ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เครื่องวัดความดันไอน้ำอาหาร

WATER ACTIVITY IN FOOD MEASUREMENT

โดย

นางสาวนงลักษณ์ วิจารณ์ปรีชา

นางสาวพัชรี ระพีแสง

นางสาวยุวภา ใจบุญ

วัน เดือน ปี 18 ม.ค. 2539
เลขทะเบียน 034811
เลขเรียกหนังสือ T37111 ช.ป

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

034811

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดความดันไอน้ำอาหาร

ผู้จัดทำ

1. นางสาวนงลักษณ์ วิจารณ์ปรีชา

2. นางสาวพัชรี ระพีแสง

3. นางสาวยุวภา ใจบุญ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(นางนิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(นายกิตติชัย บรรจง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WATER ACTIVITY FOOD MEASUREMENT

NONGLAK WIJANPREECHA

PATCHAREE RAPEESANG

YUVAPA JAIBOON

PIMPEN PORNCHALERMPONG ADVISOR

KITTICHI BUNJONG ADVISOR

Abstract

Water activity measurement is used to measure free water in food by measuring . The equilibrium relative humidity of air over the headspace of the food in the tightly close and control temperature chamber.This project is to design and construct the control temperture chember at 24 - 26 c, 65 littres involume. Inside the chember,there is a 120 cc glass bottle firmly seal with relaative humidity probe.It uses 10-40 grams of food sample per an experriment.A particular low moisture content food. For this reason,lead to the testing thisequipment with 5 standard saturated salt solution is LiCl , NaCl ,$MgCl_2.6H_2O$, $Mg(NO_3)_2.6H_2O$,$(NH_4)_2SO_4$ .Shown that it can perform accuracyand consistency at the a_w below 0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญภาพ	ค
สารบัญตาราง	จ
บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความดันไอน้ำของอาหาร	1
1.1 น้ำในอาหาร	1
1.2 ความชื้นสัมพัทธ์	1
1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ กับ a_w	2
1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ moisture sorption ในอาหาร	4
1.5 คุณสมบัติของอาหารที่มีผลต่อค่า a_w	5
1.6 วิธีการวัดค่า a_w	7
1.7 การปรับเทียบค่า	16
บทที่ 2 การทดลองในการหาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อการสร้างเครื่อง	20
2.1 จุดประสงค์	20
2.2 วัสดุและอุปกรณ์	21
2.3 วิธีทดลอง	21
2.4 ผลการทดลอง	22
2.5 สรุปผลการทดลอง	25
บทที่ 3 การออกแบบ และ สร้างเครื่อง	27
3.1 เกณฑ์การออกแบบ	27
3.2 ส่วนประกอบของเครื่อง	28
3.3 ขั้นตอนการสร้างเครื่อง	34
บทที่ 4 การทดสอบเครื่อง และผลการทดลอง	35
4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

4.2 วิธีทดลอง 35

4.3 ผลการทดลอง 36

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ 42

5.1 สรุปผลการทดลอง 42

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง 42

5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 43

ภาคผนวก 44

กิตติกรรมประกาศ 63

เอกสารอ้างอิง 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 แสดงความชื้นของแครกเกอร์ที่เพิ่มขึ้นจนถึงสภาวะสมดุล 3

รูปที่ 2 แสดงความชื้นของเนื้อที่ลดลงจนถึงสภาวะสมดุล 3

รูปที่ 3 แสดงเครื่องมือวัดแบบ EG & G Dew point 12

รูปที่ 4 แสดงเครื่องมือวัดแบบ SINA Instrument 13

รูปที่ 5 แสดงเครื่องมือวัดแบบ Hair Hygrometer 14

รูปที่ 6 แสดงเครื่องมือวัดแบบ Vapor Pressure Manometer 15

รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของโกโก้ 23

รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของแครกเกอร์ 23

รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของนมข้นหวาน 24

รูปที่ 10 เครื่องมือวัดค่า a_w ที่สร้างขึ้น 27

รูปที่ 11 แผงทำความเย็น 28

รูปที่ 12 คอมเพรสเซอร์ 29

รูปที่ 13 แผงระบายความร้อน 30

รูปที่ 14 หัววัดความชื้น และขวดแก้ว 31

รูปที่ 15 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ 32

รูปที่ 16 ตัวแสดงผล 33

รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของแครกเกอร์ 37

รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของนมผง 37

รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของน้ำตาล 38

รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของไมโล 38

รูปที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของลิเทียมคลอไรด์ 39

รูปที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของแมกนิเซียม คลอไรด์ 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $B_{\frac{1}{2}}$ กับเวลาแมกนิเซียมไนเตรด 40

รูปที่ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $B_{\frac{1}{2}}$ กับเวลาโซเดียมคลอไรด์ 40

รูปที่ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $B_{\frac{1}{2}}$ กับเวลาแอมโมเนียมซัลเฟต 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงค่า ε ที่ 25 องศาเซลเซียสของสารละลายอิ่มตัว 10

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบวิธีหาค่า ε โดยใช้เครื่องมือพิเศษ 11

ตารางที่ 3 แสดงความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้กรดซัลฟุริก 18

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 แสดงค่า ε ของแครกเกอร์ตามเวลาต่าง ๆของเครื่องที่สร้างขึ้น 45

ตารางที่ 2 แสดงค่า ε ของแครกเกอร์ตามเวลาต่าง ๆของเครื่อง Novasina 46

ตารางที่ 3 แสดงค่า ε ของน้ำตาลตามเวลาต่าง ๆของเครื่องที่สร้างขึ้น 47

ตารางที่ 4 แสดงค่า ε ของน้ำตาลตามเวลาต่าง ๆของเครื่อง Novasina 48

ตารางที่ 5 แสดงค่า ε ของนมผงตามเวลาต่าง ๆของเครื่องที่สร้างขึ้น 49

ตารางที่ 6 แสดงค่า ε ของนมผงตามเวลาต่าง ๆของเครื่อง Novasina 50

ตารางที่ 7 แสดงค่า ε ของไมโลตามเวลาต่าง ๆของเครื่องที่สร้างขึ้น 51

ตารางที่ 8 แสดงค่า ε ของไมโลตามเวลาต่าง ๆของเครื่อง Novasina 52

ตารางที่ 9 แสดงค่า ε ของลิเทียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆของเครื่องที่สร้างขึ้น 53

ตารางที่ 10 แสดงค่า ε ของลิเทียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆของเครื่อง Novasina 54

ตารางที่ 11 แสดงค่า ε ของแมกนิเซียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆของเครื่องที่สร้างขึ้น 55

ตารางที่ 12 แสดงค่า ε ของแมกนิเซียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆของเครื่อง Novasina 56

ตารางที่ 13 แสดงค่า ε ของแมกนิเซียมไนเตรดตามเวลาต่าง ๆของเครื่องที่สร้างขึ้น 57

ตารางที่ 14 แสดงค่า ε ของแมกนิเซียไนเตรดตามเวลาต่าง ๆของเครื่อง Novasina 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 15 แสดงค่า $a_{\bar{n}}$ ของโซเดียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆของ เครื่องที่สร้างขึ้น 59

ตารางที่ 16 แสดงค่า $a_{\bar{n}}$ ของโซเดียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆของ เครื่อง Novasina 60

ตารางที่ 17 แสดงค่า $a_{\bar{n}}$ ของแอมโมเนียมซัลเฟตตามเวลาต่าง ๆของ เครื่องที่สร้างขึ้น 61

ตารางที่ 18 แสดงค่า $a_{\bar{n}}$ ของแอมโมเนียมซัลเฟตตามเวลาต่าง ๆของ เครื่อง Novasina 62

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความดันไอของน้ำในอาหาร

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารทุกชนิด ซึ่งในอาหารแต่ละชนิด จะมีน้ำเป็นส่วนประกอบในปริมาณไม่เท่ากัน และจากคุณสมบัตินี้ทำให้สามารถจัดหมวดหมู่อาหารได้ ตามปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารได้ค่า a_w จะวัดค่าได้เป็นปริมาณน้ำอิสระที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งน้ำประเภทนี้จะทำให้เกิดการเน่าเสียในอาหาร เนื่องจากเป็นปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต สืบพันธุ์ และปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ดังนั้นทำให้ต้องมีการควบคุมไม่ให้มีปริมาณน้ำพอสำหรับจุลินทรีย์นำไปใช้ จึงได้สร้างเครื่องวัดค่า a_w มาใช้ และทดสอบหาปริมาณน้ำที่พอเหมาะไม่ให้อาหารเกิดการเน่าเสีย

ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทั่ว ๆ ไป จะต้องทำการวัดหาค่า a_w ของวัตถุดิบก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปอาหารจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง และสม่ำเสมอ

ด้วยเหตุนี้คณะนักศึกษาจึงทำการศึกษา และออกแบบเครื่องวัดค่า a_w ขึ้นซึ่งเครื่องที่ได้ทำการศึกษา และสร้างขึ้นมานี้มีคุณสมบัติเพิ่มเติมจากเครื่องที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือ มีราคาที่ต่ำกว่าท้องตลาด และสามารถประหยัดเวลา อุปกรณ์ในการทดสอบ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการได้

1.1 น้ำในอาหาร

น้ำในอาหาร คือ ส่วนประกอบของอาหารโดยทั่วไป อาจอยู่ในผลิกของสาร เช่น น้ำตาล และเกลือ แต่จะมีปริมาณน้อย ส่วนเซลของพืช และสัตว์จะประกอบด้วยน้ำเป็นจำนวนมาก เช่น ผักใบเขียว มีปริมาณน้ำเป็นประกอบมากถึง 90 % หรือมากกว่านี้

1.2 ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง ความดันไอน้ำของน้ำในอากาศ (P_w) เมื่อเทียบกับความดันของไอน้ำบริสุทธิ์ (P_o มีหน่วยเป็น mmHg) ที่อุณหภูมิเดียวกันอาจเขียนแทนด้วยสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%RH = (P_w/P_o)100$$

1.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Relative Humidity กับ A_w

จากการทดลองหนึ่ง ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง %RH กับ a_w ได้ดังนี้ คือ เมื่อเราทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ในภาชนะปิด อาหารที่นำมาใช้ในการทดลอง 2 ชนิด คือ แครกเกอร์ กับ เนื้อสด เริ่มแรกใส่แครกเกอร์ลงในกล่องควบคุมดังกล่าว ซึ่งแครกเกอร์มีความชื้นเริ่มต้น 3 %โดยน้ำหนัก(มาตราฐานเปียก) เมื่อทิ้งไว้ประมาณ 8 วัน พบว่ามีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 12 % แม้จะทิ้งไว้นานเท่าใดก็ตาม ณ. จุดนี้เรียกว่า ความชื้นสมดุลย์ (equilibrium moisture content) การทดลองตัวอย่างที่ 2 ใช้เนื้อสดที่ความชื้นเริ่มต้น 60 % ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองแรก ปรากฏว่าความชื้นจะลดลงถึงจุดสมดุลย์ที่ 20 % ดังกราฟ (รูปที่ 1 และ รูปที่ 2)

หลังจากนั้นนำอาหารตัวอย่างมาใส่ขวดปิดสนิททั้ง 2 ตัวอย่าง ซึ่งมีช่องว่างอากาศด้านบนอาหารเล็กน้อย ปรากฏว่า จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอธิบายได้ดังสมการ

$$\text{จาก} \quad U = U_o + RT \ln a \qquad (2)$$

U : ค่า chemical potential

R : ค่าคงที่ก๊าซ

T : อุณหภูมิ

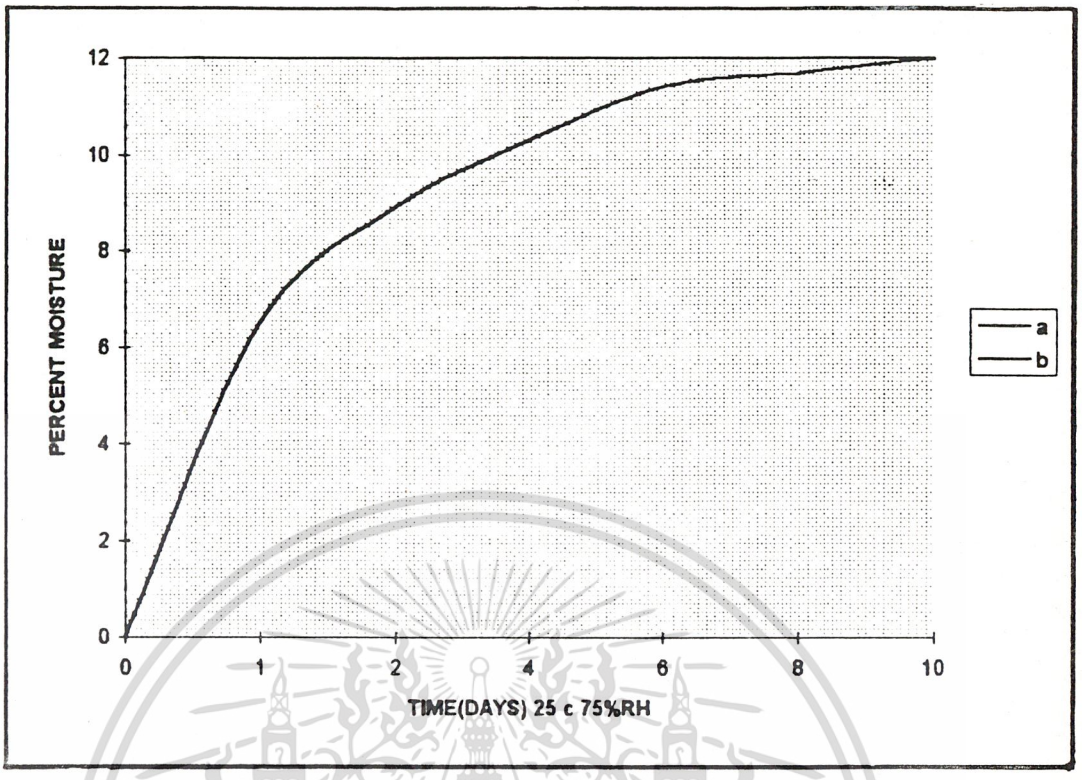
a : activity ของส่วนที่ต้องการคิด

จากการทดลองเมื่อนำอาหารมา 2 ตัวอย่างมาใส่ขวดรวมกัน จะสังเกตุว่าไม่มีการแลกเปลี่ยนความชื้นซึ่งกันและกัน จึงสรุปได้ว่ามีภาวะสมดุลย์เท่ากัน

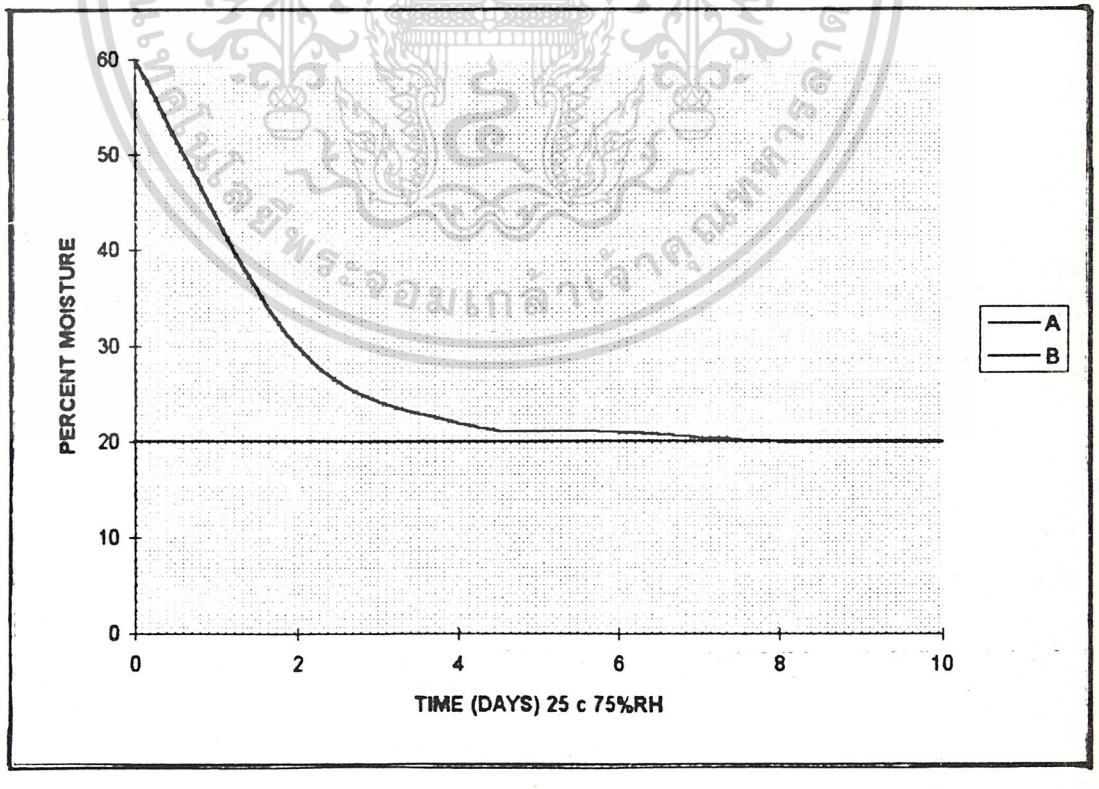
$$(U_{\text{น้ำ}})_{\text{แครกเกอร์}} = (U_{\text{น้ำ}})_{\text{เนื้อสด}} \qquad (3)$$

จากสมการข้างต้นจะได้ว่า เมื่อ U_o ,R, T คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงความชื้นของแครกเกอร์ที่เพิ่มขึ้นจนถึงสภาวะสมดุล



รูปที่ 2 แสดงความชื้นของเนื้อสดที่ลดลงจนถึงสภาวะสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(a_w)_{\text{เนื้อสด}} = (a_w)_{\text{แครกเกอร์}} = (a_w)_{\text{อากาศเหนืออาหารตัวอย่าง}} \quad (4)$$

คือ ทั้งระบบที่มีทั้ง เนื้อสด , แครกเกอร์ และ อากาศเหนืออาหารตัวอย่างภายในขวดปิดสนิท มีค่า a_w เท่ากัน จึงไม่เกิดการถ่ายเทความชื้นให้แก่กัน เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลย์

1.4 ความสัมพันธ์ของค่า water activity และ moisture sorption ในอาหาร

จากผลการทดลองพบว่า chemical potential และ activity ของน้ำทั้งอากาศ เนื้อสด และ แครกเกอร์ มีค่าเท่ากัน เราสามารถใช้สมการทางเทอร์โมไดนามิกส์อีกสมการหนึ่ง เพื่อนิยามความหมาย activity ของน้ำกล่าวคือ ในสภาวะที่เป็นก๊าซภายใต้สภาวะปกติ activity ของโมเลกุลก๊าซชนิดหนึ่งจะเท่ากับความดันของก๊าซชนิดนั้นหารด้วยความดันของก๊าซทั้งระบบ และถ้าที่อุณหภูมิเดียวกัน การที่ก๊าซชนิดนั้นอิ่มตัวในที่ว่างแห่งหนึ่งหมายความว่ามีโมเลกุลของก๊าซชนิดอื่นของก๊าซเข้ามาในระบบ โมเลกุลนั้นจะควบแน่นออกมาเป็นของเหลวหรือตกผลึกออกมาเป็นของแข็ง

จากสมการสำหรับไอน้ำและ activity ของน้ำในไอ(นักวิทยาศาสตร์ทางอาหาร) เรียกค่านี้ว่า a หรือ a_w จะได้ว่า

$$a_w = P_w / P_o \quad (5)$$

จากสมการนี้ใกล้เคียงกับสมการที่ 1 ซึ่งสามารถบอกเราได้ว่า ถ้าเราทราบความชื้นสัมพัทธ์ของน้ำในอากาศในภาชนะปิด เราก็สามารถทราบค่า a_w ของอากาศได้จากสมการที่ 6

$$a_w = \%RH / 100 \quad (6)$$

เนื่องจากน้ำในอาหารทั้งสองชนิดหลังการทดลองจะเข้าสู่สภาวะสมดุลกับน้ำในอากาศค่าa_w ของอาหารจะมีค่าเท่ากับค่า a_w ของอากาศซึ่งเราสามารถวัดได้จากสมการที่ 6 ถ้าเราทราบ %RH ของอากาศ เมื่อน้ำในอาหารเข้าสู่สภาวะสมดุล กับอากาศที่อยู่รอบๆ บางครั้งค่า a_w สามารถที่จะนิยามได้อีกค่าหนึ่ง คือเป็น %ERH (equilibrium relative humidity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a_w = %ERH /100 (7)

สิ่งสำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึงนั้นคือการวัดค่า a_w ของอาหาร โดยการวัด a_w (หรือ % ERH) ของอากาศบริเวณที่ว่างเหนืออาหารในภาชนะปิดจำเป็นที่จะต้องให้อากาศอยู่ในสภาวะสมดุลย์ และประเด็นที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ อาหารที่มีความชื้นต่างกัน จะมีค่า a_w ต่างกันขึ้นอยู่กับสภาวะของน้ำในอาหารนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับค่า a_w เรียกว่า moisture sorption isotherm การใช้คำว่า isotherm เนื่องจากอุณหภูมิที่วัดจะต้องคงที่ (ดูจากสมการที่ 2)

1.5 คุณสมบัติของอาหารที่มีผลต่อค่า a_w

คุณสมบัติของอาหาร และปฏิกริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของอาหารจะมีผลต่อปริมาณการจับตัวกันของน้ำ ถ้าการจับตัวกันของน้ำแน่นหนา จะทำให้ U หรือค่า a_w ต่ำ และส่งผลต่อคุณภาพของอาหารด้วย ซึ่งมีหลักเกณฑ์ 3 ข้อ ที่มีผลต่อค่า a_w คือ

1.5.1 Colligative effect

เมื่อนำตัวถูกละลายที่เป็นของแข็งละลายลงในน้ำ ตัวถูกละลายนี้จะทำปฏิกริยากับน้ำเป็น 3 มิติ คือ dipole - dipole , ionic และเป็นพันธะไฮโดรเจน คือ ขั้วของน้ำซึ่งมีประจุจะเกาะติดกับตัวถูกละลายทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลง โดยจะสัมพันธ์กันโดยตรงระหว่างปริมาณตัวถูกละลายที่ใส่ลงไป กับ โมเลกุลของน้ำ ซึ่งปฏิกริยานี้เรียกว่า Colligative effect

ตัวถูกละลายที่ใส่ลงไปจะไปลด a_w ของอาหาร และอากาศเหนือสารละลายด้วย สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$a_w = r \cdot \frac{N_{น้ำ}}{N_{น้ำ} + N_{สารละลาย}} \quad (8a)$$

r : สัมประสิทธิ์การละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N น้ำ : โมลของน้ำในสารละลาย

N สารละลาย : โมลของตัวถูกละลาย

ค่าของ r จะแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

- ถ้ามีการละลายอย่างสมบูรณ์ เช่น น้ำตาล ,เกลือ ค่าของ r = 1
- ถ้ามีการละลายแบบไม่สมบูรณ์ ได้แก่ สารที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น gum , แป้ง และโปรตีน ค่า r จะน้อยกว่า 1

เพื่อจะแสดงผลของ Colligative จะมีการทำนายค่า a_w สำหรับ 1 โมลของ NaCl ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล = 58.45 โดยเติมน้ำลงไป 1,000 กรัม

$$a_w = \frac{1{,}000/18}{(1{,}000/18)+(58.45/58.45)x2} = 0.965$$

เลข 2 ในสมการข้างต้น คือ ชนิดของตัวถูกละลายที่รวมกันเป็นสารละลายจากสมการค่า r = 1 เนื่องจากเป็นการละลายของสารละลายที่สมบูรณ์ส่วนค่า a_w ที่วัดได้สำหรับ 1 โมลของ NaCl = 0.969

ดังนั้น $r = \frac{0.969}{0.965} = 1.004$

ซึ่งค่า r ที่ได้ใกล้เคียงกับ 1

คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของ Colligative คือ การลดลงของจุดเยือกแข็งและสามารถหา a_w ได้จากสมการความสัมพันธ์

ผลต่าง T = 1.86 N'_w

โดยที่ ผลต่าง T : ความแตกต่างของอุณหภูมิ

N'_w : จำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลายต่อน้ำ 1,000 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ารู้ค่า ผลต่าง T ก็สามารถหาค่า N'_{ω} ได้ แล้วนำไปแทนในสมการ 8a จะได้ a_{ω}

1.5.2 Capillaly effect

สิ่งที่มีผลทำให้ค่า a_{ω} ลดลงข้อที่ 2 ก็คือ Capillary effect ซึ่งเกิดในอาหารประเภทที่มีน้ำอยู่ในรูปเซลของหลอด ความดันไอของอาหารประเภทนี้จะน้อยกว่าปกติ ยิ่งหลอดเล็กมากเท่าใดก็ยิ่งทำให้ a_{ω} ลดลงมาก ผลของ Capillary จะเกิดในทุก ๆ ช่วงที่อุณหภูมิคงที่สำหรับวัสดุที่พองตัวได้ จะดูดน้ำได้มาก เนื่องจากมีพื้นที่ที่เป็นรูพรุนมากจึงทำให้ค่า a_{ω} สูงขึ้น เมื่อความชื้นสูง ๆ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำจะเกิดขึ้นอย่างหลวม ๆ

1.5.3 ปฏิกริยาที่พื้นผิว

น้ำจะทำปฏิกริยาโดยตรงกับกลุ่มของเคมีชนิดอื่น โดยแรง dipole - dipole, พันธะไอออนิก (H_3O^+,OH^-) , แรงวาลเดอร์วอล (vander wall) และ พันธะไฮโดรเจน ซึ่งแรงเหล่านี้ต้องการเพิ่มเติมในการเปลี่ยนให้เป็นไอ เป็นผลทำให้ a_{ω} ลดลงซึ่งผลดังกล่าวจะเกิดขึ้นทุก ๆ ช่วงอุณหภูมิคงที่ แต่จะเกิดขึ้นมากในช่วงที่ค่า a_{ω} ต่ำ ๆ ส่วนที่สำคัญที่สุด คือ ค่า monolayer ซึ่งส่วนนี้จะทำปฏิกริยากับโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบจึงทำให้สถานะตัวมันเป็นของเหลว ทั่วไปแล้วจะเกิดปฏิกริยาที่ต่ำกว่าความชื้นระดับนี้ ซึ่งใช้น้ำเป็นตัวกลางทำให้เกิดขึ้นตามอัตราที่ต้องการ

1.6 วิธีการวัดค่า a_{ω}

จนปัจจุบัน วิธีการวัดค่า a_{ω} หรือ %ERH ในอาหารมีพื้นฐานซึ่งปรับปรุงมาจากการวัดในทางอุตุนิยมวิทยาเพื่อที่จะวัดความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ เนื่องจากว่าเกือบทุกวิธีที่ใช้ของนักวิทยาศาสตร์การอาหาร เพื่อบอกปริมาณความชื้นที่วัดในบรรยากาศปิดสนิทที่อยู่ในสภาวะสมดุล เริ่มมีความสนใจเพิ่มขึ้นในทางวิทยาศาสตร์เนื่องจากว่ามีค่า a_{ω} มีความสัมพันธ์กับอาหารได้หลายทาง และเห็นประโยชน์ได้ชัดเจนขึ้น การควบคุม a_{ω} ระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารการบรรจุ การเก็บรักษา มีการพัฒนามาใช้ให้ได้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น มีเครื่องมือวัดจำนวนมากที่ผลิตมาขายในทางการค้าแต่ไม่มีเครื่องมือใดที่จะมาประยุกต์ใช้ได้กับงานทุกงาน เช่น ขบวนการเก็บรักษา แต่ค่าที่วัดได้ก็เป็นที่น่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวัดค่า a_w มีวิธีการวัดได้หลายแบบ เช่น

1. a_w หรือ %ERH

2. ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ

3. Total moisture

เฉพาะข้อ 1 เท่านั้นที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการวัด a_w และ %ERH ซึ่งสัมพันธ์กับอาหารส่วนข้อ 2 เป็นการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ปกคลุมรอบ ๆ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับอาหาร ข้อ 3 เป็นการวัดปริมาณน้ำทั้งหมด โดยไม่ดูว่าน้ำมีพันธะอะไรในอาหาร ทั้ง 3 วิธีสามารถนำมาสัมพันธ์กับ a_w ได้ด้วย Sorption Isotherm

1.6.1 คุณสมบัติของเครื่องมือวัดค่า a_w ที่ต้องการ

เครื่องมือวัด a_w ก็ไม่ต่างจากเครื่องมือวัดทั่วไปคือ มีความถูกต้อง สามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย ความเร็วในการวัด ราคาถูก ขนาดกระทัดรัด สะดวกต่อการใช้งาน ทนทาน ด้านความถูกต้อง และแม่นยำมีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากว่าค่าที่ได้จะคลาดเคลื่อนและยอมรับได้ผิดพลาดประมาณ 0.02 a_w ส่วนช่วงการเก็บรักษาของอาหาร ต้องอาศัยความถูกต้องอย่างมาก ถือว่าค่าช่วงนี้เป็นค่าวิกฤต ฉนั้นการควบคุมค่าวิกฤต จะต้องวัดค่าได้ผิดพลาดไม่เกิน 0.005 คือ ค่าช่วงวิกฤตต้องรายงานค่าถึงทศนิยม 3 ตำแหน่ง

การวัดค่า a_w ในกระบวนการผลิต คุณสมบัติที่สำคัญของเครื่องมือวัดคือ ความทนทาน และความสะดวกในการทำความสะอาดหัววัด การจดบันทึก ถ้าต้องการวัดในโรงงานที่จุดต่างๆเช่น การวัดในโกดัง คุณสมบัติของเครื่องวัดต้องเคลื่อนย้ายได้สะดวก เครื่องที่เหมาะสมสำหรับสภาวะช่วงนี้ คือ slim phycrometer สำหรับการวัด a_w ส่วนใหญ่ อาหารที่จะวัดต้องสมดุลย์กับอาหารรอบนอก ปกติแล้วจะแนะนำให้มีที่ช่วงเหนืออากาศน้อยที่สุดเพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุลย์อย่างรวดเร็ว ดังนั้นภาชนะสำหรับใส่อาหารตัวอย่างควรมีขนาดเล็กที่สุด แต่ปัจจัยนี้ก็อาจแปรเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่แต่ละวิธี

การวัดค่า %RH ของอาหารอาจแบ่งเป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ

1.6.2 วิธีที่ใช้เครื่องมือง่ายๆ ซึ่งทำได้หลายวิธี

1.6.2.1 วิธี Salt-Impregnated Filter Paper วิธีนี้อาศัยหลักความจริงที่ว่า เกลือจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ละลายจนกว่าความชื้นรอบ ๆ ตัวมันสูงขึ้นถึงจุดอิ่มตัวของมันเอง

วิธีการวัดทำได้โดย แช่กระดาษกรองที่ตัดเป็นแถบยาว ๆ ในสารละลายอิ่มตัวของเกลือชนิดต่างๆ ตากให้แห้งแล้วติดกับฝาด้านในของ Petri-dish ใส่อาหารที่จะหา a_w ใน Petri-dish แล้วปิดฝาให้สนิทเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมงถ้ากระดาษกรองดูดความชื้นก็แสดงว่าอาหารมี a_w สูงกว่าเกลือจากกระดาษกรอง a_w ของอาหารจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าสูงสุดเมื่อกระดาษกรองเปียก กับค่าต่ำสุดเมื่อกระดาษกรองแห้ง ข้อจำกัดและความถูกต้องในการวัด ขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของเกลือที่ใช้สำหรับเตรียมกระดาษกรอง

1.6.2.2 วิธี Humidity - induced colour changes วิธีนี้อาศัยการเปลี่ยนสีของCobalt thiocyanate ตาม %RH นำกระดาษกรองที่ชุ่มด้วยเกลือ Cobalt thiocyanate และสมดุลกับบรรยากาศเหนืออาหารที่วัด ไปเทียบกับสีมาตรฐานที่ทราบค่า a_w วิธีนี้ สามารถหาค่า a_w ในช่วง 0.3 - 1.0 และใช้เวลาเพียง 2 ชั่วโมง

1.6.2.3 วิธี Water sorption isotherm วิธีนี้อาศัย Water sorption isotherm มาตรฐาน นำอาหารที่จะหา a_w ใส่ใน desiccator ที่มีโปรตีนแห้งหรือ Micro crystalline cellulose ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งสมดุล ปริมาณน้ำที่ดูดซับโดยโปรตีนหรือ เซลลูโลส ขึ้นอยู่กับค่า a_w เริ่มแรกของอาหาร และสามารถอ่านจาก Water sorption isotherm มาตรฐาน วิธีนี้ใช้ได้ผลมาแล้วกับผลิตภัณฑ์เนื้อ นม ขนมปังและอาหารสัตว์

1.6.2.4วิธีการประมาณค่า a_w โดยใช้กราฟ (graphic interpolation)

คำจำกัดความหนึ่งของ a_w คือ ค่าความชื้นสมดุลซึ่งสารไม่มีการดูดหรือสูญเสียความชื้นที่อุณหภูมิใด ๆ ในทางปฏิบัติสามารถนำแนวคิดนี้มาประมาณค่า a_w ได้โดยมีความถูกต้องพอสมควร โดยปกติการหาจุดที่สารไม่มีการดูดหรือสูญเสียน้ำต้องเสียเวลานานมาก เราสามารถประมาณค่านี้ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของน้ำที่ดูดหรือสูญเสียภายในภาชนะปิดที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ระดับต่าง ๆ ซึ่งโดยวิธีนี้ปกติจะใช้เวลาเพียง 1-2 ชั่วโมง เมื่อเรานำผลต่างโดยน้ำหนักของสารเก็บรักษาภายในภาชนะปิด ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆหลังเวลาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
034811

กำหนดกับความชื้นสัมพัทธ์นั้นมาเขียนกราฟแล้วจะได้ความสัมพันธ์ค่า a_w โดยเทียบเอาที่จุดตัดของกราฟดังกล่าวกับเส้นที่การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำหนักเท่ากับ 0 ซึ่งที่จุดดังกล่าวนำมาหาร 100 ถือเป็นค่าประมาณของ a_w ของสารนั้น ในการหาค่าดังกล่าวต้องใช้ภาชนะปิดอย่างน้อย 4 ค่าความชื้นสัมพัทธ์

ตารางที่ 1 แสดงค่า a_w ที่ 25 องศาเซลเซียส ของสารละลายเกลืออิ่มตัวจากเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ

สารละลายเกลืออิ่มตัว	Washburn 1926	Wexler&Hasegava 1954	Rockland 1960	Weast 1972	Stokes&Robinson 1949
$LiCl.H_2O$	0.15	0.124	0.12	0.15	0.11
$KC_2H_3O_2$	0.20	-	0.23	0.20	0.22
$MgCl_2.6H_2O$	0.33	0.336	0.33	-	0.33
K_2CO_3	-	-	0.44	0.44	-
$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	0.55	0.549	0.52	0.52	0.53
$NaCl$	0.76	0.755	0.75	-	0.75
$(NH_4)_2SO_4$	0.81	0.806	0.79	0.81	-
$CdCl_2$	-	-	0.82	-	-
Li_2SO_4	-	-	0.85	-	-
K_2CrO_4	0.88	-	0.88	0.88	-
KNO_3	0.94	0.932	0.94	-	0.93
Na_2HPO_4	0.95	-	0.98	0.95	-
K_2SO_4	0.97	0.969	0.97	-	-

*ที่มา Moisture Sorption อ้างโดย Labuza(1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.3วิธีที่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ

ชนิดของเครื่องมือช่วง e_w ที่วัดความถูกต้อง และเวลาสมดุล แสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบวิธีหาค่า e_w โดยใช้เครื่องมือพิเศษ

เครื่องมือ	ช่วง e_w ที่วัด	ความถูกต้อง	เวลาสมดุล
E.G and G Dew point Hygrometer	0.72 - 1.00	0.003	2-3 ชั่วโมง
Laboratory made dew point Hygrometers	0.75 - 0.99	0.003	15 นาที
Hygrodynamics Hygrometer	0.05 - 0.99	0.005	1-24 ชั่วโมง
Sina equihygroscope	0.02 - 0.99	0.002	0.5-24 ชั่วโมง
Phys-chemical Hygrometer	0.11 - 0.92	0.016	1 ชั่วโมง
Luff hair hygrometer	0.4 - 1.0	0.02	8 ชั่วโมง
Wescor pyschrometer	0.935 - 1.0	-	1 ชั่วโมง
Vapour pressure manometer	0.0 - 0.9	0.005	1 ชั่วโมง

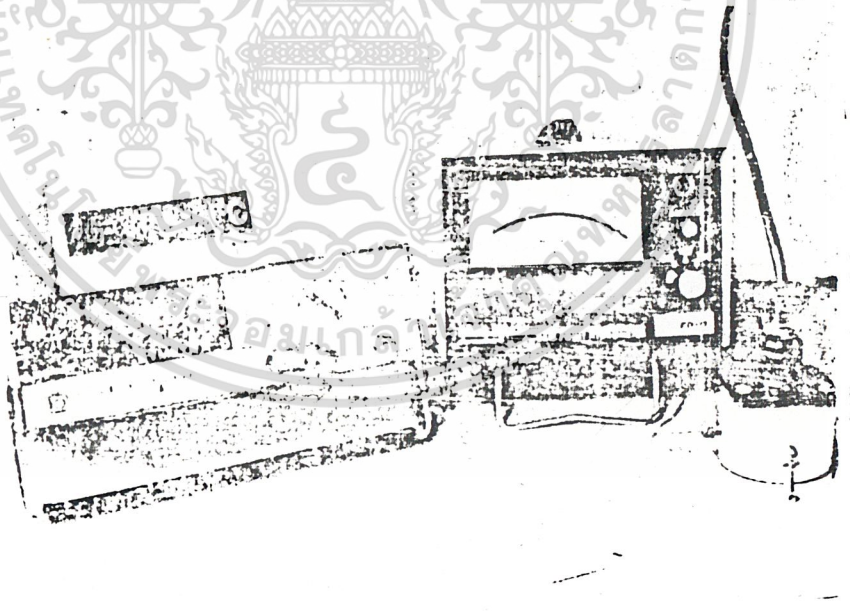
* ที่มา Prior(1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งรายละเอียดของวิธีวัดแบบเครื่องมือพิเศษมีดังต่อไปนี้

1. เครื่องมือวัดแบบ EG. and G Dew point Hygrometer

Cambridge System, Newton, Mass, U.S.A ได้ทำการต่อตัว sensor dew point เข้ากับห้องทดลองที่ใส่ตัวอย่าง ซึ่งห้องทดลองนี้ทำจากสาร PVC ตัว sensor dew point จะมีกระจกที่ทำให้เย็นโดยตัว Thermoelectric cooler เพื่อทำให้ห้องทดลองมีจุดอิ่มตัวที่บรรยากาศ เมื่อมีขบวนการควบแน่นเกิดขึ้นจะมีหยดน้ำเกาะที่กระจก ตัว sensor จะทำงานและวัดค่าที่จุดนี้ ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดที่ห้องทดลองเกิดสภาวะสมดุล ก็จะได้ค่า a_w เวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดภาวะสมดุลประมาณ 2-3 ชั่วโมง ค่า a_w ของตัวอย่างจะสามารถคำนวนได้จาก อัตราส่วนระหว่างความดันไอน้ำที่อุณหภูมิของกระจก และอุณหภูมิของห้องทดลอง ซึ่งอุณหภูมินี้สามารถอ่านได้จาก Thermo couple

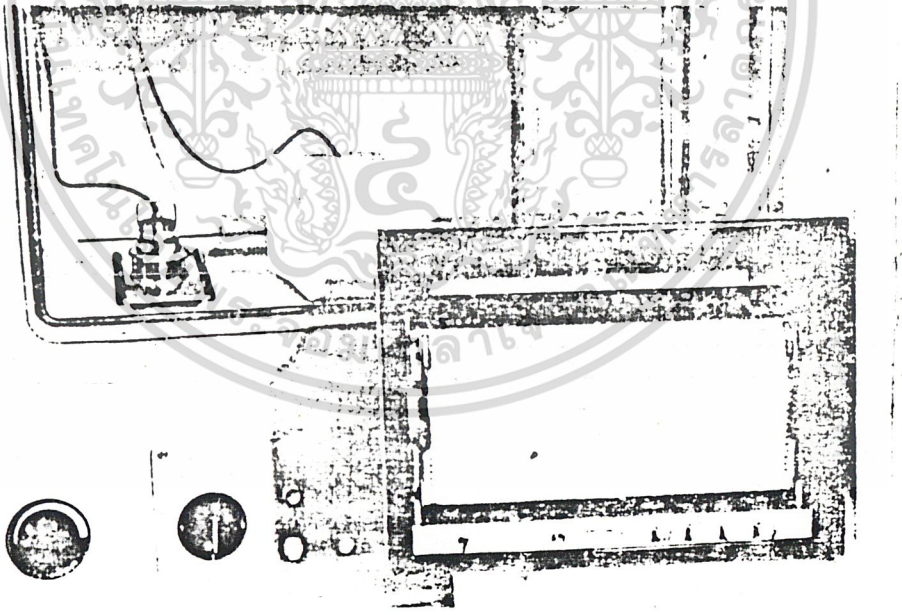


รูปที่ 3 ภาพเครื่องมือวัดแบบ EG and G Dew point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องมือวัดแบบ SINA Instrument

วิธีนี้ใช้หลักการนำไฟฟ้าของ lithium chloride เป็นมาตรฐาน และนำสารตัวอย่างมาวัดค่าความนำไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบความต่างศักย์ แล้วนำค่าที่ได้มาแปรเป็นค่า a_w เครื่องมือวัดชนิดนี้จะประกอบด้วยขวดเล็ก ๆ ที่ใช้สำหรับใส่สารตัวอย่างพร้อมกับมีฝาปิด ค่าการนำไฟฟ้าของ lithium chloride ที่สมดุลในอุปกรณ์การวัด จะเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่รอบ ๆ การหาค่า a_w ของสารตัวอย่างที่ทดสอบจะใช้อุปกรณ์หรือตัว sensor ซึ่งตัว sensor นี้ต่ออยู่กับตัววัดค่าความต่างศักย์ที่จะแสดงค่าออกมาในรูปของความชื้นสัมพัทธ์ดังรูป ในระหว่างที่วัดค่าต้องรักษาอุณหภูมิให้คงที่

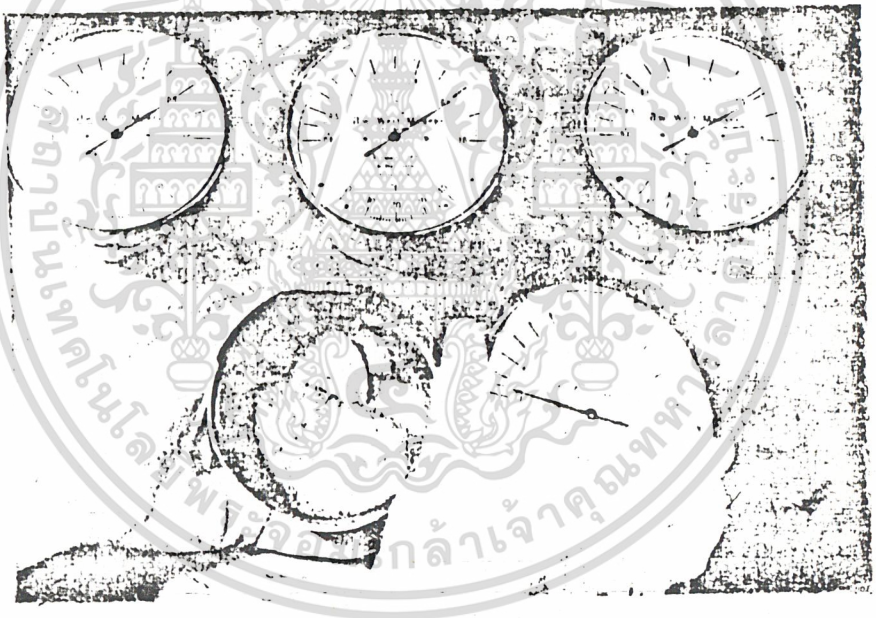


รูปที่ 4 ภาพเครื่องมือวัดแบบ SINA Instrument

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องมือวัดแบบ Hair Hygrometer

วิธีการนี้ใช้หลักการเดียวกันกับ เส้นผมของมนุษย์ที่จะดูดความชื้น แล้วเส้นผมที่บิดจะขยายตัวออกซึ่ง Hair Hygrometer จะใช้เกลียวของขนสัตว์ปลอมมาแทนเส้นผมต่อเข้ากับสปริง เพื่อแสดงค่าบนหน้าปัทม์ ตัวเครื่องจะเป็นกล่องสแตนเลส มีฝาปิด ซึ่งมีอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และความชื้นอยู่ภายใน เครื่องนี้จะใช้เวลานานในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และจะมีประสิทธิภาพดี ที่ความชื้น 85-100% ใช้เวลาในการวัด ประมาณ 3 ชั่วโมง และมีความผิดพลาด 0.03

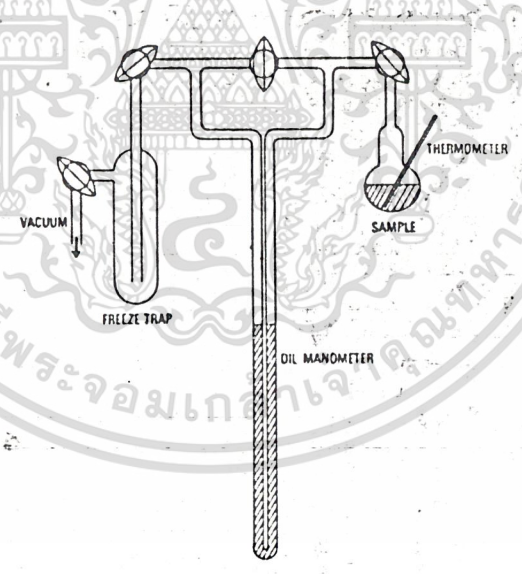


รูปที่ 5 ภาพเครื่องมือวัดแบบ Hair Hygrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องมือวัดแบบ Vapor Pressure manometer

วิธีการทำงานของเครื่องวัด a_w ประเภทนี้ใช้หลักการของ manometor คือ จะนำสารตัวอย่างใส่หลอดทดลอง นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส จากนั้นจัดการเครื่องวัดให้เป็นสุญญากาศ ซึ่งภายในบรรจุน้ำมัน ซึ่งจะมีระดับที่สมมาตรกัน จากนั้น นำตัวอย่างเปิดเข้าสู่ระบบ และอุ่นสารตัวอย่างให้มีอุณหภูมิอยู่ในอุณหภูมิห้อง เมื่อสารอยู่ในอุณหภูมิปกติจะเกิดความดันไอ จากสารตัวอย่างขึ้น ทำให้ระดับของเหลวมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความดันที่แตกต่างกัน ทำให้เราสามารถวัดค่า a_w ของอาหารได้ แต่เครื่องชนิดนี้จะวัดค่า a_w ของอาหารพวกไขมันไม่ได้ และยังมีตัวแปรอีกหลายตัวที่ส่งผลกระทบต่อค่าวัด a_w เช่น ปริมาณไขมันที่ประกอบอยู่ ขนาดตัวอย่าง และขนาดของโมเลกุล



รูปที่ 6 ภาพเครื่องมือวัดแบบ Vapor Pressure manometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องมือวัดแบบ Chemical Method

จะใช้หลักการเดียวกันกับกระดาษวัด pH ซึ่งจะเปลี่ยนสีเมื่อเป็นกรด-เบส ที่ค่าต่างๆโดยมีแบบสีเปรียบเทียบให้ เช่นเดียวกันคือ เราจะใช้สารเคมีบางตัว เมื่อดูดน้ำเข้ามาจะทำให้สีของสารเคมีเปลี่ยนแปลงในระดับต่างๆ ซึ่งสารเคมีที่สังเกตได้ง่ายจะเป็นพวกCabaltous bromide, chloride แต่เครื่องชนิดนี้ จะให้ผลคลาดเคลื่อนที่ เปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำกว่า 15.8% และมีช่วงสมดุลกว้าง

1.7 การปรับเทียบค่า (Calibrate)

ในการเตรียมสารละลายมาตราฐานสำหรับปรับเทียบค่าของเครื่องที่สร้างขึ้นมาจำเป็นที่จะต้องใช้ได้กับทุกวิธี ความถี่ของการเปรียบเทียบค่าขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้วัด ที่ปรากฏเห็นได้ชัด ได้แก่ เครื่องที่มีความไวในการวัดน้อย แม้จะทำการเปรียบเทียบค่าบ่อยครั้งก็ไม่ช่วยให้ค่าที่ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

ความหมายของการปรับเทียบค่า a_w คือ การให้ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้นของเครื่องมือไว้เหนือสารละลายอิ่มตัวของเกลืออนินทรีย์ ซึ่งถูกนำมาใช้มากที่สุดเนื่องจาก % RH (%RH = a_w x 100) ของสารพวกนี้ได้มีทดสอบค่าไว้ แล้วนำค่าที่เราวัดได้มาปรับเทียบค่า

จากรายงานหลายฉบับไม่เห็นด้วยกับความแน่นอนของสารละลายเกลืออิ่มตัว จึงเป็นการยากที่จะประเมินความถูกต้องของเครื่องวัด a_w แต่อย่างไรก็ตามนักวิจัยหลายคนก็ยังยอมรับข้อมูลของสารละลายเกลืออิ่มตัว ซึ่งจะต้องเติมเกลือจำนวนที่มากเกินพอและปล่อยทิ้งไว้ในช่วงเวลานานพอสมควร การปรับเทียบค่าจะทำที่อุณหภูมิเดียวกับที่เตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัว ข้อควรระวัง ในการเตรียมสารละลายควรมั่นใจว่าไม่มีผลึกเกลือโผล่พ้นผิวของสารละลายอาจทำให้มีผลต่อค่า a_w ที่วัด

ในการวัดจำเป็นจะต้องควบคุมอุณหภูมิอย่างระมัดระวัง นอกจากนั้นการปรับเทียบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้สารละลายควรจะทำในช่วงค่า a_w ที่ประมาณไว้ สารละลายเกลือไม่อิ่มตัวอาจจะนำมาใช้เทียบค่า a_w ได้เช่นเดียวกัน ปกติถ้านำมาปรับเทียบค่าเกลือที่ไม่อิ่มตัวจะถูกต้องน้อยกว่า เพราะว่าความผิดพลาดของการชั่งน้ำหนัก หรือการปล่อยสารไว้ในสภาวะบรรยากาศสารละลายที่จะดูดหรือสูญเสียความชื้นทำให้ผลออกมาผิดพลาดสารละลายไม่อิ่มตัวที่นิยมใช้ปรับเทียบค่าคือ สารละลายกรดซัลฟุลิก สามารถตรวจสอบความเข้มข้นได้โดยการ titration จากตารางอุณหภูมิมีผลต่อค่า %RH ต่อขบวนการผลิตสารละลายชนิดอื่นก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับกรดซัลฟุริก จากตารางที่ 2 อุณหภูมิมีความสำคัญอย่างยิ่งกับ %RH ของกรดซัลฟุริกนอกจากนั้นอุณหภูมิยังมีความสัมพันธ์กับ %RH ของสารละลายอื่นด้วย ดังนั้นวิธีการปรับเทียบค่า a_w ใดๆ ก็ตามควรคำนึงถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับเทียบค่าด้วย

เนื่องจากสารละลายที่ใช้ปรับเทียบค่าสามารถเตรียมได้ง่าย ดังนั้นสารปรับเทียบค่ายังมิได้พัฒนาให้มีการจำหน่ายทางการค้าอย่างไรก็ตามเมื่อซื้อเครื่องมือวัดค่า a_w ผู้ขายมักจะให้เกลือเทียบค่าชนิดเม็ดเป็นอุปกรณ์ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงความชื้นสัมพัทธ์โดยกรดซัลฟุริก

เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์	กรดซัลฟุริกโดยเปอร์เซ็นต์น้ำหนัก(องศาเซลเซียส)			
	0	25	50	75
10	63.1	64.8	66.6	68.3
25	54.3	55.9	57.5	59.0
35	49.4	50.9	52.5	54.0
50	42.1	43.4	44.8	46.2
65	34.8	36.0	37.1	38.3
75	29.4	30.4	31.4	32.4
90	17.8	18.5	19.2	20.0

* ที่มา Wexler and Brombacher(1951)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องวัด Water activity ที่มีราคาถูก

2. ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องที่สร้างขึ้นและนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องที่มีอยู่เดิม (เครื่องรุ่น MIK 3000 ของ Novasina)

3. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องวัด a$_w$ ให้สามารถวัดตัวอย่างให้ได้พร้อมๆ กันทีละหลายๆตัวอย่าง โดยเพิ่มจำนวนหัว Prob วัดได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การทดลองในการหาข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างเครื่อง

ในการสร้างเครื่องเริ่มแรกจะต้องศึกษาหาข้อมูลให้ชัดเจนว่า ค่า ε_w มีปัจจัยใดบ้างที่ทำให้ค่าของมันมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งจากการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ โดยทั่วไปจะกล่าวว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อค่า ε_w เป็นอย่างมากกลุ่มนักศึกษาจึงได้ทำการทดลองพิสูจน์ข้อมูลต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วโดยเปรียบเทียบการวัดค่า ε_w แบบมีการควบคุมอุณหภูมิ กับการวัดค่า ε_w แบบไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ และที่ตัวอย่างเรานำมาทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างก่อนการทดลองเก็บที่อุณหภูมิห้องกับตัวอย่างก่อนการทดลองที่เก็บที่อุณหภูมิควบคุม 25 องศาเซลเซียสด้วยเครื่องมือเก่าที่มีอยู่เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างและพัฒนาเครื่องต่อไป

การทดลองที่ 1 วัดค่า ε_w ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เครื่อง Novasina

การทดลองที่ 2 วัดค่า ε_w ที่อุณหภูมิควบคุม 25 องศาเซลเซียสภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

การทดลองที่ 3 วัดค่า ε_w ที่เก็บตัวอย่างก่อนการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียสแล้วทำการทดลองในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

2.1 จุดประสงค์

2.1.1 เพื่อวัดค่า ε_w ของอาหารแต่ละชนิดซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มอาหารในช่วงค่า ε_w ต่างๆ ณ.ที่อุณหภูมิห้อง, ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างก่อนการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียสแล้วนำไปทดลองที่สภาวะต่าง ๆ

2.1.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างที่ 25 องศาเซลเซียส กับที่อุณหภูมิห้องและเก็บตัวอย่างก่อนการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส

2.1.3 นำค่า ε_w ซึ่งเป็นตัวแทนของอาหารแต่ละกลุ่มที่วัดได้แต่ละกรณีที่ได้ใช้เปรียบเทียบกัน

2.1.4 หาข้อดีข้อเสียทั้ง 3 กรณีเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วัสดุและอุปกรณ์

2.2.1 เครื่องวัดค่า a_w รุ่น MIK 3000 ของ Novasina ประกอบด้วย

2.2.1.1 จานสำหรับใส่ตัวอย่าง

2.2.1.2 ตลับอลูมิเนียมสำหรับป้องอากาศจากภายนอก

2.2.1.3 Prob วัดความชื้นและอุณหภูมิ

2.2.1.4 ตัวแสดงผลเป็นเปอร์เซนต์ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ

2.2.1.5 Standard ซึ่งเป็นเกลือลิเทียมคลอไรด์(LiCl)ความเข้มข้น30 เปอร์เซ็นต์

2.2.1.6 แบตเตอร์รี่ ขนาด 9 โวลต์

2.2.2 ตัวแทนของอาหารแต่ละกลุ่มแบ่งตามช่วงค่า a_w ดังนี้

ช่วงค่า a_w สูง จะใช้นมข้นหวานเป็นตัวแทนของอาหารกลุ่มนี้

ช่วงค่า a_w ปานกลาง จะใช้แครกเกอร์เป็นตัวแทนของอาหารกลุ่มนี้

ช่วงค่า a_w ต่ำ จะใช้ผงโกโก้เป็นตัวแทนของอาหารกลุ่มนี้

2.2.3 นาฬิกาสำหรับจับเวลา

2.2.4 เครื่องชั่งระบบดิจิตอล แบบ 2 จุดทศนิยม

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 เตรียมอุปกรณ์สำหรับการวัดให้พร้อม ซึ่งมีดังนี้

2.3.1.1 ต่อ Prob วัดความชื้นและอุณหภูมิเข้ากับเครื่องอ่านระบบดิจิตอล

2.3.1.2 ทำการ calibrate เครื่องมือวัด ดังนี้

- โดยใช้สาร Standard ใส่ในตลับอลูมิเนียมป้องกันสภาวะจากภายนอก ปิดให้แน่น
- เสียบ Prob วัดความชื้น และอุณหภูมิเข้ากับตลับอลูมิเนียมที่เตรียมไว้
- เปิดเครื่องวัด และกดปุ่ม CAL
- รอจนกระทั่ง เครื่องวัดพร้อม คือประมาณ 75%RH และ 30 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ชั่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองดังนี้

นมข้นหวาน ปริมาณ 3 กรัม

แครกเกอร์ ปริมาณ 3 กรัม

ผงโกโก้ ปริมาณ 3 กรัม

2.3.3 นำตัวอย่างที่ได้มาใส่ในตลับอลูมิเนียมป้องกันสภาวะอากาศจากภายนอก ปิดให้แน่น

2.3.4 ทำการวัดโดย

- เสียบ Prob วัดความชื้นและอุณหภูมิเข้าในตลับอลูมิเนียม และกดปุ่ม MES เพื่อทำการวัดค่า

- วัด และอ่านค่าทุก ๆ 10 นาที

- ทำการวัดค่าจนกระทั่งได้ค่าที่คงที่

2.3.5 บันทึกผลลงตารางบันทึกผลการทดลอง

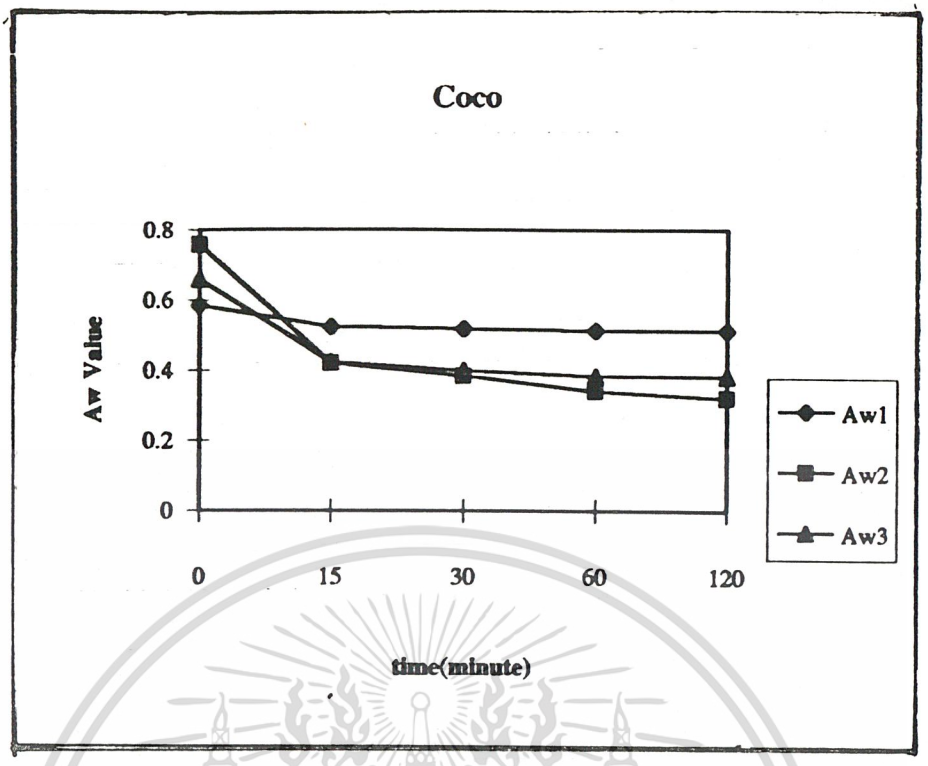
2.3.6 ทำการทดลองซ้ำ ตัวอย่างละ 3 ครั้ง

2.3.7 นำค่าที่บันทึกไว้มาเฉลี่ยแล้วนำมา plot กราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ทำการวัดแต่ละแบบ

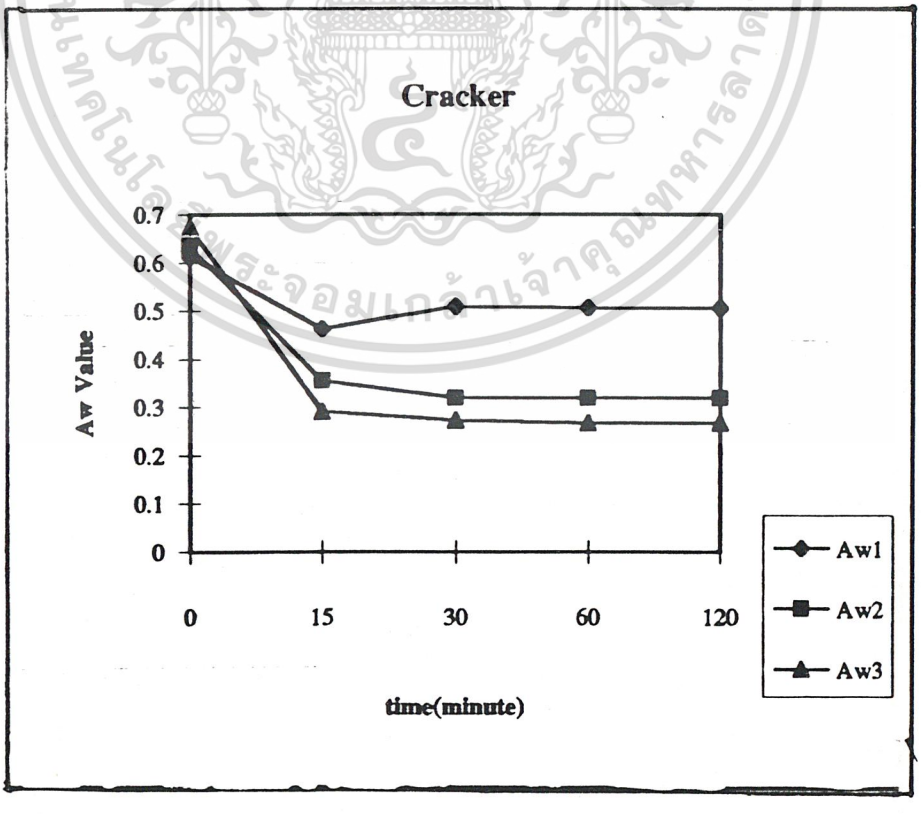
2.4 ผลการทดลอง

จากการทดลองที่วัดค่า a_w ในแบบต่างๆ กับเวลาจะได้ผลการทดลองที่ค่า a_w เปรียบเทียบกันดังแสดงในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

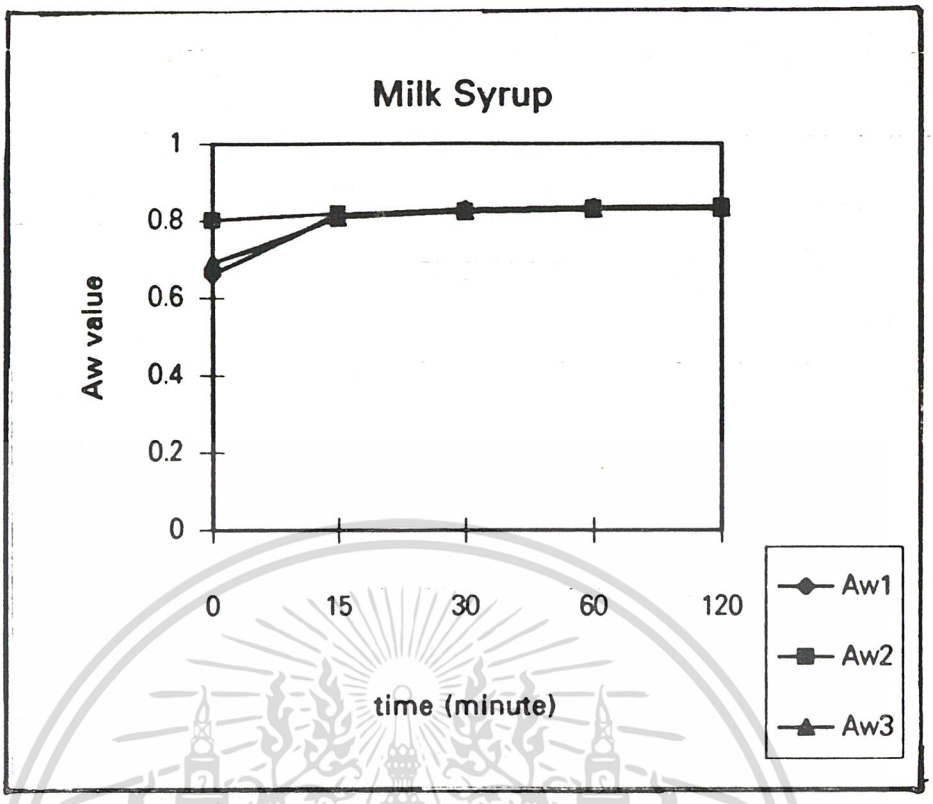


รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของโกโก้



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของแครกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับเวลาของนมข้นหวาน

เมื่อ Aw1 เป็นค่า a_w เมื่อไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ

เมื่อ Aw2 เป็นค่า a_w เมื่อมีการควบคุมอุณหภูมิ

เมื่อ Aw3 เป็นค่า a_w เมื่อควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างก่อนการทดลอง และควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำค่า a_w ที่วัดได้จากการทดลองทั้ง 3 วิธี มาเปรียบเทียบกันจะได้ดังนี้

- นมข้นหวาน

ค่า a_w ที่อุณหภูมิห้องวัดได้ 0.84 ใช้เวลาในการวัดประมาณ 3.5 ชม.

ค่า a_w ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสวัดได้ 0.84 ใช้เวลาในการวัดประมาณ 3 ชม.

ค่า a_w ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และนำตัวอย่างเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก่อนการทดลอง วัดได้ 0.83 ใช้เวลาในการวัดประมาณ 1.5 ชม.

- ครีมแครกเกอร์

ค่า a_w ที่อุณหภูมิห้องวัดได้ 0.51 ใช้เวลาในการวัดประมาณ 2.5 ชม.

ค่า a_w ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดได้ 0.32 ใช้เวลาในการวัดประมาณ 1.5 ชม.

ค่า a_w ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และนำตัวอย่างเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก่อนการทดลอง วัดได้ 0.27 ใช้เวลาในการวัดประมาณ 1.5 ชม.

- ผงโกโก้

ค่า a_w ที่อุณหภูมิห้องวัดได้ 0.51 ใช้เวลาในการวัดประมาณ 2.5 ชม.

ค่า a_w ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดได้ 0.32 ใช้เวลาในการวัดประมาณ 2.5 ชม.

ค่า a_w ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และนำตัวอย่างเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก่อนการทดลอง วัดได้ 0.31 ใช้เวลาในการวัดประมาณ 2.5 ชม.

จะพบว่าค่า a_w ที่วัดได้จากตู้ที่มีการควบคุมอุณหภูมิจะได้ค่า a_w ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากกว่า และใช้เวลาในการวัดน้อยกว่าในบางตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

นมข้นหวาน ค่า a_w เท่ากับ 0.8-0.9

ผงโกโก้ ค่า a_w เท่ากับ 0.4

แครกเกอร์ ค่า a_w เท่ากับ 0.3

* ที่มา รัชนี ตันทะพานิชกุล(2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่อง

3.1 เกณฑ์การออกแบบ

3.1.1 ให้ตู้ควบคุมอุณหภูมิมีอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส

3.1.2 ขวดบรรจุอาหารตัวอย่างต้องปิดฝาสนิทเพื่อป้องกันการรั่วซึม

3.1.3 หัววัดความชื้นจะต้องไม่สัมผัสกับของเหลว

3.1.4 เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มเติมหัววัดค่า a_w มากขึ้น

3.1.5 วัดค่าที่ได้โดยประหยัดเวลาลง

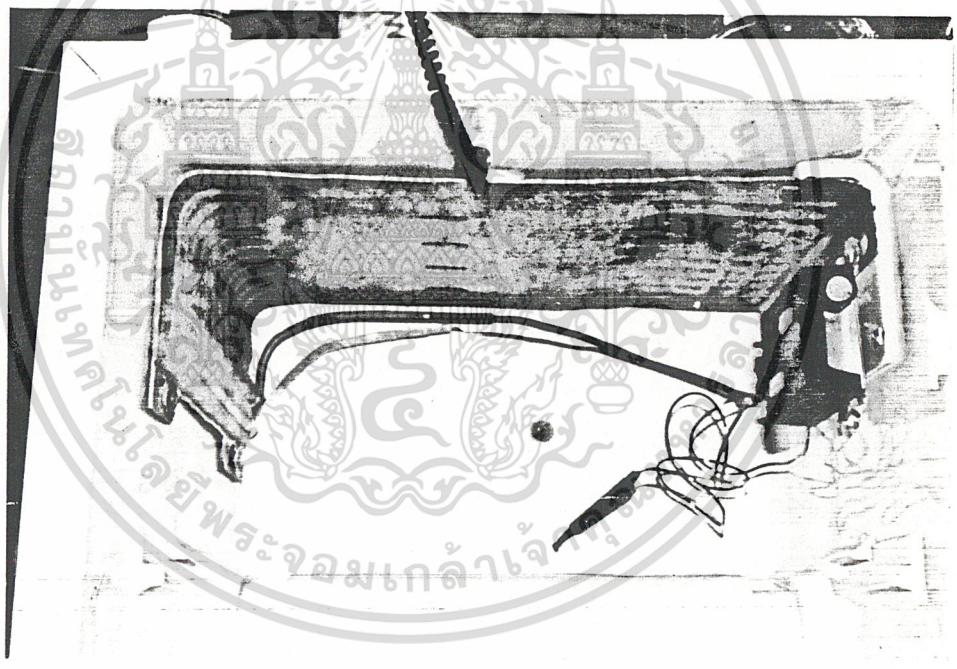
รูปที่ 10 แสดงเครื่องมือวัดค่า a_w ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนประกอบของเครื่องแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

3.2.1 ส่วนที่เป็นตู้ควบคุมอุณหภูมิ มีลักษณะเป็นตู้สี่เหลี่ยม มีความกว้าง 43 เซนติเมตร ยาว 42 เซนติเมตร และสูง 41.5 เซนติเมตร ภายในตู้ประกอบด้วย

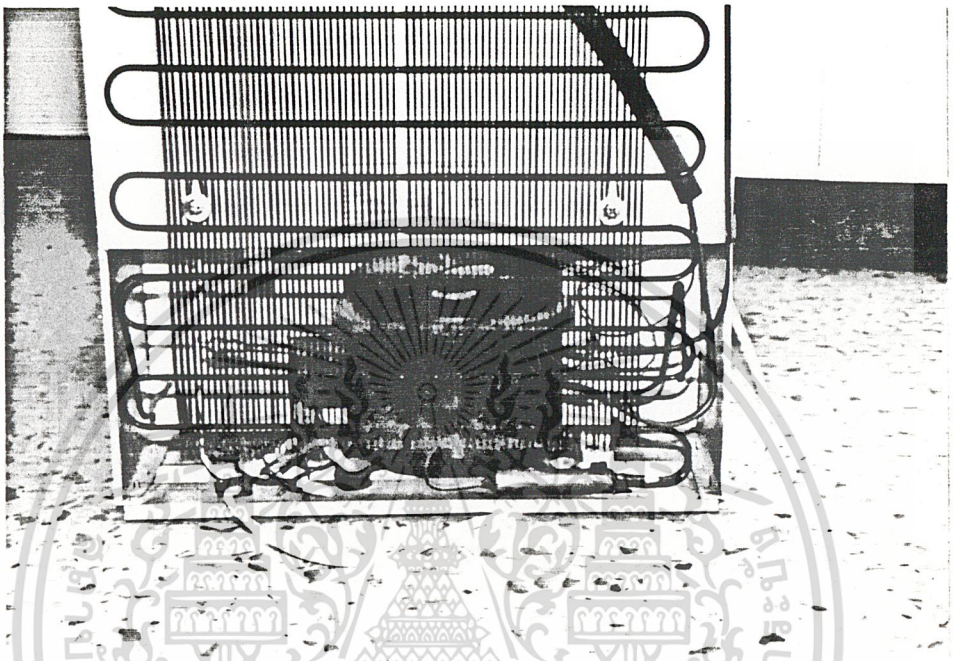
3.2.1.1 แผงทำความเย็น (Evaporator) เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการถ่ายความร้อนแบบหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการที่ของเหลวกลายเป็นไอ เพื่อจุดประสงค์ในการดึงความร้อนออกไปจากผลิตภัณฑ์ หรือช่องว่างที่ต้องการทำความเย็น เพื่อให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ ในแผงทำความเย็นนี้จะเป็นแบบแผ่นมีการเดินท่อสารความเย็นไว้ โดยติดตั้งแผงนี้ไว้ภายในตู้ทางด้านบน เพื่อที่จะกระจายความเย็นให้สม่ำเสมอทั่วตู้



รูปที่ 11 แผงทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

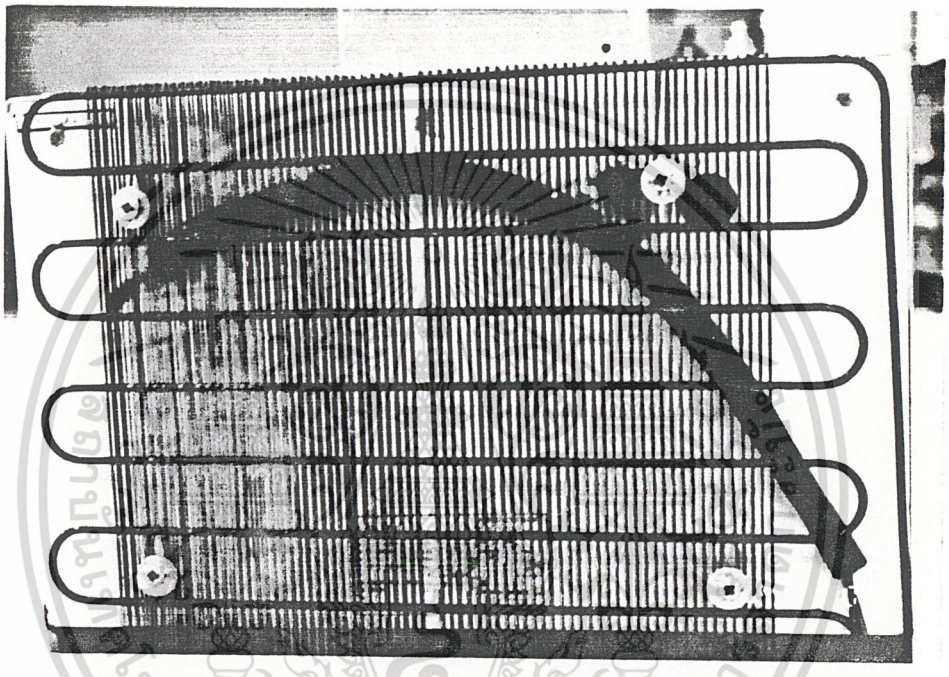
3.2.1.2 compressor ทำหน้าที่เป็นเครื่องดูดและอัดไอสารความเย็นที่มีการไหลสม่ำเสมอ ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับบรรยากาศภายนอก ซึ่งจะติดตั้งอยู่ภายนอกตู้ทางด้านหลัง



รูปที่ 12 คอมเพรสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.3 แผงระบายความร้อน ทำหน้าที่ เป็นตัวควบแน่น คือเมื่อสารความเย็นดูดความร้อนจากภายในตู้สารความเย็นจะมีสภาพเป็นก๊าซเมื่อผ่านแผงระบายความร้อนสารความเย็นก็จะกลับเป็นของเหลวเนื่อกลับเข้าไปดูดความร้อนภายในตู้ต่อไปซึ่งกระทำที่ความดันคงที่

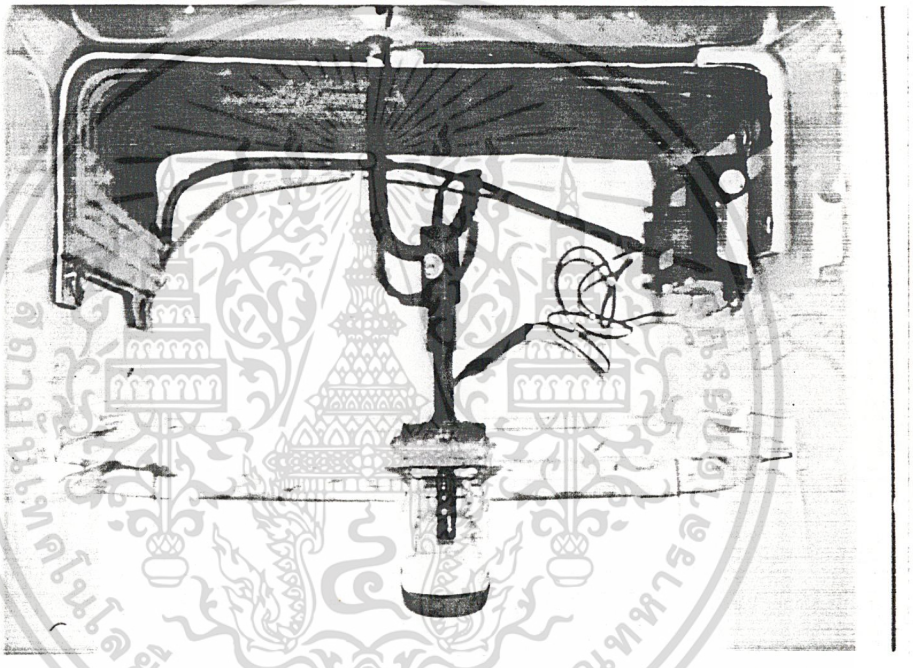


รูปที่ 13 แผงระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.4 ขวดแก้วปิดสนิท สำหรับใส่อาหารตัวอย่างที่จะทดลอง ขวดนี้มีปริมาตร 120 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้ใส่อาหารได้ทั้งที่เป็นของเหลวและของแข็ง

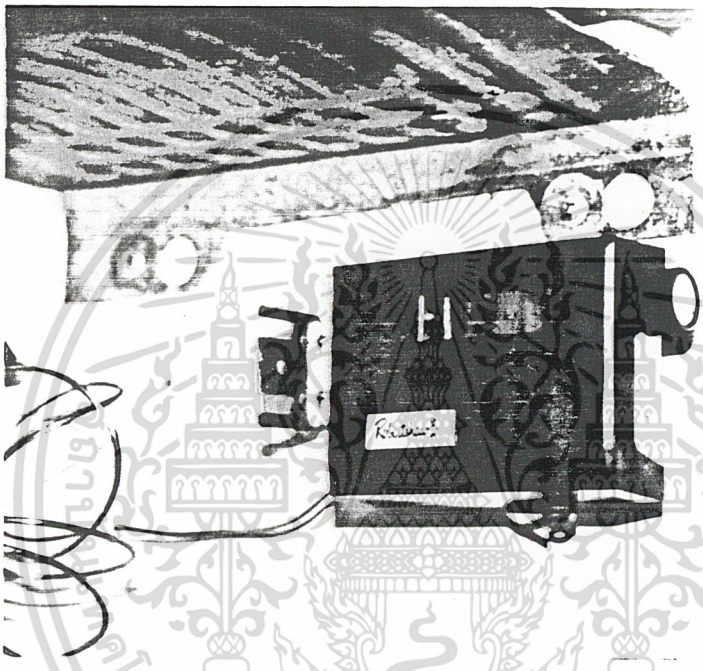
3.2.1.5 หัววัดความชื้น ใช้สำหรับวัดค่า a_w โดยหัววัดนี้จะวัดได้ทั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ ข้อควรระวังสำหรับหัววัดความชื้น คือ อย่าให้ส่วนที่เป็นตัว sensor สัมผัสกับของเหลว เพราะจะทำให้เสียเร็ว



รูปที่ 14 หัววัดความชื้น และขวดแก้วปิดสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

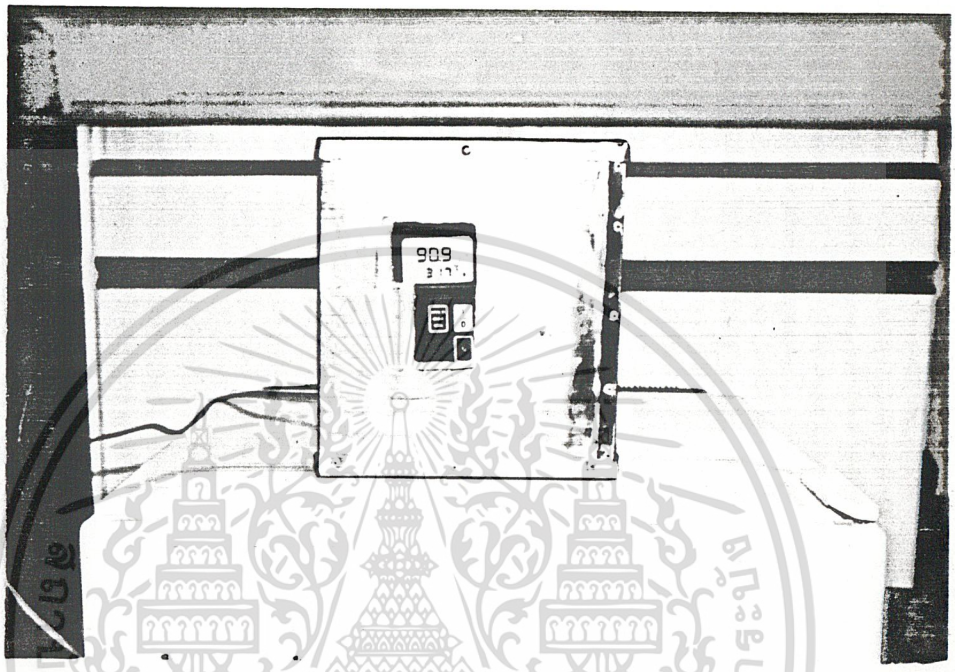
3.2.1.6 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ระบบที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องนี้เป็นแบบอนาลอก มีปุ่มสำหรับหมุนเพื่อปรับอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยมีช่วงอุณหภูมิระหว่าง -20 ถึง 30 องศาเซลเซียส แต่ในเครื่องนี้จะควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส เครื่องควบคุมอุณหภูมินี้จะทำหน้าที่ตัดการทำงานของ compressor เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ



รูปที่ 15 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ส่วนแสดงผล ระบบที่ใช้จะแบบดิจิตอล จะแสดงได้ทั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ สำหรับค่าที่อ่านได้จะเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น ซึ่งสามารถหาค่า a_w ได้จาก a_w = %RH/100



รูปที่ 16 ตัวแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการสร้างเครื่อง

3.3.1 นำตู้ปิดสนิทที่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในได้ โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง ตู้มีขนาดกว้าง 43 เซนติเมตร ยาว 42 เซนติเมตร สูง 41.5 เซนติเมตร นำมาติดตั้งแผงทำความเย็นไว้ภายในตู้ด้านบนเนื่องจากต้องการกระจายความเย็นให้สม่ำเสมอทั่วตู้ เติมสารทำความเย็น -12 ($CCl_2.F_2$)ติดตั้งแผงระบายความร้อน และ compressor ภายนอกตู้ทางด้านหลัง หลังจากนั้นติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบอนาล็อก เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ คือ 25 องศาเซลเซียส โดยที่เครื่องควบคุมอุณหภูมินี้จะทำหน้าที่ตัดการทำงานของ compresssor เมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

3.3.2 เจาะรูที่ฝาปิดขวดให้มีขนาดเท่ากับขนาดของหัววัดความชื้น นำหัววัดความชื้นมาเสียบเข้าในรูที่เจาะ ใช้ซิลิโคนอุดรอบ ๆ เพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการวัด แล้วนำฝาขวดที่ติดตั้งหัววัดความชื้นไปประกอบ กับแผ่นพลาสติกใสที่เจาะรูเท่ากับขนาดของฝาขวด แล้วนำเข้าไปติดตั้งภายในตู้

3.3.3 เจาะรูที่ด้านบนของตู้เพื่อใช้สอดสายของหัววัดความชื้นออกมาภายนอกตู้ แล้วนำเข้าไปเสียบกับตัวแสดงผล โดยตัวแสดงผลจะเป็นแบบดิจิตอลซึ่งแสดงค่าได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบเครื่องและผลการทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

4.1.1 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องที่มีอยู่เดิม

4.1.2 เพื่อศึกษาช่วงการวัดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.1.3 หาข้อจำกัดของเครื่องเพิ่มเติม

4.1.4 เพื่อหาตัววัดและเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมของสารละลายเกลืออิ่มตัว

4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 เตรียมตัวอย่างที่จะนำมาทดลอง โดยถ้าเป็นสารละลายจะต้องนำมาละลายน้ำให้ได้สารละลายเกลืออิ่มตัว แล้วนำมาชั่งใส่ขวดแก้วที่มีฝาปิดสนิท ส่วนอาหารตัวอย่างนำมาชั่งใส่ขวดแก้วแล้วปิดฝาสนิท เช่นเดียวกัน ตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลอง มีดังนี้ คือ Nacl Licl $MgCl_2.6H_2O$ $(NH_4)_2SO_4$ $Mg(NO_3)_2.6H_2O$ น้ำตาล ผงไมโล แครกเกอร์ นมผง

4.2.2 นำขวดที่ใส่ตัวอย่างเข้าเครื่องวัดที่สร้างขึ้น แล้วปิดฝาเครื่องวัดให้สนิท

4.2.3 เปิดตัวแสดงผลเพื่ออ่านค่า %RH และอุณหภูมิ ซึ่งค่า a_w หาได้จาก %RH /100

4.2.4 จดบันทึกค่าในช่วงเวลาที่เริ่มต้น จากนั้นก็จดที่เวลาทวีคูณตั้งแต่ 15, 30, 60,... จนกระทั่งค่าได้สองค่าที่อยู่ติดกันต่างกันไม่เกิน $0.01a_w$ จึงหยุดการวัดเนื่องจากถือว่าค่าที่วัดได้เป็นค่า a_w ของสารนั้น

4.2.5 นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน และเครื่องที่มีอยู่เดิม(ที่ทำการควบคุมอุณหภูมิ)

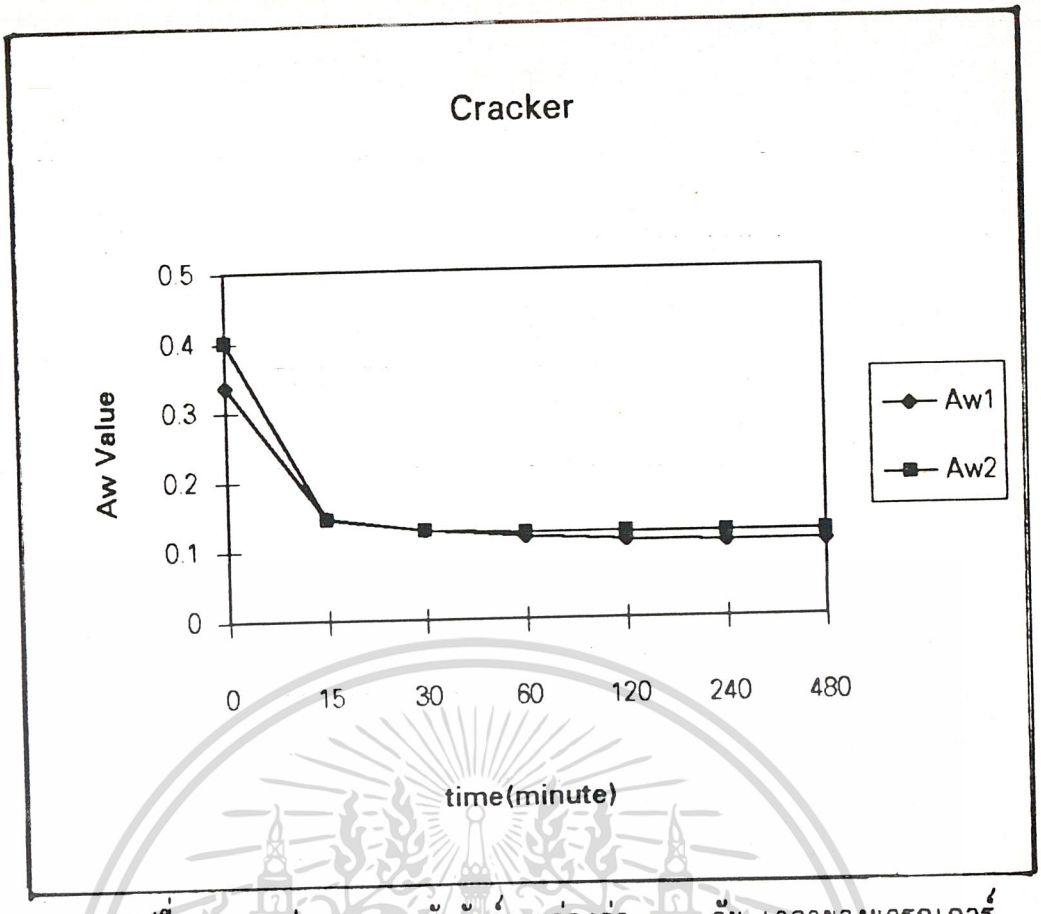
4.2.6 นำค่าจากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง a_w กับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

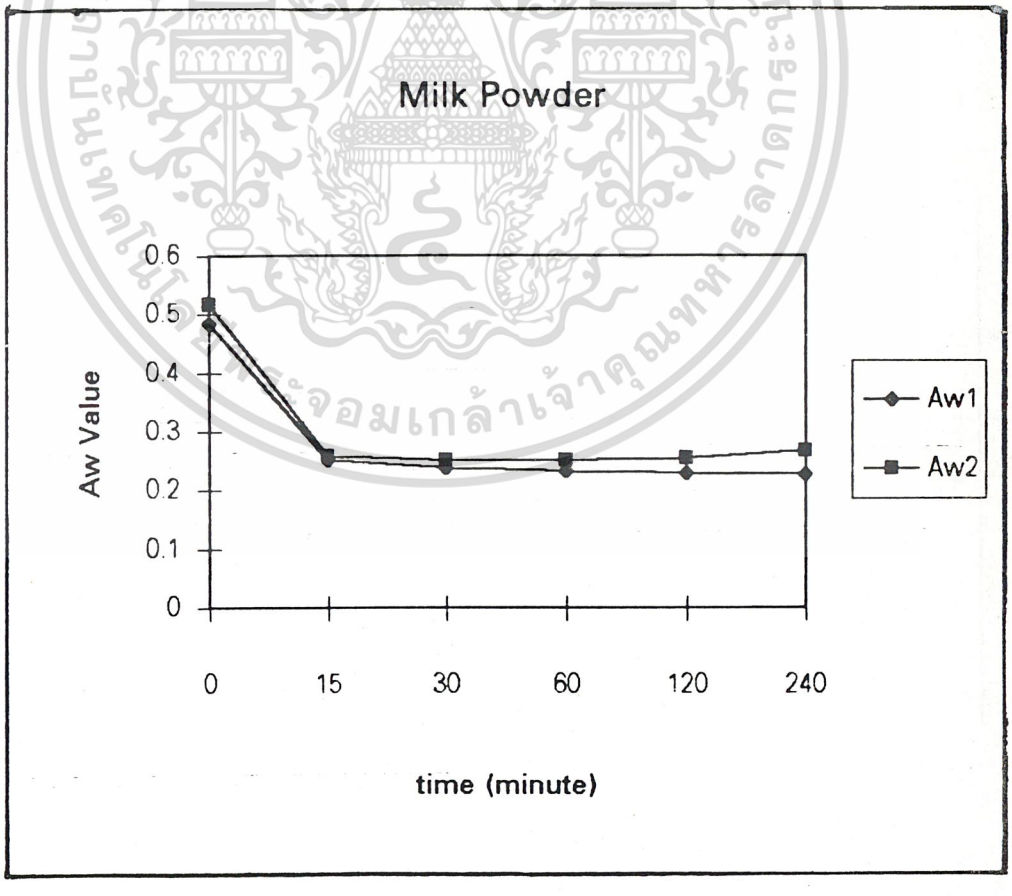
4.3 ผลการทดลอง

ตัวอย่าง	ค่า a_w		
	เครื่องที่สร้างขึ้น	เครื่องNovasina	ค่ามาตรฐาน
1.LiCl	0.23	0.22	0.11
2.$MgCl_2.6H_2O$	0.39	0.36	0.33
3.$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	0.71	0.54	0.53
4.NaCl	0.88	0.74	0.75
5.$(NH_4)_2SO_4$	0.99	0.81	0.81
6.นมผง	0.28	0.27	0.2
7.แครกเกอร์	0.11	0.12	0.3
8.ไมโลผง	0.27	0.27	0.4
9.น้ำตาล	0.86	0.65	0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

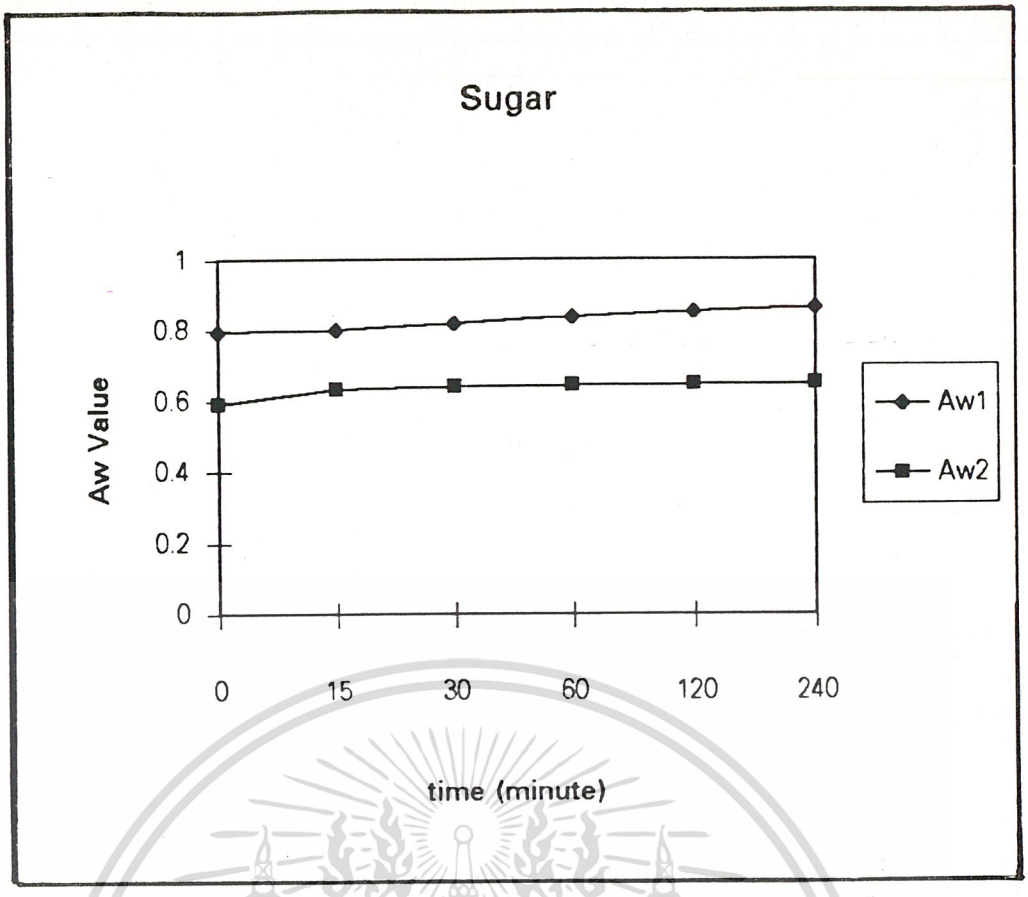


รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ เวลาของแครกเกอร์

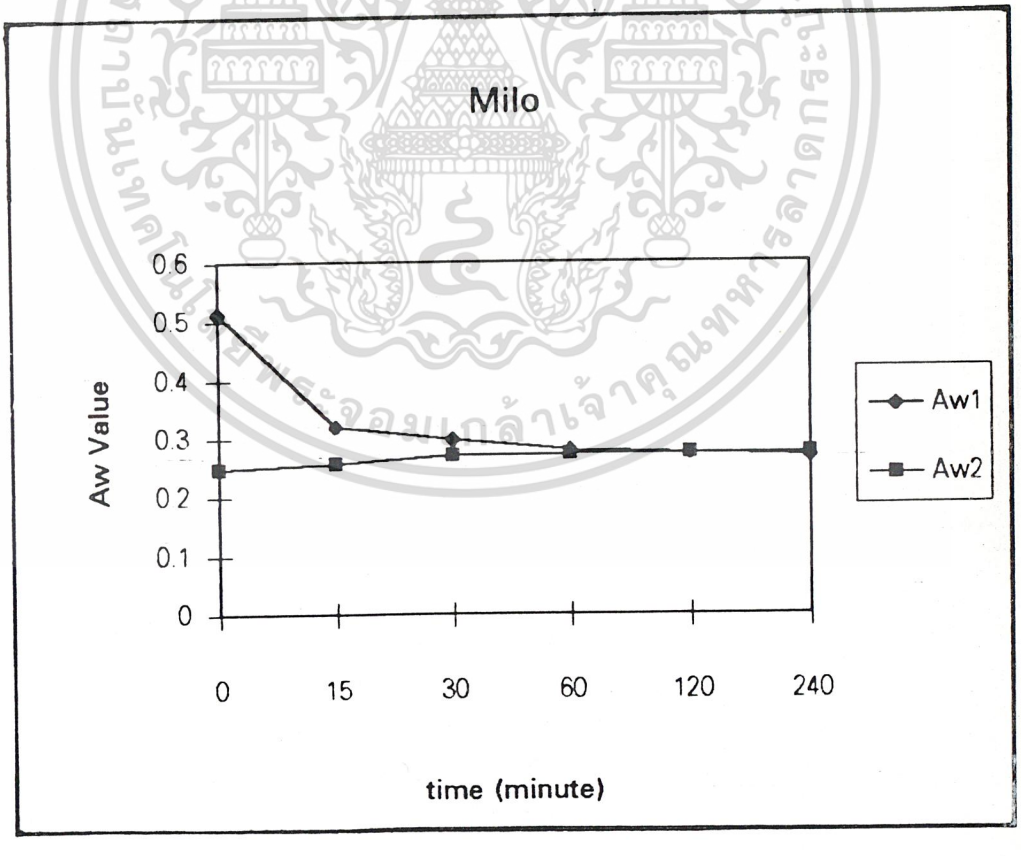


รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ เวลาของนมผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

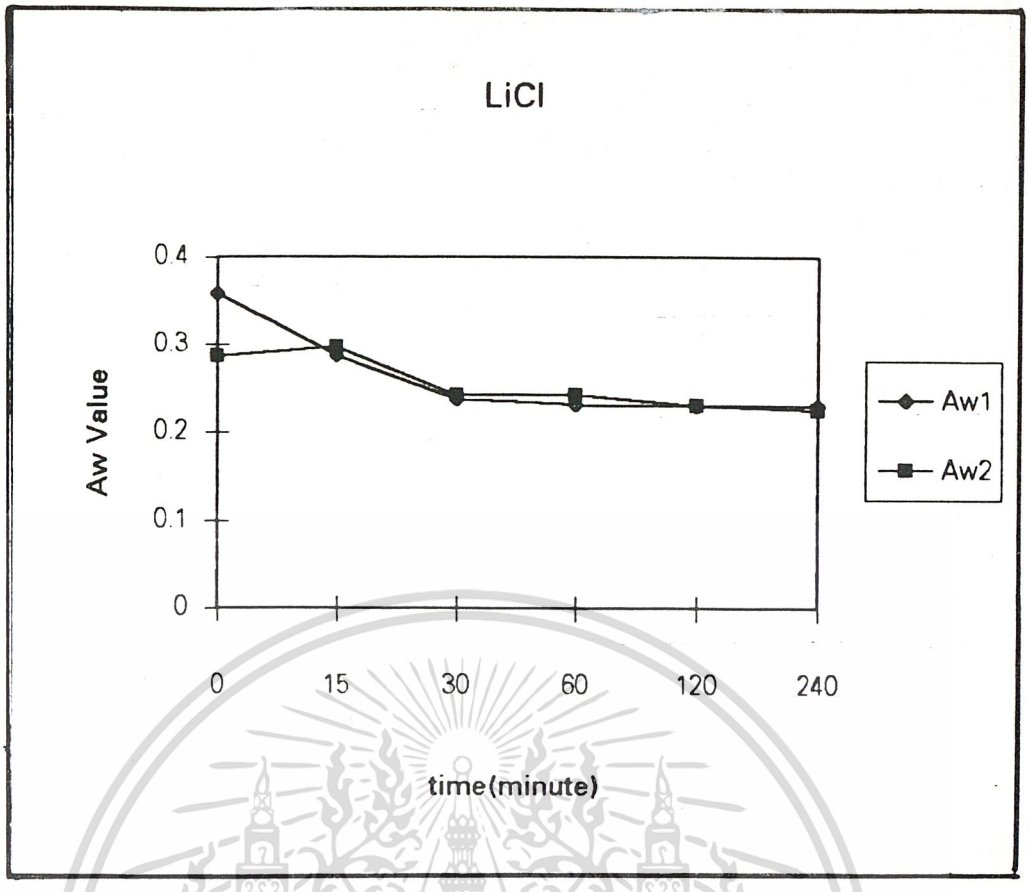


รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ เวลาของน้ำตาล

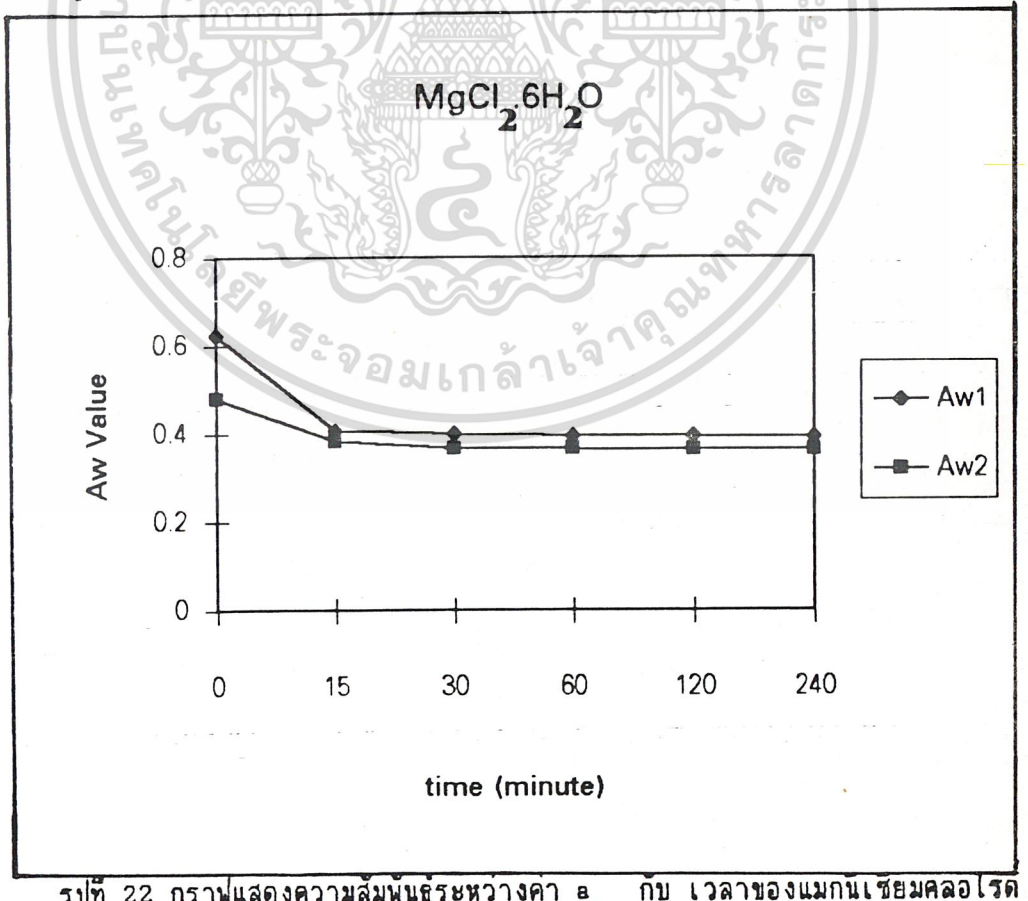


รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ เวลาของผงไมโล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

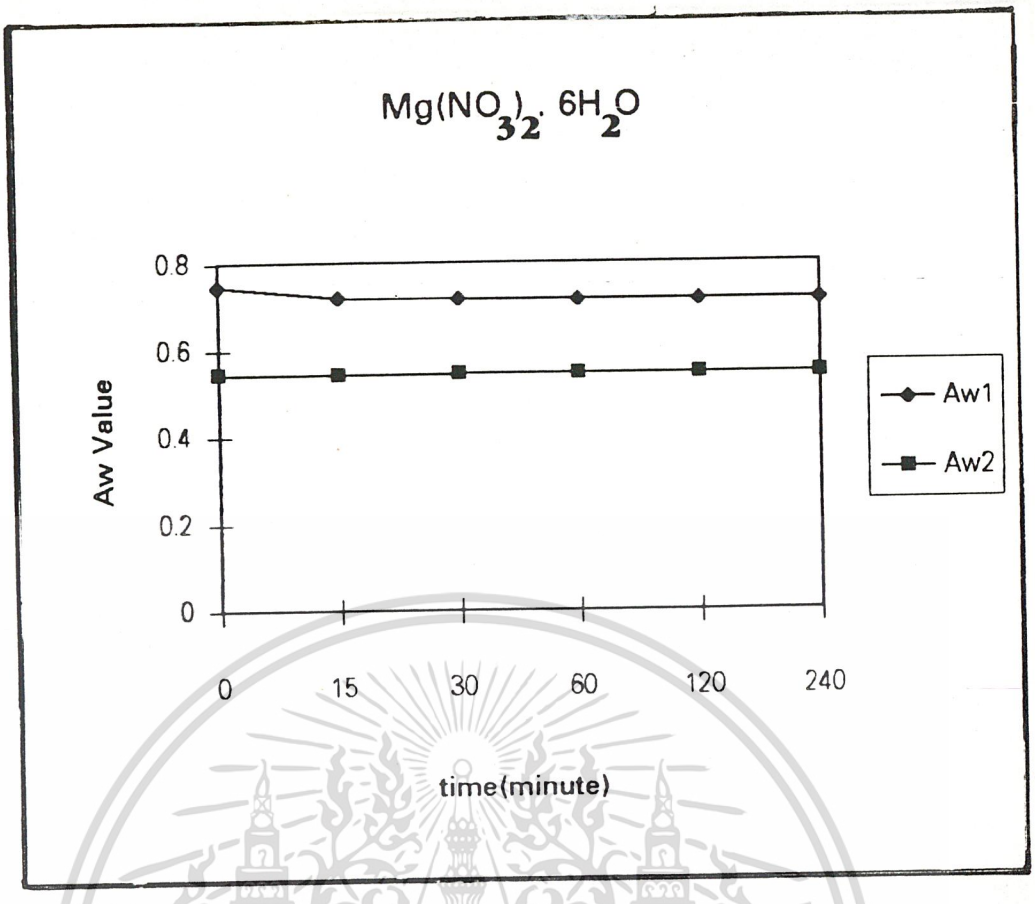


รูปที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ เวลาของลิเทียมคลอไรด์

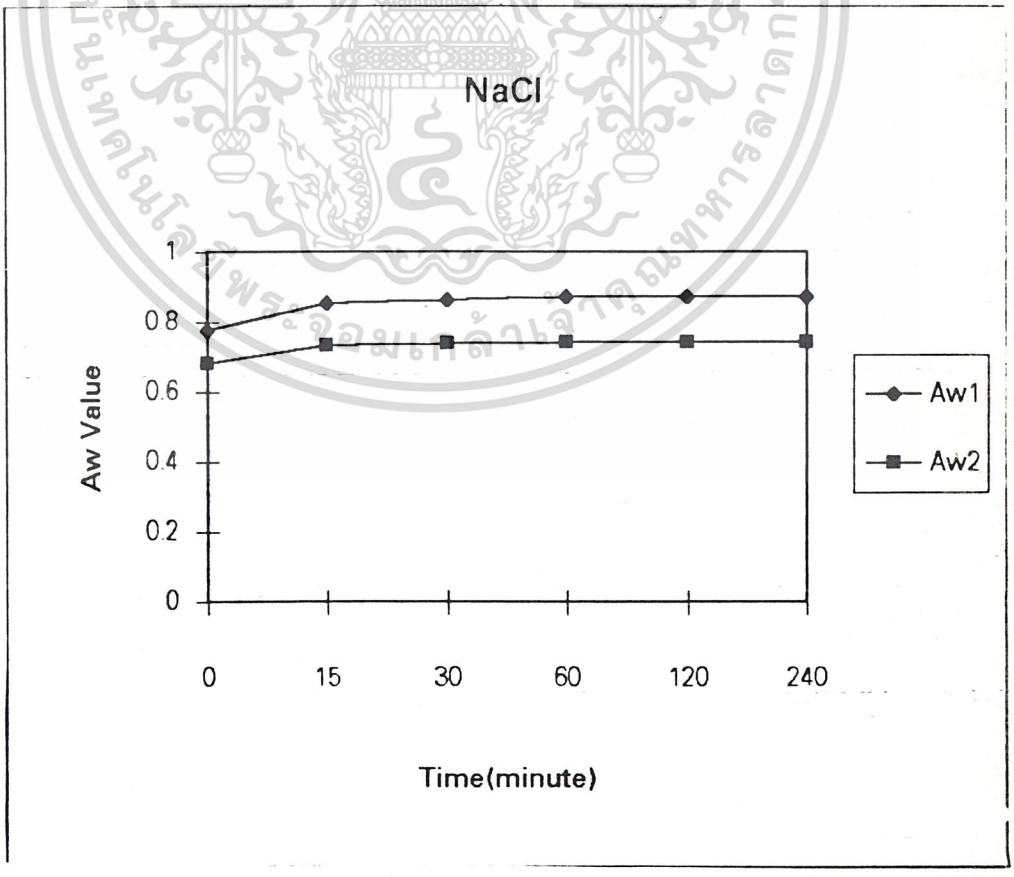


รูปที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ เวลาของแมกนีเซียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

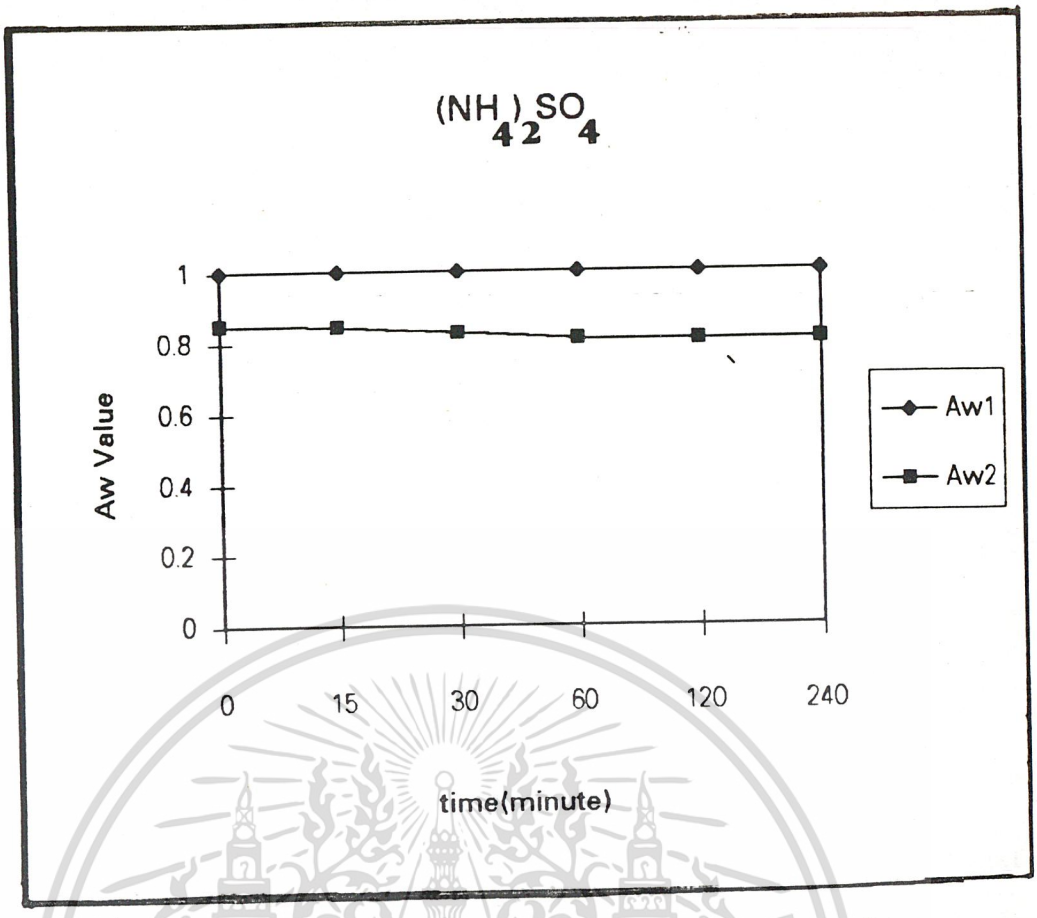


รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ เวลาของแมกนีเซียมไนเตรด



รูปที่ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ เวลาของโซเดียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับ เวลาของแอมโมเนียมซัลเฟต

เมื่อ Aw1 เป็นค่า a_w ของเครื่องที่สร้างขึ้น

เมื่อ Aw2 เป็นค่า a_w ของเครื่อง Novasina แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโดยแบ่งเป็น สารละลายเกลืออิ่มตัว และ อาหารตัวอย่าง ในช่วงค่าต่าง ๆ ดังตารางจะเห็นว่า

ช่วงค่า a_w ของสารตัวอย่างที่เครื่องวัดความดันไอที่สร้างขึ้น สามารถวัดค่าได้ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานในช่วงค่า a_w ที่ 0.1 - 0.6 ในที่นี้จะใช้เครื่องที่มีอยู่เดิม คือเครื่อง Novasina แล้วนำมาควบคุมอุณหภูมิเป็นมาตรฐานในการวัด เนื่องจากสารตัวอย่างที่นำมาวัดบางตัวอาจเป็นคนละชนิดกัน หรือ มีส่วนประกอบไม่เหมือนกัน จากการทดลองเช่น แครกเกอร์ วัดค่าได้ประมาณ 0.12 ทั้งสองเครื่อง แต่ค่ามาตรฐานที่มีผู้ทำการทดลองไว้ คือ 0.3 และสารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl วัดค่าได้ประมาณ 0.23 ทั้งสองเครื่อง แต่ค่ามาตรฐานที่มีผู้ทำการทดลองไว้ คือ 0.11 จากการทดลองก่อนการสร้างเครื่อง ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Novasina ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสได้ค่า a_w ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่มีคนทำการทดลองไว้แล้วมีค่าใกล้เคียงกันอย่าง เช่น แมกนีเซียมคลอไรด์ ซึ่งเท่ากับ 0.33 เหมือนกัน

ส่วนช่วงค่า a_w ที่มากกว่า 0.6 ขึ้นไป เครื่องที่สร้างขึ้นจะวัดค่าได้ไม่ถูกต้องเท่าที่ควร ดังนั้น ข้อจำกัดของเครื่องที่สร้างขึ้นจะวัดค่า a_w ได้ในช่วง 0.1-0.6 เท่านั้น

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

การสร้างเครื่องวัด a_w นี้ อุณหภูมิของตู้ควบคุมปกติควรจะคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียสแต่เครื่องนี้มีช่วงอุณหภูมิควบคุมประมาณ 24-26 องศาเซลเซียสซึ่งมีช่วงเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้ค่าที่วัดได้เข้าสู่สภาวะสมดุลช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ เนื่องจากในการทดลองนี้มีช่วงเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากเกินไป ทำให้ค่าที่วัดไม่เป็นไปตามต้องการ

5.3.2 ขวดสำหรับใส่ตัวอย่างทดลองควรมีการปิดอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันการรั่วไหลเข้าออกของอากาศ ซึ่งจะมีผลต่อการวัดค่าโดยอากาศจะทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอาหารเปลี่ยนแปลงไปคือจะเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ยากขึ้น

5.3.3 เราสามารถพัฒนาเครื่องวัดให้วัดได้หลายตัวอย่างพร้อมกันโดยการเพิ่มจำนวนหัววัดความชื้นและขวดแก้วสำหรับใส่ตัวอย่าง เพื่อประหยัดเวลาในการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงค่า ε_w ของแครกเกอร์ตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้น

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า ε_w	อุณหภูมิ
0		0.207	26.3		0.317	26.1
15		0.15	25.5		0.171	25.4
30		0.138	24.0		0.139	24.8
60		0.118	23.6		0.124	24.7
120		0.107	24.6		0.117	25.4
240		0.107	24.8		0.108	25.2
480		0.107	25.2		0.108	25.1

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า ε_w
0		0.487	25.4		0.337
15		0.118	25.8		0.146
30		0.108	25.4		0.128
60		0.108	25.1		0.117
120		0.108	25.1		0.111
240		0.108	25.2		0.108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงค่า a_w ของแครกเกอร์ตามเวลาต่าง ๆของเครื่อง Novasina

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า a_w	อุณหภูมิ
0		0.279	24.9		0.412	24.3
15		0.142	26.5		0.155	24.4
30		0.182	25.5		0.127	24.6
60		0.125	24.5		0.123	24.5
120		0.123	24.3		0.125	24.9
240		0.119	24.5		0.125	25.1
480		0.119	24.4		0.126	25.1

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า a_w
0		0.511	25.2		0.401
15		0.139	25.5		0.145
30		0.125	25.4		0.128
60		0.120	25.1		0.123
120		0.120	25.2		0.123
240		0.121	25.1		0.122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงค่า n_w ของน้ำตาลตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้น

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า n_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า n_w	อุณหภูมิ
0		0.798	25.3		0.782	25.2
15		0.796	26.4		0.794	25.0
30		0.821	25.5		0.802	25.5
60		0.854	25.4		0.814	24.6
120		0.868	25.0		0.835	25.0
240		0.880	25.0		0.856	24.3
480		0.882	24.9		0.857	25.4

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า n_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า n_w
0		0.805	24.9		0.795
15		0.812	25.2		0.801
30		0.834	26.0		0.819
60		0.845	25.5		0.838
120		0.849	24.5		0.851
240		0.852	25.0		0.863
480		0.853	25.7		0.864

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงค่า a_w ของน้ำตาลตามเวลาต่าง ๆ เครื่อง Novasina

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า a_w	อุณหภูมิ
0		0.599	23.7		0.590	24.5
15		0.638	26.4		0.628	24.4
30		0.645	25.8		0.634	24.6
60		0.642	25.5		0.642	25.0
120		0.644	24.9		0.651	26.0
240		0.646	24.9		0.653	25.5
480		0.646	25.1		0.654	24.5

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า a_w
0		0.578	25.4		0.589
15		0.632	25.8		0.633
30		0.648	25.4		0.642
60		0.652	25.1		0.645
120		0.653	25.1		0.649
240		0.655	25.2		0.651
480		0.656	26.0		0.652

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงค่า a_w ของแมงตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้น

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า a_w	อุณหภูมิ
0		0.327	25.8		0.552	25.5
15		0.235	25.5		0.271	25.7
30		0.230	25.7		0.255	24.8
60		0.227	25.2		0.246	23.9
120		0.228	25.4		0.240	25.6
240		0.227	25.0		0.240	25.7
480		0.227	25.1		0.240	25.5

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า a_w
0		0.573	25.9		0.484
15		0.249	26.0		0.252
30		0.233	25.8		0.239
60		0.227	25.8		0.233
120		0.220	24.8		0.229
240		0.215	24.7		0.227
480		0.215	25.0		0.226

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงค่า a_w ของนมผงตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่อง Novasina

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า a_w	อุณหภูมิ
0		0.445	25.5		0.594	25.4
15		0.233	25.7		0.256	25.6
30		0.230	25.6		0.247	24.1
60		0.229	25.4		0.257	25.1
120		0.237	25.4		0.259	25.6
240		0.243	25.5		0.272	25.9
480		0.243	25.0		0.276	25.5

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า a_w
0		0.510	25.7		0.516
15		0.286	26.0		0.258
30		0.275	25.9		0.251
60		0.272	25.6		0.253
120		0.270	24.6		0.255
240		0.285	24.6		0.267
480		0.301	24.8		0.283

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงค่า ε_w ของไมโลตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้น

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า ε_w	อุณหภูมิ
0		0.568	25.4		0.521	24.0
15		0.339	25.8		0.306	24.8
30		0.318	25.1		0.290	23.7
60		0.298	24.8		0.282	25.0
120		0.284	25.4		0.278	24.8
240		0.275	23.8		0.277	24.8
480		0.274	24.5		0.276	25.0

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า ε_w
0		0.451	24.7		0.513
15		0.312	26.0		0.319
30		0.290	25.1		0.299
60		0.264	24.8		0.281
120		0.261	24.8		0.274
240		0.258	24.9		0.270
480		0.258	25.2		0.269

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงค่า ε_w ของไมโลผงตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่อง Novasina

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า ε_w	อุณหภูมิ
0		0.518	24.8		0.529	23.9
15		0.290	26.0		0.268	25.1
30		0.280	25.4		0.267	24.3
60		0.275	24.9		0.258	24.9
120		0.279	25.1		0.258	24.8
240		0.279	24.0		0.258	24.8
480		0.279	24.6		0.258	25.5

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า ε_w
0		0.434	25.7		0.494
15		0.283	26.1		0.280
30		0.267	24.7		0.271
60		0.286	24.8		0.273
120		0.284	24.8		0.274
240		0.287	25.0		0.275
480		0.286	24.9		0.274

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงค่า ε_w ของซิเทียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้น

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า ε_w	อุณหภูมิ
0		0.287	25.2		0.405	25.9
15		0.218	25.5		0.349	26.1
30		0.208	25.9		0.245	26.0
60		0.198	25.2		0.242	25.2
120		0.197	25.5		0.247	26.0
240		0.196	25.0		0.248	25.0
480		0.195	25.1		0.249	25.4
เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า ε_w	
0		0.387	26.3		0.360	
15		0.395	25.4		0.287	
30		0.261	25.2		0.238	
60		0.254	25.0		0.231	
120		0.247	24.8		0.230	
240		0.247	25.0		0.220	
480		0.246	25.1		0.230	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 แสดงค่า ε_w ของลิเทียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่อง Novasina

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า ε_w	อุณหภูมิ
0		0.354	24.9		0.481	24.9
15		0.283	24.0		0.346	25.1
30		0.223	25.9		0.286	26.0
60		0.215	25.4		0.283	25.5
120		0.197	25.4		0.230	25.8
240		0.197	24.9		0.229	26.0
480		0.196	25.1		0.227	25.4
เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า ε_w	
0		0.372	25.2		0.386	
15		0.261	26.3		0.297	
30		0.290	25.4		0.243	
60		0.282	25.2		0.243	
120		0.264	25.1		0.230	
240		0.248	25.1		0.225	
480		0.245	25.2		0.223	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 แสดงค่า ε_m ของแมกนิเซียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้น

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า ε_m	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า ε_m	อุณหภูมิ
0		0.816	25.9		0.574	24.3
15		0.405	25.4		0.404	25.2
30		0.401	24.0		0.402	25.0
60		0.395	24.4		0.401	25.5
120		0.394	24.2		0.397	25.7

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า ε_m	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า ε_m
0		0.483	25.2		0.624
15		0.412	26.3		0.407
30		0.396	25.4		0.899
60		0.391	25.2		0.396
120		0.390	25.1		0.394

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 แสดงค่า a_w ของแมกนีเซียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่อง Novasina

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า a_w	อุณหภูมิ
0		0.445	25.5		0.461	24.7
15		0.367	25.6		0.367	25.1
30		0.366	25.5		0.366	24.9
60		0.365	25.2		0.365	25.2
120		0.360	25.2		0.365	25.4
240		0.360	24.5		0.364	25.0

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า a_w
0		0.531	25.2		0.479
15		0.418	24.3		0.384
30		0.382	25.7		0.367
60		0.368	24.2		0.366
120		0.367	25.1		0.364
240		0.365	25.2		0.363

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 แสดงค่า ε_m ของแมกนิเซียมไนเตรตตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่อง ที่สร้างขึ้น

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า ε_m	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า ε_m	อุณหภูมิ
0		0.745	25.2		0.736	25.5
15		0.707	26.2		0.712	26.0
30		0.708	26.5		0.709	25.4
60		0.707	25.9		0.707	25.2
120		0.708	25.5		0.706	25.0
240		0.708	25.5		0.706	24.5

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า ε_m	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า ε_m
0		0.755	24.9		0.745
15		0.742	25.2		0.720
30		0.730	26.2		0.717
60		0.727	26.1		0.714
120		0.726	25.6		0.713
240		0.725	25.6		0.713

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 แสดงค่า a_w ของแมกนิเซียมไนเตรดตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่อง Novasina

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า a_w	อุณหภูมิ
0		0.532	25.2		0.545	24.8
15		0.534	26.2		0.547	24.2
30		0.545	26.0		0.549	24.6
60		0.548	25.9		0.551	25.2
120		0.546	25.5		0.550	25.6
240		0.546	25.1		0.551	26.0

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า a_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า a_w
0		0.555	24.8		0.544
15		0.549	24.9		0.543
30		0.545	25.2		0.546
60		0.540	25.5		0.546
120		0.538	24.5		0.545
240		0.536	24.6		0.544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 แสดงค่า ε_m ของโซเดียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้น

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า ε_m	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า ε_m	อุณหภูมิ
0		0.758	25.2		0.776	25.6
15		0.822	26.2		0.860	25.6
30		0.821	26.0		0.888	25.5
60		0.840	25.9		0.887	25.3
120		0.849	25.5		0.875	25.0
240		0.862	25.1		0.874	25.0
480		0.862	25.2		0.873	24.8
เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า ε_m	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า ε_m	
0		0.792	24.8		0.775	
15		0.885	24.9		0.856	
30		0.887	25.2		0.865	
60		0.890	25.5		0.572	
120		0.892	24.5		0.872	
240		0.893	24.6		0.876	
480		0.894	25.2		0.883	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 แสดงค่า ε_m ของโซเดียมคลอไรด์ตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่อง Novasina

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า ε_m	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า ε_m	อุณหภูมิ
0		0.601	25.2		0.715	25.2
15		0.718	25.2		0.738	25.4
30		0.732	25.5		0.742	25.1
60		0.739	25.1		0.740	25.4
120		0.743	24.9		0.739	24.9
240		0.743	24.8		0.739	24.9
480		0.740	24.4		0.738	24.8

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า ε_m	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า ε_m
0		0.730	24.9		0.682
15		0.739	24.5		0.732
30		0.741	24.7		0.738
60		0.743	25.0		0.741
120		0.742	24.5		0.741
240		0.742	24.2		0.741
480		0.741	25.2		0.739

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 แสดงค่า ε_w ของแอมโมเนียมซัลเฟตตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้น

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า ε_w	อุณหภูมิ
0		0.999	25.5		0.999	25.5
15		0.999	25.6		0.999	25.7
30		0.999	25.0		0.999	25.2
60		0.999	24.8		0.999	25.0
120		0.999	24.8		0.999	26.0
240		0.999	24.6		0.999	25.8

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า ε_w	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า ε_w
0		0.999	26.0		0.999
15		0.999	25.4		0.999
30		0.999	25.1		0.999
60		0.999	25.0		0.999
120		0.999	24.8		0.999
240		0.999	24.8		0:999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 18 แสดงค่า ε_m ของแอมโมเนียมซัลเฟตตามเวลาต่าง ๆ ของเครื่อง Novasina

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 1	ค่า ε_m	อุณหภูมิ	ครั้งที่ 2	ค่า ε_m	อุณหภูมิ
0		0.837	25.5		0.857	26.0
15		0.835	26.1		0.845	25.8
30		0.828	26.0		0.828	25.4
60		0.806	25.7		0.812	25.2
120		0.804	25.4		0.810	25.0
240		0.804	25.4		0.809	25.7

เวลา(นาที)	ครั้งที่ 3	ค่า ε_m	อุณหภูมิ	ค่าเฉลี่ย	ค่า ε_m
0		0.859	25.5		0.851
15		0.842	25.2		0.844
30		0.826	25.0		0.827
60		0.805	24.7		0.807
120		0.804	24.2		0.806
240		0.804	25.0		0.806

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นมาได้ด้วยความอนุเคราะห์ของหลายๆ ท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทาง พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ซึ่งทางผู้จัดทำขอขอบคุณเป็นอย่างมาก

อาจารย์นิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

อาจารย์กิตติชัย บรรจง

อาจารย์สาทิป รัตนภาสกร

เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการประจำอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงาน

ขอขอบคุณเป็นอย่างมากสำหรับกำลังใจที่ดีที่ได้จากเพื่อนทุกๆ คน และสุดท้ายต้องขอขอบคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่ได้ให้กำลังใจและโอกาสในการศึกษา

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1.รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, ผศ.,2525, "เคมีอาหาร", ภาควิชาเคมี ,คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง, ฝ่ายตำราและอุปกรณ์การศึกษามหาวิทยาลัยรามคำแหง

2.Lee F.A. 1975, " Basic Food Chemistry", The AVI Publishing Company, Inc.West port,Connecticut.

3.Troller J.A. and J.H.B. Christian, 1978, "Water Activity and Food" Academic press,Inc.111 Fifth Avenue ,New York 1003,3-28

4.Prior B.A.1979 ,"Measurement of Water Activity in food" : A Review.j. Food Production ,42(8):668-674

5.Matz S.A.,PH.D.,1965,"Water in Food",The AVI Publishing Company,INC.,121-151:235-260

6.Labuza T.P. Department of Food Science and Nutrition University of Minnesota,st,Paul,1984,"Moisture Sorption:Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use",A.I.T. Labrary:1-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้