



T4885

เครื่องวัด Water Activity ของผลิตภัณฑ์อาหาร
(Water Activity Measuring Instrument for Food Product)



T096781



นายวิฑูรย์ พิมพ์สวัสดิ์
นางสาวกัญญา เสฏฐวิวรรธน์
นายวินัย รัตนานุรักษ์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รฟ.
ว574ค
2539

เลขที่.....
เลขทะเบียน 96781
วันเดือนปี..... 4 JUN 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

เครื่องวัด Water Activity ของผลิตภัณฑ์อาหาร
(Water Activity Measuring Instrument for Food Product)

โดย

นายวิฑูรย์ พิมพ์สวัสดิ์

นางสาวภิญญา เสฏฐวิวรรณ

นายวินัย ธเนศานุรักษ์

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

กิตติชัย บรรจง 27/3/39 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ
(ดร. กิตติชัย บรรจง)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

พศ.ดร. ระติพร หาเรือนกิจ
(หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร
หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 20 เดือน มีนาคม พ.ศ. 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด 2548 ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2538

วิฑูรย์ พิมพ์สวัสดิ์ อภิญญา เสฏฐวิวรรธน และวินัย ธเนศานุรักษ์. 2539. : เครื่องวัด Water Activity ของผลิตภัณฑ์อาหาร (Water Activity Measuring Instrument for Food Products). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.กิตติชัย บรรจง , 62 หน้า

เครื่องวัดค่า Water activity (a_w) ที่ออกแบบและสร้างขึ้นใช้หลักการวัดแบบ Electric Hygrometers ซึ่งเป็นการวัดความชื้นสัมพัทธ์สมมูลของอากาศเหนือตัวอย่างอาหารในภาชนะปิดที่อุณหภูมิ 25°C โดยมีตู้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกมีขนาด 0.07 m^3 เป็นส่วนควบคุมอุณหภูมิภายในห้องที่เท่ากับ $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ส่วนที่สอง เป็นระบบทำความเย็นและควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วยพัดลมดูดอากาศขนาด $0.102\text{ m}^3/\text{sec}$ เครื่องทำความเย็นขนาด 300 BTU เครื่องทำความร้อนขนาด 500 watt ชุดควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอลประกอบด้วย สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า และหัววัดอุณหภูมิ RTD $100\ \Omega$ การวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์สมมูลใช้หัววัดแบบ Thin Film Capacitance ซึ่งต่อเข้ากับ Multiplex Amplifier with V/I Source Card Signal Conditioning Carrier Board และ High Performance DAS Card การแสดงผลและบันทึกค่าใช้โปรแกรม PC-Lab Das และหาค่าเฉลี่ยด้วยโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาปาสคาล การปรับเทียบค่า a_w ใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว 5 ชนิดคือ แมกนีเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมไนเตรท โซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนียมซัลเฟต และเบเรียมคลอไรด์ ซึ่งมีค่า a_w ที่ 25°C เท่ากับ 0.328 0.529 0.753 0.810 0.902 ตามลำดับ ได้สมการ $a_w = 0.1935V + 0.1634$ ($R^2 = 0.98$) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องโดยวัดค่า a_w ของสารละลายเกลืออิ่มตัว 4 ชนิดคือ แมกนีเซียมคลอไรด์ โซเดียมไนเตรท โปแตสเซียมโบรไมด์ และโปแตสเซียมคลอไรด์ พบว่าได้ค่า a_w เท่ากับ 0.315 0.788 0.810 0.854 ตามลำดับ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.96% 6.06% 0.12% 1.30% ตามลำดับ คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 2.41 เปอร์เซ็นต์

วิฑูรย์ พิมพ์สวัสดิ์
วินัย ธเนศานุรักษ์
อภิญญา เสฏฐวิวรรธน
.....
ลายมือชื่อนักศึกษา

กิตติชัย บรรจง
.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

25/3/39
.....
วันเดือนปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง เป็นอย่างสูงที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาให้คำแนะนำและช่วยแก้ปัญหา จัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งเอกสารที่เป็นประโยชน์ และตรวจแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยอบรมสั่งสอนให้ความรู้

ขอขอบคุณพี่ประมวล ศรีกาหลง ที่ช่วยสอนการใช้โปรแกรม PC-Lab Das และโปรแกรมภาษาปาสคาลสำหรับหาค่าเฉลี่ย

ขอขอบคุณพี่ๆ ห้องปฏิบัติการที่อำนวยความสะดวกในการเบิกเกลือ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจจนงานประสบความสำเร็จลงได้ด้วยดี



วิฑูรย์ พิมพ์สวัสดิ์
อภิญา เสฏฐวิวรรณ์
วินัย ธเนศานุรักษ์
25 มีนาคม 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของค่า Water activity ต่อผลิตภัณฑ์อาหาร	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
2. วรรณสารปริทัศน์	5
2.1 ความชื้นสัมพัทธ์	5
2.2 ปริมาณความชื้นสมดุลและค่า Water activity	6
2.3 นิยามของศักยภาพทางเคมี	7
2.4 การวัดค่า Water activity	8
2.5 วิธีที่ใช้วัดค่า Water activity	8
2.6 คุณสมบัติของอาหารที่มีผลต่อค่า Water activity	10
2.7 ผลของอุณหภูมิต่อการวัดค่า Water activity และการเปรียบเทียบ	12
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	13
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	13
3.2 วิธีการทดลอง	13
4. ผลการทดลอง	18
4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องมือ	18
4.2 ผลการเปรียบเทียบค่า	20
4.3 ผลการตรวจสอบค่าความถูกต้องของเครื่อง	36
5. สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	41
5.1 สรุปผลวิจารณ์ผลการทดลอง	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก	45
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	54
ภาคผนวก ง	57
ภาคผนวก จ	59
ประวัติผู้เขียน	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระดับค่า Water activity ต่ำสุดที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้	2
1.2 เชื้อจุลินทรีย์ที่มีผลต่อสุขภาพซึ่งเจริญในช่วงค่า Water activity ต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อาหาร	3
4.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วงอุณหภูมิ 20-30 °C	20
4.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลืออิมิตัวที่เวลาต่าง ๆ	23
4.3 ค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลืออิมิตัวที่จุดความชื้นสัมพัทธ์สมดุล	34
4.4 ค่า a_w มาตรฐานและค่า a_w ที่วัดได้ของสารละลายเกลือ โบแตสเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ โซเดียมไนเตรท และ โบแตสเซียมโบรไมด์	36
1ข โค้ด ชนิดของหัววัดและช่วงการวัดต่ำสุดสูงสุด	52
2ข วิธีการโปรแกรมเครื่อง Fenwal อย่างย่อ	55
1ค ค่า Water activity มาตรฐานของสารละลายเกลืออิมิตัวที่ 25 °C	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนภาพแสดงอิทธิพลของค่า a_w ต่ออัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร	1
1.2	การสูญเสียความกรอบของอาหารในค่า a_w ต่าง ๆ กัน	4
3.1	การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำระหว่างชั้นอาหารกับอากาศรอบ ๆ ภายในภาชนะปิด	10
3.2	ความสัมพันธ์ของค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารละลายเกลืออิมิตัว	12
4.1	ระบบการควบคุมอุณหภูมิ	18
4.2	ระบบการวัด แปลงผลและแสดงผลของข้อมูล	19
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับอุณหภูมิ	22
4.4	กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $MgCl_2$ อิมิตัวครั้งที่ 1	24
4.5	กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $MgCl_2$ อิมิตัวครั้งที่ 2	25
4.6	กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$ อิมิตัวครั้งที่ 1	26
4.7	กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$ อิมิตัวครั้งที่ 2	27
4.8	กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $NaCl$ อิมิตัวครั้งที่ 1	28
4.9	กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $NaCl$ อิมิตัวครั้งที่ 2	29
4.10	กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $(NH_4)_2SO_4$ อิมิตัวครั้งที่ 1	30
4.11	กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $(NH_4)_2SO_4$ อิมิตัวครั้งที่ 2	31
4.12	กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $BaCl_2$ อิมิตัวครั้งที่ 1	32
4.13	กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $BaCl_2$ อิมิตัวครั้งที่ 2	33
4.14	กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุดความชื้นสัมพัทธ์สมดุลกับค่า Water Activity	35
4.15	กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity ของสารละลายเกลืออิมิตัว $MgCl_2$	37
4.16	กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity ของสารละลายเกลืออิมิตัว $NaNO_3$	38
4.17	กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity ของสารละลายเกลืออิมิตัว KBr	39
4.18	กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity ของสารละลายเกลืออิมิตัว KCl	40
1ก	เครื่องวัดค่า Water Activity	45
2ก	Insulated box	46
3ก	เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Fenwal)	47
4ก	สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic switch)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5ก ชุดทำความร้อน (Heater)	47
6ก ชุดทำความเย็นและพัดลม	48
7ก หัววัดอุณหภูมิ RTD 100 Ω	48
8ก หัววัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (Thin Film Capacitance)	49
9ก Multiplex Amplifier with V/I Source Card รุ่น PCLD-7702	49
10ก Signal Conditioning Carrier Board รุ่น PCLD-770	50
11ก การต่อการ์ดเข้าบอร์ด	50
1ข เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Fenwal)	51
2ข ลักษณะสัญญาณในการตั้งโหมดแบบ ON-OFF	53
3ข ลักษณะสัญญาณในการตั้งโหมดแบบ P, PI, PD	53
4ข ลักษณะการตั้งโหมดแบบ PID และ PID Autotuning	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

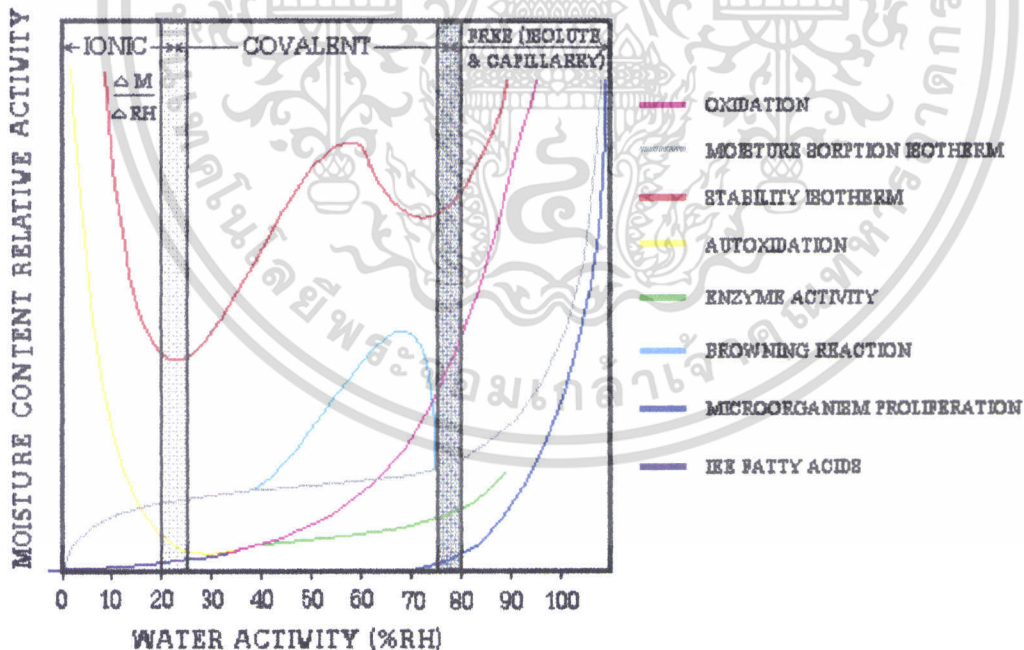
บทนำ

ค่า Water Activity ของผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเก็บรักษาสภาพผลิตภัณฑ์อาหาร โดยจะบอกถึงความคงตัวในระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ต่อปฏิกิริยาการเสื่อมเสียทางชีวเคมีต่างๆ จากการทำลายของจุลินทรีย์ในอาหาร รวมถึงการสูญเสียคุณสมบัติทางกายภาพของอาหารด้วย

1.1 ความสำคัญของค่า Water Activity ต่อผลิตภัณฑ์อาหาร

1.1.1. ทางด้านชีวเคมี

อาหารในธรรมชาติหรือยังไม่ผ่านการแปรรูปมีน้ำประกอบอยู่ในปริมาณมาก เช่น เนื้อสัตว์มีน้ำประกอบอยู่ 50-60% ผลไม้ 74-95% และผักสด 74-95% น้ำในอาหารดังกล่าวเป็นปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (วรรณ, 2534) ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในอาหารที่สำคัญ ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic reaction) การเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) รวมทั้งความสามารถของเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยา (enzyme activity) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวมีอัตราการเกิดขึ้นที่สอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่มีในอาหารและค่า Water activity ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1: แผนภาพแสดงอิทธิพลของ a_w ต่ออัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร

ที่มา : รุ่งนภา (2535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2 ทางด้านจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่มีในอาหารเป็นสาเหตุให้เกิดการการบูดเน่าของอาหาร Scott และคณะ (1953) รายงานว่า จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในผลิตภัณฑ์ที่มี Water Activity ในระดับพอเหมาะ เรียกว่า Optimal Water Activity เมื่อ Water Activity ลดลงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะลดลงไปด้วย จนถึงค่า Water Activity ในระดับหนึ่งซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความต้องการปริมาณน้ำที่ใช้ประโยชน์หรือ Water Activity ไม่เท่ากัน ระดับ Water Activity ต่ำสุดที่จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้เรียกว่า Minimal Water Activity (Minimal a_w) เพื่อรวมความต้องการ Water Activity น้อยกว่า ยีสต์และแบคทีเรีย ความต้องการของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 : ระดับ a_w ต่ำสุดที่จุลินทรีย์แต่ละประเภทสามารถเจริญได้

ชนิดของจุลินทรีย์	ค่า a_w ต่ำสุดสำหรับการเจริญเติบโต
แบคทีเรีย	0.90
ยีสต์	0.87
รา	0.80
จุลินทรีย์ที่สามารถเจริญในสภาพแห้งได้	
- Halophilic bacteria	0.75
- Osmophilic yeast	0.63
- Xerophilic mold	0.61

ที่มา : นฤตม (2532)

จุลินทรีย์ที่มีผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคจะสามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีค่า a_w แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 1.2

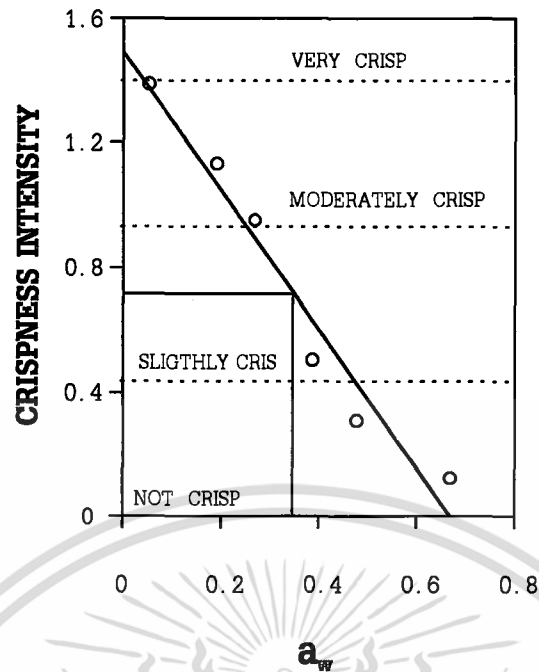
ตารางที่ 1.2 : แสดงเชื้อจุลินทรีย์ที่มีผลต่อสุขภาพซึ่งเจริญในช่วงค่า a_w ต่างๆของผลิตภัณฑ์อาหาร

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 (alfatoxin)
<i>Bacillus cereus</i>	0.93 - 0.95	
<i>Byssochlamys 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>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>Samonella spp.</i>	0.92 - 0.95	
<i>Stachybotrys atra</i>	0.94	0.94 (stachybotryn)
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.86	0.87 - 0.90 (enterotoxin A)
		0.97 (enterotoxin B)
<i>Trichthecium roseum</i>	0.90	
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	0.94	

ที่มา : Labuza (1984)

1.1.3 ทางด้านกายภาพ

ค่า Water activity นอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆในอาหารแล้วค่า a_w ยังมีผลต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของอาหารด้วย ได้แก่ในด้านความกรอบ (Crispness) ของผลิตภัณฑ์อาหารจากธัญพืช (Cereal-Base Product) เช่นแครกเกอร์ ขนมทอดกรอบ (Fried Snacks) และในด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์ (Hardeness) ซึ่งแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w และความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 : การสูญเสียความกรอบของอาหารในค่า a_w ต่างๆกัน
ที่มา : Labuza (1984)

จากความสำคัญของค่า a_w ที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่าการทราบค่า a_w ของอาหารจะทำให้สามารถควบคุมและหลีกเลี่ยงการเสื่อมเสียของอาหารได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดค่า a_w ที่มีความถูกต้องในการวัด มีราคาถูก และสะดวกในการใช้งาน ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยครั้งนี้คือ ได้เครื่องมือต้นแบบในการศึกษาหลักและวิธีการวัดค่า a_w รวมทั้งทราบรายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการประกอบเครื่องมือวัด a_w เพื่อใช้ในระดับห้องปฏิบัติการทดลอง ซึ่งได้แก่ วัสดุ อุปกรณ์ โปรแกรม และงบประมาณ

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบและอาจแบ่งประเภทของน้ำตามความสามารถของการนำไปใช้ประโยชน์โดยจุลินทรีย์ได้ 2 ส่วนด้วยกันคือน้ำที่ผลิตภัณฑ์ดูดซึมไว้เรียกว่า Bound water น้ำส่วนนี้ จุลินทรีย์นำไปใช้ได้ยาก และน้ำที่อยู่รอบผลิตภัณฑ์อย่างอิสระ เป็นส่วนที่จุลินทรีย์นำไปใช้ประโยชน์ได้เรียกว่า Available water หรือ Water activity เขียนย่อว่า a_w (นฤดม,2532)

นอกจากนี้เมื่อก้าวถึงคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และเทอร์โมไดนามิกส์ของน้ำที่ยึดเกาะในอาหารสามารถแบ่งน้ำออกได้เป็น 3 ประเภทคือ (รุ่งนภา,2535)

- (1) โมเลกุลน้ำที่ยึดเกาะกับอ็อกซิเจนไดแก์ กลุ่มคาร์บอกซิล และอะมิโน
- (2) โมเลกุลน้ำที่ยึดเกาะกับกลุ่มไฮดรอกซิลและเอไมด์ (Amide) ด้วยพันธะไฮโดรเจน
- (3) น้ำอิสระพบในช่องว่างอินเทอร์สทิเชียล (Interstitial pores)

ในช่วงของค่า a_w ที่ต่างกันชนิดของน้ำที่ยึดเกาะอยู่ในผลิตภัณฑ์ก็จะแตกต่างกันดังนี้

ค่า a_w ระหว่าง 0 ถึง 0.25 เป็นช่วงที่โมเลกุลน้ำยึดเกาะด้วยพันธะอ็อกซิเจน เช่น NH_3^+ ยึดกับโปรตีนและ COO ยึดกับโปรตีน

ค่า a_w ระหว่าง 0.25 ถึง 0.75 เป็นช่วงที่โมเลกุลของน้ำยึดเกาะด้วยพันธะโคเวเลนต์ เช่น OH ในโปรตีน และ โพลีเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง เพกติน เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส

ค่า a_w ระหว่าง 0.75 ถึง 1.0 เป็นช่วงที่มีชั้นของน้ำอยู่หลายชั้นบนโปรตีนและโพลีเมอร์ของคาร์โบไฮเดรต

2.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH)

ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เป็นอัตราส่วนของสัดส่วนโมลของไอน้ำในตัวอย่างอากาศชื้น (x_w) ต่อสัดส่วนโมลของไอน้ำอิ่มตัวของตัวอย่างอากาศนั้น (x_{ws}) ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกันดังนี้

$$\text{RH} = (x_w / x_{ws}) \times 100 \text{ -----} \textcircled{1}$$

หรือความชื้นสัมพัทธ์ เป็นอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอากาศ (P_{H_2O}) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_0) ณ อุณหภูมิคงที่เดียวกันดังนี้

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

2.2 ปริมาณความชื้นสมดุลและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี

(Equilibrium moisture content and water activity)

ปริมาณความชื้นสมดุลของสารนิยามว่า เป็นปริมาณความชื้นที่มีอยู่เมื่อสารมีความดันไอสมดุลกับสิ่งแวดล้อม

อัตราส่วนของความดันไอสมดุลต่อความดันไออิ่มตัวจะเรียกว่า ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล หรือวอเตอร์แอกทิวิตี (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 จะถูกกำหนดโดยค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium Relative Humidity , $\%ERH$) ดังนี้

$$a_w = \frac{\%ERH}{100} \text{ ----- ⑤}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 นิยามของศักย์ภาพทางเคมี (Definition of Chemical Potential)

ในการอธิบายสถานะของระบบใด ๆ นั้นปัจจัยที่สำคัญนอกจากอุณหภูมิ ปริมาตร ความเข้มข้น แล้ว พลังงานอิสระ (Free energy , ΔG) ก็เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อศักย์ภาพทางเคมี (Chemical Potential , μ) จากสมการเทอร์โมไดนามิกส์กำหนดโดย

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

μ คือ ศักย์ภาพทางเคมี (cal/mol)

μ_0 คือ ศักย์ภาพทางเคมี (cal/mol) ณ.สภาวะมาตรฐาน

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

T คือ อุณหภูมิ โดย °K = °C + 273.15

a คือ Thermodynamic Activity ของ Particular substance

ค่า Activity วัดหรือกำหนดจากสมการอื่น ขึ้นอยู่กับสิ่งที่พิจารณา ได้แก่ ไอน้ำ ของแข็ง หรือ ระบบไอน้ำ

จากเทอร์โมไดนามิกส์ กล่าวว่า ถ้าศักย์ภาพทางเคมีขององค์ประกอบที่ เหมือนกันใน 2 สถานะ ที่แตกต่างกันแสดงว่าเกิดความสมดุลระหว่าง 2 สถานะนั้นเมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนขึ้น สถานะหนึ่งจะสูญเสียและอีกสถานะหนึ่งจะได้รับ เช่นการแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศ ในกรณีที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศกล่าวได้ว่ามีความคงตัวของศักย์ภาพทางเคมีของน้ำ คือ

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

เนื่องจากอุณหภูมิคงที่ μ_0 และ R เป็นค่าคงที่ ดังนั้น ค่า Water Activity ของผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศจึงคงที่ กล่าวได้ว่า ค่า Water Activity ของอากาศภายในผลิตภัณฑ์อาหารเท่ากับค่า Water Activity ของอากาศรอบๆ อาหาร

$$a_w \text{ อาหาร} = a_w \text{ อากาศ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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)
- (6) สะดวกในการใช้ (Easy of use)
- (7) มีความทนทาน (Durability)

2.5 วิธีที่ใช้วัดค่า Water Activity

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 Hygrometers

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

การใช้ข้อมูลด้วยการลดลงของจุดเยือกแข็ง สามารถนำมาใช้ในการหาค่า a_w ได้โดยอาศัยหลักการของ Raoult's law กล่าวว่าการลดลงของจุดเยือกแข็งของสารละลายจะสัมพันธ์โดยตรงกับการลดลงของความดันไอ น้ำ ที่อยู่ในเนื้อสารละลายเมื่อเทียบกับความดันไอน้ำเหนือ น้ำบริสุทธิ์ ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกันโดยค่าความดันไอของน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่างๆกันได้แสดงไว้ใน Chemical Handbooks วิธีการนี้เหมาะที่จะวัดค่า a_w ของอาหารในช่วง 0.98-1.0 จะมีความแม่นยำสูง เมื่อใช้วัดกับอาหารที่เป็นของเหลว มากกว่าการวัดอาหารที่เป็นของแข็ง

2.5.3 Graphical Interpolation

วิธีการคือ นำอาหารไปวางไว้ในบรรยากาศที่ทราบค่า ความชื้นสัมพัทธ์ และปล่อยให้เข้าสู่สมดุล โดยจะมีการดูดและคายความชื้นแลกเปลี่ยนกันระหว่าง บรรยากาศและอาหาร จากนั้นนำค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงมาเขียนกราฟ กับ ความชื้นสัมพัทธ์ แล้วหาจุดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

2.5.4 Water-Sorption Isotherm

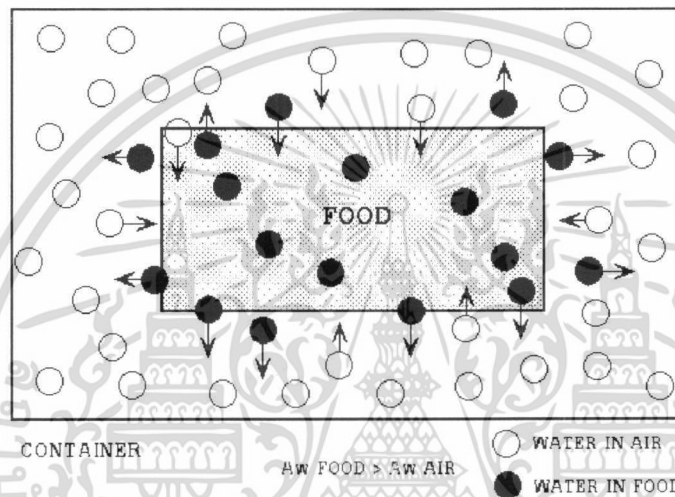
วิธีนี้อาศัย Water-Sorption Isotherm มาตรฐาน วิธีการนี้ใช้อุปกรณ์ราคาถูก โดยนำอาหารตัวอย่างที่ต้องการหาค่า a_w มาใส่ใน Desiccator ที่มีโปรตีนแห้ง หรือ Microcrystalline cellulose ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนจนถึงสภาวะสมดุล ปริมาณน้ำที่ดูดซับด้วย โปรตีน หรือ เซลลูโลสจะขึ้นกับค่า a_w เริ่มแรกของอาหาร ซึ่งสามารถอ่านค่าได้จาก Water Sorption Isotherm มาตรฐาน วิธีการนี้ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์พวกเนื้อ นม ขนมปัง เป็นต้น

2.5.5 Electric Hygrometers

วิธี Electric Hygrometers เป็นการวัดค่า a_w แบบทางอ้อม วิธีการนี้จะใช้เครื่องตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุล ของอากาศเหนือตัวอย่างในภาชนะปิดที่เข้าใกล้สมดุลมากที่สุด ซึ่งถือว่าค่าที่ใช้ทดแทนค่า a_w โดยอาศัย การอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyzation) สารละลายอิมตัวของเกลือ เช่น LiCl การวัดจะวัดในสภาวะสมดุล เมื่อใส่ตัวอย่างในเครื่องวัด โดยวิธีการนี้จะต้องมีการปรับเทียบค่าด้วยสารละลายที่ทราบค่า a_w ความถี่ของการปรับเทียบค่า ตัวเครื่องมือและวัสดุที่ใช้วัด ในการหาทุกครั้งจำเป็นที่จะต้องปรับเทียบค่า มากกว่า 1 ถึง 2 ครั้งต่อสัปดาห์ จากการทดสอบค่าความถูกต้องเฉลี่ยเมื่อตัวอย่างที่วัดมีค่า a_w เกินกว่า 0.90

ค่าความถูกต้องจะลดลง และค่าความถูกต้องของเครื่องมือ ในช่วงของค่า a_w ระหว่าง 0.32-0.97 มีค่าเท่ากับ 0.02 a_w unit

หลักการการทำงานของวัดความชื้นจะทำงานโดยการวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในขวดวัดที่สภาวะสมดุล การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำระหว่างตัวอย่างอาหารหรือสารละลายเกลืออิมิตัวกับอากาศภายในแสดงในรูปแบบที่ 3.1 ในกรณีนี้ค่า a_w ในอาหารสูงกว่าอากาศภายนอก จนกระทั่งค่า a_w ของทั้งอาหาร และอากาศเท่ากัน เมื่ออยู่ในภาวระดังกล่าวสามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้ห้ววัดความชื้นได้



รูปที่ 3.1 การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำระหว่างตัวอย่างอาหารกับอากาศรอบๆ ภายในภาชนะปิด.
ที่มา : Leunk (1986)

2.6 คุณสมบัติของอาหาร ที่มีผลต่อค่า Water Activity (Properties of Food that Control the Water Activity)

คุณสมบัติของอาหาร และทิศทางที่น้ำทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหาร มีสาเหตุจากระดับการยึดเกาะกันของอนุภาคของน้ำ น้ำที่ยึดเกาะกันมากคือน้ำในส่วน bound และที่ต่ำลงมากคือน้ำในส่วน Free Water หรือ a_w ระดับของการยึดเกาะของน้ำมีผลมาจากคุณภาพของอาหาร โดยอิทธิพลทางกายภาพ 3 ประการหลักที่มีผลต่อ Water Activity คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 Colligative effect

เมื่อของแข็งละลายในน้ำ จะทำปฏิกิริยา 3 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาระหว่างซั้วปฏิกิริยาไอออนิกและพันธะไฮโดรเจนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีผลมาจากคุณสมบัติของน้ำ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณโมเลกุลของน้ำที่มีอยู่ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า “Colligative effect “

คุณสมบัติบางประการสามารถเปลี่ยน ค่า จุดเดือด จุดเยือกแข็ง และความดันไอ ความสำคัญของความดันไอคือมีผลต่อ activity ของอากาศเหนือสารละลาย เช่น ถ้าเพิ่มตัวทำละลาย ทำให้ค่า Water Activity ในสารละลายลดลง P_{H_2O} ของอากาศตรงช่องว่างเหนือสารละลาย (a_w ของอากาศ) จะลดลงในปริมาณที่เท่าเทียมกันจนกระทั่งถึงจุดสมดุล

สำหรับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ และพวกนอนอิเล็กโทรไลต์ ที่มีความเข้มข้นต่ำ ปฏิกิริยาสามารถหาค่าได้โดยใช้ กฎของราอูล (Raoult's law)

$$a_w = \gamma \frac{N_{H_2O}}{N_{H_2O} + N_{solute}}$$

N_{H_2O} คือโมลของน้ำในสารละลาย

N_{solute} คือโมลของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลายของน้ำ

γ คือสัมประสิทธิ์ activity มีค่า =1 สำหรับสารละลายอุดมคติ

2.6.2 Capillary effect

ความดันไอเหนือของเหลวมีค่าน้อยกว่าความดันไอน้ำบริสุทธิ์ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำทำให้ค่า a_w ของอาหารมีค่าลดลง สมการเคลวิน (Kelvin equation) ทำนายการลดลงของค่า a_w โดย

$$a_w = \exp \frac{-2\gamma_s \cos\theta}{rRT} VL$$

โดย γ_s คือความตึงผิวของของเหลวใน capillary

θ คือ Wetting angle

V_L คือ ปริมาตร ของของเหลว ในหน่วย $cm^3 /mole$

r รัศมีของ capillary

R ค่าคงที่ ของแก๊ส (8.314×10^7 ergs/ $^{\circ}K$ mole)

T คือ $^{\circ}K$

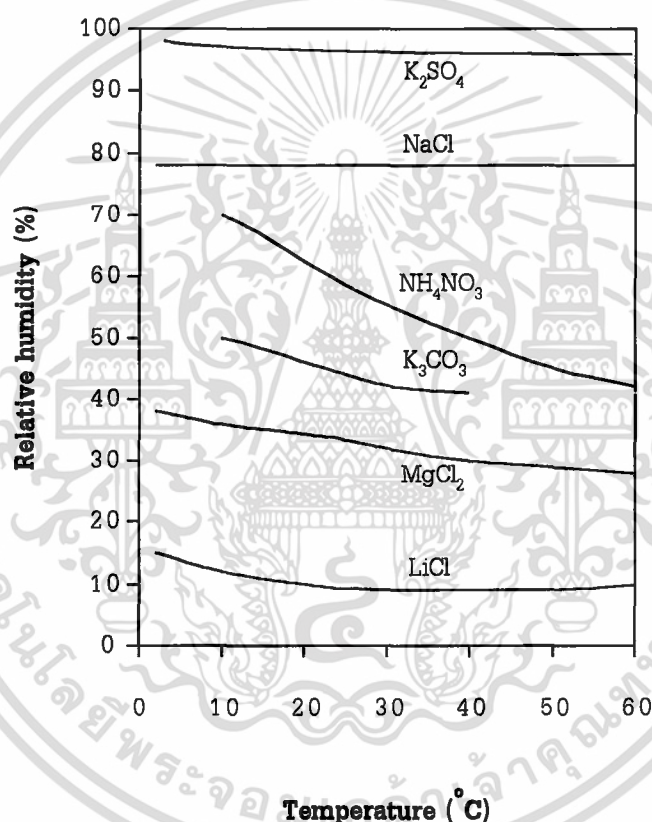
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 Surface interaction

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เช่น ปฏิกิริยาระหว่างซิว์ พันธะไอออนิก แรงแวลเดอร์วาลส์ และพันธะไฮโดรเจน โมเลกุลของน้ำในส่วน bound ต้องการพลังงานมากในการเปลี่ยนสถานะจาก ของเหลวไปเป็นของแข็ง และมี ส่วนของ free น้อยที่ จะเปลี่ยน เป็นไอจึงทำให้ ค่า a_w ลดต่ำลง

2.7 ผลของอุณหภูมิต่อการวัดค่า a_w และการปรับเทียบค่า

ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อการวัดค่า a_w และ การปรับเทียบค่าคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า a_w จะลดลงดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 : ความสัมพันธ์ของค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารละลายเกลืออิ่มตัว
ที่มา : Lewis (1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือ

- (1) หัววัด %RH Eliwell รุ่น EWHS 28 Thin Film Capacitance Type
- (2) หัววัดอุณหภูมิ RTD 100 Ω
- (3) ตู้สำหรับควบคุมอุณหภูมิ
- (4) พัดลมขนาด 32 watt
- (5) ชุดทำความเย็นขนาด 300 BTU
- (6) ชุดทำความร้อนขนาด 500 watt
- (7) เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล Fenwal รุ่น AR24-L
- (8) Magnetic Switch Mitsubishi ขนาด 2200 watt
- (9) Multiplex Amplifier with V/I Source Card รุ่น PCLD-7702
- (10) Signal Conditioning Carrier Board รุ่น PCLD -770
- (11) High performance DAS Card รุ่น PCL 818
- (12) ขวดแก้วปากกว้างแบบฝาเกลียว ขนาด 100 ml (Mason glass jar)

3.1.2 สารเคมี (Reference Salt)

- (1) $MgCl_2$
- (2) $(NH_4)_2SO_4$
- (3) $Mg(CO_3)_2$
- (4) NaCl
- (5) $BaCl_2$
- (6) KBr
- (7) $NaNO_3$
- (8) KCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การสร้างตู้สำหรับควบคุมอุณหภูมิ

ในการสร้างเครื่องมือจะอาศัยวิธีการวัดค่า a_w ตามแบบวิธี Electric Hygrometers ซึ่งเป็นวิธีการวัดค่าทางอ้อม โดยการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลย์ (Equilibrium Relative Humidity) ของอากาศเหนือตัวอย่างอาหารในภาชนะปิดที่เข้าใกล้ค่าสมดุลมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 25°C

ในการออกแบบเพื่อสร้างเครื่องมือตามแบบวิธีการชนิดนี้ อาศัยหลักและวิธีการวัดค่าตามแบบของ AOAC (1980) ที่กำหนดไว้ดังนี้คือ

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

ในการสร้างจะใช้พลาสติกอะคริลิกแข็งใสที่มีความหนา 1 cm สร้างเป็นตู้สี่เหลี่ยมซึ่งมีปริมาตรโดยรวมทั้งหมดเท่ากับ 0.14 m^3 ภายในจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งใช้สำหรับการวัดค่า %ERH เป็นส่วนที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และส่วนที่สอง เป็นส่วนที่ใช้สำหรับทำความเย็นและควบคุมอุณหภูมิให้กับส่วนแรก

ในส่วนที่หนึ่งจะมีขนาด 0.07 m^3 โดยมีความยาว 50 cm ความกว้าง 35 cm และสูง 40 cm ในส่วนนี้จะมีการเปิดเพื่อใส่ตัวอย่างที่ต้องการวัดค่า a_w รอยต่อระหว่างพลาสติกมีการอุดด้วยซิลิโคนเพื่อไม่ให้เกิดรอยรั่ว เพราะถ้าเกิดรอยรั่วความร้อนจากภายนอกจะเข้ามาทำให้อุณหภูมิภายในห้องวัดนี้มีค่าไม่เท่ากันตลอด ถึงแม้เราจะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ภายในมี Insulated box ความสำคัญของ Insulated box คือจะเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิรอบๆ ขวด Mason jar ไม่ให้เปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในตู้ขนาดของ Insulated box เท่ากับ 0.009 m^3 โดยมีความยาว 28.5 cm ความกว้าง 18.5 cm และสูง 18 cm

ในส่วนที่สองจะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิจะประกอบด้วย ชุดทำความเย็นขนาด 300 BTU ทำจากแผ่นอลูมิเนียมทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 cm พันด้วยท่อทำความเย็น พัดลมขนาด 32 watt ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลม $0.102\text{ m}^3/\text{sec}$ ชุดทำความร้อนประกอบด้วยแผงลวดนำความร้อนขนาด 500 watt ซึ่งได้ทำการต่อปีกออกไปจำนวน 16 ปีก แต่ละปีกขนาด 150 cm^2 เพื่อเป็นตัวถ่ายเทความร้อนออกจากตัวต้านทาน ถ้าไม่มีปีกความร้อนที่เกิดจะมีค่าสูงมากจนไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ระหว่างตัวทำความเย็นและตัวทำความร้อนจะมีพลาสติกใสบังอยู่ เพื่อป้องกันการแลกเปลี่ยนความร้อนและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเย็นระหว่างกัน และที่ตัวทำความร้อนจะมีบังลมเพื่อบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมให้ผ่านตัวทำความร้อนก่อนจะผ่านเข้าไปในส่วนที่หนึ่ง

หลักการทำงานพัดลมจะทำให้ลมจากส่วนที่หนึ่งเข้าสู่ส่วนที่สองเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความเย็นกับ แผ่นทำความเย็น จนมีอุณหภูมิต่ำกว่า 25°C จากนั้นจะผ่านตัวทำความร้อนเพื่อปรับอุณหภูมิให้ได้ 25°C พอดี ก่อนจะกลับเข้าสู่ส่วนที่หนึ่ง สำหรับชุดที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วย Temperature Controller Fenwal รุ่น AR24L Digital Temperature Controller มีหัวอ่านอุณหภูมิ RTD 100 Ω และ Magnetic Switch ขนาด 2200 watt หลักการทำงานของ RTD 100 Ω จะวัดอุณหภูมิและส่งสัญญาณในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้าให้ Fenwal เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 25°C Fenwal จะจ่ายไฟให้กับ Magnetic Switch ทำให้ Switch ทำงานตัวทำความร้อน ซึ่งต่อกับ Magnetic Switch ก็จะทำงาน เมื่ออุณหภูมิเกือบจะถึง 25°C Fenwal จะหยุดจ่ายไฟให้กับ Magnetic Switch กระแสไฟจะไม่ไหลผ่านทำให้ตัวทำความร้อนหยุดทำงาน

สำหรับการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์จะใช้หัววัดแบบ Thin Film Capacitance Eiwelwell รุ่น EWSH28 ซึ่งจะวัดค่าความชื้นออกมาในรูปของกระแสไฟฟ้าโดยตรง ดังนั้นจึงต้องมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.Power Supply) ให้กับหัววัดซึ่งจะได้จาก Card ซึ่งเป็นอุปกรณ์พิเศษที่ต่อเข้ากับเครื่อง แต่ในการทดลองจะวัดสัญญาณในรูปของค่าศักย์ไฟฟ้า โดยการต่อตัวต้านทานขนาด 250 Ω แล้ววัดค่าศักย์ไฟฟ้า คล่อมตัวต้านทาน หัววัดจะต่อเข้ากับ Multiplex Amplifier with V/I Source Card รุ่น PCLD-7702 ซึ่งการ์ดนี้จะเป็นตัวขยายสัญญาณ ให้กับ Signal Conditioning Carrier Board รุ่น PCLD-770 ซึ่งบอร์ดนี้จะทำหน้าที่ควบคุมสถานะของ V และ I ที่ จ่ายให้กับ probe มีค่าคงที่และการ์ดนี้จะต่อเข้ากับ High Performance DAS Card รุ่น PCL-818 ซึ่งเป็นตัวที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสัญญาณที่ส่งมาในรูปของ Analog ให้เป็น Digital เพื่อการแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์

3.2.2 การปรับเทียบค่า (Calibration)

3.2.2.1 การปรับเทียบหัววัดอุณหภูมิ

3.2.2.1.1 บันทึกค่าอุณหภูมิของอากาศในช่วง $20-30^{\circ}\text{C}$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป PC-Lab Das ทำการบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้า (mV) และบันทึกค่าอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ที่แสดงออกทางเครื่อง Fenwal โดยทำการบันทึกค่าทุก 0.5°C ที่เปลี่ยนแปลง

3.2.2.1.2 นำค่าที่อ่านได้จากหัววัดทั้ง 2 อัน มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Simple Linear Regression) และสร้างกราฟเส้นตรงระหว่าง อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) และค่าศักย์ไฟฟ้า (mV)

3.2.2.1.3 นำค่าคงที่ที่ได้จากความสัมพันธ์ไปแทนในโปรแกรมสำเร็จรูป PC-Lab Das

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การเปรียบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดค่า a_w

3.2.2.2.1 เตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัว 5 ชนิด โดยให้ครอบคลุมช่วง a_w ที่ 0.2 - 0.9 โดยใช้วิธีตาม AOAC (32.007) ในการทดลองใช้ เกลือ $MgCl_2$ $Mg(NO_3)_2$ $NaCl$ $(NH_4)_2SO_4$ BCl_2

3.2.2.2.2 เตรียมตู้สำหรับวัดค่า a_w ให้มีอุณหภูมิคงที่ ที่ 25 ± 1 °C

3.2.2.2.3 นำขวดทดสอบที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวไม่น้อยกว่า $1/20$ ของปริมาตรขวด มาปิดฝาที่ติดหัววัด %RH (probe) ใส่ใน Insulated box (AOAC, 1985)

3.2.2.2.4 บันทึกค่าที่อ่านได้จาก โปรแกรม PC-LabDas โดยให้บันทึกค่า 15 ครั้ง ทุก 3 นาที

3.2.2.2.5 ทำการบันทึกค่า โดยพิจารณาเวลาทุก 15 30 45 60 120 และทุกๆ 60 นาที โดยให้ค่าความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันไม่เกิน 0.01 a_w unit โดยทำการวัด 2 ครั้ง ค่าความแตกต่างไม่เกิน $\pm 10\%$ ถ้าค่าความแตกต่าง เกินกว่า 10% ทำการทดลองครั้งที่ 3

3.2.2.2.6 นำค่าศักย์ไฟฟ้า (mV) ที่อ่านได้มาเฉลี่ยให้ได้ค่าเพียง 1 ค่า ทุก 3 นาที ทำการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Simple Linear Regression) และสร้างกราฟเส้นตรงกับ ค่า a_w ที่ทราบค่าแน่นอนของเกลือแต่ละตัว

3.2.2.2.7 นำค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ไปแทนค่าในโปรแกรมสำเร็จรูป PC-Lab Das

3.2.2.3 ตรวจสอบค่าความถูกต้องและความแม่นยำของเครื่อง

หลังจากที่นำค่าคงที่มาแทนในโปรแกรมสำเร็จรูป PC-Lab Das จะสามารถวัดค่าออกมาเป็น

a_w -unit

3.2.3.1 เตรียมสารละลายเกลืออิมิตัว ตัวใหม่ คือ $MgCl_2$ $NaNO_3$ KBr KCl

3.2.3.2 ทำการวัดตามขั้นตอน 3.2.2.2-3.2.2.5

3.2.3.3 นำค่า a_w ที่ได้มาเฉลี่ยให้ได้ค่าเพียง 1 ค่า ทุก 3 นาที ทำการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาด โดยพิจารณาค่า Root Mean Square Error



บทที่ 4

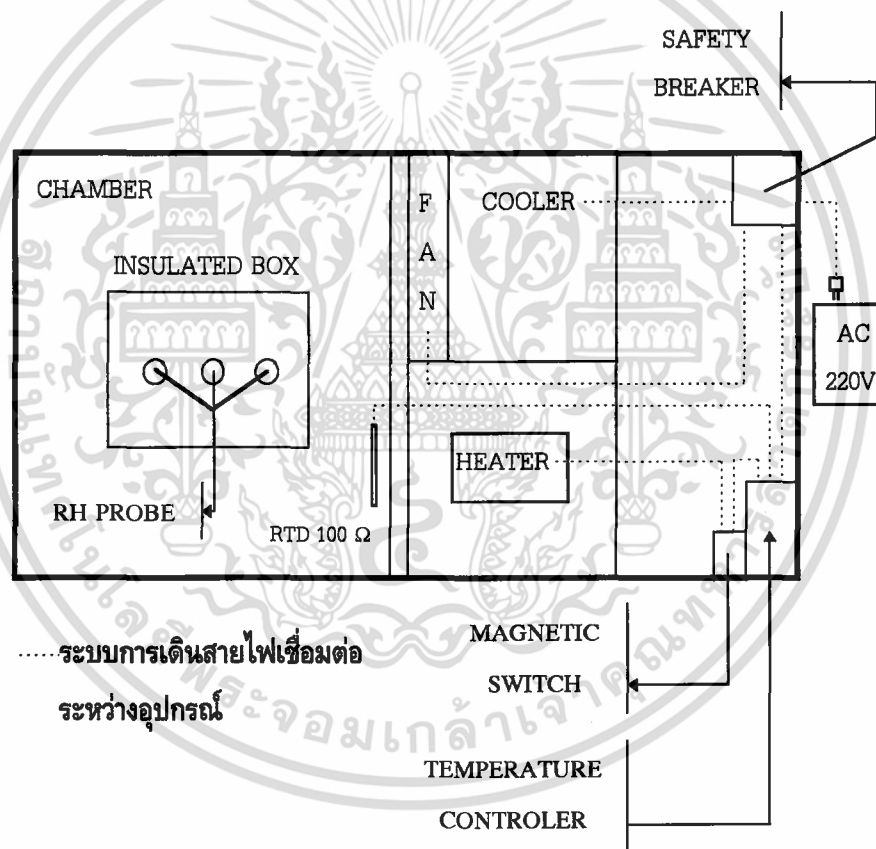
ผลการทดลอง

4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องมือ

ผลการออกแบบสร้างเครื่องมือมีโครงสร้างของระบบประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

4.1.1 ระบบการควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control System)

ระบบควบคุมอุณหภูมิเป็นตู้ที่ประกอบจากพลาสติกใสแข็ง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ภายในแต่ละส่วนประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างแสดงดังรูปที่ 4.1

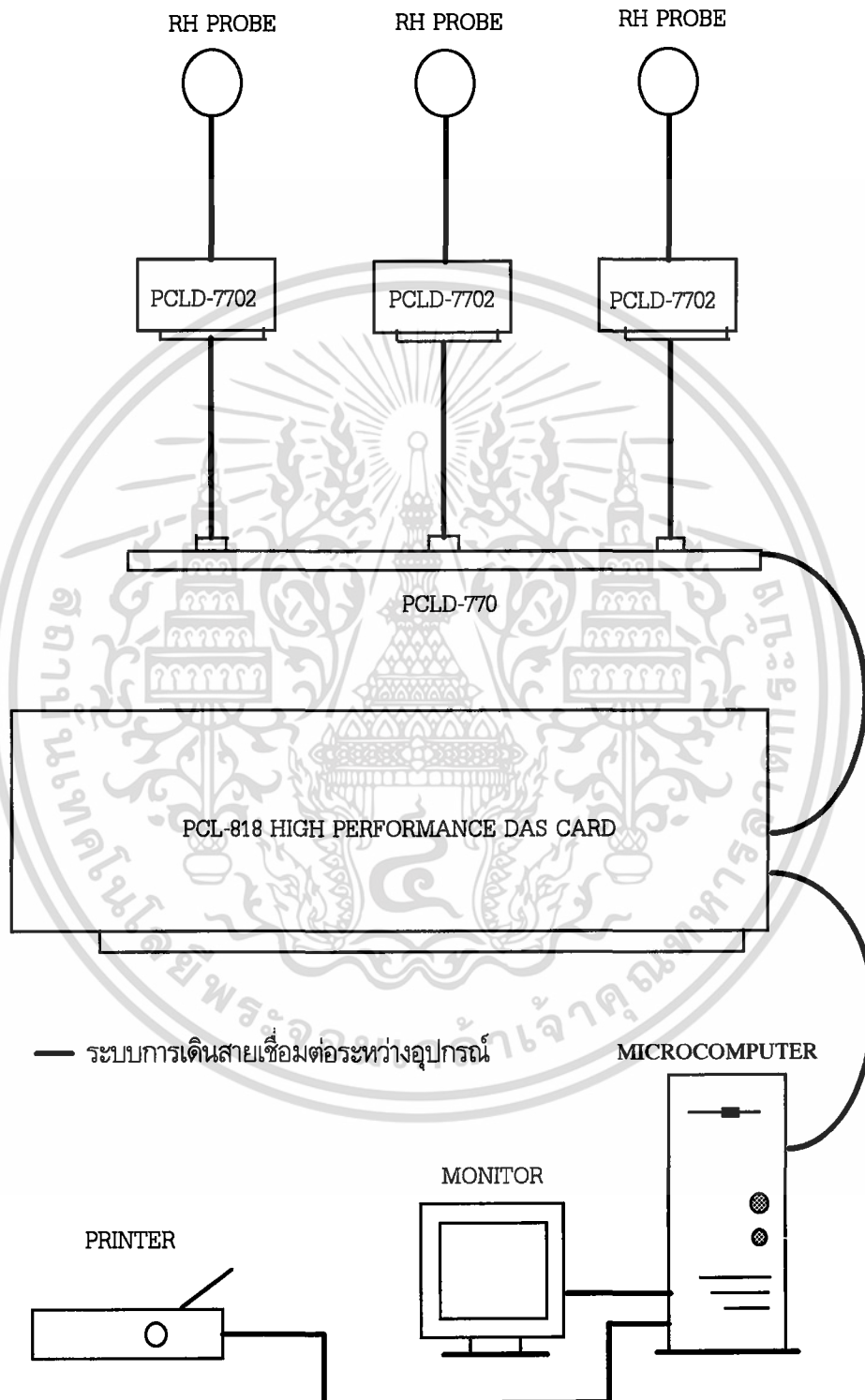


รูปที่ 4.1 : ระบบการควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ระบบการวัด แปรผล และแสดงผลข้อมูล

ระบบการวัดและแปรผลจะอาศัยอุปกรณ์ในการรับส่งสัญญาณจากหัววัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ และแสดงผลผ่านทางจอคอมพิวเตอร์หรือพีเอ็นทีเตอร์ โครงสร้างของระบบแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 : ระบบการวัด แปรผล และแสดงผลข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการเปรียบเทียบค่า

4.2.1 ผลการเปรียบเทียบค่าหัววัดอุณหภูมิ

จากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วงอุณหภูมิ 20-30 °C ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 : ค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วงอุณหภูมิ 20-30 °C

อุณหภูมิ (°C)	ค่าศักย์ไฟฟ้า (V)
20.0	2.4460
20.5	2.4510
21.0	2.4560
21.5	2.4607
22.0	2.4660
22.5	2.4704
23.0	2.4751
23.5	2.4790
24.0	2.4832
24.5	2.4880
25.0	2.4924
25.5	2.4980
26.0	2.5000
26.5	2.5050
27.0	2.5100
27.5	2.5144
28.0	2.5185
28.5	2.5230
29.0	2.5249
29.5	2.5290
30.0	2.5340

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X

จากค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้นำมาเขียนกราฟเพื่อดูแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและ
ศักย์ไฟฟ้าพบว่ามีความสัมพันธ์กันในรูปเส้นตรง (linear) ดังแสดงในรูปที่ 4.3

จากแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่ได้นำมาวิเคราะห์หาสมการของความสัมพัธ์ด้วยโปรแกรม Excel ได้
สมการของความสัมพัธ์คือ

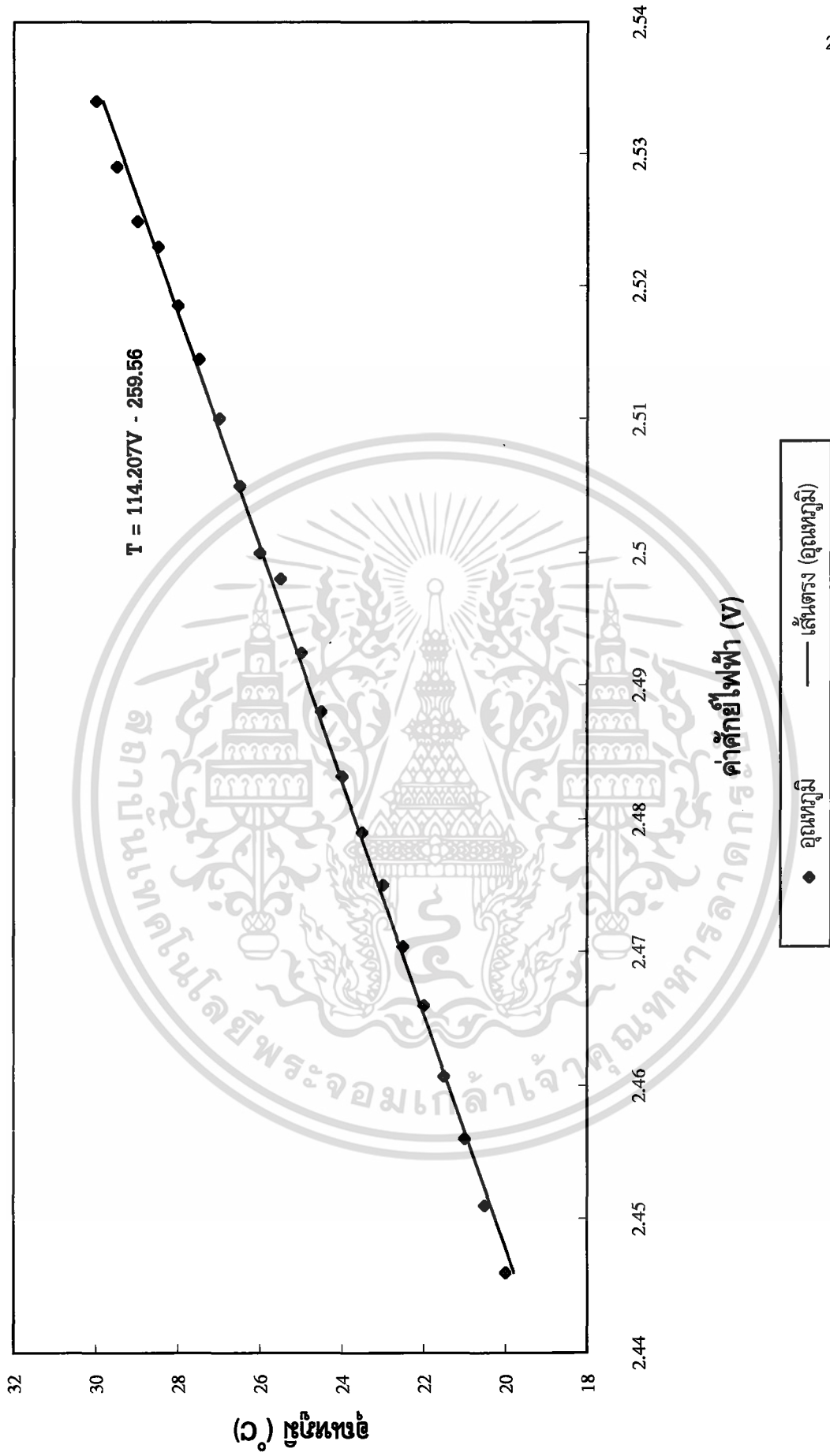
$$T = 114.207V - 259.562$$

โดยมีค่า $R^2 = 0.99$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภามหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งปวงรูปที่ 4.3 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้า (V) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่มีการนำไปใช้

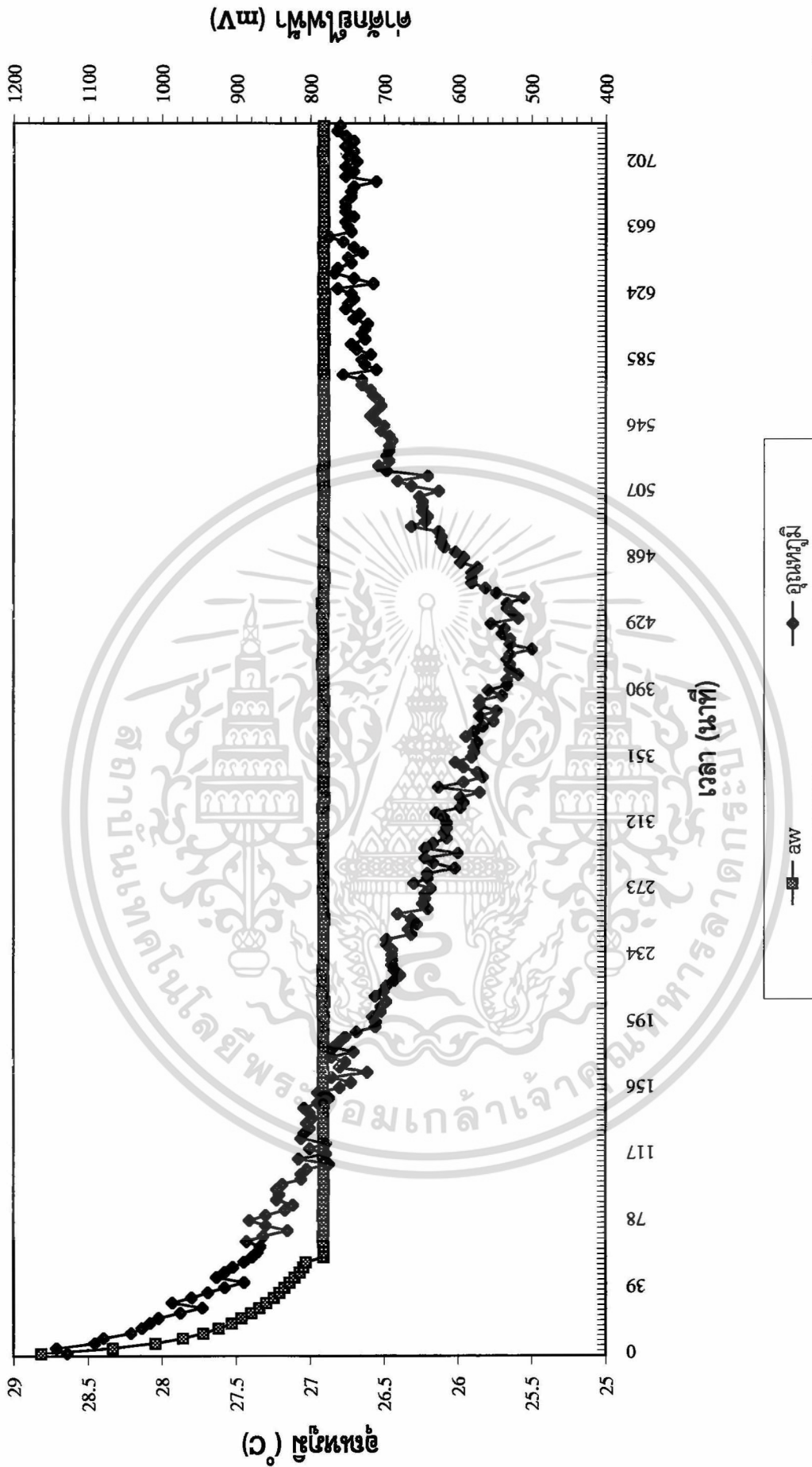
4.2.2 ผลการเปรียบเทียบค่าห้วงวัด a_w

ผลการอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลืออิมิตัว 5 ชนิดคือ แมกนีเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมไนเตรท โซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนียมซัลเฟต และ แปรียมคลอไรด์ ซึ่งมีค่า a_w ที่ 25°C เท่ากับ 0.328 0.529 0.0753 0.810 และ 0.902 ตามลำดับ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 - 4.14

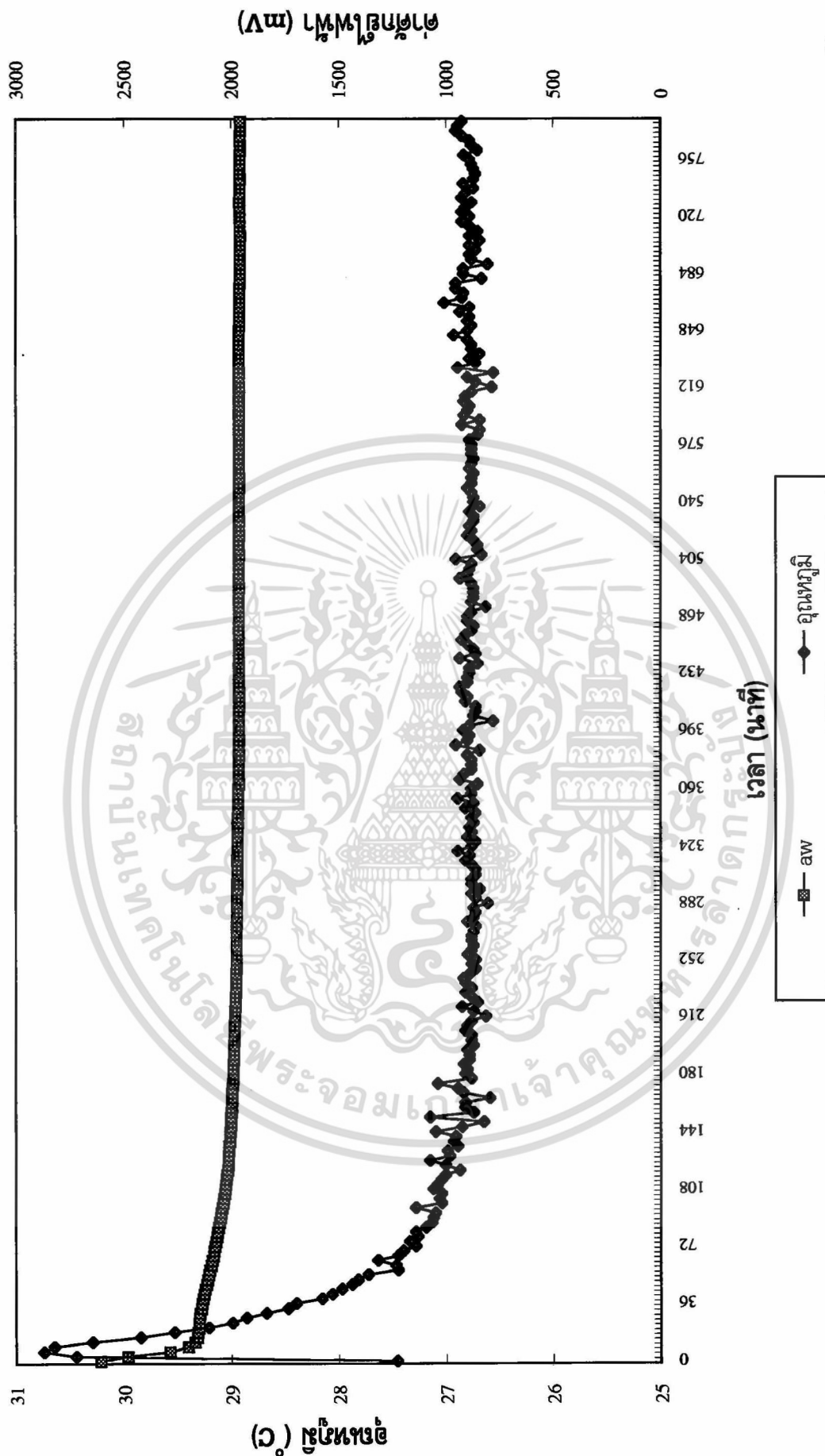
ตารางที่ 4.2 : ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ของสารละลายเกลืออิมิตัว 5 ชนิดที่เวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	MgCl ₂		Mg(NO ₃) ₂		NaCl		(NH ₄) ₂ SO ₄		BaCl ₂	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0	781.738	1161.946	2620.005	2606.201	3269.694	3046.549	3349.446	3328.288	3332.683	3484.863
0.25	781.25	923.34	1922.689	2156.087	3283.366	3100.261	3339.519	3336.914	3324.544	3502.604
0.5	781.738	859.049	2005.371	2143.881	3283.854	3114.258	3340.17	3340.658	3344.727	3515.625
0.75	781.087	820.476	2025.228	2120.768	3286.296	3121.094	3340.983	3342.448	3357.422	3525.879
1	781.412	781.087	2016.765	2092.936	3291.504	3123.535	3341.471	3343.262	3373.861	3537.598
2	780.924	781.25	1946.94	2015.951	3300.618	3131.999	3340.983	3344.89	3414.225	3564.941
3	781.087	780.11	1933.431	1989.746	3293.457	3140.951	3337.402	3346.68	3451.985	3585.775
4	781.25	781.25	1933.269	1977.865	3280.925	3156.413	3334.798	3348.795	3483.561	3600.26
5	781.25	781.901	1945.313	1971.354	3268.718	3171.061	3335.612	3349.284	3510.579	3612.142
6	780.762	780.273	1939.128	1964.681	3256.836	3182.129	3335.287	3350.911	3535.156	3620.605
7	781.575	781.249	1940.755	1961.751	3249.024	3188.477	3336.751	3350.423	3556.153	3627.93
8	781.087	781.087	1948.73	1962.565	3241.211	3190.593	3337.239	3350.423	3573.405	3637.044
9	781.901	781.412	1963.217	1962.077	3237.305	3190.43	3339.193	3350.423	3587.891	3642.741
10	781.412	781.575	1962.565	1962.565	3234.7	3187.989	3340.495	3351.4	3597.331	3648.926
11	780.924	781.738	1967.435	1961.1	3232.259	3186.361	3340.495	3350.749	3605.794	3654.948
12	781.738	781.738		1958.659	3227.702	3188.64	3341.634	3352.051	3612.305	3660.319
13	781.087			1955.729	3226.563	3189.616	3341.146	3351.563	3618.001	3664.388
14	781.087				3224.284		3340.007	3353.028	3626.465	3674.479
15					3223.307		3338.379	3351.563		3676.758
16					3218.587		3334.473	3350.423		3677.572
17					3208.659		3327.637	3334.535		3680.827
18					3195.475		3325.195	3322.103		3681.641
19					3182.129		3322.754	3324.707		
20							3322.917	3326.172		
21								3326.986		
22								3330.078		
23								3333.985		
24								3337.728		

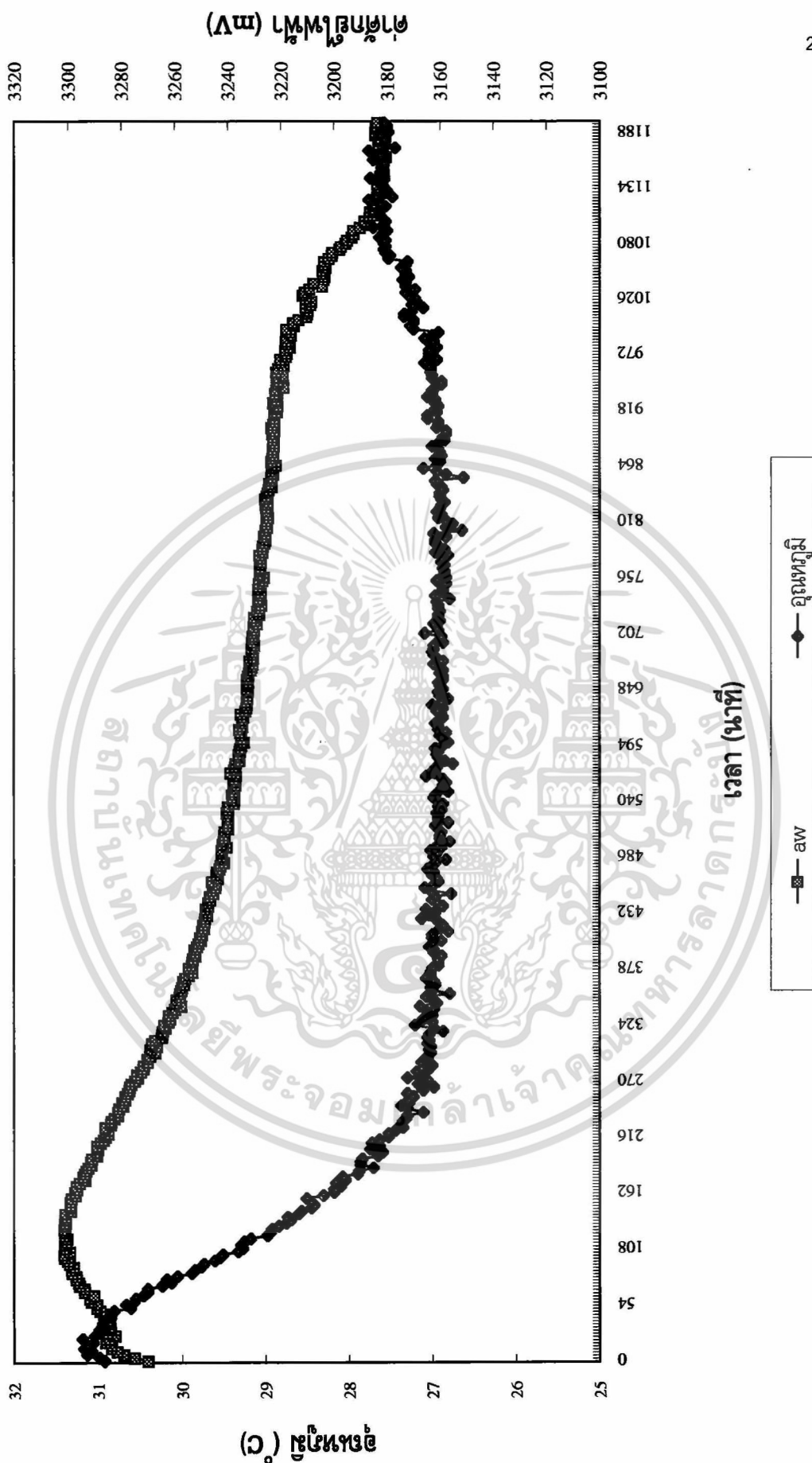
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



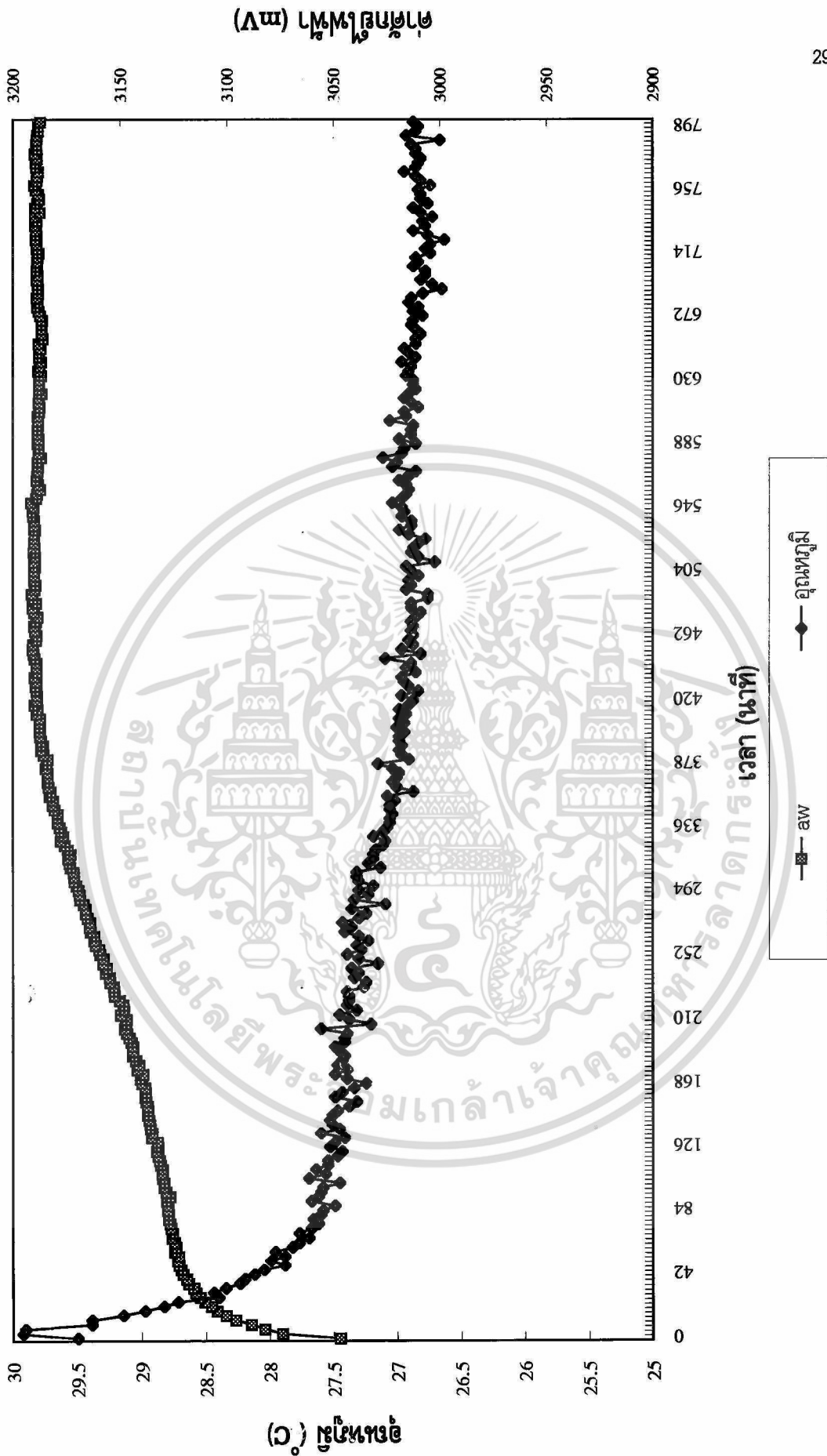
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบที่ 4.5 นี้ กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $MgCl_2$ อิ่มตัว ครั้งที่ 2 นำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรูปที่ 4.7: กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าศักยภาพไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$ อิมิตัว ครึ่งที่ 2 นำไปใช้

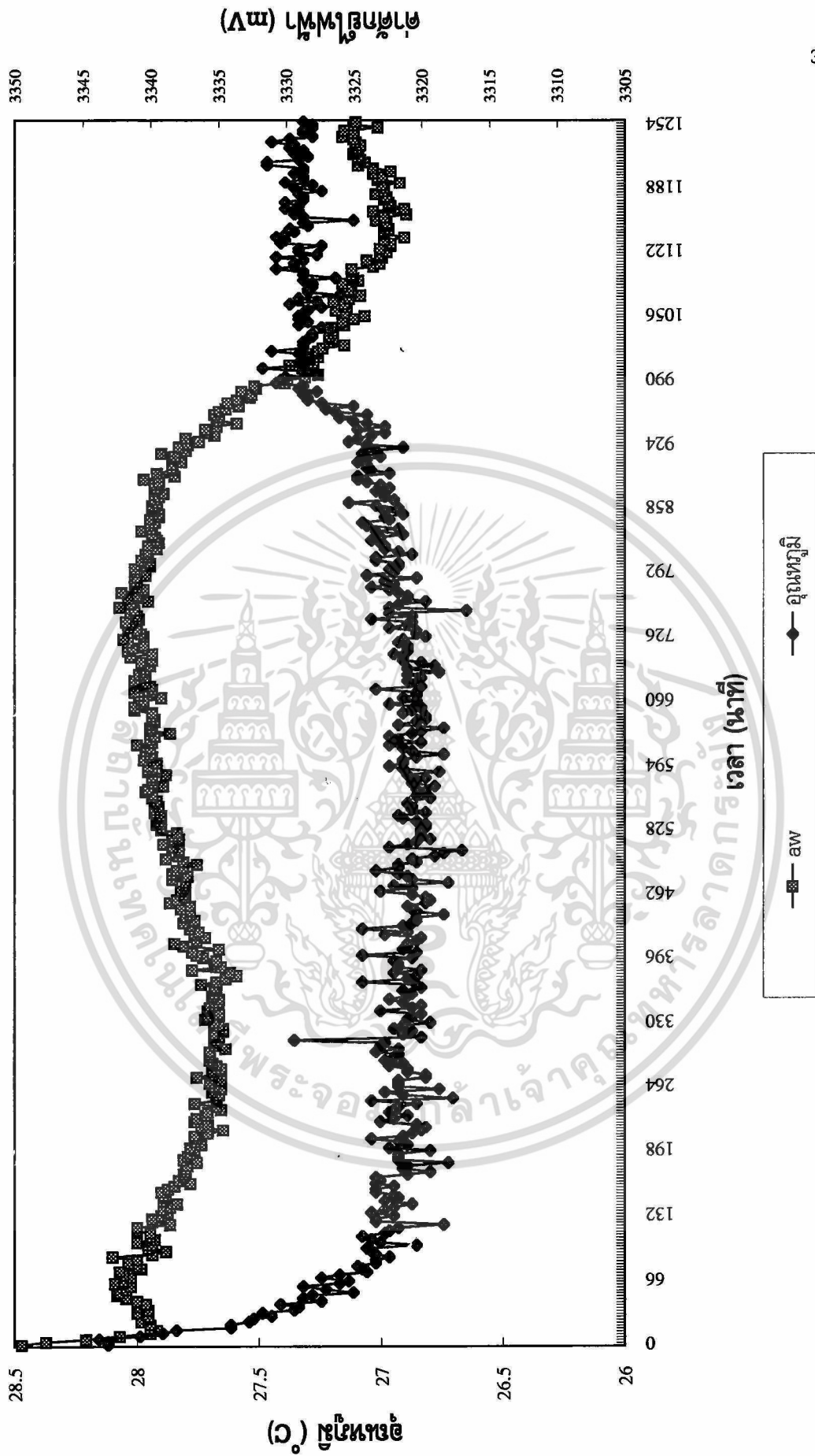


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ 4.8 : กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าคัตกียไฟฟ้าของสารละลายเกลือ NaCl อิมิตัว ครั้งที่ 1

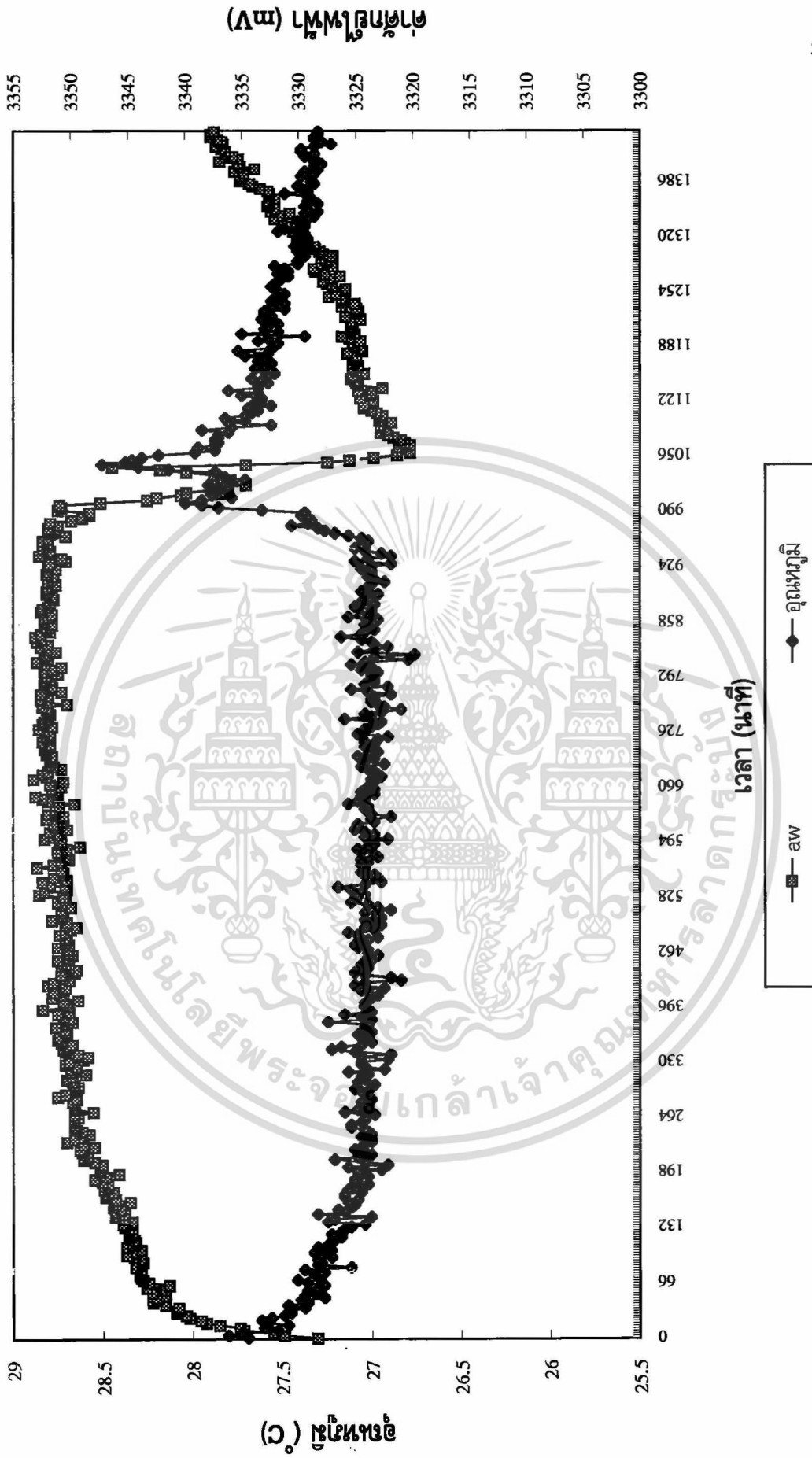


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

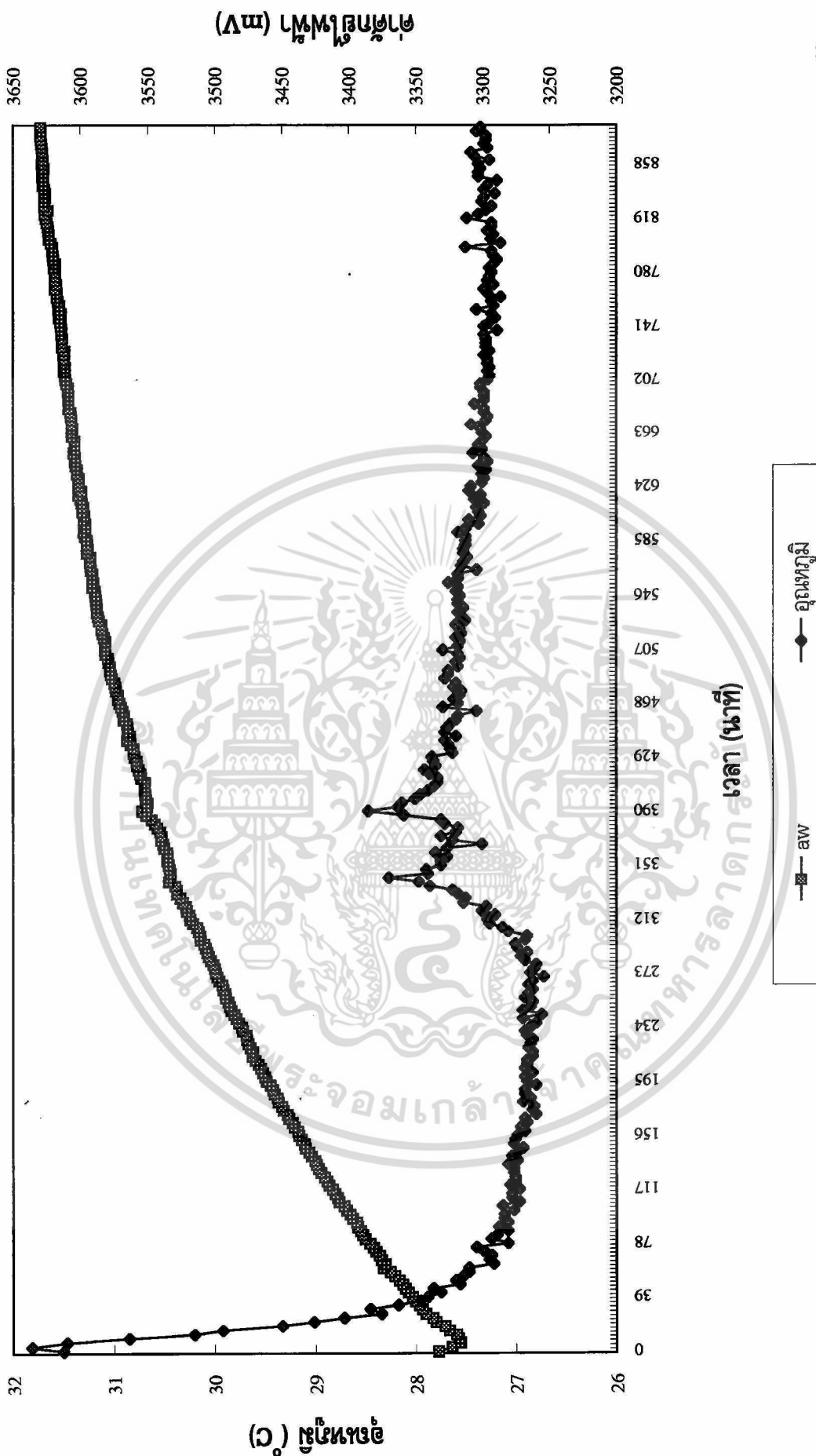
รูปที่ 4.9 : กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีไฟฟ้าของสารละลายเกลือ NaCl อิ่มตัว ครั้งที่ 2



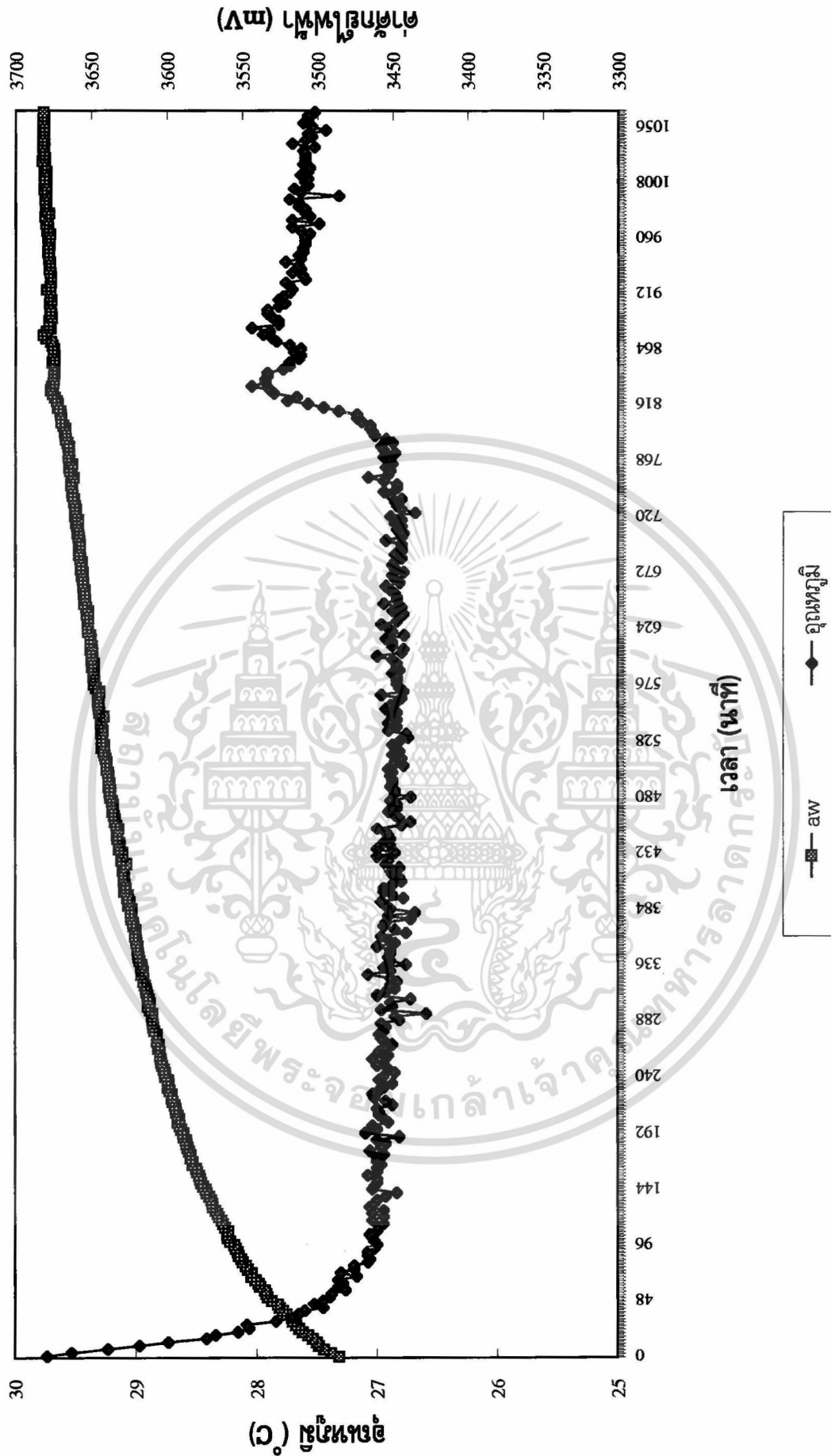
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ารูปที่ 4.10: กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $(NH_4)_2SO_4$ อิ่มตัว ครั้งที่ 1 ไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.11 : กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $(NH_4)_2SO_4$ อิมัตัว ครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะในรูปแบบที่ 4.12 : กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลือ BaCl₂ อิมิตัว ครั้งที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.13 : กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีไฟฟ้าของสารละลายเกลือ $BaCl_2$ อิมิตัว ครั้งที่ 2

จากค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้พบว่าสารละลายเกลืออิมตัวทั้ง 5 ชนิดมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุดความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (ค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้มีค่าคงที่คือมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.04 V ซึ่งจะให้ค่า a_w ที่แตกต่างกันไม่เกิน 0.01 a_w unit) ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 : ค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายเกลืออิมตัว 5 ชนิดที่จุดความชื้นสัมพัทธ์สมดุล

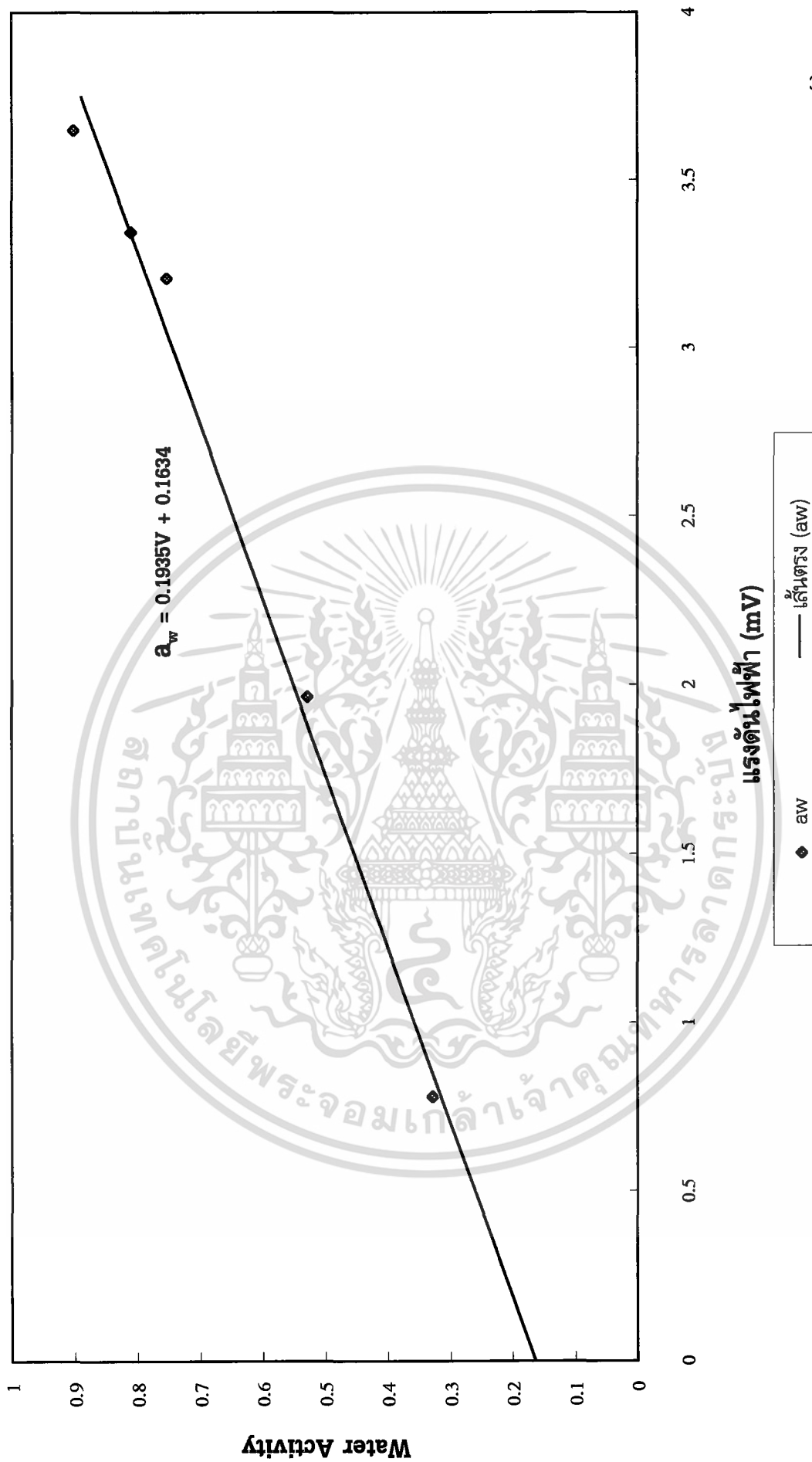
สารละลายเกลืออิมตัว	a_w	ค่าศักย์ไฟฟ้า (V)		เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
MgCl ₂	0.328	0.7810	0.7817	0.7814
Mg(NO ₃) ₂	0.529	1.9674	1.9626	1.9556
NaCl	0.753	3.2233	3.1886	3.2059
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.810	3.3372	3.3504	3.3438
BaCl ₂	0.902	3.6180	3.6816	3.6498

จากค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุดความชื้นสัมพัทธ์สมดุลที่อ่านได้นำมาเขียนกราฟเพื่อดูแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w และค่าศักย์ไฟฟ้า พบว่ามีความสัมพันธ์กันในรูปเส้นตรง (Linear) ดังแสดงในรูปที่ 4.14

จากแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่ได้นำมาวิเคราะห์หาสมการของความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel จะได้สมการของความสัมพันธ์คือ

$$a_w = 0.1935V + 0.1634$$

โดยมีค่า $R^2 = 0.98$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดรูปที่ 4.14 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้า (V) กับ Water Activity ที่มีการนำไปใช้

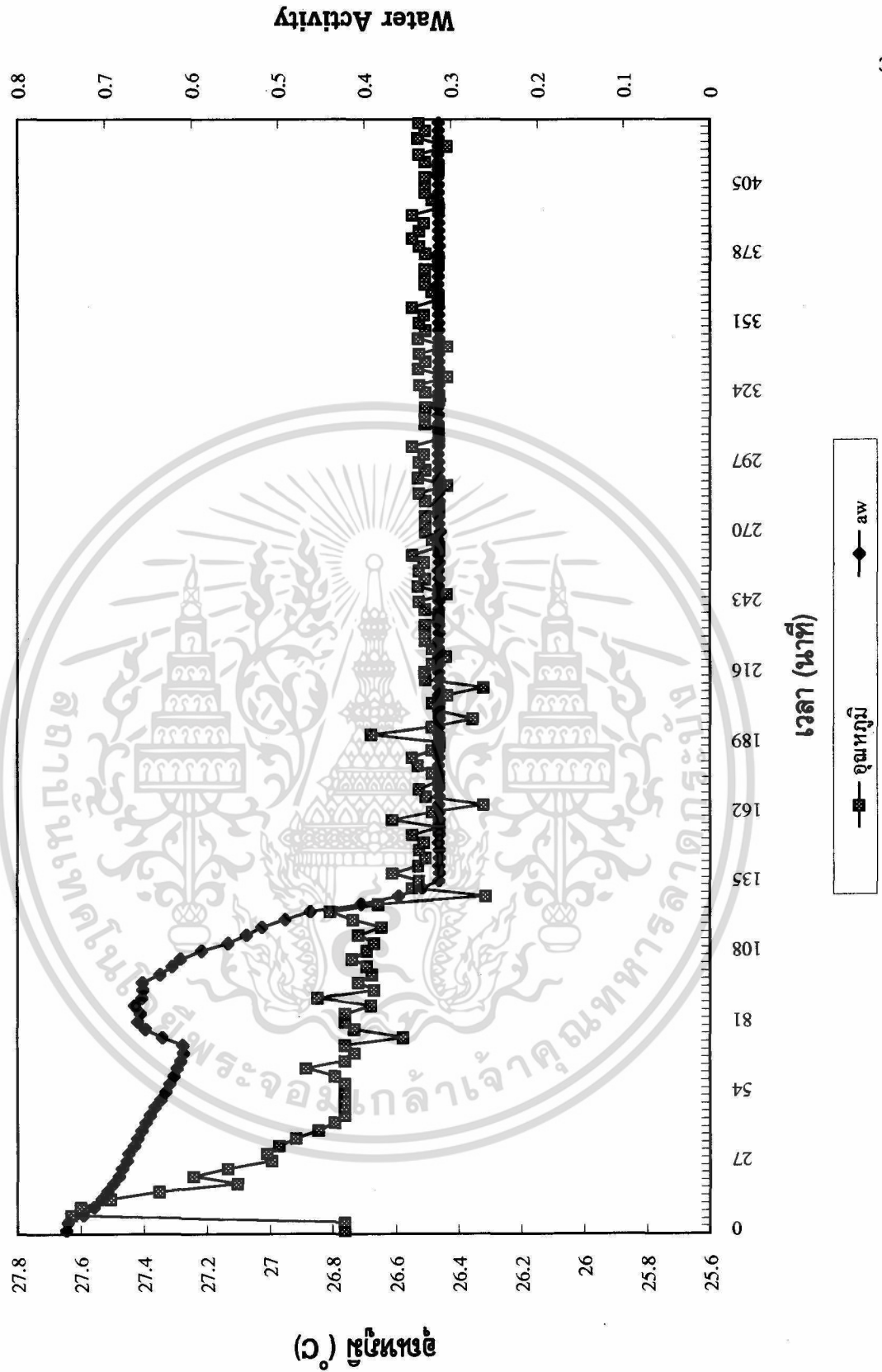
4.3 ผลการตรวจสอบค่าความถูกต้องของเครื่องวัด Water Activity

การตรวจสอบค่าความถูกต้องโดยการวัดค่า a_w ของสารละลายเกลืออิมิตัว 4 ชนิด คือ แมกนีเซียมคลอไรด์ โซเดียมไนเตรท โพแทสเซียมโบรไมด์ และโพแทสเซียมคลอไรด์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 : ค่า a_w มาตรฐานและค่า a_w ที่วัดได้

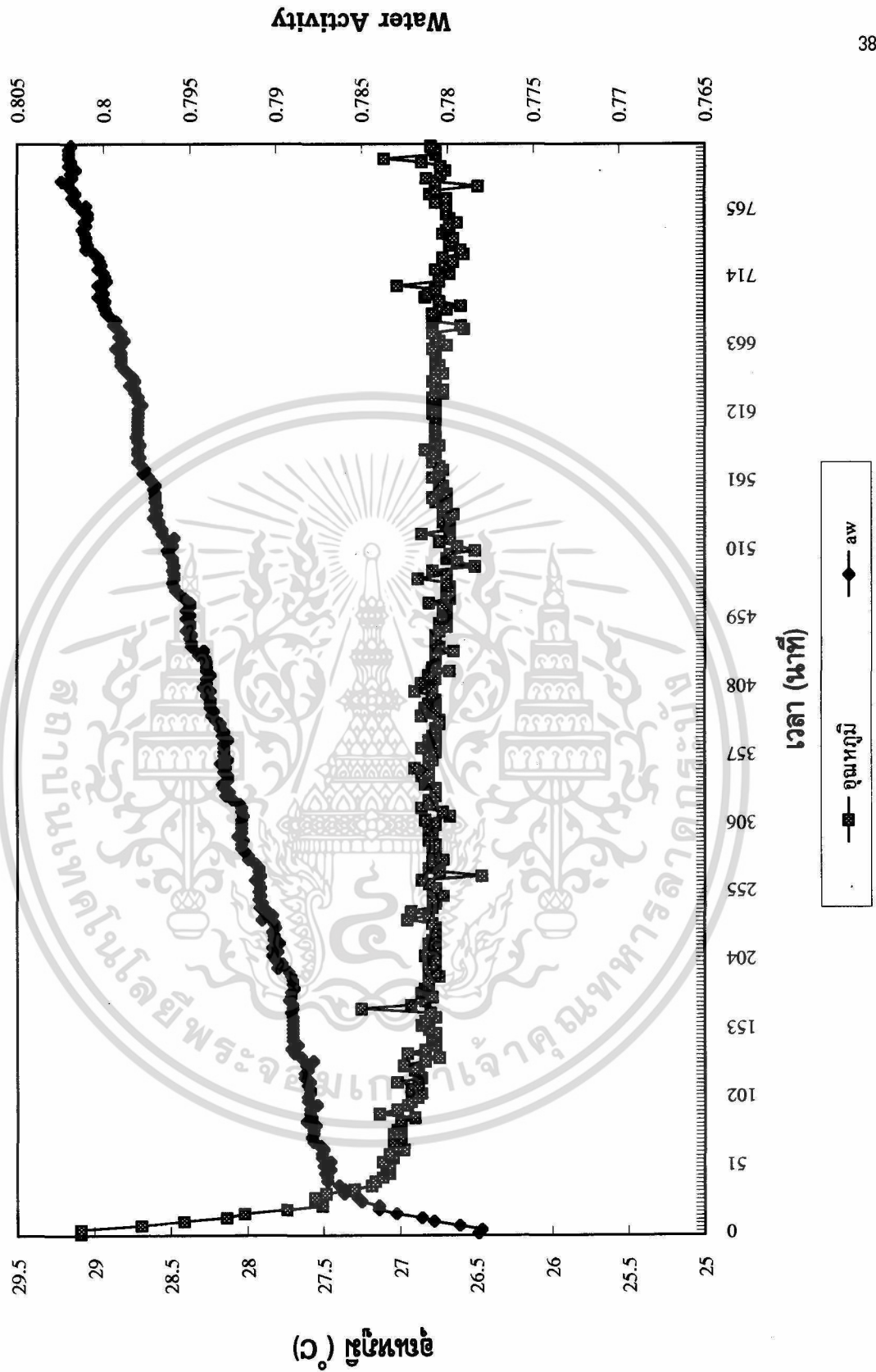
สารละลายเกลืออิมิตัว	ค่า a_w มาตรฐาน	ค่า a_w ที่วัดได้	ผลต่าง	%ความผิดพลาด
MgCl ₂	0.328	0.315	0.013	3.96
NaNO ₃	0.743	0.788	0.045	6.06
KBr	0.809	0.810	0.001	0.12
KCl	0.843	0.854	0.011	1.30
%ความผิดพลาดเฉลี่ย (RMSE)				2.41%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



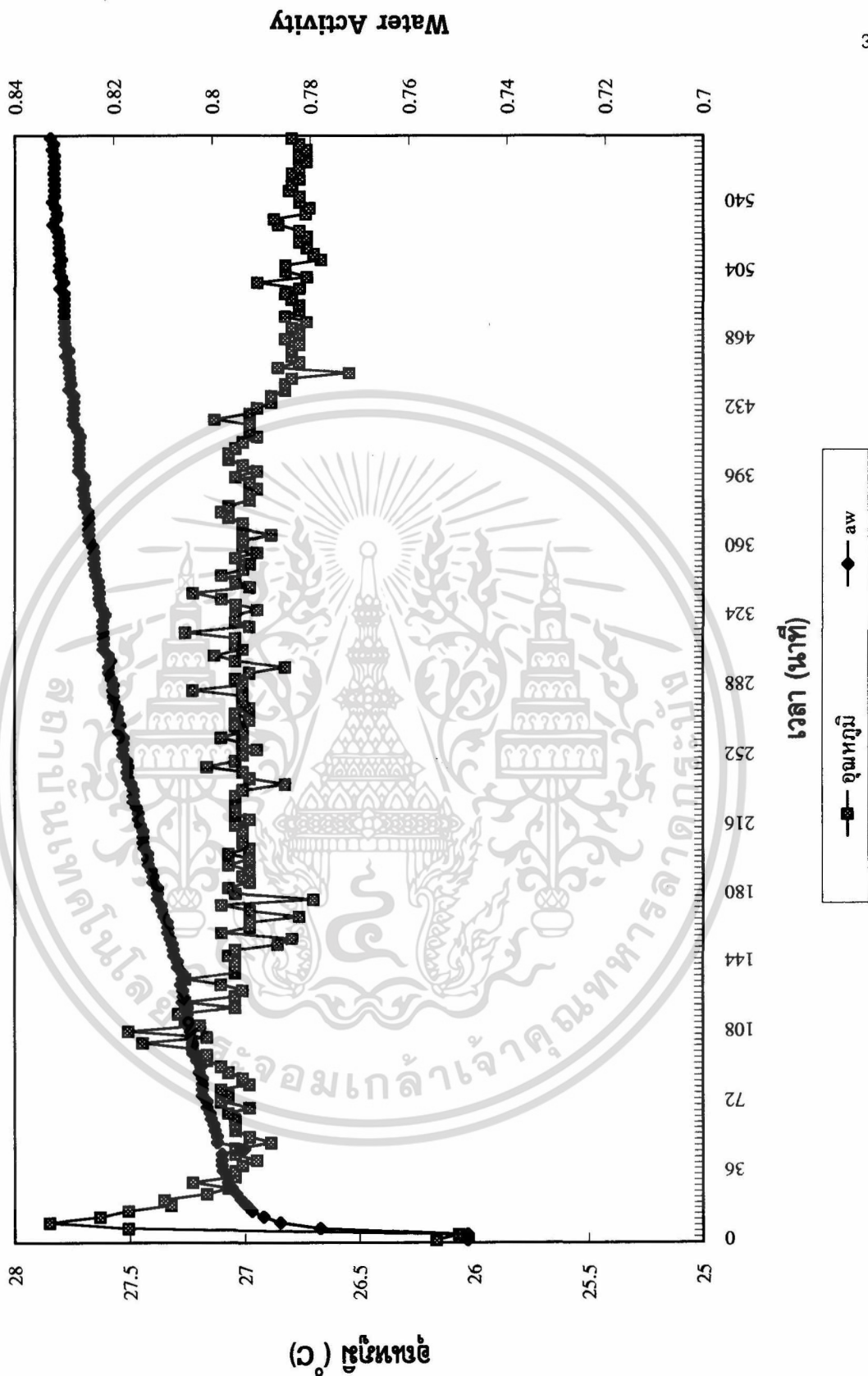
รูปที่ 4.15 : กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity ของสารละลายเกลืออิมตัว $MgCl_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



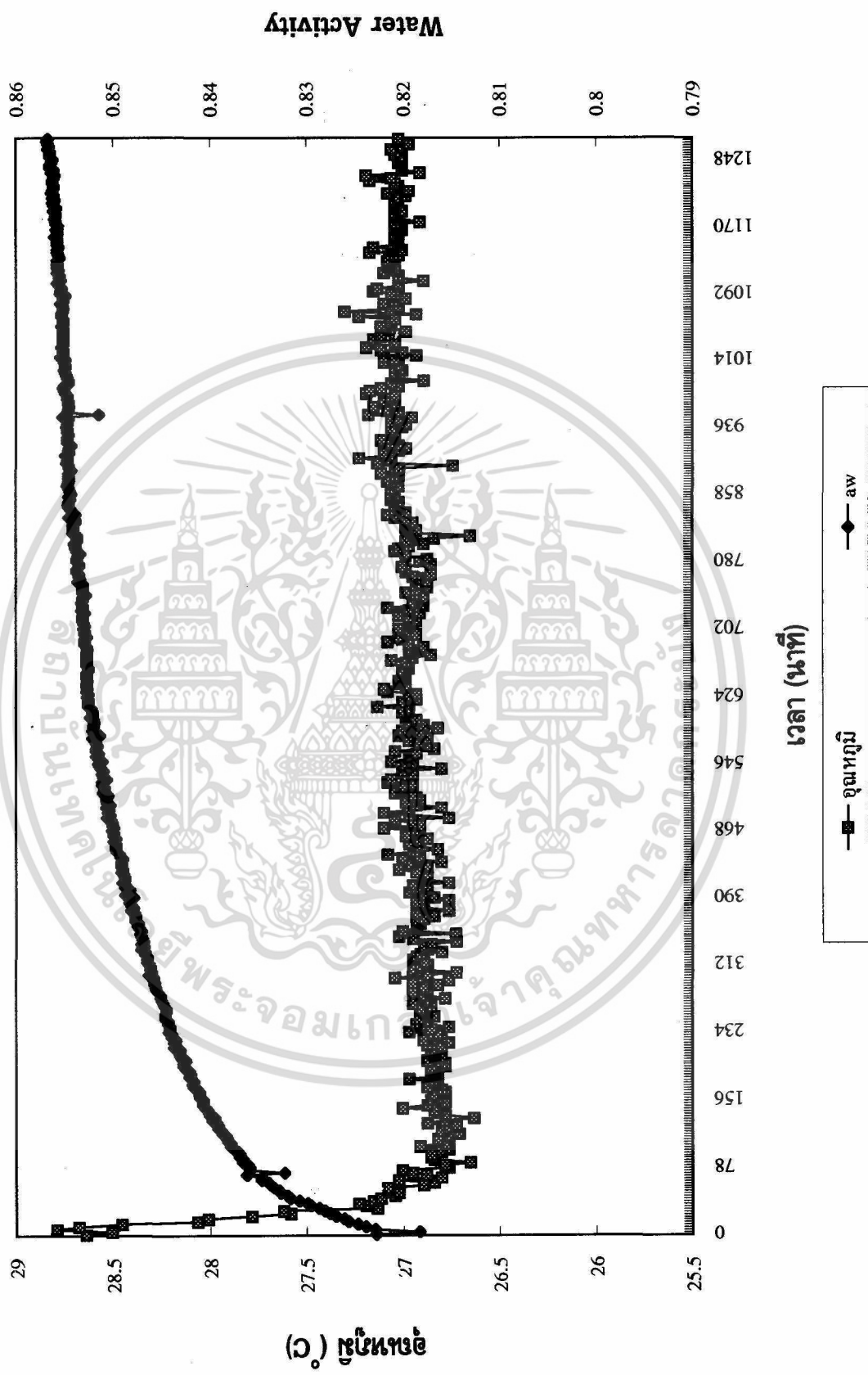
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 : กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity ของสารละลายเกลืออิมตัว NaNO_3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 : กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity ของสารละลายเกลืออิมตัว KBr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.18 : กราฟแสดงการวัดค่า Water Activity ของสารละลายเกลืออิ่มตัว KCl

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เครื่องมือวัดค่า Water Activity ที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วยระบบต่างๆ ดังนี้คือ

(1) ระบบทำความเย็นและควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วย ชุดทำความเย็นขนาด 300 BTU พัดลมขนาด $0.102 \text{ m}^3/\text{sec}$ เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Fenwal) Magnetic Switch Mitsubishi ขนาด 220 watt หัววัดอุณหภูมิ RTD 100 Ω และ ชุดทำความร้อนขนาด 500 watt

(2) ระบบสำหรับวัดและแปลงค่าสัญญาณ ประกอบด้วย โปรแกรมสำเร็จรูป PC-Lab Das Multiplex Amplifier with V/I Source Card รุ่น PCLD-7702 Signal Conditioning Carrier Board รุ่น PCLD-770 และ High Performance DAS Card รุ่น PCL 818

จากการศึกษาและทดลองวัดค่า a_w โดยเครื่องที่สร้างขึ้นพบว่า การควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ และจากการทดลองวัดค่า a_w ของสารละลายเกลืออิมตัว 4 ชนิด คือ แมกนีเซียมคลอไรด์ โซเดียมไนเตรท โปแตสเซียมโบรไมด์ โปแตสเซียมคลอไรด์ พบว่าได้ค่า a_w เท่ากับ 0.315 0.788 0.810 0.854 ตามลำดับ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.96% 6.06% 0.12% 1.30% ตามลำดับ ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเท่ากับ 2.41%

การวัดค่า a_w ดังกล่าวมีค่าความผิดพลาดเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ 3 ประการ คือ

(1) ข้อจำกัดของหัววัดแบบ Thin film capacitance ที่ใช้ ซึ่งสามารถวัดค่า a_w ได้ในช่วง 0.15-0.9 a_w unit

(2) ในช่วงค่า a_w ที่ต่ำหรือสูงมากเกินไป ค่าความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในอาหารและอากาศจะมีค่ามากทำให้เกิดการถ่ายเทความชื้นระหว่างอาหารและอากาศเกิดขึ้นได้มาก ทำให้ที่จุดสมดุลค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้มีค่าแตกต่างไปจากค่าจริงของอาหารมาก

(3) จากผลการทดสอบอุณหภูมิในขวดที่ใส่สารละลายเกลืออิมตัวพบว่ามีอุณหภูมิคงที่ ประมาณ 26.6°C ซึ่งสูงกว่า 25°C มากทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิโดย Fenwal จะใช้ระบบการตั้งค่าควบคุมอัตโนมัติ (PID Autotuning) ซึ่งเป็นระบบที่ทำให้มีค่าความแปรปรวนต่ำที่สุด ตัวควบคุมจะเป็นตัววิเคราะห์ค่าต่างๆ ให้โดยอาศัยปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่ออุณหภูมิ เช่น อุณหภูมิภายนอกตู้ ดังนั้นควรมีการตั้งค่าควบคุมอัตโนมัติ ใหม่ทุกครั้ง

5.2.2 ควรมีการปรับเทียบค่าหัววัด %RH อย่างน้อย 1 ครั้งต่อสัปดาห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

นฤตม บุญหลง, 2532. **การควบคุมคุณภาพอุตสาหกรรมเกษตร**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535, **วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร** . โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพมหานคร, 284 หน้า.

AOAC. 1985. **Official Methods of Analysis**, 13th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists, 537-538 pp.

Labuza,T.P. 1980. The Effect of Water Activity on Reaction Kinetics of Food Deterioration, **Food Technology**, 34 : 36-41.

Labuza,T.P. 1984. **Moisture Sorption :Practical Aspect of Isotherm Measurement and Use**. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, St.Paul, 150 pp.

Leunk,H.K.1986.Water Activity and Other Colligative Properties of Foods. In:M.R. Okos (ed). **Physical and Chemical Properties of Food**. Michigan:. ASAE pubication, 138-170pp.

Scott,V.N., and Bernard,D.T. 1983. Influndce 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



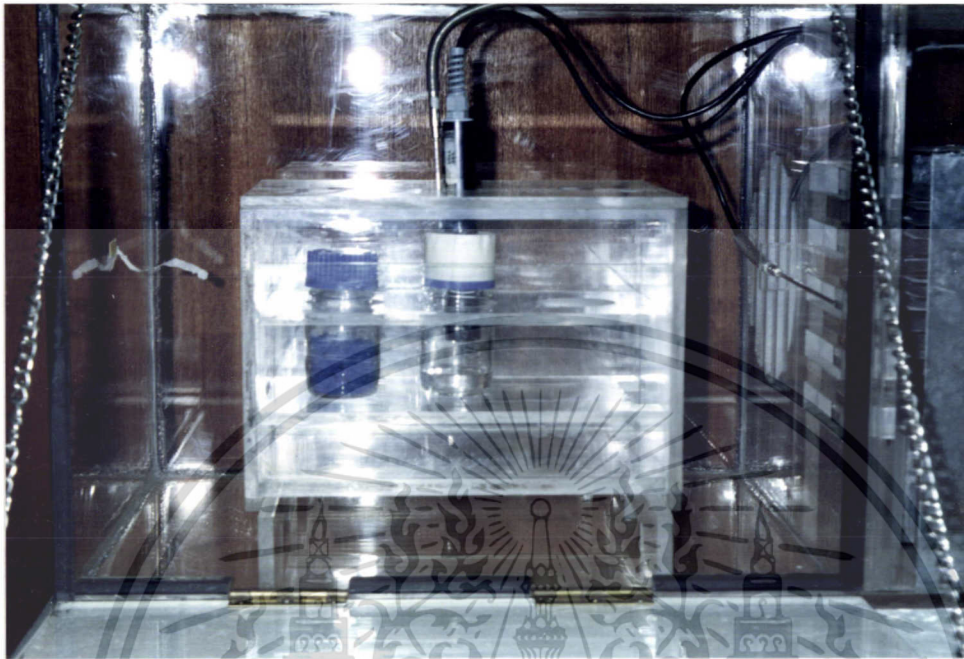
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
อุปกรณ์และเครื่องมือ



รูปที่ 1ก : เครื่องวัดค่า a_w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

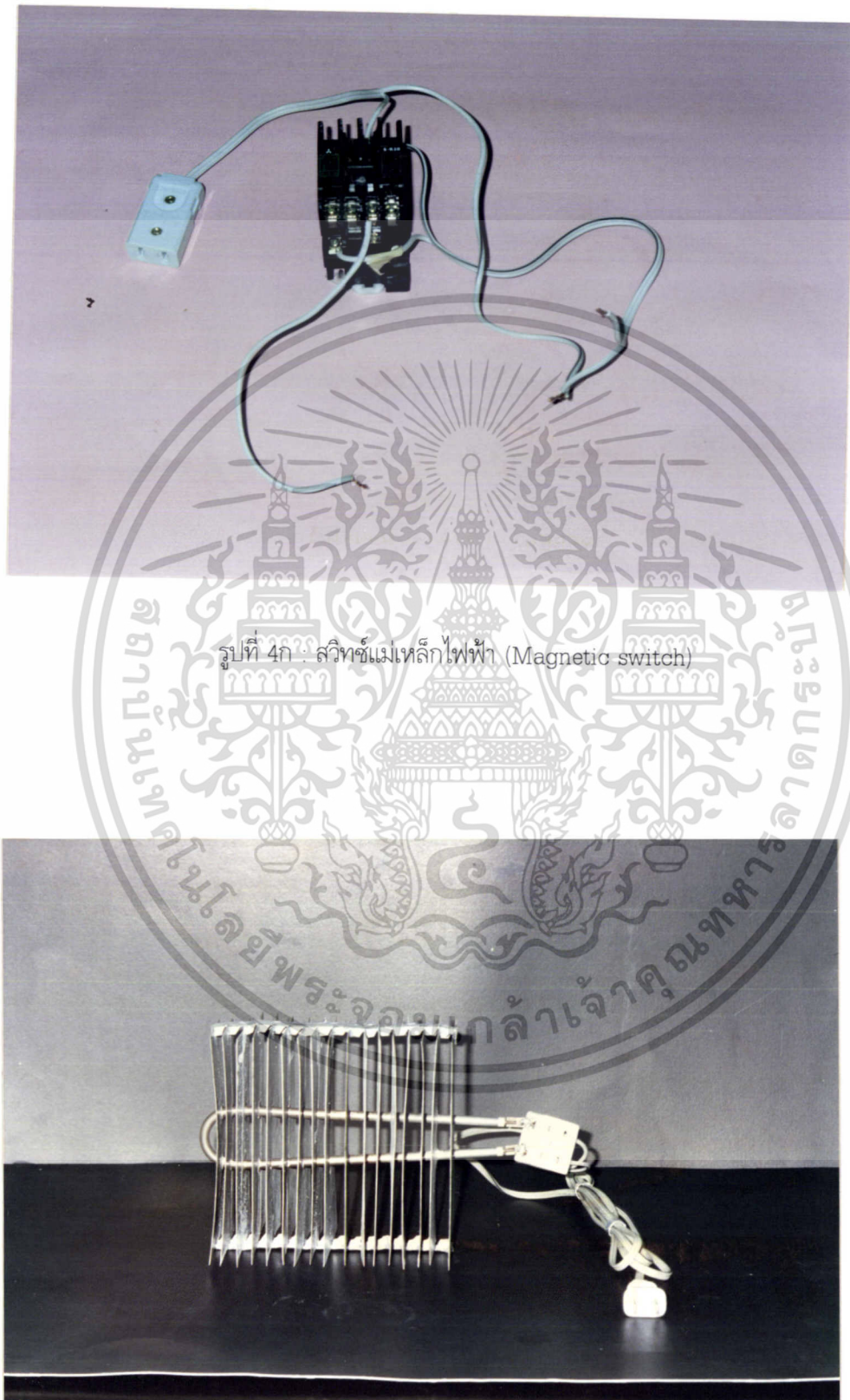


รูปที่ 2ก : Insulated box

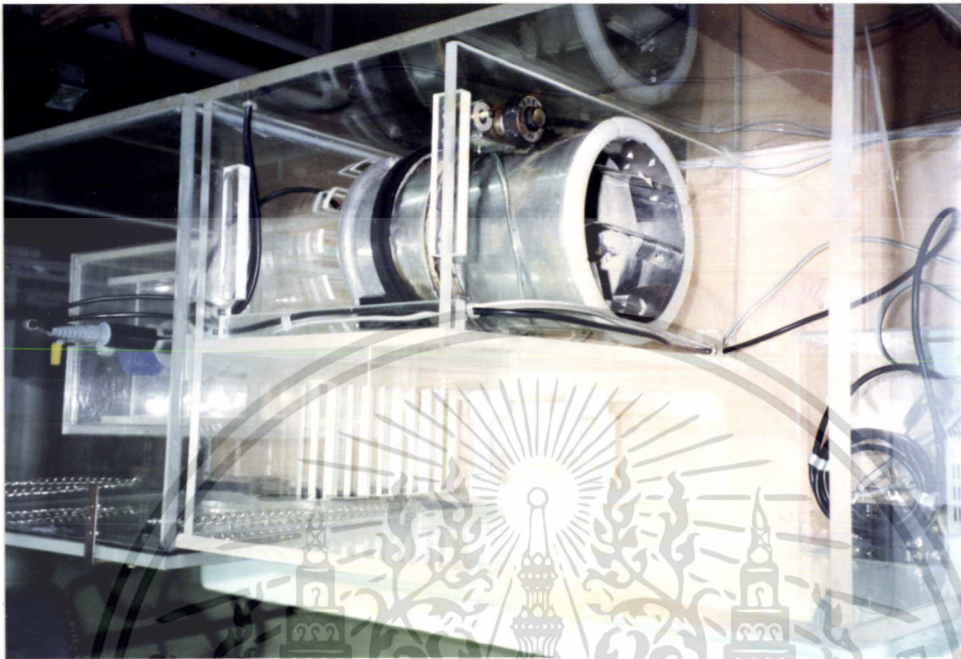


รูปที่ 3ก : เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Fenwal)

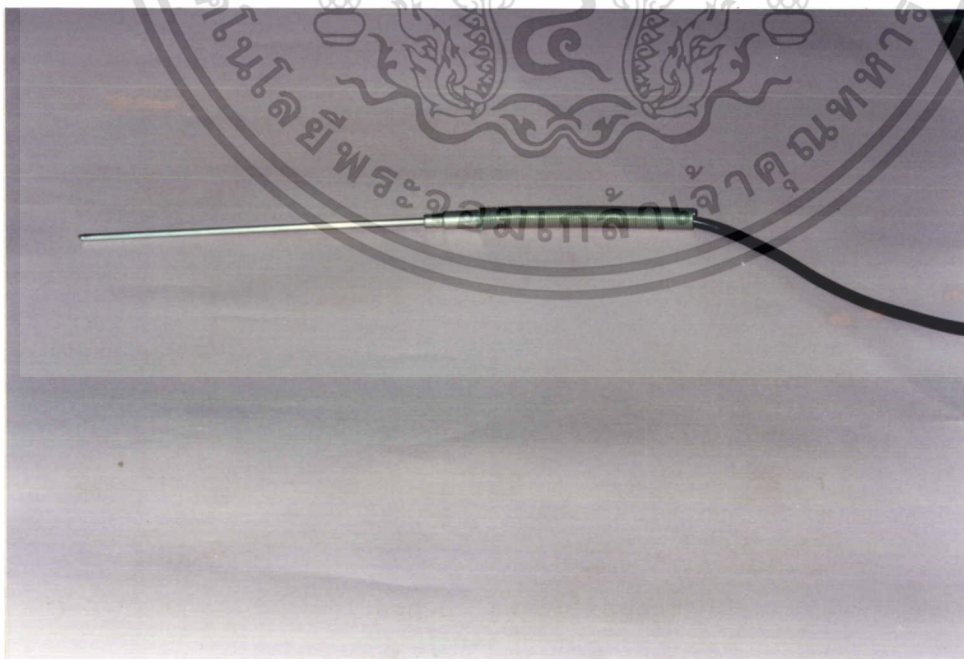
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



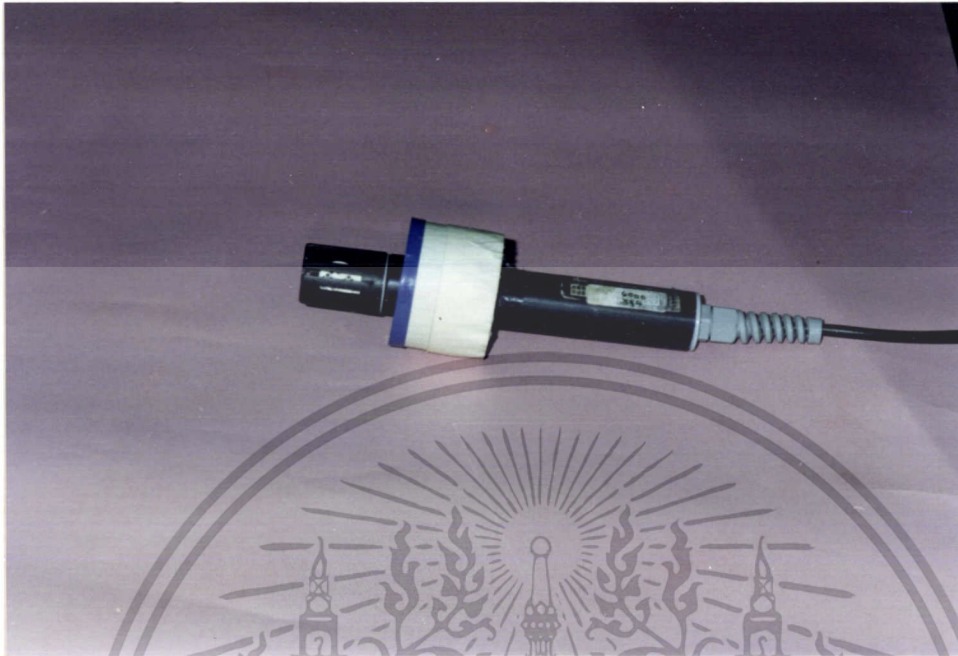
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 5ก : ชุดทำความร้อน (Heater) ม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



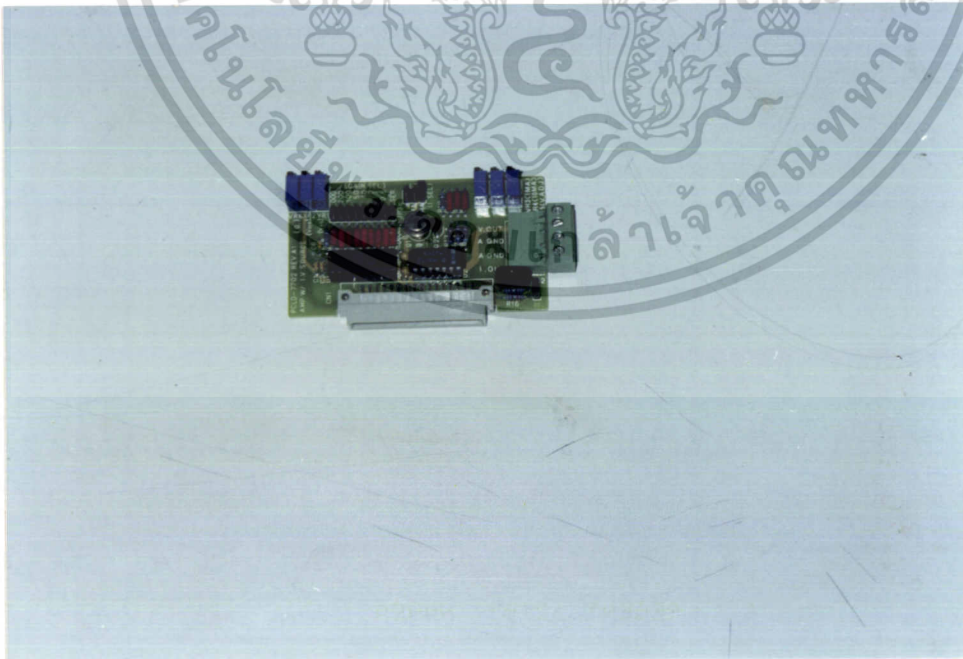
รูปที่ 6ก : ชุดทำความเย็นและพัฒน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 7ก ฝั่งหัววัดอุณหภูมิ (RTD 100Ω) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

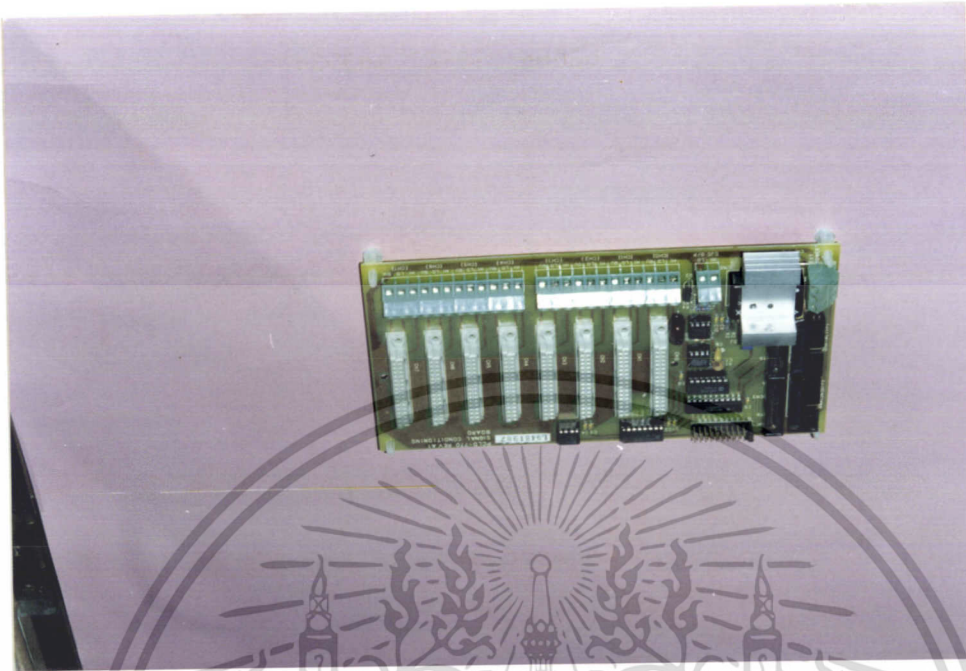


รูปที่ 8ก : หัววัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (Thin Film Capacitance)

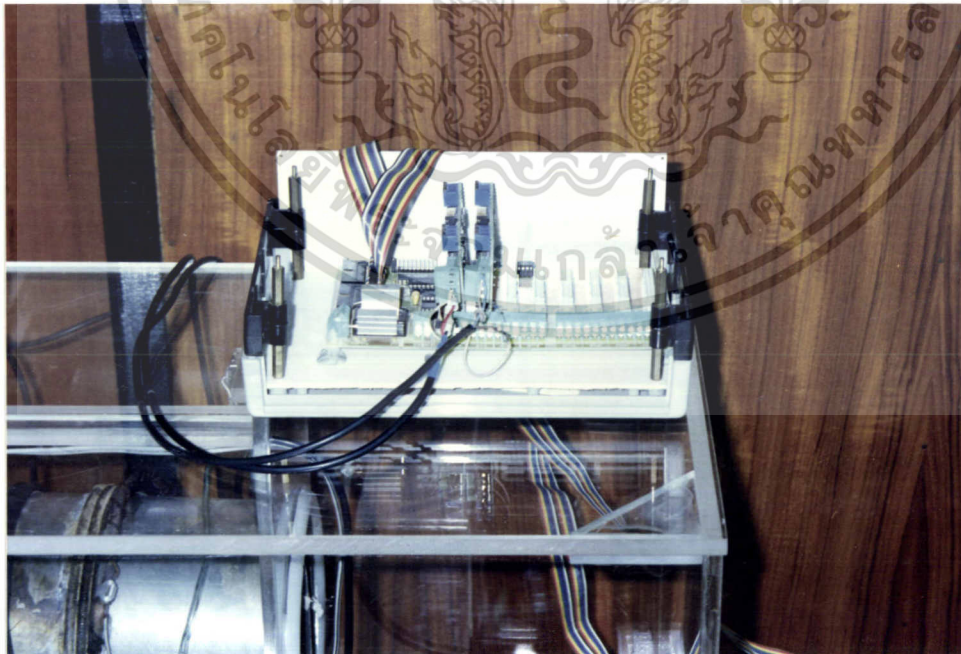


รูปที่ 9ก : Multiplex Amplifier with V/I Source Card รุ่น PCLD-7702

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10ก : Signal conditioning Carrier Board รุ่น PCLD-770



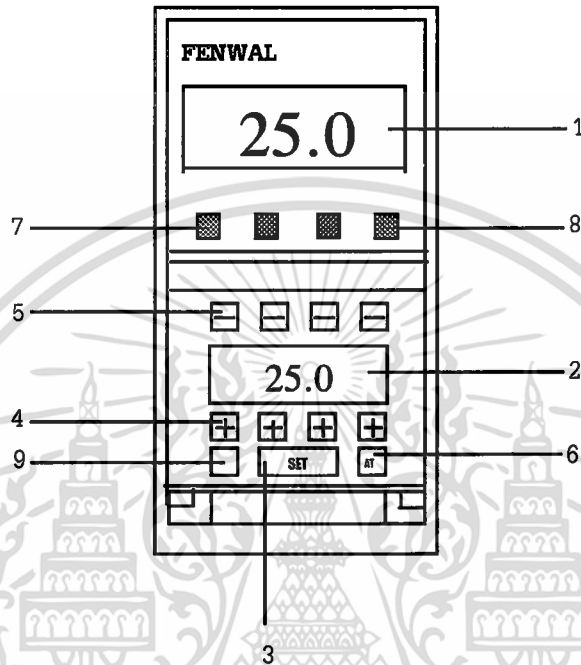
รูปที่ 11ก : การต่อการ์ดเข้าบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตัวควบคุมอุณหภูมิ

ลักษณะของเครื่อง



1. จอ LED สีแดงแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดขณะนั้น
2. จอ LED สีเขียวแสดงค่าอุณหภูมิที่ตั้ง (SV) เพื่อควบคุม
3. ปุ่ม "SET"
4. ปุ่มกด (เพิ่ม) "+"
5. ปุ่มกด (ลดลง) "-"
6. ปุ่มกดเพื่อทำ AUTO-TUNING "AT"
7. หลอดไฟแสดงการทำงานของ OUT PUT
8. หลอดไฟแสดงว่าเครื่องกำลังตั้งค่า PID โดยอัตโนมัติหลังกดปุ่ม "AT" ไฟจะดับเมื่อเครื่องตั้ง

ค่า PID เสร็จแล้ว

9. ปุ่มเปิด - ปิด ไฟซ์พหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งอุณหภูมิ

1. กดปุ่ม "SET" จอสีแดงมีตัวอักษร "S.P"
2. กดปุ่มบวก "+" หรือปุ่มลบ "-" เพื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมบนจอสีเขียว
3. กดปุ่ม "SET" อีกครั้งก็เสร็จสมบูรณ์ จอสีแดงจะแสดงค่าที่กำลังวัดได้ จอสีเขียวแสดงค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม

ตารางที่ 1ข : แสดง โดัด ชนิดของหัววัด และช่วงการวัดต่ำสุดถึงสูงสุด

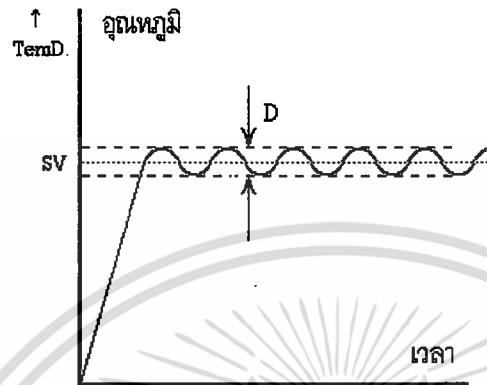
โดัด	ชนิดหัววัด	ช่วงการวัดต่ำสุด-สูงสุด
1	T/C แบบ K (JIS&DIN)	-100 ~ 1,200 °C
2	T/C แบบ J (JIS)	-100 ~ 800 °C
3	T/C แบบ J (DIN)	-100 ~ 800 °C
4	T/C แบบ T (JIS)	-150 ~ 300 °C
5	T/C แบบ T (DIN)	-150 ~ 300 °C
6	T/C แบบ R (JIS&DIN)	0 ~ 1,600 °C
7	Pt 100 Ω (1 °C °F)	-200 ~ 400 °C
8	Pt 100 Ω (0.1 °C °F)	-200.0 ~ 400.0 °C
9	4 ~ 20 mA	0 ~ 1,999
10	1 ~ 5 VAC	0 ~ 199.9 0 ~ 19.99
11	1 ~ 10mVDC	0 ~ 1.999
12	1 ~ 20 mVDC	หน่วยเป็นอะไรก็ได้เป็น psi, bar, %RH, Ph, Kg, gm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งโหมดการควบคุม

1. ON-OFF

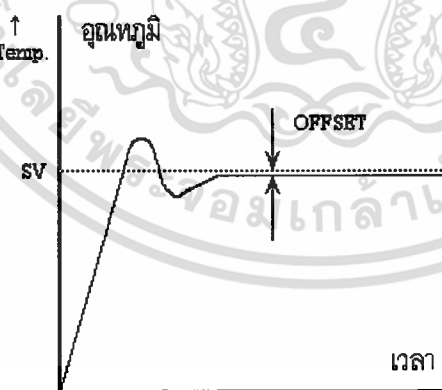
ใช้กับงานที่ไม่จำเป็นต้องให้มีอุณหภูมิคงที่ ที่จุดอุณหภูมิที่ตั้งไว้ อุณหภูมิจะขึ้นลงเล็กน้อย (D)



รูปที่ 1ข : ลักษณะสัญญาณในการตั้งโหมดแบบ ON-OFF

2. P PI PD

ใช้กับงานที่ต้องการอุณหภูมิที่คงที่มากขึ้น

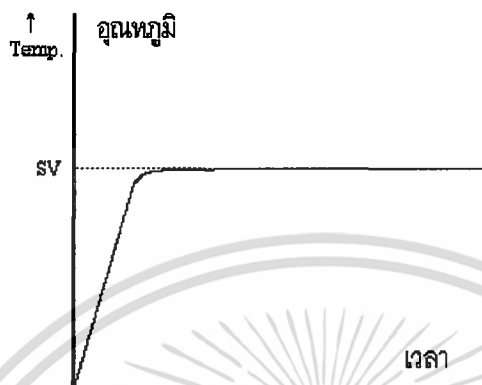


รูปที่ 2ข : ลักษณะสัญญาณในการตั้งโหมดแบบ P, PI, PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. PID และ PID Autotuning

ใช้กับงานที่จำเป็นต้องให้อุณหภูมิคงที่ตลอดเวลา (อุณหภูมิจะอยู่ที่ S.V ตลอดเวลา S.V คือ อุณหภูมิที่ตั้งไว้)



รูปที่ 3ข : ลักษณะการตั้งโหมดแบบ PID และ PID Autotuning

วิธีการโปรแกรมเครื่องแบบย่อ

1. เปิดไฟซ์พปลายแล้วกดปุ่ม “+” ซ้ายมือสุดและปุ่มบวก“+” ขวามือสุด (ที่อยู่ด้านใต้ของจอ LED สีเขียว) พร้อมกันประมาณ 15 วินาที จนจอ LED สีแดงแสดง “InPt”
2. ให้โปรแกรมตามตารางที่ 2ข โดยแต่ละขั้นตอนเมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วให้กดปุ่ม “SET” เพื่อไปโปรแกรมตัวต่อไป ถ้าจอ LED สีแดงแสดงผลเป็นอย่างอื่นให้กดปุ่ม “SET” เพื่อไปขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ข : แสดงวิธีการโปรแกรมเครื่องแบบย่อ

จอ LED สีแดง	วิธีโปรแกรม
InPt (เลือกชนิดหัววัด)	ให้เลือกโค้ดของหัววัดตามตารางที่ 1ข โดยกดปุ่มบวก "+" ให้จอสีเขียวแสดงโค้ดของหัววัด (1-13) แล้วกดปุ่ม "SET"
Unit	ให้เลือกที่จะให้หัววัดเป็น °C หรือ °F กดปุ่มบวก "+" ขวามือสุด จอสีเขียวจะแสดง °C หรือ °F
H =	ให้เลือกค่าสูงสุดที่จะวัด โดยการกดปุ่มบวก "+" หรือ กดปุ่มลบ "-" ในแต่ละตำแหน่ง
L =	ให้เลือกค่าต่ำที่สุด
Std	ให้เลือกว่าเป็น "DIN" ถ้าหัววัดใช้มาตรฐานเยอรมัน หรือ "JIS" ถ้าเป็นมาตรฐานญี่ปุ่น
Cont	ให้กดปุ่มบวก "+" หรือปุ่มลบ "-" ให้จอ LED สีเขียวแสดง "0000" ถ้าต้องการโหมดควบคุมเป็นแบบ ON-OFF "1000" ถ้าต้องการโหมดควบคุมเป็นแบบ P "1100" ถ้าต้องการโหมดควบคุมเป็นแบบ PI "1110" ถ้าต้องการโหมดควบคุมเป็นแบบ PID
Pb =	ตั้งค่า P (Proportion Band) สำหรับโหมด P,PI,PID
I =	ตั้งค่า I (Integral)
D =	ตั้งค่า D (Derivative) (การโปรแกรมโหมดควบคุมแบบ PID Autotuning เมื่อเสร็จการตั้งโปรแกรมแล้วกดปุ่ม "AT" เครื่องจะตั้งค่า P,PI เองโดยอัตโนมัติ)
S.P.	ตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมใช้ปุ่ม "+" และ "-"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การเตรียมสารละลายเกลือ

เกลือที่นำมาใช้มี 2 แบบคือ

เกลือที่ละลายได้น้อย  1.5 cm. ของขวด Masonและเกลือที่ละลายได้มาก  4.0 cm. ของขวด Mason

เติมน้ำ 2 ml ละลายและคนด้วยสเปดตุลา

เติมน้ำและคนจนเกลือไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีกโดยสังเกตจากสารละลาย
ไม่มีผลึกเกลือเหลืออยู่โดยให้น้ำที่เกินมาน้อยที่สุดเพื่อให้ได้สารละลายเกลือที่อิ่มตัว

ตารางที่ : แสดงค่า Water Activity สารละลายเกลืออิ่มตัวที่ 25 องศาเซลเซียส

เกลืออิ่มตัว	a_w	เกลืออิ่มตัว	a_w
MgCl ₂	0.328	KBr	0.809
K ₂ CO ₃	0.432	(NH ₄) ₂ SO 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 ₂ SO ₄	0.973
NaCl	0.753		

ที่มา : AOAC (1985)

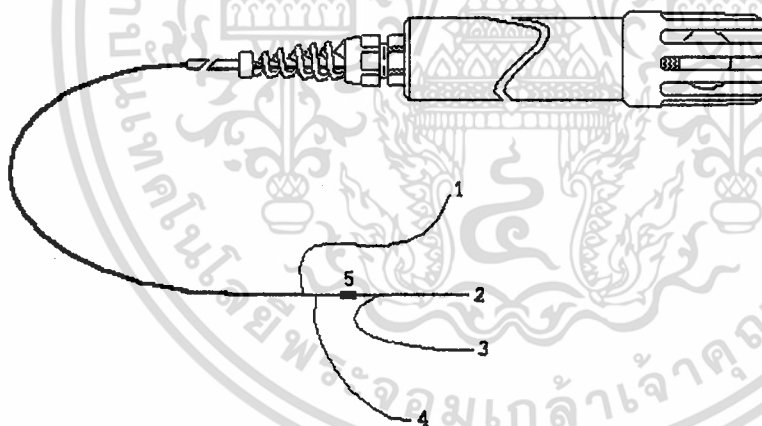
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การต่อสายหัววัดกับ Multiplex Amplifier with V/I Source Card และ การปรับค่ากระแสและศักย์ไฟฟ้าของการ์ด

1. การต่อสายหัววัดอุณหภูมิ RTD 100 Ω
 - 1.1 สายสีขาต่อเข้า A.GND ของการ์ด
 - 1.2 สายสีแดงต่อเข้า I.OUT ของการ์ด
 - 1.3 สายสีดำเข้า LO ของ chanel ที่ต่อการ์ดเข้าบอร์ด
 - 1.3 ต่อสายพ่วงกับ I.OUT ของการ์ดและ HI ของ chanel ที่ต่อการ์ดเข้าบอร์ด

2. การต่อสายหัววัด %RH Thin Film Capacitance



- 2.1 สายสีฟ้าหมายเลข 1 ต่อ V. OUT
- 2.2 สายสีน้ำตาลหมายเลข 2 ต่อ A. GND
- 2.3 สายสีน้ำตาลหมายเลข 3 ต่อ LO ของบอร์ด
- 2.4 สายสีน้ำตาลหมายเลข 4 ต่อ HI ของบอร์ด
- 2.5 ตัวต้านทานหมายเลข 5 ขนาด 250 Ω

Technical Data (Thin Film Capacitance ; EWHS 28)

Power supply : 9 to 20 VDC

Power consumption : 20 mA (max)

Protection : diode against reverse polarity

Ambient temperature : +14 to +158 °F (operating)

-22 to +176 °F (storage)

Sensor type : Capacitive

Operating range : 15 to 90%RH

Accuracy : 5%

Response time : less than 60 seconds

Output signal : 3 to 18 mA (15 to 90%RH)

External load : max. 120 Ω

3. การปรับค่ากระแสของการ์ด

1. ต่อตัวต้านทานเข้ากับ I.OUT และ A.GND ของการ์ด
2. เลือกค่ากระแสที่ JP1 ที่ต้องการ (1 mA หรือ 10 mA)
3. วัดค่าศักย์ไฟฟ้าคล่อมตัวต้านทาน (ค่าศักย์ไฟฟ้าจะอ่านได้เท่ากับ IR)
4. ปรับค่าความศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้ให้เท่ากับค่าที่คำนวณได้ โดยปรับที่ VR3 เมื่อเลือกค่ากระแสที่

JP1 1mA และปรับที่ VR4 เมื่อเลือก 10mA

4. การปรับค่าศักย์ไฟฟ้าของการ์ด

ค่าศักย์ไฟฟ้าของการ์ดจะมีค่าเท่ากับ 6.9 โวลต์ ถ้ามีค่าผิดไปให้ทำการปรับค่าดังนี้

4.1 วัดค่าศักย์ไฟฟ้าของการ์ดด้วย Digital Multi Meter โดยต่อขั้วบวกกับ V.OUT และขั้วลบกับ A.GND

4.2 ปรับ VR5 จนค่าศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 6.9 โวลต์

ภาคผนวก จ

โปรแกรมภาษาปาสคาล (PASCAL) หาค่าเฉลี่ยจากการบันทึก 15 ค่าทุก 3 นาที

```
{ Program Sum Temp value }
```

```
{ by Apinya (Ju) }
```

```
{ date: 29-1-96 }
```

```
program read Log Data;
```

```
uses crt ;
```

```
var
```

```
Outfi, fi          : TEXT;
```

```
NoUse             : string; { header not use }
```

```
FileName          : string; { input file by key enter }
```

```
OutFileName       : string; { out put }
```

```
oldTime1, time1   : string[10];
```

```
tem1 , rh1       : real;
```

```
oldtem1, oldrh1  : real;
```

```
sumTem1, sumrh1  : real;
```

```
i                : byte;
```

```
Tcount           : integer;
```

```
begin
```

```
  clrscr;
```

```
  write ('Input Filename [drive]:[path][filename] >');
```

```
  readln (Filename);
```

```
  write ('Output Filename [drive]:[path][filename] >');
```

```
  readln (OutFilename);
```

```
  assign (fi, Filename);
```

```
  reset (fi);
```

```
  assign (Outfi, OutFilename);
```

```
  rewrite (Outfi);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for i : = 1 to 9 do begin
    readln (fi, nouse);
    { write (Temp); }
end;
readln (fi, time1, tem1, rh1) ;
oldTime1: = time1;
oldTem1:  = tem1;
oldrh1:   = rh1;
sumTem1:  = oldTem1;
sumRh1:   = rh1;    { append by jit }
Tc:unt:   = 1;
{##### header #####}
clrscr;
writeln('      Millivolt Recorder for Aw ');
writeln;
writeln (Outfi, '      Millivolt Recorder for Aw ');
writeln (Outfi);

writeln ('      Time      SumT1      SumRH1 ');
writeln (' ===== ');
writeln (Outfi, '      Time      SumT1      SumRH1 ');
writeln (Outfi, ' ===== ');

while not eof (fi) do begin
    { read data from file }
    readln (fi, time1, tem1, rh1);
    if time1 = oldTime1 then
        begin
            sumTem1:  = sumTem1 + tem1;
            sumRh1:   = sumRh1 + rh1;
            Tcount:   = Tcount + 1;
            oldTime1: = time1;
        end else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
    write (oldTime1, '      ', sumTem1 / Tcount :6:4);
    writeln ('      ', sumRh1 / Tcount : 6:4);
    write (Outfi, oldTime1,'      ',sumTem1 / Tcount :6:4);
    writeln (Outfi, '      ', sumRh1 / Tcount :6:4);

    oldTime1:  = time1;
    oldTem1:   = tem1;
    oldRh1:    = rh1;
    sumTem1:   = oldTem1;
    sumRh1:    = oldRh1;
    Tcount:    = 1;
end;

end;
write (oldTime1,'      ', sumTem1 / Tcount :6:4);
writeln ('      ',sumRh1 / Tcount :6:4);
write (Outfi, oldTime1,'      ',sumTem1 / Tcount :6:4);
writeln (Outfi, '      ',sumRh1 / Tcount :6:4);
readln;
close (fi);
close (Outfi);
end.

```

~

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายวิฑูรย์ พิมพ์สวัสดิ์

เกิดเมื่อวันที่ 11 ตุลาคม 2515

สถานที่เกิด จังหวัด ฉะเชิงเทรา

ประวัติการศึกษา

ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎ์ฉะเชิงเทรา พ.ศ.2534

ปริญญาตรี วทบ. (อุตสาหกรรมเกษตร)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2539

นายวินัย ฐเนศานุรักษ์

เกิดเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2515

สถานที่เกิด จังหวัด กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนเทพศิรินทร์ พ.ศ.2534

ปริญญาตรี วทบ. (อุตสาหกรรมเกษตร)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2539

น.ส. อภิญญา เสฏฐวิวรรณ์

เกิดเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม 2516

สถานที่เกิด จังหวัด สงขลา

ประวัติการศึกษา

ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนสุราษฎร์ธานี พ.ศ.2534

ปริญญาตรี วทบ. (อุตสาหกรรมเกษตร)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2539



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้