



การสร้างเครื่องมือ เพื่อใช้สอบเทียบตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า
สำหรับงานวัดค่าศักย์นำในดิน



ปราโมทย์ โสวัณณะ

อธิบดี
ห้องสมุดคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. ๒๕๔๑

ISBN 974-661-405-3

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

Copyright by Mahidol University


วิทยานิพนธ์

เรื่อง

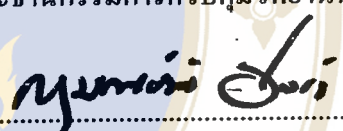
การสร้างเครื่องมือ เพื่อใช้สอบเทียบตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า
สำหรับงานวัดค่าศักย์นำในดิน


.....
ปราโมทย์ โสวัณณะ


ผู้วิจัย


.....
เกษม กุลประดิษฐ์ วท.ม.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


.....
กฤษณรัักษ์ ชีร์รัฐ วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


.....
อัคคพล เสนาณรงค์ วศ.บ., M.PHIL.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


.....
อดุลย์ วิริยเวชกุล ราชบัณฑิต ,

พ.บ.,น.บ.,F.R.C.P.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย


.....
ปิยะกาญจน์ เทียธิทรัพย์ วท.ม.

ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี
ที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

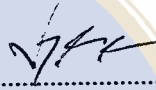
วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การสร้างเครื่องมือ เพื่อใช้สอบเทียบตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า
สำหรับงานวัดค่าศักย์น้ำในดิน

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

วันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2541



ปราโมทย์ โสวณะ

ผู้วิจัย



เกษม กุลประดิษฐ์ วท.ม.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



กฤษณรักษ์ ชีร์รัฐ วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



อัศคพล เสนาณรงค์ วศ.บ., M.PHIL.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



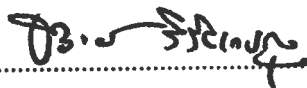
วิสุทธิ์ วีรสาร Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



รุ่งจรัส หุตะเจริญ วท.ม.

คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล



อดุลย์ วิริยเวชกุล ราชบัณฑิต ,

พ.บ.,น.บ.,F.R.C.P.

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยมหิดล

กิติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของคณาจารย์ และผู้เกี่ยวข้องต่อไปนี้คือ ผ.ศ. เกษม กุลประดิษฐ์ ผ.ศ. กฤษณรักษ์ ชีร์รัฐ อาจารย์อัคคพล เสนาณรงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาโดยตลอด ด.ร. วิสุทธิ์ วิจารณ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ คุณจันทร์จรัส วิจารณ์ และคุณขวัญ สุขอยู่ งานทดสอบดินปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสอบเทียบเครื่องมือผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ทำยนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และภรรยา ที่สนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ปราโมทย์ โสวัณณะ



3636722 ENAT/M :สาขาวิชา :เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร ; วท.ม.

(เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)

ศัพท์สำคัญ :ตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า/ค่าศักย์น้ำในดิน

ปราโมทย์ โสวัณณะ : การสร้างเครื่องมือ เพื่อใช้สอบเทียบตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าสำหรับงานวัดค่าศักย์น้ำในดิน (DESIGN AND DEVELOPMENT OF CALIBRATION APPARATUS FOR ELECTRICAL RESISTANCE SENSORS CALIBRATION USED FOR SOIL WATER POTENTIAL MEASUREMENT) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : เกษม กุลประดิษฐ์ วท.ม. , กฤษณรักษ์ ชีร์รัฐ วท.ม., อัครพล เสนาณรงค์ M. PHIL. 72 หน้า. ISBN 974-661-405-3

การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือและวิธีการใหม่ สำหรับใช้สอบเทียบตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าสำหรับงานวัดค่าศักย์น้ำในดิน เครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นประกอบด้วย ตัวตรวจวัด วงจรเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเป็นความถี่ และเครื่องนับความถี่ จากนั้นสอบเทียบให้สามารถระบุค่าศักย์ของน้ำได้ ด้วยสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.0 ถึง 0.4 molal และตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ Gypsum Resistance Block

ผลการศึกษา พบว่า สมการที่ได้จากการสอบเทียบเครื่องสอบเทียบด้วยสารละลาย NaCl สามารถทำนายความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำ กับค่าที่อ่านจากเครื่องสอบเทียบในระดับ 87.5 % ($R^2 = 0.875$) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ค่าศักย์ของน้ำที่อ่านจาก Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบและ สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus พบว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง ($r = 0.4722$)

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า เครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้สำหรับงานสอบเทียบ Gypsum Resistance Block แต่ควรมีการพัฒนาเครื่องสอบเทียบ และวิธีการสอบเทียบให้มีประสิทธิภาพต่อไป โดยการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องทดลอง และทำการสอบเทียบ โดยไม่ใช้ดินห่อหุ้ม Gypsum Resistance Block และควรเพิ่มเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของระบบสอบเทียบ



3636722 ENAT/M : MAJOR : APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR RESOURCE
DEVELOPMENT; M.Sc. (APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR
RESOURCE DEVELOPMENT)

KEY WORD : CALIBRATION APPARATUS FOR ELECTRICAL RESISTANCE
SENSORS / SOIL WATER POTENTIAL

PRAMOTE SOWANNA : DESIGN AND DEVELOPMENT OF CALIBRATION
APPARATUS FOR ELECTRICAL RESISTANCE SENSORS CALIBRATION USED
FOR SOIL WATER POTENTIAL MEASUREMENT. THESIS ADVISOR : KASAM
KULPRADIT M.Sc., KITSANARUK THERARAT M.Sc., UKKAPOL SANANARUNG M.
PHIL. 72 p. ISBN 974-661-405-3

This study was conducted in order to design and develop an apparatus for calibrating electrical resistance sensors used for soil water potential measurement. In this study, the calibration apparatus consisted of a capacitance sensors, a capacitance to frequency convertor circuit and a frequency counter. The calibration apparatus determined water potential by calibration with NaCl solution at 0.0 to 0.4 molal concentration. Gypsum resistance block was used as the electrical resistance sensors in this study.

The result showed that the calibration apparatus could be calibrated by sodium chloride solution to a significance level at 0.01 ($R^2 = 0.875$). The relationship factor of water potential readings from gypsum resistance block as calibrated by the calibration apparatus and as calibrated by pressure membrane apparatus was medium ($r=0.4722$)

These findings suggest that the calibration apparatus may be useful for the calibration of the gypsum resistance block. Further experiments should be conducted, However, under conditions of controlled temperature and relative humidity. Also, calibration should be attempted without first coating the gypsum resistance block with soil and calibration system temperature should be measured.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่	
1. บทนำ	
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการศึกษา	3
นิยามศัพท์	3
2. ทบทวนวรรณกรรม	
ความสำคัญของน้ำที่มีต่อพืช	5
ศักย์ของน้ำ	5
ศักย์ของน้ำในดิน	9
การวัดค่า Matric Potential	10
การผลรวมของ Matric Potential และ Osmotic Potential	14
หน่วยของศักย์ของน้ำ	20
การเปรียบเทียบเครื่องมือวัดค่าศักย์น้ำในดิน	20
แนวทางการออกแบบเครื่องสอบเทียบ	22
กรอบแนวคิด	23

สารบัญ (ต่อ)

3. วัตถุประสงค์ และวิธีการ	
การสร้างเครื่องสอบเทียบ	24
การสอบเทียบเครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นใหม่กับสารละลาย NaCl	33
การสอบเทียบ Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus	36
การสอบเทียบ Resistance Block ด้วยเครื่องมือสอบเทียบ	36
การวิเคราะห์ข้อมูล	37
4. ผลการศึกษา	
ผลการสร้างเครื่องสอบเทียบและการสอบเทียบเครื่องสอบเทียบด้วยสารละลาย NaCl	38
ผลการสอบเทียบ Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus	44
ผลการสอบเทียบ Resistance Block ด้วยเครื่องมือสอบเทียบ	47
ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าศักย์ของน้ำที่อ่านจาก Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบ และ สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus	49
5. อภิปราย	52
6. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	56
สรุปผลการวิจัย	56
ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป	59
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก	63
ประวัติผู้เขียน	73

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าศักย์ของสารละลาย NaCl (kpa) ที่อุณหภูมิ 0-40 องศาเซลเซียส	19
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อดีข้อจำกัดเครื่องมือวัดค่าศักย์น้ำในดิน	21
ตารางที่ 3 ผลการสอบเทียบระหว่างเครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้น กับสารละลายเกลือแกง	40
ตารางที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่าศักย์ของน้ำ และ ค่าจากเครื่องสอบเทียบ	41
ตารางที่ 5 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบ	42
ตารางที่ 6 ผลการสอบเทียบ Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus	44
ตารางที่ 7 การเปลี่ยนค่าศักย์ของน้ำในหน่วย bar เป็น Pa ของ Resistance Block ป้ายสีเหลือง	44
ตารางที่ 8 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำกับค่าของ Resistance Block ที่สอบเทียบ ด้วย Pressure Membrane Apparatus	45
ตารางที่ 9 ผลการสอบเทียบ Resistance Block ด้วย เครื่องสอบเทียบ	47
ตารางที่ 10 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำกับค่าของ Resistance Block ที่ สอบเทียบ ด้วยเครื่องสอบเทียบ	47
ตารางที่ 11 ผลการเปรียบเทียบค่าศักย์ของน้ำที่อ่านจาก Resistance Block ที่สอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบ และสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus	49
ตารางที่ 12 ผลการทดลองใช้ตัวตรวจวัดวัดตัวที่ 1	65
ตารางที่ 13 ผลการทดลองใช้ตัวตรวจวัดวัดตัวที่ 2	68
ตารางที่ 14 ผลการทดลองใช้ตัวตรวจวัดวัดตัวที่ 3	71

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 การทดลองการดูดซับน้ำในดิน	10
รูปที่ 2 Tensiometer	12
รูปที่ 3 Pressure Membrane Apparatus	14
รูปที่ 4 Gypsum Resistance Block	14
รูปที่ 5 สมดุลของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ คงที่	15
รูปที่ 6 การทดลองแสดงการเคลื่อนย้ายมวลสารของสารละลายที่มีแรงดัน ไอต่างกัน	22
รูปที่ 7 องค์ประกอบเบื้องต้นของตัวเก็บประจุ	26
รูปที่ 8 ตัวตรวจวัดและสัญลักษณ์	27
รูปที่ 9 วงจรเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเป็นความถี่	29
รูปที่ 10 ก วงจรฐานเวลา 2 วินาทีของเครื่องนับความถี่	30
รูปที่ 10 ข วงจรควบคุมของเครื่องนับความถี่	31
รูปที่ 10 ค วงจรส่วนการนับของเครื่องนับความถี่	32
รูปที่ 11 การจัดวางเครื่องสอบเทียบโดยใช้สารละลายเกลือแกงที่ทราบค่าศักย์ของน้ำ	35
รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ของค่าจากเครื่องสอบเทียบ และ ระยะเวลาที่น้ำระเหยออกจากตัวตรวจวัด	43
รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างศักย์ของน้ำ (ψ) และค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบ (X)	43
รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างศักย์ของน้ำ (ψ) และค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus	46
รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างศักย์ของน้ำ (ψ) และค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบ	48
รูปที่ 16 แสดงค่าศักย์ของน้ำที่ได้จากการสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus และ เครื่องสอบเทียบ	51
รูปที่ 17 ตัวตรวจวัดแบบที่ 1	64
รูปที่ 18 วงจรตรวจจับการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าตัวตรวจวัดแบบที่ 1	65
รูปที่ 19 ตัวตรวจวัดแบบที่ 2	67

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 20 ตัวตรวจวัดแบบที่ 3

รูปที่ 21 ตัวตรวจวัดแบบที่ 4

หน้า

69

72



บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญสำหรับการเพาะปลูก (1) มีจำนวนจำกัดในบางฤดูกาลหรือในบางสถานที่ การให้น้ำแก่พืชในเวลาและจำนวนที่เหมาะสม จะเป็นการประหยัดน้ำและค่าใช้จ่าย (2) ตลอดจนสามารถควบคุมคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรให้เป็นไปตามความต้องการ (3)

ตามธรรมชาติโดยทั่วไป ดินเป็นแหล่งสำรองน้ำให้กับพืช และพืชจะนำน้ำในดินไปใช้ประโยชน์ได้หรือไม่ ซึ่งวัดด้วยค่าที่เรียกว่า ค่าศักย์ของน้ำ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงปริมาณงานที่เกิดขึ้นจากการที่น้ำเคลื่อนย้ายตัวเองแบบผันกลับได้ ที่อุณหภูมิและความดันคงที่จากระบบที่ศึกษาไปสู่แหล่งน้ำอิสระ ในการศึกษาเกี่ยวกับค่าศักย์ของน้ำ กำหนดให้ค่าศักย์ของน้ำอิสระมีค่าเท่ากับศูนย์ สำหรับน้ำที่ถูกดูดซับไว้ หรือ น้ำที่มีสารอื่นละลายอยู่จะมีความเป็นอิสระลดลง ทำให้ค่าศักย์ของน้ำนั้นมีค่าเป็นลบ ค่าศักย์ของน้ำที่เป็นลบแสดงปริมาณงานที่ต้องกระทำเพื่อดึงน้ำออกจากระบบที่ศึกษา (4)

น้ำในดินที่มีค่าศักย์ในช่วง -33 ถึง $-1,500$ kPa เป็นน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (3, 5) โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ตามระดับค่าศักย์ของน้ำได้ดังนี้ (2)

1 น้ำอิสระ เป็นน้ำที่มีค่าศักย์มากกว่า -33 kPa เป็นน้ำส่วนที่เกินความสามารถของดินที่จะดูดซับไว้ได้ จึงเป็นอิสระไหลไปในที่ต่างๆ น้ำจำนวนนี้พืชจะนำมาใช้ประโยชน์ได้น้อย เนื่องจากมีการไหลไปจากบริเวณรากพืชได้ โดยทั่วไปจึงไม่ถือว่าเป็นน้ำที่พร้อมจะเป็นประโยชน์ต่อพืช

2 น้ำที่จุด Field Capacity คือ เป็นจำนวนน้ำมากที่สุดที่เนื้อดินจะดูดซับน้ำไว้ได้ น้ำจำนวนนี้มีค่าศักย์เท่ากับ -33 kPa โดยประมาณ

3 น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ค่าศักย์อยู่ในช่วง -33 ถึงประมาณ $-1,500$ kPa เป็นน้ำที่ ดินดูดซับไว้ในเนื้อดิน และพืชสามารถดึงออกมาใช้ในการดำรงชีวิตและกิจกรรมต่างๆของพืชได้

4 น้ำที่จุดเหี่ยวถาวร มีค่าศักย์เท่ากับ $-1,500$ kPa หรือต่ำกว่า เป็นน้ำที่ถูกดูดยึดไว้ใน เนื้อดินอย่างเหนียวแน่น ซึ่งพืชไม่สามารถดึงออกมาใช้ประโยชน์ได้

ในดินชนิดใดๆ เมื่อปริมาณน้ำในดินลดลง น้ำจำนวนที่เหลืออยู่จะเป็นน้ำที่อยู่ใกล้ชิด กับผิวของอนุภาคดิน ความเป็นอิสระของน้ำที่เหลืออยู่จึงลดลงเป็นลำดับ (2) พืชจะดึงน้ำมาใช้ได้ มากที่สุด เมื่อค่าศักย์ของน้ำในดิน เท่ากับ -33 kPa และจะลดลงจนน้อยที่สุด เมื่อค่าศักย์ของน้ำ ในดินเท่ากับ $-1,500$ kPa ด้วยเหตุนี้การให้น้ำแก่พืชจึงไม่ควรให้ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ลดลงจนทำให้ค่าศักย์ของน้ำในดินต่ำจนเกินไป ในดินส่วนใหญ่เมื่อค่าศักย์ของน้ำมีค่าต่ำกว่า -100 kPa การดูดใช้น้ำของพืชจะเป็นไปได้ยาก (5)

ดังนั้นหากสามารถวัดค่าศักย์น้ำในดินได้อย่างต่อเนื่อง จะควบคุมการให้น้ำแก่พืชได้ กล่าวคือ เมื่อค่าศักย์น้ำในดินลดลงจนถึง -100 kPa หรือจุดอื่นใดที่กำหนด จะเป็นเวลาเริ่มให้น้ำ แก่พืช และหยุดการให้น้ำเมื่อค่าศักย์น้ำในดินเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดที่ต้องการ

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าศักย์น้ำในดินที่มีใช้ในปัจจุบันคือ Tensiometer , ตัวตรวจวัดแบบ เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistance Block) และ Thermocouple Psychrometer (6) Tensiometer เป็นเครื่องมือที่อ่านค่าศักย์ของน้ำในดินที่วัดได้โดยตรง แต่วัดได้เฉพาะในช่วง -33 ถึง -85 kPa (4) Thermocouple Psychrometer เป็นชุดเครื่องมือที่ราคาแพง (6)และต้องใช้เทคนิค ในการใช้งานสูง (7) ในขณะที่ Resistance Block ซึ่งเป็นเครื่องมือที่วัดค่าศักย์ของน้ำในดินโดย ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของสาร มีราคาไม่แพง ใช้งานง่าย (6) วัดค่าศักย์ของน้ำ ได้ในช่วงกว้างตั้งแต่จุดที่ดินใกล้อิ่มตัวด้วยน้ำไปจนถึงจุดที่ดินแห้งจนพืชไม่สามารถดึงน้ำไปใช้ได้ (4) เหมาะสมกับการใช้งานระยะยาวที่ดินแห้งและเปียกต่อเนื่องกัน(2) Resistance Block จึงมี ประโยชน์สำหรับการไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับกำหนดเวลาของการให้น้ำแก่พืช(8,9) ดังนั้น Resistance Block จึงเป็นเครื่องมือวัดค่าศักย์ของน้ำที่นำมาใช้ในแปลงปลูกของเกษตรกรได้

ก่อนที่จะนำ Resistance Block ไปใช้งานต้องสอบเทียบ Resistance Block แต่ละตัว ก่อน เพื่อแปลงค่าที่อ่านได้จาก Resistance Block ไปเป็นค่าศักย์ของน้ำ โดยใช้เครื่องมือที่เรียก

ว่า Pressure Membrane Apparatus (8) ที่ค่าแรงดันในช่วง 0 - 15 bar ซึ่งเทียบเท่ากับค่าศักย์ของน้ำในช่วง 0 - 1500 kPa โดยที่ $1 \text{ kpa} = 0.01 \text{ bar}$ (10) แต่การสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus ยังมีปัญหาในการใช้ระยะเวลาสอบเทียบนาน โดยใช้เวลา 3 วันต่อการสอบเทียบ 1 ค่าแรงดัน (8) และมีค่าใช้จ่าย 150 บาท ต่อ 1 ค่าแรงดัน ต่อ Resistance Block 1 ตัว (11)

การศึกษาครั้งนี้เป็นการสร้างเครื่องมือ และวิธีการสอบเทียบ Resistance Block สำหรับใช้ทดแทน Pressure Membrane Apparatus ในการสอบเทียบ Resistance Block ให้สามารถกระทำได้ด้วยความเร็วและต้นทุนที่ต่ำ เพื่อสร้างความเป็นไปได้ในการนำ Resistance Block มาใช้เป็นเครื่องมือวัดค่าศักย์น้ำในดินสำหรับการปลูกพืชของเกษตรกร และเพื่อให้การจัดการทรัพยากรน้ำสำหรับการปลูกพืชกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วัตถุประสงค์

สร้างเครื่องมือและวิธีการใหม่ เพื่อสอบเทียบตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า แบบ Gypsum Resistance Block สำหรับงานวัดค่าศักย์ของน้ำในดิน

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการสร้างและพัฒนาเครื่องสอบเทียบตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า เพื่อทดแทน Pressure Membrane Apparatus ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในปัจจุบัน

นิยามศัพท์

ตัวตรวจวัด หมายถึง ตัวเก็บประจุที่ออกแบบและสร้างขึ้นในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อทำหน้าที่ตรวจวัดค่าศักย์ของน้ำ จากค่าความดันไอน้ำสัมพัทธ์ ในบรรยากาศ

เครื่องสอบเทียบ หมายถึง เครื่องมือที่สร้างขึ้นจากการศึกษาครั้งนี้ เพื่อใช้สอบเทียบ Resistance Block ประกอบด้วย ตัวตรวจวัด วงจรเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเป็นความถี่ และเครื่องนับความถี่

ค่าศักย์ของน้ำ หมายถึงค่าที่แสดงปริมาณงานที่เกิดขึ้นจากการที่น้ำเคลื่อนย้ายตัวเองแบบผันกลับได้ ที่อุณหภูมิและความดันคงที่จากระบบที่ศึกษาไปสู่แหล่งน้ำอิสระ ในการศึกษาเกี่ยวกับค่าศักย์ของน้ำ กำหนดให้ค่าศักย์ของน้ำอิสระมีค่าเท่ากับศูนย์ สำหรับน้ำที่ถูกดูดซับไว้ หรือ น้ำที่มีสารอื่นละลายอยู่จะมีความเป็นอิสระลดลง ทำให้ค่าศักย์ของน้ำนั้นมีค่าเป็นลบ ค่าศักย์ของน้ำที่เป็นลบแสดงปริมาณงานที่ต้องกระทำเพื่อดึงน้ำออกจากระบบที่ศึกษา

Resistance Block หมายถึง ตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าสำหรับงานวัดค่าศักย์ของน้ำในดิน ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ Gypsum Resistance Block

Pressure Membrane Apparatus หมายถึง เครื่องมือที่ใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบ Resistance Block ที่ใช้ในปัจจุบัน

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้รวบรวม แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง เรียงตามลำดับดังนี้คือ

1. ความสำคัญของน้ำที่มีต่อพืช
2. สัตว์ของน้ำ
3. สัตว์น้ำในดิน
4. การวัดค่า Matric Potential
5. การวัดผลรวมของ Matric Potential และ Osmotic Potential
6. หน่วยของสัตว์ของน้ำ
7. เปรียบเทียบเครื่องมือวัดค่าสัตว์น้ำในดิน
8. แนวคิดจากการทบทวนเอกสาร
9. กรอบแนวคิด

1. ความสำคัญของน้ำที่มีต่อพืช

น้ำเป็นสารที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย น้ำเป็นองค์ประกอบของเซลล์พืชและสัตว์ ช่วยละลายแร่ธาตุและสารอาหารต่างๆ ซึ่งพืชจะดูดไปใช้ในการเจริญเติบโต กระบวนการเมตาบอลิซึม ตลอดจนปฏิกิริยาเคมีต่างๆภายในเซลล์ต้องอาศัยน้ำมีส่วนร่วมในปฏิกิริยานั้นๆ ไม่ทางตรงก็ทางอ้อม นอกจากนี้น้ำยังช่วยรักษาอุณหภูมิของพืชมิให้เกิดการผันแปรมากด้วย (1)

2. สัตว์ของน้ำ

จากการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานอิสระของระบบ สรุปได้ว่า พลังงานอิสระ (Free Ennergy) หมายถึง พลังงานที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นงานได้ที่อุณหภูมิ และแรงดันคงที่ (12) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G = H - TS \quad \text{.....(1)}$$

โดยที่ $G =$ Gibbs's Free Energy

$H =$ Enthalpy ของระบบ

$T =$ อุณหภูมิของระบบ (Kelvin)

$S =$ Entropy ของระบบ

และเนื่องจาก

$$H = U + PV \quad \text{.....(2)}$$

โดยที่

$U =$ พลังงานภายในของระบบ

$P =$ แรงดันของระบบ

$V =$ ปริมาตรของระบบ

ดังนั้น

$$G = U + PV - TS \quad \text{.....(3)}$$

และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงใดๆของระบบ

$$dG = dU + PdV + VdP - TdS - SdT \quad \text{.....(4)}$$

ในระบบที่อุณหภูมิและแรงดันคงที่

$$dG = dU + PdV - TdS \quad \text{.....(5)}$$

จากกฎ Thermodynamic ข้อที่ 1 พลังงานเปลี่ยนรูปได้ และไม่สูญหาย

$$dU = dq + dw \quad \text{.....(6)}$$

โดยที่ q = ความร้อนที่สิ่งแวดล้อมถ่ายเทให้ระบบ
 w = งานที่สิ่งแวดล้อมกระทำต่อระบบ

ดังนั้นเมื่อแทนค่า dU ในสมการที่ 5 ด้วยสมการที่ 6 จะได้ว่า

$$dG = dq + dw + PdV - TdS \quad \text{.....(7)}$$

สำหรับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงผันกลับได้

$$dq = TdS \quad \text{.....(8)}$$

$$dw = dw \text{ (reversible)} \quad \text{.....(9)}$$

ดังนั้น จากสมการที่ 7 จะได้ว่า

$$dG = dw \text{ (reversible)} + PdV \quad \text{.....(10)}$$

นั่นคือ

$$-dG = -dW \text{ (reversible)} - PdV \quad \text{.....(11)}$$

หมายความว่า การลดลงของพลังงานอิสระ (Gibbs' Free Energy) ที่อุณหภูมิและแรงดันคงที่ในกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับได้ จะเท่ากับงานสูงสุดที่ระบบกระทำได้เมื่อหักลบงานที่เกี่ยวกับแรงดันและปริมาตรออกไป (12)

ในกรณีที่ระบบเป็นของเหลวหรือของแข็ง กระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นมักมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อยมาก (12) ดังนั้นจึงอาจตัด PdV ทิ้งได้ สมการที่ 11 จึงเป็น

$$-\Delta G = -W \text{ (reversible)} \quad \text{.....(12)}$$

สำหรับระบบที่แบ่งแยกเป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณ A และ บริเวณ B เมื่ออุณหภูมิและแรงดันคงที่ พลังงานอิสระของบริเวณ A ไม่เท่ากับ บริเวณ B การเคลื่อนย้ายอนุภาค i จำนวน 1 โมล จากบริเวณ A ไปบริเวณ B (13) ใช้พลังงานเท่ากับ $\Delta G/\text{mole}$

สำหรับน้ำในระบบใดๆ น้ำจะมีความเป็นอิสระลดลง เนื่องจากมีแรงกระทำต่อโมเลกุลของน้ำ จึงทำให้พลังงานอิสระของน้ำลดลงด้วย ดังนั้นการนำน้ำจากแหล่งน้ำบริสุทธิ์มายังระบบที่ศึกษาจึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานอิสระ และเรียกค่าส่วนต่างของค่าพลังงานอิสระว่า ค่าศักย์ของน้ำ (Water Potential, ψ) นั่นคือ (4)

$$\psi = \Delta G \quad \dots\dots\dots(13)$$

จากสมการที่ (12) $-\Delta G = -W$ (reversible) ดังนั้น

$$-\psi = -W_{\text{rev}} \quad \dots\dots\dots(14)$$

ดังนั้นศักย์ของน้ำ จึงนิยามได้ว่า เป็นงานที่เกิดขึ้นจากการที่น้ำเคลื่อนย้ายตัวเองแบบผันกลับได้ ที่อุณหภูมิและแรงดันคงที่ จากแหล่งน้ำอิสระที่บริสุทธิ์ ไปสู่ระบบที่ศึกษา (14) โดยทั่วไปกำหนดให้ค่าศักย์ของน้ำบริสุทธิ์เท่ากับ 0 (4)

พิจารณาการไหลของน้ำจากบริเวณ A ไปสู่บริเวณ B ภายใต้อุณหภูมิและแรงดันคงที่ เมื่อน้ำจำนวนน้อยยิ่ง (d_{water}) ถ่ายเทจากบริเวณ A ไปสู่บริเวณ B ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่บริเวณ A เท่ากับ

$$d_{\text{water}A} = -d_{\text{water}} \quad \dots\dots\dots(15)$$

d_{water} มีค่าเป็นลบเนื่องจากเคลื่อนย้ายออกจากบริเวณ A และการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานอิสระที่บริเวณ A จึงเท่ากับ

$$dG_A = G_A (-d_{\text{water}}) \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$dG_A = -G_A d_{\text{water}} \quad \dots\dots\dots(17)$$

แต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานอิสระทั้งสองบริเวณจะได้ว่า

$$dG = -G_A d_{\text{water}} + G_B d_{\text{water}} \quad \text{.....(18)}$$

ดังนั้น

$$dG = (G_B - G_A) d_{\text{water}} \quad \text{.....(19)}$$

ถ้า $G_A > G_B$ แล้ว $dG < 0$ แสดงว่าเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง หมายความว่า สารมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนย้ายจากบริเวณที่มีพลังงานอิสระสูง ไปสู่บริเวณที่มีพลังงานอิสระต่ำกว่า (13) ในกรณีของน้ำจึงสรุปได้ว่า น้ำบริสุทธิ์ที่อิสระจะเคลื่อนไปสู่บริเวณที่ความเป็นอิสระน้อยกว่า หรือกล่าวได้ว่า น้ำจะเคลื่อนจากบริเวณที่มีศักย์ของน้ำสูง ไปยังบริเวณที่มีศักย์ของน้ำต่ำกว่า (2,4)

3. ศักย์น้ำในดิน

น้ำที่อยู่ในดินเป็นน้ำที่ถูกกระทำด้วยแรงต่างๆ ทำให้ค่าของศักย์น้ำในดิน (ψ_{sw}) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากศูนย์ ค่าศักย์น้ำในดินที่ไม่อิมิตัวด้วยน้ำสามารถแสดงได้ดังนี้ (14)

$$\psi_{sw} = \psi_m + \psi_o + \psi_g + \dots \quad \text{.....(20)}$$

โดยที่แรงส่วนใหญ่ที่กระทำต่อน้ำในดินคือ ψ_m (Matric Potential) ψ_o (Osmotic Potential) และ ψ_g (Gravitational Potential)

Matric Potential เป็นค่าศักย์ของน้ำที่ลดลงเนื่องมาจากผลรวมของแรง 2 ชนิด คือ แรงดูดซับน้ำของผิวของอนุภาคดิน (Surface Absorbtion) และ Capillary Force ผลของแรงทั้งสองทำให้น้ำที่ถูกเก็บไว้ในดินขาดอิสระในการเคลื่อนที่ นั่นคือมีพลังงานอิสระลดลง ดังนั้นค่าของ Matric Potential จึงมีค่าเป็นลบเสมอ (14) ค่า Matric Potential เป็นค่าที่มีความผันแปร กล่าวคือน้ำที่บริเวณผิวของอนุภาคดินจะมีค่าศักย์ของน้ำในดินต่ำกว่าบริเวณที่อยู่ห่างจากผิวอนุภาคออกไป และน้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินขนาดเล็กจะมีค่าศักย์ของน้ำต่ำกว่าน้ำที่อยู่ในช่องที่มีขนาดใหญ่กว่า (4)

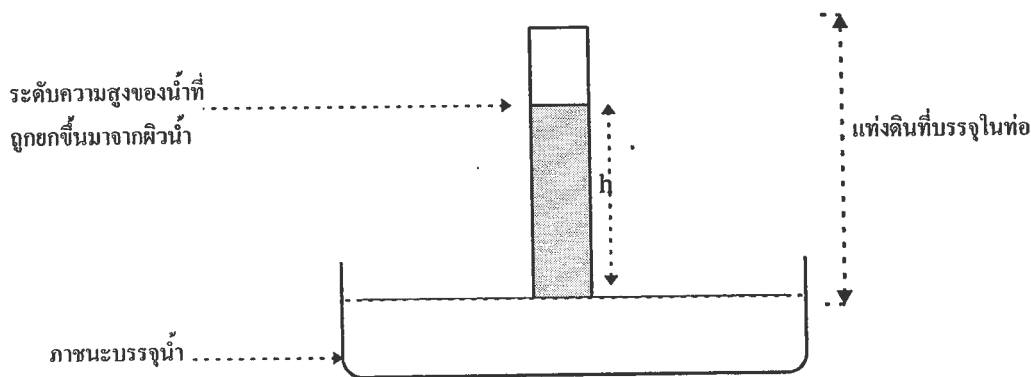
ในดินโดยทั่วไปมีองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ น้ำในดินจึงมีสภาพเป็นสารละลาย ความสามารถของสารละลายที่จะดูดน้ำบริสุทธิ์ด้วยแรงจำนวนหนึ่งต่อหน่วยพื้นที่ คือ Osmotic Potential และมีค่าเป็นลบ (5)

โลกมีแรงดึงดูดกระทำต่อน้ำในดิน โดยมีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางของโลก ทำให้น้ำเคลื่อนที่ลึกลงไปในดิน กล่าวคือน้ำมีความสามารถที่จะทำงานได้มากขึ้น แต่ค่า Gravitational Potential จะมีค่าเป็นบวก ลบ หรือ ศูนย์ ขึ้นอยู่กับระดับอ้างอิง ดังนั้นสมมุติว่าน้ำจำนวนหนึ่งมีค่า Matric Potential เท่ากัน แต่วัดค่าศักย์ของน้ำที่ระดับความลึกจากผิวดินต่างกันจะมีค่าของศักย์น้ำไม่เท่ากัน (5)

นอกจากองค์ประกอบหลักทั้งสามนี้ ยังมีแรงกระทำอื่นๆที่มีผลทำให้ค่าศักย์ของน้ำในดินเปลี่ยนแปลงได้ เช่น น้ำหนักของชั้นดิน ความกดอากาศ อุณหภูมิ เป็นต้น แต่การวัดค่าศักย์น้ำในดินกระทำเพื่อหาคำตอบว่า น้ำจำนวนที่มีอยู่ในดินเวลานั้นพืชนำไปใช้ได้หรือไม่แล้ว การวัดค่า Matric Potential ที่ระดับความลึกเดียวกับรากของพืช ก็เพียงพอที่จะให้คำตอบได้ และเนื่องจากค่าศักย์น้ำในดินประมาณ 95% หรือมากกว่าเป็นผลที่เกิดจาก Matric Potential (4)

4. การวัดค่า Matric Potential

การศึกษาเพื่อวัดค่า Matric Potential (15) ทำโดยใช้ท่อยาว 48 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ภายในบรรจุด้วยดิน และวางปลายข้างหนึ่งของท่อสัมผัสกับน้ำบริสุทธิ์ ตามรูปที่ 1 สรุปลักษณะสัมพันธ์ระหว่าง Matric Potential กับระยะทางที่น้ำถูกยกขึ้นมาเหนือผิวน้ำ ได้ดังนี้



รูปที่ 1 การทดลองการดูดซับน้ำของดิน

ที่มา : Bayer , 1940. (15)

เมื่อน้ำถูกยกขึ้นมาจากผิวน้ำเป็นระยะทาง h งานที่ต้องกระทำเพื่อนำกลับคืนเป็นอิสระ แสดงได้ดังนี้

$$W = Fh \quad \dots\dots\dots(21)$$

โดยที่ W = งานที่ต้องกระทำเพื่อนำกลับคืนเป็นอิสระ

F = แรงดูดซับของดินที่กระทำต่อน้ำในทรงกระบอก

เนื่องจากแรงดูดซับของดินที่กระทำต่อน้ำในทรงกระบอก เท่ากับแรงที่เกิดจากน้ำหนักของน้ำ ดังนั้น

$$F = mg \quad \dots\dots\dots(22)$$

เมื่อ m = มวลของน้ำที่ถูกยกขึ้นมาเหนือผิวน้ำ

g = Acceleration of Gravity

ดังนั้น

$$W = mgh \quad \dots\dots\dots(23)$$

คิดเป็นงานที่ต้องกระทำต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ (V) เท่ากับ

$$W/V = (mgh) / V \quad \dots\dots\dots(24)$$

เนื่องจากความต้งจำเพาะของน้ำ (γ) = m/V ดังนั้น

$$W = \gamma gh \quad \dots\dots\dots(25)$$

เนื่องจากทำงานต่อหน่วยปริมาตร เท่ากับค่าศักย์ของน้ำ (สมการที่ 14) และในกรณีนี้ ความเป็นอิสระของน้ำที่ลดลงเกิดขึ้นเนื่องจากการดูดซับของเนื้อดิน (Soil Matric) นั่นคือ

$$\psi_m = -\gamma gh \quad \dots\dots\dots(26)$$

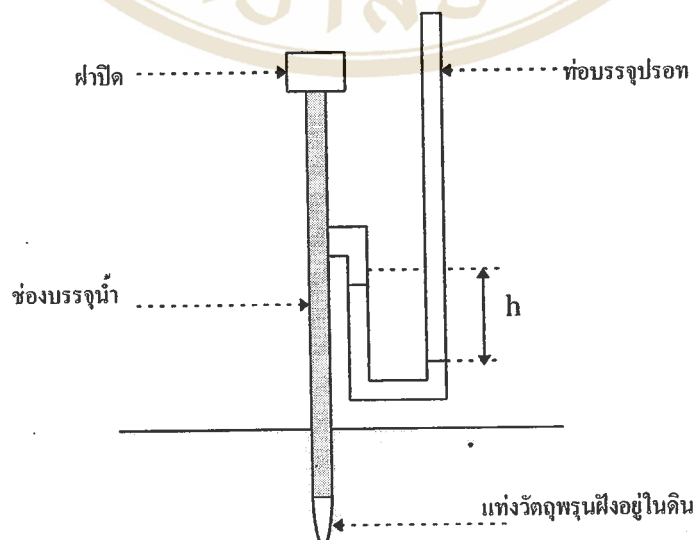
สมการที่ 26 เป็นพื้นฐานของเครื่องมือที่เรียกว่า Tensiometer ซึ่งบางครั้งเรียกว่า

เครื่องวัดแรงดึงความชื้นของดิน ประกอบด้วยแท่งวัดอุทพุรณซึ่งน้ำสามารถผ่านเข้าออกได้ต่อกับที่เก็บน้ำ และที่เก็บน้ำนี้ต่อกับ Mercury Manometer น้ำที่ใช้ใน Tensiometer ควรเป็นน้ำที่ต้มไล่อากาศแล้ว การใช้งานทำโดยเติมน้ำลงในที่เก็บน้ำของ Tensiometer ให้เต็ม จากนั้นนำส่วนปลายที่เป็นวัสดุพุรณฝังในดินที่ต้องการวัด ถ้าหากดินที่ทำการวัดมีค่าศักย์ของน้ำในดินต่ำกว่าศูนย์ น้ำใน Tensiometer จะไหลออกไปทางพุรณ ทำให้แรงดันใน Tensiometer ลดลง เป็นผลให้ระดับปรอทใน Manometer ถูกยกสูงขึ้นและสามารถอ่านได้จากสเกลของ Manometer ถ้าค่าที่อ่านได้เท่ากับ h ค่าศักย์ของน้ำจะคำนวณได้ดังนี้ (15)

$$\psi_m = -\gamma_{Hg} gh \quad \dots\dots(27)$$

โดยที่ γ_{Hg} = ค่าความถ่วงจำเพาะของปรอท

Tensiometer ที่ใช้งานนอกสถานที่ อาจใช้ Pressure Gage ดัดตั้งแทน Mercury Manometer ซึ่งทำให้สามารถใช้งานได้สะดวกขึ้น และค่าศักย์ของน้ำที่อ่านได้จะอยู่ในหน่วยของแรงดัน การดัดตั้ง Tensiometer ต้องใช้เครื่องมือเจาะลึกลงไปดินถึงระดับที่ต้องการวัด และก่อนจะฝังลงไปต้องทำให้ดินที่กั้นหลุมเปียก เพื่อให้ดินอ่อนตัวลง ซึ่งจะช่วยให้แท่งวัดอุทพุรณสัมผัสกับเนื้อดินได้สนิท จากนั้นจึงกลบดินโดยรอบ ทิ้งไว้ 3-4 วัน จึงจะเริ่มใช้งานได้ เครื่องมือนี้เหมาะสมสำหรับการวัดค่าศักย์น้ำในดินที่มีค่าไม่ต่ำกว่า -85 kPa เพราะจะมีผลทำให้อากาศซึมผ่านแท่งวัดอุทพุรณเข้าไปในที่เก็บน้ำของเครื่องมือได้ (2) ในรูปที่ 2 เป็นรูปแสดง Tensiometer



รูปที่ 2 Tensiometer

ที่มา : Miller and Donahue , 1990 . (4)

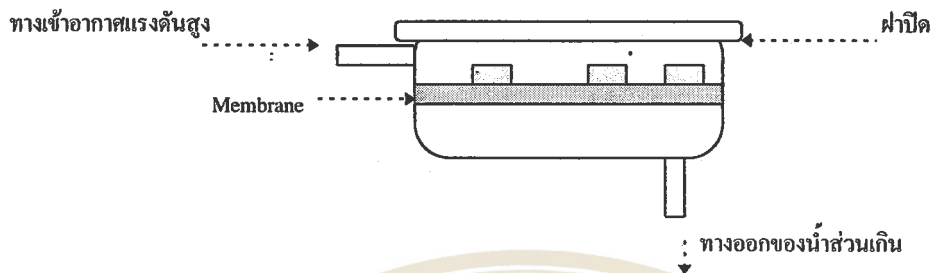
วิธีการวัดค่าศักย์ของน้ำในดินอีกวิธีหนึ่ง คือการวัดโดยใช้ Resistance Block ซึ่งใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าของ Resistance Block โดยที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าของ Resistance Block จะลดลง เมื่อปริมาณน้ำใน Resistance Block เพิ่มขึ้น

Resistance Block ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วฝังอยู่ภายในวัสดุที่สามารถดูดซับน้ำได้ เช่น Gypsum , Nylon , Fiberglass รูปร่างภายนอกอาจเป็นสี่เหลี่ยมหรือทรงกระบอก เมื่อ Resistance Block ถูกฝังลงในดิน จะดูดซับน้ำจากเนื้อดิน จนกระทั่งค่าศักย์ของน้ำใน Resistance Block เท่ากับ ค่าศักย์ของน้ำในดิน ค่าความต้านทานของ Resistance Block ที่วัดได้จะเป็นตัวแทนของค่าศักย์ของน้ำในเวลานั้น (8)

ค่าความต้านทานของ Resistance Block อาจวัดออกมาในหน่วยโอห์ม(Ω) หรือในเครื่องที่ผลิตจำหน่ายบางแบบแสดงผลการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าออกมาในรูปของตัวเลขของเครื่อง (Meter Scale) นอกจากนี้เครื่องวัดค่าของ Resistance Block บางแบบยังให้ผลการวัดออกมาเป็น Voltage Output ที่เป็นสัดส่วนกับค่าความต้านทานของ Resistance Block เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบอิเล็กทรอนิกส์อื่นต่อไป (8)

ก่อนการใช้งาน Resistance Block จะต้องทำการสอบเทียบสำหรับ Resistance Block แต่ละตัว เพื่อแปลงค่าความต้านทานที่อ่านได้เป็นค่าศักย์ของน้ำในดิน (2)

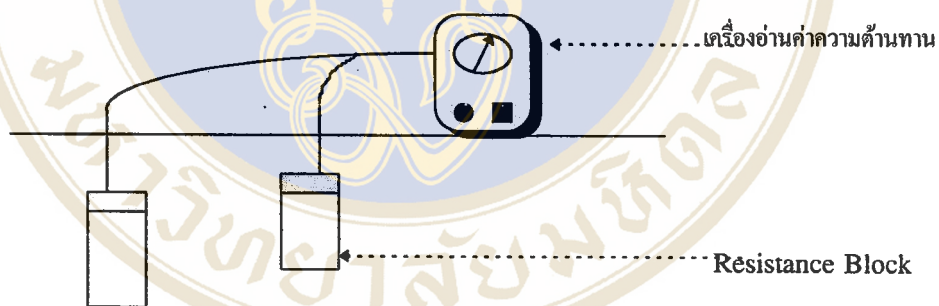
การสอบเทียบสำหรับ Resistance Block ทำโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Pressure Membrane Apparatus ซึ่งมีลักษณะเป็นภาชนะปิด ที่ทนแรงดันสูงได้ ภายในมีแผ่น Cellulose Acetate Membrane ที่น้ำสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้วางอยู่บนตะแกรงที่รองรับ ได้ชั้น Membrane เป็นส่วนที่มีแรงดันเท่ากับบรรยากาศภายนอก และมีทางให้น้ำส่วนเกินไหลออกมาได้ เมื่อใช้งาน น้ำ Resistance Block ที่ชุ่มน้ำ วางลงบนแผ่น Membrane จากนั้นเพิ่มแรงดันบรรยากาศที่อยู่เหนือ Membrane แรงดันที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีน้ำบางส่วนไหลออกจาก Resistance Block ผ่านแผ่น Membrane ออกสู่ภายนอก เมื่อน้ำหยุดไหลออกจาก Resistance Block ค่าศักย์ของน้ำใน Resistance Block ในเวลานั้น จะเท่ากับ ค่าแรงดันที่อยู่เหนือแผ่น Membrane หากเปลี่ยนค่าแรงดันที่อยู่เหนือแผ่น Membrane เป็นค่าต่างๆ พร้อมกับบันทึกค่าความต้านทานของ Resistance Block แล้วนำไปสร้างกราฟ จะได้ Calibration Curve ของ Resistance Block ตัวนั้น (16) ในรูปที่ 3 แสดง Pressure Membrane Apparatus



รูปที่ 3 Pressure Membrane Apparatus

ที่มา : Marshall and Holmes , 1992 . (16)

ในรูปที่ 4 แสดงการใช้งาน Resistance Block โดยฝังไว้ในดินในระดับที่ต้องการ ก่อนฝังต้องทำกันหลุมให้เปียกก่อน จากนั้นจึงกลบดินกลับไว้ตามเดิม ที่ฝังประมาณ 1 สัปดาห์ จึงใช้งานได้โดยการวัดค่าความต้านทานจากปลายสายไฟฟ้าที่อยู่เหนือผิวดิน



รูปที่ 4 Resistance Block

ที่มา : Miller and Donahue , 1990 . (4)

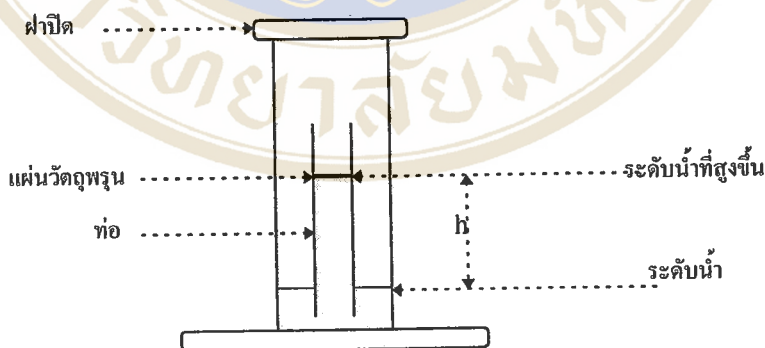
5. การวัดผลรวมของ Matric Potential และ Osmotic Potential

เมื่อน้ำบรรจุอยู่ในภาชนะปิด จะมีน้ำบางโมเลกุลที่สะสมโมเมนตัมได้มากพอที่จะหลุดจากผิวน้ำกลายเป็นไอ เรียกว่า การระเหย ในขณะที่เดียวกันโมเลกุลของน้ำบางโมเลกุลเคลื่อนที่เข้าชนผิวน้ำและกลั่นตัวเป็นของเหลว ในสภาพที่การระเหยและการกลั่นตัวเท่ากัน เรียกสภาพใน

ขณะนั้นว่าสภาพสมดุล โดยที่บรรยากาศเหนือผิวน้ำในขณะนั้นจะมีไอน้ำได้มากที่สุด และค่าศักย์เคมีของไอน้ำจะเท่ากับค่าศักย์เคมีของน้ำเหลวในขณะนั้น (5)

บรรยากาศที่มีไอน้ำผสมอยู่จะเป็นอากาศชื้น และมีความดันบรรยากาศเท่ากับผลรวมของแรงดันของก๊าซอื่นๆและแรงดันของไอน้ำรวมกัน แรงดันเฉพาะส่วนที่เกิดจากไอน้ำ เรียกว่าแรงดันย่อยของไอน้ำ เมื่อบรรจุน้ำบริสุทธิ์ในภาชนะปิด แล้วปล่อยให้มีการระเหยของไอน้ำเข้าสู่บรรยากาศเหนือผิวน้ำในสถานะจนเกินสภาพสมดุล แรงดันย่อยของไอน้ำที่สมดุลกับน้ำบริสุทธิ์ เรียกว่า แรงดันไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Vapor Pressure) ค่าแรงดันไอน้ำอิ่มตัวมีค่าผันแปรมากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ในกรณีที่น้ำมีตัวละลายละลายอยู่ศักย์เคมีของน้ำจะลดลง ซึ่งทำให้การระเหยของน้ำลดลงด้วย ทำให้ค่าแรงดันไอน้ำที่สมดุลกับสารละลายจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันไอน้ำอิ่มตัว (5) ในกรณีที่น้ำถูกยึดไว้โดยเนื้อดินจะมีค่าแรงดันไอน้ำลดลงเช่นกัน (16) ดังนั้นค่าศักย์ของน้ำในดิน จึงสามารถที่จะคำนวณได้โดยตรงจากแรงดันไอน้ำที่สมดุลกันกับน้ำในดินนั้น โดยค่าศักย์ของน้ำในดินที่คำนวณจะได้เป็นผลรวมของ Matric Potential และ Osmotic Potential

การพิจารณาเพื่อหาวัดค่าของ Matric Potential และ Osmotic Potential ทำโดยแยกการพิจารณาค่า Matric Potential ค่าเดียวก่อน ดังนี้



รูปที่ 5 สมดุลของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิคงที่

ที่มา : Marshall and Holmes , 1992 . (16)

จากรูปที่ 5 เมื่อเริ่มต้นการทดลอง แผ่นวัสดุพรุนวางอยู่ระดับเดียวกับผิวน้ำและดูดซับน้ำจนอิ่มตัว จากนั้นยกแผ่นวัสดุพรุนขึ้นช้าๆด้วยอัตราเร็ว น้อยยิ่ง น้ำจะถูกดึงขึ้นไปตามท่อ โดยมีความสูงขึ้นอยู่กับแรงจับยึดน้ำของแผ่นวัสดุพรุน หากแผ่นวัสดุพรุนถูกยกขึ้นสูงมากเกินไป

อากาศจะร่วผ่านแผ่นวัตถุพอรุนทำให้น้ำที่ถูกดึงขึ้นมาไหลกลับลงสู่ระดับเดิม ณ ที่จุดสมดุล แรงที่แผ่นวัตถุพอรุนจับยึดน้ำไว้ เท่ากับแรงดึงที่แทงน้ำในท่อกระทำต่อผิวน้ำในช่องของวัตถุพอรุน แสดงได้ดังนี้

$$P = \gamma gh \quad \text{.....(28)}$$

โดยที่ P = แรงดึงที่กระทำต่อผิวน้ำ
 γ = ความหนาแน่นของน้ำ
 g = Acceleration of Gravity
 h = ระดับความสูงของน้ำที่ถูกดันขึ้นไปตามท่อ

ในสภาพที่สมดุล พิจารณาในส่วนของแรงดันไอน้ำ จะพบว่าแรงดันของไอน้ำที่ระดับความสูงต่างๆจากผิวน้ำนอกท่อ จะมีค่าไม่เท่ากัน ที่ระดับความสูง = h แรงดันไอน้ำนอกท่อจะเท่ากับแรงดันไอน้ำของน้ำในช่องว่างของแผ่นวัตถุพอรุน และแรงดันไอน้ำที่ผิวน้ำที่อยู่นอกท่อจะมีค่ามากที่สุด นั่นคือ

$$p = p^0 \quad \text{.....(29)}$$

โดยที่ p = ค่าแรงดันไอน้ำวัดได้
 p^0 = ค่าแรงดันไอน้ำอิ่มตัว

ในระดับความสูงที่แตกต่างกันเป็นระยะทาง dh การเปลี่ยนแปลงแรงดันไอน้ำเท่ากับ

$$dp = \gamma \theta dh \quad \text{.....(30)}$$

โดยที่ θ = ความหนาแน่นของไอน้ำ

เมื่อพิจารณาแรงดันน้ำในท่อก็เป็นเช่นเดียวกัน ในระดับความสูงที่แตกต่างกันเป็นระยะทาง dh แรงดันจะเปลี่ยนไปเท่ากับ

$$dP = \gamma dh \quad \text{.....(31)}$$

จากสมการที่ 30 และ 31 $dp/\theta = gh = dP/\gamma$ ดังนั้น

$$dP/\gamma = dp/\theta \quad \text{.....(32)}$$

จากกฎของก๊าซ $PV = nRT$ (33)

โดยที่ V = ปริมาตร

n = จำนวนของก๊าซ (Mole)

R = $8.314 \text{ J mole}^{-1} \text{ K}^{-1}$

T = อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{K}$)

เมื่อพิจารณาแรงดันย่อยของไอน้ำ

$$pV = (m/M) RT \quad \text{.....(34)}$$

โดยที่ m = มวลของไอน้ำในระบบ

M = $0.018016 \text{ kg mole}^{-1}$

เนื่องจาก $\theta = m/V$ ดังนั้น จากสมการที่ 34

$$\theta = pM / RT \quad \text{.....(35)}$$

จากสมการที่ 32 $\theta = dp\gamma / dP$ (36)

ดังนั้น $dP = (\gamma RT/M) (dp/p)$ (37)

integrate สมการที่ 37 ในช่วง p ถึง p° จะได้

$$P = (\gamma RT / M) (\ln p / p^{\circ}) \quad \text{.....(38)}$$

จากสมการที่ 38 ค่า P จะมีค่าในช่วงน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์เท่านั้น เนื่องจากค่า p/p° มีค่าในช่วง 0 ถึง 1

จากรูปที่ 5 สมดุลของระบบเกิดขึ้นในลักษณะที่น้ำในท่อถูกดูดยึดห้อยแขวนไว้ด้วยแรงกระทำของแผ่นวัตถุพรุน ดังนั้น แรง P ในสมการที่ 38 จึงเขียนแทนได้ด้วย ψ_m ดังนี้

$$\psi_m = (\gamma RT / M) (\ln p / p^0) \quad \text{.....(39)}$$

การวัดผลรวมของ Matric Potential และ Osmotic Potential สามารถพิจารณาได้จาก รูปที่ 5 เช่นเดียวกัน โดยวาง Semipermeable Membrane ที่น้ำสามารถไหลผ่านได้เท่านั้น บนผิวน้ำในท่อแล้ววางแผ่นวัตถุพรุนบน Membrane จากนั้นเทสารละลายลงบนแผ่นวัตถุพรุนจนแผ่นวัตถุพรุนอึดตัว น้ำที่อยู่ภายในท่อจะถูกดึงด้วยแรงที่มากขึ้น เป็นผลให้สามารถดึงน้ำขึ้นไปได้สูงกว่ากรณีที่ใช้แผ่นวัตถุพรุนอย่างเดียว การพิจารณาความสัมพันธ์เพื่อวัดค่า ผลรวมของ Matric Potential และ Osmotic Potential ทำในลักษณะเดียวกันกับค่า Matric Potential ดังนั้น ถ้าหากวัดค่าแรงดันไอน้ำสัมพันธ์ของบรรยากาศที่สมดุลกับน้ำใดๆ จะสามารถคำนวณผลรวมของค่า Matric Potential และ ค่า Osmotic Potential ได้ดังนี้

$$\psi_{m+s} = (\gamma RT / M) (\ln p / p^0) \quad \text{.....(40)}$$

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าศักย์ของน้ำ โดยการวัดค่า p/p^0 ที่มีใช้ในปัจุบัน ได้แก่ Thermocouple Psychrometer (8) Thermocouple Psychrometer เป็นเครื่องมือที่จำเป็นต้องทำการสอบเทียบเป็นรายตัว โดยสอบเทียบกับกับสารละลายที่ทราบ Osmotic Potential โดยทั่วไปมักเป็นสารละลายของ NaCl หรือ KCl การจัดสภาพการสอบเทียบที่ดี จะสามารถใช้ค่า Osmotic Potential เป็นตัวแทนของค่าศักย์ของน้ำได้ (7)

การคำนวณหาค่าศักย์ของน้ำ จากค่า Osmotic Potential ของสารละลาย ใช้คุณสมบัติ Colligative ของสารละลายที่ว่า เมื่อเติมตัวถูกละลายลงในตัวทำละลาย จะทำให้ค่าแรงดันไอของตัวทำละลายลดลง จุดเดือดเพิ่มสูงขึ้น จุดเยือกแข็งลดลง และเกิดแรงดัน Osmotic (12) ในกรณีของสารละลาย NaCl ค่าแรงดันไอที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับค่า Osmotic Coefficient ดังนี้ (17)

$$\phi = - \frac{1000 \ln (p/p^0)}{V_m M} \quad \text{.....(41)}$$

โดยที่ ϕ = Osmotic Coefficient
 V = จำนวนไอออนที่แตกตัวจากโมเลกุลของตัวถูกละลาย
 ในกรณีของ NaCl เท่ากับ 2
 m = จำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลาย/ 1000 gm
 ของตัวทำละลาย

จากสมการที่ 40 และ 41 ถ้าใช้ตัวทำละลายเป็น น้ำ

$$\psi = -2 RTm \phi \quad \dots(42)$$

จากสมการที่ 42 หากหาค่า ϕ ได้ จะคำนวณหาค่าศักย์ของน้ำได้ ซึ่งค่า ϕ ของสาร
 ละลายคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$\phi = \frac{\sigma}{(1.806 - 0.001\sigma) Vm} \quad \dots(43)$$

โดยที่ σ = อุณหภูมิของจุดเยือกแข็งที่ลดลง

จากสมการที่ 43 Lang A.G.R. 1967 (17) ใช้เป็นสมการหลักในการคำนวณค่าศักย์ของ
 น้ำของสารละลายของ NaCl ได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าศักย์ของน้ำของสารละลาย NaCl (kPa) ที่อุณหภูมิ 20-40 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	อุณหภูมิ °C				
	20	25	30	35	40
molal					
0.05	-230.1	-233.9	-237.7	-241.0	-245.4
0.1	-454	-462	-470	-477	-485
0.2	-900	-915	-930	-946	-961
0.3	-1344	-1368	-1391	-1415	-1437
0.4	-1791	-1823	-1855	-1886	-1917

ที่มา : Lang , 1967 . (17)

6. หน่วยของค่าศักย์ของน้ำ

จากสมการที่ 40 เมื่อระบุหน่วยของค่าคงที่และตัวแปรในสมการแล้ว แสดงได้ดังนี้

$$\psi = (\gamma RT / M) (\ln p / p^\circ)$$

$$\psi = \left[\frac{[\text{kg} / \text{m}^3] [\text{Joule} / (^\circ\text{K mole})] ^\circ\text{K}}{[\text{kg} / \text{mole}]} \right] \left[\frac{\text{N} / \text{m}^2}{\text{N} / \text{m}^2} \right]$$

$$\psi = \text{Joule} / \text{m}^3$$

จาก 1 Joule = 1 N m ดังนั้น

$$\psi = \text{N} / \text{m}^2$$

ดังนั้น การระบุค่าศักย์ของน้ำ อาจระบุโดยใช้หน่วยแรงดัน หน่วยพลังงานต่อปริมาตร หรือ หน่วยพลังงานต่อมวล โดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้ (4)

$$1 \text{ kPa} = 1 \text{ Joule} / \text{kg}$$

$$1 \text{ kPa} = 0.01 \text{ bar}$$

$$1 \text{ kPa} = 0.009869 \text{ atm}$$

7. การเปรียบเทียบเครื่องมือวัดค่าศักย์น้ำในดิน

การเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดเครื่องมือวัดค่าศักย์น้ำในดิน

เครื่องมือ	ช่วงการวัด	ข้อดี	ข้อจำกัด
Tensiometer	0 ถึง -85 kPa	1.อ่านค่าการวัดโดยตรง 2.ราคาถูก 3.สามารถเพิ่มเติมระบบ อ่านผลการวัดอัตโนมัติ 4.เชื่อถือได้	1.ค่าที่วัดได้เป็นค่าศักย์ของ น้ำในดินที่อยู่รอบจุดที่ติดตั้งเท่านั้น 2.วัดได้เฉพาะค่าศักย์ของน้ำ ที่เป็น Matric Potential 3.มาตรวัดที่อยู่บนผิวดินอาจ ได้รับการรบกวน
Resistance Block	-20 ถึง -1500 kPa	1.เชื่อถือได้ 2.สามารถเพิ่มเติมระบบ อ่านผลการวัดอัตโนมัติ 3.ราคาถูก 4.โครงสร้างแข็งแรง	1.ต้องมีการสอบเทียบสำหรับ แต่ละตัว 2.ค่าที่วัดได้เป็นค่าศักย์ของ น้ำในดินที่อยู่รอบจุดที่ติดตั้งเท่านั้น 3.แสดงค่าผิดพลาดในดินเค็ม
Thermocouple Psychrometer	-0.02 ถึง <-1500 kPa	1.ค่าที่วัดได้เป็นผลรวมของ Matric Potential และ Osmotic Potential 2.สามารถเพิ่มเติมระบบ อ่านผลการวัดอัตโนมัติ 3.สามารถวัดค่าศักย์ของน้ำ ในช่วงที่แห้งมากได้	1.ค่าที่วัดได้เป็นตัวอย่างดิน ที่มีขนาดเล็กมาก 2.อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 3.อาจถูกทำให้เสียหายจาก เกลือต่างๆ 4.ราคาค่อนข้างแพง

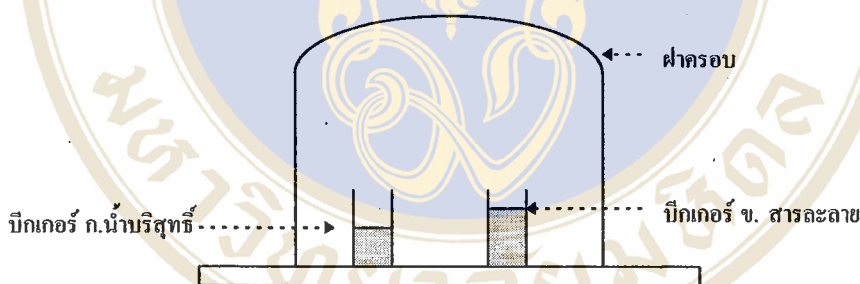
ที่มา : Rearcy , Ehleringer , Mooney and Rundel , 1992. (6) และ Keilh A. Smith., Chris E. Mullins , 1991. (8)

จากตารางที่ 2 Resistance Block ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่าย ราคาต่ำ โครงสร้างแข็งแรง การติดตั้งทำได้สะดวก และสำหรับดินทั่วไป Resistance Block จึงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมกับการใช้งานในแปลงปลูก

สำหรับปัญหาในด้านการสอบเทียบ Resistance Block หากสามารถสอบเทียบโดยการ
ใช้สารละลายเป็นมาตรฐานในการสอบเทียบเช่นเดียวกับ Thermocouple Psychrometer แล้ว จะ
เป็นวิธีที่สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป ดังนั้นการสร้างเครื่องมือและวิธีการสำหรับการ
สอบเทียบค่าความต้านทานของ Resistance Block กับ ค่าศักย์ของสารละลาย จะทำให้การสอบ
เทียบ Resistance Block ทำได้ง่ายขึ้น

8. แนวคิดการออกแบบเครื่องสอบเทียบ

ในระบบปิดตามรูปที่ 6 บีกเกอร์บรรจุน้ำบริสุทธิ์ และสารละลาย ถูกครอบไว้ด้วยฝาครอบ
ครอบ ขณะที่เริ่มต้นปริมาตรของเหลวในบีกเกอร์ทั้งสองมีปริมาตรเท่ากัน เมื่อเวลาผ่านไป
ปริมาตรน้ำบริสุทธิ์ในบีกเกอร์ ก. ลดลง ส่วนปริมาตรในสารละลายในบีกเกอร์ ข. เพิ่มขึ้น เนื่อง
จากมีการเคลื่อนย้ายมวลจากบีกเกอร์ ก. ไปยัง บีกเกอร์ ข. จนกระทั่งระบบเข้าสู่สมดุล ปริมาตร
ของเหลวในบีกเกอร์ทั้งสองจึงไม่เปลี่ยนแปลงอีก (18)



รูปที่ 6 การทดลองแสดงการเคลื่อนย้ายมวลสารของของเหลวที่มีแรงดันไอต่างกัน

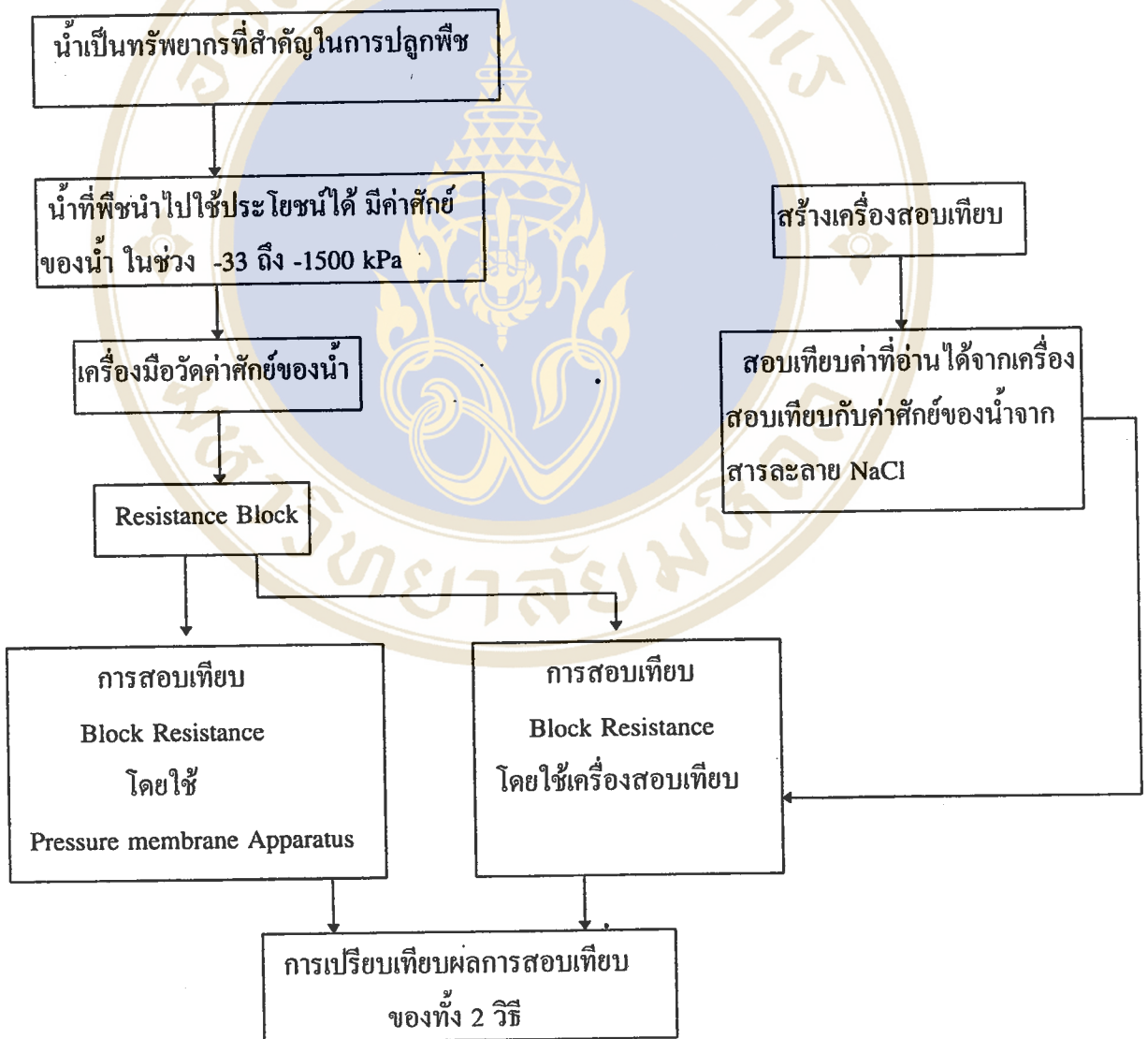
ที่มา : ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ , 2530. (18)

จากรูปที่ 6 การเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำ เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำบริสุทธิ์ในบีกเกอร์ ก. มีค่า
ศักย์ของน้ำมากกว่าจึงเคลื่อนย้ายไปสู่ บีกเกอร์ ข. ซึ่งบรรจุสารละลายที่มีค่าศักย์ของน้ำต่ำกว่า
กว่า ดังนั้น หากนำไปแขวนในภาชนะปิด ที่บรรจุสารละลายที่ทราบค่าศักย์ของน้ำ น้ำจะ
เคลื่อนย้ายไปอยู่ในบรรยากาศและสารละลาย ด้วยอัตราเร็วที่ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของค่าศักย์
ของน้ำในบีกเกอร์ ก. และค่าศักย์ของน้ำในสารละลาย ทำให้ปริมาณน้ำในบีกเกอร์ ก. ลดลง หาก
สามารถวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำดังกล่าวได้ ค่าที่วัดได้นี้ จะเป็นตัวแทนของค่าศักย์
ของน้ำในสารละลายนั้น

ดังนั้น หากสร้างรูปแบบของการนำน้ำไปแขวนไว้เหนือสารละลายที่เหมาะสม จะสามารถใช้ผลที่ได้สำหรับวัดค่าศักย์ของน้ำที่ไม่ทราบค่ามาก่อนได้ และนำไปใช้สอบเทียบ Resistance Block ได้ต่อไป

9. กรอบแนวคิด

จากการทบทวนเอกสารข้างต้น สรุปเป็นกรอบแนวคิดในการศึกษาครั้งนี้ได้ดังนี้



บทที่ 3

วัตถุประสงค์ และวิธีการ

การศึกษานี้เป็นการสร้างเครื่องสอบเทียบตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

1. การสร้างเครื่องสอบเทียบ
2. การสอบเทียบเครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นใหม่กับสารละลาย NaCl
3. การสอบเทียบ Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus
4. การสอบเทียบ Resistance Block ด้วยเครื่องมือสอบเทียบที่สร้างขึ้นใหม่
5. การวิเคราะห์ข้อมูล และ การเปรียบเทียบวิธีสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus และ เครื่องสอบเทียบ

การสร้างเครื่องสอบเทียบ

จากการที่ Pressure Membrane Apparatus สร้างมาตรฐานการสอบเทียบจากแรงดันอากาศ ทำให้การสอบเทียบจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ทนแรงดันสูงและต้องใช้งบประมาณในการรักษา ระดับแรงดันให้คงที่ตลอดเวลา 3 วัน ที่ทำการสอบเทียบ จึงทำให้ Pressure Membrane Apparatus เป็นเครื่องมือที่มีขนาดใหญ่ต้องติดตั้งประจำที่ การใช้งาน Pressure Membrane Apparatus จึงอยู่ในวงจำกัด นอกจากนี้การสอบเทียบแต่ละครั้งยังมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงเลือกวิธีการสร้างมาตรฐานการสอบเทียบจากค่าศักย์ของ น้ำในสารละลาย NaCl ที่ทราบค่าศักย์ในช่วง 0 ถึง -1500 kPa ซึ่งเตรียมได้ง่ายและต้นทุนที่ต่ำ

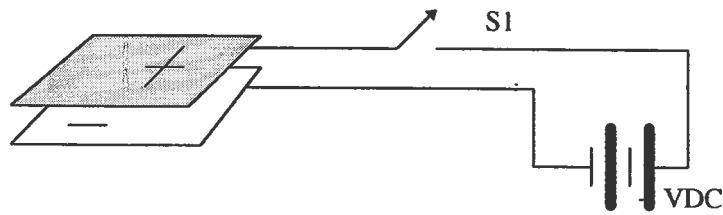
เมื่อบรรจุสารละลาย NaCl ไว้ในภาชนะปิด น้ำจะระเหยเข้าสู่บรรยากาศเหนือสารละลายโดยมีค่าแรงดันไอน้ำสัมพันธ์ในช่วง 0.9985 ถึง 1.0000 ซึ่งถ้าหากวัดความแตกต่างของค่าแรงดันไอน้ำสัมพันธ์ในช่วง 0.9985 ถึง 1.0000 ได้ จะสามารถสร้างความสัมพันธ์ของค่าจากการวัด และ ค่าศักย์ของน้ำได้

การวัดค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ในช่วง 0.9985 ถึง 1.0000 ซึ่งเป็นช่วงที่ค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์มีค่าสูงใกล้จุดอิ่มตัว อาจวัดด้วย Thermocouple Pycrometer แต่ Thermocouple Pycrometer เป็นชุดเครื่องมือที่มีราคาแพง และบอบบาง ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงสร้างเครื่องมือแบบใหม่เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว

เมื่อพิจารณาการวัดค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ในช่วง 0.9985 ถึง 1.0000 ด้วย Thermocouple Pycrometer จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับอัตราการระเหยของน้ำที่เกาะอยู่บน Thermocouple Pycrometer ดังนั้น หากสร้างตัวตรวจวัดที่กำหนดปริมาณน้ำในตัวตรวจวัดที่จุดเริ่มต้นได้ แล้วนำตัวตรวจวัดที่สร้างขึ้นไปใส่ไว้ในบรรยากาศที่มี ค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ในช่วง 0.9985 ถึง 1.0000 ค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันจะทำให้อัตราการระเหยของน้ำออกจากตัวตรวจวัดมีค่าแตกต่างกัน เมื่อกำหนดเวลาในการใส่ตัวตรวจวัดเข้าไปในบรรยากาศที่มีค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ใดๆ ให้เท่ากัน ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่บนตัวตรวจวัดเมื่อครบกำหนดเวลาจะมีค่าแตกต่างกัน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงสร้างตัวตรวจวัดให้มีลักษณะที่สามารถบรรจุน้ำไว้ในตัวและวัดปริมาณน้ำที่มีอยู่ในตัวตรวจวัดได้ และเนื่องจากการวัดค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ในช่วง 0.9985 ถึง 1.0000 ซึ่งมีความแตกต่างของค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์น้อยมาก การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากอัตราการระเหยที่แตกต่างกันจึงมีค่าน้อยตามไปด้วย ทำให้การวัดปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปไม่สะดวกที่จะทำการวัดปริมาตรหรือน้ำหนักโดยตรง และในขณะที่ทำการวัดปริมาตรหรือชั่งน้ำหนักอาจมีการระเหยของน้ำออกจากตัวตรวจวัดเพิ่มเติม ดังนั้นการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำทางอ้อมที่วัดได้ทันทีที่ถึงกำหนดเวลาจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมกว่า

การวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำทางอ้อมในการศึกษาครั้งนี้ใช้หลักการทำงานของตัวเก็บประจุ เนื่องจากน้ำมีค่า Dielectric Constant เท่ากับ 80 (19) ซึ่งค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับสารอื่น ดังนั้น หากสร้างตัวเก็บประจุ ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำจะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดอาจเปลี่ยนแปลงไปมากพอที่จะตรวจวัดได้ รูปแบบเบื้องต้นของตัวเก็บประจุแสดงตามรูปที่ 7 และค่าความจุไฟฟ้าคำนวณได้ตามสมการ ดังนี้ (20)



รูปที่ 7 แสดงองค์ประกอบเบื้องต้นของตัวเก็บประจุตัวเก็บประจุ

ที่มา American Amature Radio

$$C = \frac{0.224 KA}{d}$$

โดยที่

C = ค่าความจุไฟฟ้า (Farad $\times 10^{-12}$, pF)

K = ค่า Dielectric Constant ของสารที่อยู่ระหว่างตัวนำไฟฟ้า

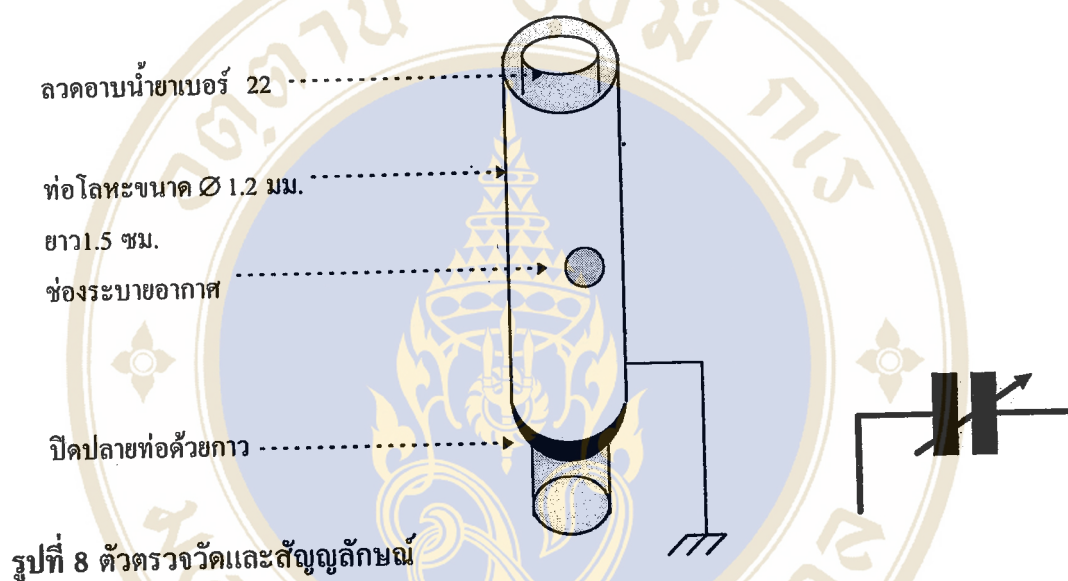
A = พื้นที่ผิวหน้าของตัวนำไฟฟ้า (ตารางนิ้ว)

d = ระยะห่างระหว่างตัวนำ (นิ้ว)

จากรูปแบบเบื้องต้นของตัวเก็บประจุตามรูปที่ 7 การศึกษาครั้งนี้จึงสร้างตัวตรวจวัดให้มีลักษณะเป็นท่อที่สามารถบรรจุน้ำได้ ปริมาตรภายในท่อโลหะจะมีค่าคงที่ เมื่อบรรจุน้ำลงแทนที่อากาศในท่อ ค่าความจุไฟฟ้าไฟฟ้าของตัวตรวจวัดจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำที่บรรจุลงไป เนื่องจากน้ำมีค่า Dielectric Constant สูงกว่าอากาศ โดยที่อากาศมีค่า Dielectric Constant เท่ากับ 1 และน้ำมีค่า Dielectric Constant เท่ากับ 80 (19) ดังนั้น ปริมาณน้ำที่บรรจุอยู่ในตัวตรวจวัดจึงสามารถแสดงได้ด้วยค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัด ตัวตรวจวัดที่สร้างขึ้นออกแบบให้มีขนาดเล็กเพื่อเป็นการลดปริมาณของน้ำจากตัวตรวจวัดที่จะระเหยเข้าไปในบรรยากาศปิดของระบบน้ำที่ศึกษา เพราะถ้าหากมีน้ำปริมาณมากระเหยเข้าไปในระบบที่กำลังทำการวัดอาจรบกวนสมดุลของระบบมากเกินไปทำให้ความแม่นยำของการวัดลดลง

การศึกษานี้จึงสร้างตัวตรวจวัดจาก ลวดอาบนํ้ายาเบอร์ 22 และท่อโลหะ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มม. ยาว 1.5 ซม. โดยวางลวดอาบนํ้ายาไว้ภายในท่อโลหะตามแนวศูนย์กลางของท่อ ลวดอาบนํ้ายาเบอร์ 22 และท่อโลหะจะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่แยกจากกันโดยช่องภายในท่อ และมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า ในรูปที่ 8 แสดงองค์ประกอบของตัวตรวจวัดที่สร้างขึ้น

การใช้งานตัวตรวจวัดเริ่มต้นด้วยการบรรจุน้ำกลั่นลงในตัวตรวจวัด จากนั้นนำตัวตรวจวัดไปวางไว้ในบรรยากาศของระบบปิดที่มีค่าแรงดันไอน้ำในบรรยากาศสมดุลกับน้ำที่ศึกษา ถ้าค่าศักย์ของน้ำที่ศึกษามีค่าต่ำกว่าน้ำที่บรรจุในตัวตรวจวัด น้ำจะเคลื่อนย้ายออกจากตัวตรวจวัด เนื่องจากน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีค่าศักย์ของน้ำสูงไปสู่บริเวณที่มีค่าศักย์ของน้ำต่ำกว่าเสมอ (2,13) การลดลงของปริมาณน้ำในตัวตรวจวัดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัด



จากการที่ตัวตรวจวัดมีขนาดเล็ก ทำให้ค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดมีค่าประมาณ 3 pF ดังนั้น การวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าโดยตรงโดยใช้เครื่องวัดความจุไฟฟ้า หรือการวัดโดยใช้วงจร Capacitance Bridge อาจทำได้ไม่ละเอียด การศึกษาครั้งนี้จึงใช้วิธีวัดค่าความจุไฟฟ้าทางอ้อมโดยนำตัวตรวจวัดมาประกอบเป็นส่วนหนึ่งของวงจร LC Oscillator เมื่อกำหนดให้ค่า Inductance (L) มีค่าคงที่ ค่าความถี่ที่ผลิตจากวงจร LC Oscillator จะเปลี่ยนค่าไปตามค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดตามสมการดังนี้

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

โดยที่

f = ค่าความถี่ของวงจร (Hz)

L = ค่า Inductance ของขดลวดในวงจร LC Resonance (H)

C = ผลรวมของค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัด

และค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์อื่นที่ประกอบ
เป็นวงจร LC Resonance (F)

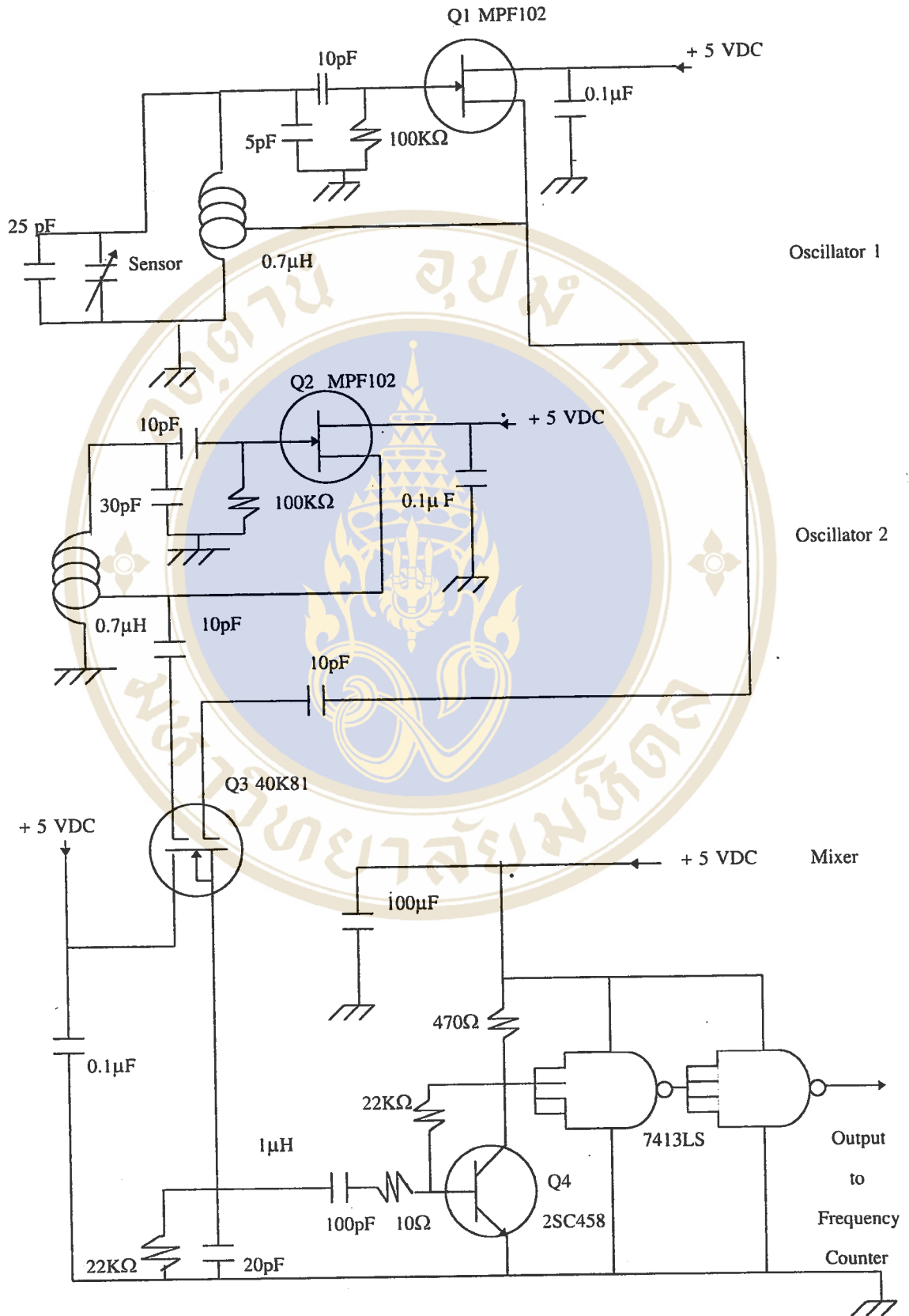
ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดจุดทำงานของวงจร LC Oscillator ที่ค่าความถี่ 42 MHz โดยคาดหมายว่า เมื่อปริมาณน้ำในตัวตรวจวัดเปลี่ยนแปลงไปแม้เพียงเล็กน้อย การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของวงจร LC Oscillator จะเปลี่ยนไปมากพอที่จะตรวจวัดได้ จากนั้นวัดความถี่ที่เกิดขึ้นจากวงจร LC Oscillator ด้วยเครื่องนับความถี่ ดังนั้น เครื่องสอบเทียบสร้างขึ้นจึงมีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ตัวตรวจวัด วงจรเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเป็นความถี่ และ เครื่องนับความถี่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ตัวตรวจวัด

สร้างขึ้นตามรูปที่ 8

2. วงจรเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเป็นความถี่

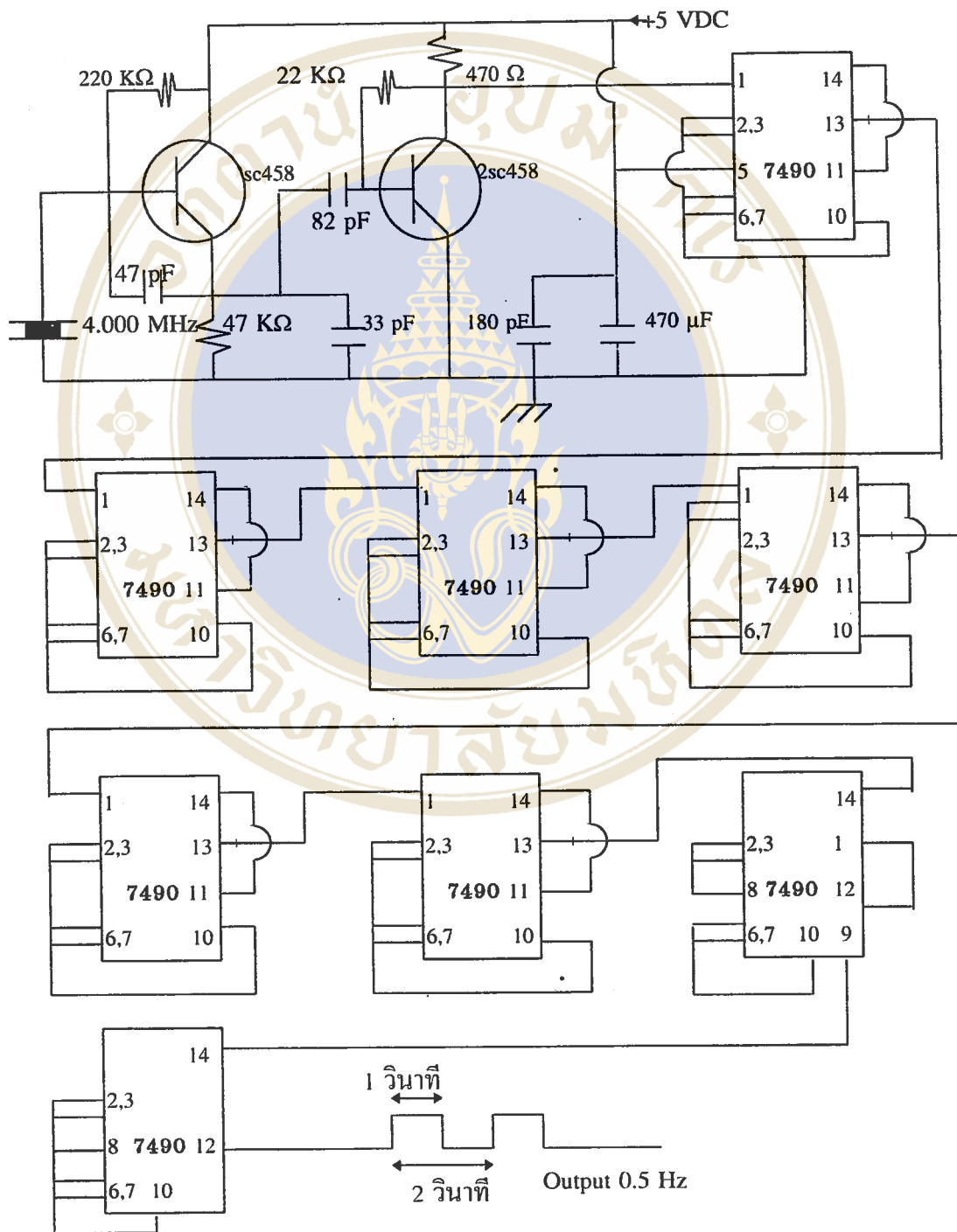
วงจรเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเป็นความถี่ ประกอบด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์แบบ Hartler Oscillator ผลิตความถี่ค่าประมาณ 42 MHz 2 วงจร วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ 1 ใช้ตัวตรวจวัดประกอบเป็นส่วนหนึ่งของวงจร ค่าความถี่ที่ผลิตออกจากวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ 1 จะเปลี่ยนไปตามค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัด วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ 2 ทำหน้าที่ผลิตความถี่คงที่ ความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์ทั้งสองจะรวมเข้าด้วยกันด้วยวงจรมิกซ์เซอร์ (21) ผลต่างของความถี่จะถูกขยายด้วยวงจรขยายสัญญาณด้วยแล้วส่งเข้า NAND Gate แบบ Schmitt Trigger จักรูปสัญญาณเป็นรูปสี่เหลี่ยม (22) ส่งเข้าวงจรนับความถี่ต่อไป การปรับแต่งวงจรปรับให้ค่าความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ 1 มีค่าต่ำกว่าวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ 2 เล็กน้อย เมื่อค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเพิ่มมากขึ้นความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ 1 จะลดลง ทำให้ผลต่างของความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์ทั้งสองเพิ่มมากขึ้น โดยเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำที่อยู่ในตัวตรวจวัด ดังนั้นค่าความถี่สุทธิที่ออกจากวงจรจะมีค่าสูงเมื่อมีน้ำอยู่ในตัวตรวจวัดมาก และค่าความถี่จะลดลงเมื่อปริมาณน้ำในตัวตรวจวัดลดลง การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ในลักษณะดังกล่าวจะทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในตัวตรวจวัดได้



รูปที่ 9 วงจรเปลี่ยนค่าความถี่ไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเป็นความถี่

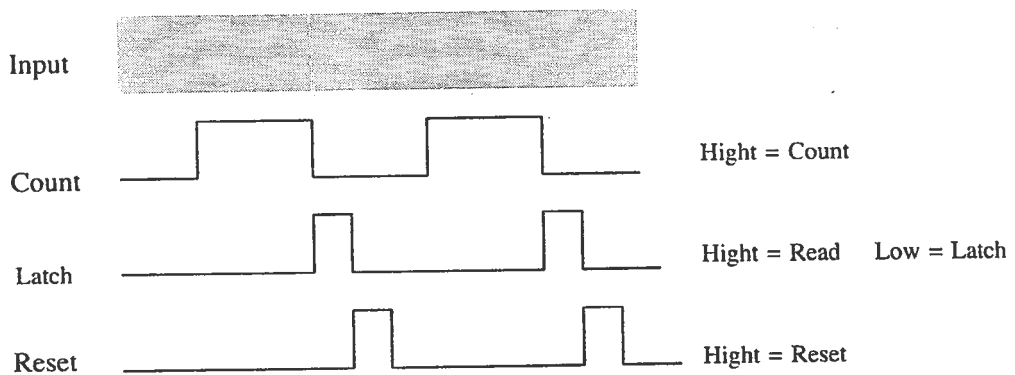
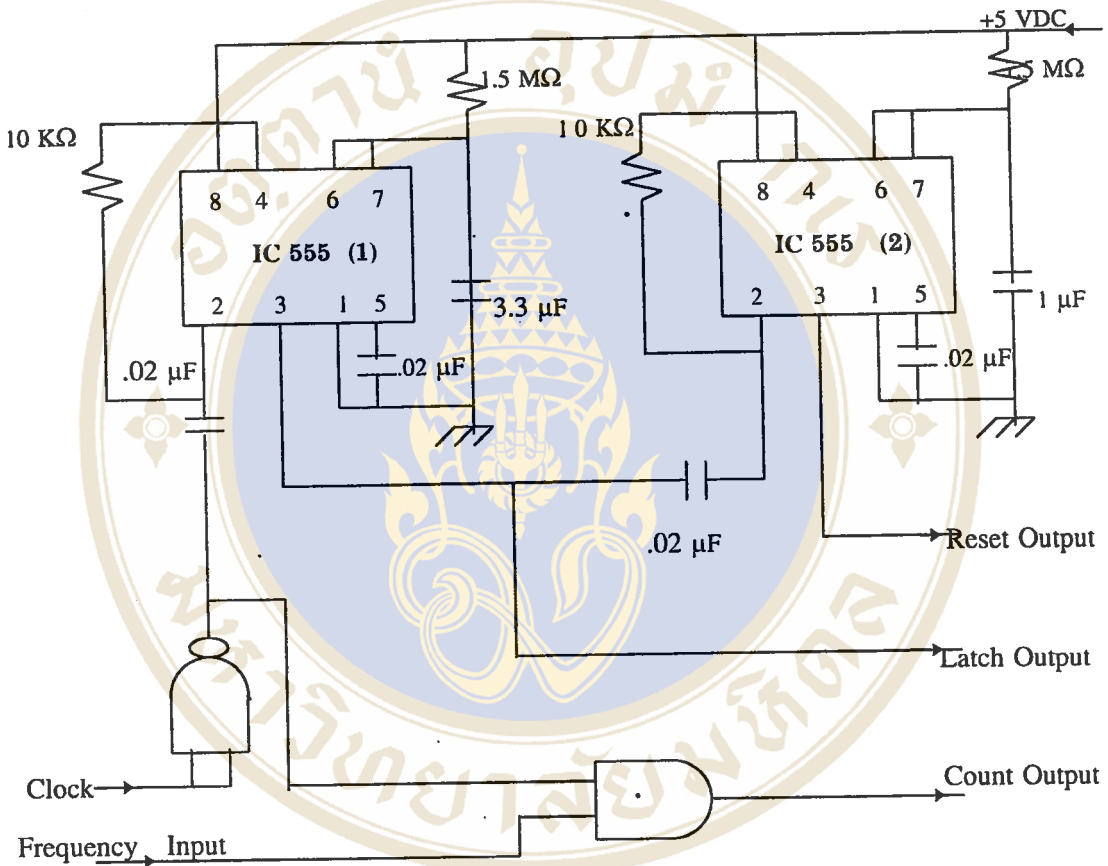
3. เครื่องนับความถี่

การศึกษาค้างนี้สร้างเครื่องนับความถี่เพื่อใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดตามวงจรในรูป ที่ 9 ก ข และ ค

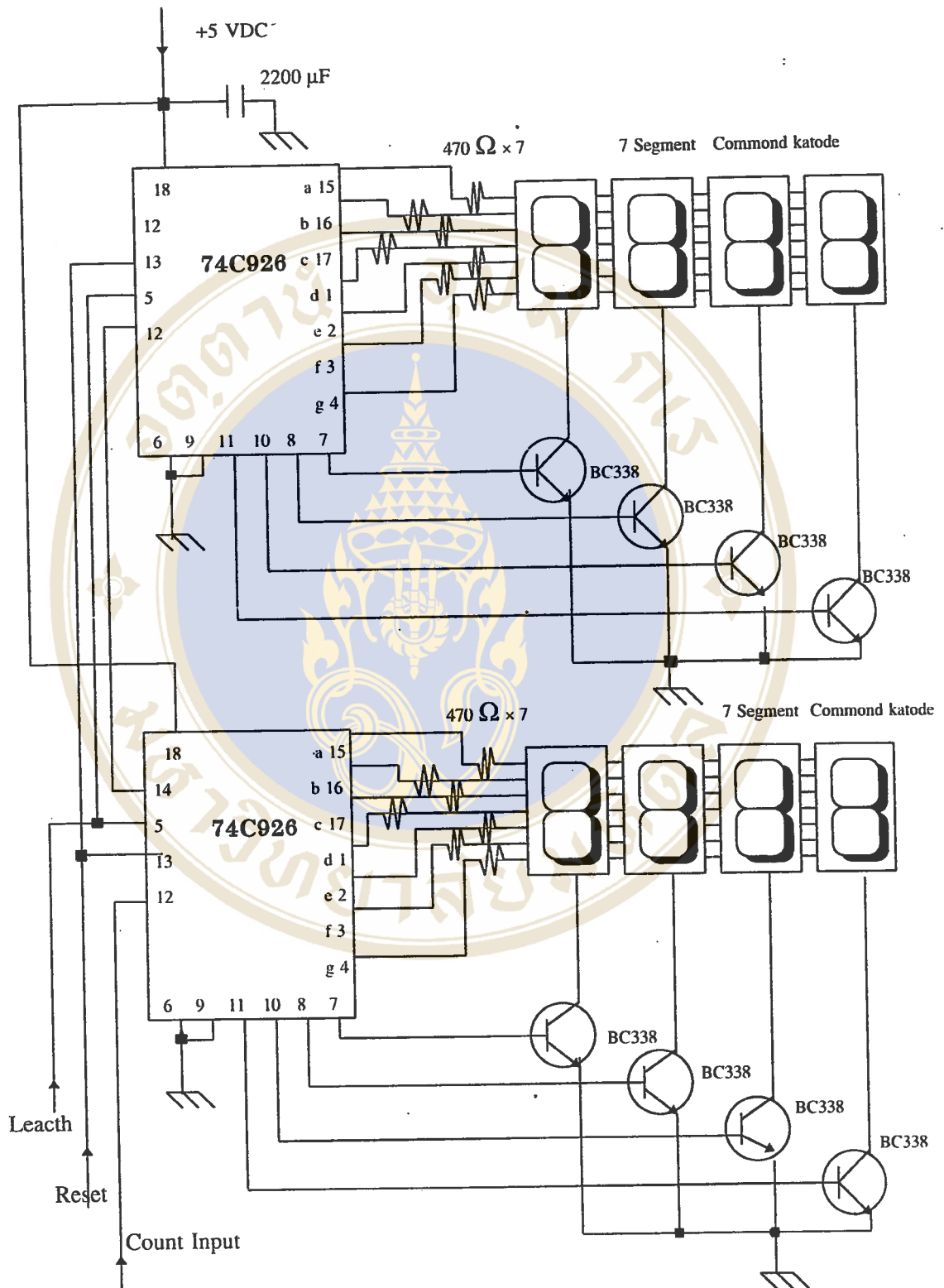


รูปที่ 10 ก วงจรฐานเวลา 2 วินาทีของเครื่องนับความถี่

ในรูปที่ 10 ก ความถี่ขนาด 4 MHz จากวงจร Oscillator จะถูกนำมาหารด้วย 10 เป็นจำนวน 6 ครั้ง หารด้วย 4 จำนวน 1 ครั้ง และหารด้วย 2 จำนวน 1 ครั้ง จากการทำงานของ IC เบอร์ 7490 ความถี่สุดท้ายจะเป็น 0.5 Hz โดยจะมีระดับสัญญาณสูง 1 วินาที และสัญญาณต่ำ 1 วินาที สลับกันตลอดเวลาที่ใช้งาน สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปใช้เป็นสัญญาณนาฬิกา ในวงจรควบคุมการนับต่อไป



รูปที่ 10 ข วงจรควบคุมของเครื่องนับความถี่



รูปที่ 10 ค วงจรส่วนทำการนับของเครื่องนับความถี่



ในรูปที่ 10 ข เมื่อสัญญาณนาฬิกามีค่าสูง สัญญาณจากวงจรในรูปที่ 10 ก จะผ่าน AND Gate เพื่อทำการนับ เมื่อหมดเวลา วินาที สัญญาณนาฬิกาต่ำ วงจร Monostable วงจรที่ 1 จะส่งสัญญาณสี่เหลี่ยมออกมา 1 ลูก เป็นสัญญาณให้วงจรนับนำค่าที่นับได้ไปแสดงผล เมื่อสัญญาณจาก วงจร Monostable วงจรที่ 1 สิ้นสุดลง การแสดงผลจะถูก Latch ค้างไว้ในส่วนแสดงผลของวงจรถับ พร้อมกับ วงจร Monostable วงจรที่ 2 จะถูกกระตุ้นให้ส่งสัญญาณ Reset ออกมา เพื่อ Reset วงจรนับเพื่อเตรียมนับค่าความถี่ในรอบต่อไป

ในรูปที่ 10 ค เป็นส่วนของวงจรถับทำงานโดยใช้ IC เบอร์ 74C926 ที่ออกแบบเพื่อทำงานนับ (18) จำนวน 2 ชุด ต่อเข้าด้วยกัน ทำการนับได้สูงสุด 8 หลัก โดยมี Input 3 แบบคือ Count Input , Reset และ Leach โดยสัญญาณ Input จะส่งมาจากส่วนควบคุมตามวงจรในรูปที่ 10 ข

เมื่อประกอบตัวตรวจวัด วงจรเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเป็นความถี่ และเครื่องนับความถี่ เข้าด้วยกัน จะได้เครื่องสอบเทียบ สำหรับใช้ในการศึกษา ค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบจะเป็นค่าความถี่ที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัด มีหน่วยเป็น kHz

การสอบเทียบเครื่องสอบเทียบโดยใช้สารละลาย NaCl

การสอบเทียบทำโดยจัดวางแขนตัวตรวจวัดในบรรยากาศเหนือสารละลาย NaCl ตามรูปที่ 11 ใช้สารละลายที่มีค่าความเข้มข้น 0 , .05 , 0.1 , 0.2 , 0.3 , 0.4 Molal และทำการสอบเทียบตามขั้นตอนดังนี้

1. ใส่สารละลาย NaCl ลงในขวดใส่ตัวอย่าง ปิดวาล์ว ทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 5 ชั่วโมง เพื่อให้แรงดันไอของบรรยากาศภายในขวดถึงจุดสมดุล (7)

2. เปิดเครื่องสอบเทียบ เติมน้ำกลั่นประมาณ 0.01 ml. ลงในตัวตรวจวัด ให้อ่านค่าได้ในช่วง 3050 - 3200 kHz จากนั้นวางตัวตรวจวัดลงบนปากขวด O-ring ที่ติดตั้งไว้รอบตัวตรวจวัดจะทำหน้าที่ผนึกรอยต่อระหว่างตัวตรวจวัดและขวดใส่สารละลาย ป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

3. ค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบ จะลดลงเป็นลำดับอย่างช้าๆ เนื่องจากน้ำกลั่นเคลื่อนย้ายออกจากตัวตรวจวัดไปสู่ช่องบรรยากาศระหว่างตัวตรวจวัดกับวาล์วซึ่งขณะนี้ปิดอยู่ เมื่อค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบลดลงถึง 3000 kHz ดำเนินการดังนี้

3.1 เปิดวาล์ว ให้ตัวตรวจวัดและขดขมวดบรรจุสายละลายเชื่อมต่อเป็นระบบปิดเดียวกัน พร้อมกับเริ่มต้นจับเวลา และปิดเครื่องสอบเทียบ

3.2 เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที เปิดเครื่องสอบเทียบ จดค่าที่อ่านได้ และปิดเครื่องสอบเทียบ

3.3 เปิดเครื่องสอบเทียบ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาทีจากจุดเริ่มต้นจับเวลา ในข้อ 3.1 จดค่าที่อ่านได้ ปิดเครื่องสอบเทียบ

3.4 นำค่าในข้อ 3.2 ลบ ด้วยค่าในข้อ 3.3 บันทึกผลลัพธ์ที่ได้ และ ค่าความเข้มข้นของสารละลาย

4. ปลดตัวตรวจวัดออกจากขดใส่ตัวอย่าง แล้วทำซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 1 -3 สำหรับสารละลายค่าความเข้มข้นต่อไป ในแต่ละความเข้มข้น ทำซ้ำ 5 ครั้ง จะได้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ผลรวม 30 ชุด

ตามขั้นตอนการสอบเทียบข้างต้น ช่วงเวลา 5 นาทีแรกเป็นช่วงเวลาที่ปล่อยให้บรรยากาศเหนือวาล์ว และ ใต้วาล์วผสมรวมเข้าด้วยกัน โดยไอน้ำที่อยู่ในขวดจะแพร่เข้าสู่บรรยากาศที่อยู่เหนือวาล์ว และทำให้แรงดันไอน้ำในบรรยากาศเหนือวาล์วมีค่าครึ่งหนึ่งของแรงดันไอน้ำที่อยู่ในขวด โดยใช้เวลา 1.945 วินาที ตามสมการดังนี้ (5)

$$t = \frac{\Delta x^2}{2D}$$

โดยที่ t = เวลา (วินาที)

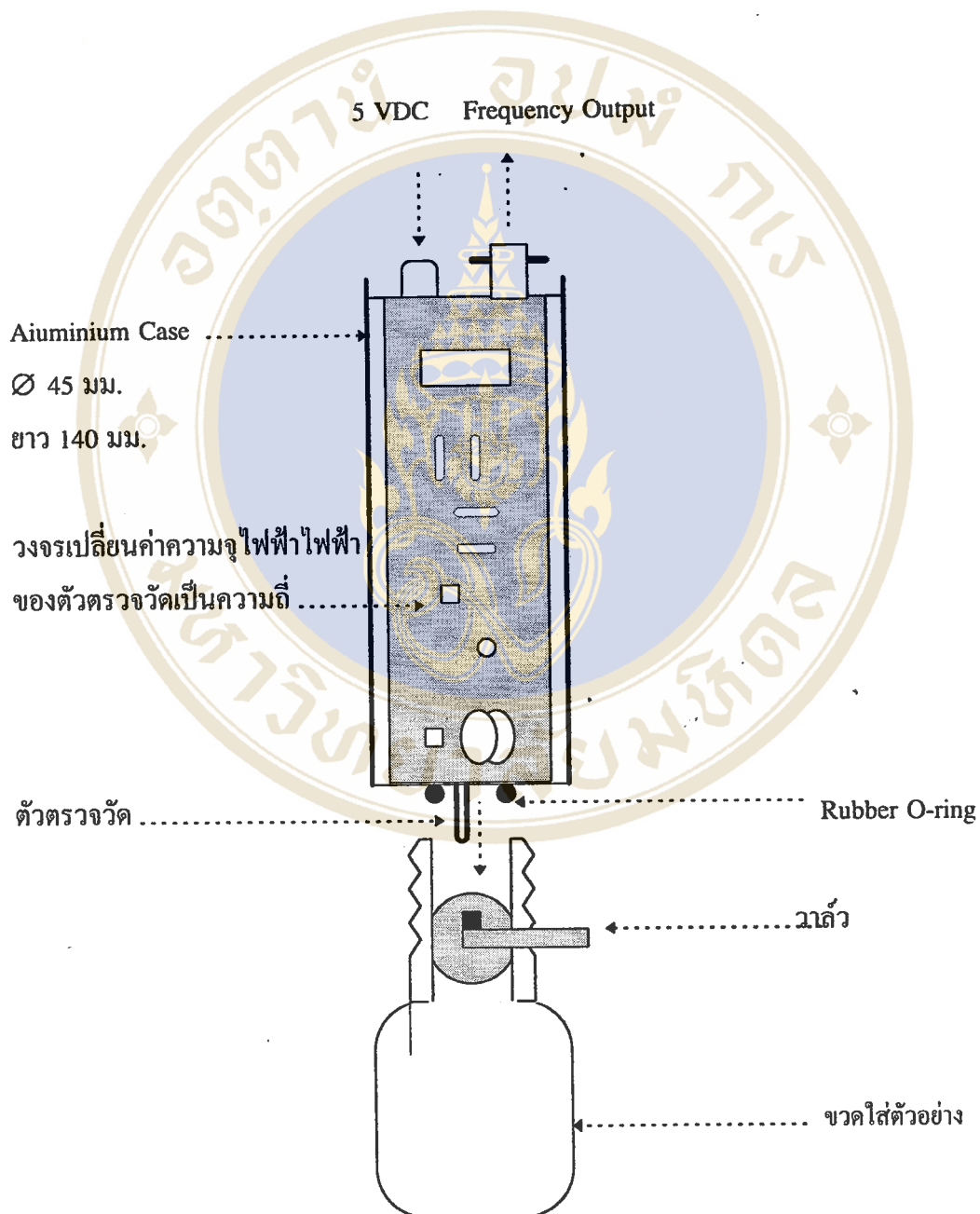
x = ระยะทางที่แพร่ผ่าน (เมตร)

D = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของไอน้ำในอากาศ

$$(2.57 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1})$$

ในการศึกษาครั้งนี้ ระยะทางที่แพร่ผ่านเท่ากับ 10 มม. ดังนั้นจะใช้เวลา 1.945 วินาทีที่จะทำให้ค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ดันไอน้ำในบรรยากาศเหนือวาล์วมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของบรรยากาศภายในขวด ดังนั้นเวลา 5 นาทีแรกของการวัดแต่ละครั้ง จึงเป็นเวลาที่เหมาะสมพอ

ที่บรรยากาศเหนือวาล์วและได้วาล์วจะมีค่าแรงดันไอน้ำสัมพันธ์เท่ากัน ซึ่งจะทำการระเหยของน้ำออกจากตัวตรวจวัดในช่วงเวลาอีก 5 นาที ต่อมาเป็นการระเหยภายใต้ค่าแรงดันไอน้ำสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าแรงดันไอน้ำสัมพันธ์ที่สมดุลกับสารละลายที่อยู่ในขวดใส่ตัวอย่าง



รูปที่ 11 การจัดวางเครื่องสอบเทียบโดยใช้สารละลายเกลือแกงที่ทราบค่าศักย์ของน้ำ

การสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้ Resistance Block ที่สร้างจาก Gypsum เป็นตัวแทนของตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าสำหรับงานวัดค่าศักย์ของน้ำในดิน

การสอบเทียบทำโดยส่ง Gypsum Resistance Block จำนวน 4 ตัว ทำการสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus ที่งานทดสอบดินปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

วิธีสอบเทียบทำโดยวาง Gypsum Resistance Block ในดินชุดกำแพงแสนที่ชุ่มน้ำ จากนั้นนำมวลดินที่มี Gypsum Resistance Block ผิงอยู่ไปวางใน Pressure Membrane Apparatus ที่ระดับความดัน 0.5 , 1 , 2 , 4 , 8 , 10 และ 15 bar โดยใช้เวลาที่ความดันระดับต่างๆ ความดันละ 3 วัน (8) เมื่อครบ 3 วัน อ่านค่าของ Gypsum Resistance Block ด้วย Soil Moisture Tester (Resistance Block Meter) ของ Delmhorst Instrument Co. Model KS Calibrated บันทึกค่าที่อ่านได้จาก Gypsum Resistance Block และค่าความดัน เพื่อใช้สำหรับการสร้างสมการทำนายค่าศักย์ของน้ำจาก ค่าที่อ่านได้จาก Gypsum Resistance Block

Soil Moisture Tester (Resistance Block Meter) ของ Delmhorst Instrument Co. Model KS Calibrated อ่านค่าความต้านทานของ Gypsum Resistance Block ออกมาเป็นค่า Meter Scale ในช่วง 0 ถึง 200 โดยค่าความต้านทานสูงที่สุดที่วัดได้มีค่า Meter Scale เท่ากับ 0 (Gypsum Resistance Block มีสภาพแห้ง) และค่าความต้านทานต่ำที่สุดที่วัดได้มีค่า Meter Scale เท่ากับ 200 (Gypsum Resistance Block มีสภาพเปียก)

การสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วยเครื่องสอบเทียบ

จัดเตรียมอุปกรณ์และดำเนินการสอบเทียบ เช่นเดียวกันกับการสอบเทียบเครื่องสอบเทียบโดยใช้สารละลาย NaCl แต่แทนที่สารละลาย NaCl ด้วย Gypsum Resistance Block (ป้ายสีเหลือง) ที่เคลื่อนด้วยดินชุดกำแพงแสน โดยเริ่มต้นจากจุดที่อิ่มตัวด้วยน้ำไปจนถึงจุดที่ Gypsum Resistance Block แห้งที่สุด บันทึกค่าจากเครื่องสอบเทียบ และค่าของ Gypsum

Resistance Block โดยอ่านจาก Soil Moisture Tester (Resistance Block Meter) ของ Delmhorst Instrument Co. Model KS Calibrated เช่นเดียวกับการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus

การวิเคราะห์ข้อมูล และการเปรียบเทียบวิธีสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus และ เครื่องสอบเทียบ

การวิเคราะห์ข้อมูล และการเปรียบเทียบวิธีสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus และ เครื่องสอบเทียบ โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

1 สร้างสมการของความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบ และค่าศักย์ของน้ำ จากการใช้สารละลาย NaCl เป็นมาตรฐานสอบเทียบ ด้วย Regression โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window

2 สร้างสมการของความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าที่อ่านได้จาก Resistance Block และค่าศักย์ของน้ำ จากการสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus โดยใช้ Regression โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window

3 สร้างสมการของความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าที่อ่านได้จาก Resistance Block และค่าศักย์ของน้ำจากการสอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบโดยใช้ Regression โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window

4 เปรียบเทียบผลการสอบเทียบระหว่าง การสอบเทียบ Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus และการสอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบ โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของค่าศักย์ของน้ำที่ได้จากการสอบเทียบทั้งสองวิธี

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการสร้างเครื่องสอบเทียบตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า สำหรับงานวัดค่าศักย์ของน้ำในดิน เปรียบเทียบกับ Pressure Membrane Apparatus ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในปัจจุบัน โดยใช้ Gypsum Resistance Block เป็นตัวแทนของตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า ผลการศึกษาประกอบด้วย 4 ส่วนดังนี้คือ

1. ผลการสร้างเครื่องสอบเทียบ และการสอบเทียบเครื่องสอบเทียบโดยใช้สารละลาย NaCl
2. ผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus
3. ผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วย เครื่องสอบเทียบ
4. ผลการเปรียบเทียบ ค่าศักย์ของน้ำที่อ่านจาก Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบ และ สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus

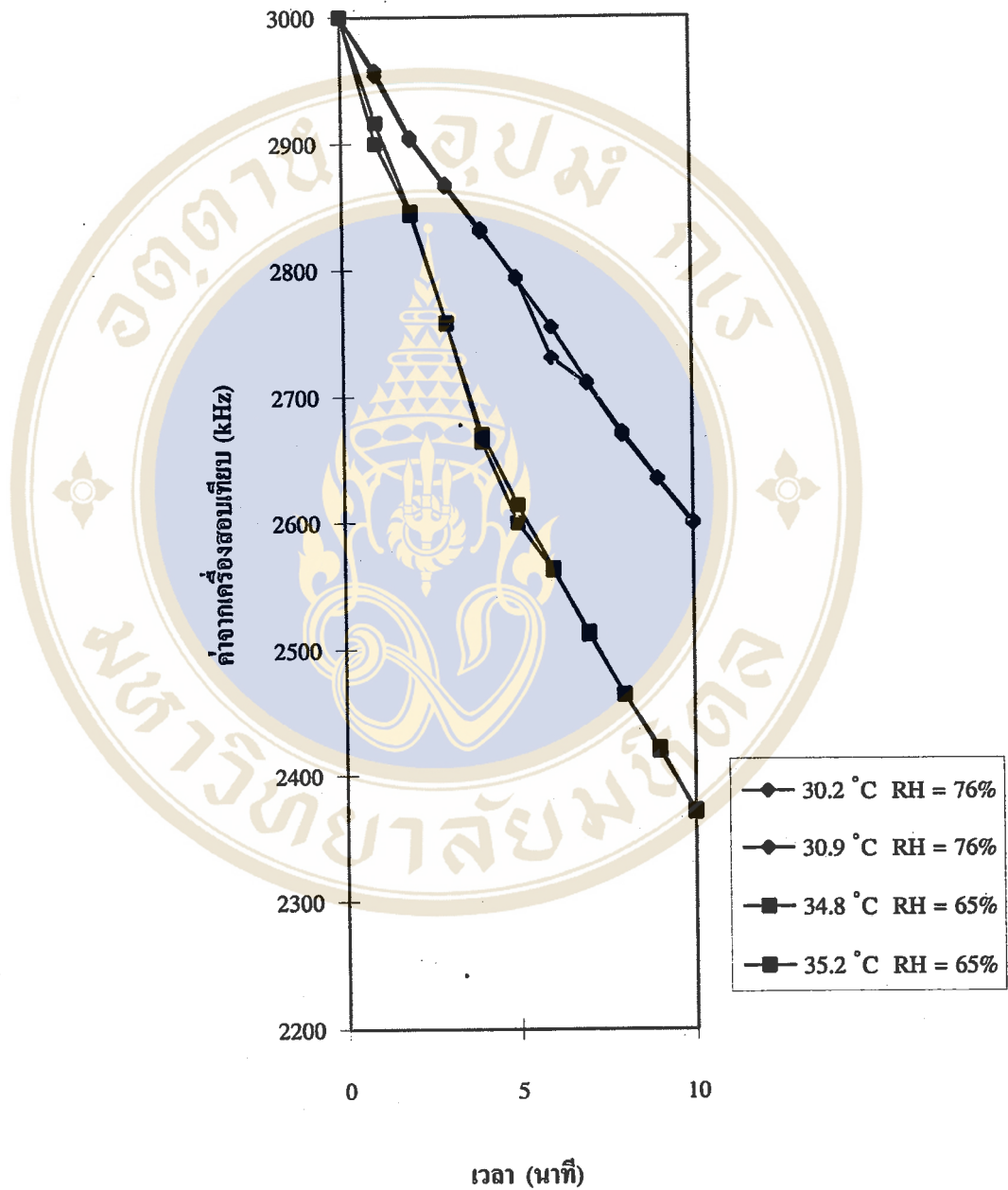
ผลการสร้างเครื่องสอบเทียบ และการสอบเทียบเครื่องสอบเทียบโดยใช้สารละลาย NaCl

1. เสถียรภาพของเครื่องสอบเทียบ

เมื่อประกอบตัวตรวจวัด วงจรเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเป็นความถี่ และเครื่องนับควมถี่ เข้าด้วยกันเป็นเครื่องสอบเทียบ ทำงานโดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบ ± 0.05 kHz เมื่อไม่ได้บรรจุน้ำลงในตัวตรวจวัด ที่ ค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ของบรรยากาศ และ อุณหภูมิhumidityห้อง

2. ผลการตอบสนองต่อปริมาณน้ำที่บรรจุในตัวตรวจวัดของเครื่องสอบเทียบ

เมื่อบรรจุน้ำลงในตัวตรวจวัด เครื่องสอบเทียบแสดงค่าความถี่ที่อ่านจากเครื่องสอบเทียบเปลี่ยนแปลงตอบสนองต่อระยะเวลาของการระเหยออกไปจากตัวตรวจวัด ที่ค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ของบรรยากาศ และ อุณหภูมิhumidityห้อง ตามรูปที่ 12



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ของ ค่าจากเครื่องสอบเทียบ และ ระยะเวลาที่น้ำระเหยออกจากตัว
ตรวจวัด

3. ผลการสอบเทียบของเครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นโดยใช้สารละลาย NaCl

ผลการสอบเทียบของเครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นโดยใช้สารละลาย NaCl ที่ทราบค่าศักย์ของสารละลาย ที่เสนอโดย A.G.R Lang. (17) ผลการสอบเทียบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบที่สร้างขึ้นใหม่กับสารละลาย NaCl

หน่วยทดลอง	ความเข้มข้น molal	ค่าศักย์ของน้ำ -kPa	ค่าที่จากเครื่องสอบเทียบ kHz	อุณหภูมิ °C
1	0.00	0.00	54	35.2
2	0.05	241.74	68	35.2
3	0.10	477.65	82	35.5
4	0.20	947.07	91	35.4
5	0.30	1416.24	99	35.3
6	0.40	1889.10	114	35.3
7	0.00	0.00	55	33.5
8	0.05	240.51	62	33.6
9	0.10	475.14	62	33.6
10	0.20	941.80	72	33.7
11	0.30	1409.19	86	33.8
12	0.40	1879.40	125	33.8
13	0.00	0.00	51	31.4
14	0.05	239.43	71	32.2
15	0.10	473.48	67	32.4
16	0.20	939.01	92	32.8
17	0.30	1405.43	84	33.0
18	0.40	1875.51	135	33.2
19	0.00	0.00	53	35.0
20	0.05	241.35	62	34.7
21	0.10	476.35	68	34.5

ตารางที่ 3 ผลการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบที่สร้างขึ้นใหม่กับสารละลายเกลือแกง (ต่อ)

หน่วยทดลอง	ความเข้มข้น	ค่าศักย์ของน้ำ	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบ	อุณหภูมิ
	molal	-kPa	kHz	°C
22	0.20	946.76	78	35.3
23	0.30	1408.72	90	33.7
24	0.04	1878.10	142	33.6
25	0.00	0.00	63	35.3
26	0.05	241.28	77	34.6
27	0.10	476.74	84	34.8
28	0.20	946.14	89	35.1
29	0.30	1415.30	98	35.1
30	0.40	1885.87	141	34.8

จากตารางที่ 3 คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าจากเครื่องสอบเทียบ ค่าศักย์ของน้ำ และ อุณหภูมิ ได้ตามตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

	ค่าจากเครื่องสอบเทียบ		อุณหภูมิ	
ค่าศักย์ของน้ำ	.9113	(P-value .000)	.0381	(P-value .841)
อุณหภูมิ	.0871	(P-value .841)	-	

จากตารางที่ 3 และ 4 ค่าจากเครื่องสอบเทียบมีความสัมพันธ์กับค่าศักย์ของน้ำในระดับสูง และอุณหภูมิที่แตกต่างกันในช่วง 31.4 ถึง 35.5°C มีอิทธิพลต่อค่าจากเครื่องสอบเทียบในระดับต่ำ จากตารางที่ 3 สร้างรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำและค่าจากเครื่องสอบเทียบ และคัดเลือกสมการถดถอยที่ดีที่สุดตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำ และ ค่าจากเครื่องสอบเทียบ

รูปแบบสมการ	R ²	d.f.	F	Sig F	b0	b1	b2	b3
Linear	.831	28	137.20	.000	-1165.00	23.7447		
Quadratic	.863	27	84.79	.000	-2582.40	56.1985	-.1699	
Cubic	.875	26	60.59	.000	1106.46	-74.960	1.2985	-.0052
Logarithmic	.856	28	166.39	.000	-8579.30	2143.90		

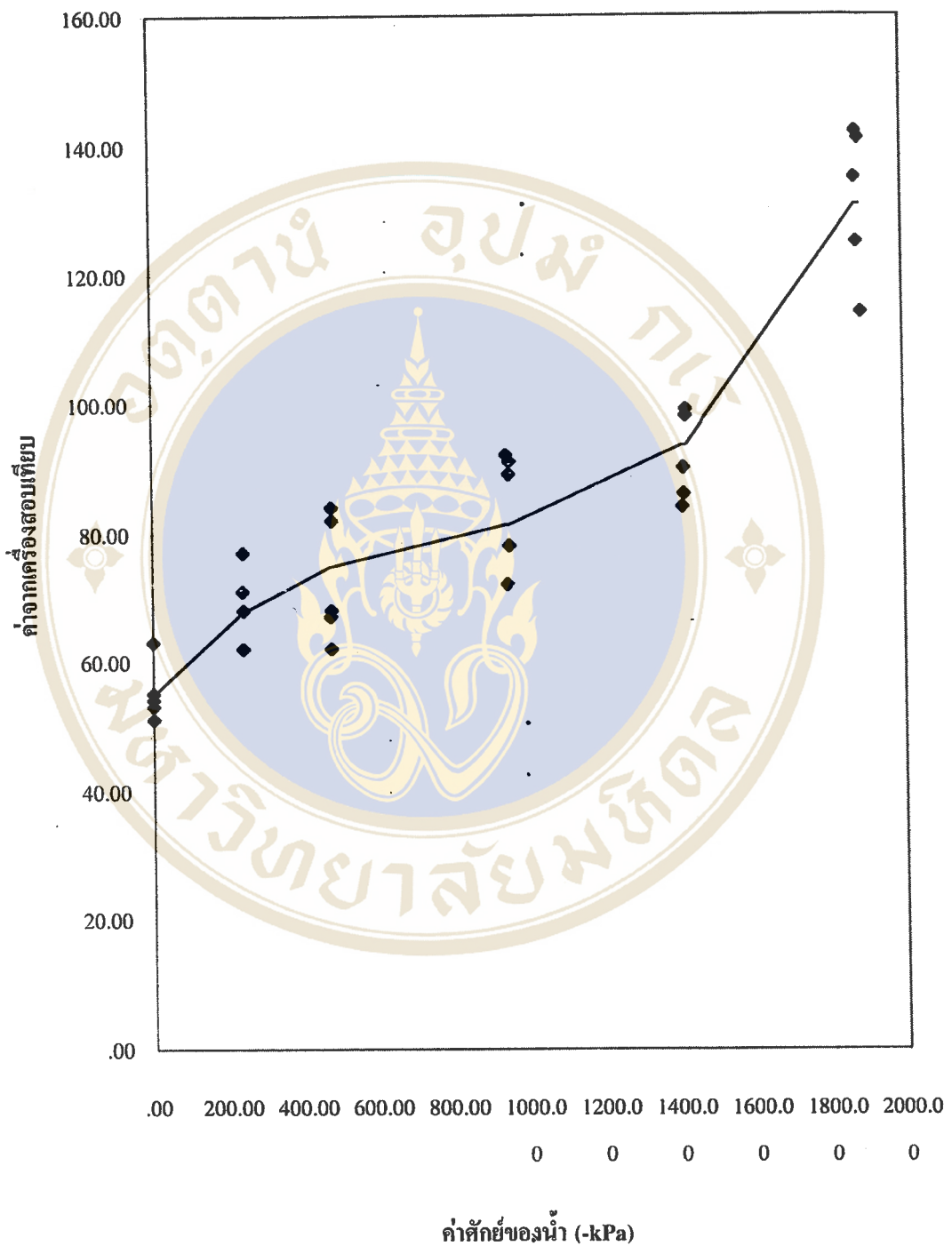
จากตารางที่ 5 เลือกสมการแบบ Cubic เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าศักย์ของน้ำ และ ค่าจากเครื่องสอบเทียบ เนื่องจากมีค่า R² สูงที่สุด = .875 และมีนัยสำคัญที่ 0.01 สมการที่ได้ คือ

$$\Psi = -[-0.0052 X^3 + 1.2985X^2 - 74.960X + 1106.46] \dots(44)$$

โดยที่

$$\Psi = \text{ค่าศักย์ของน้ำ}$$

$$X = \text{ค่าจากเครื่องสอบเทียบ}$$



รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าศักย์ของน้ำ (Ψ) และ ค่าจากเครื่องสอบเทียบ (X)

ผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus

ผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus
แสดงตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus

Gypsum Resistance Block Label	ค่าศักย์ของน้ำ (bar)						
	0.5	1	2	4	8	10	15
แดง	195	110	43	36	13.5	6	9
ขาว	200	65	25	23	10	4	6
เหลือง	195	65	25	22	5.5	4	4
น้ำเงิน	200	70	25	23	10	5	5

จากตารางที่ 6 เลือก Gypsum Resistance Block ที่ติดป้ายสีเหลืองเพื่อใช้ในการสอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบต่อไป เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงค่าที่ตอบสนองต่อแรงดันดีกว่าตัวอื่น โดยพิจารณาในช่วงแรงดัน 10 และ 15 bar ค่าที่อ่านได้ไม่เพิ่มขึ้น และในช่วงความดันต่ำค่าที่อ่านได้น้อยกว่า 200 ซึ่งเป็นค่าสูงสุด ซึ่งแสดงว่า Gypsum Resistance Block ที่ติดป้ายสีเหลืองมีความสามารถวัดค่าที่แรงดันต่ำกว่า 0.5 bar ได้ ในตารางที่ 6 แสดงค่าของ Gypsum Resistance Block ที่ติดป้ายสีเหลือง และค่าศักย์ของน้ำ ในหน่วย kPa

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนค่าศักย์ของน้ำในหน่วย bar เป็น kPa ของ Gypsum Resistance Block ป้ายสีเหลือง

ค่าของ Gypsum Resistance Block	195	65	25	22	5.5	4	4
ค่าศักย์ของน้ำ (bar)	0.5	1	2	4	8	10	15
ค่าศักย์ของน้ำ (-kPa)	50	100	200	400	800	1000	1500

จากข้อมูลในตารางที่ 7 สร้างสมการของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำ และ ค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus และคัดเลือกสมการที่ดีที่สุดตามตารางที่ 8

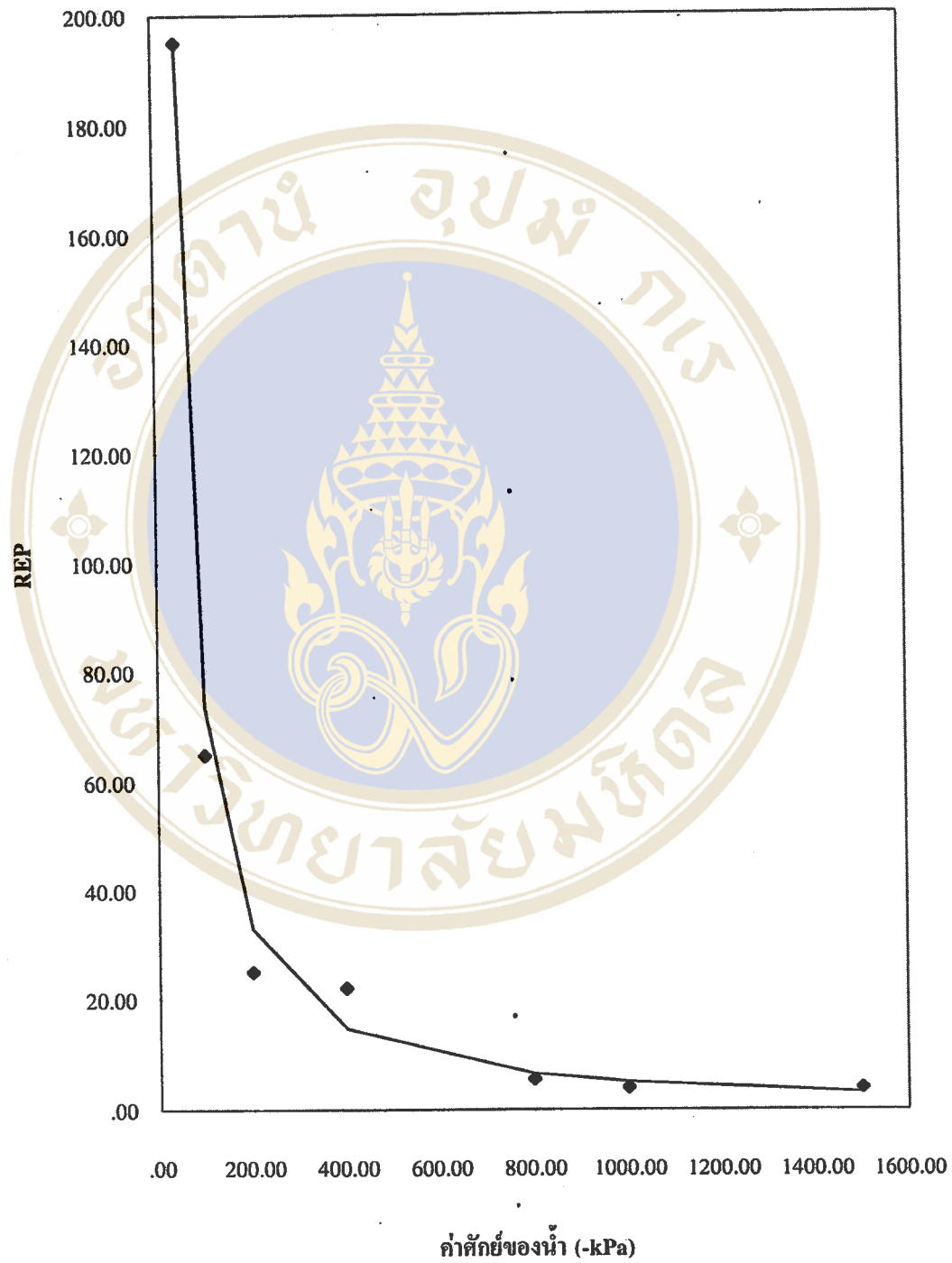
ตารางที่ 8 รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำกับค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus

รูปแบบสมการ	R ²	d.f.	F	Sig F	b0	b1	b2	b3
Linear	.393	5	3.24	.132	803.116	-4.9043		
Quadratic	.734	4	5.52	.071	1111.76	-25.965	.1057	
Inverse	.910	5	50.90	.001	52.7069	4672.66		
Cubic	.875	3	7.02	.072	1398.04	-68.179	.9562	-.0033
Power	.968	5	152.94	.000	3716.86	-.8318		
Exponential	.716	5	12.59	.016	680.735	-.0154		

จากตารางที่ 7 เลือกรูปแบบสมการแบบ Power เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าศักย์ของน้ำ และ ค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus เนื่องจากมีค่า R² ค่าสูงที่สุด = .968 และมีนัยสำคัญที่ 0.01

$$\Psi = -[3716.86 \text{ REP}^{-0.8318}] \quad \dots(45)$$

โดยที่ **REP** = ค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus



รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าศักย์ของน้ำ (Ψ) และ ค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus (REP)

ผลการสอบเทียบ Resistance Block ด้วยเครื่องสอบเทียบ

ผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วยเครื่องสอบเทียบแสดงตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการสอบเทียบ Resistance Block ด้วย เครื่องสอบเทียบ

ค่าของResistance Block	200	165	135	80	10
ค่าจากเครื่องสอบเทียบ	68	84	90	102	144
ค่าศักย์ของน้ำ (-kPa)	378.40	889.98	1087.11	1451.85	1710.80

จากตารางที่ 9 สร้างสมการของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำ และ ค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบ และคัดเลือกสมการที่ดีที่สุดตาม ตารางที่ 10

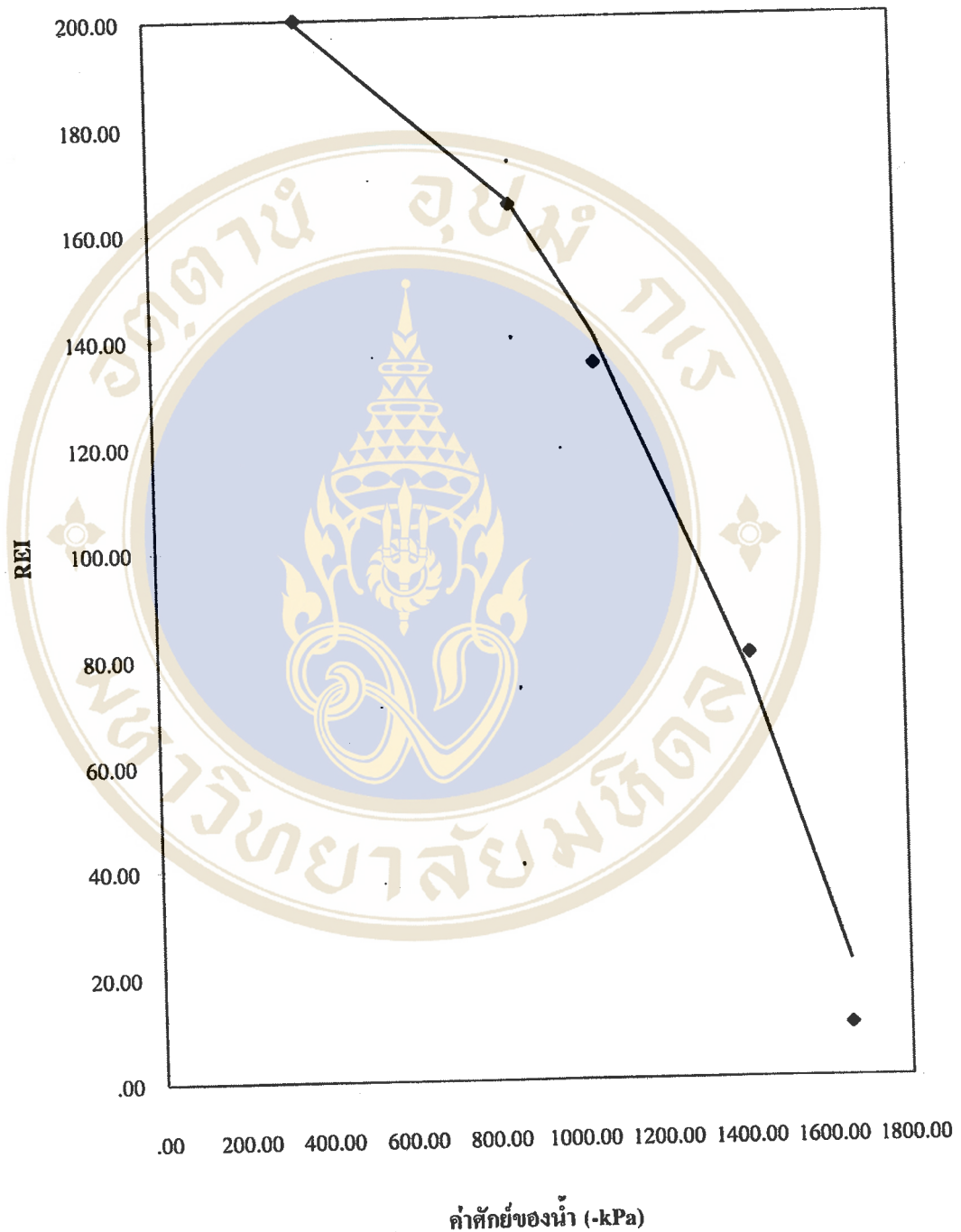
ตารางที่ 10 รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำกับค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย เครื่องสอบเทียบ

รูปแบบสมการ	R ²	d.f.	F	Sig F	b0	b1	b2	b3
Linear	.931	3	40.68	.008	1888.88	-6.6547		
Quadratic	.993	2	132.64	.007	1705.30	-.3301	-.0306	
Logarithmic	.691	3	6.69	.081	2646.45	-350.73		
Cubic	.997	1	105.76	.071	1759.95	-4.9477	.0257	-.0002

จากตารางที่ 10 รูปแบบสมการแบบ Cubic มีค่า R² สูงที่สุด = .997 แต่ไม่มีนัยสำคัญที่ 0.01 จึงเลือกรูปแบบสมการแบบ Quadratic เนื่องจากค่า R² = .993 ซึ่งมีค่ารองลงมา และมีนัยสำคัญที่ 0.01 สมการที่ได้ คือ

$$\Psi = -.0306 \text{ REI}^2 - .3301 \text{ REI} + 1705.30 \quad \dots(46)$$

โดยที่ REI = ค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย เครื่องสอบเทียบ



รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าศักย์ของน้ำ (Ψ) และ ค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย เครื่องสอบเทียบ (REI)

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าศักย์ของน้ำที่อ่านจาก Gypsum Resistance Block ที่ สอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบ และ สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus

จากสมการที่ 45 และ 46 ซึ่งเป็นสมการของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำที่ได้จากการสอบเทียบด้วยเครื่องมือ 2 แบบ ที่มีคือ ค่าของ Gypsum Resistance Block ตัวเดียวกัน นั่นคือ ที่ค่าใดๆของ Gypsum Resistance Block ตัวที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จะระบุค่าศักย์ของน้ำได้ 2 ค่า จากสมการที่ 45 และ 46 ค่าศักย์ของน้ำที่คำนวณได้จากค่าของ Gypsum Resistance Block ในช่วง 2.5 - 200 แสดงในตารางที่ 11

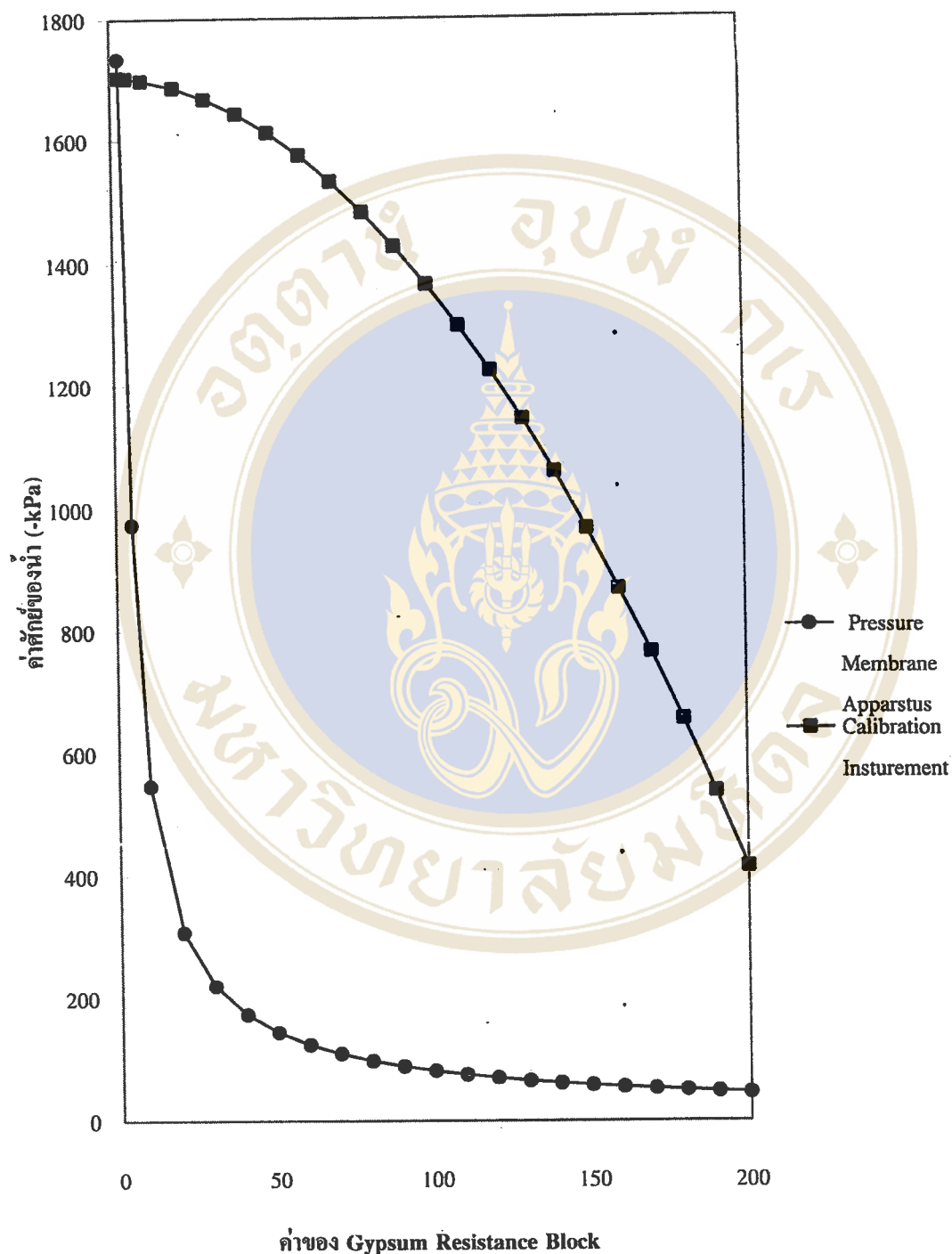
ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบระหว่างค่าศักย์ของน้ำที่อ่านจาก Resistance Block ที่สอบเทียบ
ด้วยเครื่องสอบเทียบ และ สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus

ค่าของ Gypsum Resistance Block สำหรับการทดลองสมการ	ค่าศักย์ของน้ำที่ได้จากสมการ การสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus (-kPa)	ค่าศักย์ของน้ำที่สอบเทียบที่ได้ จากสมการการสอบเทียบ ด้วย เครื่องสอบเทียบ (-kPa)
2.5	1734.48	1704.28
5	974.48	1702.88
10	547.49	1698.94
20	307.60	1686.46
30	219.54	1667.86
40	172.82	1643.14
50	143.54	1612.30
60	123.34	1575.33
70	108.50	1532.25
80	97.09	1483.05
90	88.03	1427.73
100	80.64	1366.29

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบระหว่างค่าศักย์ของน้ำที่อ่านจาก Resistanc Block ที่สอบเทียบ
ด้วยเครื่องสอบเทียบ และ สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus (ต่อ)

ค่าResistance Block สำหรับการทดลองสมการ (Simulator)	ค่าศักย์ของน้ำที่ได้จากสมการ การสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus	ค่าศักย์ของน้ำที่สอบเทียบที่ได้ จากสมการการสอบเทียบ ด้วย เครื่องสอบเทียบ
110	74.50	1298.73
120	69.30	1225.05
130	64.83	1145.25
140	60.96	1059.33
150	57.56	967.29
160	54.55	869.12
170	51.87	764.84
180	49.46	654.44
190	47.28	537.92
200	45.31	415.28

จากตารางที่ 11 จำนวนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ค่าศักย์ของน้ำที่อ่านจาก
Resistanc Block ที่สอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบ และ สอบเทียบด้วย Pressure Membrane
Apparatus ได้ = 0.4722



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบค่าศักย์ของน้ำที่อ่านได้จาก Gypsum Resistance Block จากการสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus และ เครื่องสอบเทียบ

บทที่ 5

อภิปรายผล

การศึกษาค้างนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องสอบเทียบ Gypsum Resistance Block เพื่อใช้ทดแทน Pressure Membrane Apparatus ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในปัจจุบัน เครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นประกอบด้วยตัวตรวจวัด วงจรเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเป็นความถี่ และ เครื่องนับความถี่ โดยออกแบบให้สามารถจำแนกความแตกต่างของค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ ในช่วง 0.9985 ถึง 1.000

ในการศึกษาค้างนี้ ใช้สารละลาย NaCl ที่ทราบค่าศักย์ของน้ำ ที่เสนอโดย Lang A.G.R. ,1967 (17) สำหรับการสอบเทียบเครื่องสอบเทียบ โดยบรรจุสารละลาย NaCl ลงในภาชนะปิด ทิ้งไว้เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 5 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดสมดุลของแรงดันไอน้ำในบรรยากาศเหนือสารละลายในช่วง 0.9985 ถึง 1.000 และเมื่อบรรจุน้ำลงในตัวตรวจวัดที่จุดเริ่มต้นเท่ากัน แล้วนำตัวตรวจวัดไปวางไว้ในบรรยากาศที่มีค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ในช่วงดังกล่าว ในเวลาที่เท่ากัน ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในตัวตรวจวัดจะมีจำนวนไม่เท่ากัน ปริมาณน้ำที่ไม่เท่ากันนี้ จะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดมีค่าต่างกัน เป็นผลให้ค่าความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบมีค่าต่างกัน และสามารถสร้างสมการของความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าศักย์ของน้ำ และค่าจากเครื่องสอบเทียบได้

เครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นในการศึกษาค้างนี้ มีความแปรปรวนของค่าที่อ่านได้จากเครื่องที่ระดับ ± 0.05 kHz และสามารถทำการวัดซ้ำได้ โดยมีผลการศึกษาดังนี้

ผลการศึกษาพบว่าเครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้น สามารถสร้างสมการสอบเทียบค่าศักย์ของน้ำจากสารละลาย NaCl ได้ที่ $R^2 = 0.875$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ($R^2 = 0.875$ P-Value = 0.000)

เมื่อนำ Gypsum Resistance Block มาสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus ได้สมการสำหรับการนำ Gypsum Resistance Block ที่ผ่านการสอบเทียบไปใช้งานวัดค่าศักย์ของ

น้ำในดินได้ที่ $R^2 = 0.968$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ($R^2 = 0.968$ P-Value = 0.000)

เมื่อนำ Resistance Block มาสอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบ ได้ผลการสำหรับการนำ Gypsum Resistance Block ที่ผ่านการสอบเทียบไปใช้งานวัดค่าศักย์ของน้ำในดินได้ที่ $R^2 = 0.993$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ($R^2 = 0.993$ P-Value = 0.007)

ผลการเปรียบเทียบค่าศักย์ของน้ำ จากการสอบเทียบด้วยเครื่องมือทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r) = 0.4722 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (P-Value = 0.027)

จากผลการศึกษาดังกล่าว อภิปรายผลได้ดังนี้

1. อภิปรายผลการสร้างเครื่องสอบเทียบ

1.1 จากรูปที่ 12 จะพบว่า เครื่องสอบเทียบสามารถทำงานได้ตามแนวทางที่ออกแบบ กล่าวคือ มีค่าที่อ่านจากเครื่องสอบเทียบลดลง เมื่อน้ำที่เติมไว้ระเหยออกไปจากตัวตรวจวัด ขณะเวลาผ่านไปปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ลดน้อยลง ค่าจากเครื่องสอบเทียบได้ลดลงเป็นลำดับไปด้วย และจากรูปที่ 12 จะเห็นว่า การลดลงของค่าจากเครื่องสอบเทียบมีลักษณะเป็นแนวเส้นตรง ซึ่งแสดงว่า แรงที่ตัวตรวจวัดกระทำต่อ 1 หน่วยของน้ำที่เติมลงไปมีความสม่ำเสมอ แม้ว่าปริมาณของน้ำจะเปลี่ยนแปลงก็ตาม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่ผนังด้านในของตัวตรวจวัดมีรัศมีค่อนข้างกว้าง (ประมาณ 1.0 มม.) ทำให้ Capillary Force มีอิทธิพลต่อน้ำที่บรรจุอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้น ปัจจัยที่ทำให้ค่าที่อ่านจากเครื่องสอบเทียบเปลี่ยนแปลงไปจึงเกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอกตัวตรวจวัดเท่านั้น

1.2 จากการสอบเทียบเครื่องสอบเทียบ พบว่าเครื่องสอบเทียบตอบสนองต่อค่าศักย์ของน้ำได้ตามนิยามของการเคลื่อนที่ของน้ำจากบริเวณที่มีค่าศักย์ของน้ำสูงไปสู่บริเวณที่มีค่าศักย์ของน้ำต่ำ (2) โดยพิจารณาจากการที่ภายในขวดใส่ตัวอย่างไม่มีการไหลเวียนของอากาศ การเคลื่อนที่ของน้ำจึงไม่เกิดจากการพาของอากาศ ดังนั้น ปัจจัยที่เป็นไปได้ ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่

ของน้ำออกจากตัวตรวจวัด คือ ค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ของบรรยากาศภายในขวดใส่ตัวอย่างที่สร้างขึ้นจากการใช้สารละลาย NaCl ที่มีค่าความเข้มข้นต่างกัน

1.3 จากข้อ 1.1 และ ข้อ 1.2 สนับสนุนว่า เครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นในการศึกษาครั้งนี้ มีศักยภาพในการวัดค่าศักย์ของน้ำในช่วง 0 ถึง -1500 kPa ได้ แม้ว่าค่า R^2 จะยังมีค่าไม่สูงนัก (0.875) เนื่องจากค่าจากเครื่องสอบเทียบยังมีการเบี่ยงเบนในระดับที่สูง โดยพิจารณาได้จากรูปที่ 13 ทำให้ความแม่นยำในการวัดของเครื่องสอบเทียบมีค่าต่ำ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากปัจจัยต่อไปนี้

1.3.1 การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการภายใต้ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของแต่ละวัน จึงทำให้บรรยากาศเหนือวาล์วของการวัดแต่ละครั้งมีค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ไม่เท่ากัน แล้วส่งผลให้ค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ของขวดใส่ตัวอย่างในขณะที่ทำการสอบเทียบด้วยสารละลายที่มีค่าความเข้มข้นเดียวกัน มีค่าไม่เท่ากัน ทำให้อัตราการระเหยของน้ำจากตัวตรวจวัดมีค่าต่างกัน และส่งผลให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบมีค่าต่างกันตามที่ปรากฏในรูปที่ 13

1.3.2 การศึกษาครั้งนี้ ใช้อุณหภูมิห้อง แทนอุณหภูมิของระบบที่ทำการวัด ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า ในขณะที่อุณหภูมิห้องเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน อุณหภูมิของขวดใส่ตัวอย่างที่บรรจุสารละลาย NaCl อาจเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิห้องไม่ทัน เป็นผลให้การใช้อุณหภูมิห้องมาคำนวณค่าศักย์ของน้ำของสารละลายในขวดใส่ตัวอย่าง ทำให้คำนวณได้ค่าศักย์ของน้ำที่ผิดพลาดจากความเป็นจริง

2. อภิปรายผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบผลสอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบตามรูปที่ 15 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus มีการลดลงน้อย เมื่อค่าศักย์ของน้ำเริ่มลดลง ในขณะที่ค่าของ Gypsum Resistance Block จากการสอบเทียบด้วย เครื่องสอบเทียบ ลดลงในอัตราที่เร็วกว่า และแสดงค่าศักย์ของน้ำต่ำกว่าการสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus

การที่ผลการสอบ Gypsum Resistance Block ด้วยเครื่องสอบเทียบมีความแตกต่างจากการสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus อาจเกิดจากปัจจัยต่อไปนี้

2.1 การสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วยเครื่องสอบเทียบจะใช้ Gypsum Resistance Block เคลือบด้วยดินที่จะทำการวัดแล้วบรรจุใน chamber ธรรมชาติของดินซึ่งจะแห้งจากบริเวณข้างนอกเข้าไป ทำให้เกิดเปลือกแห้งหุ้มด้านนอก ปิดกั้นการระเหยน้ำจากดินชั้นใน และ จาก Gypsum Resistance Block โดย Capillary movement ผ่านชั้นดินแห้งจะลดลงอย่างมาก เนื่องจากการลดลงของ Soil Hydraulic Conductivity จึงทำให้บรรยากาศรอบๆ Gypsum Resistance Block จะแห้งกว่าความเป็นจริง ส่งผลให้การวัดได้ค่าศักย์ของน้ำวัดได้ต่ำกว่าความเป็นจริง

2.2 ระยะเวลาที่ปล่อยให้ Gypsum Resistance Block ที่เปียกสร้างสมดุลไอน้ำภายในขวดใส่ตัวอย่าง ยังไม่มีมาตรฐานชัดเจนว่าควรเป็นระยะเวลาเท่าใด และเมื่อเทียบกับเครื่องมือที่มีหลักการทำงานใกล้เคียงกัน คือ Thermocouple Psychrometer พบว่า ช่วงระยะเวลาที่จะปล่อยให้ดินตัวอย่างสร้างสมดุลไอน้ำ มีการเสนอที่ต่างกัน เช่น Keilh A. Smith และ Chris E. Mullins 1991 (8) เสนอให้ใช้เวลา 40 นาที Brown R.W. และ Oosterhuis D.M. 1992 (7) เสนอให้ใช้เวลา 2 - 4 ชั่วโมง หรือมากกว่านี้ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดเวลาที่ปล่อยให้ Gypsum Resistance Block ที่เคลือบด้วยดินเข้าสู่สมดุลในเวลา 5 ชั่วโมง จึงอาจเป็นช่วงเวลาที่สั้นเกินไป ค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ของระบบจึงยังไม่ถึงจุดสมดุล ทำให้การวัดได้ค่าศักย์ของน้ำวัดได้ต่ำกว่าความเป็นจริง

2.3 เนื่องจากการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ทำการสอบเทียบโดยใช้เครื่องสอบเทียบที่สร้างมาตรฐานการสอบเทียบที่เชื่อถือได้ในระดับ 87.5 % ($R^2 = 0.875$ P-Value = 0.000) ดังนั้น ผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block จึงมีความคลาดเคลื่อนตามไปด้วย จึงทำให้ค่าศักย์ของน้ำที่ได้จากผลการสอบ Gypsum Resistance Block ด้วยเครื่องสอบเทียบมีความแตกต่างจากการสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า เครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้สำหรับงานสอบเทียบ Gypsum Resistance Block แต่ควรมีการพัฒนาเครื่องสอบเทียบ และวิธีการสอบเทียบให้มีประสิทธิภาพต่อไป โดยการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องทดลอง

ทำการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block โดยไม่ใช้ดินห่อหุ้ม เพิ่มเครื่องมือวัดอุณหภูมิของระบบที่ทำการสอบเทียบเพื่อให้สามารถคำนวณค่าศักย์ของน้ำได้ถูกต้อง



บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องสอบเทียบ Gypsum Resistance Block เพื่อใช้ทดแทน Pressure Membrane Apparatus ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในปัจจุบัน แต่การสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus ยังมีปัญหาในการใช้ระยะเวลาสอบเทียบนาน โดยใช้เวลา 3 วันต่อการสอบเทียบ 1 ค่าแรงดัน (8) และมีค่าใช้จ่าย 150 บาท ต่อ 1 ค่าแรงดัน ต่อ Resistance Block 1 ตัว (11)

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เลือกวิธีการสร้างสมการสอบเทียบจากค่าศักย์ของน้ำในสารละลาย NaCl ที่ทราบค่าศักย์ในช่วง 0 ถึง -1500 kPa ซึ่งเตรียมได้ง่ายและต้นทุนที่ต่ำ โดยใช้เครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นสอบเทียบกับสารละลาย NaCl ก่อน เมื่อสร้างสมการของความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากเครื่องสอบเทียบและค่าศักย์ของน้ำได้แล้ว จะทำให้น้ำเครื่องสอบเทียบตัวตรวจวัดแบบเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้ Gypsum Resistance Block ได้ต่อไป จากนั้นนำผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบ ไปเปรียบเทียบกับผลจากการสอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus

ตามขั้นตอนการศึกษาดังกล่าว สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาค้นคว้าต่อไป ดังนี้

1. ผลการศึกษา

1.1 ผลการสอบเทียบเครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นด้วยสารละลาย NaCl

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบเลือกรูปแบบสมการแบบ Cubic เนื่องจากค่า $R_{sq} = 0.875$ ซึ่งมีค่าสูงที่สุด และมีนัยสำคัญที่ 0.01 สมการที่ได้ คือ

$$\Psi = -[-0.0052 X^3 + 1.2985 X^2 - 74.96 X + 1106.46]$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } \Psi &= \text{ค่าศักย์ของน้ำ} \\ X &= \text{ค่าจากเครื่องสอบเทียบ} \end{aligned}$$

1.2 ผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำกับค่าที่อ่านได้จากการสอบเทียบ Resistance Block ด้วย Pressure Membrane Apparatus เลือกรูปแบบสมการแบบ Power เนื่องจากค่า $R_{sq} = 0.968$ มีค่าสูงที่สุด และมีนัยสำคัญที่ 0.01 สมการที่ได้ คือ

$$\Psi = -[3716.86 \text{ REP}^{-0.8318}]$$

โดยที่ REP = ค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus

1.3 ผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วยเครื่องสอบเทียบ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ของน้ำกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบ รูปแบบสมการแบบ Cubic มีค่า $R_{sq} = 0.997$ ซึ่งมีค่าสูงที่สุด แต่ไม่มีนัยสำคัญที่ 0.01 จึงเลือกรูปแบบสมการแบบ Quadratic เนื่องจากค่า $R_{sq} = 0.993$ ซึ่งมีค่าสูงที่สุดรองลงมา และมีนัยสำคัญที่ 0.01 สมการที่ได้ คือ

$$\Psi = -[-0.0306 \text{ REI}^2 - 0.3301 \text{ REI} + 1705.30]$$

โดยที่ REI = ค่าของ Gypsum Resistance Block ที่สอบเทียบด้วย เครื่องสอบเทียบ

1.4 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าศักย์ของน้ำที่อ่านจาก Resistance Block ที่สอบเทียบด้วยเครื่องสอบเทียบ และ สอบเทียบด้วย Pressure Membrane Apparatus

ผลการเปรียบเทียบวิธีการสอบเทียบ พบว่าค่าศักย์ของน้ำที่ได้จากวิธีการทั้งสอง สอดคล้องกันในระดับปานกลาง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($r = 0.4722$, $P\text{-value} = 0.027$)

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

จากการที่เครื่องสอบเทียบที่สร้างขึ้นมีศักยภาพในการระบุค่าศักย์ของน้ำ ในช่วง 0 ถึง -1500 kPa ข้อเสนอแนะต่อไปนี้อาจทำให้เครื่องสอบเทียบสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ในการศึกษาครั้งต่อไป

2.1 การสอบเทียบเครื่องสอบเทียบ ควรทำในบรรยากาศที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อให้ค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ของบรรยากาศเหนือวาล์วของขวดใส่ตัวอย่าง ในขณะที่เริ่มต้นทำการสอบเทียบของสารละลาย NaCl แต่ละค่าความเข้มข้น มีค่าเท่ากันทุกครั้ง ซึ่งอาจทำให้ค่าจากเครื่องสอบเทียบมีความคลาดเคลื่อนลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ การสอบเทียบ Gypsum Resistance Block มีความถูกต้อง และการควบคุมอุณหภูมิห้องจำเป็นต้องทำควบคู่กันไปด้วย

2.2 เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ ใช้อุณหภูมิห้อง แทนอุณหภูมิของระบบที่ทำการวัด ซึ่งอาจไม่ใช่อุณหภูมิของสารละลายในขวดใส่ตัวอย่าง เป็นผลให้การคำนวณหาค่าศักย์ของน้ำในสารละลายผิดพลาดจากความเป็นจริง ดังนั้น ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรมีเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิภายในขวดใส่ตัวอย่าง เพื่อวัดอุณหภูมิที่แท้จริงของสารละลาย หรือ ตัวอย่างอื่นๆที่บรรจุลงไป ซึ่งจะช่วยให้การคำนวณหาค่าศักย์ของน้ำในสารละลายได้อย่างถูกต้องตามความเป็นจริง และทำให้ค่าจากเครื่องสอบเทียบมีความคลาดเคลื่อนลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ การสอบเทียบ Gypsum Resistance Block มีความถูกต้อง

2.3 การสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ด้วยเครื่องสอบเทียบ ควรทำในบรรยากาศที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อให้ค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ของบรรยากาศเหนือวาล์วของขวดใส่ตัวอย่าง ในขณะที่เริ่มต้นทำการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block มีค่าเท่ากันทุกครั้ง ซึ่งจะส่งผลให้ผลการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block มีความถูกต้อง

2.4 การสอบเทียบ Gypsum Resistance Block ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรทำโดยใช้ Gypsum Resistance Block ที่ปราศจากดินห่อหุ้ม เพื่อลดปัญหาที่เกิดจากธรรมชาติของดินที่จะแห้งจากบริเวณข้างนอกเข้าไป ทำให้เกิดเปลือกแห้งหุ้มด้านนอก ปิดกั้นการระเหยน้ำจากดินชั้นใน

แม้ว่าในการสอบเทียบ Gypsum Resistance Block โดยทั่วไปจะกระทำโดยใช้ Gypsum Resistance Block ที่หุ้ม หรือ ฝังไว้ในดินที่ต้องการจะนำเอา Gypsum Resistance Block ตัวนั้นไปใช้ แต่เนื่องจาก Gypsum ซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ โดยที่อุณหภูมิ 20 °C Gypsum มีความสามารถในการละลายเท่ากับ 1 g / l (24) ซึ่งมีค่าความเข้มข้นมากกว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายในดินประมาณ 10 เท่า (8) ทำให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายภายใน Gypsum Resistance Block มีค่ามากกว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายในดินประมาณ 10 เท่า เช่นกัน

ดังนั้น ในการใช้งาน Gypsum Resistance Block ในดินที่ปกติ ซึ่งไม่ใช่ดินเค็ม การสอบเทียบ Gypsum Resistance Block จึงอาจสอบเทียบโดยใช้ Gypsum Resistance Block ที่ไม่มีดินห่อหุ้ม หรือเคลือบเอาไว้ แต่ทั้งนี้ควรจะกระทำเฉพาะกับ Gypsum Resistance Block ที่จะนำไปใช้งานในดินที่ไม่ใช่ดินเค็มเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

1. สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ : 2536.
2. สายัณห์ สดุดี. สภาพะชาคน้ำในการผลิตพืช. สงขลา : ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, 2534.
3. Paul J. Kramer. Plant and Soil Water Relationship : A Modern Synthesis. Philipine : Graphic Art , Inc , 1969.
4. Miller Raymond W. , Dondhue Roy L. Soil an Introduction to Soils and Plant Growth. 6 Ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc, Englewood Clifts, 1990.
5. สุนทรียังษ์ชวัลย์. ชลศาสตร์ในระบบดิน-พืช. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 2535.
6. Rearcy R.W. , Ehlerineer J.R. , Mooney H.A. , Rundel P.W. Plant Physiological Ecology : Field Method and Instrument. New York : Chapman & Hall, 1992.
7. Brown R.W., Oosterhuis D.M. Measuring Plant and Soil Water Potentials with Thermocouple Psychrometers : Some Concerns. Agron. J. 1992: Vol.84 : 78-86.
8. Keilh A. Smith., Chris E. Mullins. Soil Analysis : Physical Method. New York: Marcell Dekker Inc. 1991.
9. J.W. Cary , H.D. Fisher. Irrigation Decisions Simplified with Electronics and Soil Water Sensors. SOIL SCI.SOC. AM.J.1983 ; 47 : 1219-23.
10. Chrislie J. Geankoplis. Transport Processes and Unit Operation. Boston Masseurhsetts: Allyn and Bacon Inc. 1978.
11. งานทดลองดินและการประยุกต์. อัตราค่าวิเคราะห์วิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน . 2541.
12. ปริญญา อรุณวิสุทธิ. เคมีฟิสิกส์ 1 . สงขลา : โครงการตำรามูลนิธิมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2531.
13. สุรพล สุวจิตตานนท์. ไฟฟ้าเคมี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ , 2531.
14. Brady Nyle C. The Nature and Poperty of Soil. 8 Ed. New York : Macmillan Publishing Co.Inc. 1974.
15. Baver L.D. Soil Psysics. London : Chapman & Hall, 1940.

15. Baver L.D. Soil Psysics. London : Chapman & Hall, 1940.
16. Marshall T.J., Holmes J.W. Soil Psysics. 2 Ed. Cambridge University Press. 1992
17. Lang A.R.G. Osmotic Coeffients and Water Potentials of Sodium Chloride Solutions from 0 to 40° C. Aust. J. of Chem. 1967 ; 20 (9) : 2017-23.
18. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. หลักเคมี 1. สงขลา : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2530.
19. Clark JA. Gregson K. Saffell RA. Computer Application in Agriculture Environments. Nottingham Easter School UK. 1987.
20. Ewing Galen W. Instrumental Methods of Chemical Analysis. 5 Ed. New York : McGraw-hill Book Company, 1985.
21. Sckuier Charles A. Electronic Principle and Applications. 4 Ed. New York : McGraw-hill Book Company, 1994.
22. John A. Dean. Lang' Handbook of Chemistry. 14 Ed. New York: McGraw - hill Book Company, 1992.

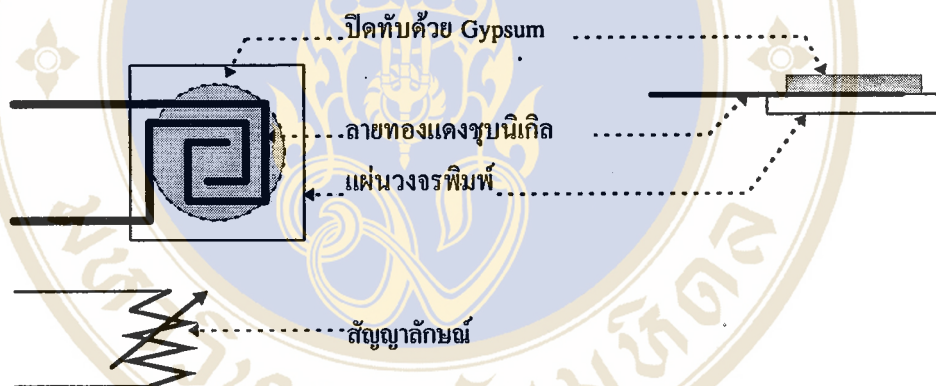


ภาคผนวก

การพัฒนาตัวตรวจวัด

การศึกษาครั้งนี้สร้างตัวตรวจวัดให้มีคุณสมบัติในการวัดค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ที่ระดับ .9985 - 1.0000 โดยสร้างตัวตรวจวัดแบบต่างๆตามลำดับดังนี้

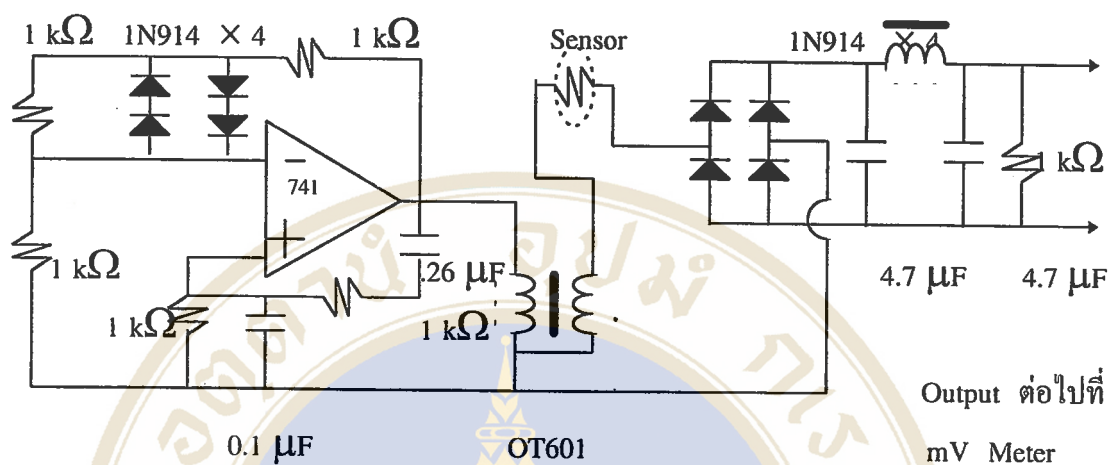
ตัวตรวจวัดแบบที่ 1 วัดค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของ ซินสาร Gypsum ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำภายในซินสาร Gypsum ตัวตรวจวัดแบบที่ 1 มีลักษณะตามรูปที่ 17



รูปที่ 17 ตัวตรวจวัดแบบที่ 1

เมื่อนำตัวตรวจวัดแบบที่ 1 ไปประกอบเป็นส่วนหนึ่งของวงจรตรวจจับการเปลี่ยนแปลงความต้านทานตามรูปที่ 17 ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงของตัวตรวจวัดจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จาก Volt Meter เปลี่ยนแปลงไป

การใช้งานตัวตรวจวัดแบบที่ 1 ทำโดยหยคน้ำกลั่นลงบนตัวตรวจวัดจนอิมด้วยน้ำ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จะมีค่าสูงสุด เมื่อนำตัวตรวจวัดไปติดตั้งในบรรยากาศของระบบปิดที่สมดุลกับน้ำที่ศึกษา น้ำจะเคลื่อนตัวออกจากตัวตรวจวัดจนกระทั่งค่าศักย์ของน้ำที่เหลืออยู่บนตัวตรวจวัดมีค่าเท่ากับค่าศักย์ของน้ำที่อยู่ในระบบ ปริมาณน้ำที่ลดลงจะทำให้ค่าความต้านทานของตัวตรวจวัดสูงขึ้น เป็นผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้มีค่าลดลง



รูปที่ 18 วงจรตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าสำหรับตัวตรวจวัดแบบที่ 1

ผลการทดลองใช้งานตัวตรวจวัดแบบที่ 1 เป็นตัวตรวจวัดค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ในช่วง 0.9985 - 1.000 แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการทดลองใช้ตัวตรวจวัดแบบที่ 1

ความเข้มข้น	ค่าที่อ่านจากเครื่องมือ
molal	mV
0.00	5
0.05	0
0.10	0
0.20	0
0.30	0
.040	0

จากตารางที่ 12 จะพบว่าตัวตรวจวัดแบบที่ 1 ไม่อาจใช้วัดการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ในช่วงที่ต้องการได้ ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อถึงจุดสมมูลปริมาณน้ำในตัวตรวจวัดเหลือ

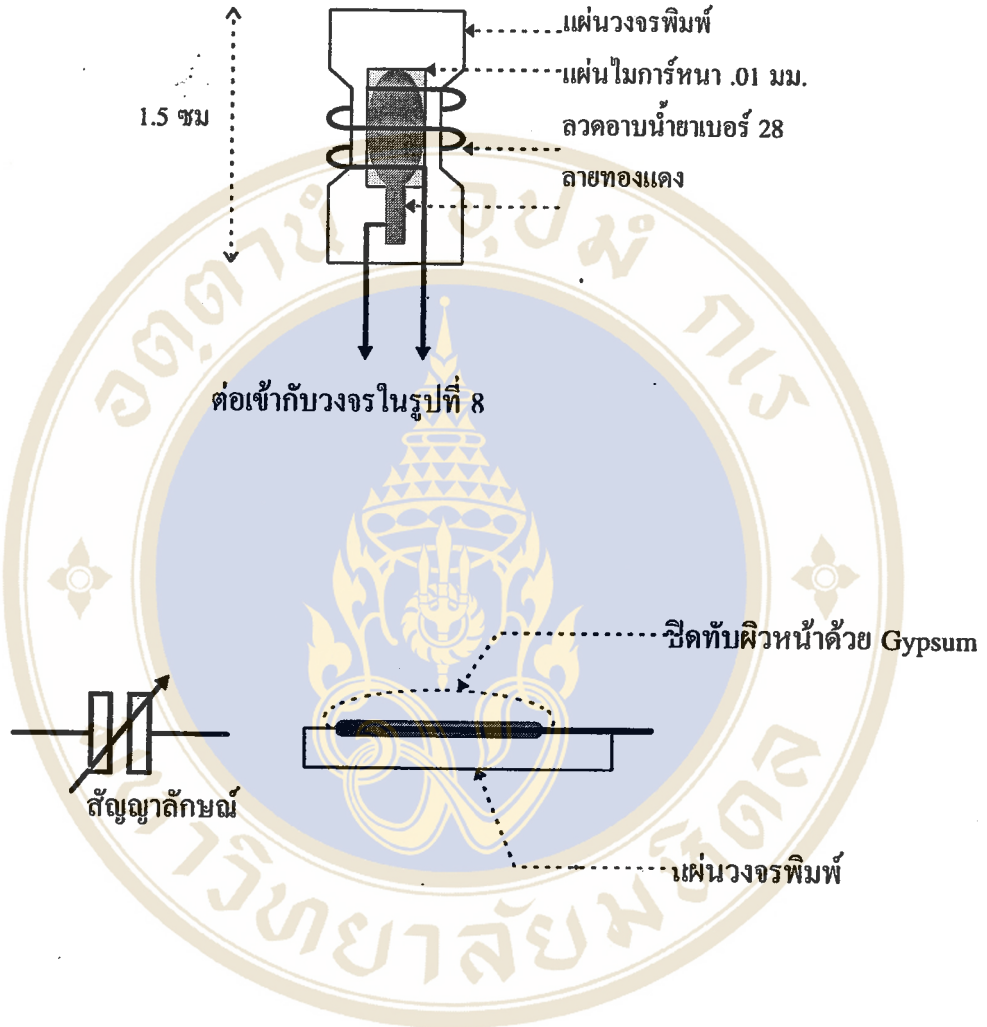
น้อยมากเป็นผลให้ความต้านทานไฟฟ้าของตัวตรวจวัดแบบที่ 1 มีค่าสูงมากจนเครื่องมือไม่สามารถแสดงความแตกต่างของค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันได้

ตัวตรวจวัดแบบที่ 2 เนื่องจากในการทดลองใช้ตัวตรวจวัดแบบที่ 1 พบว่าน้ำเคลื่อนออกไปจากตัวตรวจวัดเป็นปริมาณมาก จึงทดลองใช้วิธีการตรงกันข้าม โดยใช้หลักการที่ของแข็งบางชนิดสามารถดูดซับไอน้ำจากบรรยากาศได้ และเปลี่ยนวิธีการวัดจาก การวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า เป็น การวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้า ตัวตรวจวัดแบบที่ 2 มีลักษณะตามรูปที่ 18

การเปลี่ยนวิธีการวัดจาก การวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า มาเป็น การวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้า เพื่อให้ตัวตรวจวัดมีความไวต่อไอน้ำปริมาณน้ำที่อยู่ในตัวตรวจวัด เนื่องจากน้ำมีค่า Dielectric Constant สูงกว่าอากาศ โดยที่อากาศมีค่า Dielectric Constant เท่ากับ 1 และน้ำมีค่า Dielectric Constant เท่ากับ 80 เมื่อไอน้ำในบรรยากาศถูกดูดซับไว้ในตัวตรวจวัด จะสูญเสียพลังงานจลน์และเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว จะทำให้ค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดมีค่ามากขึ้น ตามปริมาณของน้ำที่ดูดซับไว้ในตัวตรวจวัด เนื่องจากน้ำมีค่า Dielectric Constant สูงกว่าอากาศค่อนข้างมากดังกล่าว

ดังนั้น น้ำปริมาณน้อยมากที่ตัวตรวจวัดดูดซับไว้จึงอาจตรวจวัดได้ด้วยวิธีการวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้า

ในรูปที่ 19 แสดงลักษณะ และ สัญลักษณ์ ของตัวตรวจวัดแบบที่ 2



รูปที่ 19 ตัวตรวจวัดแบบที่ 2

ตามรูปที่ 19 ลวดอาบนํ้าเบอร์ 28 และ ลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่แยกห่างออกจากกัน โดยมี ฉนวนหุ้มเส้นลวด แผ่นไมก้า และ Gypsum อยู่ระหว่างกลาง เมื่อ Gypsum ดูดซับไอนํ้าจากบรรยากาศ จะทำให้ค่า Dielectric Constant ของ ชั้นสาร Gypsum สูงขึ้น เป็นผลให้ค่าความจุไฟฟ้าไฟฟ้าของตัวตรวจวัดเพิ่มขึ้น เมื่อประกอบตัวตรวจวัดแบบที่ 2 เข้ากับวงจรในรูปที่ 8 และเครื่องนับความถี่ จะทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในตัวตรวจวัดแบบที่ 2 ได้

การใช้งานตัวตรวจวัดแบบที่ 2 ทำโดยวางตัวตรวจวัดไว้ในบรรยากาศที่สมดุลแรงดันไอนํ้ากับน้ำที่ศึกษา อ่านค่าจากเครื่องนับความถี่เป็นระยะจนกระทั่งค่าที่อ่านได้ไม่เปลี่ยนแปลงแล้วบันทึกค่าที่อ่านได้ครั้งสุดท้าย

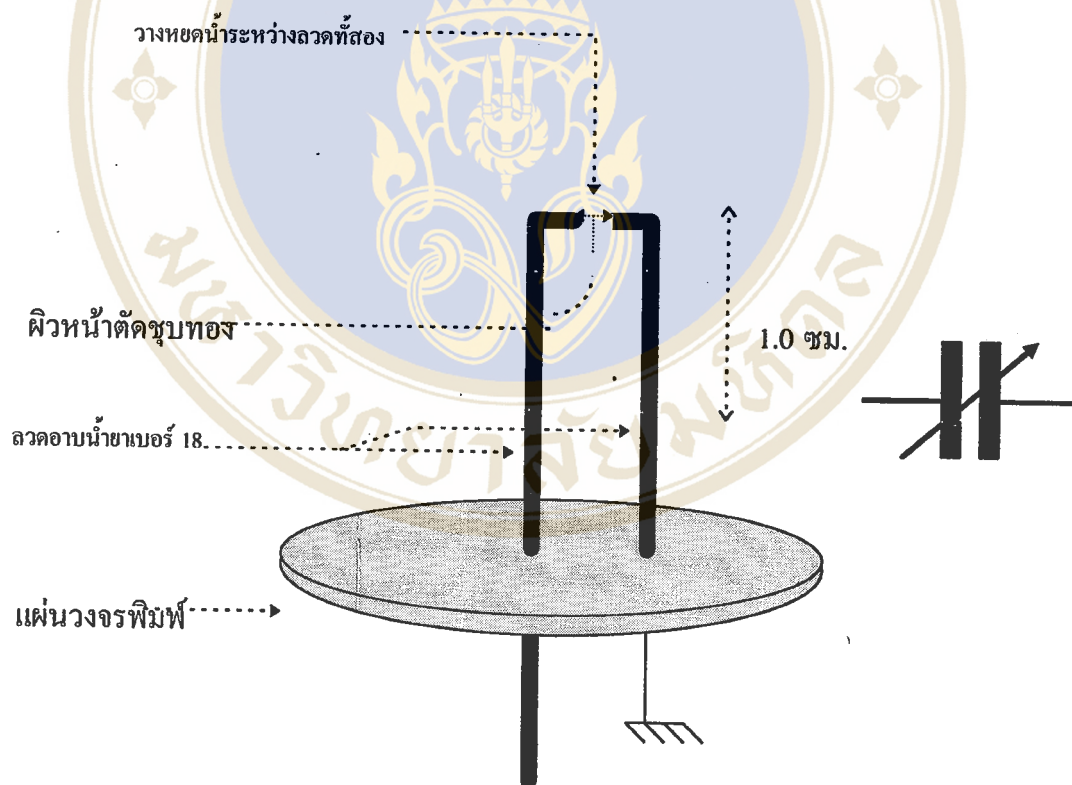
ผลการทดลองใช้ตัวตรวจวัดแบบที่ 2 เป็นตัวตรวจวัดค่าแรงดันไอนํ้าสัมพัทธ์ในช่วง 0.9985 - 1.000 แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการทดลองใช้ตัวตรวจวัดแบบที่ 2

ความเข้มข้น	ค่าที่อ่านจากเครื่องมือ	ค่าที่อ่านจากเครื่องมือ
molal	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2 (2 nd Replication)
	kHz	kHz
0.00	2756	2690
0.05	2750	2679
.010	2622	2658
0.20	2658	2704
0.03	2672	2634
0.40	2567	2628

จากตารางที่ 13 พบว่าตัวตรวจวัดแบบที่ 2 ไม่อาจใช้วัดการเปลี่ยนค่าแรงดันไอน้ำ สัมพัทธ์ในช่วงที่ต้องการได้ เนื่องจากค่าที่อ่านได้ไม่สามารถวัดซ้ำได้ อาจเป็นผลจากการที่ชั้น สาร Gypsum สามารถละลายน้ำได้ เมื่อผ่านการดูดซับและการระเหยของน้ำเข้าและออกจากชั้น สารหลายๆครั้ง อาจทำให้รูปร่างของชั้นสาร Gypsum ที่ปิดทับอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์เกิดการ เปลี่ยนแปลง เป็นผลให้รูปแบบของการดูดซับน้ำจากบรรยากาศของ Gypsum ในครั้งต่อไปไม่ เหมือนกับครั้งที่ผ่านมา

ตัวตรวจวัดแบบที่ 3 เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากชั้นสาร Gypsum ตัวตรวจวัดแบบที่ 3 จึงสร้าง ขึ้นโดยตัดส่วนที่เป็น Gypsum ออก และจากการที่ไม่มีส่วนประกอบที่ดูดซับความชื้น ก่อนการใช้ งานจะต้องใส่น้ำลงบนตัวตรวจวัดก่อน ตัวตรวจวัดแบบที่ 3 มีลักษณะตามรูปที่ 19



รูปที่ 20 ตัวตรวจวัดแบบที่ 3

จากรูปที่ 20 ผิวหน้าตัดของเส้นลวดตัวนำจะทำหน้าที่เป็นคู่ตัวนำที่แยกจากกันด้วยช่องว่าง เกิดเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าขึ้น เมื่อเติมหยดน้ำลงในช่องว่างแทนที่อากาศค่าความจุไฟฟ้าของตัวตรวจวัดจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อน้ำระเหยออกไปจากช่องว่างค่าความจุไฟฟ้าจะค่อยๆลดลง และเมื่อน้ำระเหยหมด ค่าความจุไฟฟ้าไฟฟ้าจะกลับมาที่ค่าเดิมอีกครั้ง

การใช้งานตัวตรวจวัดแบบที่ 3 ใช้หลักการของการระเหย โดยที่น้ำจะระเหยได้เร็วในบรรยากาศที่มีค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ต่ำ และระเหยได้ช้าในบรรยากาศที่มีค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์สูง ดังนั้น ถ้าน้ำตัวตรวจวัดแบบที่ 3 ที่บรรจุอยู่ในปริมาณที่เท่ากัน ไปวางไว้ในบรรยากาศที่มีค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ต่างกัน โดยใช้เวลาเท่ากัน ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่จะแตกต่างกัน ขั้นตอนการใช้งานตัวตรวจวัดแบบที่ 3 ดำเนินการดังนี้

1. ใส่สารละลาย NaCl ลงในขวดใส่ตัวอย่าง ปิดวาล์ว ทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 5 ชั่วโมง เพื่อให้แรงดันไอน้ำของบรรยากาศภายในขวดถึงจุดสมดุล

2. เปิดเครื่องสอบเทียบ เติมน้ำกลั่นลงในตัวตรวจวัด ให้อ่านค่าได้ในช่วง 3050 - 3200 KHz จากนั้นวางตัวตรวจวัดลงบนปากขวด O-ring ที่ติดตั้งไว้รอบตัวตรวจวัดจะทำหน้าที่ผนึกรอยต่อระหว่างตัวตรวจวัดและขวดใส่สารละลาย ป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

3. ค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบ จะลดลงเป็นลำดับอย่างช้าๆ เนื่องจากน้ำกลั่นเคลื่อนย้ายออกจากตัวตรวจวัดไปสู่ช่องบรรยากาศระหว่างตัวตรวจวัดกับวาล์วซึ่งขณะนี้อยู่ปิดอยู่ เมื่อค่าที่อ่านได้จากเครื่องสอบเทียบลดลงถึง 3000 KHz ดำเนินการดังนี้

3.1 เปิดวาล์ว ให้ตัวตรวจวัดและขวดบรรจุสายละลายเชื่อมต่อเป็นระบบปิดเดียวกัน / เริ่มต้นจับเวลา / ปิดเครื่องสอบเทียบ

3.2 เปิดเครื่องสอบเทียบ เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที จดค่าที่อ่านได้และปิดเครื่องสอบเทียบ

3.3 เปิดเครื่องสอบเทียบ เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาทีจากจุดเริ่มต้นจับเวลาในข้อ

3.1 จดค่าที่อ่านได้ ปิดเครื่องสอบเทียบ

3.4 นำค่าในข้อ 3.2 ลบ ด้วยค่าในข้อ 3.2 บันทึกผลลัพธ์ที่ได้ และ ค่าความเข้มของสารละลาย

4. ปลดตัวตรวจวัดออกจากขวดใส่ตัวอย่าง แล้วทำซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 1 -3 สำหรับสารละลายค่าความเข้มข้นต่อไป

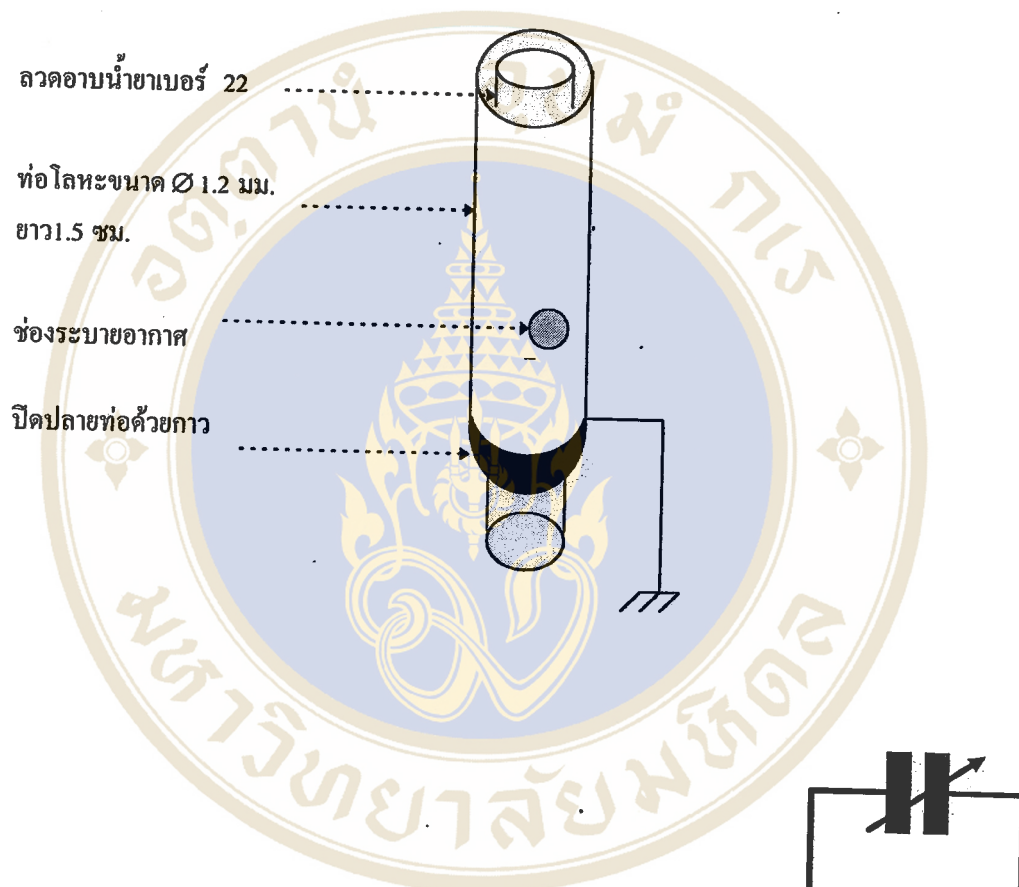
ผลการทดลองใช้ตัวตรวจวัดแบบที่ 2 เป็นตัวตรวจวัดค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ในช่วง 0.9985 - 1.000 แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการทดลองใช้ตัวตรวจวัดแบบที่ 3

ความเข้มข้น molal	ค่าที่อ่านจากเครื่องมือ ชุดที่ 1 kHz	ค่าที่อ่านจากเครื่องมือ ชุดที่ 2 (2 nd Replication) kHz
0.00	37	35
0.05	41	48
.010	56	47
0.20	55	59
0.03	51	63
0.40	66	74

จากตารางที่ 14 พบว่าตัวตรวจวัดแบบที่ 3 ไม่อาจใช้วัดการเปลี่ยนค่าแรงดันไอน้ำสัมพัทธ์ในช่วงที่ต้องการได้ เนื่องจากค่าที่อ่านได้ไม่สามารถวัดซ้ำได้ อาจเป็นผลจากการที่ไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำและรูปทรงของหยดน้ำได้ ทำให้การตั้งต้นทำการวัดในแต่ละครั้งไม่ได้เริ่มจากจุดเดียวกัน

ตัวตรวจวัดแบบที่ 4 เพื่อแก้ไขปัญหของตัวตรวจวัดแบบที่ 3 จึงเพิ่มท่อทรงกระบอกขนาดเล็กเพื่อบังคับรูปทรงของหยดน้ำ และควบคุมปริมาณน้ำให้คงที่ โดยใช้ Capillary Force เป็นแรงในการควบคุมรูปทรงของผิวสัมผัสระหว่างน้ำที่เติมลงในตัวตรวจวัดและบรรยากาศให้มีรูปทรงเหมือนกันทุกครั้งที่ใช้งาน สำหรับปริมาณน้ำควบคุมให้เท่ากันทุกครั้งจากค่าที่อ่านได้จากเครื่องนับความถี่ ตัวตรวจวัดแบบที่ 4 มีลักษณะตามรูปที่ 20



รูปที่ 21 ตัวตรวจวัดแบบที่ 4

การใช้งานและผลการใช้งานตัวตรวจวัดแบบที่ 4 แสดงในบทที่ 3 , 4 และ 5

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ	ร.อ. ปราโมทย์ โสวัณณะ
วัน เดือน ปีเกิด	16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2508
สถานที่เกิด	จังหวัดกาฬสินธุ์
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, พ.ศ. 2526-2530 : วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล, พ.ศ. 2536-2541 : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
ทุนวิจัย	กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม
ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน	พ.ศ. 2533- : ประจําแผนกฝึก กองเกษตรกรรม สำนักงานทหารพัฒนาการ หน่วยบัญชาการ ทหารพัฒนา พ.ศ. 2535 : ประจําแผนกยุทธการ กองยุทธการ หน่วยบัญชาการทหารพัฒนา พ.ศ. 2539 : ประจําแผนกแผน กองยุทธการ หน่วยบัญชาการทหารพัฒนา พ.ศ. 2540 : ปฏิบัติหน้าที่ นายทหารกิจการพลเรือน ถึง ปัจจุบัน หน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 34 (จังหวัดอุดรธานี) สำนักงานพัฒนาภาค 3 หน่วยบัญชาการทหารพัฒนา