75	(5,3)	(5,2)	(5,3)	(5,3)	(5,2)	(5,0)	(5,0)	(5,2)	(5,3)	(5,3)	(5,3)	(5,3)

หมายเหตุ ค่า(x,y) คือ (คะแนนความนุ่ม,คะแนนความชอบ)

คะแนนความนุ่ม		คะแนนความชอบ	
นุ่มมากที่สุด	5	ชอบมากที่สุด	5
นุ่มมาก	4	ชอบมาก	4
นุ่ม	3	ชอบ	3
นุ่มน้อย	2	พอใจ	2
ค่อนข้างแข็ง	1	เฉยๆ	1
แข็ง	0	ไม่ชอบ	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณอาจารย์กันต์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนแนวทางแก้ไขอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงงาน

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สาทิป รัตรภาสกร และอาจารย์พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ที่กรุณามาเป็นกรรมการสอบโครงงานและให้คำแนะนำอื่นๆขอบคุณเพื่อนนักศึกษาและเจ้าหน้าที่วิศวกรรมอาหารทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทดลองจนประสบผลสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณและขอบใจผู้ที่ให้กำลังใจการทำโครงงานนี้จนสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ประเสริฐ สุทธิประสิทธิ์,ชลลดา ปรีดา และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต.เคมีและจุลชีววิทยาของอาหาร หน่วยที1-5 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชาคหกรรมศาตร์ นนทบุรี หน้า 21-34 2539

รัชนี ยืนยาว การศึกษาค่าพารามิเตอรีในการออกแบบเครื่องอบแห้งเมล็ดพริกไทย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร หน้า 8-24 2537

วิฑูรย์ พิมพ์สวัสดิ์ เครื่องวัดวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อาหาร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร หน้า 1-12 2539

Ayranci E., Ayarnci G. and Dugantan Z., Moisture Srption Isotherm of Dried Apricot, Fig and Raisin at 20°C and 36°C J.Food Sci Vol.55, No. 6, 1591-1593, 1990.

Bone D.P. and Shanoon E.L., Method of makings dryt type pet food having a meat-like texture and composition there of U.S. patent3, 888, 672 May 13, 1997.

Canell J., C.Rossello, S. Simal, Soler and A. mutet, Storang Conditions Affect Quality of Raisins. J. Food Sci. Vol.58, No.4, 805-809, 1993.

Charlers S. Gaines, Instrumental Measurement of The Hardness of cookies and crackers, Cereal food world, Vol.36, No.12, 989-996,1991.

Divino G.L., Koehler P.E. and Akoh C.C., Enzymatic and autoxidation of defeated peanuts. J.Food Sci. Vol.61, No.1, 112-115, 1996.

Glasstone S., Textbook of Physical Chemistry, 2nd ed. D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton NJ.,1946.

Holton E.E.,Asp E.H., and Zottola E.A., Corm-Strach Containing Polyethylene Film Uses As Food Packing, J. American Association of Cereal Chemists Inc.,Vol.39,No.4, 237-241, 1994.

Huffman V.L., Lee C.K. and Buss E.E., Selected Funtional of Sunflower Meal J. Food Sci., Vol.40, 70-72, 1975.

Lewicki P.P., Water sorption isotherm and their Estimation in Food Model Mechanical Mixture, J. Food Engineer, Vol.32, 47-68, 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Long Tak Lim, Juming Tang andnshan He, moisture sorption characteristics of Freeze Dried Blueberries J.Food Sci., Vol.60, No.4, 810-814, 1995.

Louis B. and Beuchat R. Water Activity : Theory and Applications of Food. Marcel Dekker. United Stated of America, 1987.

Mate J.,Saltveit M.E. and Krochta J.M., Peanut and Walnut Rancidity : Effect of Oxygen Concentration and Relative Humidity, J.food Sci., Vol.61, No.2,465-472, 1996.

Matz A.S. and PH.D. Water in Foods moisture Transfer in Finished Products, 236-242, 1965.

Nancy T. and Tom R., http://www.cfe.cornell.edu.

Nwokolo E. and Smart J., Food and Feed from Legumes and Oilseeds. Chapman & Hall.

Salwin H.,Moisture levels requires for stability in dehydrated foods. Food Technol. 17(9),34, 1963.

Theodore P. Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use. American Association of Cereal Chamists. USA.,1984.

Tsami E., Kouris M.D. and Maroulis Z.B., Water Sorption Isotherm of Raisin, Currants, Figs, Prunes and Apricots.,J. Food Sci, Vol.55, No.6, 1594-4597, 1990.

Warunee Varanyarond, Hirata Takashi and Ishitani Takasuke, Quality Preservation of Shrimp cracker by Packing Techiques, J. Ntion Food Research Institute, 579-585, 1985.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้