อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

รายงานการวิจัย

การออกแบบและสร้างระบบวัดค่าความเป็นกรด-ด่างขนาดเล็กจิ๋วพกพาได้ โดยอาศัยอิเล็กโทรดแบบของแข็ง

Design and Fabrication of portable-micro pH measurement system based on Solid-State pH electrode

โดย

นางสาวปริญญา มาสวัสดิ์

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 13 JUL 2011
เลขทะเบียน 156727 76
เลขเรียกหนังสือ ว QD 477 ป4586 2551

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ 2551

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง "การออกแบบและสร้างระบบวัดค่าความเป็นกรด-ด่างขนาดเล็กจิ๋วพกพาได้โดยอาศัยอิเล็กโทรดแบบของแข็ง" ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีงบประมาณ 2551 ในสาขาวิชาเคมี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ตลอดจนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายศุภโชค อุปาลี และ นายธนวัฒน์ ดวงคำ ที่มีส่วนสำคัญทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

หากมีข้อผิดพลาดประการใดในรายงานการวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยใคร่ขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัย

กันยายน 2551

ชื่อโครงการ การออกแบบและสร้างระบบวัดค่าความเป็นกรด-ด่างขนาดเล็กจิ๋วพกพาได้ โดยอาศัยอิเล็กโทรดแบบของแข็ง

Design and Fabrication of portable-micro pH measurement system based on Solid-State pH electrode

ชื่อผู้วิจัย นางสาวปริญญา มาสวัสดิ์

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

หมายเลขโทรศัพท์ 055-261000-4 ต่อ 3439

ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยสาขา เคมี

งบประมาณรายได้ประจำปี 2551

จำนวนเงิน 50,000 บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

ตั้งแต่ 15 พฤศจิกายน 2550 ถึง 14 พฤศจิกายน 2551

บทคัดย่อ

การพัฒนาอิเล็กโทรดแบบเล็กจิ๋วมีความสำคัญมาก เพราะประโยชน์จากการทำย่อส่วนเครื่องมือทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ได้ ทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์ การแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรม อิเล็กโทรดแบบเดิมทำด้วยกระเปาะแก้วไวต่อโปรตอนซึ่งมีขนาดใหญ่และต้องจุ่มอยู่ในสารละลายตลอดเวลาเพื่อรักษาระดับความชื้นให้พอเหมาะแก่การสื่อต่อโปรตอน การพัฒนาอิเล็กโทรดแบบของแข็งเล็กจิ๋วจะทำให้อายุของการเก็บรักษายาวนานขึ้น ส่งผลให้อายุของการใช้งานยาวนานขึ้นด้วยเช่นกัน มีโลหะเฉื่อยหลายตัวที่มีพฤติกรรมไวต่อโปรตอน และมีพอลิเมอร์บางชนิดที่มีส่วนประกอบของซิลิกอน ซึ่งไวต่อโปรตอนและสามารถนำไฟฟ้าได้ เมื่อนำสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มาประกอบกัน จะสามารถพัฒนาอิเล็กโทรดแบบของแข็งขนาดเล็กจิ๋วได้ และเมื่อนำมาเชื่อมต่อกันเป็นระบบ จะได้ระบบวัดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยอาศัยการวัดศักย์ที่มีความจำเพาะเลือกกับโปรตอน และประกอบกับสมองกลที่สามารถรายงานผลและเก็บรักษา หรือเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีลักษณะจำเพาะ สามารถนำไปขยายผลเชิงพานิชย์ได้ ส่วนสิ่งที่พัฒนาต่อไป ได้แก่ ส่วนของอิเล็กโทรด ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเชิงวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ต่อไป

Abstract

The development of a microprobe electrode play an important roles in miniaturization of systems that could be applied to such variety of fields e.g. science, medical, agriculture and industry. Classical electrodes made from protonic sense glass membrane which consumed large dimension and need to be submerged in the preservative solution to maintain a functionality of protonic senses. Development of a solid-state microprobe electrodes with a long-period of electrodes preservation yields a longer life-time of probes as declared. There are many inert metals that show behavior of protonic sense. Some silicon composite conducting polymers also show this property. The development of microelectrodes could be carried out by combining those materials with some additional technology. A low-cost and high performance pH measurement system could be invented with aiding of a self-embed intelligence microprocessor technology. These could be further applied to commercial growth. Moreover, a new electrode devices could be developed in term of science couple with engineering.

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญรูป		ฉ
สารบัญตาราง		ซ
บทที่ 1 บทนำ		
1.1	ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2	จุดมุ่งหมายของการศึกษา	1
1.3	ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	1
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5	กรอบแนวความคิดหรือทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
บทที่ 2 การทดลอง		
2.1	อุปกรณ์	9
	2.1.1 วัสดุที่ใช้ทำเป็น Reference – Indicator Electrode	9
	2.1.2 อุปกรณ์ทั่วไป	10
	2.1.3 สารเคมี	10
2.2	pH meter	10
2.3	การสอบเทียบมาตรฐานของเครื่องมือ (Calibration of basic Instrument)	11
	2.3.1 การสอบเทียบมาตรฐานของเครื่องชั่ง	11
	2.3.2 การสอบเทียบมาตรฐานของขวดปรับปริมาตร	12
	2.3.3 การสอบเทียบมาตรฐานของปิเปต	12
	2.2.4 การสอบเทียบมาตรฐานของเครื่อง pH meter (HORIBA F-21)	12
2.4	การเตรียมสารละลาย	12
	2.4.1 การเตรียมสารละลาย Buffer ที่ pH 4, 5 และ 6	12
	2.4.2 การเตรียมสารละลาย Buffer ที่ pH 8, 9 และ 10	13

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
2.5	การเตรียมอิเล็กโทรด	13
2.6	วิธีการคัดกรองวัสดุ	14
2.6.1	การวัดค่า mV count และค่า pH ของสารละลาย (ใช้ glass electrode)	14
2.6.2	การวัดค่า mV count และค่า pH ของสารละลาย (ใช้ electrode ที่เตรียมขึ้น)	14
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง		
3.1	การคัดกรองวัสดุเพื่อนำมาทำเป็น solid-state pH electrode	15
3.2	การทดสอบความเสถียรของ solid-state pH electrode	27
3.2	การวัดค่า mV count (สลับขั้ว)	30
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง		36
บรรณานุกรม		37

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1.1	ขั้วคาโลเมล	3
1.2	ขั้วซิลเวอร์-ซิลเวอร์ คลอไรด์	3
1.3	ขั้วไฮโดรเจน	4
1.4	glass electrode	5
1.5	โครงสร้างและหลักการทำงานของตัวเครื่อง Ionalyzer	7
2.1	การจัดอุปกรณ์ในการวัดค่า mV count ของโลหะที่นำมาทำเป็นขั้วไฟฟ้า	9
2.2	เครื่องต้นแบบ solid-state pH meter ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น	11
2.3	แสดง solid-state pH electrode ที่ได้ออกแบบขึ้น	14
3.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ glass electrode	16
3.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ Platinum-Carbon probe	18
3.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ Aluminum-Copper probe	20
3.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Carbon porbe	22
3.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe	24
3.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ Silver-Aluminum probe	26
3.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe (Intra day) ที่เวลา 13.00 น.	28
3.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe (Intra day) ที่เวลา 16.00 น.	28
3.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe (Inter day) ณ วันที่ 08/04/51	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
3.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe (Inter day) ณ วันที่ 09/04/51	30
3.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe (Inter day) ณ วันที่ 10/04/51	30
3.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Carbon-Platinum probe	31
3.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Copper-Aluminum probe	32
3.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Carbon-Silver/Silver Chloride probe	33
3.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Copper-Silver/Silver Chloride probe	34
3.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Aluminum-Silver probe	35

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	แสดงค่า mV Count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ glass electrode	15
3.2	แสดงค่า mV Count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ Platinum-Carbon probe	17
3.3	แสดงค่า mV Count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ Aluminum-copper probe	19
3.4	แสดงค่า mV Count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Carbon probe	21
3.5	แสดงค่า mV Count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe	23
3.6	แสดงค่า mV Count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ Silver-Aluminum probe	25
3.7	ค่า mV Count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe (Intar day)	27
3.8	ค่า mV Count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe (Inter day)	29
3.9	ค่า mV Count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Carbon-Platinum probe	31
3.10	ค่า mV Count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Copper-Aluminum probe	32
3.11	ค่า mV Count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Carbon-Silver/Silver Chloride probe	33
3.12	ค่า mV Count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Copper-Silver/Silver Chloride probe	34
3.13	ค่า mV Count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Aluminum-Silver probe	35

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

อิเล็กโทรดที่ใช้วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ อิเล็กโทรดแบบกระเปาะแก้วเยื่อบาง (Glass-membrane electrode) และอิเล็กโทรดแบบของแข็ง (Solid-state electrode) อิเล็กโทรดทั้งสองแบบ มีราคาแพง และต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ราคาตกอยู่ประมาณ 50,000 ถึง 100,000 บาท และบางชนิดยังเป็นต้นแบบในห้องปฏิบัติการ ไม่มีการพัฒนาสมองกลเพื่อคำนวณและแสดงผลได้อย่างฉับพลัน บางรุ่นเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลในระดับสูงไม่ได้ มีอาจารย์นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการศึกษาและวิจัยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง แบบทำเองราคาถูก โดยพัฒนาระบบการตรวจวัด โดยอาศัยอิเล็กโทรดแบบกระเปาะแก้วเยื่อบาง แต่วิธีการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก และหน้าจอแสดงผลของส่วนที่เป็นเครื่องวัด แสดงได้เป็นตัวเลขเท่านั้น ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงอาศัยองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมเคมี วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ติดต่อประสานงานกันจนได้แนวคิดในการพัฒนาอิเล็กโทรดแบบของแข็งขนาดเล็กจิ๋วขึ้นมาใช้ทดแทนอิเล็กโทรดแบบกระเปาะแก้ว โดยคุณลักษณะของเครื่องวัดที่สร้างขึ้น มีความสามารถในการแสดงผลเป็นตัวอักษรและมีการบันทึกสมการของเนินร์นซ์ เพื่อเปลี่ยนค่าศักย์ที่วัดจากขั้วไฟฟ้า เป็นค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างถูกต้อง สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถประมวลผลในระดับสูงได้ และมีความเหมาะสมมากกว่าในการวัดตัวอย่างปริมาณน้อยมาก เช่น ใน append-drops ของสาขาวิชาชีวเคมี เป็นต้น หรือสามารถสอดเข้าไปในต่อ เพื่อวัดในตัวอย่างสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น ต้นไม้ เป็นต้น การพัฒนาอิเล็กโทรดแบบใหม่นี้ คณะผู้วิจัยจึงเห็นว่า มีความจำเป็น และมีความเป็นไปได้สูงในการขยายผลเชิงพานิชย์

1.2 จุดมุ่งหมายของการศึกษา

เพื่อสร้างระบบวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ขนาดเล็กจิ๋วพกพาได้ โดยอาศัยอิเล็กโทรดแบบของแข็ง

1.3 ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1.3.1. ออกแบบ และสร้างอิเล็กโทรดไวต่อโปรตอนขนาดเล็กจิ๋ว

1.3.2. ออกแบบและสร้างระบบที่ใช้เชื่อมต่อกับอิเล็กโทรดไวต่อโปรตอนขนาดเล็กจิ๋ว เพื่อแสดงผลการวัด โดยอาศัยกระบวนการทางวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และ วิศวกรรมซอฟท์แวร์

1.3.3. พัฒนาวิธีการประยุกต์ใช้ระบบวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ขนาดเล็กจิ๋ว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้วัสดุเคมีที่เหมาะแก่การนำมาทำเป็นอิเล็กโทรด

1.4.2. ได้อิเล็กโทรดแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับเครื่องต้นแบบ

1.4.3 ได้เครื่องต้นแบบพร้อมเฟิร์มแวร์และซอฟท์แวร์

1.5 กรอบแนวความคิดหรือทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อิเล็กโทรดโดยทั่วไปแล้วจะประกอบไปด้วยอิเล็กโทรดที่ทำงานร่วมกันอยู่ 2 ส่วน คือ Indicator หรือ Measuring Electrode กับอีกส่วนหนึ่งคือ Reference Electrode โดยที่ Indicator Electrode จะทำหน้าที่อ่านปริมาณความเข้มข้นของ H^+ ที่มีอยู่ในสารละลาย ในขณะที่ Reference Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมวงจรไฟฟ้าให้อิเล็กโทรดทั้งชุดทำงานได้ (หรือในทางทฤษฎีก็คือ เป็นตัวคอยให้สัญญาณเปรียบเทียบแก่วงจรที่กำลังทำการอ่านค่าจาก Indicator Electrode)

วัสดุที่นำมาทำการคัดกรองก่อนนำไปทำเป็นอิเล็กโทรดจึงต้องมีการจับคู่กันเพื่อให้วัสดุต่างๆ ทำหน้าที่เป็น Reference Electrode (ขั้วอ้างอิง) และ Indicator Electrode (ขั้วชี้วัด) โดยต่อขั้ว + ของมัลติมิเตอร์ เข้ากับวัสดุที่ทำหน้าที่เป็น Indicator Electrode ส่วนขั้ว – ต่อกับวัสดุที่ทำหน้าที่เป็น Reference Electrode ใช้วิธีการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแบบธรรมดา (basic potentiometry) โดยอาศัยความแตกต่างของศักย์ของขั้วไฟฟ้าสองอัน อันหนึ่งเป็นขั้วอ้างอิงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการธรรมดา เช่น Ag/AgCl หรือ calomel เป็นต้น ส่วนอีกอันเป็นขั้วชี้วัดที่ต้องการคัดกรองเอาแต่เฉพาะวัสดุที่ไวต่อโปรตอนมาทำการทดลอง โดยหนึ่งโปรตอนจะได้ค่าประมาณ 59 mV ต่อ 1 ช่วงความเป็นกรด – ด่าง และความเข้มข้นของ H^+ ต่างกันทุกๆ 10 เท่า จะให้ค่า millivolt ออกมาได้แตกต่างกันประมาณ 60 mV ซึ่งที่ความเข้มข้นต่างกันทุกๆ 10 เท่านี้เอง ที่ค่าของ pH จะต่างกันเท่ากับ 1 pH unit ค่า 1 Relative หรือ 1 pH unit มีค่าในทางปฏิบัติจริงๆ เท่ากับ 59 mV ที่ 25 °C ซึ่งหมายความว่า ถ้าอุณหภูมิของสารละลายตัวอย่างขณะที่ทำการวัดมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจาก 25 °C ค่าเป็น milivolt ของ 1 Relative นี้ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

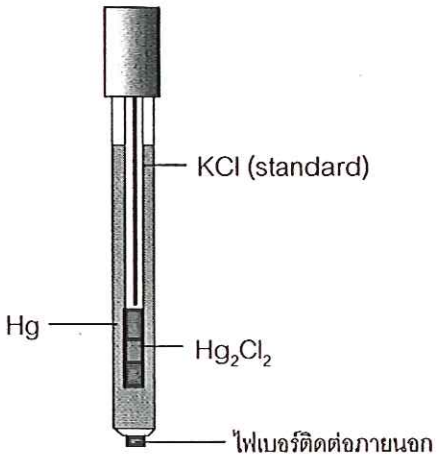
จากความเข้มข้นของ H^+ ที่วัดได้จะเป็นตัวชี้สภาพความเข้มข้นของความเป็นกรดหรือด่างของสารละลายตัวอย่าง ถ้ามี H^+ มาก [OH^- มีน้อย] จะส่งผลให้ Electrode ให้กระแสไฟฟ้าออกมาเป็น + สูง ความต่างศักย์ที่ออกมาก็จะเป็นบวกสูง จะได้ผลที่มีค่า pH ต่ำ ถ้าในสารละลายที่มี H^+ น้อย [OH^- มีมาก] Electrode ก็จะให้กระแสไฟฟ้าออกมาเป็น - สูง ความต่างศักย์ที่ออกมาก็จะเป็นลบสูงแสดงค่า pH ที่สูงหรือแสดงความเป็นด่างหรือเบสมากนั่นเอง

Reference Electrode ได้แก่

1. Calomel Electrode เป็น electrode ที่นิยมใช้มากที่สุด ประกอบด้วยโลหะ platinum แตะอยู่กับ mercury และ mercurous chloride (Hg_2Cl_2 หรือ calomel) ในสารละลาย potassium chloride

half-cell formulation : Hg / Hg2Cl2 (sat'd), KCl (xM) //

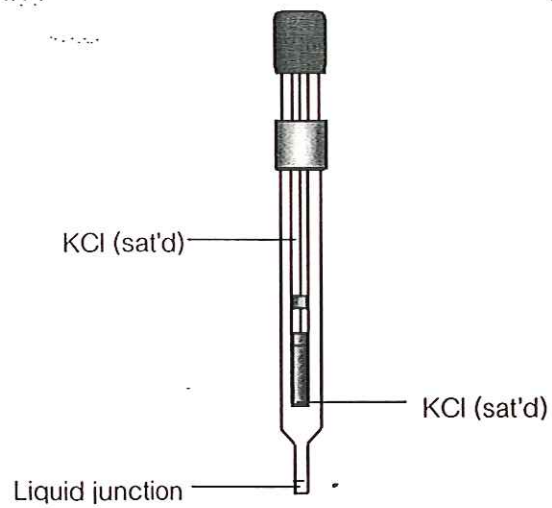
x คือ ความเข้มข้นของสารละลาย KCl ซึ่งใน standard calomel electrode (SCE) มีค่าเท่ากับ 4.2 M



รูปที่ 1.1 ขั้วคาเมล

2. Silver / silver chloride Electrode ประกอบขึ้นด้วยลวดเงินที่เคลือบไว้ด้วยเกลือ silver chloride ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลาย potassium chloride

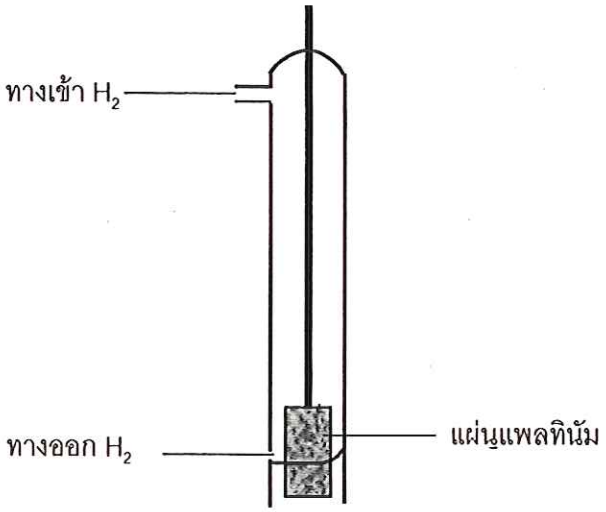
half-cell formulation : Ag /AgCl (sat'd), KCl (sat'd) /



รูปที่ 1.2 ขั้วซิลเวอร์-ซิลเวอร์ คลอไรด์

3. Hydrogen Electrode ประกอบด้วย platinum foil ชิ้นเล็กๆ หุ้มด้วยผง platinum blank ซึ่งเป็นตัวทำให้ผิวหน้าของ foil มีคุณสมบัติในการดูดจับกับ Hydrogen gas ที่บริสุทธิ์ ซึ่งจะถูกผ่านลงไปยังแท่ง electrode ที่จุ่มอยู่ในสารละลายที่ความดันคงที่ 1 atm ตลอดเวลา

half-cell formulation : Pt / H_2 (g), H^+ (P= 1 atm) // KCl solution



รูปที่ 1.3 ขั้วไฮโดรเจน

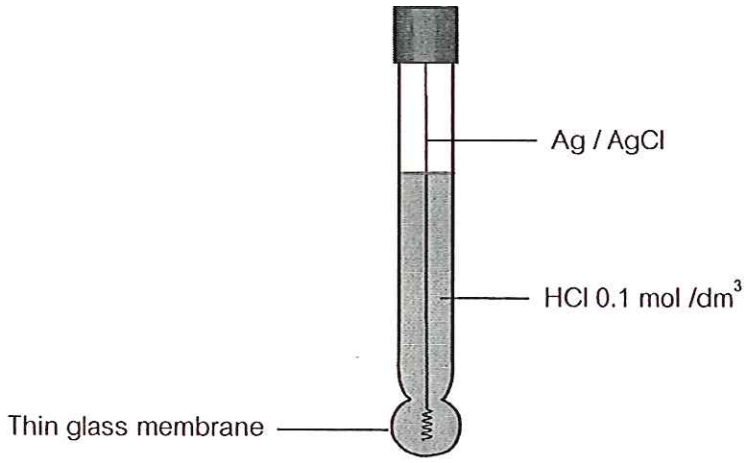
$$2H^+ (aq) + 2e^- \rightleftharpoons H_2 (g)$$

electrode ชนิดนี้ใช้เป็น standard electrode สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของ indicator electrode ชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังใช้ตรวจสอบขนาดของ liquid – junction potential รวมทั้งความถูกต้อง และความเสถียรของ reference electrode solution

Indicator Electrode ได้แก่

1. Glass Electrode ประกอบด้วย pH – sensitive glass membrane ทำเป็นกระเปาะ ภายในมีลวดเงิน ซึ่งถูกเคลือบไวด้วยเกลือ silver chloride จุ่มอยู่ในสารละลายของ hydrochloric acid พบว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของ electrode ขึ้นกับความเข้มข้นของ hydrogen ion ในสารละลายที่ต้องการวัด ดังนั้น electrode ชนิดนี้จึงมีประโยชน์มากในการวัดค่า pH ของสารละลาย

half-cell formulation : Ag / AgCl (s) / HCl (0.1 M) / glass



รูปที่ 1.4 glass electrode

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับค่า E_{cell}

$$pH = \frac{E_{cell} - k}{0.0591} \quad (1.1)$$

โดยค่า k คือคงที่ที่สามารถคำนวณได้จากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า ของสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่า pH ที่แน่นอน

$$k = E_{cell\ (std)} - 0.0591\ pH_{(std)} \quad (1.2)$$

แทนค่า k ลงในสมการที่ 1.1 เพื่อหาค่า pH ของสารละลายตัวอย่าง (unknown)

$$pH_{(unk)} = \frac{pH_{(std)} + E_{cell\ (unk)} - E_{cell\ (std)}}{0.0591} \quad (1.3)$$

2. Metal Electrode ได้แก่ Platinum electrode, Silver electrode, และ Mercury electrode เป็นต้น

3. Solid state and precipitate electrode เช่น Fluoride electrode, Sulfide ion electrode เป็นต้น

4. Liquid – Liquid membrane electrode เช่น Calcium selective electrode, Nitrate electrode และ Fluoroborate electrode เป็นต้น

5. Enzyme and gas – sensing electrode เช่น Ammonia electrode, Enzyme sensing electrode เป็นต้น

การทำงานของ Electrode

ในสารละลายตัวอย่างที่นำมาวัด จะประกอบขึ้นด้วย H^+ และ OH^- ที่แตกตัวกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป เมื่อเราจุ่ม Glass และ Reference electrode (หรือ Combination electrode) ลงไปในสารละลายนั้น สารละลายนำไฟฟ้า (KCl) ใน Reference electrode จะไหลผ่าน junction ออกมาสัมผัสกับสารละลายตัวอย่างอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ H^+ ซึ่งเป็นอิออนประจุบวกในสารละลายตัวอย่างที่จะวิ่งเข้าจับตัวกับ Cl^- ของ KCl ขณะที่ OH^- จะถูกผลักให้ไปออกันอยู่ที่ผิวด้านนอกของกระเปาะแก้วของ Glass electrode

ภายในกระเปาะของแก้ว Glass electrode ซึ่งบรรจุสารประเภท Buffer ไว้ จะมี H^+ และ OH^- อยู่เช่นกัน H^+ และ OH^- นี้จะแยกออกจากกัน โดย H^+ จะไปออกันอยู่ที่ผิวด้านในของกระเปาะแก้ว ส่วน OH^- จะถูกผลักไปรวมกันอยู่ที่บริเวณขั้วโลหะของ Glass electrode

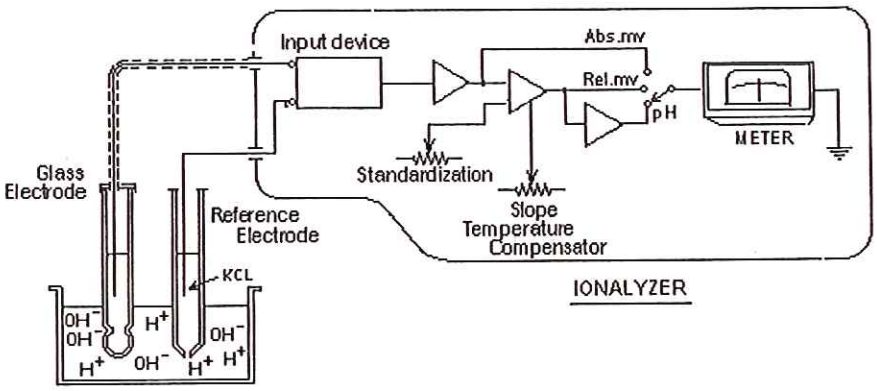
ด้วยคุณสมบัติพิเศษของเนื้อแก้วที่ใช้ทำกระเปาะแก้วของ Glass electrode Electron จะสามารถแลกเปลี่ยนผ่านผิวแก้วนี้กันได้ Electrons ส่วนเกินที่เกิดขึ้นในกระเปาะแก้ว จะไหลผ่านลวดตัวนำไฟฟ้าไปยังวงจรของตัวเครื่องในรูปของกระแสไฟฟ้า แล้วกลับมาครบวงจรกันในสารละลายตัวอย่างผ่านทาง Reference electrode

เครื่องมือที่ใช้วัด

ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยทั่วๆ ไป EMF หรือ Electro Motive Force ที่เกิดขึ้น จะมีค่าน้อยมาก ฉะนั้นวงจรไฟฟ้า หรือเครื่องมือที่วัดจะนำมาใช้วัดค่าของกระแสไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วเซลล์ จะต้องเป็นแบบที่มีความต้านทานทางด้านขาเข้าสูงมากๆ (Hi – Input Impedance) ทั้งนี้เพื่อมิให้เกิดความต้านทานต่อ EMF ของเซลล์ หรือสารตัวอย่างที่กำลังวัดค่าอยู่นั้นเอง ในปัจจุบันนิยมใช้แบบ Electronics ร่วมกับวงจรและอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสำหรับงานวัดวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กๆ โดยเฉพาะ ทำให้สามารถอ่านค่าจาก Electrode ได้โดยตรงโดยอ่านได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว เครื่องมือดังกล่าวนี้ เรียกกันโดยทั่วๆ ไปว่า Ionalyzer

โครงสร้างและหลักการทำงานของตัวเครื่อง

โดยการเชื่อมต่อสัญญาณจากชุด Electrode เข้ากับตัวเครื่อง Ionalyzer เมื่อจุ่มชุด Electrode ลงในสารละลายมาตรฐาน หรือสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ Electrode จะส่งผลที่อ่านได้จากความเข้มข้นของประจุไฟฟ้าในสารละลาย ส่งให้กับ Ionalyzer ในรูปของกระแสไฟฟ้าได้ทันที



รูปที่ 1.5 โครงสร้างและหลักการทำงานของตัวเครื่อง Ionalyzer

เมื่อได้สัญญาณในรูปของกระแสไฟฟ้าจาก Electrodes เข้ามาแล้ว วงจรส่วนหน้าของ Ionalyzer จะแปลงสัญญาณนี้ให้อยู่ในรูปของ Voltage ทันที จากนั้นจึงนำไปขยายให้เป็นสัญญาณที่แรงขึ้นอีกทีหนึ่ง ก่อนที่จะส่งไปปรับแต่งในวงจรถัดไป ซึ่งในเครื่อง Ionalyzer โดยทั่วๆ ไปจะมีการปรับแต่งค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ปรับจุดตั้งต้นของการวัด กล่าวคือในขณะที่ input ของมันมีค่าอยู่ ณ ค่าใดค่าหนึ่งนั้น เราสามารถปรับให้มันชี้แสดงบอกเป็นค่าใดๆ ก็ได้บนหน้าปัด ตามแต่เราจะต้องการ การเบี่ยงเบนเนื่องจากการวัดค่าสารละลายอื่นๆ หลังจากการปรับจุดตั้งต้นนี้แล้ว จะเบี่ยงเบนออกไปจากจุดตั้งต้นนี้เสมอ ปุ่มปรับตัวนี้มีชื่อเรียกทางวงจรไฟฟ้าว่า 'OFF SET' (หรือ Standardize ใน Ionalyzer)

2. ปรับกำลังการขยายของสัญญาณ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการใช้ Electrode วัดสารละลาย 2 ครั้ง ที่ 2 ความเข้มข้น (ซึ่งผลต่างก็คือ 1 หน่วยความแตกต่าง หรือ 1 Relative) นั้นเราสามารถนำมาขยายค่าให้มากขึ้นหรือน้อยลงก็ได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม หรือให้ได้ค่าตามแต่ที่จะต้องการสำหรับการแสดงผลทาง Out- put ต่อไป ตัวปรับตัวนี้มีชื่อทางวงจรไฟฟ้าว่า Gain หรือ Span (หรือใช้ชื่อเป็น Slope Control ในเครื่อง Ionalyzer)

การแสดงผล

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแสดงผลของเครื่อง Ionalyzer ก็คือโวลท์มิเตอร์นั่นเอง อาจเป็นมิเตอร์แบบเข็มหรือตัวเลขก็ได้ ที่ทำการจัดแบ่ง Scale และ Range ไว้ให้เหมาะสมแก่การใช้งาน ซึ่งโดยทั่วๆ ไปแล้ว มักจะจัดแบ่งไว้ให้อ่านค่าได้ในหน่วยต่างๆ ดังนี้

1. อ่านค่าเป็น Absolute millivolt ซึ่งก็คือค่า millivolt ที่ได้จาก Electrodes โดยตรงที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับแต่งค่าใดๆ ทั้งสิ้น

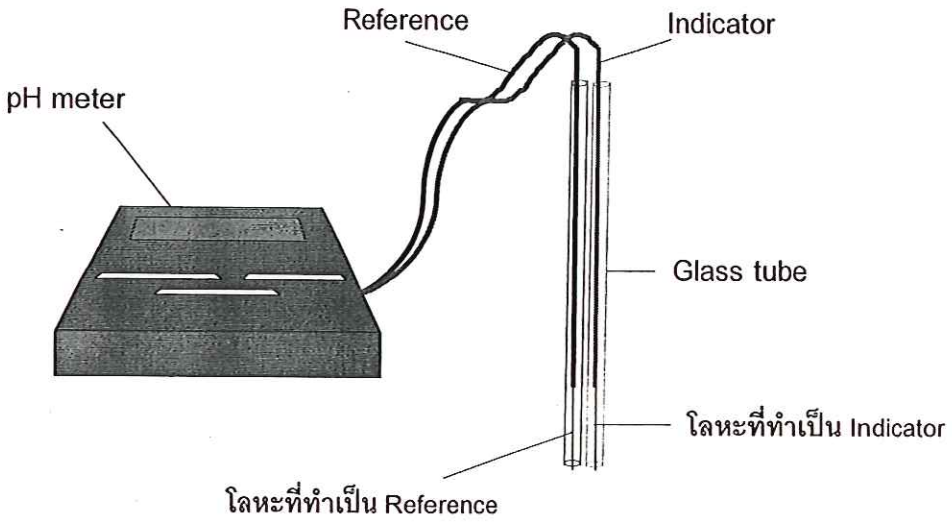
2. อ่านค่าเป็น Relative millivolt ซึ่งเป็นค่า millivolt ที่ผ่านการปรับแต่งค่า OFF – SET หรือ GAIN ไว้แล้ว

3. อ่านค่าเป็น pH (ในกรณีที่นำไปใช้ในงานวัดอิออนของไฮโดรเจน ในสารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ) ซึ่งก็คือการนำเอาค่า Total relative millivolts มาหารด้วยค่า 1 Relative ที่ได้จากการวัดค่า pH ที่ต่างกัน 1 unit ก็จะได้ค่าเป็น pH unit ที่เบี่ยงเบนออกจากจุด pH 7 นั่นเอง

บทที่ 2
การทดลอง

2.1 อุปกรณ์

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการคัดกรองวัสดุเพื่อที่จะนำไปทำเป็นอิเล็กโทรดขนาดจิ๋ว มีการจัดเครื่องมือต่างๆ ในการวัดค่า mV count ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การจัดอุปกรณ์ในการวัดค่า mV count ของโลหะที่นำมาทำเป็นขั้วไฟฟ้า

จากรูป 2.1 โลหะที่จะทำหน้าที่เป็น Reference electrode และ Indicator electrode จะมีการทดลองจับคู่ของโลหะต่างๆ เพื่อเปรียบค่า mV count เพื่อได้โลหะที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปทำเป็นอิเล็กโทรดขนาดจิ๋ว

ในการคัดกรองวัสดุโดยวิธีการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแบบธรรมดา (basic potentiometry) โดยใช้ความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าสองอันคือ ขั้วอ้างอิง และขั้วชี้บอก ในการตรวจจับ H^+ ที่มีอยู่ในสารละลายตัวอย่าง pH ต่างๆ ส่งสัญญาณสู่เครื่อง pH meter แสดงค่า mV

2.1.1 วัสดุที่ใช้ทำเป็น Reference – Indicator Electrode ได้แก่

1. Aluminum – Copper
2. Platinum – Carbon

3. Silver / silver chloride – Carbon

4. Silver / silver chloride – Copper

5. Silver – Aluminum

2.1.2 อุปกรณ์ทั่วไป

pH meter : Model F-21, HORIBA, Japan

Electrode : pH electrode (glass electrode), HORIBA, Japan

เครื่องทำน้ำ DI : Model LA 534 BOUST PUMP ELGA, Bank tradding, England

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง : Model TE 214S, SCIENTIFIC PROMOTION CO; LTD, America

เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง : Model TE 412-L, SCIENTIFIC PROMOTION CO; LTD, America

2.1.3 สารเคมี

1. CH_3COONa; Sodium acetate, Assay 99.5%, AR grade, Merck, Germany

2. $NaHCO_3$; Sodium hydrogen carbonate, MW : 84.01 g/mol, AR grade, Merck, Germany

3. CH_3COOH; Acetic acid, FW : 60.65, acid 80%, BAHER, USA

4. NaOH; Sodium hydroxide, MW : 40.00 g / mol, Assay 99%, Merck, Germany

5. HCl; Hydrochloric acid, FW : 36.463, acid 37%, Density = 1.186 ± 0.003, Merck, Germany

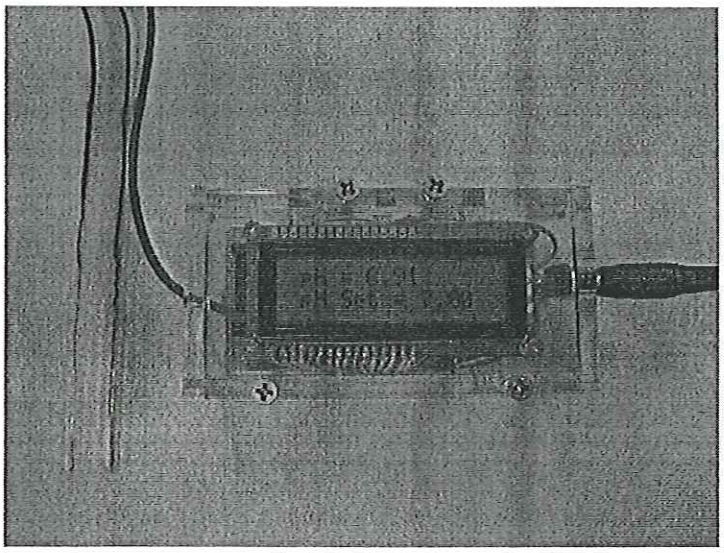
6. pH Buffer สำหรับ Calibrate pH meter, ORION Application Solution, Boston, USA

2.2 pH meter

ในงานวิจัยนี้ นอกจากจะได้ทำการคัดกรองวัสดุที่จะนำมาใช้เป็น solid-state pH electrode แล้ว ยังได้ทำเครื่องต้นแบบ solid-state pH meter ขึ้นด้วยโดยได้มีการพัฒนาฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และออกแบบผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 2.2 โดยต้นแบบทั้งสิ้นได้ถูกใส่ในกล่องขนาดมาตรฐาน ภายในประกอบด้วย PCB ซึ่งมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน เริ่มตั้งแต่วงจรเปลี่ยนสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นดิจิตอล ป้อนค่าให้แก่ไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อคำนวณและชดเชยค่าเนื่องจากการปรับตั้ง นำค่าที่ได้แสดงออกทางจอแสดงผล (LCD) ซึ่งสามารถแสดงได้ถึง 4½ หลัก ด้านหน้าที่ปุ่มสำหรับเลือกการทำงาน 4 ปุ่ม สำหรับเลือกการวัดเช่น พีเอช อุณหภูมิ เก็บค่าการวัดในเครื่องเป็นต้น โดยได้จดลิขสิทธิ์ในชื่อ NU3-pH Firmware ซึ่งเป็น

รายการขับเคลื่อนสมองกลที่ใช้ควบคุมการอ่านค่าและแสดงผลของเครื่อง NU3-pH meter ซึ่งสามารถอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วอ้างอิง และขั้วไฟฟ้าจำเพาะเลือกกับอนุมูลโปรตอน แล้วทำการคำนวณโดยใช้สมการของเนิร์นสท์ เพื่อเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นความเข้มข้นของอนุมูลโปรตอนในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย และสามารถชดเชยค่าผิดพลาดตามอุณหภูมิที่ป้อนเข้าไปได้

NU3-pH Firmware เป็นรายการขับเคลื่อนสมองกล AT89C4051 ที่เชื่อมต่อกับหน่วยรับสัญญาณอนาลอคขาเข้า MCP3401 แบบอนุกรม 12 ลำดับบิต และมีหน่วยแสดงผลเป็นจอผลึกเหลวแบบ 1 บรรทัด 16 ตัวอักษร รายการโปรแกรมถูกเขียนขึ้นด้วยคอมไพเลอร์ BASCOM51 และทำการแปลงเป็นลำดับบิต INTEL HEX พร้อมสำหรับการฝังตัวลงในสมองกล



รูปที่ 2.2 เครื่องต้นแบบ Solid-state pH meter ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น

2.3 การสอบเทียบมาตรฐานของเครื่องมือ (Calibration of basic Instrument)

2.3.1 การสอบเทียบมาตรฐานของเครื่องชั่ง

นำลูกตุ้มน้ำหนักที่ใช้ในการสอบเทียบมาตรฐานไปชั่ง จากนั้นเอาลูกตุ้มออก ทิ้งเครื่องชั่งไว้ประมาณ 10 นาที บันทึกค่าไว้ ชั่งอีกครั้ง แล้วเอาลูกตุ้มออก บันทึกค่าที่ได้อีกครั้ง จากนั้นทิ้งไวอีก 10 นาที ทำซ้ำแบบเดิมจนครบ 11 ครั้ง บันทึกค่าที่ได้อีกครั้ง แล้วทำการปิดเครื่องเขียนผลว่าเป็น Intra day value drift หลังจากนั้นอีก 2 วัน ทำการเปิดเครื่องชั่งใหม่ โดยการนำเอาลูกตุ้มอันเดิม ทำซ้ำจนครบ 11 ครั้ง แล้วเขียนผลเป็น Inter day value drift

2.3.2 **การสอบเทียบมาตรฐานของขวดปรับปริมาตร**

ชั่งขวดปรับปริมาตร (ขนาดต่างๆ) แล้วบันทึกน้ำหนัก เติมและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ชั่งอีกครั้ง บันทึกน้ำหนัก ทำแบบเดิมอีก 5 ครั้ง จากนั้นนำน้ำหนักมาหักลบกัน และนำไปหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นปริมาตรที่แท้จริงของขวดปรับปริมาตร

2.3.3 **การสอบเทียบมาตรฐานของปิเปต**

ชั่งบีกเกอร์แล้วบันทึกน้ำหนัก จากนั้นปิเปตน้ำกลั่นใส่บีกเกอร์ (ปิเปตขนาดต่างๆ ที่ใช้ในการสอบเทียบมาตรฐาน) ชั่งบีกเกอร์ที่เติมน้ำกลั่นแล้ว บันทึกน้ำหนัก ทำแบบเดิมอีก 5 ครั้ง จากนั้นนำน้ำหนักมาหักลบกัน และนำไปหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นปริมาตรที่แท้จริงของปิเปต

2.3.4 **การสอบเทียบมาตรฐานของเครื่อง** pH meter (HORIBA F-21)

เปิดเครื่อง กด CLR พร้อมกับ Cal เพื่อเป็นการเคลียร์ ก่อนที่จะทำการตั้งค่าใหม่ จุ่ม Electrode ลงในสารละลาย pH Buffer สำหรับการเทียบมาตรฐานเครื่อง pH meter กด Cal แล้วรอให้ขึ้น Auto HOLD, Calibrate โดยใช้ pH 7 กับ pH 4 สำหรับวัดสารละลายในช่วงกรด Calibrate โดยใช้ pH 7 กับ pH 9 สำหรับวัดสารละลายในช่วงเบส

2.4 **การเตรียมสารละลาย**

ในการเตรียมสารละลายที่ pH ในช่วงต่างๆ จะต้องเตรียมโดยใช้สารที่ต่างกันในช่วงของเบส และกรด รวมถึงสารที่ใช้ในการปรับ pH จาก pH ที่เตรียม ให้แบ่ง pH ออกเป็นสองช่วงคือ

pH 4-6 จะมีความคลาดเคลื่อนของค่า pH ซึ่งจะเห็นได้จากการเติมกรดหรือเบสลงไป มีการเปลี่ยนแปลงไปมาไม่คงที่ รวมถึงค่า mV

pH 8-9 เป็นเบสที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเช่นเดียวกับ pH 10 เป็น potential alkaline มีความคลาดเคลื่อนมากเมื่อมีการปรับค่า pH โดยการเติมกรดหรือเบส และค่า mV คลาดเคลื่อน

ส่วน pH 2, 3 เป็น strong acid อยู่แล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่ามาก ที่ pH 10-12 ก็มีความเป็น strong alkaline คือเป็นเบสสูง จึงไม่มีความคลาดเคลื่อนมากนัก

<u>หมายเหตุ</u> ใช้ glass electrode วัดค่า pH ของสารละลายในการปรับเตรียม pH Buffer บันทึกค่า pH ที่ได้ (ใช้ในการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และค่า mV count)

2.4.1 **การเตรียมสารละลาย Buffer ที่ pH 4, 5 และ 6**

ชั่ง 0.1 M CH_3COONa; Sodium Acetate 2.05 g ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 250 ml

ปรับสภาพความเป็นกรด โดยใช้ CH_3COOH; Acetic acid

ปรับสภาพความเป็น เบส โดยใช้ NaOH; Sodium hydroxide

2.4.2 **การเตรียมสารละลาย Buffer ที่ pH 8, 9 และ 10**

ชั่ง 0.1 M $NaHCO_3$; Sodium Carbonate 2.10 g ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 250 ml

ปรับสภาพความเป็นกรด โดยใช้ HCl; Hydrochloric acid

ปรับสภาพความเป็นเบส โดยใช้ NaOH; Sodium hydroxide

2.5 **การเตรียมอิเล็กโทรด** (Solid-state pH electrode)

ในการเตรียมอิเล็กโทรดต้องมีการจับคู่กันของโลหะเพื่อให้ทำหน้าที่เป็น Reference Electrode (ขั้วอ้างอิง) และ Indicator Electrode (ขั้วชี้วัด) โดยต่อขั้ว + ของเครื่อง pH meter เข้ากับวัสดุที่ทำหน้าที่เป็น Indicator Electrode ส่วนขั้ว – ต่อกับวัสดุที่ทำหน้าที่เป็น Reference Electrode ก่อนนำไปวัดค่า mV count

วัสดุที่ใช้เพื่อประกอบเป็น solid-state pH electrode มีดังนี้

1. Glass tube 2 แท่ง

ขนาดความยาว	120	mm
เส้นผ่านศูนย์กลาง	5	mm

2. วัสดุที่ใช้ทำขั้วอ้างอิง และขั้วชี้บอกในข้อที่ 2.1.1

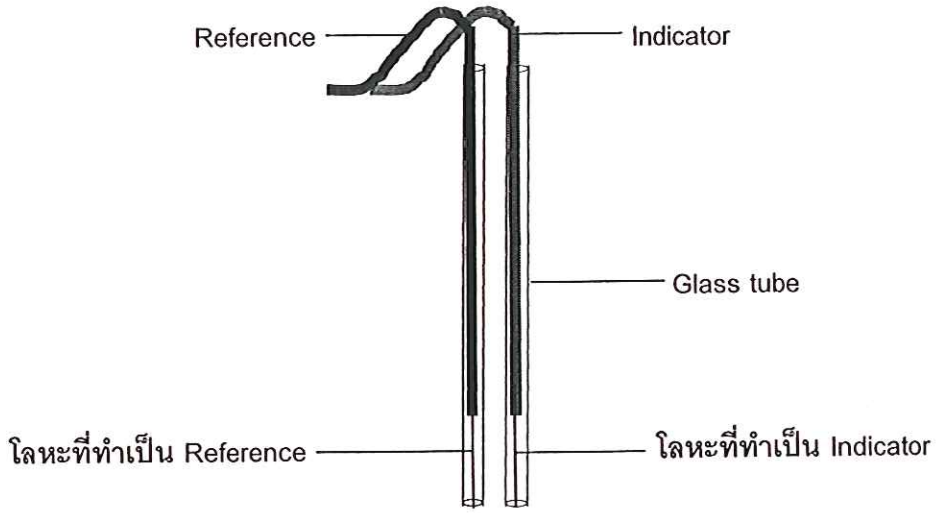
ขนาดความยาว	60	mm
เส้นผ่านศูนย์กลาง	0.5-1.5	mm

3. สายไฟ 2 เส้น ควรมีขนาดเล็กพอที่จะสามารถผ่านเข้าไปในแท่งแก้วได้ สำหรับใช้ต่อกับขั้วอ้างอิง และขั้วชี้บอก เพื่อต่อเข้ากับเครื่อง pH meter ซึ่งจะได้อิเล็กโทรดดังรูปที่ 2.3

<u>หมายเหตุ</u>

- ควรให้วัสดุที่ใช้ทำขั้วอ้างอิง และขั้วชี้บอก ยาวเลยแท่งแก้วออกมาเล็กน้อยประมาณ 2-3 mm
- วัสดุที่ใช้ทำขั้วอ้างอิง และขั้วชี้บอก เพื่อให้มันยึดติดกับสายไฟอาจทำการบัดกรี หรือพันกันบิดเป็นเกรียวกับสายไฟ
- ความยาวของสายไฟ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม

เมื่อเตรียมอิเล็กโทรดเรียบร้อยแล้ว จัดอุปกรณ์เพื่อเตรียมการวัดค่า mV count โดยการต่ออิเล็กโทรดที่เตรียมไว้เข้ากับเครื่อง pH meter ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.3 แสดง solid-state pH electrode ที่ได้ออกแบบขึ้น

2.6 วิธีการคัดกรองวัสดุ

2.6.1 การวัดค่า mV count และค่า pH ของสารละลาย (ใช้ glass electrode)

นำสารละลายที่เตรียมไว้ วัดค่า mV count โดยใช้ glass electrode เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดโดยอิเล็กโทรดที่เตรียมขึ้น บันทึกค่า mV count ที่ได้ ทำซ้ำเช่นเดิมอีก 3 ครั้ง บันทึกผลแล้วสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH (แกน X) และค่า mV count (แกน Y)
(ใช้ค่า pH ที่ได้จากการปรับเตรียมครั้งแรก)

2.6.2 การวัดค่า mV count และค่า pH ของสารละลาย (ใช้ electrode ที่เตรียมขึ้น)

นำสารละลายที่เตรียมไว้ วัดค่า mV count บันทึกค่าที่ได้ ทำซ้ำเช่นเดิมอีก 3 ครั้ง บันทึกผลแล้วสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH (แกน X) และค่า mV count (แกน Y)
(ใช้ค่า pH ที่ได้จากการปรับเตรียมครั้งแรก)

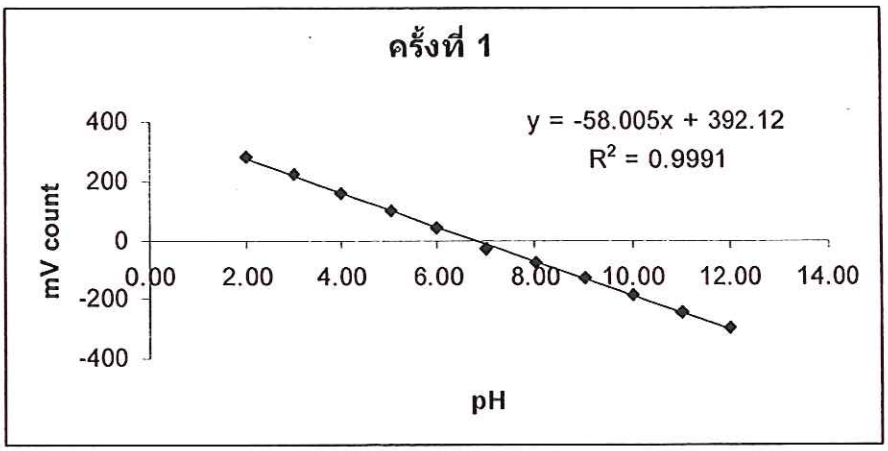
บทที่ 3
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

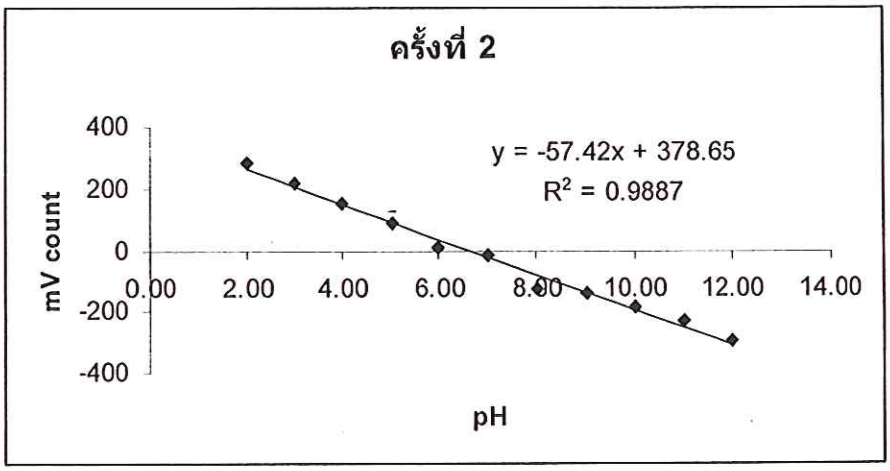
3.1 การคัดกรองวัสดุเพื่อนำมาทำเป็น solid-state pH electrode

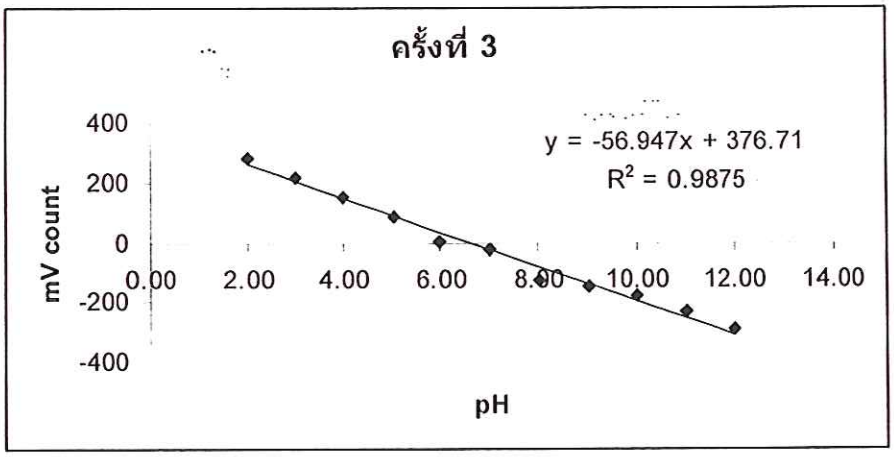
ได้ทำการวัดค่า mV count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ โดยใช้ glass electrode เปรียบเทียบกับ solid-state pH electrode โดยจัดอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ได้ผลดังนี้

ตาราง 3.1 แสดงค่า mV count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ glass electrode

สารละลายที่ pH	mV count		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2
2.00	282	280	282
3.00	222	220	221
4.00	159	150	150
5.03	99	90	91
6.01	43	7	4
7.00	-29	-18	-20
8.01	-73	-129	-126
9.00	-130	-143	-144
10.00	-187	-183	-180
11.00	-243	-234	-234
12.00	-299	-299	-288



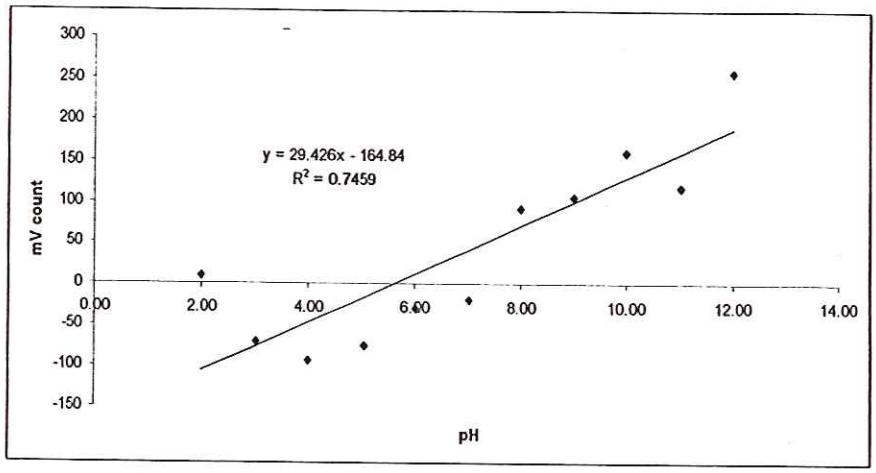


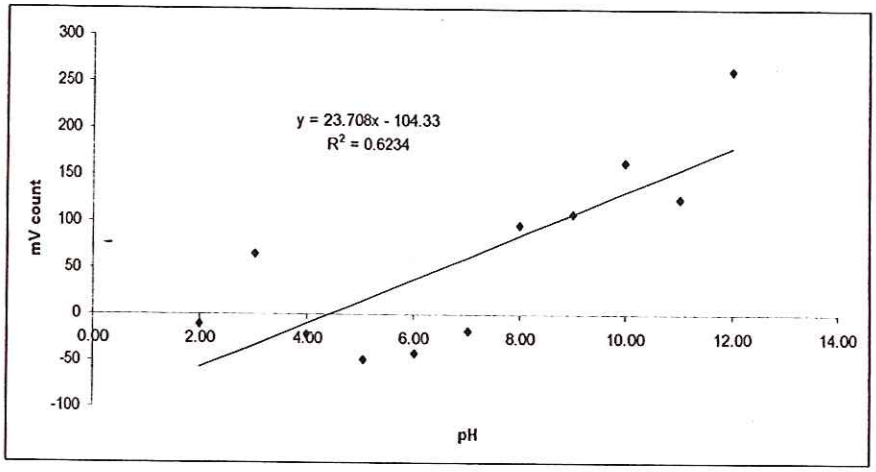


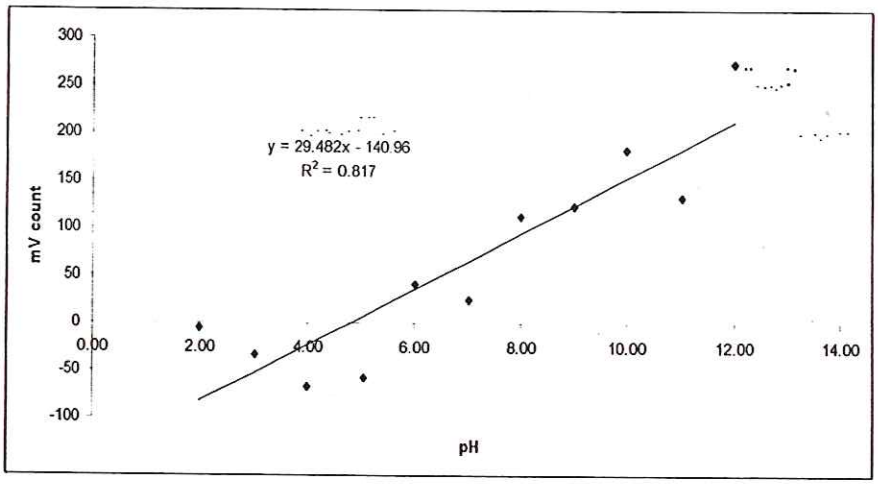
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ glass electrode

ตาราง 3.2 แสดงค่า mV count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ Platinum-Carbon probe

สารละลายที่ pH	mV count		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2
2.00	10	-11	-6
3.00	-71	65	-34
4.00	-93	-22	-68
5.03	-75	-48	-58
6.01	-30	-42	40
7.00	-20	-17	25
8.01	92	96	112
9.00	105	108	123
10.00	160	164	182
11.00	118	124	132
12.00	258	262	273



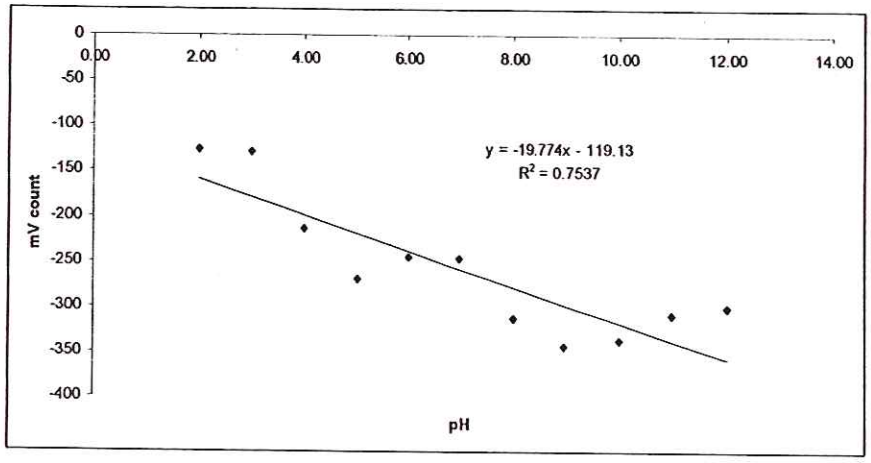


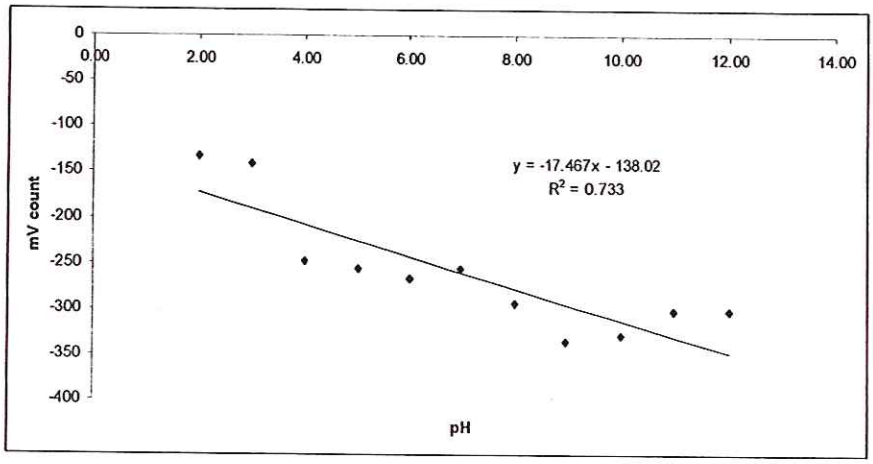


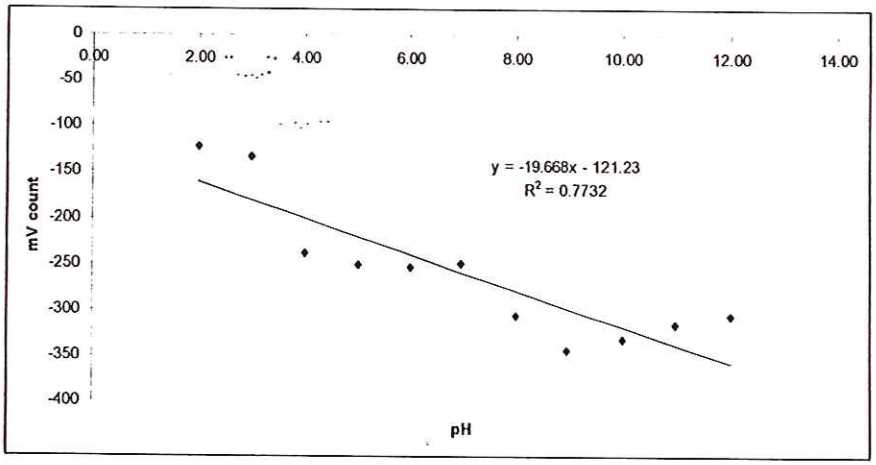
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ Platinum-Carbon probe 3 ครั้ง

ตาราง 3.3 แสดงค่า mV count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ Aluminum-Copper probe

สารละลายที่ pH	mV count		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2
2.00	-127	-133	-122
3.00	-129	-141	-134
4.00	-214	-248	-239
5.03	-270	-256	-250
6.01	-245	-267	-253
7.00	-247	-256	-249
8.01	-312	-294	-306
9.00	-343	-336	-344
10.00	-337	-329	-331
11.00	-309	-302	-315
12.00	-301	-302	-306



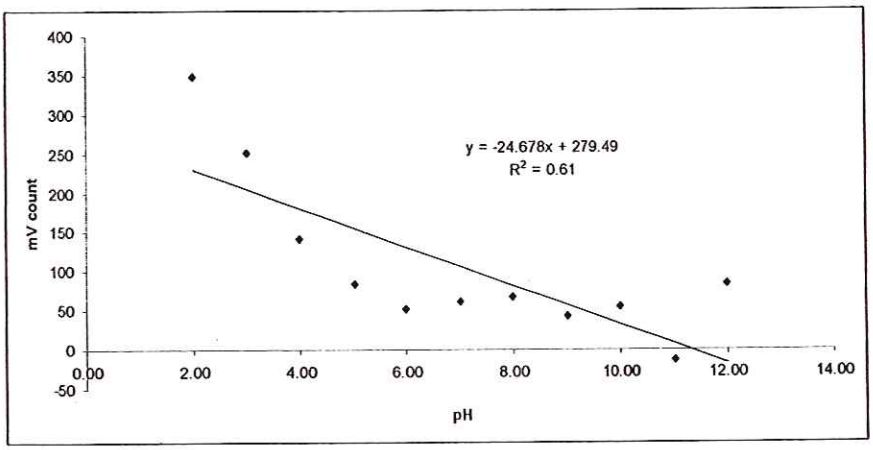


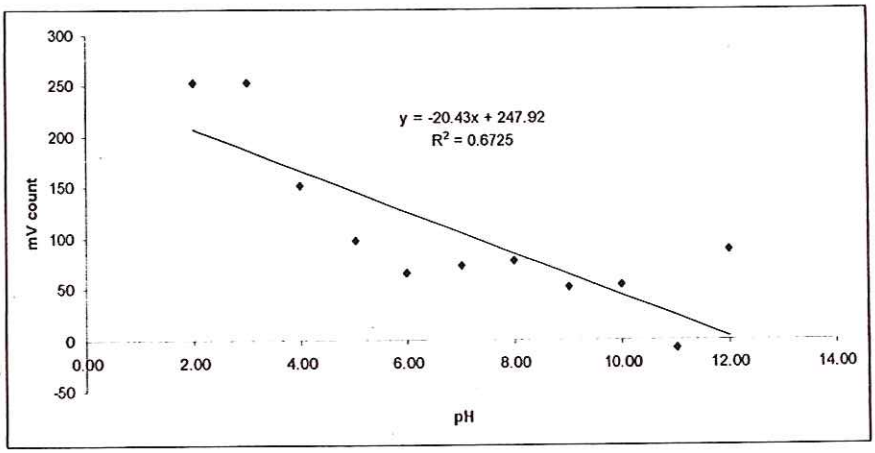


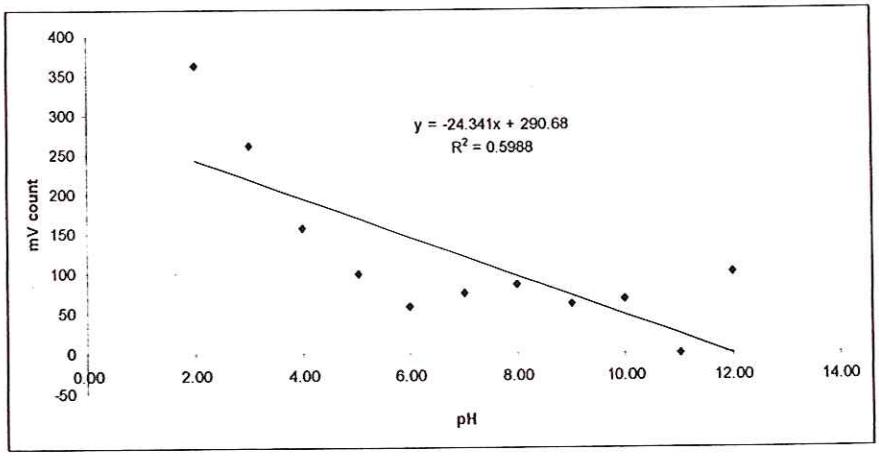
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ Aluminum-Copper probe 3 ครั้ง

ตาราง 3.4 แสดงค่า mV count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ Silver/silver chloride-Carbon probe

สารละลายที่ pH	mV count		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2
2.00	349	253	362
3.00	251	253	261
4.00	141	151	156
5.03	84	97	99
6.01	52	65	57
7.00	61	73	75
8.01	67	77	85
9.00	43	51	61
10.00	55	54	67
11.00	-14	-9	-1
12.00	84	88	100



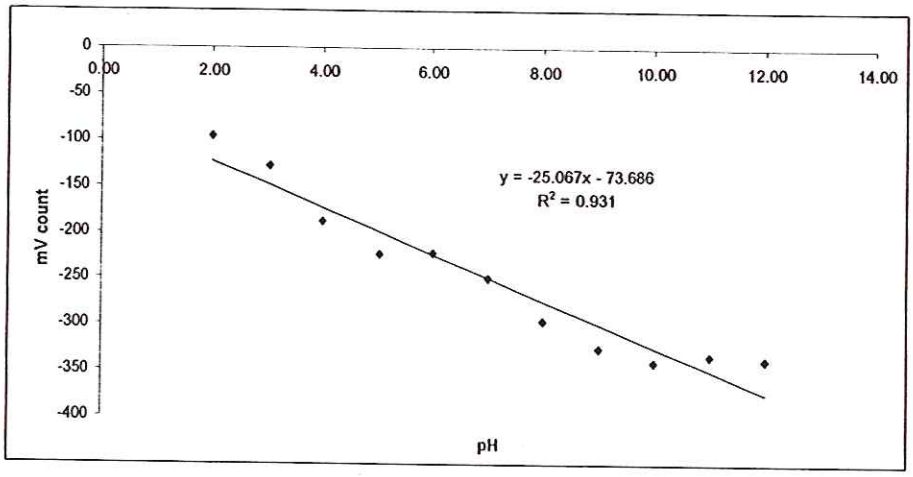


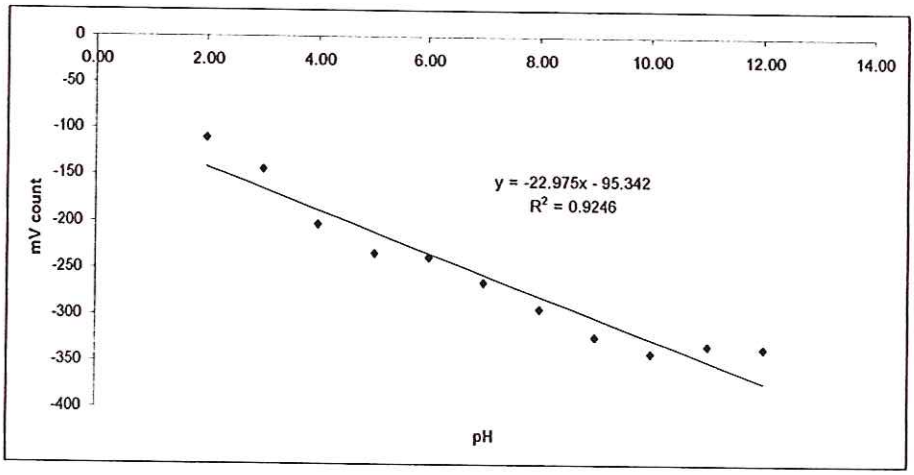


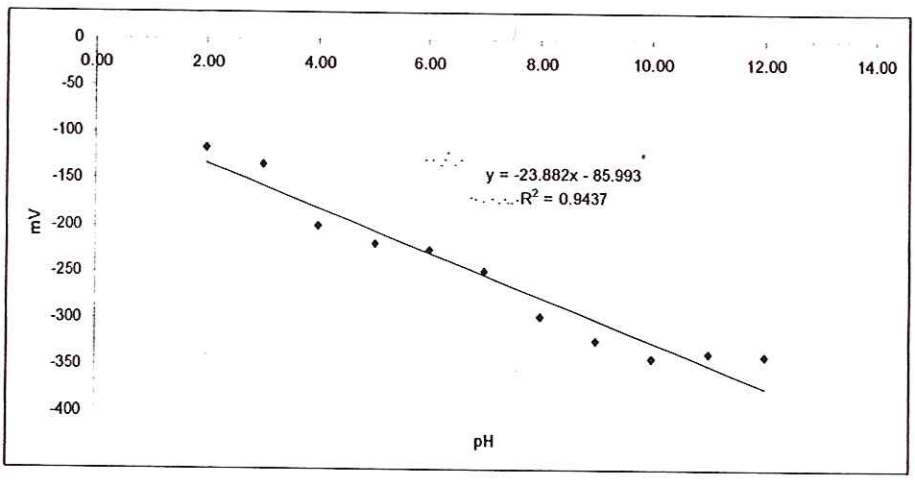
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ Silver/silver chloride-Carbon probe 3 ครั้ง

ตาราง 3.5 แสดงค่า mV count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ Silver/silver chloride-Copper probe

สารละลายที่ pH	mV count		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2
2.00	-96	-110	-117
3.00	-129	-144	-135
4.00	-189	-203	-201
5.03	-224	-234	-219
6.01	-222	-238	-226
7.00	-249	-265	-249
8.01	-296	-294	-297
9.00	-326	-323	-323
10.00	-341	-341	-342
11.00	-333	-332	-337
12.00	-337	-335	-340





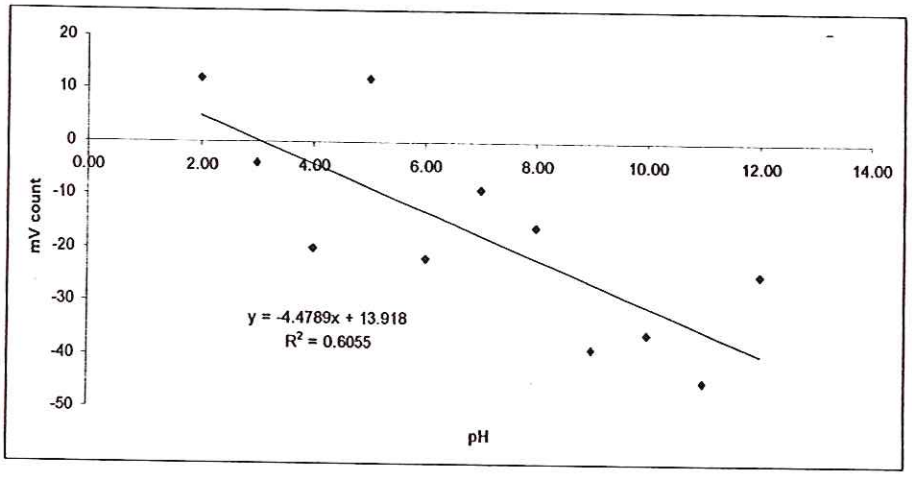


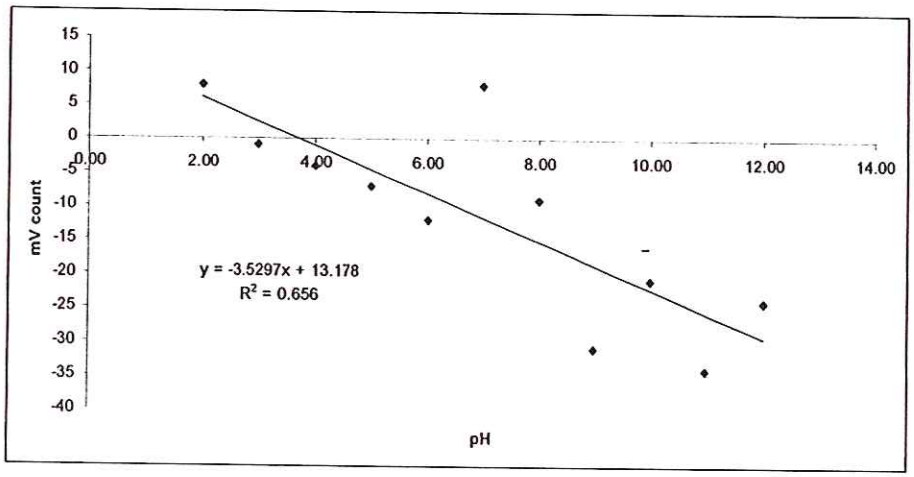
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ Silver/silver chloride- Copper probe 3 ครั้ง

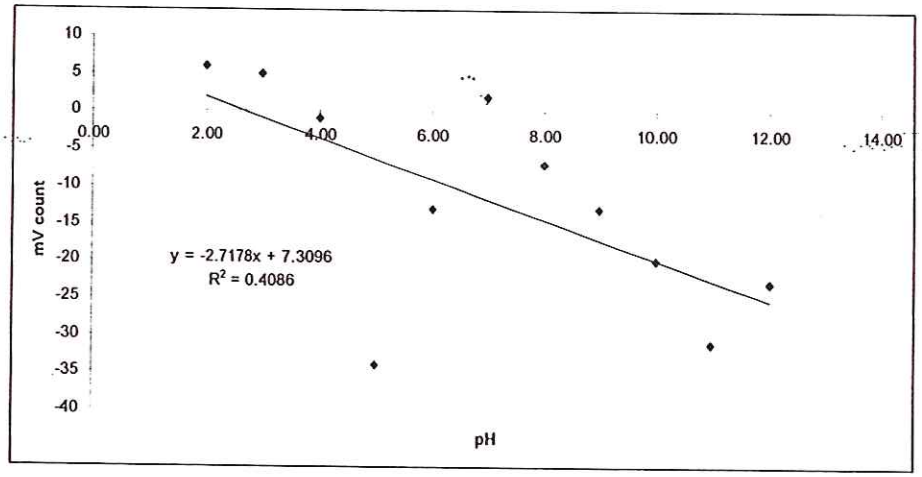
สำนักหอสมุด
13 JUL 2011
วQD
477
V45S
2551

ตาราง 3.6 แสดงค่า mV count ของสารละลายที่ pH ต่างๆ ซึ่งวัดโดยใช้ Silver-Aluminum probe

สารละลายที่ pH	mV count		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 2
2.00	12	8	6
3.00	-4	-1	5
4.00	-20	-4	-1
5.03	12	-7	-34
6.01	-22	-12	-13
7.00	-9	8	2
8.01	-16	-9	-7
9.00	-39	-31	-13
10.00	-36	-21	-20
11.00	-45	-34	-31
12.00	-25	-24	-23







รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ซึ่งวัดโดยใช้ Silver-Aluminum probe 3 ครั้ง

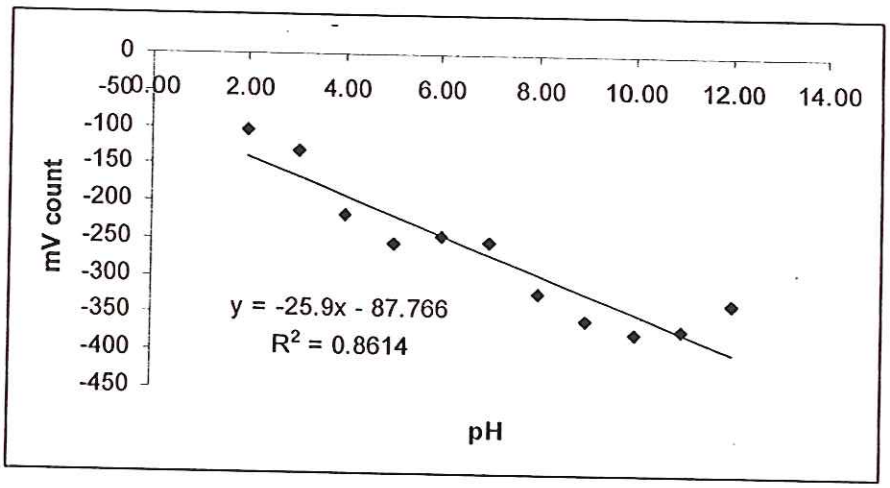
จากตารางที่ 3.1-3.6 และรูปที่ 3.1-3.6 พบว่า วัสดุคู่ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ใกล้เคียงกับ glass electrode คือ silver/silver chloride - copper probe ดังนั้นจึงได้เลือกวัสดุคู่นี้มาทำเป็น solid-state pH electrode สำหรับงานวิจัยต่อไป

3.2 การทดสอบความเสถียรของ solid-state pH electrode

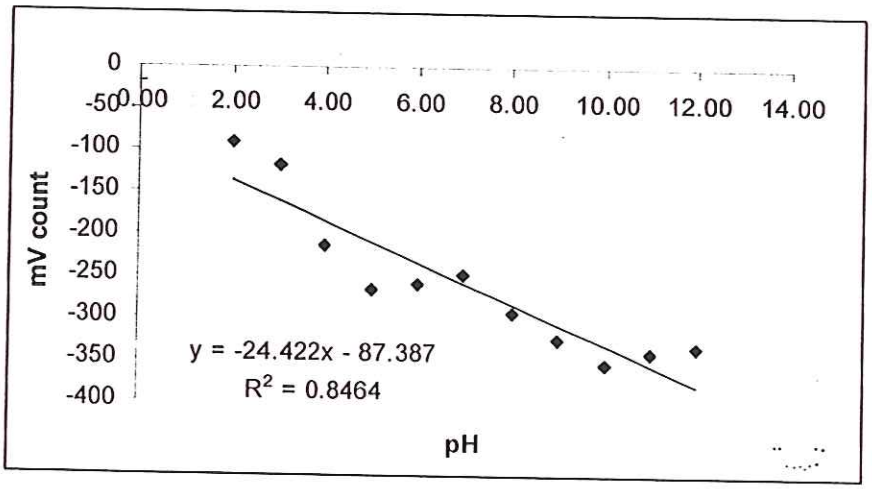
จากผลการทดลองพบว่าวัสดุที่มีค่า mV count ใกล้เคียงกับ glass electrode คือ silver/silver chloride - copper probe ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งค่า mV count และค่า pH มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงมากที่สุดและเพื่อทดสอบความเสถียรของ silver/silver chloride - copper probe จึงทำการทดลองแบบ Intra day คือ ทำการทดลองวัดค่า mV count ภายในหนึ่งวันแต่ทำในช่วงเวลาที่แตกต่างกันออกไป เช่น ทุกหนึ่ง หรือ สองชั่วโมง และ Inter day คือ ทำการทดลองวัดค่า mV count ในทุกหนึ่ง หรือสองวัน ซึ่งจะได้ตารางแสดงผลการทดลอง และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า mV count และค่า pH ดังต่อไปนี้

ตาราง 3.7 ค่า mV count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Silver/ Silver Chloride-Copper probe (Intra day)

Intra Day 05/04/51		
pH	mV count	
	13.00 น.	16.00 น.
2.00	-103	-91
3.00	-132	-118
4.00	-218	-213
5.03	-256	-265
6.01	-245	-260
7.00	-252	-248
8.01	-322	-293
9.00	-357	-326
10.00	-374	-355
11.00	-368	-341
12.00	-334	-333



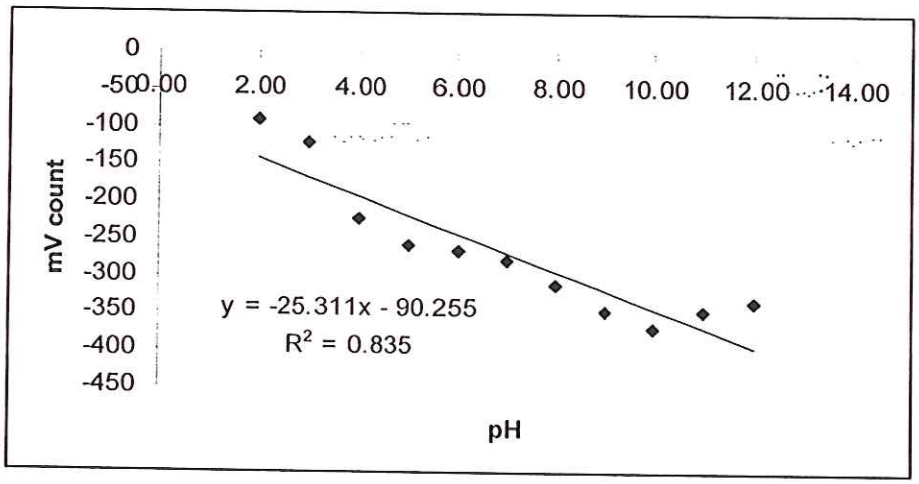
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe ที่เวลา 13.00 น.



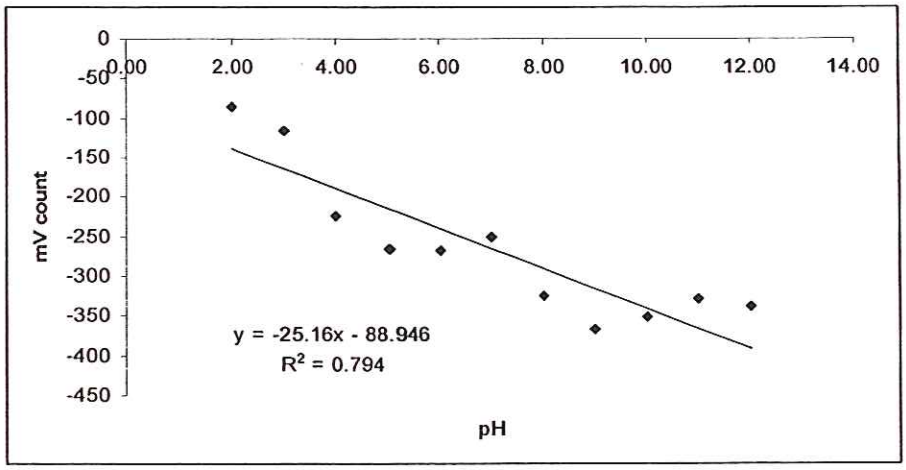
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe ที่เวลา 16.00 น.

ตาราง 3.8 ค่า mV count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Silver/ Silver Chloride-Copper probe (Inter day)

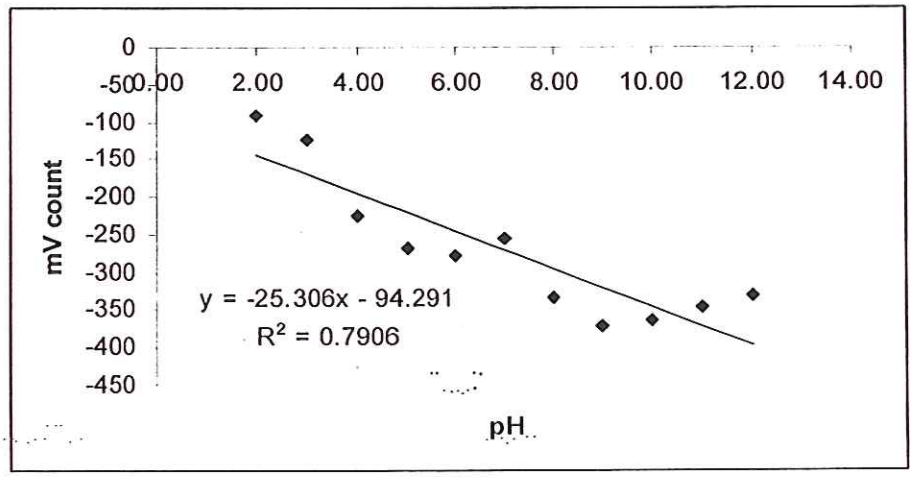
Inter Day			
pH	mV count		
	08/04/51	09/04/51	10/04/51
2.00	-90	-85	-90
3.00	-121	-115	-123
4.00	-222	-224	-224
5.03	-259	-265	-269
6.01	-265	-268	-279
7.00	-279	-250	-256
8.01	-312	-325	-333
9.00	-346	-366	-371
10.00	-369	-352	-364
11.00	-347	-329	-346
12.00	-333	-338	-332



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe ณ วันที่ 08/04/51



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe ณ วันที่ 09/04/51



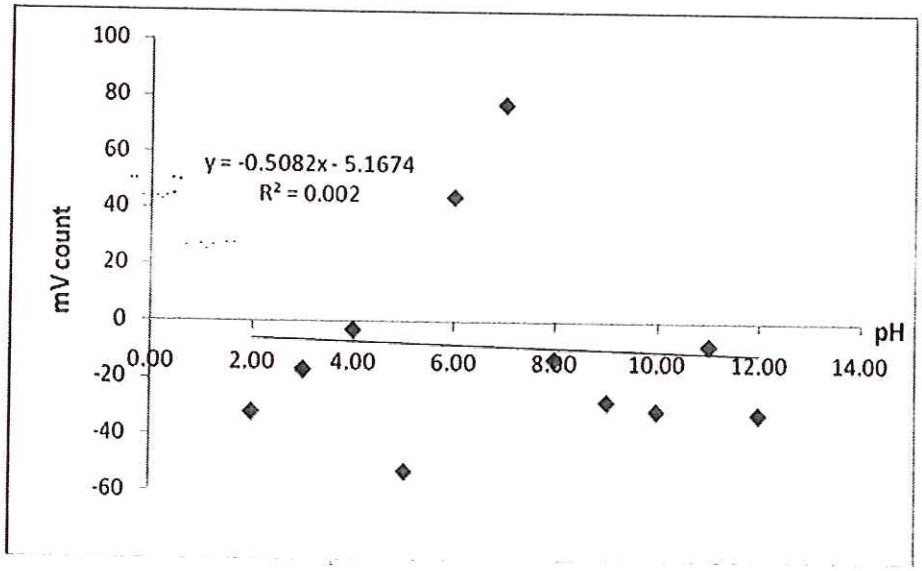
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Silver/Silver Chloride-Copper probe ณ วันที่ 10/04/51

3.3 การวัดค่า mV count (สลับขั้ว)

ได้ทำการทดลองสลับขั้วของโลหะระหว่างขั้วที่เคยใช้ทำเป็น ขั้วอ้างอิงและขั้วชี้บอก จากนั้นทำการวัดค่า mV count เพื่อเป็นการทดสอบความเหมาะสมของวัสดุแต่ละคู่ในการทำหน้าที่เป็น ขั้วอ้างอิง และขั้วชี้บอก ซึ่งจะได้ตารางแสดงผลการทดลอง และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า mV count และค่า pH ดังต่อไปนี้

ตาราง 3.9 ค่า mV count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Carbon-Platinum probe

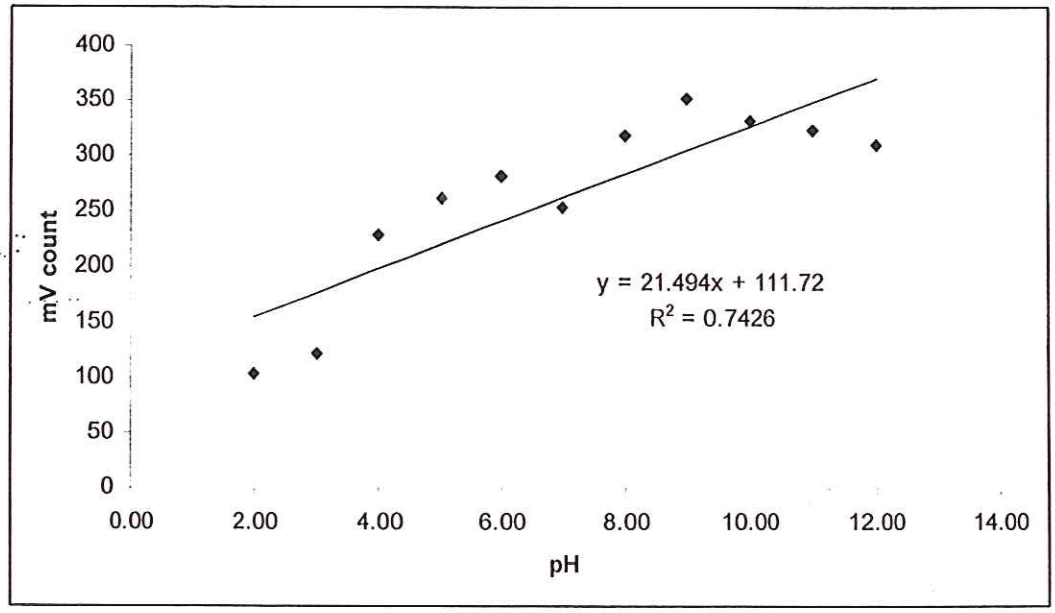
pH	mV count
2.00	-32
3.00	-17
4.00	-3
5.03	-53
6.01	44
7.00	77
8.01	-13
9.00	-28
10.00	-31
11.00	-8
12.00	-32



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Carbon-Platinum probe

ตาราง 3.10 ค่า mV count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Copper-Aluminum probe

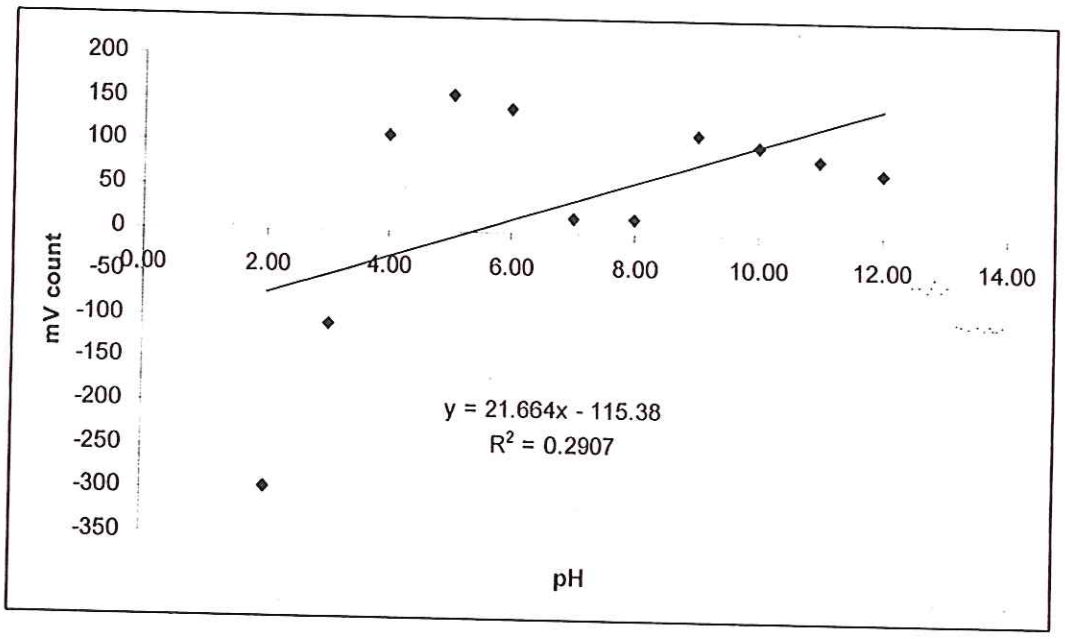
pH	mV count
2.00	104
3.00	121
4.00	229
5.03	261
6.01	282
7.00	254
8.01	319
9.00	351
10.00	331
11.00	323
12.00	310



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Copper-Aluminum probe

ตาราง 3.11 ค่า mV count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Carbon-Silver/ Silver Chloride probe

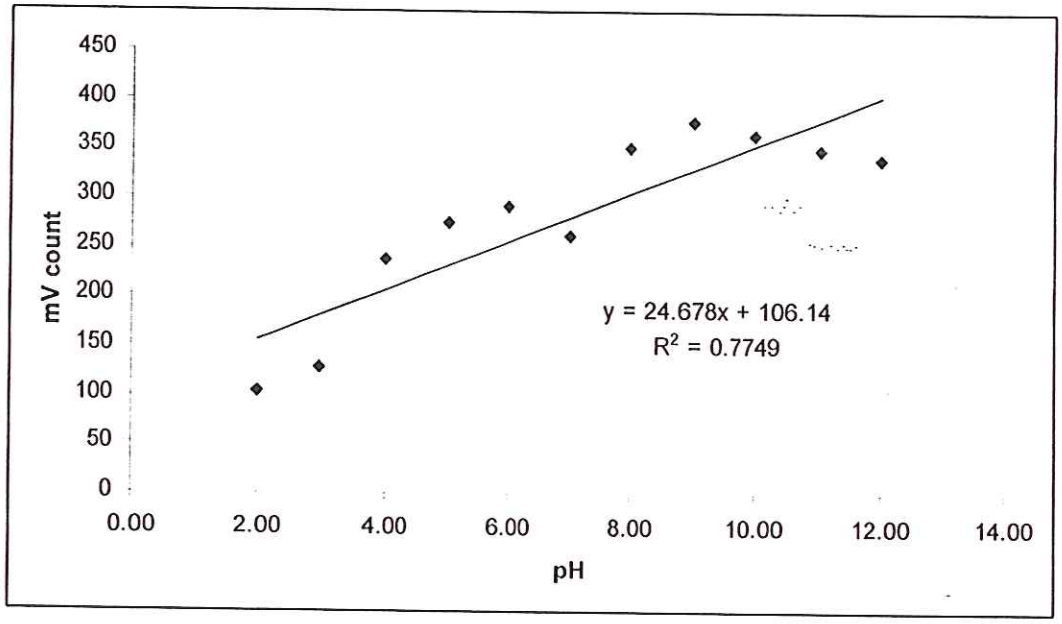
pH	mV count
2.00	-298
3.00	-108
4.00	109
5.03	156
6.01	140
7.00	17
8.01	15
9.00	114
10.00	100
11.00	85
12.00	70



รูปที่ 3.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Carbon-Silver/Silver Chloride probe

ตาราง 3.12 ค่า mV count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Copper-Silver/ Silver Chloride probe

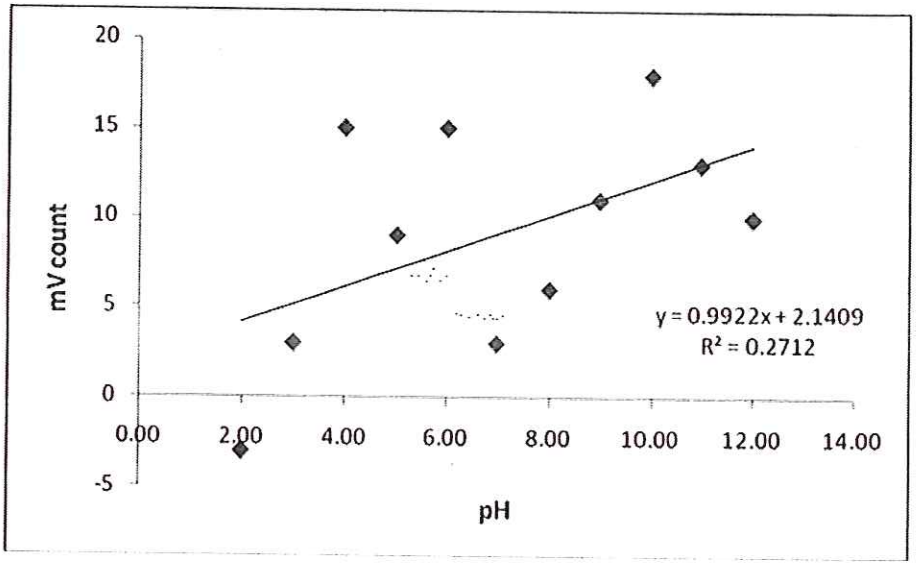
pH	mV count
2.00	103
3.00	127
4.00	237
5.03	273
6.01	291
7.00	261
8.01	350
9.00	376
10.00	363
11.00	349
12.00	339



รูปที่ 3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Copper-Silver/Silver Chloride probe

ตาราง 3.13 ค่า mV count ของสารละลาย pH ต่างๆ ที่วัดโดยใช้ Aluminum-Silver probe

pH	mV count
2.00	-3
3.00	3
4.00	15
5.03	9
6.01	15
7.00	3
8.01	6
9.00	11
10.00	18
11.00	13
12.00	10



รูปที่ 3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH-mV count ที่วัดโดยใช้ Aluminum-Silver probe

บทที่ 4
สรุปผลการทดลอง

การคัดกรองวัสดุที่มีความไวต่อโปรตอนก่อนนำมาทำเป็นอิเล็กโทรดขนาดจิ๋ว

จากการคัดกรองวัสดุบางชนิดที่มีความไวจำเพาะต่อโปรตอน ได้แก่ Aluminum, Copper, Platinum, Carbon, Silver และ Silver/Silver Chloride โดยวิธีการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแบบธรรมดา (basic potentiometry) ซึ่งวัดค่าความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าสองอันคือ ขั้วอ้างอิง และขั้วชี้บอก ในการตรวจจับ H^+ ที่มีอยู่ในสารละลายตัวอย่าง pH ต่างๆ แล้วส่งสัญญาณสู่เครื่อง pH meter แสดงเป็นค่า mV count พบว่า

จากผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ทำให้ทราบค่าความสัมพันธ์ของวัสดุต่างๆ ที่นำมาทำการคัดกรอง ซึ่งแสดงถึงความจำเพาะและความไวต่อโปรตอนของวัสดุ ผลการทดลองที่ได้ กราฟไม่เป็นเส้นตรง มีความสัมพันธ์ที่ไม่แปรผันตรงกับ ความเข้มข้นของ H^+ ยกเว้นวัสดุหนึ่งคู่ที่มีค่าความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงมากที่สุด คือคู่ของ silver/silver chloride - copper probe จึงได้มีการทดสอบความคงตัวของ silver/silver chloride - copper probe โดยการทดลองแบบ Intra day และ แบบ Inter day ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่วัดได้มีความแตกต่างจากครั้งแรก แต่ความสัมพันธ์ของค่า pH และค่า mV count ยังคงเป็นเส้นตรงที่มีค่า R^2 ค่อนข้างสูงอยู่ อาจเป็นผลเนื่องจาก chloride ที่จับอยู่บนลวด silver ลดลง สังเกตจากสีที่จางลงของ chloride เพราะว่าลวด Silver / Silver Chloride ถูกทิ้งเปลือยในอากาศ อาจต้องมีการนำลวด silver จุ่มในสารละลาย KCl ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้สารละลาย KCl เข้มข้น 3 mol/ l เพื่อรักษาปริมาณของ chloride ที่จับอยู่บนลวดก่อนทำการทดลอง หรือให้ทำการจุ่มทิ้งไว้ก่อนทำการทดลองครั้งต่อไป หรือจุ่มไว้ล่วงหน้า

แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองในการคัดกรองวัสดุที่นำมานี้ คู่ของ silver/silver chloride - copper probe เป็นคู่ที่มีค่าความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงมากที่สุดและมีแนวโน้มที่สามารถพัฒนาไปเป็นอิเล็กโทรดขนาดจิ๋ว ที่ทนต่อสภาพแวดล้อม และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

บรรณานุกรม

[1] www.spcgroup.co.th/pdf/ph_electrode.pdf สืบค้นเมื่อวันอังคารที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2551

[2] http://th.wikipedia.org สืบค้นเมื่อวันอังคารที่ 1 กรกฎาคม 2551

[3] เอกสารประกอบการสอนกระบวนวิชา AMS 510204 Electrochemistry and application สิทธิพล สายสวัสดิ์

[4] http://chimie.scola.ac-paris.fr/Sitedechimie/chi_exp/acid_base/exo/dosg_acid-bas_mel_3bases-rep.htm สืบค้นเมื่อวันเสาร์ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2551

[5] http://www.koslow.com/1004.html สืบค้นเมื่อวันเสาร์ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2551

[6] http://www.ktfsplit.hr/glossary/en_o.php?def=standard%20hydrogen%20electrode สืบค้นเมื่อวันเสาร์ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2551

[7] http://www.ktf-split.hr/glossary/en_s.php?def=glass+electrode สืบค้นเมื่อวันเสาร์ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2551

[8] ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. 2545. เคมีวิเคราะห์ 2. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

[9] http://pharm.kku.ac.th/thaiv/depart/chem/613252/web_pae/framep1.htm สืบค้นเมื่อวันเสาร์ที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2551