



15784



T096931

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง
 การทดสอบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องวัด A_w KMIT'L
 และ โปรแกรม WaerAct
 (Accuracy Test of KMIT'L A_w Measuring Instrument
 and WaterAct Program)

โดย
 นาย ชาลนรงค์ ประเสริฐกิจการ
 นาย ภูสิต ครอบตะคุ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร
 คณะเทคโนโลยีการเกษตร

พท.
 ๘489 ก
 2542

เลขที่.....
 เลขทะเบียน 96931
 วันเดือนปี 5 JUN 2003

Department of Agricultural Industry
 Faculty of Agricultural Technology

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
 เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

King Mongkut's Institute of Technology
 Chaokhuntaaharn Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นกรุงเทพฯ 10520 ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษา Bangkok 10520 Thailand ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การทดสอบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องวัด A_w KMIT'L

และโปรแกรม WaerAct

(Accuracy Test of KMIT'L A_w Measuring Instrument
and WaterAct Program)

โดย

นายชาญณรงค์ ประเสริฐกิจการ

นายภูสิต ครอบตะคุ

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

รองศาสตราจารย์

จาก

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

()

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 42

15784

- 4 ต.ย. 2542

พ.พ.

๔๔๙๓

๒๕๔๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องวัด A_w KMIT'L
และโปรแกรม WaerAct
(Accuracy Test of KMIT'L A_w Measuring Instrument
and WaterAct Program)



รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ภูสิต ครอบตะคุ และ ชาญณรงค์ ประเสริฐกิจการ.2541.การทดสอบเครื่องวัด A_w KMIT'L และ โปรแกรม Water Act. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กิตติชัย บรรจง, 41 หน้า

เครื่องวัด A_w KMIT'L และ โปรแกรม WaterAct ได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้วัดค่า A_w ของอาหารในห้องปฏิบัติการสมบัติทางกายภาพของชีววัสดุ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร ปัญหาพิเศษนี้ได้ทดสอบความถูกต้องแม่นยำในการวัดค่า A_w ของเครื่องวัดค่า A_w KMIT'L และ โปรแกรม Water Act โดยตัวอย่างอาหารที่ใช้วัด คือ ถั่วลิสงบด ที่ระดับค่า A_w ต่างๆกัน คือ 0.902, 0.809, 0.753, 0.649, 0.576, 0.432 และ 0.328 ผลการทดลองพบว่า เครื่องวัด A_w KMIT'L สามารถควบคุมอุณหภูมิในการวัดที่ช่วง 25 ± 1 °C ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการวัดค่า A_w เครื่องสามารถวัดค่า A_w ที่ช่วง 0.4-0.9 ได้โดยมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือเท่ากับ 4.1-6.7% ส่วนค่า A_w ในช่วง ต่ำกว่า 0.4 จะมีค่าที่คลาดเคลื่อนจากค่าจริงมากกว่าคือ เท่ากับ 8.96 % เมื่อพิจารณาความถูกต้องแม่นยำโดยรวมเปรียบเทียบกับเครื่อง Novasina model thermoconstanter พบว่าได้ค่า root mean square error เท่ากับ 4.22 และ 2.83 ตามลำดับ เมื่อนำผลการวัด ไปสร้างกราฟไอโซเทอมของถั่วลิสงจะได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเครื่องวัด A_w KMIT'L นี้สามารถนำไปใช้วัดค่า A_w ของอาหารในระดับห้องปฏิบัติการได้ การศึกษาและพัฒนา A_w โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในครั้งนี้จะมีประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ เช่น การประยุกต์ในการตรวจวัดค่าความชื้น โดยการเขียนโปรแกรมคำสั่งให้ทำงานตามที่ต้องการ

ภูสิต

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

วัน / เดือน / ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษเรื่อง การทดสอบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องวัด A_w KMIT'L และ โปรแกรม WaterAct สำเร็จด้วยดีด้วยการอนุเคราะห์หลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งต้องขอขอบพระคุณไว้ใน โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบคุณพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษสำหรับความเมตตา ความช่วยเหลือ พร้อมทั้งให้คำแนะนำจนทำให้ปัญหาพิเศษครั้งนี้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณพระคุณ อ. ประมวล ศรีกาหลง และ อ. ระจิตร์ จุฑากรณ์ กรรมการปัญหา พิเศษที่กรุณาให้คำแนะนำพร้อมทั้งสอนวิธีการแก้ปัญหาต่างๆให้ จึงทำให้พิเศษครั้งนี้ลุล่วงไปด้วย ดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้อเพื่อความสะดวกในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ และสุดท้ายขอใจเพื่อนๆที่ให้กำลังใจเสมอมา

หากปัญหาพิเศษฉบับนี้มีประโยชน์กับผู้อ่านบ้าง ขอบอกความดีนี้ให้แก่บิดา มารดา ครู อาจารย์ ที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้ให้การศึกษาและความหวังดีตลอดมา

ภูสิต ครอบตะคุ

ชาญณรงค์ ประเสริฐกิจการ

15 มีนาคม 2541

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1. บทนำ	
- ความสำคัญของค่า Water Activity ต่อผลิตภัณฑ์อาหาร	1
- วัตถุประสงค์	2
2. วารสารปริทรรศน์	
- ความชื้นสัมพัทธ์	3
- ปริมาณความชื้นสมดุลและค่า Water Activity	4
- นิยามศักยภาพทางเคมี	4
- การวัดค่า Water Activity	5
- วิธีที่ใช้ในการวัดค่า Water Activity	6
- คุณสมบัติของอาหารที่มีผลต่อค่า Water Activity	7
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
- อุปกรณ์เครื่องมือ	9
- วัตถุประสงค์	9
- สารเคมี	9
- วิธีการทดลอง	10
4. ผลการทดลอง	
- การวัดค่าสารละลายเกลืออิ่มตัว	14
- ผลการเปรียบเทียบค่าของเครื่องวัดค่า A_w แบบ KMIT'L	14
- ค่า A_w ของตัวอย่างอาหารที่วัดได้จากเครื่อง KMIT'L	15
- ค่า A_w ของตัวอย่างอาหารที่วัดได้จากเครื่อง Novasina	15
- ค่า moisture ของตัวอย่างอาหาร	16
- ผลการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	
- สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	18
ข้อเสนอแนะ	20
เอกสารอ้างอิง	21
ภาคผนวก ก.	22
ภาคผนวก ข.	25
ภาคผนวก ค.	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	หน้า
1. แสดงสารละลายเกลืออิมิตัวที่เตรียมแล้ว	11
2. แสดงการเตรียมชิ้นอาหารที่ระดับความร้อนต่างๆ	12
3. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แสดงค่า A_w ที่วัดได้จากเครื่อง KMIT'L และ เครื่องNovasima กับค่า moisture	17
4. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	26
5. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	27
6. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	28
7. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	29
8. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	30
9. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	31
10. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	32
11. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	33
12. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	34
13. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	35
14. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	36
15. แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct	37
16. ขวดสแตนเลสแบบฝาเกลียว	39
17. Insulate box	39
18. เครื่องวัด A_w KMIT'L	40
19. กระบอกใส่ตัวอย่างอาหาร	40
20. ตัวอย่างเกลือของเครื่องวัด A_w Novasina รุ่น Thermoconstanster	41
21. เครื่องวัด A_w Novasina รุ่น Thermoconstanster	41

บทที่ 1

บทนำ

ค่า Water Activity ของผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยจะบอกถึงความคงตัวในระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ต่อปฏิกิริยาการเสื่อมเสียทางชีวเคมีต่างๆ จากการทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร รวมถึงการสูญเสียคุณสมบัติทางกายภาพของอาหารด้วย

1.1 ความสำคัญของค่า Water Activity ต่อผลิตภัณฑ์อาหาร

1.1.1 ทางด้านชีวเคมี

อาหารในธรรมชาติหรือยังไม่ผ่านการแปรรูปมีน้ำประกอบอยู่จำนวนมาก น้ำในอาหารดังกล่าวเป็นปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญ ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic reaction) รวมถึงความสามารถของเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยา (enzyme activity) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดังกล่าวมีอัตราการเกิดขึ้นที่สอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่มีในอาหารและค่า Water activity

1.1.2 ทางด้านจุลินทรีย์

จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในผลิตภัณฑ์ที่มี Water activity ในระดับพอเหมาะ เรียกว่า Optimal Water Activity เมื่อ Water Activity ลดลงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะลดลงไปด้วย จนถึงค่า Water Activity ในระดับหนึ่งซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความต้องการปริมาณน้ำที่ใช้ประโยชน์หรือ Water Activity ไม่เท่ากัน Water Activity ต่ำสุดที่จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้เรียกว่า Minimal Water Activity เชื้อราที่ต้องการ Water Activity น้อยกว่ายีสต์และแบคทีเรีย

1.1.3 ทางด้านกายภาพ

ค่า Water Activity นอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ

ในอาหารแล้วค่า Water Activity ยังมีผลต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของอาหารด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อนำเครื่องวัด KMIT'L และโปรแกรม WaterAct ที่พัฒนาขึ้นมาใช้วัด A_w ของอาหารในห้องปฏิบัติและศึกษาหลักและวิธีวัด A_w จัดทำเป็นคู่มือประกอบการใช้เครื่อง
2. เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องแม่นยำในการวัด A_w ของเครื่องวัด KMIT'L และโปรแกรม WaterAct ที่ถูกพัฒนาขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

ผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบและอาจแบ่งประเภทของน้ำตามความสามารถของการนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ได้ 2 ส่วนด้วยกันคือน้ำที่ผลิตภัณฑ์ดูดซึมไว้เรียกว่า Bound water น้ำส่วนนี้จุลินทรีย์นำไปใช้ได้ยาก น้ำที่อยู่รอบผลิตภัณฑ์อย่างอิสระเป็นส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้เรียกว่า Available activity เขียนย่อว่า A_w (นฤคม, 2532)

นอกจากนี้เมื่อกล่าวถึงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำที่ยึดเกาะในอาหาร สามารถแบ่งน้ำออกได้เป็น 3 ประเภท คือ (รุ่งนภา, 2535)

- (1) โมเลกุลของน้ำที่ยึดเกาะกับอิมูนิกกรุป ได้แก่ กลุ่มคาร์บอกซิล และอะมิโน
- (2) โมเลกุลของน้ำที่ยึดเกาะกับกลุ่มไฮดรอกซิลและเอไมด์ (Amide) ด้วยพันธะไฮโดรเจน

(3) น้ำอิสระที่พบในช่องว่างอินเทอร์สทิเชียล (Interstitial pores) ในช่วงของค่า ที่ต่างกัน ชนิดของน้ำที่ยึดเกาะอยู่ในผลิตภัณฑ์ก็จะแตกต่างกันดังนี้ ค่า A_w ระหว่าง 0 ถึง 0.25 เป็นช่วงที่โมเลกุลของน้ำยึดเกาะด้วยพันธะอิมูนิก เช่น NH_3^+ ยึดกับโปรตีน และ COO^- ยึดกับโปรตีน

ค่า A_w ระหว่าง 0.25 ถึง 0.75 เป็นช่วงที่โมเลกุลของน้ำยึดเกาะกันด้วยพันธะโควาเลนต์ เช่น OH^- ในโปรตีน และพอลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง เพกติน เซลลูโลส และเอมิเซลลูโลส

ค่า A_w ระหว่าง 0.75 ถึง 1.0 เป็นช่วงที่มีชั้นน้ำอยู่หลายชั้นบนโปรตีนและพอลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต

2.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH)

ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เป็นอัตราส่วนโมลของไอน้ำในตัวอย่างอากาศชื้น (X_w) ต่อสัดส่วนโมลของไอน้ำอิ่มตัวของตัวอย่างอากาศนั้น (X_{ws}) ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกันดังนี้

$$RH = (X_w / X_{ws}) * 100 \text{ ----- } 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือความชื้นสัมพัทธ์ เป็นอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอากาศ (P_{H_2O}/P_0) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_0) ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกันดังนี้

$$RH = (P_{H_2O}/P_0) * 100 \text{ ----- 2}$$

2.2 ปริมาณความชื้นสมดุลและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Equilibrium moisture content and water activity)

ปริมาณความชื้นสมดุลของสารนิยามว่า เป็นปริมาณความชื้นที่มีอยู่เมื่อสารมีความดันไอสมดุลกับสิ่งแวดล้อม

อัตราส่วนของความดันไอสมดุลต่อความดันไออิ่มตัวจะเรียกว่า ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์ หรือ วอเตอร์แอกทิวิตี (Water activity : A_w) และค่านี้จะสอดคล้องกับปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์นั้น

จากนิยามจะได้สมการของค่า A_w ดังนี้คือ

$$A_w = (P_{H_2O}/P_0) \text{ ----- 3}$$

สมการ 3 นี้จะคล้ายกับสมการที่ 2 มาก ถ้ารู้ความชื้นของน้ำในอากาศจะได้ค่า Water activity ของอากาศดังนี้

$$A_w = \%RH / 100 \text{ ----- 4}$$

เมื่อความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารสมดุลกับน้ำในอากาศค่า A_w ของอาหารจะเท่ากับ A_w ของอากาศ จากสมการ 4 ถ้า $\%RH$ เมื่อน้ำในอาหารเข้าสู่จุดสมดุลค่า A_w จะถูกกำหนดโดยค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์ (Equilibrium Relative Humidity, $\%RH$) ดังนี้

$$A_w = \%ERH / 100 \text{ ----- 5}$$

2.3 นิยามของศักยภาพทางเคมี (Definition of Chemical Potential)

ในการอธิบายสถานะของระบบใดๆนั้นปัจจัยที่สำคัญนอกจากอุณหภูมิ ปริมาตร ความเข้มข้น แล้ว พลังงานอิสระ (Free energy, G) ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อศักยภาพทางเคมี (Chemical Potential, μ) จากสมการเทอร์โมไดนามิกส์กำหนดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu = \mu_0 + RT \ln a$$

μ คือ ศักยภาพทางเคมี (cal/mol)

μ_0 คือ ศักยภาพทางเคมี (cal/mol) ณ สภาวะมาตรฐาน

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส เท่ากับ 1.987 (cal/mol °K)

T คือ อุณหภูมิ °K = °C + 273.15

a คือ Thermodynamic Activity ของ Particular substance

ค่า Activity วัดหรือกำหนดจากสมการอื่น ขึ้นอยู่กับสิ่งพิจารณา ได้แก่ ไขมัน ของแข็ง หรือระบบไอน้ำจากเทอร์โมไดนามิกส์กล่าวว่า ถ้าศักยภาพทางเคมีขององค์ประกอบที่เหมือนกัน ใน 2 ลักษณะที่แตกต่างกัน แสดงว่าเกิดความสมดุลระหว่าง 2 สถานะนั้น เมื่อเกิดการแลกเปลี่ยน ขึ้นสภาวะหนึ่งจะสูญเสียและอีกสภาวะหนึ่งจะได้รับ เช่นการแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์กับอาหารและอากาศ ในกรณีที่ไม่มี การแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศกล่าวได้ว่ามีความคงตัวของศักยภาพทางเคมีของน้ำ คือ

$$\mu (\text{H}_2\text{O}) \text{ อากาศ} = \mu (\text{H}_2\text{O}) \text{ อาหาร}$$

เนื่องจากอุณหภูมิตั้งที่ μ_0 และ R เป็นค่าคงที่ดังนั้นค่า Water Activity ของผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศคงที่ กล่าวได้ว่าค่า Water Activity ของอากาศภายในผลิตภัณฑ์อาหารเท่ากับค่า Water Activity ของอากาศรอบๆอาหาร

2.4 การวัดค่า Water Activity

การวัดค่า Water Activity (A_w) และการควบคุมเป็นพื้นฐานสำคัญในการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอาหารซึ่งการวัดค่า A_w มีหลายวิธี อย่างไรก็ตามวิธีและอุปกรณ์ในการวัดค่า A_w ควรจะมีคุณสมบัติดังนี้

- (1) มีความถูกต้อง (Accuracy)
- (2) สามารถให้ผลซ้ำได้ (Reproducibility)
- (3) มีความรวดเร็วในการตรวจวัด (Speed)
- (4) ราคาถูก (Low cost)
- (5) เคลื่อนย้ายได้สะดวก (Portability)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) สะดวกในการใช้ (Easy of use)

(7) มีความทนทาน (Durability)

2.5 วิธีที่ใช้ในการวัดค่า Water Activity

มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่

2.5.1 Vapor Pressure Measurement (VPM)

2.5.2 Freezing-Point Depression

2.5.3 Graphical Interpolation

2.5.4 Water-Sorption Isotherm

2.5.5 Electric Hygrometer

2.5.1 Vapor Pressure Measurement (VPM)

เนื่องจากค่า A_w มีความเกี่ยวข้องกับความดันไอที่ระบบสมดุล วิธีนี้เป็นการวัดโดยตรง (Direct Measurement) เป็นวิธีที่ดีที่สุดพบในรายงานครั้งแรกโดย Makower and Myers ในปี 1943 หลังจากนั้นก็ได้รับการปรับปรุงเรื่อยมา ความถูกต้องของวิธีนี้จะแม่นยำในช่วงของค่า A_w คือ 0.32-0.97 รวดเร็วในการวัด หรือในการวิเคราะห์เป็นประจำ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ก็เหมาะในการหาค่ามาตรฐาน เพราะวิธี VPM เป็นการวัดค่า A_w โดยตรง

2.5.2 Freezing-Point Depression

การใช้ข้อมูลด้วยการลดลงของจุดเยือกแข็งสามารถนำมาใช้ในการหาค่า A_w ได้โดยตรง โดยอาศัยหลักการของ Raoult's law กล่าวว่าการลดลงของจุดเยือกแข็งของสารละลายจะสัมพันธ์โดยตรงกับการลดลงของความดันไอน้ำที่อยู่เหนือสารละลายเมื่อเทียบกับความดันไอน้ำเหนือ น้ำบริสุทธิ์ ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกัน โดยค่าความดันไอของน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่างๆกัน ได้แสดงไว้ใน Chemical Handbooks วิธีการนี้จะวัดค่า A_w ของอาหารในช่วง 0.98-1.0 จะมีความแม่นยำสูง เมื่อใช้วัดกับอาหารที่เป็นของเหลวมากกว่าการวัดอาหารที่เป็นของแข็ง

2.5.3 Graphical Interpolation

วิธีการคือนำอาหารไปวางไว้ในบรรยากาศที่ทราบค่าความชื้นสัมพัทธ์ และปล่อยให้เข้าสู่สมดุล โดยจะมีการดูแลความชื้นแลกเปลี่ยนกันระหว่าง บรรยากาศและอาหาร จากนั้นนำค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงมาเขียนกราฟกับความชื้นสัมพัทธ์ แล้วหาจุดที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

2.5.4 Water-Sorption Isotherm

วิธีนี้อาศัย Water-Sorption Isotherm มาตรฐาน วิธีการนี้ใช้อุปกรณ์ราคาถูก โดยการนำอาหารตัวอย่างที่ต้องการหาค่า A_w มาใส่ไว้ใน Desiccator ที่มีโปรตีนแห้ง หรือ Microcrystalline cellulose ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนจนถึงภาวะสมดุล ปริมาณน้ำที่ดูดซับด้วย โปรตีน หรือ เซลลูโลสจะขึ้นกับค่า A_w เริ่มแรกของอาหาร ซึ่งสามารถอ่านค่าได้จาก Water Sorption Isotherm มาตรฐาน วิธีการนี้ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์พวกเนื้อ นม ขนมง เป็นต้น

2.5.5 Electric Hygrometer

วิธี Electric Hygrometer เป็นการวัดค่า A_w แบบทางอ้อม วิธีการนี้จะใช้เครื่องตรวจค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของอากาศเหนือตัวอย่างในขณะปิดที่เข้าใกล้สมดุลมากที่สุด ซึ่งถือว่าค่าที่ใช้ทดแทนค่า A_w โดยอาศัยการอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyzation) สารละลายอิมตัวของเกลือ เช่น LiCl การวัดจะวัดในสภาวะสมดุล เมื่อใส่ตัวอย่างในเครื่องวัด โดยวิธีนี้จะต้องมีกรเปรียบเทียบค่าด้วยสารละลายที่ทราบค่า A_w ความถี่ของการปรับเทียบค่า ตัวเครื่องมือและวัสดุที่ใช้วัด ในการหาทุกครั้งจำเป็นจะต้องปรับเทียบค่ามากกว่า 1 ถึง 2 ครั้งต่อสัปดาห์ จากการทดสอบค่าความถูกต้องเฉลี่ยเมื่อตัวอย่างที่วัดได้มีค่าเกินกว่า 0.90 ค่าความถูกต้องจะลดลง และค่าความถูกต้องของเครื่องมือ ในช่วงของค่า A_w ระหว่าง 0.32-0.97 มีค่าเท่ากับ 0.02 A_w unit

หลักการการทำงานของเครื่องวัดความชื้นจะทำงานโดยอาศัยการวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในขวดที่สภาวะสมดุล การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำระหว่างตัวอย่างอาหารหรือสารละลายเกลืออิมตัวกับอากาศภายในแสดงในรูปที่ 2 ในกรณีนี้ค่า A_w ในอาหารสูงกว่าอากาศภายนอก จนกระทั่งค่า A_w ของทั้งอาหาร และอากาศเท่ากันเมื่ออยู่ในภาวะดังกล่าวสามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้หัววัดความชื้นได้

2.6 คุณสมบัติของอาหารที่มีผลต่อค่า Water Activity

(Properties of Food that Control the Water Activity)

คุณสมบัติของอาหาร และทิศทางที่น้ำทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหาร มีสาเหตุจากระดับการยึดเกาะกันของอนุภาคของน้ำ น้ำที่ยึดเกาะกันมากคือน้ำในส่วน bound water และที่ต่ำลงมากคือน้ำในส่วน free water หรือ A_w ระดับของการยึดเกาะของน้ำมีผลมาจากคุณภาพของอาหาร โดยอิทธิพลทางกายภาพ 3 ประการหลักที่มีผลต่อ A_w คือ

2.6.1 Colligative effect

เมื่อของแข็งละลายในน้ำ จะทำปฏิกิริยา 3 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาระหว่างขั้ว ปฏิกิริยาออสโมติก และพันธะไฮโดรเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีผลมาจากคุณสมบัติของน้ำ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณ

ของโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับประมาณ โมเลกุลของน้ำที่มีอยู่ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า “Colligative effect”

คุณสมบัติบางประการสามารถเปลี่ยนค่า จุดเดือด จุดเยือกแข็ง และความดันไอ ความสำคัญของความดันไอคือ มีผลต่อ activity ของอากาศเหนือสารละลาย เช่น ถ้าเพิ่มตัวละลาย ทำให้ค่า A_w ในสารละลายลดลง P_{H_2O} ของอากาศตรงช่องว่างเหนือสารละลาย (A_w ของอากาศ) จะลดลง ในปริมาณที่เท่าเทียมกันจนกระทั่งถึงจุดสมดุล

2.6.2 Capillary effect

ความดันไอน้ำเหนือของเหลวมีค่าน้อยกว่าความดันไอบริสุทธิ์ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำทำให้ค่า A_w ของอาหารมีค่าลดลงต่ำลง

2.6.3 Surface interaction

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เช่น ปฏิกิริยาระหว่างขั้ว พันธะไฮออนิก แรงวัลเคอร์วาลด์ และพันธะไฮโดรเจน โมเลกุลของน้ำในส่วน bound water ต้องการพลังงานมากในการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวไปเป็นของแข็ง และมีส่วนของ free water น้อยที่จะเปลี่ยนเป็นไอจึงทำให้ค่า A_w ลดต่ำลง



บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1. อุปกรณ์เครื่องมือ

- 3.1.1 หัววัดความชื้น และอุณหภูมิ Rense รุ่น HT 730
- 3.1.2 หัววัดอุณหภูมิ RTD 100 Ω
- 3.1.3 ตู้สำหรับควบคุมอุณหภูมิ ขนาดกว้าง 35cm ยาว 100 cm และสูง 40 cm
- 3.1.4 พัดลมขนาด 32 Watt
- 3.1.5 ชุดทำความเย็นขนาด 300 BTU
- 3.1.6 ชุดทำความร้อนขนาด 500 Watt
- 3.1.7 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล Fenwal รุ่น AR24-L
- 3.1.8 Magnetic Switch Mitsubishi ขนาด 220 Watt
- 3.1.9 Signal Conditioning Carrier Board รุ่น AX-50
- 3.1.10 ขวดสแตนเลสแบบฝาเกลียว พร้อมหลอดพลาสติก
- 3.1.11 เครื่องวัดค่า Water Activity Novasina Thermoconstanter
- 3.1.12 โปรแกรม Water Activity Measuring
- 3.1.13 ถังควบคุมอุณหภูมิ
- 3.1.14 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.1.15 อะลูมิเนียมแคน

3.2 วัสดุดิบ

- 3.2.1 ถั่วลิสงบด

3.3 สารเคมี

- 3.4.1 $BaCl_2$
- 3.4.2 KBr
- 3.4.3 $NaCl$
- 3.4.4 $CoCl_2$
- 3.4.5 $BaCl_2$
- 3.4.6 $NaBr$
- 3.4.7 K_2CO_3
- 3.4.8 $MgCl_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การแก้ไขปรับปรุงเครื่องวัด A_w KMIT'L และ โปรแกรม WaterAct

เครื่องวัด A_w KMIT'L จะอาศัยการวัดแบบวิธี Electric Hygrometers ซึ่งเป็นการวัดค่าทางอ้อม โดยการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์สมมูลของอากาศเหนือตัวอย่างอาหารในภาชนะปิดที่เข้าใกล้ค่าสมมูลมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 25°C

ในการปรับปรุงครั้งนี้ได้อาศัยหลักตามแบบของ AOAC (1980) ที่ได้กำหนดไว้ดังนี้

- (1) ตู้ที่ใช้วัดต้องควบคุมอุณหภูมิให้ได้ $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$
- (2) ขนาดของตู้ต้องมีค่าน้อย 0.06 m^2
- (3) ในการวัดต้องใช้ Mason glass jar ที่มีฝาปิดแบบเกลียว
- (4) ภายในตู้ต้องมี Insulated Box
- (5) ขนาดของตัวอย่างที่จะใช้วัดต้องมีอย่างน้อย $1/20$ ของปริมาตรขวด

เครื่องวัด A_w KMIT'L ภายในจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งใช้สำหรับการวัดค่า %ERH เป็นส่วนที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และส่วนที่สองเป็นส่วนที่ใช้สำหรับการทำความเย็นและควบคุมอุณหภูมิให้กับส่วนแรก

ในส่วนที่หนึ่งจะมีขนาด 0.07 m^3 โดยมีขนาด $50 \times 35 \times 40 \text{ cm}$ ในส่วนนี้จะมีประตูสำหรับเปิดปิดเพื่อใส่ตัวอย่างที่ต้องการวัดค่า A_w ภายในมี Insulate box ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิตลอดๆ ขวด Mason jar ไม่ให้เปลี่ยนแปลง

ในส่วนที่สองจะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมจะประกอบด้วย ชุดทำความเย็น 300 BTU ทำจากแผ่นอลูมิเนียมทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 cm พันด้วยท่อทำความเย็น ภายในจะมีแผ่นสังกะสีเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนและพัดลมขนาด 32 watt ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลม $0.102 \text{ m}^3/\text{sec}$ ชุดทำความร้อนประกอบด้วยแท่งลวดนำความร้อนขนาด 500 watt ซึ่งได้ทำการต่อปอกไปจำนวน 16 ปีก แต่ละปีกขนาด 150 cm^2 เพื่อเป็นตัวถ่ายเทความร้อนจากตัวต้านทาน ถ้าไม่มีปีกความร้อนความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงมากจนไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้

หลักการการทำงานของเครื่องวัด A_w KMIT'L พัดลมจะทำให้ลมจากส่วนที่หนึ่งเข้าสู่ส่วนที่สองเพื่อแลกเปลี่ยนความเย็นกับแผ่นทำความเย็น จนมีอุณหภูมิต่ำกว่า 25°C จากนั้นจะผ่านตัวทำความร้อนเพื่อปรับอุณหภูมิให้ได้ 25°C พอดีก่อนจะกลับเข้าไปสู่ส่วนที่หนึ่ง สำหรับชุดที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วย Temperature Controller Fenwal รุ่น AR24L Digital Temperature Controller มีหัวอ่านอุณหภูมิ RTD 100Ω และ Magnetic Switch ขนาด 220 watt ส่วนโปรแกรมได้

มีการแก้ไขข้อพร่องต่างๆที่พบ และจัดทำคู่มือการใช้เครื่องที่มีรูปแบบการใช้ที่ง่ายและสะดวกกว่าเดิม

3.4.2 การเตรียมสารละลายเกลือ

เกลือที่นำมาใช้มีสองแบบคือ เกลือที่ละลายได้น้อยและเกลือที่ละลายได้มาก

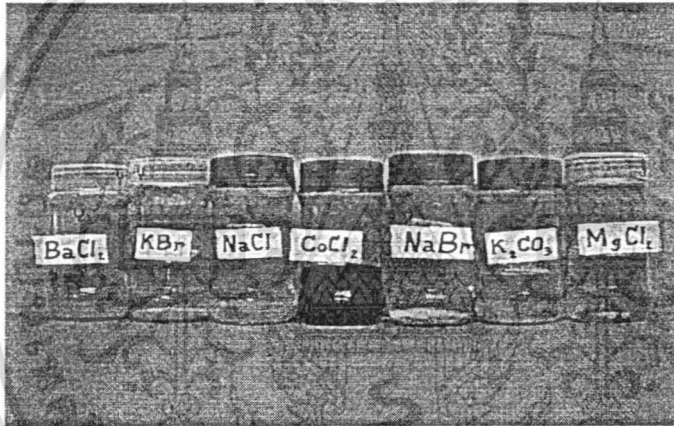
3.4.2.1 นำน้ำกลั่น 500 cc มาต้มจนเดือด

3.4.2.2 ค่อยๆเติมเกลือและคนด้วยแท่งแก้วคน

3.4.2.3 เติมน้ำและคนจนเกลือไม่สามารถละลายได้อีก

3.4.2.4 นำมาใส่ในขวดเก็บสารละลาย ในการทดลองนี้จะเตรียมสารละลายเกลือ

ทั้งหมด 7 ตัวคือ $BaCl_2$, KBr , $NaCl$, $CoCl_2$, $NaBr$, K_2CO_3 และ $MgCl_2$ ได้แสดงในรูปภาพที่ 1



รูปภาพที่ 1 : แสดงสารละลายเกลืออิมิตัวที่เตรียมแล้ว

3.4.3 การเตรียมชิ้นอาหารในสภาพความชื้นต่าง ๆ

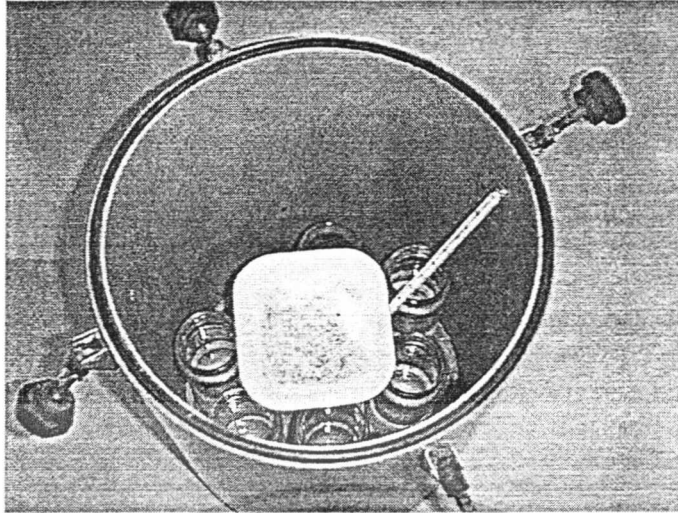
3.4.3.1 นำขวดที่บรรจุสารละลายเกลืออิมิตัวมาใส่ในถังควบคุมอุณหภูมิทั้งหมด 7 ถัง โดยแต่ละถังจะมีค่า A_w ของสารละลายเกลือที่แตกต่างกัน 7 ค่าคือ 0.902, 0.809, 0.753, 0.649, 0.576, 0.432 และ 0.328 โดยเปิดฝาขวดออก

3.4.3.2 นำถาดที่ใส่ถั่วลิสงบดมาใส่ในถังควบคุมอุณหภูมิให้ครบทั้ง 7 ถัง

3.4.3.3 ประมาณ 2-3 อาทิตย์ก็จะได้อาหารที่มีความชื้นต่างกัน แสดงในรูป

ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 2 : แสดงการเตรียมชิ้นอาหารที่ระดับความชื้นต่างๆ

3.4.4 การหา moisture ของตัวอย่างชิ้นอาหาร

3.4.4.1 นำอะลูมิเนียมแค่นที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความชื้น ไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิคงที่ 130 °C ทำให้เย็นในโหลสุญญากาศแล้วชั่งน้ำหนัก

3.4.4.2 ชั่งตัวอย่างหนัก 5 กรัม ใส่ในอะลูมิเนียมแค่น แล้วจึงนำไปอบในเตาด้วยอุณหภูมิ 130°C

3.4.4.3 นำอะลูมิเนียมแค่นออกจากเตาอบ ทำให้เย็นในโหลสุญญากาศ แล้วชั่งน้ำหนักทันที

3.4.4.4 บันทึกผลการทดลอง

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่หายไป}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใส่อบ}} \times 100$$

3.4.5 การทดสอบวัดหาความชื้นจากเครื่อง KMIT'L

3.4.5.1 เตรียมตัวอย่างอาหารที่ต้องการวัด

3.4.5.2 ทำการปรับเทียบค่าแบบมาตรฐานของเครื่อง KMIT'L (วิธีการใช้เครื่องสามารถอ่านได้ในภาคผนวก)

3.4.5.3 ทำการวัดตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.4 บันทึกผลการทดลอง

3.4.6 การทดสอบวัดหาความชื้นจากเครื่อง Novasina

3.4.6.1 เตรียมตัวอย่างอาหารที่ต้องการวัด

3.4.6.2 ทำการเปรียบเทียบค่าเบบมาตรฐานของเครื่อง Novasina (วิธีการใช้เครื่องสามารถอ่านได้ในภาคผนวก)

3.4.6.3 ทำการวัดตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่าง

3.4.6.4 บันทึกผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวัดค่าสารละลายเกลืออิมตัว

ค่า A_w ของสารละลายเกลือที่เตรียมได้ แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการวัดค่าสารละลายเกลืออิมตัว

ชื่อเกลือ	BaCl ₂	KBr	NaCl	CoCl ₂	NaBr	K ₂ CO ₃	MgCl ₂
ค่า A_w	0.902	0.809	0.753	0.649	0.576	0.432	0.326

4.2 ผลของการปรับเทียบค่าของเครื่องวัดค่า A_w KMTI'P L

การปรับเทียบมาตรฐาน (Calibration) จะ ได้ค่าศักย์ไฟฟ้าของค่าและอุณหภูมิได้แสดงใน ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของค่า X และอุณหภูมิ ของเกลือแต่ละตัว

Salt	X (Volt)			
	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Avg.
BaCl ₂ (0.902)	3635	3878	4070	3801.00
KBr (0.809)	3482	3613	3704	3600.00
NaCl (0.753)	3391	3461	3494	3448.67
CoCl ₂ (0.649)	3192	3318	3259	3256.67
NaBr (0.576)	2908	2948	2852	2902.67
K ₂ CO ₃ (0.432)	2722	2610	2427	2586.33
MgCl ₂ (0.328)	2457	2459	2462	2459.33

ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้อาวเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Simple Linear Regression)

โดยโปรแกรม Microsoft Excel จะ ได้สมการของความสัมพันธ์คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของค่า X

ใน Channel 1 จะได้ $A_w = (4.7463 \cdot 10^{-4}) \text{ Volt} + (-0.8417)$

ใน Channel 2 จะได้ $A_w = (3.8747 \cdot 10^{-4}) \text{ Volt} + (-0.5981)$

ใน Channel 3 จะได้ $A_w = (3.2164 \cdot 10^{-4}) \text{ Volt} + (-0.3876)$

4.3 ค่า A_w ของตัวอย่างที่วัดได้จากเครื่อง KMIT'L

ค่า A_w ของตัวอย่างอาหารที่วัดได้จากเครื่อง KMIT'L ที่ระดับค่า A_w ต่างๆ ได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า A_w ของตัวอย่างอาหารที่วัดได้จากเครื่อง KMIT'L ที่ระดับค่า A_w ต่างๆ

ตัวอย่าง อาหารที่ป่ม ที่ระดับ A_w	0.902	0.809	0.753	0.649	0.576	0.432	0.326
ค่า A_w ที่วัด ได้	0.888	0.800	0.732	0.6106	0.499	0.374	0.297

4.4 ค่า A_w ของตัวอย่างที่วัดได้จากเครื่อง Novasina

ค่า A_w ของตัวอย่างอาหารที่วัดได้จากเครื่อง Novasina ที่ระดับค่า A_w ต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า A_w ของตัวอย่างอาหารที่วัดได้จากเครื่อง Novasina ที่ระดับค่า A_w ต่างๆ

ตัวอย่าง อาหารที่ป่ม ที่ระดับ A_w	0.902	0.809	0.753	0.649	0.576	0.432	0.326
ค่า A_w ที่วัด ได้	0.860	0.801	0.767	0.613	0.542	0.438	0.361

4.5 ค่า moisture ของตัวอย่างอาหาร

ค่า moisture ของตัวอย่างอาหารที่วัดได้ที่ระดับความชื้นต่างๆ ได้แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า moisture ของตัวอย่างอาหารระดับความชื้นต่างๆ

ตัวอย่าง อาหารที่บ่ม ที่ระดับ A_w	0.902	0.809	0.753	0.649	0.576	0.432	0.326
เปอร์เซ็นต์ ความชื้นที่ วัดได้	33%	24%	20%	15%	13%	10%	9%

4.6 ผลการตรวจสอบค่าความถูกต้องแม่นยำ

ค่าความถูกต้องที่ได้ได้มาจากการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (% Error) และ root mean square error ดังนี้

4.6.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%Error) ของเครื่อง KMIT'L และเครื่อง Novasina ได้แสดงผลไว้ใน ตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด(%Error)ของเครื่องKMIT'Lและเครื่อง Novasina

เกลือ	A_w -KMIT'L	A_w -Novasina	error- KMIT'L (%)	Error-Novasina (%)
0.902	0.888	0.86	1.47	4.42
0.809	0.800	0.801	1.00	0.88
0.753	0.732	0.767	2.42	1.61
0.649	0.610	0.613	4.76	4.46
0.576	0.499	0.542	10.14	4.47
0.432	0.374	0.438	8.82	0.91
0.328	0.297	0.361	5.41	5.76

ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\% \text{ Error} = \{ \sqrt{(P-A)^2/A} \} * 100$$

โดยที่ P = ค่ามาตรฐาน

A = ค่าจริง

4.6.2 ค่าที่คำนวณได้จาก Root Mean Square Error

ค่า root mean square error ของเครื่อง Novasina = 2.83

ค่า Root Mean Square Error ของเครื่อง KMIT'L = 4.22

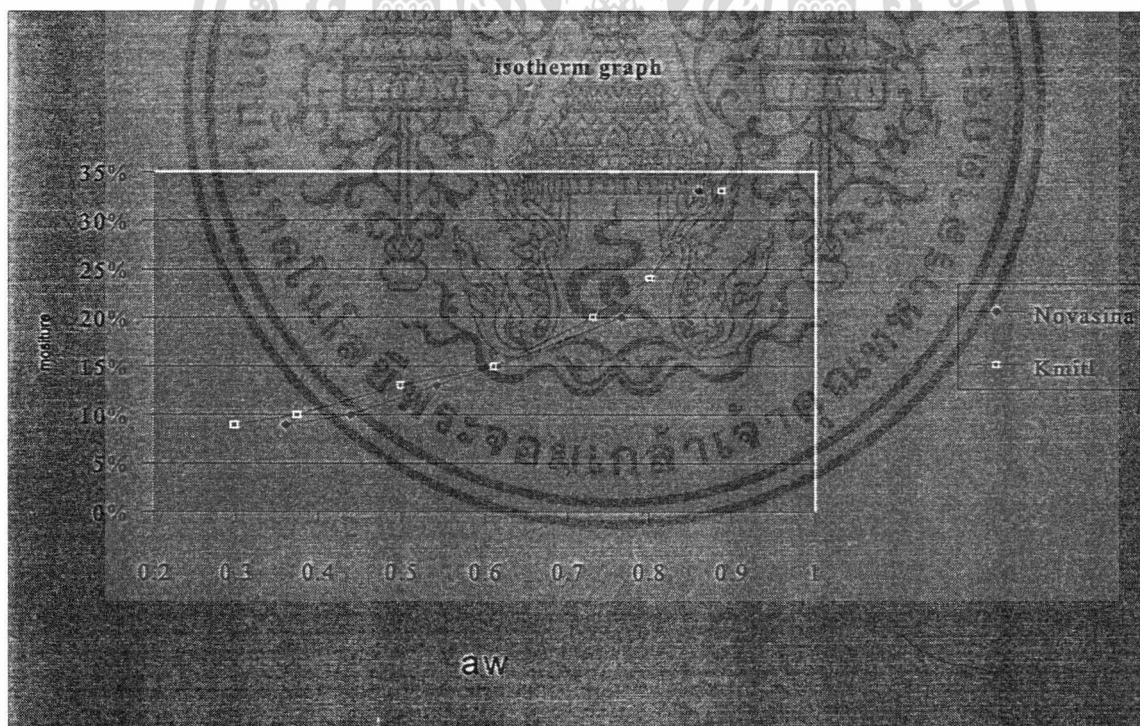
ค่า Root Mean Square Error คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{root mean square error} = \{ \sqrt{\sum (P_i - A_i)^2 / N} \} * 100$$

โดยที่ P = ค่ามาตรฐาน

A = ค่าจริง

N = จำนวนของค่าที่นำมาหา



รูปภาพที่ 3 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า A_w ที่วัดได้จากเครื่อง KMIT'L และ เครื่อง Novasina กับค่า moisture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1.1 เครื่องวัดค่า Water Activity แบบ KMIT'L ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยระบบ 2 ระบบ คือ

(1) ระบบทำความเย็นและควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วยตู้ขนาด 0.07 ลูกบาศก์เมตร ชุดทำความเย็นขนาด 300 BTU พัดลมขนาด $0.102 \text{ m}^3/\text{sec}$ เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล Fanwall, Magnetic Switch Mitsubishi ขนาด 220 Watt หัววัดอุณหภูมิ RTD 100Ω และชุดทำความร้อนขนาด 500 Watt

(2) ระบบสำหรับวัดและแปลงค่าสัญญาณ ประกอบด้วยโปรแกรม WaterAct เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม Windows เวอร์ชัน 3.1 ขึ้นไป Signal Conditioning Carrier Board รุ่น AX-50 หัววัดความชื้น และอุณหภูมิ Rense รุ่น HT 730

5.1.2 จากการทดลองทำการวัดค่า A_w โดยเครื่องวัดค่าแบบ KMIT'L พบว่าการควบคุมอุณหภูมิจะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง $25^\circ\text{C} \pm 1$ ได้ และจากการทำการปรับเทียบค่าเกลือมาตรฐาน (Calibrate) โดยเกลือ 7 ชนิด คือ BaCl_2 , KBr , NaCl , CoCl_2 , NaBr , K_2CO_3 , MgCl_2 ซึ่งมีค่า A_w 0.902, 0.809, 0.765, 0.645, 0.576, 0.432 และ 0.328 ตามลำดับ แล้วยนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Simple Linear Regression) จะได้

ความสัมพันธ์ของค่า X

$$\text{ใน Channel 1 จะ ได้ } A_w = (4.7463 \cdot 10^{-4})\text{Volt} + (-0.8417)$$

$$\text{ใน Channel 2 จะ ได้ } A_w = (3.8747 \cdot 10^{-4})\text{Volt} + (-0.5981)$$

$$\text{ใน Channel 3 จะ ได้ } A_w = (3.2164 \cdot 10^{-4})\text{Volt} + (-0.3876)$$

3.5.1 จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองโดยการคำนวณหา root mean square error จะได้ผลดังนี้

$$\bullet \text{ Novasina} = 4.22 \%$$

$$\bullet \text{ KMIT'L} = 2.83 \%$$

จะเห็นว่าระหว่างเครื่องแบบ KMIT'L กับ Novasina มีความแตกต่างกันของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่มากนักจึงน่าที่จะใช้เครื่องแบบ KMIT'L แทน Novasina ได้

5.1.4 จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองโดยการคำนวณหาความผิดพลาด (Error) จะได้ว่าค่าความผิดพลาดคือ

- ตัวอย่างถั่วที่บ่มที่ A_w 0.902 Novasina มีความผิดพลาด 4.42 %
KMIT'L มีความผิดพลาด 1.47 %
- ตัวอย่างถั่วที่บ่มที่ A_w 0.809 Novasina มีความผิดพลาด 0.89 %
KMIT'L มีความผิดพลาด 1.00 %
- ตัวอย่างถั่วที่บ่มที่ A_w 0.753 Novasina มีความผิดพลาด 1.61 %
KMIT'L มีความผิดพลาด 2.42 %
- ตัวอย่างถั่วที่บ่มที่ A_w 0.649 Novasina มีความผิดพลาด 4.47 %
KMIT'L มีความผิดพลาด 4.77 %
- ตัวอย่างถั่วที่บ่มที่ A_w 0.576 Novasina มีความผิดพลาด 4.48 %
KMIT'L มีความผิดพลาด 10.15 %
- ตัวอย่างถั่วที่บ่มที่ A_w 0.432 Novasina มีความผิดพลาด 0.91 %
KMIT'L มีความผิดพลาด 8.82 %
- ตัวอย่างถั่วที่บ่มที่ A_w 0.328 Novasina มีความผิดพลาด 5.76 %
KMIT'L มีความผิดพลาด 5.41 %

แสดงว่าที่ตัวอย่างที่บ่มที่ค่า A_w 0.902 ความแม่นยำของเครื่อง KMIT'L มีมากกว่า
ที่ตัวอย่างที่บ่มที่ค่า A_w 0.328, 0.649, 0.753 และ 0.809 ความแม่นยำของเครื่อง KMIT'L

และ Novasina ใกล้เคียงกัน

ที่ตัวอย่างที่บ่มที่ค่า A_w 0.432 และ 0.576 ความแม่นยำของเครื่อง Novasina มีมากกว่า

5.1.4 การทำกราฟ Isothermal ของถั่วที่บ่มที่ความชื้นต่างๆ จะได้กราฟที่เป็นไปในทาง
เดียวกันของทั้งความชื้น ค่า A_w จากเครื่องยี่ห้อ Novasina หรือเครื่องแบบ KMIT'L ดังกราฟที่ได้
แสดงมาก่อนหน้านี้

5.1.5 จากการทดลองพบว่าที่ค่า A_w ในช่วงที่ต่ำกว่า 0.3 พบว่าเครื่องวัดค่า A_w แบบ
KMIT'L จะวัดค่าได้คลาดเคลื่อน

ข้อเสนอแนะ

1. ระบบทำความเย็นและควบคุมอุณหภูมิมักจะมีปัญหา อุณหภูมิที่ได้มักสูงกว่าค่าที่กำหนดทำให้ได้ค่าที่คลาดเคลื่อน จึงต้องมีการเสริมแผ่นเก็บความเย็นไว้
2. ในช่วงค่า A_w ที่ต่ำหรือสูงมากเกินไป ค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในอาหารและอากาศจะมีค่ามาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความชื้นระหว่างอาหารและอากาศเกิดขึ้นได้มาก ทำให้ที่จุดสมมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้มีค่าแตกต่างไปจากค่าจริงของอาหารมาก
3. จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในของขวดที่ใช้วัดค่า A_w มีค่าอุณหภูมิสูงกว่า 25°C ซึ่งจะทำได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป
4. เครื่องวัดค่า A_w แบบ KMIT'L นี้เหมาะจะใช้วัดตัวอย่างที่มีค่า A_w ที่สูงกว่า 0.3
5. ควรมีการปรับเทียบค่ากับเกลือมาตรฐาน (Calibrate) เดือนละ 1-2 ครั้ง





เอกสารอ้างอิง

- นฤคม บุญหลง. 2532. การควบคุมคุณภาพอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ:ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร. โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮาส์.
กรุงเทพมหานคร
- Labuza, T.P. 1984. **Moisture Sorption : Practical Aspect of Isotherm Measurement and Use.**
Minnesota: American Association of Cereal Chemists. St.Paul.
- Leunk, H.K. 1986. Water Activity and Other Colligative Properties of Foods. In: M.R. Okos(ed.).
Physical and Chemical Properties of Food. ASAE Publication. Michican.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

ภาคผนวก ก.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้เครื่องวัด A_w Novasina รุ่น Thermoconstanter

1. เครื่องวัดค่า Water Activity (A_w) รุ่น Thermoconstanter

1.1 วิธีการ Set-up Calibration

- ให้ทำการปรับ 1 ครั้ง ในตอนเช้าหรือตอนเริ่มต้น แล้วใช้ได้ทั้งวัน
- ถ้าเครื่องทิ้งไว้นานโดยไม่ได้ใช้ ให้ปรับทุกครั้งก่อนที่จะนำเครื่องมาใช้

1.2 วิธีปฏิบัติ

1. ล้างความชื้นมาตรฐาน (Salt Standard) มาใส่ใน Measuring Chamber ให้เริ่มต้นด้วย Salt Standard SAL-90 (90.1% ERH)
2. ปิดฝาครอบให้เรียบร้อย
3. ให้หมุนปุ่มสี่เหลี่ยมตรงด้านหน้าซ้ายมือของเครื่องไปยังหมายเลขสอง
4. รอประมาณ 1 ถึง 2 นาที แล้วค่อยกดปุ่มสี่เหลี่ยม Enter ด้านขวามือ กดจนกระทั่งจอแสดงว่า
NO
(LCD) กระพริบ ถ้าข้อความบนจออ่านว่า ให้รอก่อนกว่า
CAL
90
บนหน้าจอจะแสดงข้อความว่า พร้อมกับกระพริบด้วย
CAL
5. ให้กดปุ่มสี่เหลี่ยม Enter อีกครั้งหนึ่งจนกระทั่งข้อความบนจอหยุดกระพริบ
6. เครื่องจะทำการ Calibration จนเสร็จสิ้นกระบวนการ
7. หลังจากเสร็จสิ้นการ Calibration แล้ว เครื่องจะคืนสภาพปกติคือพร้อมที่จะวัดค่าและแสดงค่า อุณหภูมิ และ %ERH ($AWB = ERH/100$) ของค่าตัวอย่าง
8. สำหรับค่าอื่นๆให้ทำการ Calibration ในทำนองเดียวกันกับค่า 90 ดังกล่าวข้างต้น

หมายเหตุ

1.) ต้องใช้ตลับ Salt Standard ให้ตรงกับค่าที่ต้องการ Calibration เท่านั้นมิฉะนั้นแล้วจะเกิดความคลาดเคลื่อนในความแม่นยำของการวัดค่า %ERH

2.) ห้ามกดปุ่มสี่เหลี่ยม Enter จนกว่าจะแน่ใจว่าข้อความที่กำลังกระพริบอยู่บนจอ LCD

90 75

เป็นค่าที่ต้องการ Calibration เช่น หรือ เป็นต้น

CAL CAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) ให้ทำการ Calibration หลายๆ ค่าในครั้งเดียวเป็นลำดับ เริ่มต้นด้วยค่ามากถึงค่าน้อยอย่างน้อยสองค่าครอบคลุมถึงค่าของ A_w ที่คาดคิดว่าจะเป็น เช่น ถ้าคาดคิดว่าค่าของ A_w ของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการวัดค่าอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 0.7 ให้ทำการ Calibration เริ่มต้นจากค่า 90 , 75 , และ 53 เป็นต้น แต่ถ้าต้องการความแม่นยำและแม่นยำก็ให้ทำการ Calibration โดยเริ่มจากค่า 90 , 75 , 53 และ 33 ซึ่งเท่านี้ก็พอเพียงจะครอบคลุมได้หมด

4.) ให้สังเกตสีของ Salt Standard ที่ค่าต่างๆกัน ในกรณีที่เกิดการผิดพลาดอันเนื่องมาจากการสลับกันของฝาตลับ หรือทำฝาตลับหายก็ให้สังเกตง่ายๆดังนี้

SAL-98	สีส้ม
SAL-90	สีขาว
SAL-75	สีม่วง
SAL-53	สีเขียว
SAL-33	สีน้ำเงิน
SAL-11	สีขาว

1.3 การวัดค่า A_w ตัวอย่างอาหาร

1. หมุนปุ่มสีเหลืองของเครื่อง Calibration ในตำแหน่งที่ (1)
2. นำตลับพลาสติก (Sample Cup) มาใส่สารตัวอย่างให้ได้ปริมาณประมาณ 80-90%
3. นำตลับตัวอย่างมาใส่ไว้ใน Measuring Chamber
4. ปิดฝาให้เรียบร้อย
5. Set อุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการควบคุมตัวอย่างให้ได้ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ก็ให้ตั้งปุ่มสีแดงตรงขวามือให้ได้หมายเลข 190 เป็นต้น
6. จากนั้นรอนจนกระทั่งอ่านอุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้ และ Relative Humidity ของอากาศที่วัดได้ในสภาวะที่สมดุล (Equilibrium) กับสารตัวอย่าง

ภาคผนวก ข.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้เครื่องวัดค่า A_w แบบ KMIT'L

การเรียกโปรแกรม Water Activity

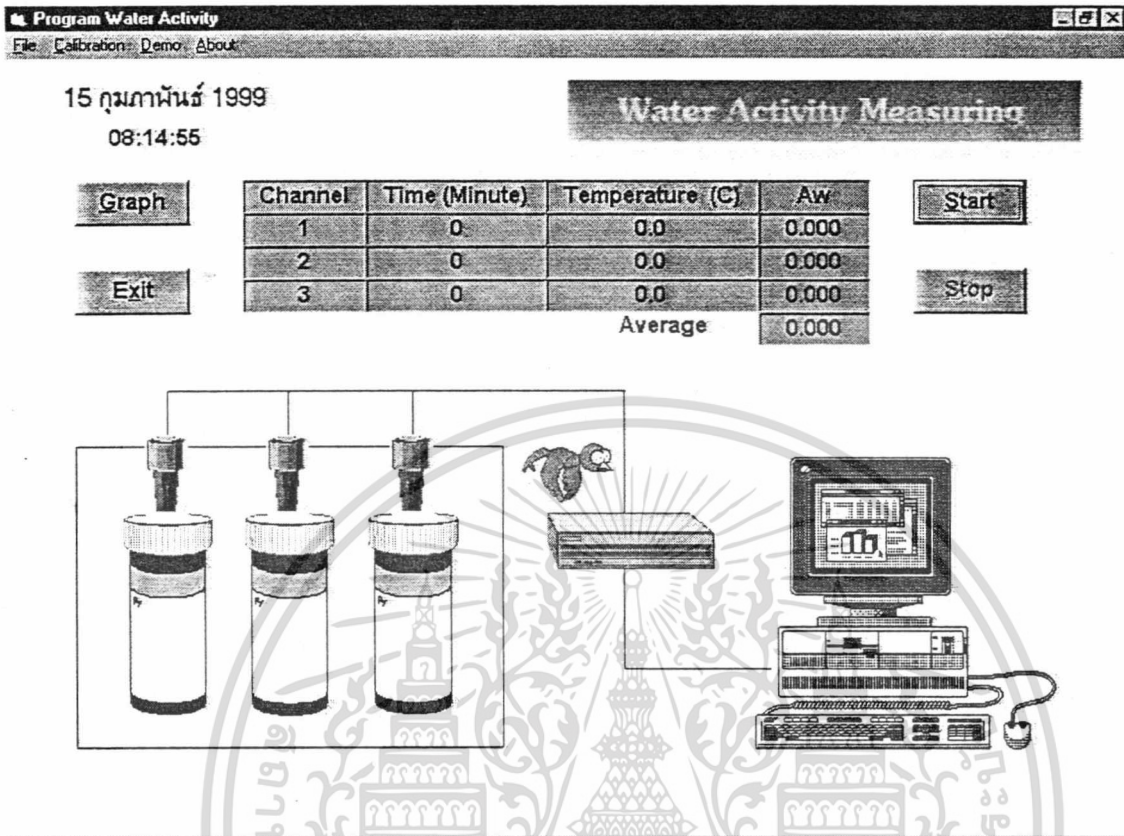
1. ต่ออุปกรณ์ต่างๆให้ครบถ้วน เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
2. เปิดคอมพิวเตอร์ เรียกโปรแกรม Water Activity หรือ Shortcut ของโปรแกรมดังแสดงในรูปภาพที่ 4



รูปภาพที่ 4 : แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หน้าจอโปรแกรม Water Activity จะดังแสดงในรูปภาพที่ 5

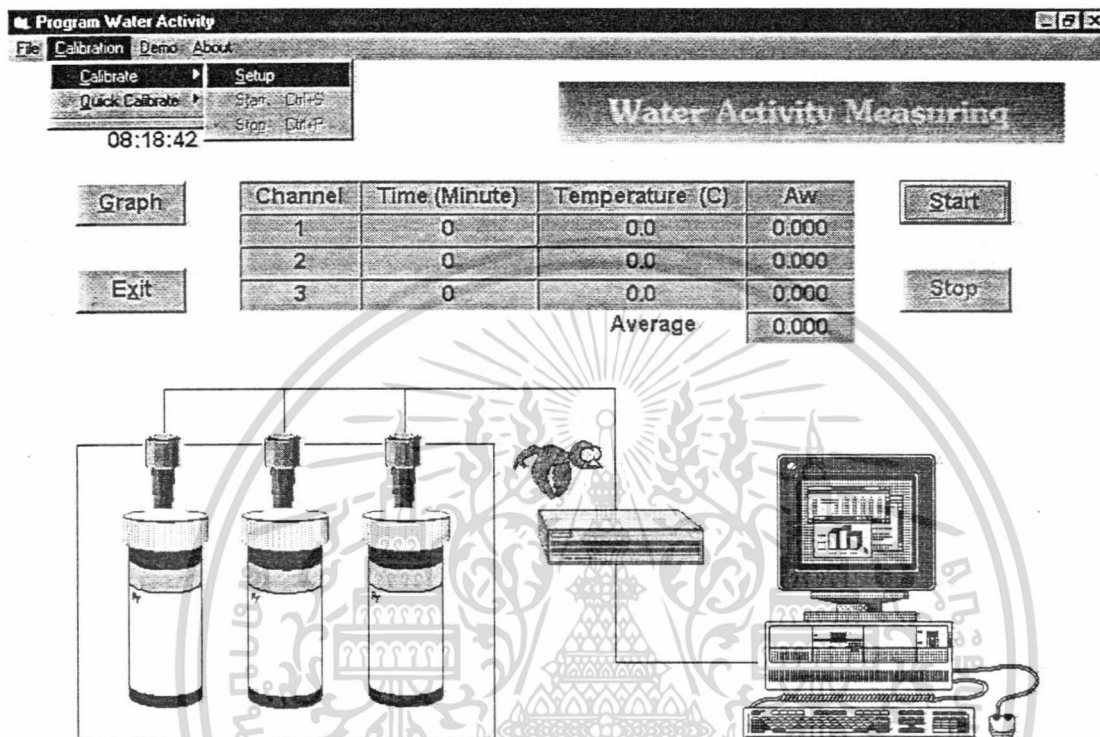


รูปภาพที่ 5 : แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับเทียบค่าเกลือมาตรฐาน (Standard Calibration)

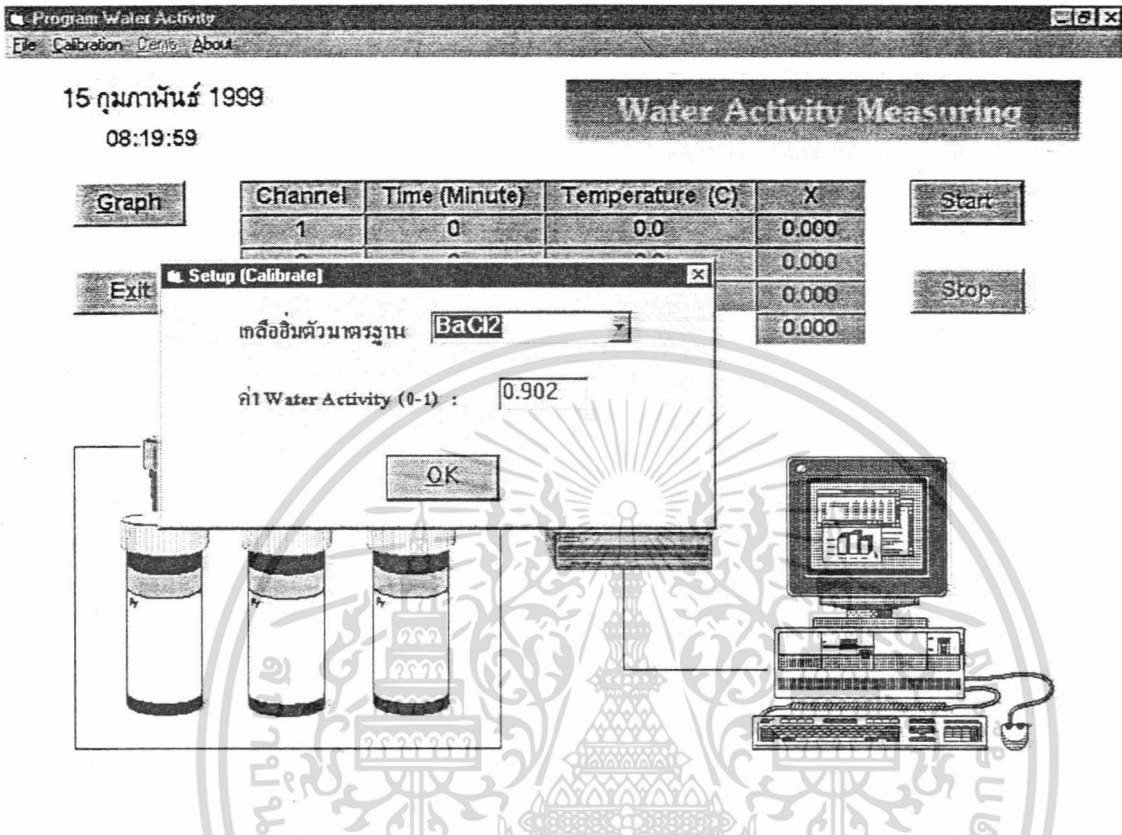
1. ใส่สารละลายเกลือในขวดสแตนเลสที่ใช้วัด ปิดฝาให้แน่น
2. ไปที่เมนูบาร์ เลือก Calibration / Calibrate / Setup ดังแสดงในรูปภาพที่ 6



รูปภาพที่ 6 : แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

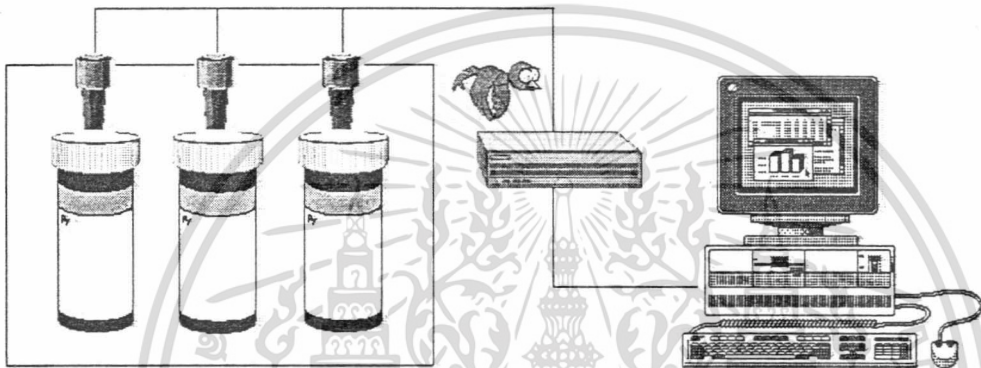
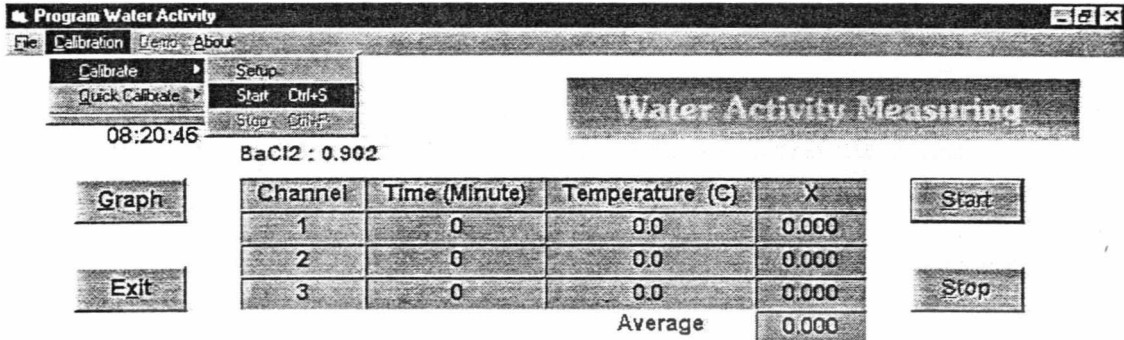
3. เลือกค่าสารละลายเกลือที่พร้อมค่า A_w จะใช้ โปรแกรม แล้วคลิก OK ดังแสดงในรูป ภาพที่ 7



รูปภาพที่ 7 : แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

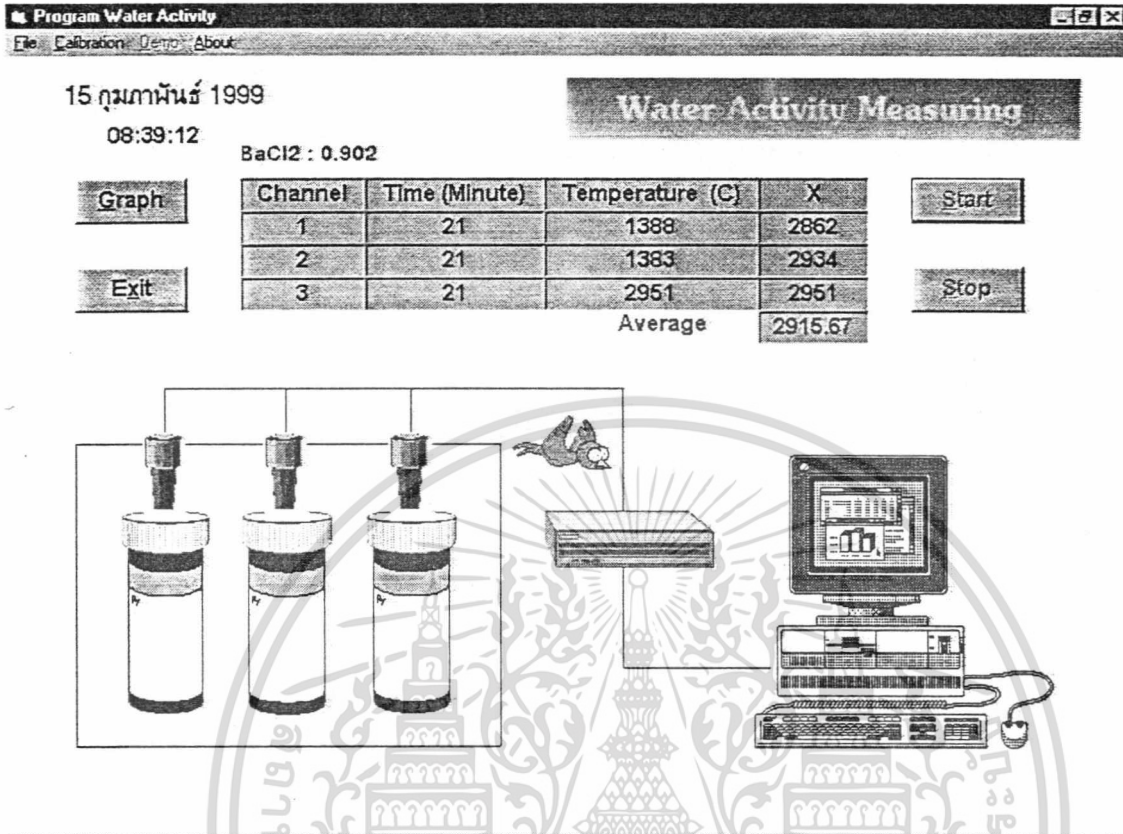
4. ไปที่เมนูบาร์ เลือก Calibration / Calibrate / Start ดังแสดงในรูปภาพที่ 8



รูปภาพที่ 8 : แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

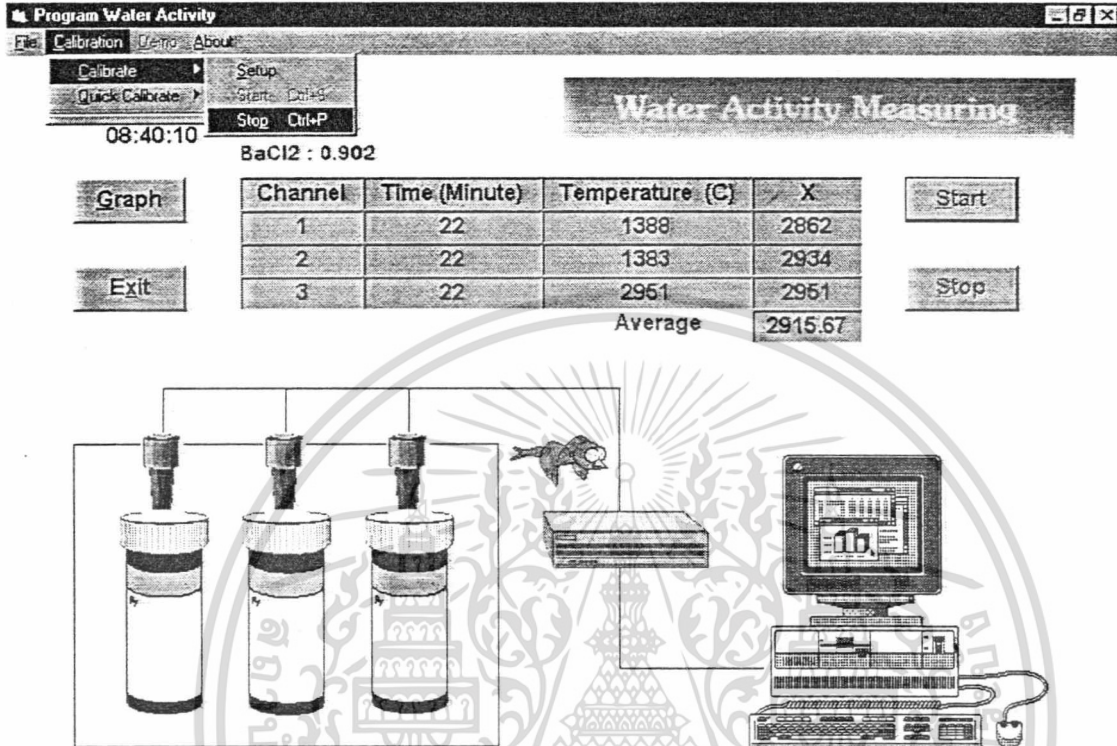
5. โปรแกรมจะเริ่มทำการวัดค่า ดังแสดงในรูปภาพที่ 9



รูปภาพที่ 9 : แสดงการทำงานของ โปรแกรม WaterAct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อค่า X เริ่มคงที่และต้องการหยุดวัดให้ไปที่เมนูบาร์ เลือก Calibration / Calibrate / Stop เครื่องจะหยุดทำการวัด ดังแสดงในรูปภาพที่ 10

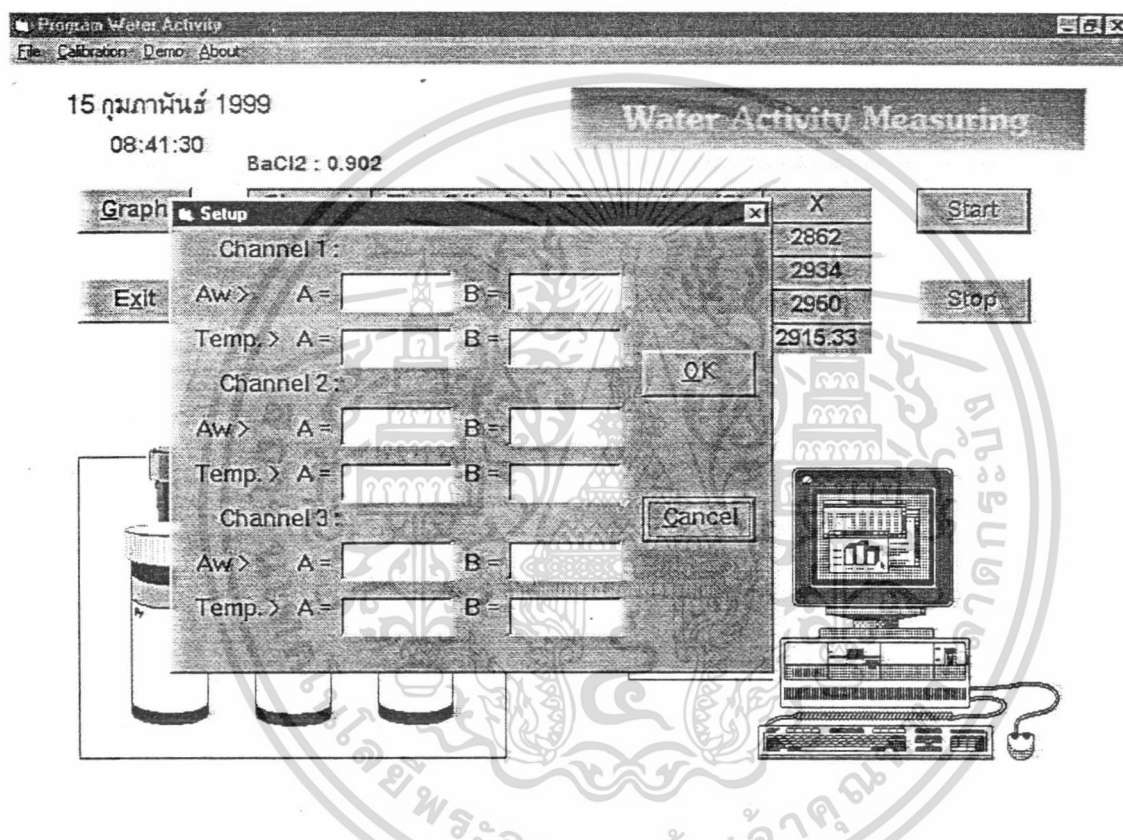


รูปภาพที่ 10 : แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำการวัดค่าเกลือจะครอบคลุมในช่วง 0.3 - 1.0 หรือใกล้เคียง แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Simple Linear Regression) โดยใช้ค่า X ของแต่ละ Channel ไปเทียบกับค่า A_w ของเกลือแต่ละตัว

8. ไปที่เมนูบาร์ เลือก File / Setup ซึ่งแสดงดังรูปที่ 8 ใส่ค่า A และ B จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของแต่ละ Channel แล้วคลิก OK (สำหรับของค่าอุณหภูมิ ให้ใส่ค่า A = 0 และ B = 25 ทุก Channel) ดังแสดงในรูปภาพที่ 11



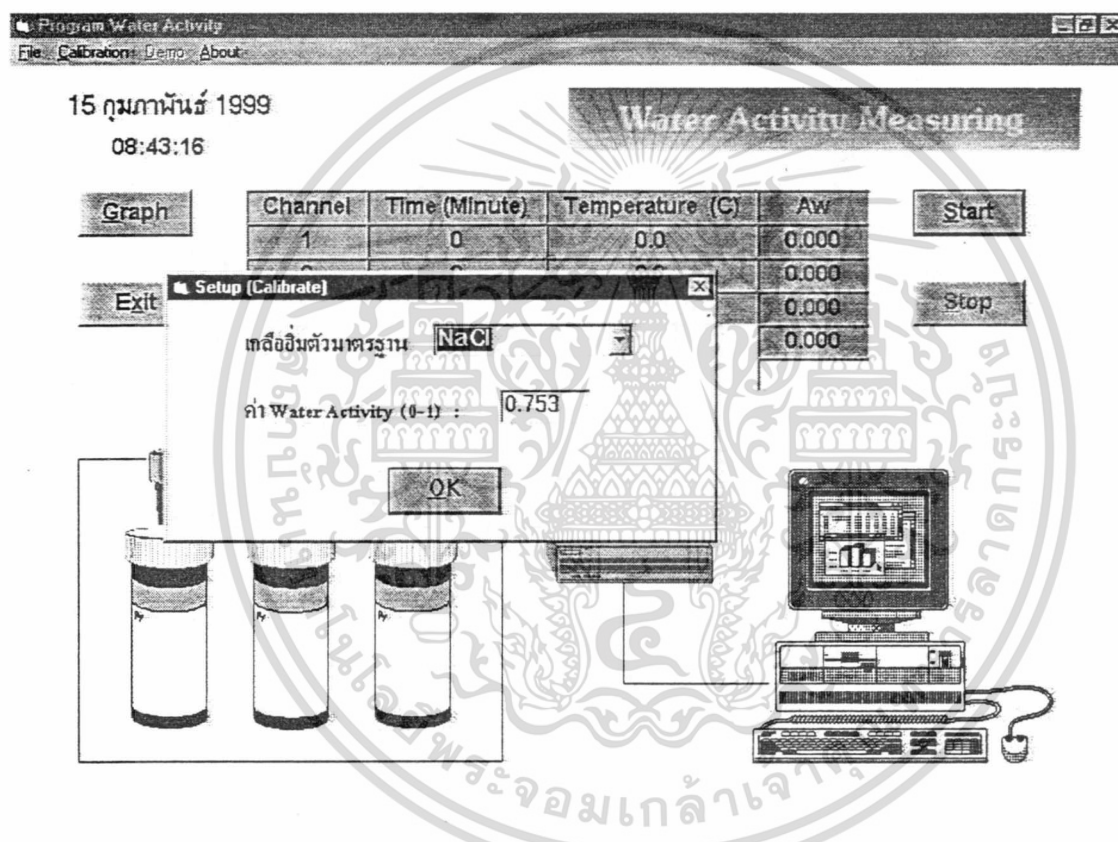
รูปภาพที่ 11 : แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับเทียบค่าแบบเร็ว (Quick Calibrate)

1. ใส่สารละลายเกลือในขวดสแตนเลสที่ใช้วัด ปิดฝาให้แน่น
2. ไปที่เมนูบาร์ เลือก Calibration / Quick Calibrate / Setup

3. เลือกค่าสารละลายเกลือที่พร้อมค่า A_w จะใช้ โปรแกรม แล้วคลิก OK ดังรูปที่ 9 ทั้งนี้ การเลือกสารละลายเกลือที่จะใช้ในการปรับเทียบค่าแบบเร็วต้องคำนึงถึงค่า A_w ของตัวอย่างที่จะนำมาวัด เช่น ถ้าตัวอย่างมีค่า A_w ประมาณ 0.5 ก็ควรจะเลือกสารละลายเกลือที่มีค่า A_w ช่วง 0.4 - 0.6 เป็นต้น ดังแสดงในรูปภาพที่ 12



รูปภาพที่ 12 : แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. คลิกที่ปุ่ม Start เครื่องจะเริ่มทำการวัดค่า A_w ดังแสดงในรูปภาพที่ 13 และเมื่อได้ค่า A_w ที่คงที่จึงคลิกที่ปุ่ม Stop

Program Water Activity

File Calibration Demo About

15 กุมภาพันธ์ 1999

08:45:06

NaCl : 0.753

Water Activity Measuring

Channel	Time (Minute)	Temperature (C)	A_w
1	1	25.0	0.520
2	1	25.0	0.540
3	1	25.0	0.562

Average A_w : 0.541

% Error : 28.15 %

Graph

Exit

Start

Stop

รูปภาพที่ 13 : แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่า A_w ของตัวอย่าง

1. ใส่สารละลายเกลือในขวดสแตนเลสที่ใช้วัด ปิดฝาให้แน่น
2. คลิกที่ปุ่ม Start เครื่องจะเริ่มทำการวัดค่า A_w ดังแสดงในรูปภาพที่ 14 และเมื่อได้ค่า A_w ที่คงที่จึงคลิกที่ปุ่ม Stop

Program Water Activity

File Calibration Demo About

15 กุมภาพันธ์ 1999
08:48:16

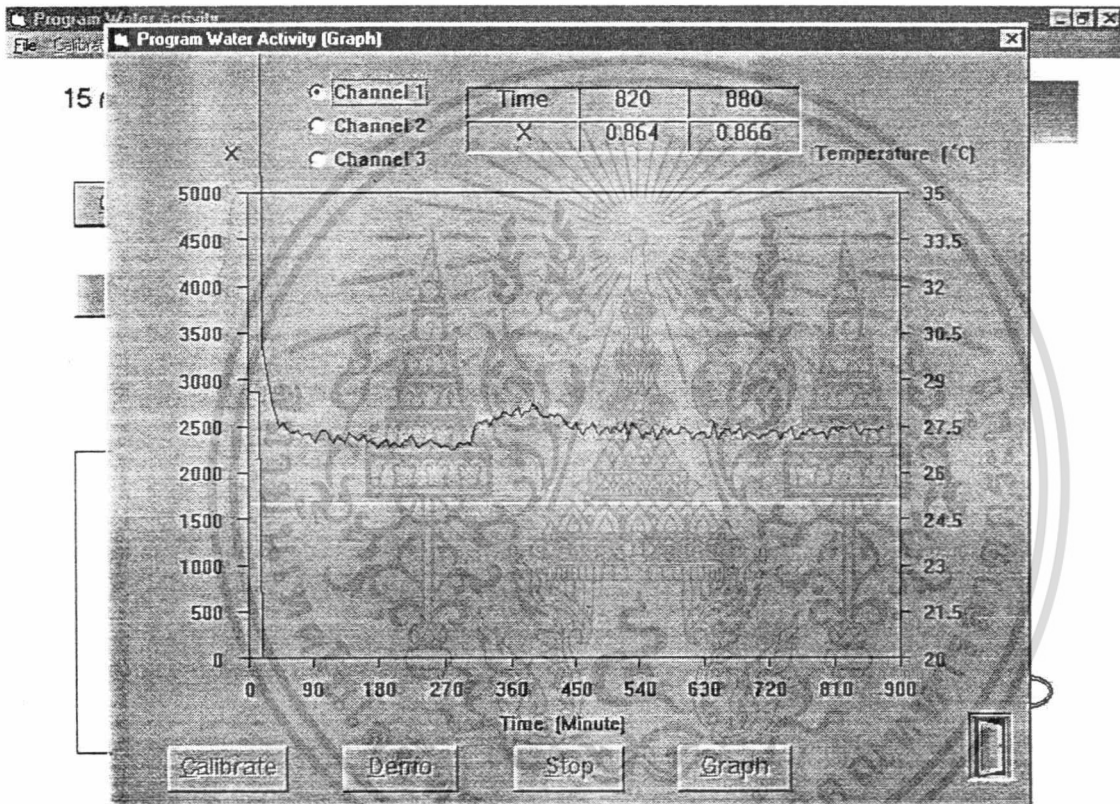
Water Activity Measuring

Graph	Channel	Time (Minute)	Temperature (C)	Aw	Start
	1	1	25.0	0.522	
	2	1	25.0	0.541	
Exit	3	1	25.0	0.562	Stop
				Average	0.542

รูปภาพที่ 14 : แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หมายเหตุ 1. หากจะทำการเปลี่ยนตัวอย่างในการวัดให้ออกจากโปรแกรมก่อน
2. ในการพิจารณาว่าค่า A_w คงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $0.01 A_w$ -unit ในเวลา 1 ชั่วโมง สามารถทำได้โดยการคลิกที่ปุ่ม Graph ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 15 ให้ทำการเลือก Channel แล้วคลิกที่ Graph โปรแกรมจะแสดงกราฟของ Channel นั้น และที่มุมบนขวาจะแสดงค่า A_w ในช่วง 1 ชั่วโมงหากเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $0.01 A_w$ -unit จึงหยุดวัด โดยคลิกที่ปุ่ม Stop แล้วจึงคลิกที่รูปประศูดังแสดงในรูปภาพที่ 15

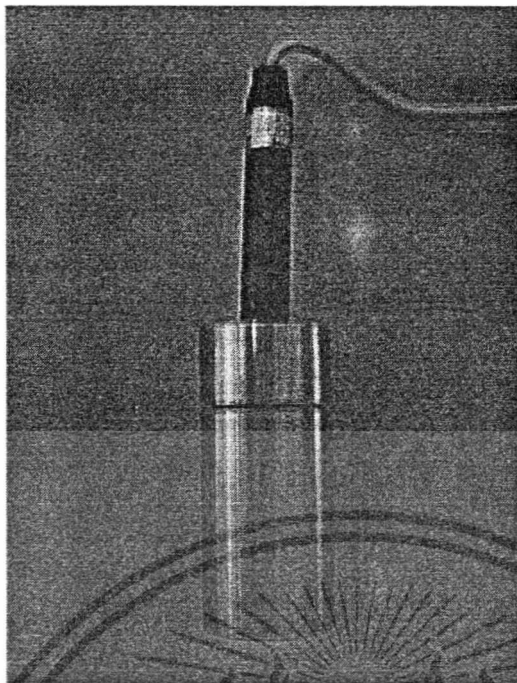


รูปภาพที่ 15 : แสดงการทำงานของโปรแกรม WaterAct

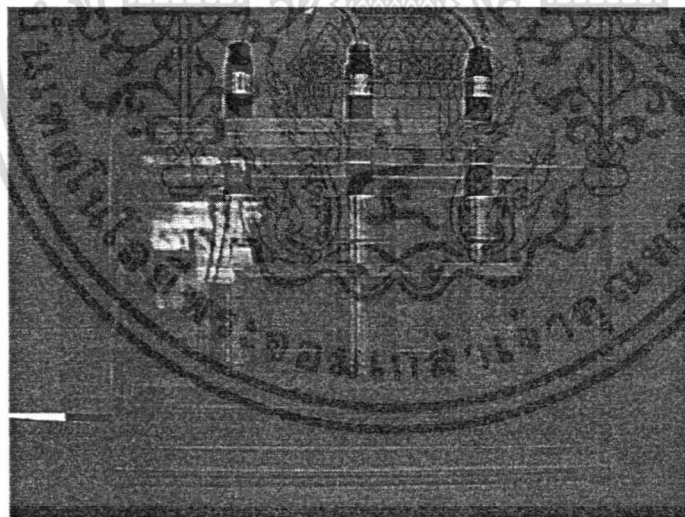
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

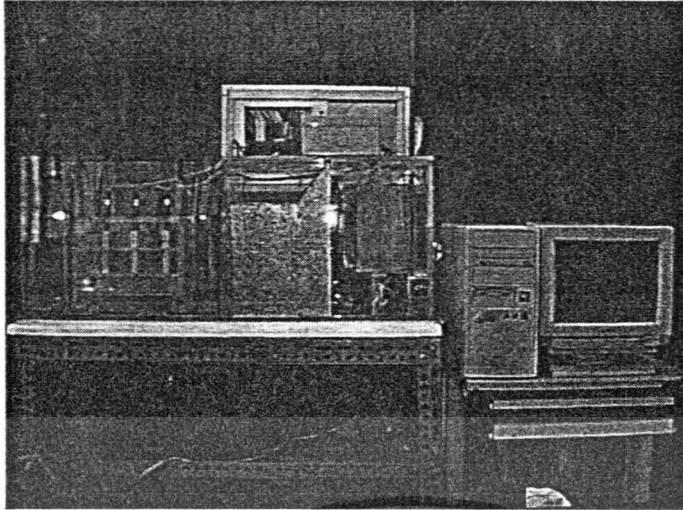


รูปภาพที่ 16 : ขวดสแตนเลสแบบฝาเกลียว

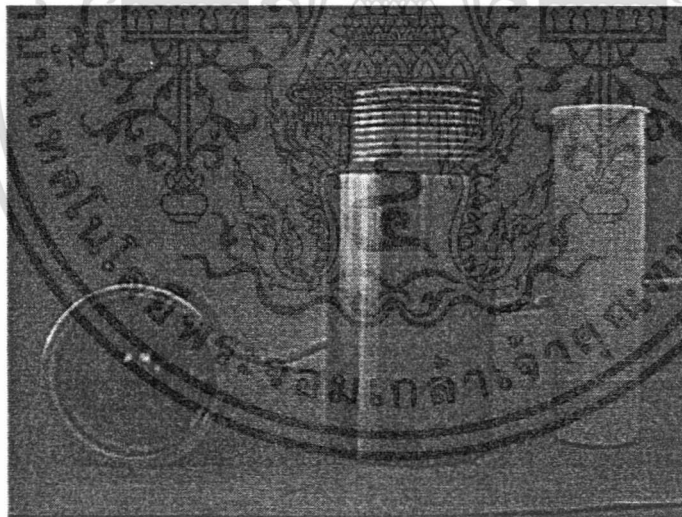


รูปภาพที่ 17 : Insulate box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

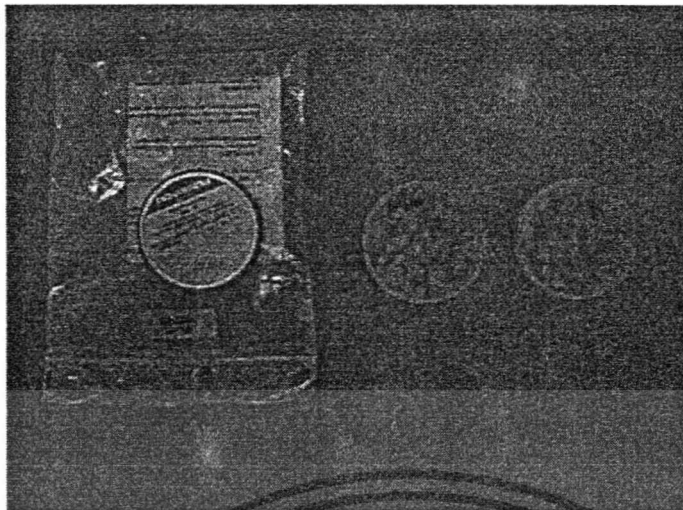


รูปภาพที่ 18 : เครื่องวัด A_w KMIT'L

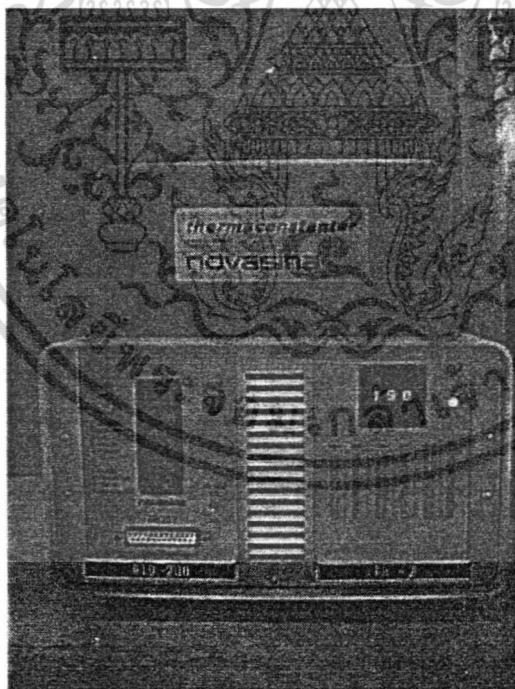


รูปภาพที่ 19 : กระบอกใส่ตัวอย่างอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 20 : ตัวอย่างเกล็ดของเครื่องวัด A_w Novasina รุ่น Thermoconstanter



รูปภาพที่ 21 : เครื่องวัด A_w Novasina รุ่น Thermoconstanter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

นายชาญณรงค์ ประเสริฐกิจการ (เอก) เกิดเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จาก โรงเรียนสันติราษฎร์วิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน (กรุงเทพฯ) สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีพ.ศ. 2542

นายภูสิต ครอบตะคุ (อ้อม) เกิดเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนสุรวิทยาคาร จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้