

เครื่องวัด Water Activity ของผลิตภัณฑ์อาหาร
Water Activity Measuring Instrument for Food Products



นายศากุน บุญอิต
นายศุภฤกษ์ อุดลประเสริฐสุข



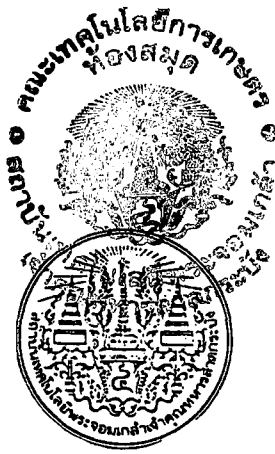
T096717

รฟ.
ศ 341 ค
2538

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....96717
วันเดือนปี.....- 4 JUN 2009

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

เครื่องวัด Water Activity ของผลิตภัณฑ์อาหาร
Water Activity Measuring Instrument for Food Products

โดย

นายศากุน บุญอิต
นายศุภฤกษ์ อุดลประเสริฐสุข

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 28/3/38 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ดร.กิตติชัย บรรจง)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....
(ผ.ศ.ดร.วราวุฒิ ครุสง)

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 28 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2538

.....
.....
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศากุน บุญอิต และศุภฤกษ์ อุดลประเสริฐสุข. 2538.: เครื่องวัด Water Activity ของผลิตภัณฑ์อาหาร (Water Activity Measuring Instrument for Food Products). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.กิตติชัย บรรจง

เครื่องวัดค่า Water activity (A_w) ของอาหารที่ออกแบบและสร้างขึ้นประกอบด้วยตู้ควบคุม อุณหภูมิแบบอ่างน้ำ ควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้คงที่เท่ากับ 25 องศาเซลเซียสโดยให้น้ำหมุนเวียนด้วยอัตรา 2.8 ลิตรต่อนาที ผ่านอ่างน้ำเย็นขนาด 300 ลิตรและขดลวดความร้อนขนาด 500 วัตต์ อุปกรณ์ควบคุม อุณหภูมิใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ Fenwalแบบ AR24-L และอุปกรณ์ตรวจรู้แบบ RTD 100 Ω อาหารที่ต้องการวัดจะถูกบรรจุในขวดแก้วขนาด 120 มิลลิลิตร ปิดฝาจนสนิทแล้ววัดค่า A_w เมื่อถึงจุดความชื้นสัมพัทธ์สมดุล โดยอุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w แบบ Thin Film Capacitance Eliwellรุ่น EWHS 28 และอุปกรณ์ตรวจรู้อุณหภูมิแบบ RTD 100 Ω ซึ่งต่อเข้ากับ Multiplex Amplifier with VI Source Card รุ่น PCLD-7702 , Signal Conditioning Carrier Board รุ่น PCLD-770 และ High performance DAS Cardรุ่น PCL- 818 สัญญาณแรงดันไฟฟ้า (V) จากอุปกรณ์วัด A_w เป็นมิลลิโวลต์จะถูกปรับเทียบค่าเป็น A_w โดยสอบเทียบกับสารละลายอิมิตัวของ $MgCl_2$, $Mg(NO_3)_2$, NaCl และ $(NH_4)_2SO_4$ ซึ่งมีค่า A_w ที่ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.33 , 0.53 , 0.75 และ 0.81 ตามลำดับ สมการในการปรับเทียบค่าคือ $A_w = 0.331V - 0.370$ โดยมีค่า $R^2 = 0.99$ เมื่อใช้เครื่องนี้วัด ค่า A_w ของสารละลายเกลืออิมิตัว $MgCl_2$, $Mg(NO_3)_2$ และ $(NH_4)_2SO_4$ พบว่าได้ค่าอยู่ในช่วงไม่เกิน ± 5 เปอร์เซ็นต์ และมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 2.05 เปอร์เซ็นต์

ศากุน บุญอิต
 ศุภฤกษ์ อุดลประเสริฐสุข
 ปลายมือชื่อนักศึกษา

กิตติชัย บรรจง
 ปลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

28 / 07 / 38
 วันเดือนปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจาก คำแนะนำ และความช่วยเหลืออย่างมากจาก
ท่านอาจารย์ ดร.กิตติชัย บรรจง จึงกราบเรียน ขอขอบพระคุณ มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่น่ารัก ที่ให้ความช่วยเหลือ ได้แก่ นายกมล โสวรัตน์พงศ์ (ตัว)
นางสาวสุรีพรรณ โปษยะพิสิษฐ์ (หญิง)

ผู้เขียน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 น้ำในอาหาร	3
2.2 วอเตอร์ แอกติวิตี (Water Activity)	3
3. วิธีการทดลอง	12
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	12
3.2 การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์	13
3.3 การปรับเทียบค่า	13
3.4 ตรวจสอบค่าความถูกต้องและแม่นยำของเครื่อง	14
4. ผลการทดลอง	15
4.1 การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ	15
4.2 การปรับเทียบค่า	19
4.3 การตรวจสอบหาค่าความถูกต้อง และความแม่นยำของเกลือ	36
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการทดลอง	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก ก	44
ภาคผนวก ข	48
ภาคผนวก ค	52
ภาคผนวก ง	58
ประวัติผู้เขียน	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1. เชื้อจุลินทรีย์ที่มีผลต่อสุขภาพ ซึ่งเจริญในช่วงค่า A_w ต่างๆของผลิตภัณฑ์อาหาร	5
ตารางที่ 2. ผลการเปรียบเทียบค่าโดยเกลืออิมตัว 5 ชนิด	22
ตารางที่ 3. การเฉลี่ยค่าแรงดันไฟฟ้าและค่า Water Activity มาตรฐาน	33
ตารางที่ 4. การวัดค่าสารละลายเกลืออิมตัว และค่ามาตรฐาน	36
ตารางที่ 5. ค่า Water Activity สารละลายเกลืออิมตัวที่ 25 องศาเซลเซียส	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1. การสูญเสียความกรอบในค่า A_w ต่างๆกัน	6
ภาพที่ 2. ค่า Water Activity ที่มีผลต่อปฏิกิริยาและจุลินทรีย์	7
ภาพที่ 3. การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำ ระหว่างชั้นอาหารกับอากาศรอบๆภายในภาชนะปิด	10
ภาพที่ 4. ความสัมพันธ์ของค่าสามชั้นที่อุณหภูมิต่างๆของสารละลายเกลืออิมิตัว	11
ภาพที่ 5. การควบคุมอุณหภูมิให้ได้ที่ 25 ± 0.1 องศาเซลเซียส	15
ภาพที่ 6. การวัด แปรผล และแสดงผลข้อมูล	18
ภาพที่ 7. กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับแรงดัน	20
ภาพที่ 8. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $MgCl_2$ ครั้งที่ 1	23
ภาพที่ 9. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $MgCl_2$ ครั้งที่ 2	24
ภาพที่ 10. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $Mg(NO_3)_2$ ครั้งที่ 1	25
ภาพที่ 11. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $Mg(NO_3)_2$ ครั้งที่ 2	26
ภาพที่ 12. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $NaCl$ ครั้งที่ 1	27
ภาพที่ 13. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $NaCl$ ครั้งที่ 2	28
ภาพที่ 14. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $(NH_4)_2SO_4$ ครั้งที่ 1	29
ภาพที่ 15. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $(NH_4)_2SO_4$ ครั้งที่ 2	30
ภาพที่ 16. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ KNO_3 ครั้งที่ 1	31
ภาพที่ 17. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ KNO_3 ครั้งที่ 1.	32
ภาพที่ 18. กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Water Activity กับแรงดันไฟฟ้า โดยใช้เกลืออิมิตัว 5 ชนิด	34
ภาพที่ 19. กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Water Activity กับแรงดันไฟฟ้า โดยใช้เกลืออิมิตัว 4 ชนิด	35
ภาพที่ 20. กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity และอุณหภูมิของสารละลายเกลืออิมิตัว $MgCl_2$	37
ภาพที่ 21. กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity และอุณหภูมิของสารละลายเกลืออิมิตัว $Mg(NO_3)_2$	38
ภาพที่ 22. กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity และอุณหภูมิของสารละลายเกลืออิมิตัว $(NH_4)_2SO_4$	39
ภาพที่ 23. กราฟการเปรียบเทียบค่า A_w ที่วัดได้กับค่า A_w มาตรฐานและค่าเบี่ยงเบน $\pm 5\%$	40
ภาพที่ 24. ส่วนประกอบของเครื่องวัด Water Activity	48
ภาพที่ 25. โครงสร้างเครื่องปั้มน้ำ	49
ภาพที่ 26. อุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w	49
ภาพที่ 27. RTD 100 Ω	49
ภาพที่ 28. Multiplex Amplifier with V/I Surce Card รุ่น PCLD-7702	50
ภาพที่ 29. Signal Conditioning Carrier Bord รุ่น PCL-818	51
ภาพที่ 30. วัสดุทำความร้อน(Heater) สำหรับการใช้แทนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้	51

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ 31.	แบบด้านข้าง ของฐานตั้งขวดวัด A_w สเกล 1 : 2	52
ภาพที่ 32.	แบบด้านบน ของฐานตั้งขวดวัด A_w สเกล 1 : 2	53
ภาพที่ 33	แบบด้านข้างของอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Chamber) สเกล 1 : 2	54
ภาพที่ 34	แบบด้านบนของอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Chamber) สเกล 1 : 2	55
ภาพที่ 35	แบบด้านหน้าของฝาปิดอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Chamber) สเกล 1 : 2	56
ภาพที่ 36	แบบด้านหน้าของฝาปิดอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Chamber) สเกล 1 : 2	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในอาหารมีน้ำ 2 ลักษณะ คือ รูปของน้ำอิสระ(Free Water) และน้ำไม่อิสระ(Bound Water) น้ำอิสระเท่านั้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาในอาหารได้ น้ำอิสระในอาหารสามารถวัดได้ในรูปของค่า Water Activity (A_w) ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สำคัญในอาหารในด้านการเสื่อมเสียทั้งทางด้านกายภาพ เช่น การสูญเสียความกรอบของอาหารประเภทขนมปัง การเสื่อมเสียทางเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการสูญเสียทางจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดก็จะเจริญได้ถ้าค่า A_w ต่าง ๆ กัน ดังนั้นถ้าสามารถทราบค่าใน A_w ในอาหารได้ก็จะหลีกเลี่ยงและป้องกันการเสื่อมเสียได้

ค่า A_w สามารถให้ค่าจำกัดความได้หลายลักษณะ ในลักษณะหนึ่งค่า A_w หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอของสารละลาย (P_w) ต่ออัตราดันไอน้ำบริสุทธิ์ (P_u) ที่อุณหภูมิเดียวกัน

$$A_w = P_w/P_u \quad (1)$$

นอกจากนี้ค่า A_w ยังสามารถวัดเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์ (Equilibrium Relative Humidity) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนของความดันไอน้ำในอากาศ และความดันไอน้ำบริสุทธิ์ ณ อุณหภูมิเดียวกัน

$$\%RH = (P_w/P_o) \times 100 \quad (2)$$

จากสมการที่ (1) เราสามารถให้ค่าจำกัดความของค่า A_w ได้ว่า

$$A_w = \frac{\% ERH}{100} \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นว่า ค่า A_w สามารถกล่าวอยู่ในรูปของค่าความชื้นสัมพัทธ์สมมูลได้

การวัดค่า A_w เป็นพื้นฐานสำคัญในการวิจัยเกี่ยวกับอาหารซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี (Christian and Troller, 1978) เช่น Vapor Pressure Manometer, การวัดค่า A_w โดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w เป็นต้น

ซึ่งตัวเครื่องมือที่สร้างขึ้นจะต้องมีคุณลักษณะที่สำคัญดังนี้

- ความถูกต้อง (Accuracy)
- มีความรวดเร็วในการตรวจวัด (Speed)
- มีราคาถูก (Low Cost)

โครงการปัญหาพิเศษครั้งนี้ ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องวัดค่า A_w โดยอาศัยหลักการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ โดยอาศัย อุปกรณ์ตรวจรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

- เพื่อให้เป็นเครื่องมือในการศึกษาเกี่ยวกับค่า A_w ในอาหาร
- เพื่อศึกษากลไกการทำงานของเครื่องมือ การออกแบบ และอุปกรณ์เบื้องต้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร
- เพื่อให้เข้าใจการทำงานของระบบการวัดค่าและการแปรผลสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 น้ำในอาหาร

โดยทั่วไปในอาหารจะมีน้ำประกอบอยู่ โดยน้ำที่อยู่ในอาหารในธรรมชาติมีหลายรูปแบบ(วรรณ,2533)

คือ

- น้ำที่เป็นของเหลวอิสระ (Free Water) เป็นน้ำที่พบในไซโตพลาสซึมและช่องว่าง อินเตอร์ทีเชียล
- น้ำในรูปของไฮเดรต (Hydrate Water) เช่น ไฮเดรตที่เกิดจาก H-bond ระหว่างโมเลกุลน้ำกับไอออน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และสารอื่น ๆ
- น้ำที่ถูกดูดกลืนอยู่ในรูปของเจล
- น้ำที่ถูกดูดซับที่ผิวของแข็งที่ถูกสัมผัส

ระดับความยากง่ายในการกำจัดน้ำแต่ละประเภทจะแตกต่างกันซึ่งหมายความว่าน้ำอิสระจะระเหยออกไปในตอนแรกจากนั้นน้ำที่ยึดด้วยพันธะไฮโดรเจนและสุดท้ายจะเป็นน้ำที่ถูกยึดด้วยพันธะไอออนิก(รุ่งนภา,2535)

2.2 Water Activity

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าน้ำในอาหาร มีทั้งน้ำอิสระและน้ำที่อยู่ในรูปที่ไม่อิสระ (Bond Forms) เฉพาะน้ำที่อยู่ในรูปอิสระ (Free Forms) เท่านั้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีและจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ (Troller,1980) ซึ่งมีผลต่ออายุการเก็บรักษา น้ำในอาหารก่อให้เกิดความดันไอ ซึ่งปริมาณความดันไอยิ่งขึ้นกับปริมาณน้ำในอาหาร , อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ ได้แก่ เกลือ , น้ำตาล (Fellows,1990)

การที่เราวัดน้ำอิสระเราจะวัดในรูปของ Water Activity (A_w) ซึ่งให้ค่าจำกัดความได้หลายทางในลักษณะหนึ่งค่า Water Activity หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอน้ำของสารละลาย (P_w) ต่อความดันไอน้ำบริสุทธิ์ (P_0) ที่อุณหภูมิเดียวกัน (Rotstein,1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_w = P_w / P_0 \quad (1)$$

เมื่อ P_w = ความดันไอน้ำของอาหารที่ต้องการวัด
 P_0 = ความดันไอน้ำของน้ำบริสุทธิ์

หรือให้คำจำกัดความในรูปของความเข้มข้นของสารละลายที่เกี่ยวข้องกับ Raoult's law (Troller, 1983)

$$A_w = n_2 / (n_1 + n_2) \quad (2)$$

เมื่อ n_1 = เลขโมลของตัวถูกละลาย
 n_2 = เลขโมลของตัวถูกละลายและตัวทำละลาย

ค่า Water Activity สามารถวัดเป็นความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์ (Equilibrium Relative Humidity) ซึ่งความหมายของความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์คือ เปรอ์เซ็นของความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่สัมผัสกับ บรรยากาศในขณะนั้นซึ่งไม่มีการดูดและคายน้ำเกิดขึ้น (รุ่งนภา, 2535) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอน้ำในอากาศ และความดันไอน้ำบริสุทธิ์ ณ อุณหภูมิเดียวกัน

$$\% RH = (P_w / P_0) \times 100 \quad (3)$$

จากสมการ (1) เราสามารถให้คำจำกัดความของค่า A_w ได้ว่า

$$A_w = \%ERH / 100 \quad (4)$$

เมื่อ ERH = ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์

2.2.1 ความสำคัญของ Water Activity

ค่า Water Activity ในอาหาร เป็นสิ่งสำคัญในคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ซึ่งสามารถใช้ทำนายถึงสถานะและความคงตัวของอาหารทางกายภาพที่จะใช้ในการยอมรับรวมถึงการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น การเติบโตของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางชีวเคมี (Labuza, 1980)

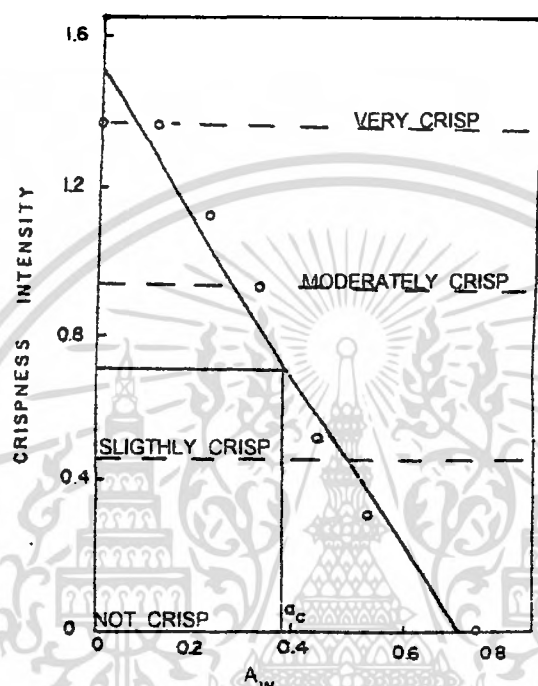
ค่า Water Activity ในอาหารที่มีความชื้นสูง และมีสารละลายละลายอยู่น้อยจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีโดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะเจริญได้ดีที่ค่า A_w ต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. เชื้อจุลินทรีย์ที่มีผลต่อสุขภาพ ซึ่งเจริญในช่วงค่า A_w ต่างๆของผลิตภัณฑ์อาหาร(Labute, 1984)

Microorganism	Minimal A_w for	
	Growth	Toxin Production
<i>Aspergillus clavatus</i>	0.85	0.99 (patulin)
<i>A. flavus</i>	0.78 - 0.80	0.83 - 0.87
<i>A. ochraceus</i>	0.77 - 0.83	0.83 - 0.87 (ochratoxin)
<i>A. ochraceus</i>	0.76 - 0.81	0.80 - 0.88 (penicillic acid)
<i>A. parasiticus</i>	0.82	0.87 (aflatoxin)
<i>Bacillus cereus</i>	0.93 - 0.95	
<i>Byssoschlamys nivea</i>	0.84	
<i>Clostridium botulinum</i>	0.93(A) - 0.95(A)	0.94 - 0.95(A)
	0.93 - 0.94(B)	0.94(B)
	0.95(E) - 0.97(E)	0.97(E)
<i>Clostridium perfringens</i>	0.93 - 0.95	
<i>Penicillium cyclopium</i>	0.82 - 0.87	0.97 (penicillic acid)
<i>P. cyclopium</i>	0.81 - 0.85	0.87 - 0.90 (ochratoxin)
<i>P. expansum</i>	0.83 - 0.85	0.99 (patulin)
<i>P. islandicum</i>	0.83	
<i>P. martensii</i>	0.79 - 0.83	0.99 (penicillic acid)
<i>P. patulum</i>	0.81 - 0.85	0.85 - 0.95 (patulin)
<i>P. viridicatum</i>	0.83	0.83 - 0.86 (ochratoxin)
<i>Salmonella spp.</i>	0.92 - 0.95	
<i>Stachybotrys atra</i>	0.94	0.94 (stachybotryin)
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.86	0.87 - 0.90 (enterotoxin A)
		0.97 (enterotoxin B)
<i>Trichothecium roseum</i>	0.90	
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0.94	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

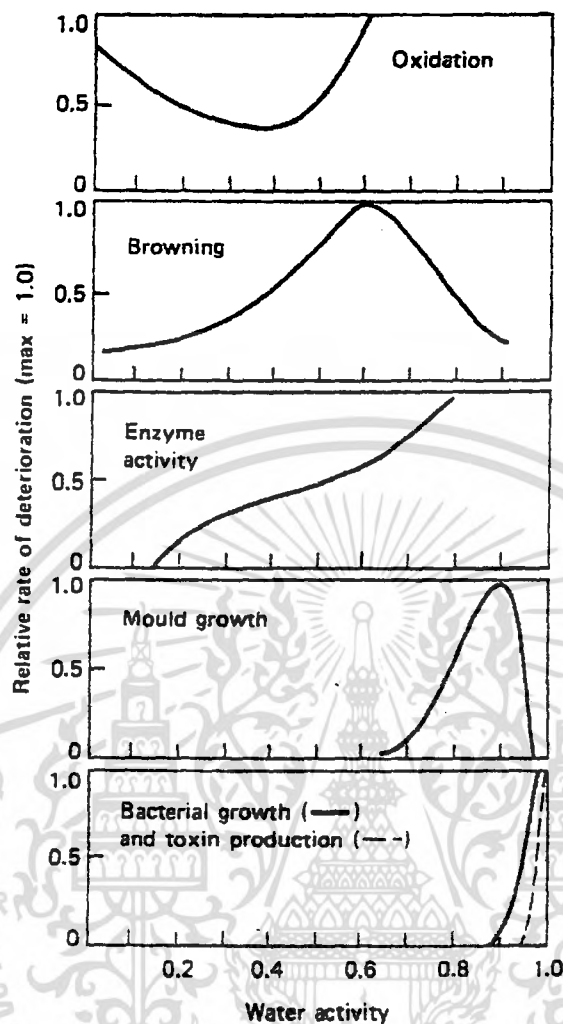
นอกจากผลกระทบที่มีต่อการเจริญของจุลินทรีย์แล้วค่า A_w มีความสำคัญต่อเสถียรภาพทางเคมีและคุณสมบัติของอาหารเช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหาร ,ปฏิกิริยา nonenzymatic browning , การสูญเสียวิตามิน รงควัตถุ และการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ (Labuza,1980) ค่า A_w ยังมีผลต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของอาหารด้วย ได้แก่ ในด้านความกรอบ (Crispness) , ความแข็ง (Hardness) ความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารจากธัญพืช (Cereal-Based Product) เช่น แครกเกอร์ , ขนมทอดกรอบ (Fried Snacks) ซึ่งค่า A_w เป็นสิ่งสำคัญต่อ คุณภาพเนื้อสัมผัสมากดังแสดงในภาพที่ 1.



ภาพที่ 1. การสูญเสียความกรอบในค่า A_w ต่างๆกัน(Labuza,1984)

การลดลงของความกรอบที่ค่า A_w 0.4-0.45 แครกเกอร์จะสูญเสียคุณสมบัติความกรอบไปโดยส่วนใหญ่แล้วผลิตภัณฑ์อาหารจากธัญพืช การสูญเสียความกรอบจะสูญเสียในช่วง A_w นี้ ส่วนในด้านความแข็งในทางตรงกันข้ามลักษณะเกิดกับอาหารประเภทที่มีความชื้นอยู่ในช่วงกลางๆ (Semimoist Food) เช่น อาหารเลี้ยงสัตว์ และชิ้นผลไม้ ยังไม่มีข้อมูลแน่นอนในการกำหนดค่า A_w วิกฤตต่ำสุด แต่โดยทั่วไปค่า A_w วิกฤตของอาหารประเภทนี้ อยู่ในช่วง 0.5 - 0.6 (Labuza,1984) จากตารางที่ 2 ยังแสดงถึงน้ำที่ยึดเกาะที่ค่า A_w แตกต่างกัน โดยค่า A_w ระหว่าง 0-0.25 เป็นน้ำที่เกาะด้วยไฮออนกรุปในช่วงค่า A_w ตั้งแต่ 0.25-0.75 น้ำที่เกาะด้วยพันธะโควาเลนต์และค่า A_w ในช่วง 0.75-1.0 เป็นน้ำที่อยู่ในรูป Free Isolute และ Capillary (รุ่งนภา,2535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2. ค่า Water Activity ที่มีผลต่อปฏิกิริยา และ จุลินทรีย์ (Fellows,1990)

2.2.2 การวัดค่า Water Activity

การวัดค่า Water Activity (A_w) และการควบคุมเป็นพื้นฐานสำคัญในการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอาหารซึ่งการวัดค่า A_w มีหลายวิธี อย่างไรก็ตามวิธีและอุปกรณ์ในการวัดค่า A_w ควรจะมีคุณสมบัติดังนี้ (Christian and Troller,1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีความถูกต้อง (Accuracy)
- สามารถให้ผลซ้ำได้ (Reproducibility)
- มีความรวดเร็วในการตรวจวัด (Speed)
- ราคาถูก (low cost)
- เคลื่อนย้ายได้สะดวก (Portability)
- สะดวกในการใช้ (Easy of use)
- มีความทนทาน (Durability)

ความถูกต้องถือว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก วิธีที่ใช้วัดค่า A_w ได้แก่

(Christian and Troller, 1978; Leung, 1986; Troller, 1983)

- Vapor Pressure Measurement (VPM)
- Freezing-Point Depression
- Graphical Interpolation
- Water-Sorption Isoterm
- Hygrometers

2.2.2.1 Vapor Pressure Measurement (VPM)

เนื่องจากค่า A_w มีความเกี่ยวข้องกับความดันไอ ที่ระบบสมดุล วิธีนี้เป็นการวัดโดยตรง (Direct Measurement) เป็นวิธีที่ดีที่สุดในรายงานครั้งแรกโดย Makower and Myers ในปี 1943 หลังจากนั้นก็ได้รับการปรับปรุงเรื่อยมา ความถูกต้องของวิธีนี้จะแม่นยำในช่วงของค่า A_w คือ 0.32-0.97 (Labuza, 1984) ค่าความดันไอจากตัวอย่างจะถูกวัดโดย oil manometer วิธีนี้ไม่เหมาะเมื่อต้องการความรวดเร็วในการวัด หรือในการวิเคราะห์เป็นประจำ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็เหมาะในการหาค่ามาตรฐาน เพราะวิธี VPM เป็นการวัดค่า A_w โดยตรง (Leung, 1986)

2.2.2.2 Freezing-Point Depression

การใช้ข้อมูลด้วยการลดลงของจุดเยือกแข็ง สามารถนำมาใช้ในการหาค่า A_w ได้ โดยอาศัยหลักการของ Raoult's law กล่าวว่าการลดลงของจุดเยือกแข็งของสารละลายจะสัมพันธ์โดยตรงกับการลดลงของความดันไอน้ำ ที่อยู่เหนือสารละลายเมื่อเทียบกับความดันไอน้ำเหนือน้ำบริสุทธิ์ ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกันโดยค่าความดันไอของน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่างๆกันได้แสดงไว้ใน Chemical Handbooks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Christian and Troller,1978) วิธีการนี้เหมาะที่จะวัดค่า A_w ของอาหารในช่วง 0.98-1.0 จะมีความแม่นยำสูง เมื่อใช้วัดกับอาหารที่เป็นของเหลว มากกว่าการวัดอาหารที่เป็นของแข็ง (Leung,1986)

2.2.2.3 Graphical Interpolation

วิธีการ คือ นำอาหารไปวางไว้ในบรรยากาศที่ทราบค่า ความชื้นสัมพัทธ์ และปล่อยให้เข้าสู่สมดุล โดยจะมีการดูและคายความชื้นแลกเปลี่ยนกันระหว่าง บรรยากาศและอาหาร จากนั้นนำค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงมาเขียนกราฟ กับ ความชื้นสัมพัทธ์ แล้วหาจุดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

2.2.2.4 Water-Sorption Isotherm

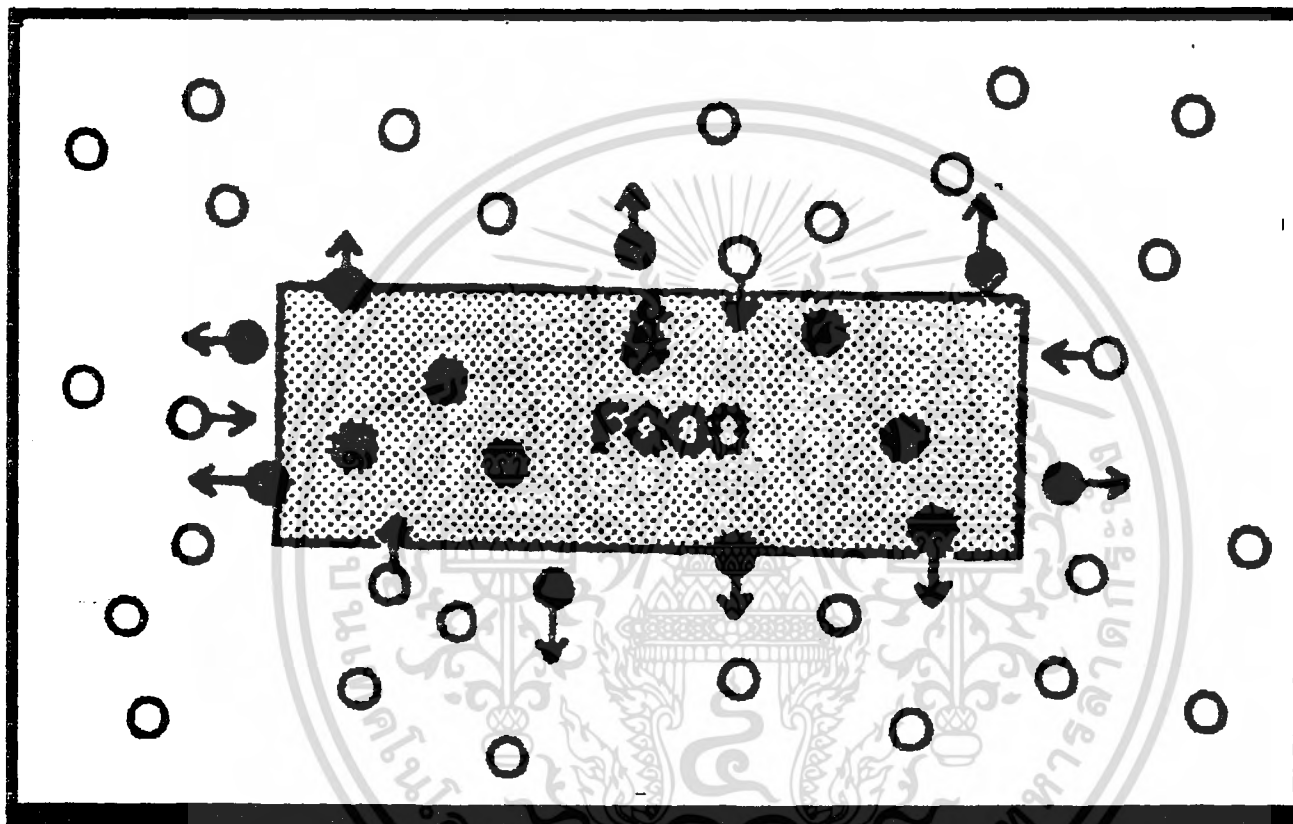
วิธีนี้อาศัย Water-Sorption Isotherm มาตรฐาน วิธีการนี้ใช้อุปกรณ์ราคาถูก โดยนำอาหารตัวอย่างที่ต้องการหาค่า A_w มาใส่ใน Desiccator ที่มีโปรตีนแห้ง หรือ Microcrystalline cellulose ที่ทราบน้ำหนัก แนนอน จนถึงสภาวะสมดุล ปริมาณน้ำที่ดูดซับด้วย โปรตีน หรือ เซลลูโลสจะขึ้นกับค่า A_w เริ่มแรกของอาหาร ซึ่งสามารถอ่านค่าได้จาก Water Sorption Isotherm มาตรฐาน วิธีการนี้ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์พวก เนื้อ , นม , ขนมปัง เป็นต้น

2.2.2.5 Electric Hygrometer

วิธี Electric Hygrometers เป็นการวัดค่า A_w แบบทางอ้อม วิธีการนี้จะใช้เครื่องตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์ (Equilibrium Relative Humidity) ของอากาศเหนือตัวอย่างในภาชนะปิดที่เข้าใกล้สมดุลมากที่สุด ซึ่งถือว่าค่าที่ใช้ทดแทนค่า A_w โดยอาศัย การอิเล็กโทรไลต์ (electrozation) สารละลายอิมตัวของเกลือ เช่น LiCl (Labuza,1984) การวัดจะวัดในสภาวะสมดุลย์เมื่อใส่ตัวอย่างในเครื่องวัด โดยวิธีการนี้จะต้องมีการ คาลิเบรท (Calibrate) ด้วยสารละลายที่ทราบค่า A_w ความถี่ของการคาลิเบรท ตัวเครื่องมือและวัสดุที่ใช้วัด ในการหาทุกครั้งจำเป็นที่จะต้องคาลิเบรท มากกว่า 1 ถึง 2 ครั้ง ต่อ สัปดาห์ จากการทดสอบค่าความถูกต้องเฉลี่ยเมื่อตัวอย่างที่วัดมีค่า A_w เกินกว่า 0.90 ค่าความถูกต้องจะลดลง (Troller,1983) และค่าความถูกต้องของเครื่องมือ ในช่วงของค่า A_w ระหว่าง 0.32 - 0.97 มีค่าเท่ากับ 0.02 A_w unit (Labuza,1976)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของเครื่องวัดความชื้นจะทำงานโดยการวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ในขวดวัดที่สภาวะสมดุลย์ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำระหว่างตัวอย่างอาหาร หรือสารละลายเกลืออิมิตัว กับ อากาศภายในแสดงในภาพที่ 3. ในกรณีนี้ค่า A_w ในอาหารสูงกว่าอากาศภายนอก จนกระทั่งค่า A_w ของทั้ง อาหาร และอากาศ เท่ากัน เมื่ออยู่ในภาวะดังกล่าวสามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้หัววัดความชื้นได้ (Leung,1986)



CONTAINER

$A_w \text{ FOOD} > A_w \text{ AIR}$

○ WATER IN AIR

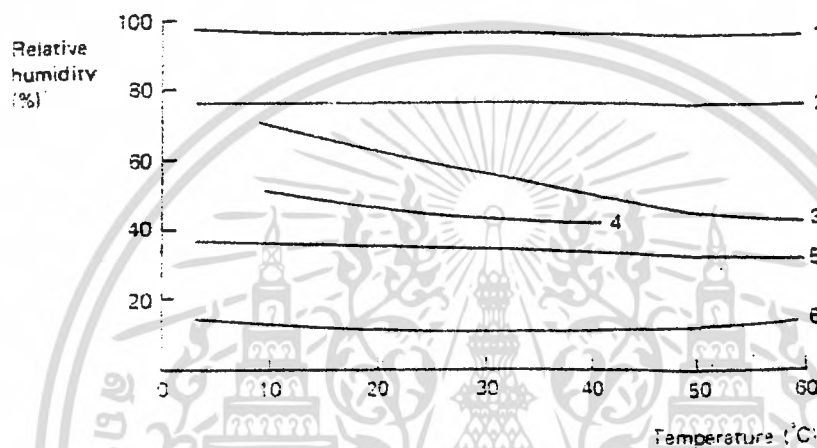
● WATER IN FOOD

ภาพที่ 3. การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำ ระหว่างขึ้นอาหารกับอากาศรอบๆภายในภาชนะปิด(Leung,1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่า Water Activity

ผลกระทบของอุณหภูมิ ที่มีผลต่อการคาลิเบรท และ การวัดค่า A_w ได้กล่าวไว้ในรายงาน คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า A_w จะลดลง (Scott and Bernard,1983) ดังแสดงในภาพที่ 4.



ภาพที่ 4. ความสัมพันธ์ของค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารละลายเกลืออิมตัว : 1) K₂SO₄ ; 2) NaCl ; 3) NH₄NO₃ ; 4) K₂CO₃ ; 5) MgCl₂ ; 6) LiCl (Lewis,1990)

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ ในการคาลิเบรทและการทดลองวัดค่า A_w จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ และ เหมาะสม โดยทั่วไปอุณหภูมิมาตรฐานที่ใช้ คือ 25 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือ

- หัววัด%RH Eliwell รุ่น EWHS 28 Thin Film Capacitance Type
- หัววัดอุณหภูมิ RTD 100 Ω
- ขวดแก้วปากกว้างขนาด 120 มิลลิลิตร (ml.) และฝาที่ปิดสนิท
- Chamber สำหรับควบคุมอุณหภูมิ
- เครื่องทำความร้อนขนาด 500 วัตต์ (Watt)
- ตู้น้ำเย็นขนาด 300 บีทียู (BTU)
- ปั้มน้ำขนาด 4.5 วัตต์ (Watt)
- เครื่องอ่านและควบคุมอุณหภูมิ Fenwal รุ่น AR24L
- Magnetic switch Mitsubishi ขนาด 2200 วัตต์ (Watt)
- Multiplex Amplifier with VI Source Card รุ่น PCLD-7702 , Signal Condition

Carrier board รุ่น PCLD 770 และ High Performance DAS Card รุ่น PCL- 818

3.1.2 สารเคมี(Reference Salt)

- $MgCl_2$
- $(NH_4)_2SO_4$
- $Mg(CO_3)_2$
- KNO_3
- $NaCl$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์

- อุณหภูมิของน้ำใน อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ คงที่ 25 ± 0.1 องศาเซลเซียส
- ในการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิใช้อุปกรณ์ตรวจรู้ค่า Water Activity ซึ่งอ่านค่าเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยอาศัย Multiplex Amplifier with V/I Source Card รุ่น PCLD-7702 , Signal Condition Carrier board รุ่น PCLD 770 และ High Performace DAS Card รุ่น PCL- 818 แปรค่าสัญญาณ
- ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ PC-Lab Das ในการบันทึกข้อมูล ในการวิเคราะห์ใช้โปรแกรม ภาษาเบสิก (Basic) และ โหลดส 1-2-3 (Lotus 1-2-3)

3.3 การปรับเทียบค่า (Calibration)

3.3.1 การ ปรับเทียบหัววัดอุณหภูมิ

3.3.1.1. วัดค่าอุณหภูมิของน้ำ ในช่วง 10-50 องศาเซลเซียส โดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูป PC-Lab Das ในการบันทึกค่าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส โดยทำการบันทึกค่า ทุก 1 องศาเซลเซียสที่เปลี่ยนแปลง

3.3.1.2 นำค่าที่อ่านได้จากหัววัดทั้ง 2 อัน สร้างกราฟเส้นตรงระหว่าง อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าทางกระแสไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)

3.3.1.3 หาค่าคงที่ที่ได้จากกราฟเส้นตรง แล้วนำค่าไปแทนในสมการ

3.3.2 การปรับเทียบอุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w

3.3.2.1 เตรียมสารละลายเกลืออิมตัว 5 ชนิด โดยให้ครอบคลุมช่วง A_w ที่ 0.2 - 0.9 โดยใช้ วิธีตาม AOAC (32.007) ในการทดลองใช้ เกลือ $MgCl_2$, $Ca(NO_3)_2$, $NaCl$, $(NH_4)_2 SO_4$, KNO_3

3.3.2.2 เตรียม chamber โดยให้อุณหภูมิคงที่ ที่ 25 ± 0.1 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 นำขวดทดสอบที่มีสารละลายเกลือไม่น้อยกว่า $1/20$ ของ ปริมาตรขวด มาปิดฝาที่ติดหัววัด (probe) ใส่ใน Chamber (AOAC ,1985)

3.3.2.4 บันทึกค่าที่อ่านได้จาก โปรแกรม PC-LabDas โดยให้บันทึกค่า 10 ครั้ง ทุก 3 นาที

3.3.2.5 ทำการบันทึกค่า โดยพิจารณาเวลาทุก 15, 30, 60 และ 120 นาที โดยให้ค่าความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันไม่เกิน $0.01 A_w$ unit โดยทำการวัด 2 ครั้ง ค่าความแตกต่างไม่เกิน $\pm 10\%$ ถ้าค่าความแตกต่าง เกินกว่า 10% ทำการทดลองครั้งที่ 3

3.3.2.6 นำค่าที่อ่านได้เป็นแรงดันไฟฟ้า (มิลลิโวลต์) มาสร้างกราฟเส้นตรงกับ ค่า A_w ที่ทราบค่าแน่นอนของเกลือแต่ละตัว

3.3.2.7 นำค่าคงที่ที่หาได้ ไปแทนค่าในสมการ

3.4 ตรวจสอบค่าความถูกต้องและความแม่นยำของเครื่อง

หลังจากที่นำค่าคงที่มาแทนในสมการแล้ว จะสามารถวัดค่าออกมาเป็น A_w -unit ทำการทดลองโดยวิธีทางสถิติ คือ

3.4.1 ทำการวัดสารละลายเกลืออิมิตัวที่เตรียมมาใหม่ คือ $MgCl$, $Mg(NO_3)_2$, KNO_3 เปรียบเทียบค่าจริงที่ อ้างอิงจาก AOAC

3.4.2 ทดสอบหาค่าความผิดพลาด โดยพิจารณาค่า Root Mean Square Error

3.4.3 สร้างกราฟค่าความผิดพลาดของค่า A_w ในช่วง $\pm 10\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

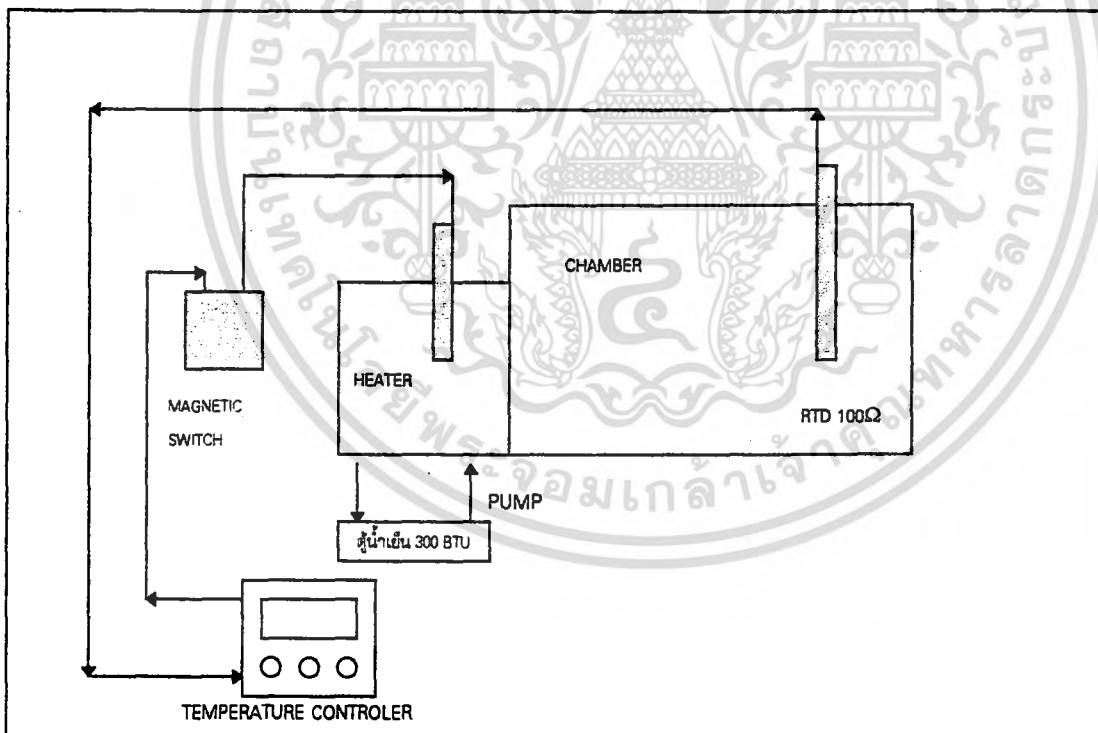
ผลการทดลอง

4.1 การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ

เครื่องมือที่สร้างขึ้น จะประกอบไปด้วยระบบที่สำคัญ 2 ระบบ คือ

4.1.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control System)

ระบบควบคุมอุณหภูมิ จะประกอบไปด้วย อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วยวัสดุพลาสติกใสแข็ง โดยมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 5.



ภาพที่ 5. การควบคุมอุณหภูมิให้ได้ที่ 25 ± 0.1 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทางด้านหนึ่งจะเป็นที่ให้ความร้อนโดยใช้อุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) ขนาด 500 วัตต์ (Watt) และ เป็นจุดที่ระบายน้ำไปสู่ อ่างน้ำเย็นซึ่งในการทดลองที่ใช้ในตู้ทำน้ำเย็นขนาด 300 บีทียู (BTU) เป็นตัวให้ความเย็นแก่น้ำ อีกด้านหนึ่งของ อ่างน้ำเย็น เป็นจุดที่ใส่ขวดวัดสารละลายเกลือ และตัวอย่าง โดยจะมี ถาดวางขวดได้ 3 ขวด ภายใน อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จะมีการหมุนเวียน น้ำตลอดเวลา เพื่อให้อุณหภูมิตั้งที่ ตลอดเวลา

4.1.1.1 ปั๊ม (Pump)

ใน อ่างน้ำเย็น จะมีปั๊มขนาดเล็กขนาด 4.5 watt ซึ่งเป็นปั๊มแบบ Centifugal Pump จะปัมน้ำให้เข้าไปสู่อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ น้ำมีการหมุนเวียนตลอดเวลา

4.1.1.2 อุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater)

อุปกรณ์ที่ให้ความร้อนจะทำให้ น้ำที่มาจาก ตู้น้ำเย็น ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิที่กำหนด มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามที่ต้องการได้ ซึ่งอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ใช้ ใช้ไฟ 220 โวลต์ (V olt) ขนาด 500 วัตต์ (Watt)

4.1.1.3 ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)

ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบ Fenwal AR24L Digital Temperature Controller จะเป็นตัวควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ โดยที่ตัวของเครื่องจะมีสวิทซ์ทำหน้าที่ตัดกระแสไฟฟ้า เมื่ออุณหภูมิเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ ในตัวควบคุมอุณหภูมิจะสามารถแสดงค่าอุณหภูมิขณะนั้นได้ โดยตัวควบคุมอุณหภูมิจะรับสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากหัววัดอุณหภูมิ RTD 100 Ω

4.1.1.4 สวิทซ์แม่เหล็ก (Magnetic Switch)

จากตัวควบคุมอุณหภูมิที่ส่งผ่านมาที่สวิทซ์แม่เหล็กขนาด 2200 วัตต์ (Watt) โดยตัวสวิทซ์แม่เหล็กจะเป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้า เมื่อได้รับคำสั่งจากตัวควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งหลักการทำงานอาศัยแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อแม่เหล็กดูดกันทำให้กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร ทำให้อุปกรณ์ให้ความร้อนทำงานได้ ในทางกลับกัน ถ้าแม่เหล็กไม่ดูด ก็ทำให้วงจรไม่ครบ ตัวให้ความร้อนก็ไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ระบบการวัด การแปรผล และการบันทึกข้อมูล

4.1.2.1 หัววัดอุณหภูมิ RTD100Ω

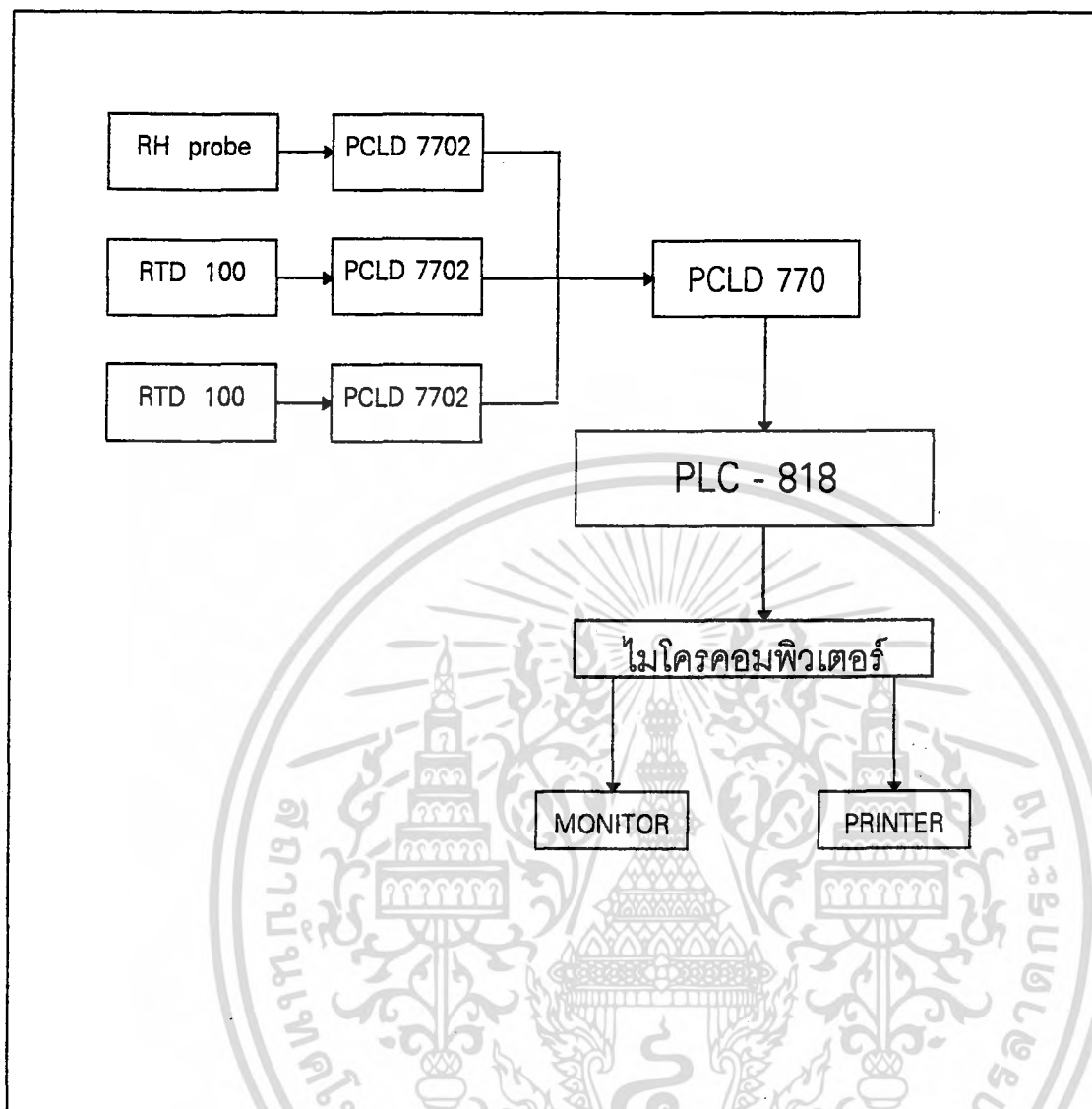
ลักษณะของหัววัดอุณหภูมิ RTD100Ω ที่ใช้จะเป็นลักษณะแท่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร เมื่อทำการวัดอุณหภูมิ หัววัดจะแปรค่าอุณหภูมิเป็นค่าทางกระแสไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิทำให้ค่าแรงดันทางไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วย

4.1.2.2 อุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w (Relative Humidity Sensor)

อุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w ที่ใช้ในการทดลองเป็นหัววัดแบบ Thin Film Capacitance วัดค่าสัญญาณความชื้นออกมาในรูปของกระแสไฟฟ้าโดยที่จะต้องมีความจ่ายกระแสตรง(D.C. Power supply) 9 ถึง 20 โวลต์(Volt) ใช้พลังงานสูงสุด 20 มิลลิแอมแปร์ (mV) มีระบบป้องกันการกลับขั้วไฟฟ้า อุณหภูมิการทำงานที่ +14 ถึง +158 องศาฟาเรนไฮด์ (°F) ช่วงการวัด 15 - 90 %RH ความแม่นยำที่ 5 % เวลาการตอบสนองการวัดน้อยกว่า 60 วินาที สัญญาณออกในช่วง 3 ถึง 18 มิลลิแอมแปร์ ความต้านทานภายในสูงสุด 120 โอห์ม สายลึฟ้าต่อไฟฟ้ากระแสตรงชั่วคราว สายลึน้ำตาลเป็นสัญญาณค่ากระแสไฟฟ้าออก

4.1.2.3 การวัดและบันทึกข้อมูล

การแปรผลค่าที่อ่านได้จากอัตรระบบคอมพิวเตอร์มาประกอบ โดยหลังจากที่หัววัดทั้ง 2 ชนิด คือ อุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w และ RTD 100 อ่านค่าออกมาเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้ว Multiplex Amplifier Card รุ่น PCLD -7702 ซึ่งเชื่อมต่อกับ Signal Conditioning Card รุ่น PCLD-770 และ High Performace DAS Cardรุ่น PCL-818 จะแปรสัญญาณออกมาในรูปของสัญญาณดิจิตอล (Digital) และการบันทึกค่าจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป PC-LabDas Data Aquisition Software ในการบันทึกค่าและทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ภาษาเบสิก (Basic) และ โลตัส 1-2-3 (Lotus 1-2-3)



ภาพที่ 6. การวัด แปรผล และแสดงผลข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การปรับเทียบค่า

หาค่าความถูกต้องโดยการปรับเทียบค่า

4.2.1. การปรับเทียบค่าหัววัดอุณหภูมิ

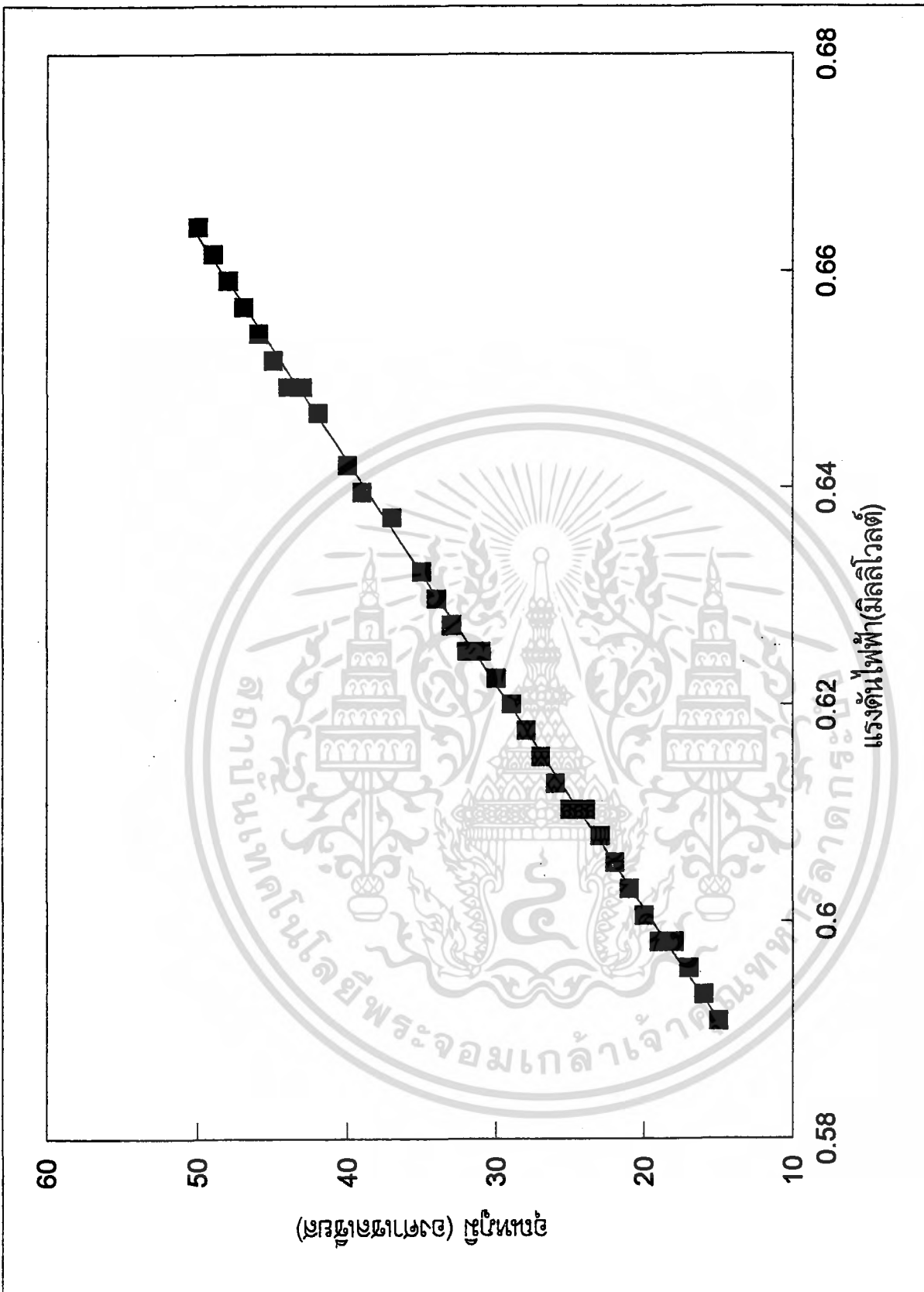
จากกราฟแสดงการสร้างกราฟเส้นตรงระหว่างค่าทางกระแสไฟฟ้า (mV) ที่วัดได้จากหัววัดอุณหภูมิ RTD100Ω กับค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส จากกราฟแสดงให้เห็นค่าการวิโคระห์ถดถอยได้สมการเส้นตรง คือ

$$T = 453.15 V - 270.44$$

โดยมีค่า $R^2 = 1$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7. กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.2.2 การเปรียบเทียบค่าอุปกรณ์ตรวจวัดค่า A_w

14604

4.2.2.1 การวัดความชื้นสัมพัทธ์สมมูลย์

เกลือที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ใช้ เกลือทั้งหมด 5 ตัว คือ $MgCl_2$, $Mg(NO_3)_2$, $NaCl$, $(NH_4)_2SO_4$ และ KNO_3 ซึ่งครอบคลุมช่วง A_w ระหว่าง 0.33-0.94 เกลือแต่ละตัวเมื่อทำการวัดค่า A_w ออกมาในรูปของกระแสไฟฟ้าโดยแสดงได้โดยกราฟของเกลือแต่ละชนิด

4.2.2.1.1 จากกราฟการหาค่าสมมูลย์ของเกลือ $MgCl_2$ ในการวัดครั้งที่ 1 ใช้เวลาจนถึงจุดสมมูลย์ 14 ชั่วโมงโดยมีค่า 1058.2 มิลลิโวลต์ ในการวัดครั้งที่ 2 ใช้เวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมงจึงถึงจุดสมมูลย์ที่ 1023.8 มิลลิโวลต์

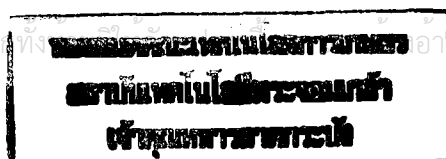
4.2.2.1.2 จากกราฟการหาค่าสมมูลย์ของเกลือ $Mg(NO_3)_2$ ในการวัดครั้งที่ 1 ใช้เวลาจนถึงจุดสมมูลย์ 10 ชั่วโมงโดยมีค่า 1388.2 มิลลิโวลต์ ในการวัดครั้งที่ 2 ใช้เวลาเพียง 2 ชั่วโมงโดยมีค่า 1370.5 มิลลิโวลต์ สาเหตุประการหนึ่งเกิดมาจากการวัดครั้งที่ 2 ค่าความชื้นที่เริ่มต้นใกล้เคียงค่าสมมูลย์มากกว่า

4.2.2.1.3 จากกราฟการหาค่าสมมูลย์ของเกลือ $NaCl$ ในการวัดครั้งที่ 1 ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและมีค่าความชื้น 1749.1 มิลลิโวลต์ ในการวัดครั้งที่ 2 ใช้เวลา 18 ชั่วโมง มีค่า 1696.2 มิลลิโวลต์ สาเหตุที่ใช้ค่าสุดท้ายเพราะในช่วงการวัดค่าที่แตกต่างกันไม่เกิน 0.01 A_w unit จึงถือว่าค่าในช่วงการวัดนี้เป็นค่าเดียวกัน

4.2.2.1.4 จากกราฟการวัดเกลือ $(NH_4)_2SO_4$ ในการวัดครั้งที่ 1 ใช้เวลา 4 ชั่วโมงจึงถึงจุดสมมูลย์ โดยค่าที่วัดได้ 1782.0 มิลลิโวลต์ ในการวัดครั้งที่ 2 ใช้เวลา 8 ชั่วโมง วัดค่าได้ 1704 มิลลิโวลต์ สาเหตุที่เราใช้ค่าสุดท้ายในการวัดครั้งที่ 1 เพราะค่าที่แตกต่างกันไม่เกิน 0.01 A_w unit ดังเช่นเกลือ $NaCl$ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.2.2.1.5 จากกราฟที่แสดงจุดสมมูลย์ของเกลือ KNO_3 ในการวัดครั้งที่ 1 ใช้เวลา 2 ชั่วโมงและมีค่า 1887.2 มิลลิโวลต์ และในการวัดครั้งที่ 2 ใช้เวลา 14 ชั่วโมง มีค่า 1705.0 มิลลิโวลต์

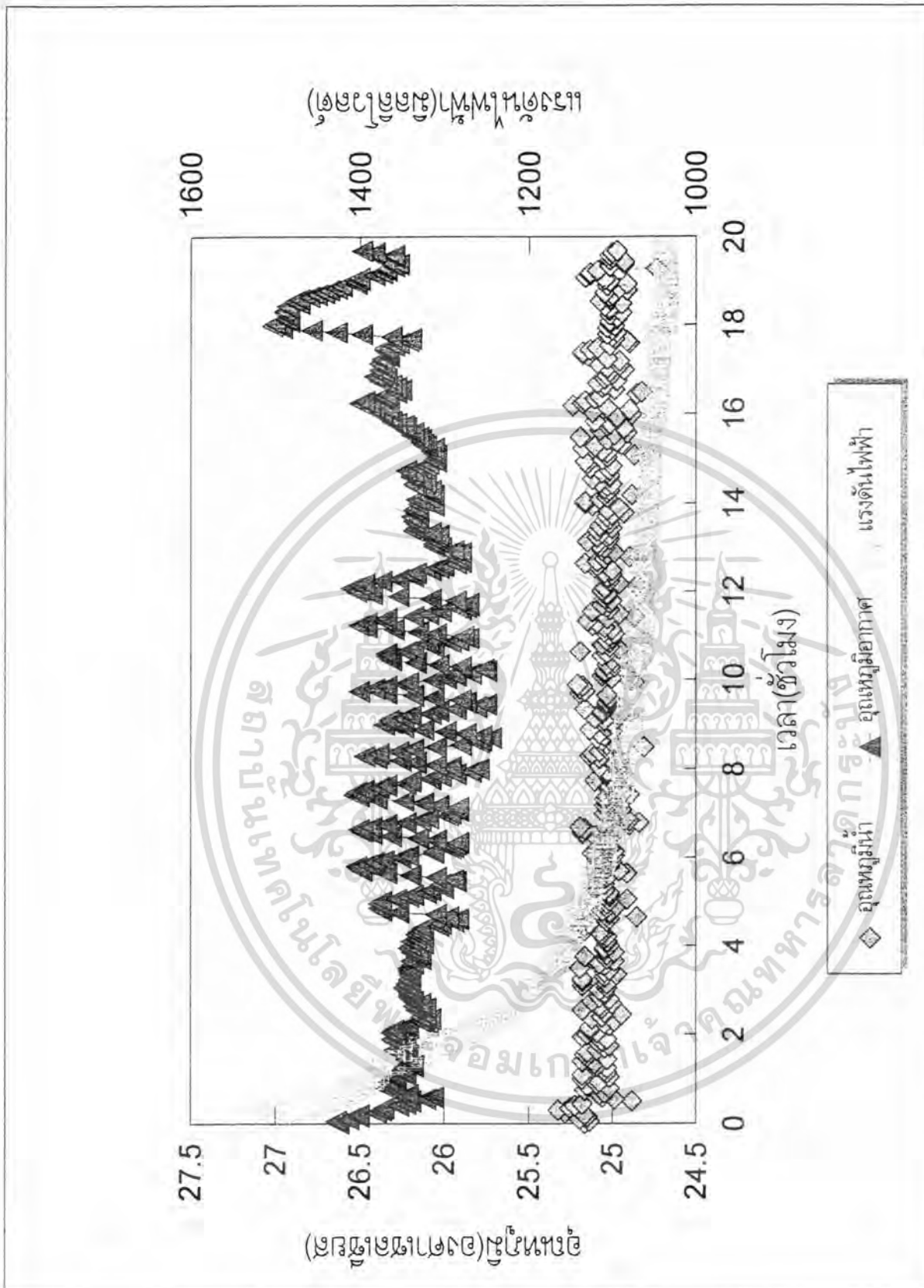
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 2. ผลการเปรียบเทียบค่าโดยเกลืออิมตัว 5 ชนิด

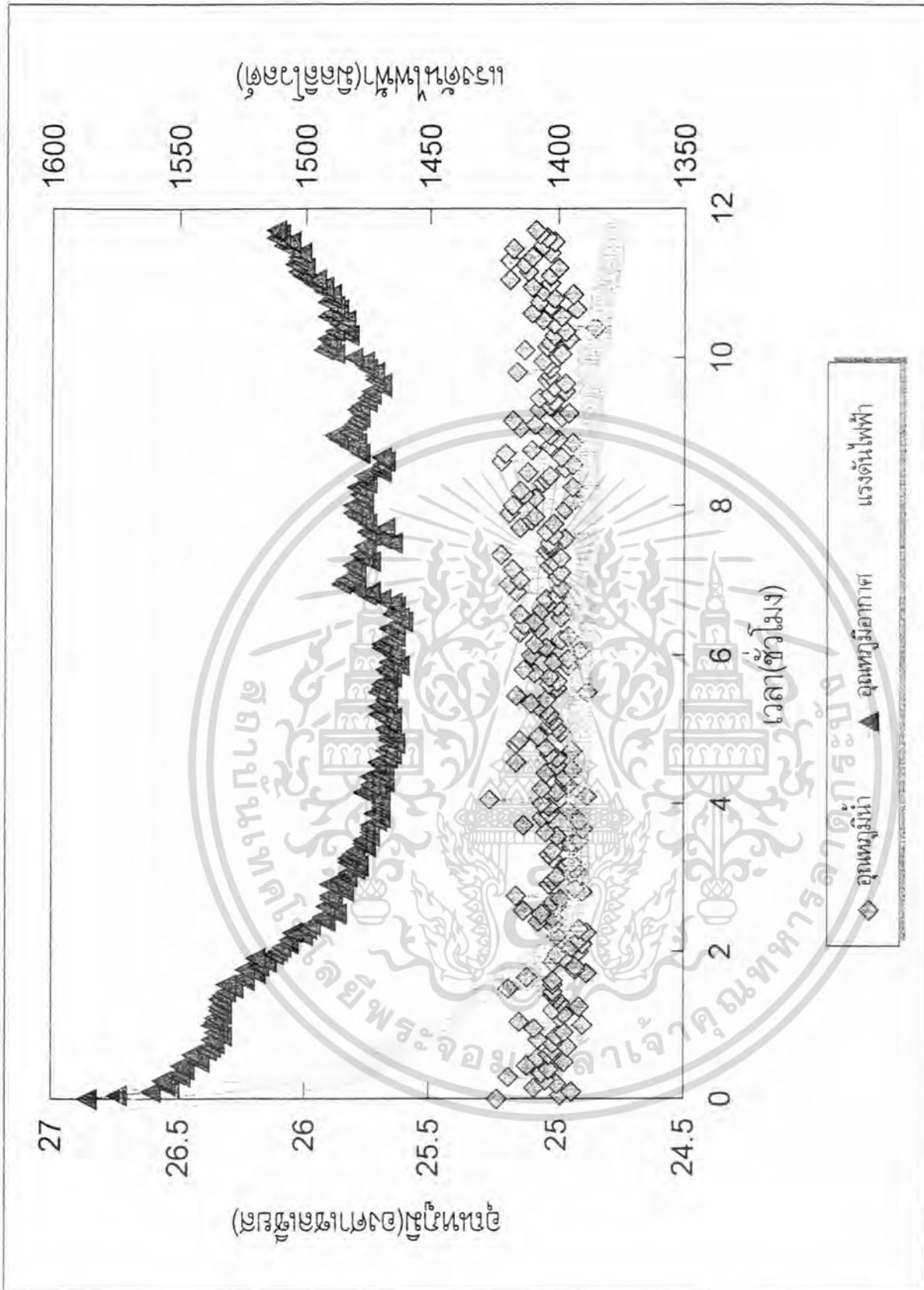
เวลา(ชั่วโมง)	ค่าแรงดันไฟฟ้า(มิลลิโวลต์)									
	MgCl ₂		Mg(NO ₃) ₂		NaCl		(NH ₄) ₂ SO ₄		KNO ₃	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	1554.9	1410.8	1568.2	1299.8	1747.2	1602.5	1784.5	1353.3	1885	1701
0.25	1492.6	1123.5	1498	1344.1	1748	1615.2	1787.1	1553.6	1878.3	1711
0.50	1441.8	1106.3	1472.7	1356.9	1747.3	1623.4	1783.2	1588	1878.9	1713
1.00	1383.3	1089.6	1442.9	1366.3	1747.6	1630.9	1780.9	1615.1	1882.1	1716
2.00	1274.4	1068.4	1402.7	1370.5***	1749.1***	1640	1779.1	1635.5	1887.2***	1720
4.00	1157.1	1045.7	1391.7	1366.5		1655.2	1782***	1671.9		1722
6.00	1108.3	1033.6	1390.4	1370.1		1670.2		1694.1		1730
8.00	1089.1	1023.8***	1387.2			1679.8		1704***		1734
10.00	1068	1012.5	1388.2***			1689.7				1737
12.00	1060.7					1695.7				1743
14.00	1058.2***					1699.7				1750***
16.00						1698.4				
18.00						1686.2***				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



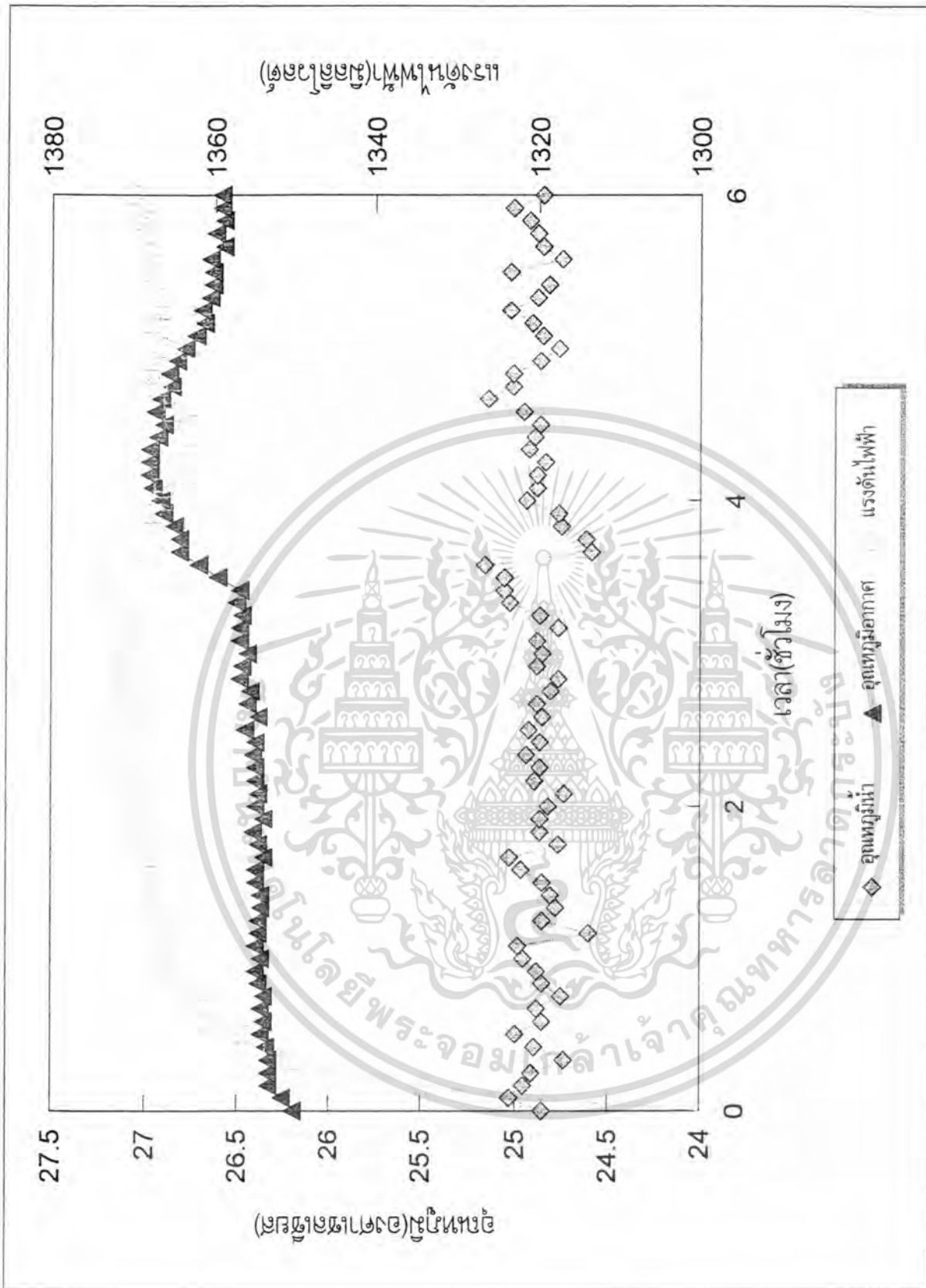
ภาพที่ 8. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $MgCl_2$ ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



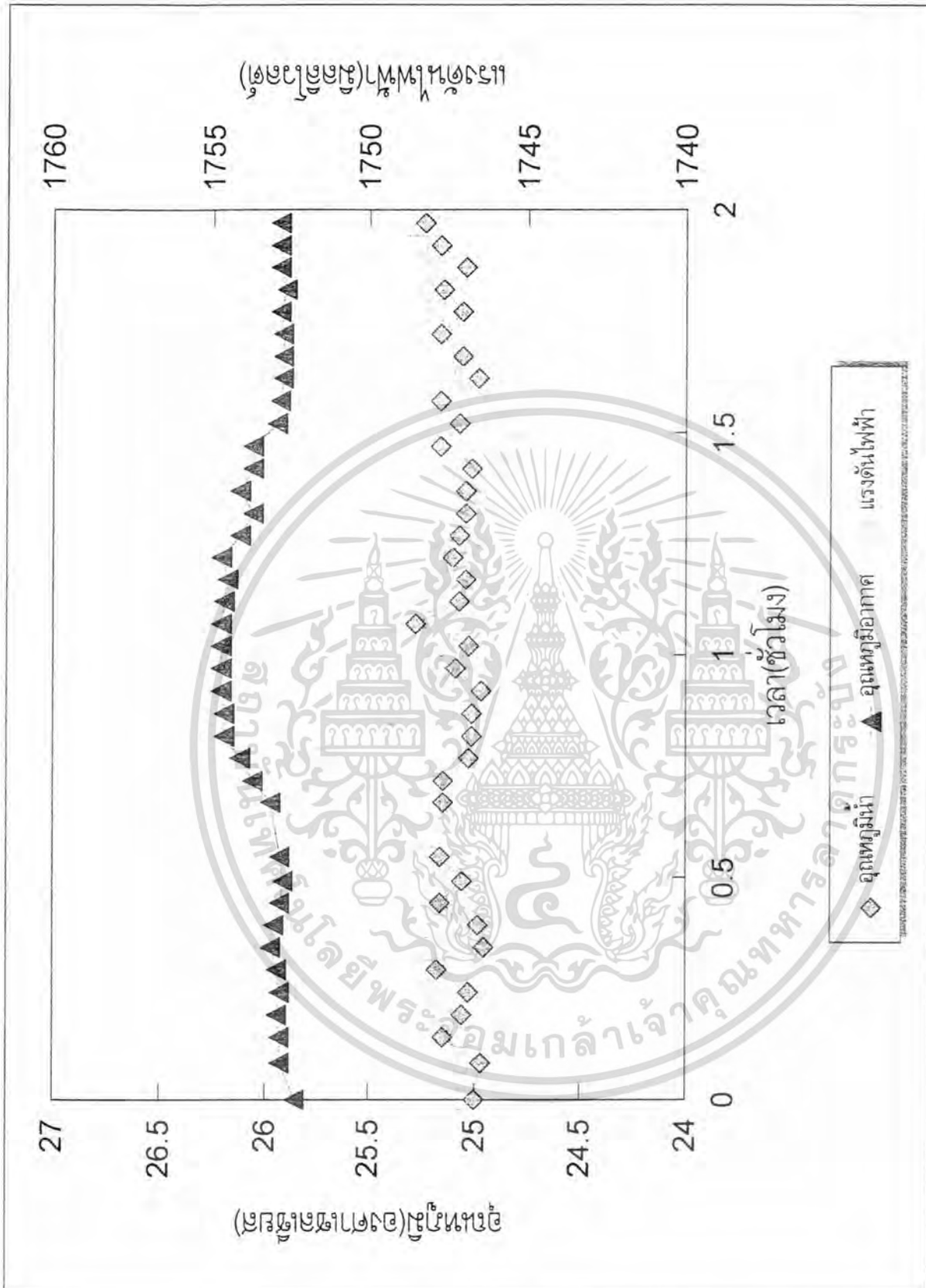
ภาพที่ 10. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $Mg(NO_3)_2$ คริสต์ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



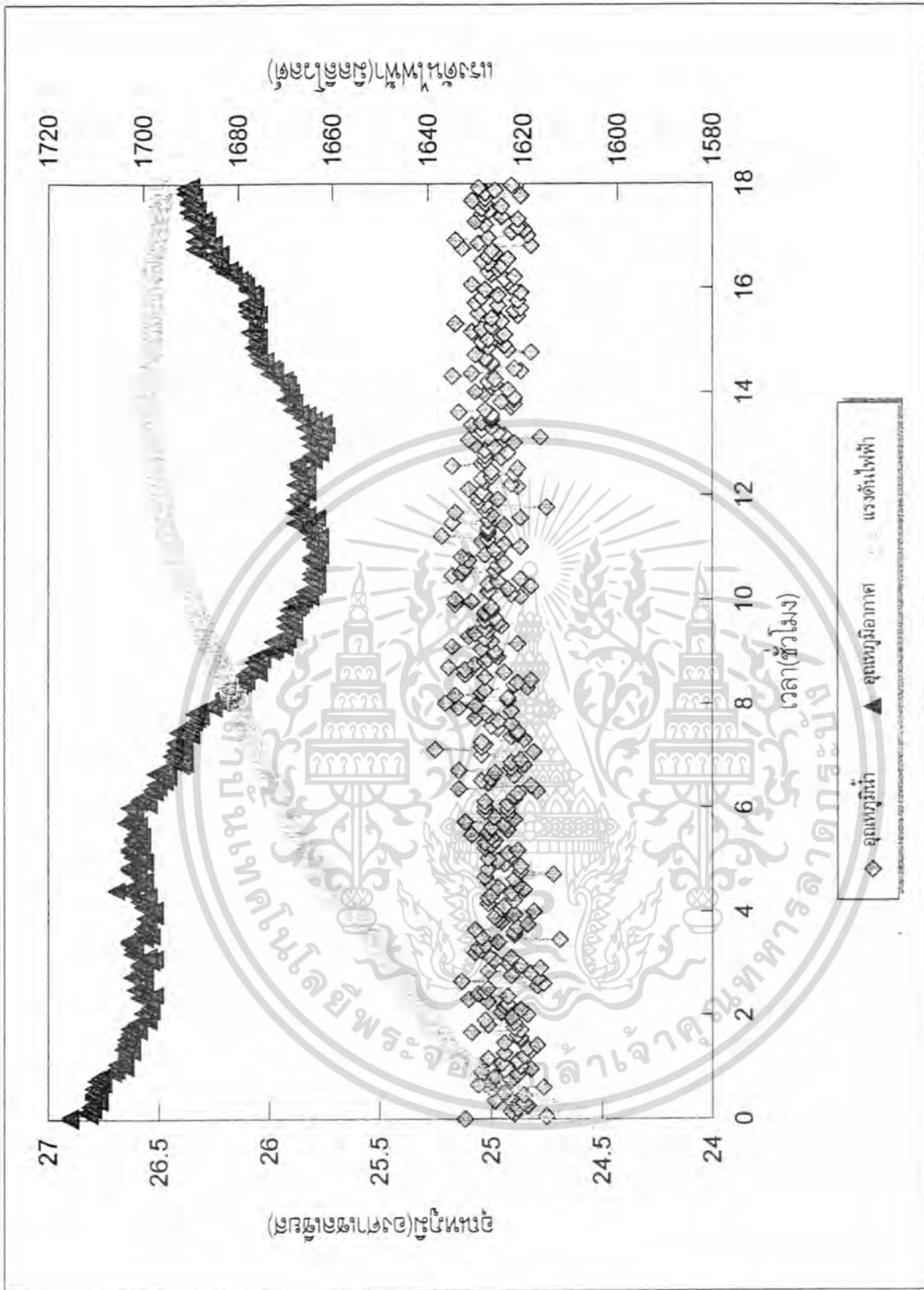
ภาพที่ 11. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $Mg(NO_3)_2$ ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



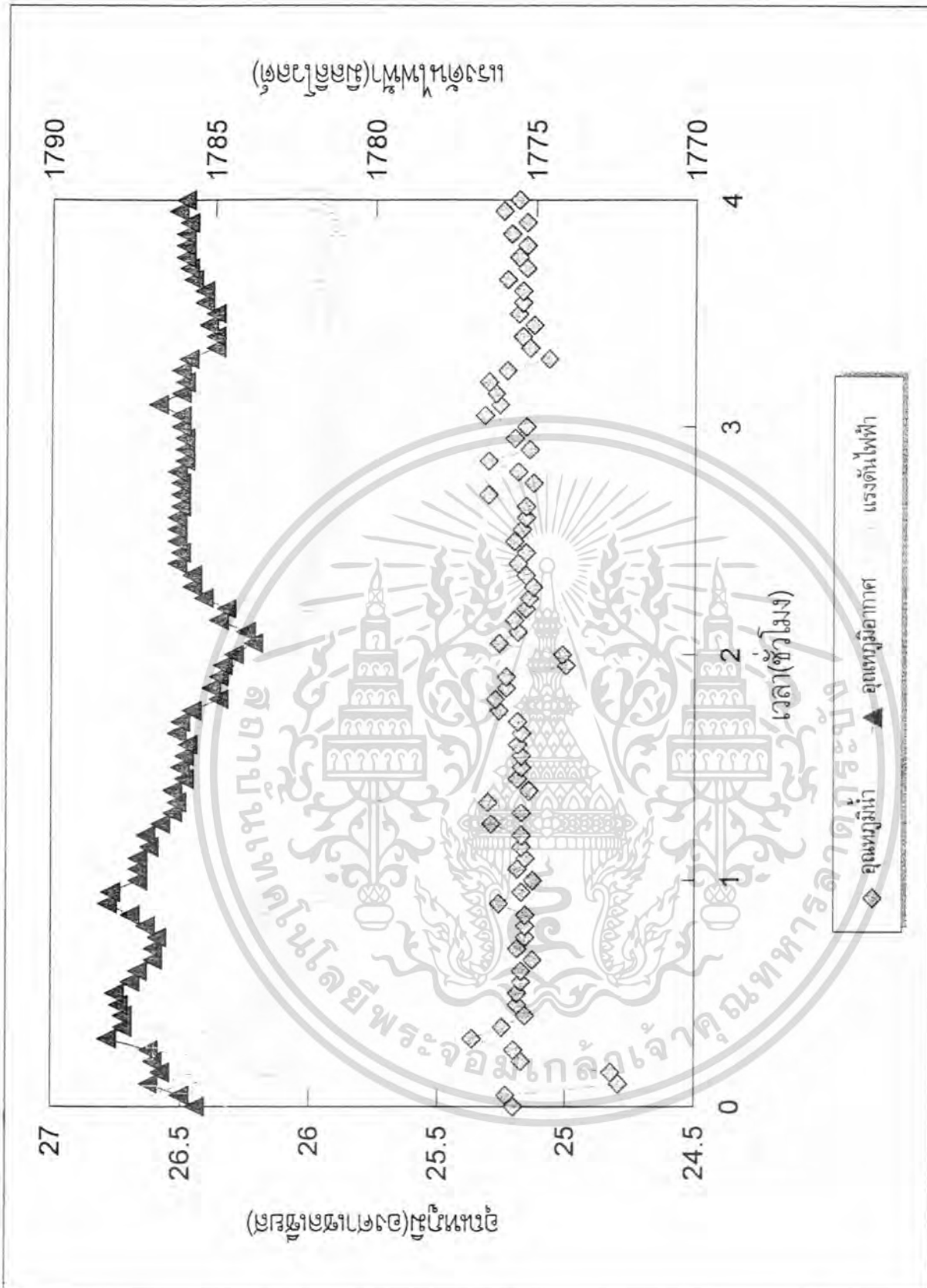
ภาพที่ 12. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ NaCl ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



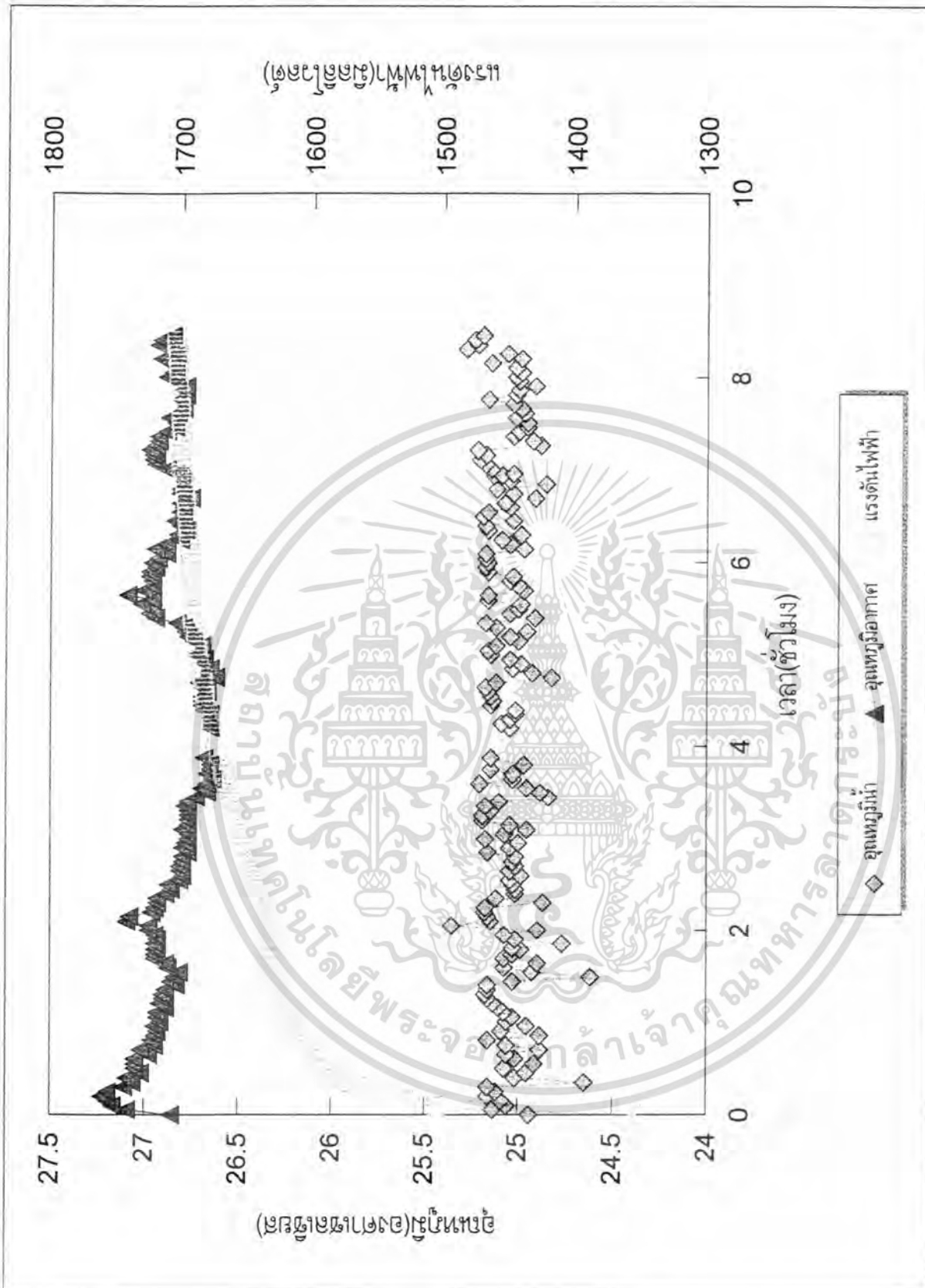
ภาพที่ 13. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ NaCl ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



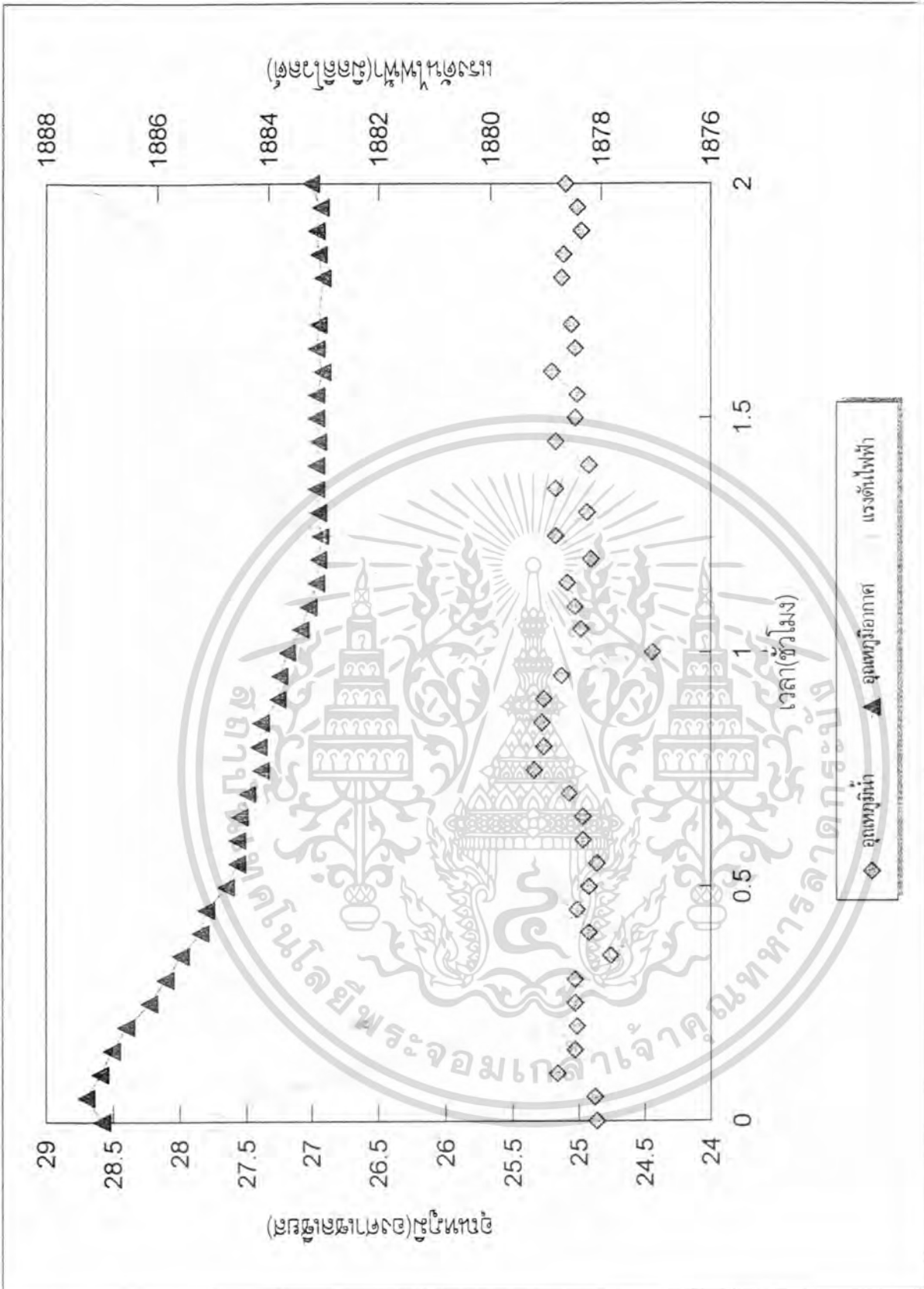
ภาพที่ 14. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



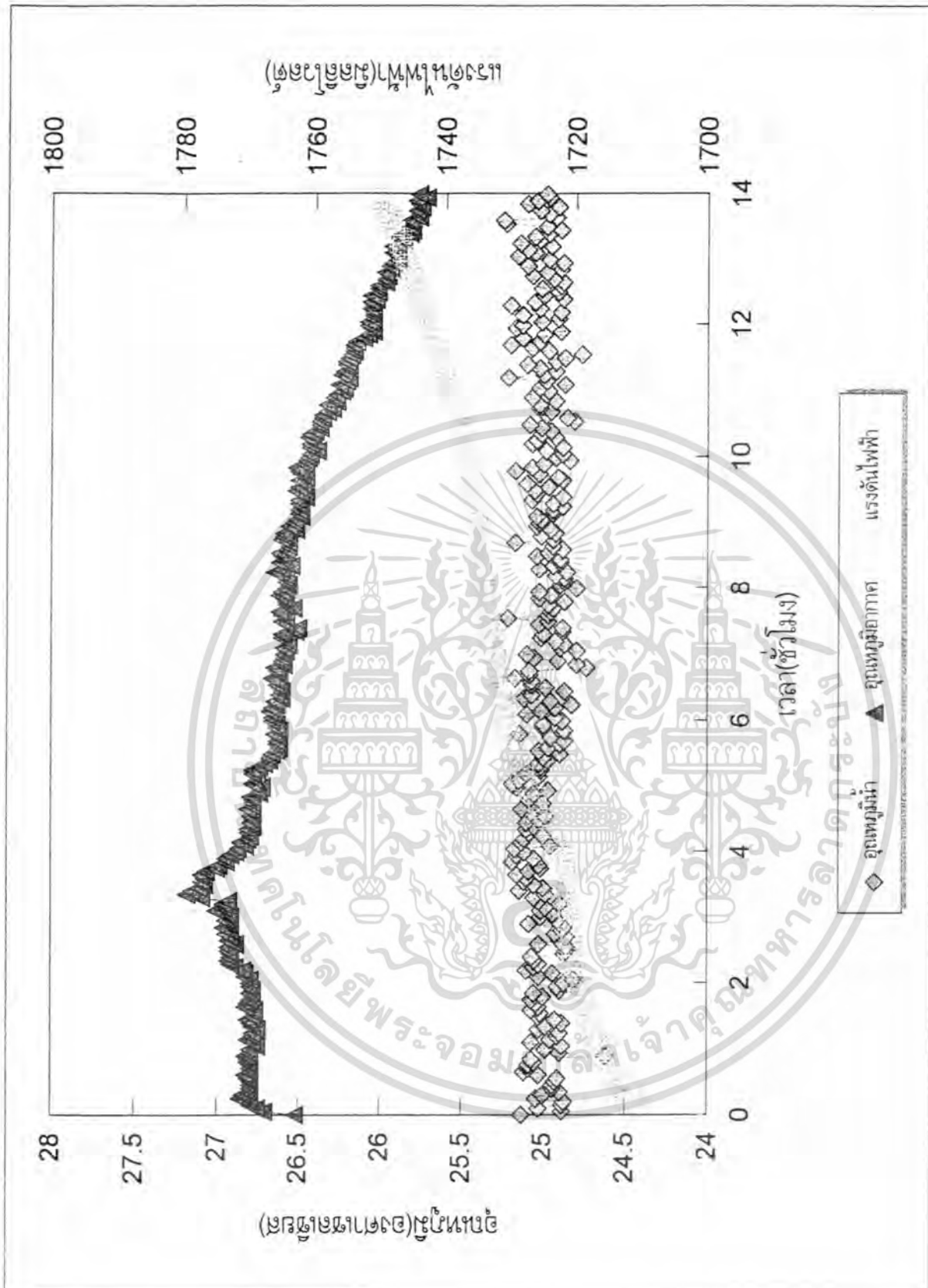
ภาพที่ 15. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 16. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ KNO_3 ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 17. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของ KNO_3 ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 การปรับเทียบค่า

4.2.2.2.1 จากตาราง แสดงให้เห็นค่าทางกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w ของเกลือแต่ละตัว โดยทำการวัด 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยมาสร้างกราฟระหว่างค่าของกระแสไฟฟ้ากับค่า A_w ที่ทราบค่า

ตารางที่ 3. การเฉลี่ยค่าแรงดันไฟฟ้าและค่า Water Activity มาตรฐาน

เกลืออิ่มตัว	แรงดันไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)			Water Activity
	การปรับเทียบครั้งที่ 1	การปรับเทียบครั้งที่ 2	การปรับเทียบเฉลี่ย	
MgCl ₂	1058.2	1023.8	1014	0.328
Mg(NO ₃) ₂	1388.2	1370.1	1379.2	0.529
NaCl	1749.1	1696.2	1722.6	0.753
(NH ₄) ₂ SO ₄	1782	1704	1743	0.810
KNO ₃	1887.2	1750	1818.7	0.936

4.2.2.2.2 จากกราฟที่แสดงเกลือ KNO₃ หลังจากทำการวัดค่าจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงจากเส้นกราฟ สาเหตุเนื่องมาจากอุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w มีช่วงการวัดค่าที่จำกัด คือระหว่างช่วง 20 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมพัทธ์ แต่เนื่องจากเกลือ KNO₃ มีค่า A_w ที่แน่นอนเท่ากับ 0.94 ดังนั้น จึงต้องตัดเกลือ KNO₃ ออก ทำให้ค่าความถูกต้อง $R^2 = 0.99$ สูงขึ้น

การปรับเทียบค่าโดยใช้เกลือ 5 ชนิดได้สมการ คือ

$$A_w = 0.00073 V - 0.451$$

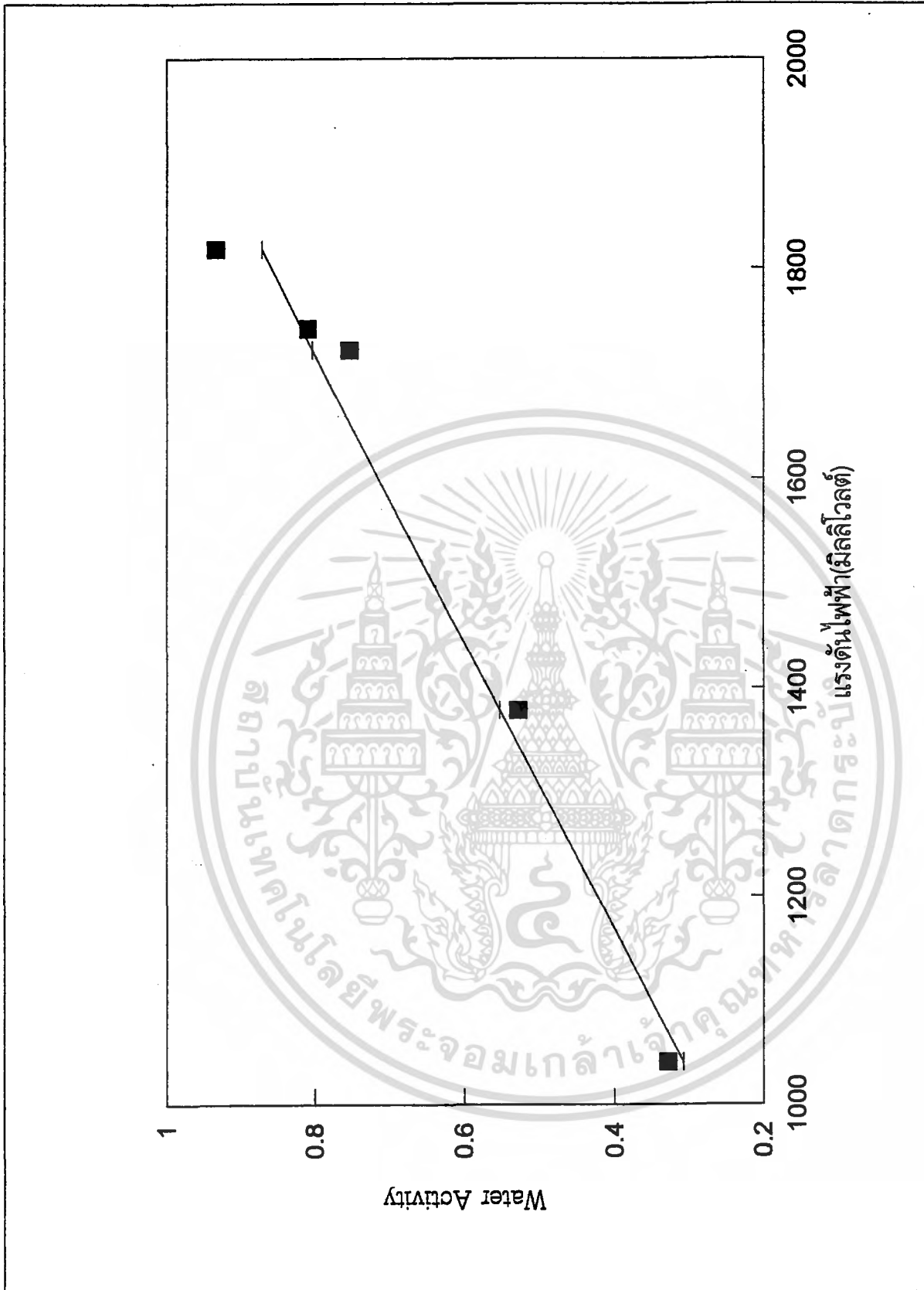
$$\text{ค่า } R^2 = 0.97$$

การปรับเทียบค่าโดยใช้เกลือ 4 ชนิดได้สมการ คือ

$$A_w = 0.00066 V - 0.37$$

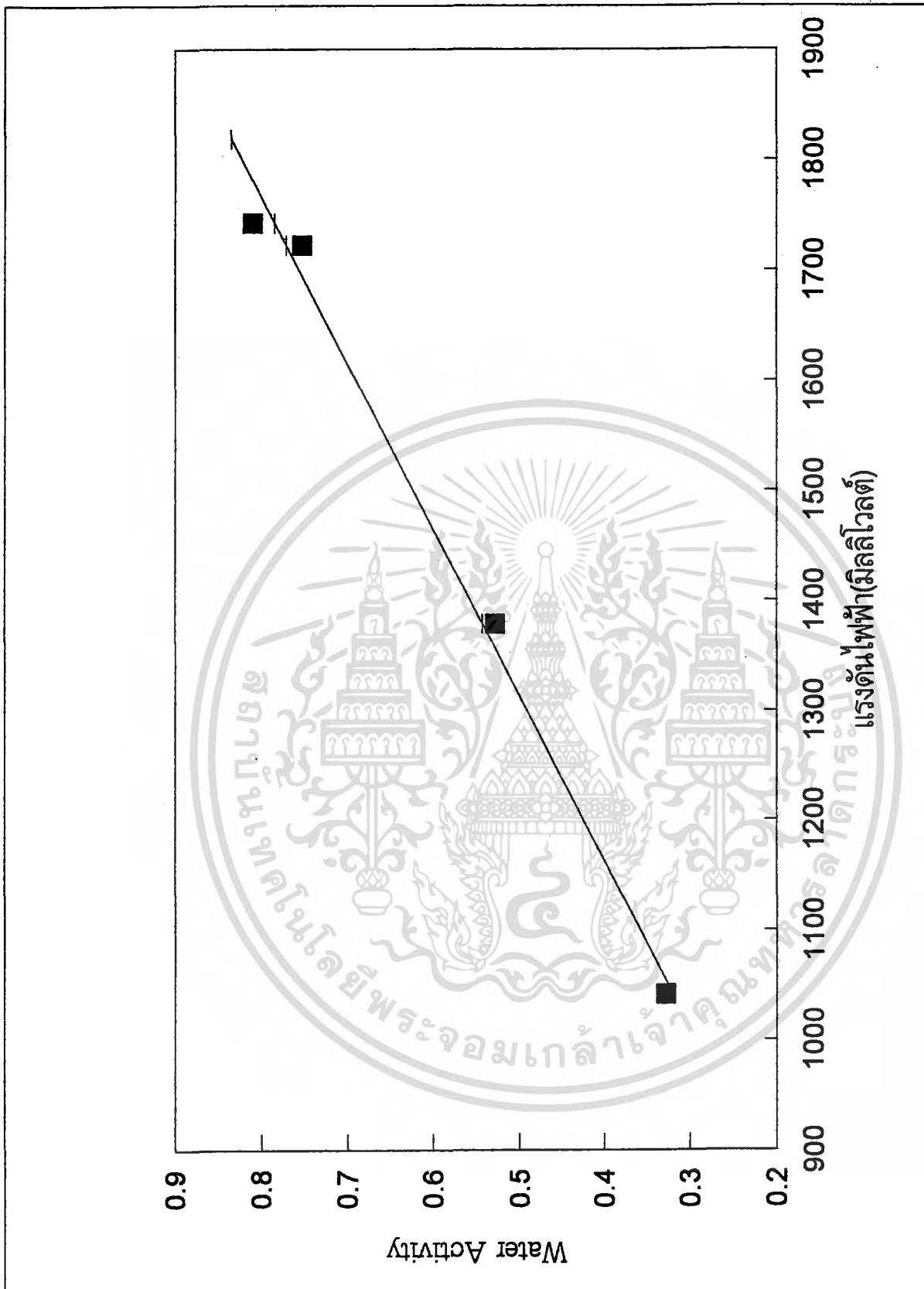
$$\text{ค่า } R^2 = 0.99$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 18. กราฟแสดงการปรับเทียบค่า Water Activity กับแรงดันไฟฟ้า โดยใช้เกลืออิ่มตัว 5 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 19. กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Water Activity กับแรงดันไฟฟ้า โดยใช้เกลืออิ่มตัว 4 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การตรวจสอบหาค่าความถูกต้องและความแม่นยำของเกลือ

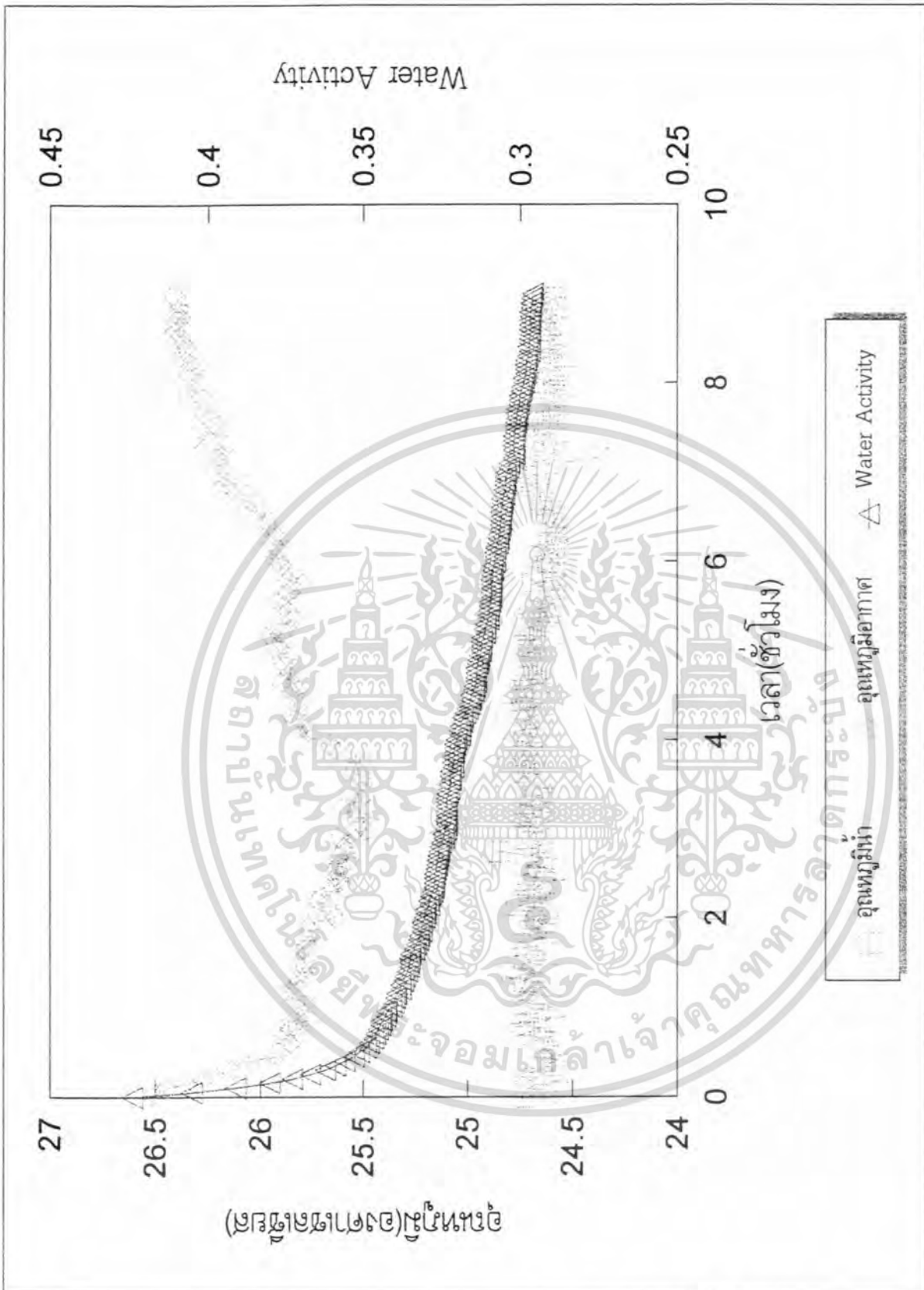
การตรวจสอบหาค่าความถูกต้อง โดยทำการวัดค่า A_w ของเกลือ 3 ตัวคือ $MgCl_2$, $Mg(NO_3)_2$, $NH_4(SO_4)_2$ เทียบกับค่า A_w มาตรฐานของเกลือแต่ละตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน

4.3.1 จากตารางที่แสดงค่า A_w เปรียบเทียบค่ากับค่า A_w ที่ทราบค่าแน่นอนแล้วค่าที่วัดได้ในช่วงที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error) เท่ากับ 0.02 ซึ่งถือเป็นค่าที่สามารถยืนยันความถูกต้องก่อนใช้เครื่องได้

ตารางที่ 4. การวัดค่าสารละลายเกลืออิมตัว และค่ามาตรฐาน

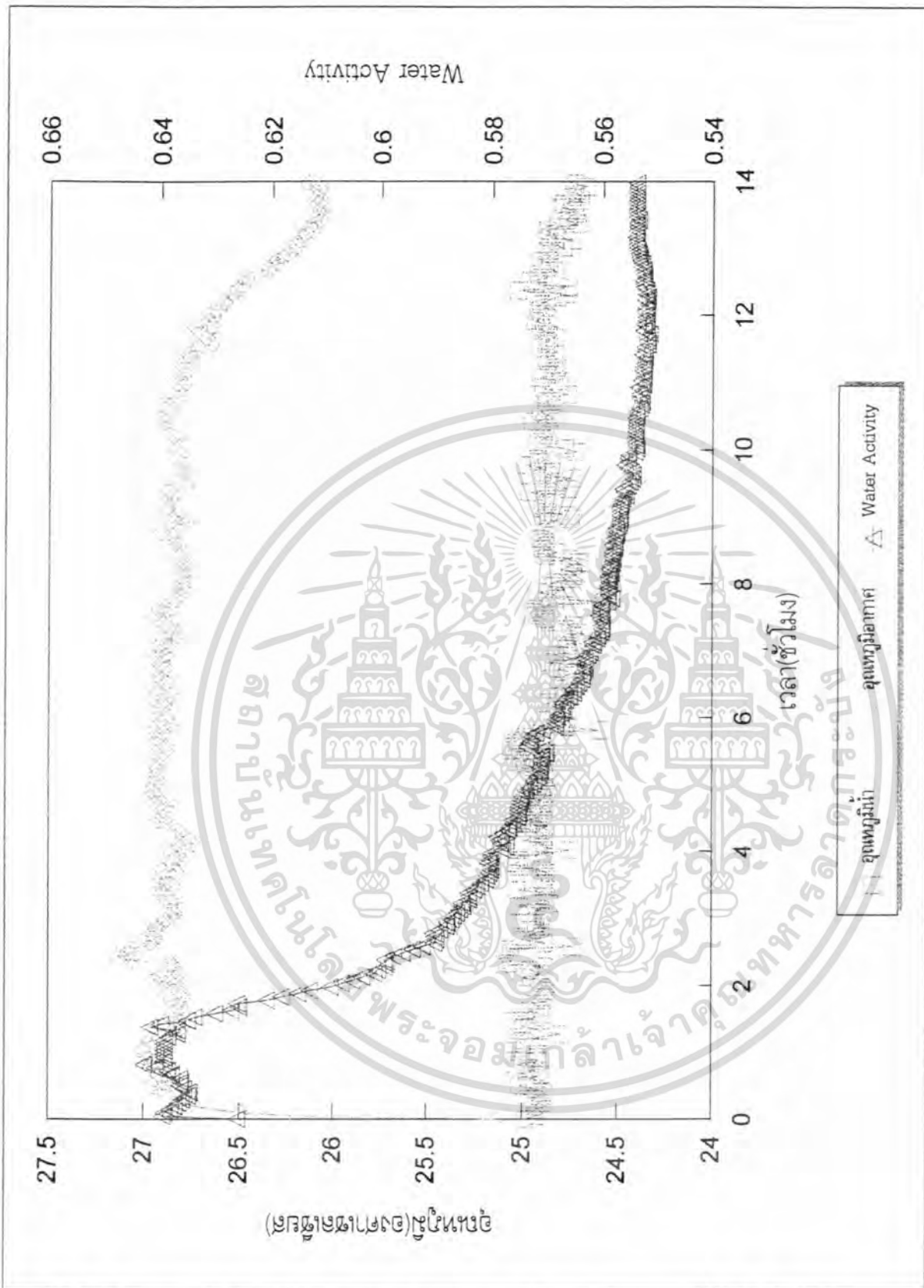
เกลืออิมตัว	ค่ามาตรฐาน	ค่าที่วัดได้	ค่าต่าง	ค่าต่าง ²
$MgCl_2$	0.328	0.32	0.008	0.00006
$Mg(NO_3)_2$	0.529	0.554	-0.025	0.00062
$(NH_4)_2SO_4$	0.81	0.786	0.024	0.00058
			SUM	0.00126
			RMSE	0.02053

4.3.2 จากกราฟสามารถชี้ให้เห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดของเกลือที่ทำกรวัดได้จากเครื่องที่ทดลองเทียบกับค่าที่อ้างอิงของเกลือ 3 ตัว อยู่ในช่วง $\pm 5\%$



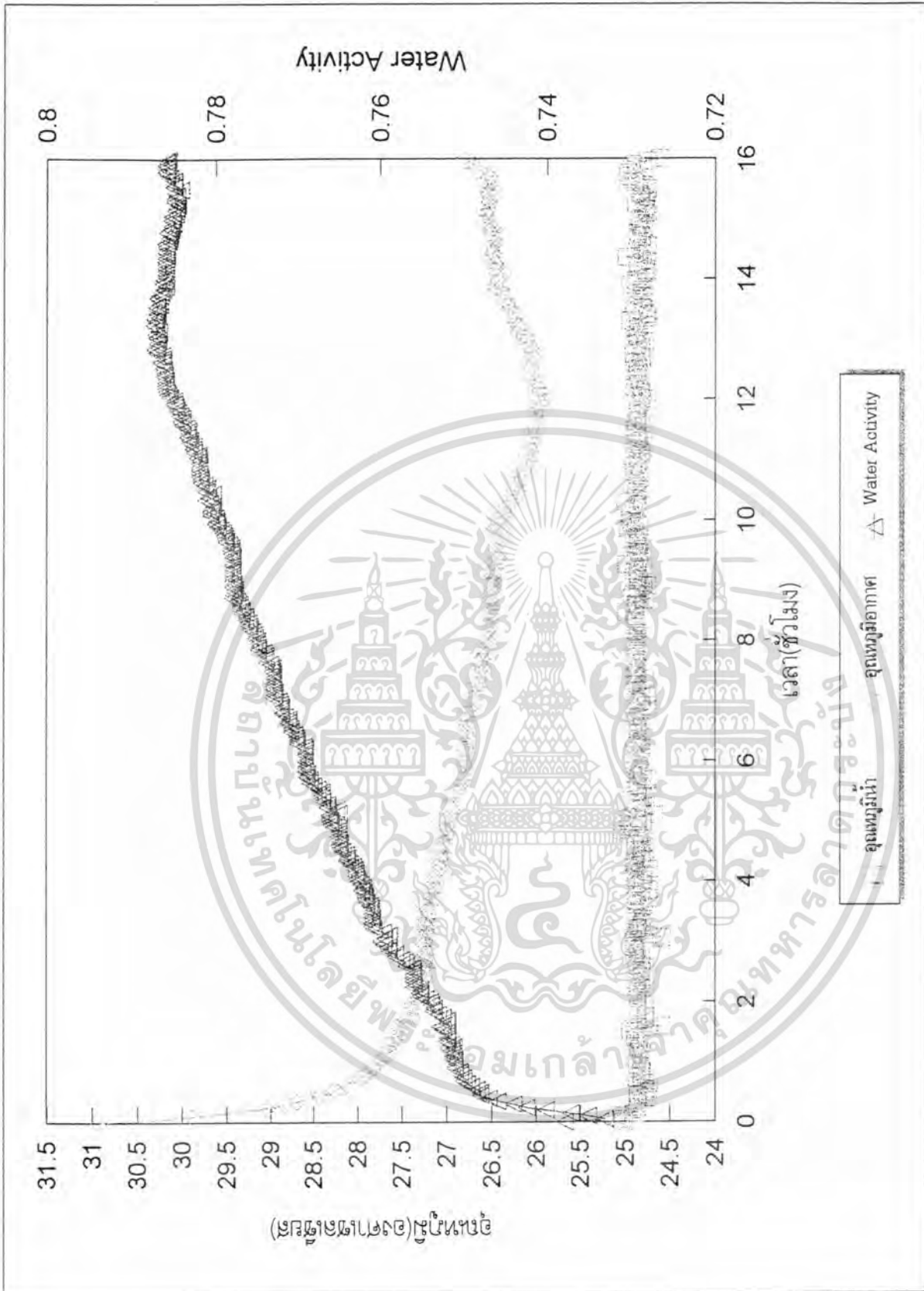
ภาพที่ 20. กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity และอุณหภูมิจากของสารละลายเกลืออิมตัว $MgCl_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



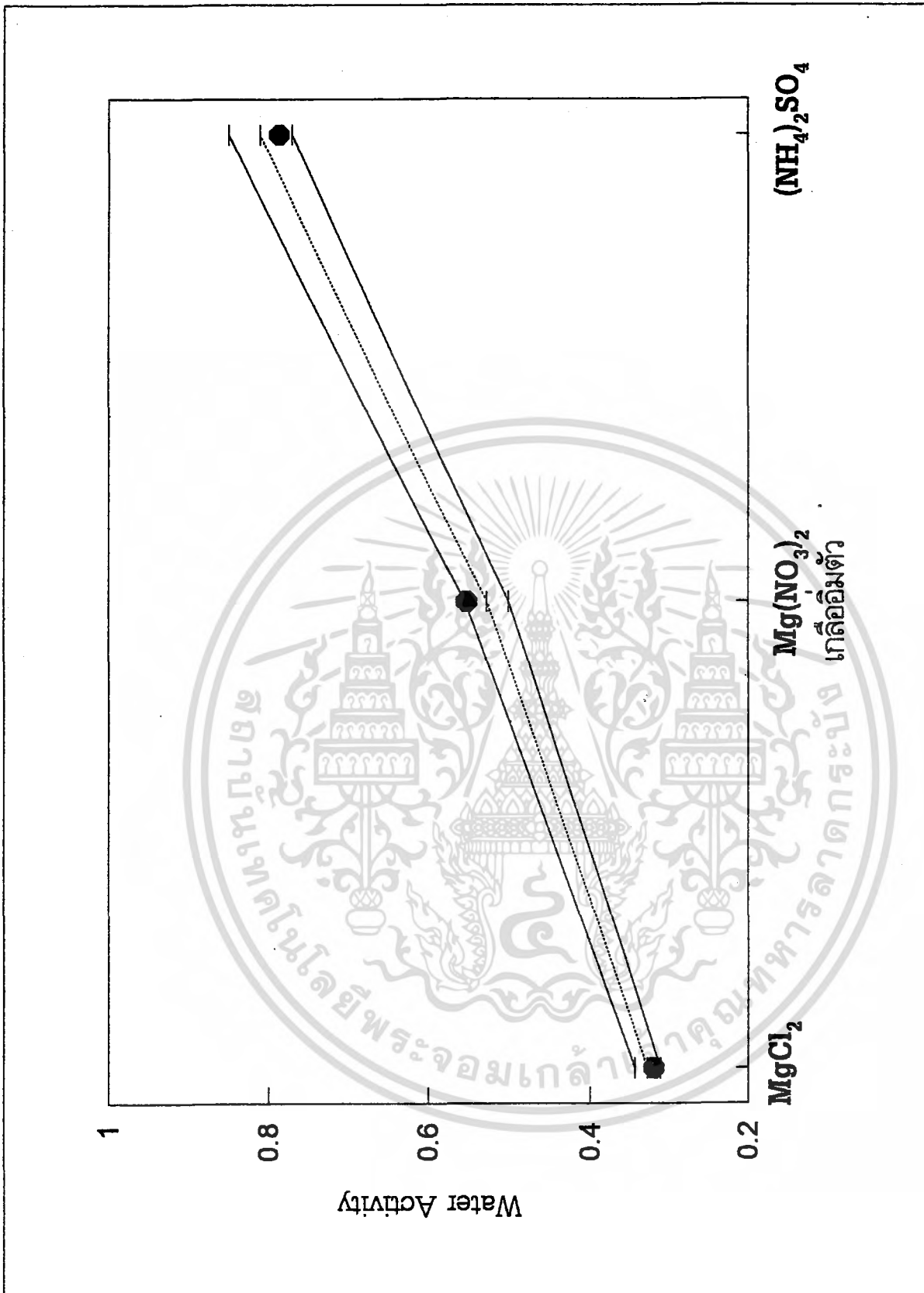
ภาพที่ 21. กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity และอุณหภูมิ ของสารละลายเกลืออิมิตัว $Mg(NO_3)_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 22. กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity และอุณหภูมิ ของสารละลายเกลืออิมตัว $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 23. กราฟการเปรียบเทียบ A_w ที่วัดได้ กับค่า A_w มาตรฐานและค่าเบี่ยงเบน $\pm 5\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาตัวเครื่องมือวัดค่า Water Activity (A_w) เครื่องมือที่สร้างจะประกอบด้วยระบบสำคัญ 2 ระบบ คือ ระบบควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วย อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและ อุปกรณ์ให้ความร้อนโดยทำการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 25 ± 0.1 องศาเซลเซียสและอีกระบบหนึ่งคือ ระบบการวัด การแปรผลและการบันทึกข้อมูล ประกอบไปด้วยหัววัดอุณหภูมิ RTD 100 Ω อุปกรณ์ตรวจรู้ความชื้นแบบ Thin Film Capacitance และชุดแปรค่าสัญญาณประกอบด้วย Card แบบต่างๆ จากการออกแบบและทดลอง เครื่องในช่วงค่า A_w 0.33-0.81 แล้วเป็นไปตามข้อกำหนดที่ต้องการ โดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แต่ในการทดสอบกับเกลือที่มีค่า A_w ที่สูงกว่า 0.81 ค่าที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนนมากสาเหตุมาจาก อุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w มีช่วงการวัดค่า A_w ที่จำกัดคือ 0.2-0.9 เท่านั้นและอีกประการหนึ่งที่ทำให้ค่าที่วัดมีความคลาดเคลื่อนคืออุณหภูมิภายในขวดที่ทำกรทดลองมีค่าที่สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเครื่องมือที่สร้างขึ้น เมื่อทำการปรับปรุงข้อบกพร่องบางประการแล้วก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวัดค่า A_w ที่ได้อยู่ในช่วง ที่จำกัด การเปลี่ยนหัววัดความชื้นให้มีช่วงการวัดที่กว้างขึ้นจะช่วยให้สามารถใช้งานได้มากขึ้น จากการวัดอุณหภูมิภายในขวดทำให้ทราบว่าอุณหภูมิภายในขวดสูงกว่า อุณหภูมิน้ำ ดังนั้นจึงควรหาวิธีปรับปรุงอุณหภูมิภายในขวดให้ได้คงที่ ที่ 25 องศาเซลเซียส การพัฒนาการบันทึกและวิเคราะห์ค่าให้มีความสะดวกรวดเร็ว ทำให้ง่ายต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- วรรณงา ตั้งเจริญชัย, 2533. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร . กรุงเทพฯ : โอ เอส พรีนติ้งเฮ้าส์. 284 หน้า.
- AOAC. 1980. Official Methods of Analysis, 13th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists, 537-538 pp.
- Beuchat, L. 1981. Microbial Stability as Effected by Water Activity. Cereal Food World. 26:345.
- Fellow, P.J. 1990. Food Processing Technology : Principles and Practice, G.B.:Elli. Horwood Ltd.,
- Labuza, T.P. 1980. The Effect of Water Activity on Reaction Kinetics of Food Deterioration, Food technology,34 : 36-41.
- Labuza T.P.,Linscott,S.,Lomauro, C., and Stamp,J.A.1984.Measurement of Water Activity of Salt Solution and Foods by Several Electronic Methods as Compared to Direct Vapor Pressure Measurement. J.Food sci.49:1139-1142 .
- Labuza ,T.P. 1984. Moiture Sorption : Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use. Minnesota : American Association of Cereal Chemists, St.Paul,150 pp.
- Leung,H.K.1986.Water Activity and Other Colligative Properties of Foods.In:M.R.Okos(ed). Physical and Chemical Properties of Food.Michigan :.ASAE pubications,138-170 pp.
- Lewis,M.J. 1990. Physical Properties of Foods and Food Processing Systems,G.B. : Ellis Horwood Ltd.,
- Rockland,L.B.and Nishi,O.S.1980.Influence of Water Activity on Food Product Quality and Stability. J.Food Technol,34: 42-51.
- Roststein,E.,Nunes,R.V.,and Urbicain,M.J.1985.Improving Accuracy and Precision of Water Activity Measurements with a Water Vapor Pressure Manometer.J.Food Sci. 50:148-149.
- Scott,V.N.,and Bernard,D.T. 1983.Influence of Temperatrue on The Measurement of Water Activity of Food and Salt System. J.Food Sci.48:552-554 .
- Troller,J.A.and Christian,J.H.B.1978.Water Activity and Food.New York : Academic Press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Troller, J.A. and Christian, J.H.B. 1978. Water Activity and Food. New York : Academic Press.

Troller, J.A. 1980. Influence of Water Activity on Microorganisms in Foods. Food Technol. 34(5):76 .

Troller, J.A. 1983. Methods to Measure Water Activity. J. Food Protect. 46:129-133.

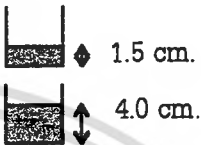


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลายเกลือ

เกลือที่นำมาใช้มี 2 แบบคือ เกลือที่ละลายได้น้อย และเกลือที่ละลายได้มาก



1.5 cm.
4.0 cm.

↓

เติมน้ำ 2 ml ละลายและคนด้วยสเปดตูลา

↓

เติมน้ำและคนจนเกลือไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีกโดยสังเกตจากสารละลาย
ไม่มีผลึกเกลือเหลืออยู่โดยให้น้ำที่เกินมาน้อยที่สุดเพื่อให้ได้สารละลายเกลือที่อิ่มตัว

การคาลิเบรท

เลือกสารละลายเกลือ 5 ชนิดให้ครอบคลุมช่วง A_w ที่สนใจ
อ่านค่าความชื้นที่เกิดขึ้นโดยเกลืออิ่มตัวแต่ละตัว



แล้วอ่านค่า A_w ของสารละลายเกลือในตารางที่
นำทั้งสองค่ามาพลอตกราฟลากเป็นกราฟเส้นตรง



นำเส้นคาลิเบรทนี้มาแปลความหมายค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือให้เป็นค่า A_w



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่า

นำเกลือหรือสารตัวอย่างใส่ลงในขวดทดสอบให้มีปริมาตรมากกว่า $1/20$ ของปริมาตรขวด



นำขวดทดสอบใส่ใน chamber ที่ควบคุมอุณหภูมิ วัดจนได้อุณหภูมิคงที่ ที่ 25 องศาเซลเซียส



เอาขวดทดสอบมาปิดฝาที่ติดหัววัด (probe) นำใส่ใน chamber ที่ควบคุมอุณหภูมิ



บันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดที่เวลา 15, 30, 60 และ 120 นาที หลังจากวางขวดทดสอบใน chamber หรือบันทึกสองค่าที่อ่านได้ที่แตกต่างกันไม่เกิน $0.01 A_w$ Unit แสดงว่าใกล้จุดสมดุลย์

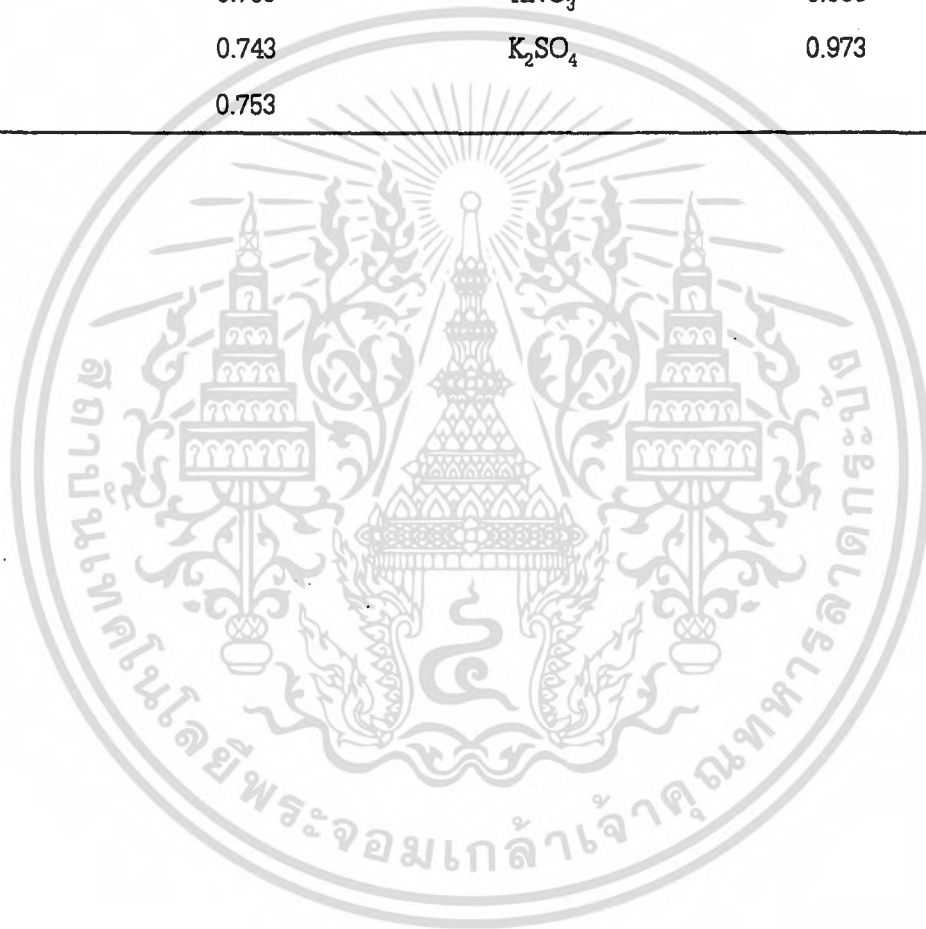


เปลี่ยนค่าที่วัดได้ครั้งสุดท้ายมาเป็นค่า A_w โดยการคำนวณจาก calibration line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. ค่า Water Activity สารละลายเกลืออิ้มตัวที่ 25 องศาเซลเซียส

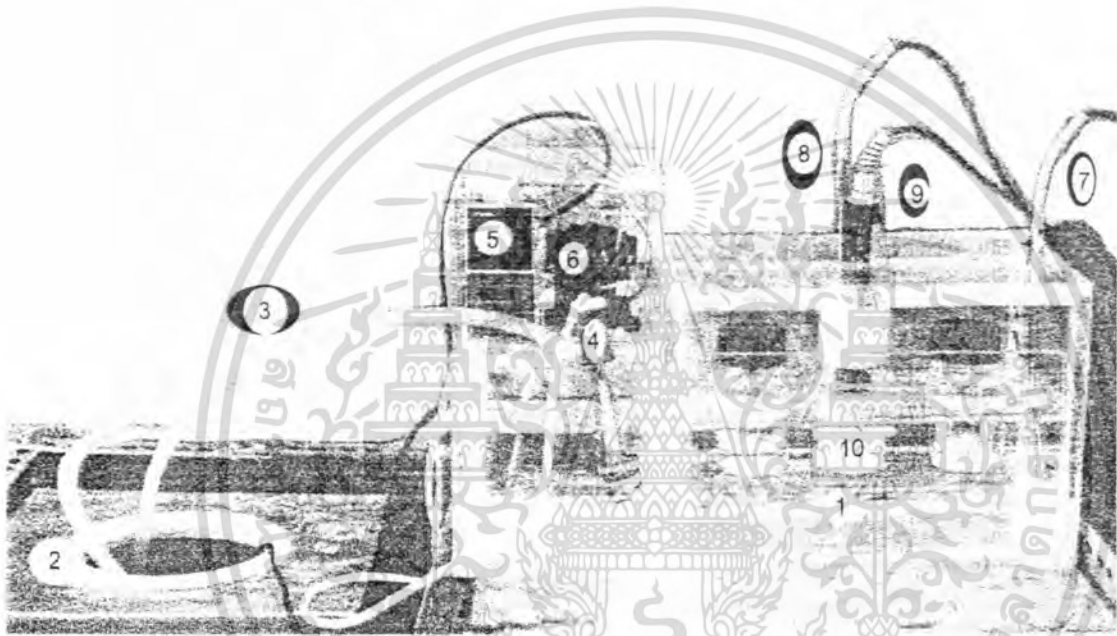
เกลืออิ้มตัว	A_w	เกลืออิ้มตัว	A_w
$MgCl_2$	0.328	KBr	0.809
K_2CO_3	0.432	$(NH_4)_2SO_4$	0.810
$Mg(NO_3)_2$	0.529	KCl	0.843
NaBr	0.576	$Sr(NO_3)_2$	0.851
$CoCl_2$	0.649	$BaCl_2$	0.902
$SrCl_2$	0.709	KNO_3	0.936
$NaNO_3$	0.743	K_2SO_4	0.973
NaCl	0.753		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

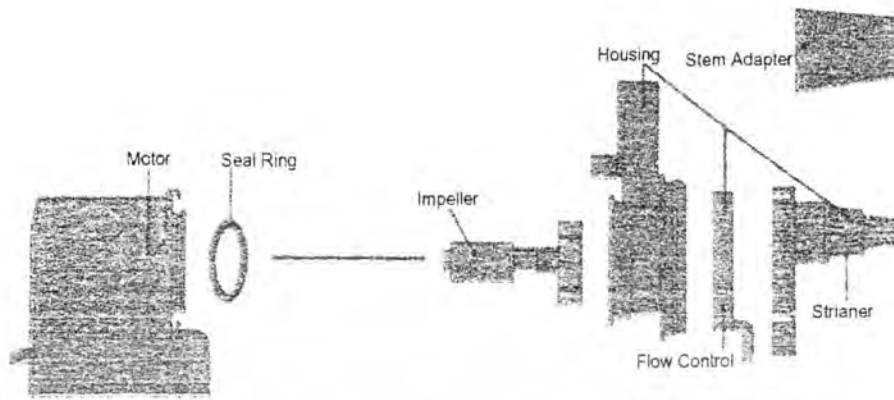
ภาคผนวก ข

อุปกรณ์และเครื่องมือ



ภาพที่ 24. ส่วนประกอบของเครื่องวัด Water Activity : 1) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ; 2) ตู้น้ำเย็น ; 3) น้ำเย็นที่ปั๊ม(Pump)เข้าอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ; 4) ตัวทำความร้อน ; 5) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ; 6) Magnetic Switch ; 7) RTD 100 Ω วัดอุณหภูมิในน้ำ ; 8) RTD 100 Ω วัดอุณหภูมิภายในขวด ; 9) อุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w ; 10) ขวดใส่ตัวอย่างสำหรับวัดค่า A_w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



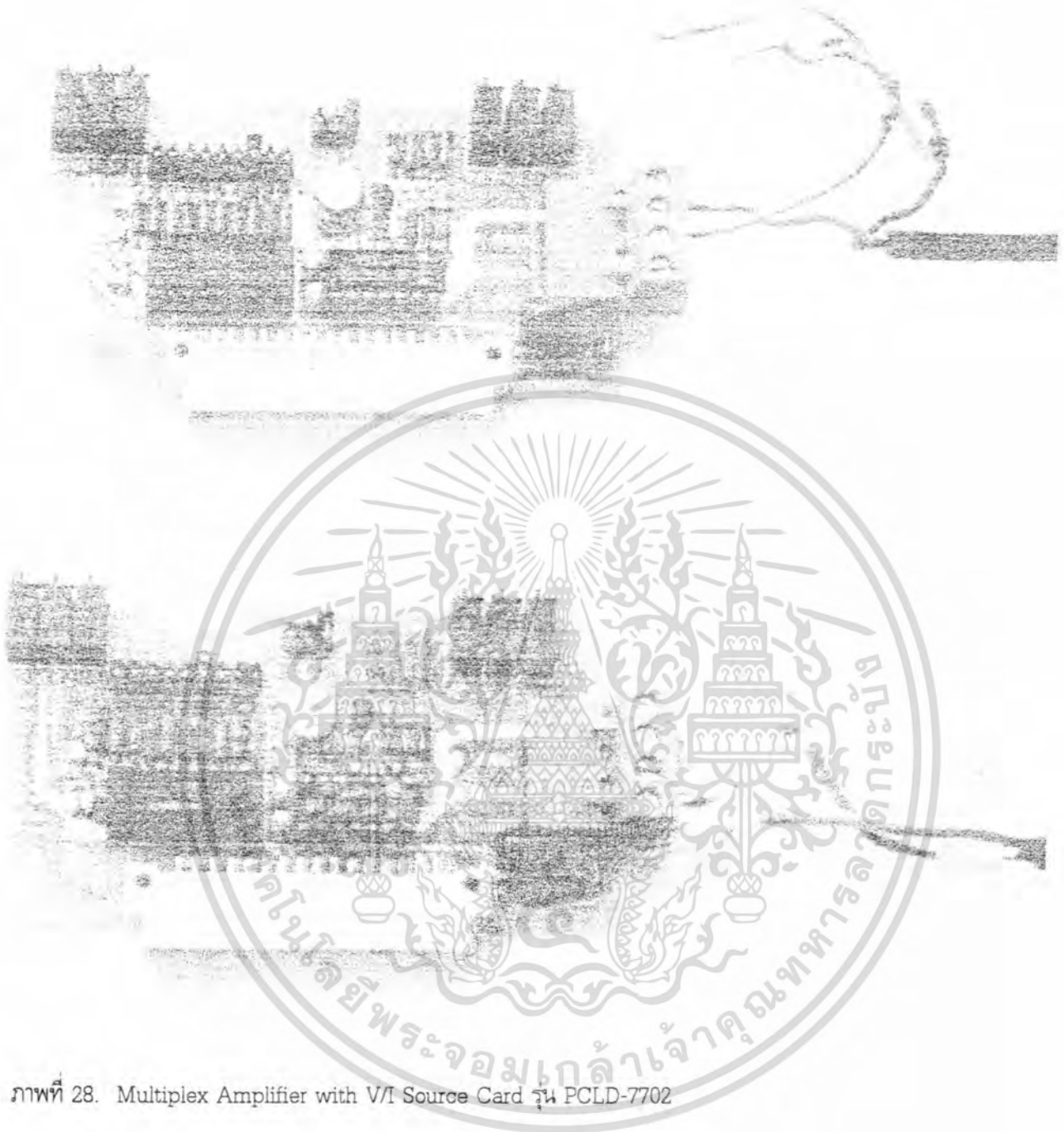
ภาพที่ 25. โครงสร้างเครื่องปั้มน้ำ

ภาพที่ 26. อุปกรณ์ตรวจรู้ค่า A_w



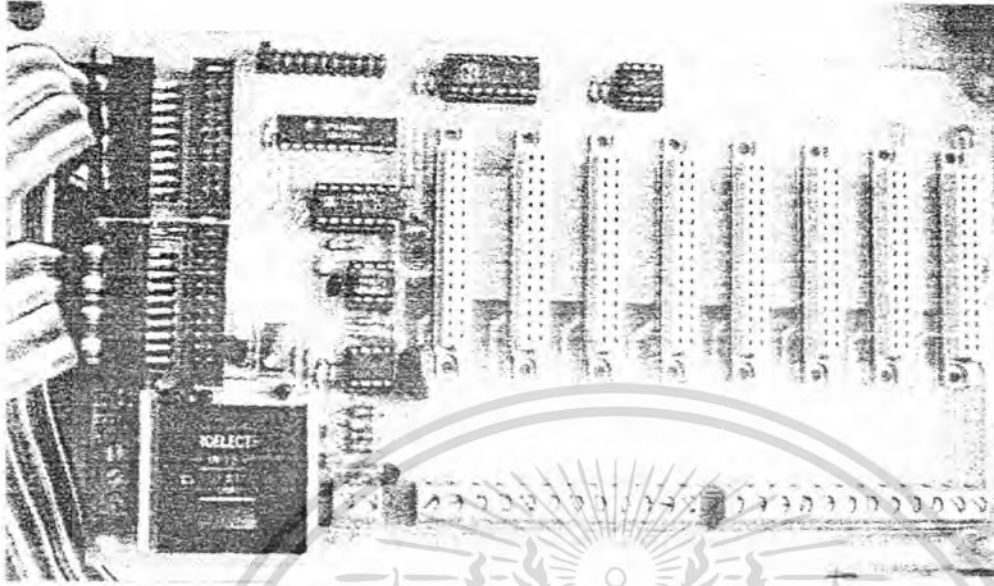
ภาพที่ 27. RTD 100 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 28. Multiplex Amplifier with V/I Source Card รุ่น PCLD-7702

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 29. Signal Conditioning Carrier Bord

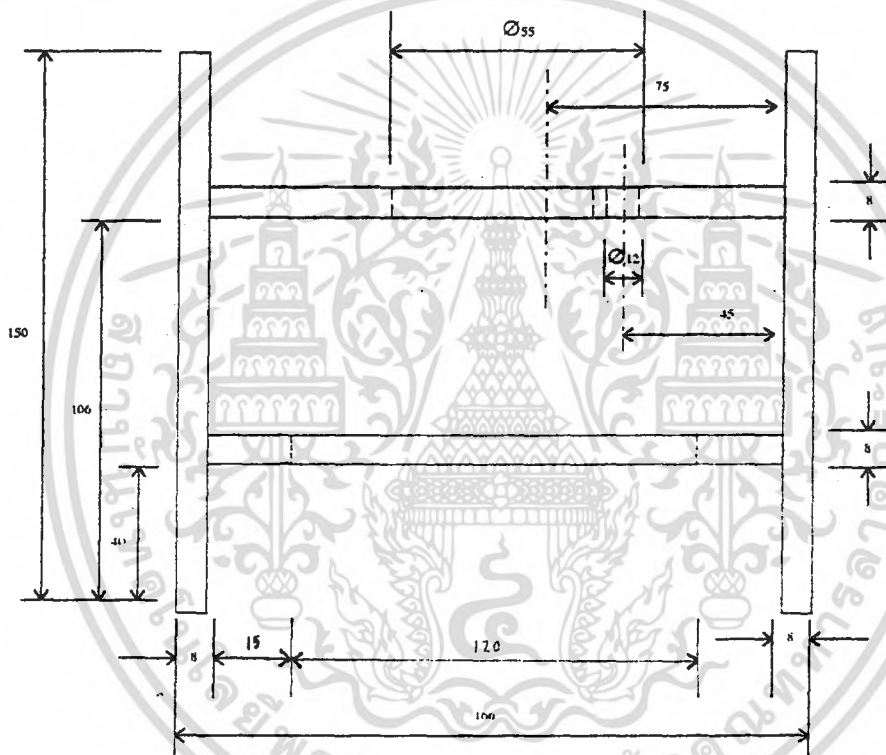


ภาพที่ 30. ตัวทำความร้อน (Heater)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

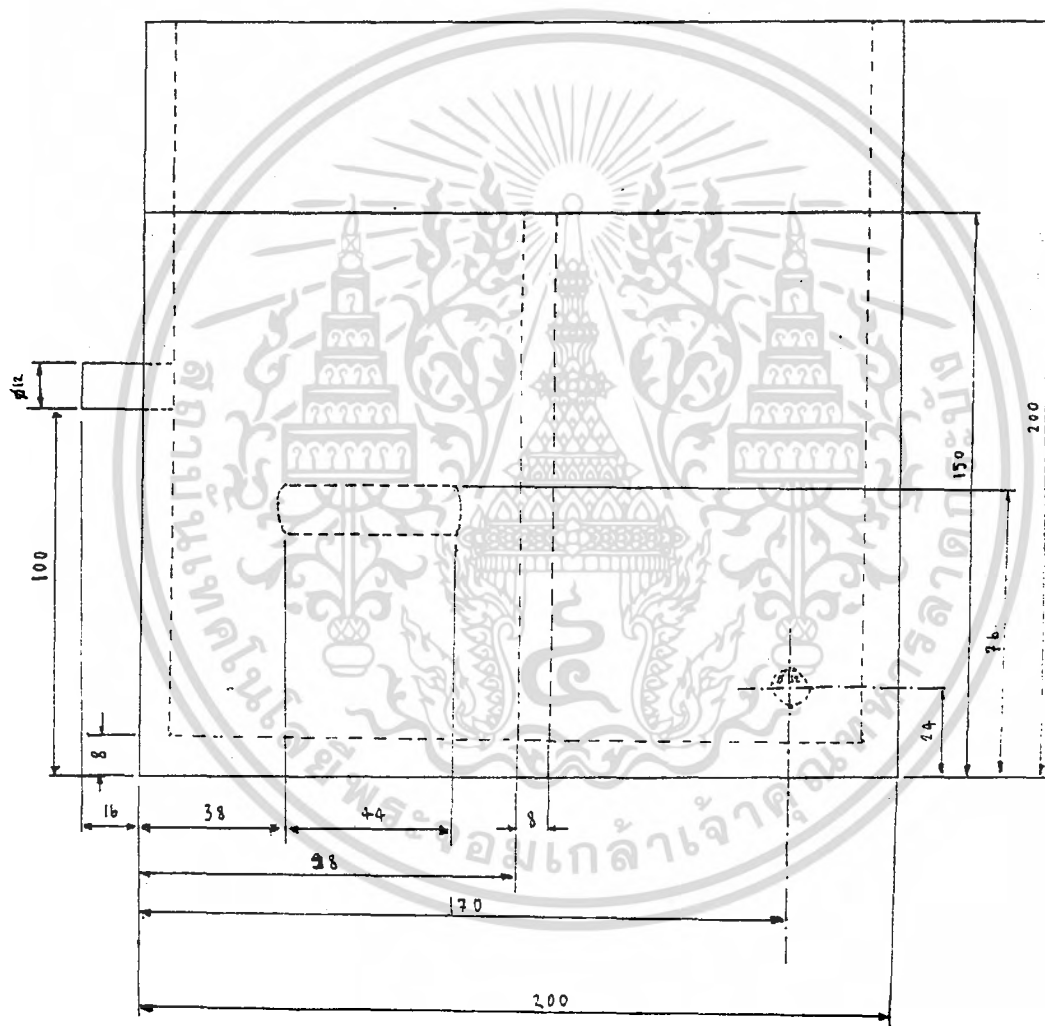
ภาคผนวก ค

แบบอ่างน้ำควบคุมอุณหภูม



ภาพที่ 31. แบบด้านข้างของ ฐานตั้งขวดวัด A_w สเกล 1: 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

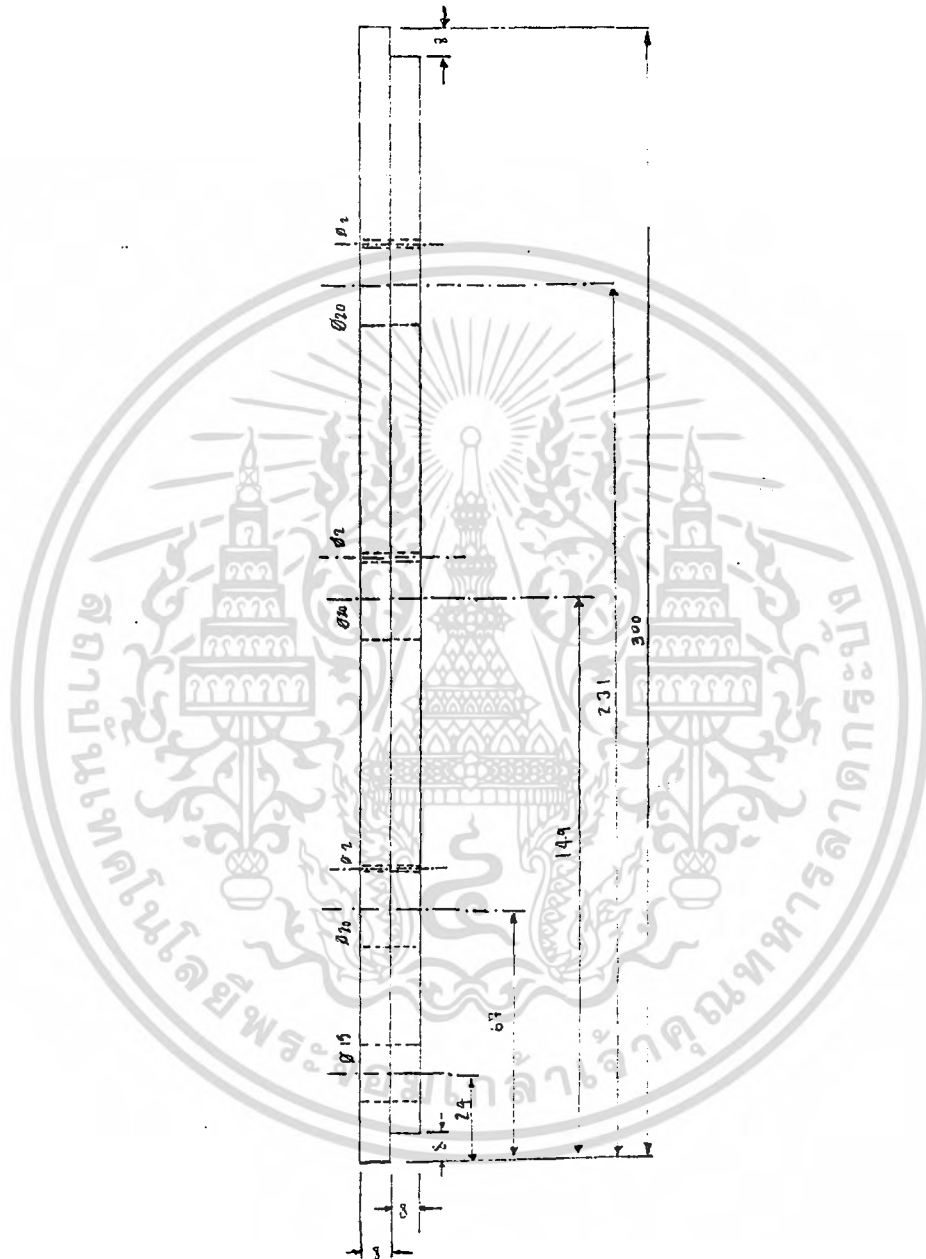


ภาพที่ 33 แบบด้านข้างของอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Chamber) สเกล 1 : 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

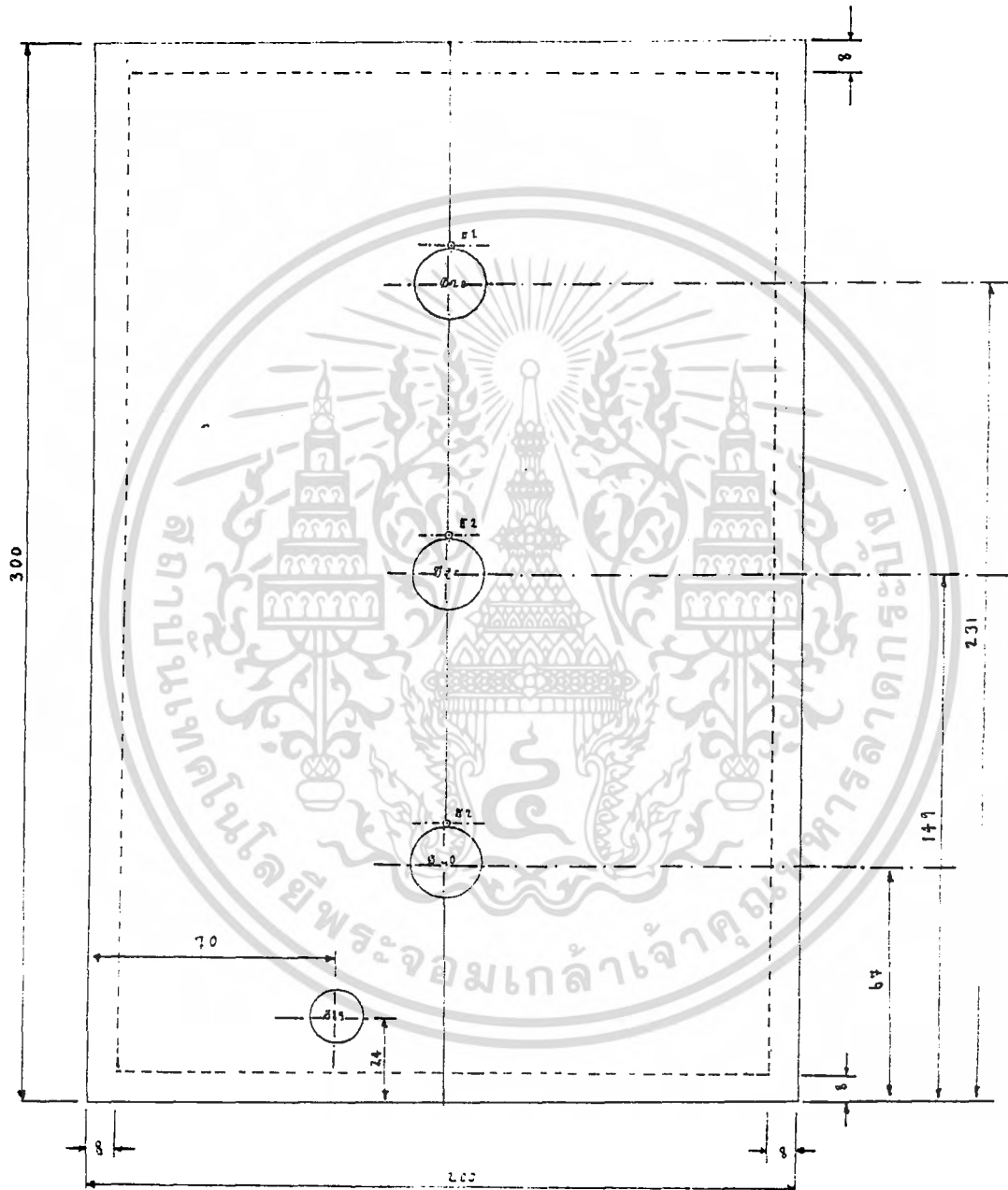


▼ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม้วา ภาพที่ 34 ที่ เบบ์ด้านบนของอ่างน้ำควบคุมอุ้นหภูมิ (Chamber) สเกล 1:๒ เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 35. แบบด้านหน้าของฝาปิดอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิจากสเกล 1: 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 36. แบบดำนบนของฝาปิดอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ สเกล 1: 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

โปรแกรม ภาษาเบสิก (basic) หาค่าเฉลี่ยจากการบันทึก 10 ค่าในทุก 3 นาที

```
DIM AW(12), T1(12), T2(12)
CLS
CLOSE
OPEN "a:\proj\XXXX.pm" FOR INPUT AS #1
OPEN "a:\mean\XXXX.pm" FOR OUTPUT AS #2
FOR I = 1 TO 17
  INPUT #1, DUM$
  PRINT DUM$
NEXT I
DO WHILE NOT EOF(1)
  AW(0) = 0
  T1(0) = 0
  T2(0) = 0
  FOR I = 1 TO 10
    INPUT #1, TIM$, T1(I), DUM2$, DUM3$, T2(I), DUM4$, DUM5$, AW(I), DUM6$
    PRINT TIM$, T1(I), T2(I), AW(I)
    T1(I) = T1(I) + T1(I - 1)
    T2(I) = T2(I) + T2(I - 1)
    AW(I) = AW(I) + AW(I - 1)
  NEXT I
  PRINT TIM$, T1(10), T2(10), AW(10)
  T1 = T1(10) / 10
  T2 = T2(10) / 10
  AW = AW(10) / 10
  PRINT
  PRINT TIM$, T1, T2, AW
  PRINT
  WRITE #2, TIM$, T1, T2, AW
LOOP
CLOSE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายศากุน บุญอิต

เกิดวันที่ 24 สิงหาคม พ.ศ. 2516

สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา พ.ศ. 2534

ปริญญาตรี วทบ. (อุตสาหกรรมเกษตร)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2538

นายศุภฤกษ์ อุดลประเสริฐสุข

เกิดวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2514

สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย พ.ศ. 2532

ปริญญาตรี วทบ. (อุตสาหกรรมเกษตร)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้