สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มเป็นน้ำจืด

CONVERSION SEAWATER TO FRESHWATER BY ELECTROLYSIS

โดย

นายทศพร อานามนารถ

นายสันติ พันธุ

นายสุวิทย์ ช่องวารินทร์

นายอังคาร เลิศหิรัญกิจ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ประภาษ ไพรสุวรรณา

อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...37015
วัน, เดือน, ปี 1 0 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มเป็นน้ำจืด

ผู้จัดทำ

1. นายทศพร อานามนารถ
2. นายสันติ พันธุ
3. นายสุวิทย์ ช่องวารินทร์
4. นายอังคาร เลิศหิรัญกิจ

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. ประภาษ ไพรสุวรรณา)

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มเป็นน้ำจืด

นายทศพร อานามนารถ
นายสันติ พันธุ
นายสุวิทย์ ช่องวารินทร์
นายอังคาร เลิศหิรัญกิจ
ผศ. ประภาษ ไพรสุวรรณา อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอเครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มให้เป็นน้ำจืด ซึ่งอาศัยหลักการอิเล็กโทรลิซิสของฟาราเดย์ โดยใช้อิเล็กโทรดแผ่นราบมาใช้ในการทำปฏิกิริยาทางไฟฟ้า วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำไฟฟ้ามาใช้ในการปรับเปลี่ยนน้ำเค็ม(น้ำทะเล)ให้กลายเป็นน้ำจืด โดยจะเป็นการทดลองเพื่อศึกษาวิธีการออกแบบแผ่นอิเล็กโทรด ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดค่าความเค็มของน้ำ โดยการจำลองขนาดเพลทต่างๆ และระยะห่างระหว่างเพลทที่ต่างกัน จากนั้นจะทำการทดลองหาความเป็นไปได้ในการที่จะนำวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกนำมาใช้เป็นเยื่อกั้น และทำการทดลองหาชนิดของโลหะที่ดีที่สุดที่จะนำมาใช้เป็นแผ่นเพลท ซึ่งจากการทดลองทั้งหมดจะได้รูปแบบและวิธีการที่สามารถลดค่าความเค็มของน้ำลงได้มากที่สุดคือวิธีอิเล็กโทรไดอะลิซิสที่มีการใช้เยื่อกั้น เลือกใช้อะลูมิเนียมและสแตนเลสเป็นแผ่นเพลทขั้วบวกและลบตามลำดับ แล้วนำรูปแบบและวิธีการนี้มาทำเป็นเครื่องจำลอง จากการทดสอบของเครื่องจำลองจะได้น้ำที่มีค่าความเค็มลดลง 18.6 เปอร์เซ็นต์ ค่าความนำไฟฟ้าลดลง 19.79 เปอร์เซ็นต์ น้ำที่ได้จากการทำปฏิกิริยามีสภาพเป็นด่างสูงโดยใช้พลังงานไฟฟ้า 3.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง อัตราการผลิตน้ำของเครื่องจำลองคือ 3.33 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำ 0.7 บาทต่อลิตร หลังการทดลองแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างเครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มให้เป็นน้ำจืดจำลองขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาเครื่องเปลี่ยนน้ำเก็มให้เป็นน้ำจืดด้วยระบบไฟฟ้าที่สามารถนำมาใช้งานได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conversion Seawater to Freshwater by Electrolysis

Thosaporn Arnamnart
Santi Phanthu
Suwit Chongvarin
Angkarn Lerdhirankit
Asst. Prof. Prapart Prisuwanna Advisor
Anuwat Jangwanitlert Advisor
1999

Abstract

This project presents "Conversion seawater to freshwater by electrolysis" with the electrical system based on Faraday's Law, using plate electrodes. The most important purpose is to convert seawater to freshwater. This involves designing plate electrodes which effects the efficiency of the reduction of salinity by simulate different side plate gap. After we find a membranes, kind of plate. Data from electrodialysis is good process. It can reduce salinity 18.6% and reduces conductivity 19.79% but water form process is alkaline. It is 3 hour for simulating that uses power 3.5 kW- hour. Its ability can produce 3.33 liter per hour and cost for production 0.7 Baths per liter. These data are simulated for developing a better conversion seawater to freshwater by electrolysis in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส	3
2.2 ปรากฏการณ์และกฎที่สำคัญในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส	4
2.3 กระบวนการอิเล็กโทรไดอะลิซิส	8
2.4 สภาพทั่วไปและลักษณะของน้ำทะเล	9
บทที่ 3 การทดลองและผลการทดลอง	12
3.1 การทดลองตอนที่ 1 เรื่องการหารูปแบบของเพลทที่เหมาะสม	12
3.2 การทดลองตอนที่ 2 เรื่องการทดลองทำอิเล็กโทรไดอะลิซิส โดยใช้วัสดุทดแทนเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน	39
3.3 การทดลองตอนที่ 3 เรื่องการหาชนิดของเพลทที่เหมาะสม	64
3.4 การทดลองตอนที่ 4 เรื่องการทดลองทำอิเล็กโทรลิซิส และอิเล็กโทรไดอะลิซิสในรูปแบบอื่นๆ	94
บทที่ 4 การออกแบบเครื่อง	
4.1 หลักการออกแบบ	108
4.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของตัวเครื่อง	108
4.3 การทำงานของเครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มเป็นน้ำจืดจำลอง	109
4.4 วงจรและการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	110
4.5 การคิดค่าใช้จ่าย	111
บทที่ 5 บทสรุปและแนวทางในการพัฒนา	113
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 2.1 ทำการงานของเซลล์อิเล็กโทรลิซิส	3
รูป 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและศักย์ไฟฟ้าในเซลล์อิเล็กโทรลิซิส	6
รูป 2.3 เซลล์อิเล็กโทรไดอะลิซิส	9
รูป 3.1วิธีการทำอิเล็กโทรลิซิสในการทดลองตอนที่ 1	13
รูป 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 1	15
รูป 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 1	15
รูป 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 1	16
รูป 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 2	18
รูป 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 2	18
รูป 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 2	19
รูป 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 3	21
รูป 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 3	21
รูป 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 3	22
รูป 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 4	24
รูป 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 4	24
รูป 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 4	25
รูป 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 5	27
รูป 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 5	27
รูป 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 5	28
รูป 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 6.1	30
รูป 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 6.1	30
รูป 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 6.1	31
รูป 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 6.2	33
รูป 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 6.2	33
รูป 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 6.2	34
รูป 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 7	36
รูป 3.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 7	36
รูป 3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 7	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูป 3.26 การทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสในการทดลองตอนที่ 2 40
รูป 3.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 8 42
รูป 3.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 8 42
รูป 3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 8 43
รูป 3.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 9 45
รูป 3.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 9 45
รูป 3.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 9 46
รูป 3.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 10 48
รูป 3.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 10 48
รูป 3.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 10 49
รูป 3.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 11 51
รูป 3.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 11 51
รูป 3.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 11 52
รูป 3.39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 12 54
รูป 3.40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 12 54
รูป 3.41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 12 55
รูป 3.42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 13 57
รูป 3.43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 13 57
รูป 3.44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 13 58
รูป 3.45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 14 60
รูป 3.46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 14 60
รูป 3.47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 14 61
รูป 3.48 การเปรียบเทียบการลดค่าความเค็มของน้ำของเยื่อชนิดต่างๆ 63
รูป 3.49 การเปรียบเทียบการลดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำของเยื่อชนิดต่างๆ 63
รูป 3.50 วิธีการทำอิเล็กโทรลิซิสในการทดลองตอนที่ 3 64
รูป 3.51 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 15 66
รูป 3.52 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 15 66
รูป 3.53 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 15 67
รูป 3.54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 16 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูป 3.55 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 16 69
รูป 3.56 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 16 70
รูป 3.57 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 17 72
รูป 3.58 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 17 72
รูป 3.59 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 17 73
รูป 3.60 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 18 75
รูป 3.61 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 18 75
รูป 3.62 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 18 76
รูป 3.63 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 19 78
รูป 3.64 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 19 78
รูป 3.65 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 19 79
รูป 3.66 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 20 81
รูป 3.67 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 20 81
รูป 3.68 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 20 82
รูป 3.69 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 21 84
รูป 3.70 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 21 84
รูป 3.71 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 21 85
รูป 3.72 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 22 87
รูป 3.73 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 22 87
รูป 3.74 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 22 88
รูป 3.75 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 23 90
รูป 3.76 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 23 90
รูป 3.77 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 23 91
รูป 3.78 การเปรียบเทียบการลดค่าความเค็มของน้ำของโลหะชนิดต่างๆ 93
รูป 3.79 การเปรียบเทียบการลดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำของโลหะชนิดต่างๆ 93
รูป 3.80 วิธีการทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยให้น้ำหมุนเวียน 95
รูป 3.81 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 24 96
รูป 3.82 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 24 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูป 3.83 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 24 97
รูป 3.84 วิธีการทำอิเล็กโทรลิซิสโดยการกรองเอาตะกอนออกตลอดเวลา 98
รูป 3.85 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 25 99
รูป 3.86 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 25 99
รูป 3.87 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 25 100
รูป 3.88 วิธีการทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยใช้สะพานไอออน 101
รูป 3.89 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 26 102
รูป 3.90 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 26 103
รูป 3.91 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 26 103
รูป 3.92 การเปรียบเทียบการลดค่าความเค็มของน้ำของวิธีต่างๆ 107
รูป 3.93 การเปรียบเทียบการลดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำของวิธีต่างๆ 107
รูป 4.1 แผนผังการทำงานของเครื่องจำลอง 109
รูป 4.2 วงจรสร้างสัญญาณขับขาเกตของเอสซีอาร์ 110
รูป 4.3 วงจร Full Wave Half Controlled Rectifier ที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 110
รูป 4.4 เครื่องจำลองด้านข้างและด้านหน้า 112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความแม่นยำของค่าความเค็มที่คำนวณจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ 3 อย่าง 10

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองที่ 1 14

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองที่ 2 17

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองที่ 3 20

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองที่ 4 23

ตารางที่ 3.5 ผลการทดลองที่ 5 26

ตารางที่ 3.6 ผลการทดลองที่ 6.1 29

ตารางที่ 3.7 ผลการทดลองที่ 6.2 32

ตารางที่ 3.8 ผลการทดลองที่ 7 35

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองที่ 8 41

ตารางที่ 3.10 ผลการทดลองที่ 9 44

ตารางที่ 3.11 ผลการทดลองที่ 10 47

ตารางที่ 3.12 ผลการทดลองที่ 11 50

ตารางที่ 3.13 ผลการทดลองที่ 12 53

ตารางที่ 3.14 ผลการทดลองที่ 13 56

ตารางที่ 3.15 ผลการทดลองที่ 14 59

ตารางที่ 3.16 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเยื่อกั้นชนิดต่างๆ 60

ตารางที่ 3.17 ผลการทดลองที่ 15 65

ตารางที่ 3.18 ผลการทดลองที่ 16 68

ตารางที่ 3.19 ผลการทดลองที่ 17 71

ตารางที่ 3.20 ผลการทดลองที่ 18 74

ตารางที่ 3.21 ผลการทดลองที่ 19 77

ตารางที่ 3.22 ผลการทดลองที่ 20 80

ตารางที่ 3.23 ผลการทดลองที่ 21 83

ตารางที่ 3.24 ผลการทดลองที่ 22 86

ตารางที่ 3.25 ผลการทดลองที่ 23 89

ตารางที่ 3.26 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโลหะชนิดต่างๆที่นำมาใช้เป็นแผ่นเพลท 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ 3.27 ผลการทดลองที่ 24 95
ตารางที่ 3.28 ผลการทดลองที่ 25 98
ตารางที่ 3.29 ผลการทดลองที่ 25 102
ตารางที่ 3.30 ผลการทดลองที่ 27 105
ตารางที่ 3.31 การเปรียบประสิทธิภาพของวิธีการต่างๆ 106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

1.1 บทนำ

ในชีวิตประจำวันน้ำนับเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงค์ชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากในปัจจุบันกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำทะเลที่นิยมใช้กันมากเป็นแบบกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis) ซึ่งมีต้นทุนในการดำเนินงานสูงและอุปกรณ์ส่วนมากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นจึงก่อให้เกิดการคิดหาแนวทางความเป็นไปได้ในการนำไฟฟ้ามาบำบัดน้ำทะเลให้กลายเป็นน้ำจืดโดยวิธีการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) ของฟาราเดย์ คือการใช้อิเล็คโตรดแผ่นราบ (Plate Electrode) ซึ่งอาศัยการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับแผ่นอิเล็คโตรดเพื่อให้เกิดการดึงประจุต่างๆมาเกาะที่แผ่นอิเล็กโทรดหรือการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนโดยผ่านปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี และวิธิการทำอิเล็กโทรไดอะลิซิส (Electrodialysis) คือการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแยกไอออนออกจากน้ำทะเลโดยให้ไอออนเคลื่อนที่ผ่านแผ่นเยื่อบางๆไปยังขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้าม ทำให้สารละลายที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้ามีความเข้มข้นของไอออนลดลง โดยจะหาแนวทางความเป็นไปได้ในการนำวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกมาใช้แทนเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Permeable Membrane) ซึ่งมีราคาสูงมาก

สำหรับการทดลองจะแบ่งเป็น 4 ตอนคือ ตอนที่ 1 จะเป็นการทดลองเพื่อออกแบบแผ่นอิเล็กโทรดคือระยะห่างระหว่างเพลท ขนาดพื้นที่ผิวของเพลท และผลของการเพิ่มแรงดันและกระแส เพื่อผลของค่าความเค็มของน้ำทะเลที่จะลดลงได้มากที่สุด ตอนที่ 2 จะเป็นการทดลองนำวัสดุต่างๆที่จะนำมาใช้แทนเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนมาทดลองทำการอิเล็กโทรไดอะลิซิสน้ำทะเลเพื่อดูผลของค่าความเค็มของน้ำทะเลที่จะลดลงได้มากที่สุด ตอนที่ 3 จะเป็นการทดลองนำโลหะแผ่นชนิดต่างๆที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกมาทำการอิเล็กโทรไดอะลิซิสน้ำทะเลเพื่อที่จะหาโลหะที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้เป็นแผ่นเพลทขั้วบวกและแผ่นเพลทขั้วลบ และตอนที่ 4 จะเป็นการทดลองทำการอิเล็กโทรลิซิสน้ำทะเลโดยการทำน้ำวนเพื่อกรองเอาตะกอนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีออกจากน้ำตลอดเวลา เพื่อที่จะเปรียบเทียบกับการทำอิเล็กโทรลิซิสในสภาวะที่น้ำอยู่นิ่ง และการทดลองทำการอิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยนำวัสดุมาเชื่อมเป็นสะพานไอออนระหว่างน้ำทะเลแต่ละส่วนเพื่อดูผลของค่าความเค็ม การทดลองทำอิเล็กโทรลิซิสซ้ำหลายๆครั้ง และการทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยการให้น้ำเกิดการหมุนเวียน จากการทดลองทั้ง 4 ตอนก็จะนำมาวิเคราะห์และสรุปหารูปแบบหรือวิธีการที่ดีที่สุด จากนั้นก็จะทำการออกแบบเครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มเป็นน้ำจืด จากนั้นนำน้ำทะเลที่ผ่านการทำปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีแล้วมาตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพเพื่อดูผลของค่าความเค็มของน้ำทะเลที่ลดลงกับการคิดค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นในคราวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการแยกอนุภาคหรือสิ่งเจือปน (เกลือ) ออกจากน้ำ โดยการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการแยกอนุภาคในน้ำด้วยไฟฟ้า
2. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและทดลองมาทำการออกแบบสร้างเครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มให้เป็นน้ำจืดด้วยไฟฟ้า
3. ปรับปรุงและพัฒนาเครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มให้เป็นน้ำจืดให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1. กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis)

กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส หมายถึงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายข้างนอก

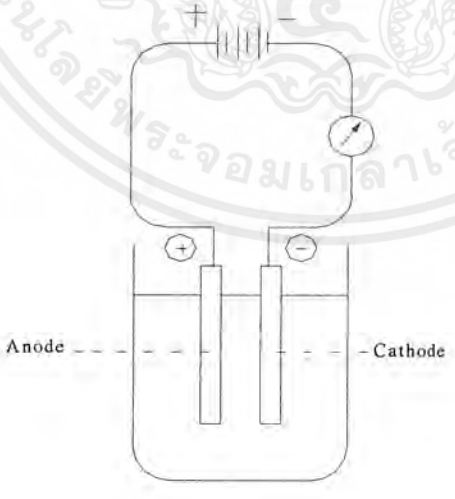
ส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสคือแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าอิเล็กโทรดสองขั้วและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเมื่อประกอบเข้าด้วยกันแล้วเรียกว่า "เซลล์อิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis Cell)" สำหรับอิเลคโทรดทั้งสองนี้

อิเล็กโทรดที่มีปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเกิดขึ้น เรียกว่า "แอโนด"

$M \rightarrow M^{m+} + me^-$ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (การสูญเสียอิเล็กตรอน)

อิเล็กโทรดที่มีปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้น เรียกว่า "แคโทด"

$X + ne^- \rightarrow X^{n-}$ ปฏิกิริยารีดักชัน (การรับอิเล็กตรอน)



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเซลล์อิเล็กโทรลิซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณากระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลายของกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีความเข้มข้นพอประมาณในน้ำ กรดไฮโดรคลอริกจะแตกตัวออกเป็น H^+ และ Cl^- ไอออน เมื่อจัดเข้าเป็นเซลล์อิเล็กโทรลิซิส และใช้แกรไฟต์เป็นอิเล็กโทรดจะเห็นได้ตามรูปที่ 1

จากรูปที่1ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งมีเส้นลวดต่อโยงไปยังอิเล็กโทรดที่ทำด้วยแกรไฟต์ในบางวงจรมีสวิทช์และเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น กัลวาโนมิเตอร์ เมื่อสับสวิทช์ (วงจรปิด) จะสังเกตเห็นว่ามีการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าเพราะเข็มของกัลวาโนมิเตอร์เคลื่อนที่ไปจากเดิมในขณะเดียวกันที่อิเลคโตรดที่ต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่จะมีฟองก๊าซไฮโดรเจนขึ้นรอบๆและผุดขึ้นมาจากสารละลาย ส่วนอิเลคโทรดที่ต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่จะมีฟองก๊าซคลอรีนเกิดขึ้นรอบๆ เช่นกัน การเกิดก๊าซขึ้นที่อิเลคโทรดทั้งสองนี้แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นแล้ว

กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากได้พลังงานจากแบตเตอรี่ เมื่อเปิดวงจรอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ออกจากขั้วลบของแบตเตอรี่ไปตามเส้นลวดจนถึงอิเล็กโทรด ซึ่งทำหน้าที่เป็น “แคโทด” ไอออนบวก H^+ จะเคลื่อนที่มารับอิเล็กตรอนที่อิเล็กโทรดนี้ และถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซ H_2

$$2H^+_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow H_{2(g)} \quad \ldots (1)$$

ส่วนอิเล็กโทรดทางด้านซ้ายมือซึ่งต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ทำหน้าที่เป็นแอโนด ไอออนลบ Cl^- จะให้อิเล็กตรอนที่อิเล็กโทรดนี้

$$2Cl^-_{(aq)} \longrightarrow Cl_{2(g)} + 2e^- \quad \ldots (2)$$

อิเล็กตรอนที่อิเล็กโทรดทางด้านซ้ายมือรับไว้นี้ จะเคลื่อนที่ไปสู่ขั้วของแบตเตอรี่ทำให้ครบวงจร ปฏิกิริยาของเซลล์จึงได้จากผลบวกของสมการ (1) และ (2) ดังนี้

$$2H^+_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)} \longrightarrow H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \quad \ldots (3)$$

จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดที่เป็นขั้วลบจึงเป็นปฏิกิริยาที่ “แคโทด” และปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นที่อิเลคโตรดที่เป็นขั้วบวกจึงเป็นปฏิกิริยาที่ “แอโนด”

2.2. ปรากฏการณ์และกฎที่สำคัญในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส

2.2.1 ศักย์ไฟฟ้าแตกตัวและศักย์ไฟฟ้าเกินตัว

พิจารณาเซลล์อิเล็กโทรลิซิสของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์และใช้พลาตินัมเป็นอิเล็กโทรด เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์จำนวนหนึ่ง จะได้รับก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคลอรีนที่อิเล็กโทรดตามปฏิกิริยา

ที่แอโนด $2Cl^-_{(aq)} \longrightarrow Cl_{2(g)} + 2e^- \quad E^\circ = -1.36\ V \quad \ldots (4)$

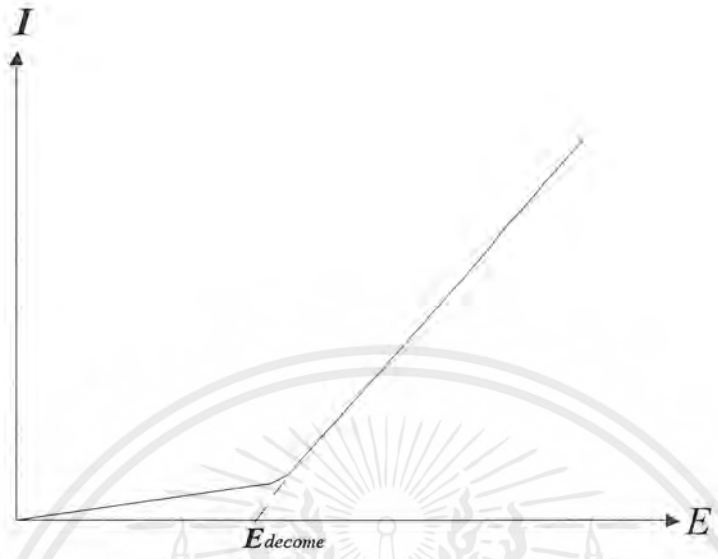
ที่แคโทด $2H^+_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow H_{2(g)} \quad E^\circ = 0.00\ V \quad \ldots (5)$

$$2H^+_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)} \longrightarrow H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \quad E^\circ = -1.36\ V \quad \ldots (6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักย์ไฟฟ้ามีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่าปฏิกิริยาดังที่เขียนเกิดขึ้นเองไม่ได้ เพราะฉะนั้นในกรณีนี้ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นต่อเมื่อได้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ จึงค่อยๆเพิ่มศักย์ไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายจากศูนย์ไปเรื่อยๆในระยะแรกกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายจะค่อยๆเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่น้อย จนกระทั่งมีศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 1.36 V หรือมากกว่าถึง 1.6 V จึงจะเห็นฟองก๊าซเกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดทั้งสอง และจากนี้ไปกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วยความรวดเร็ว เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้นและเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน ทำให้ลักษณะการเพิ่มขึ้นของทั้งสองอย่างเป็นแบบเส้นตรง ถ้าลากเส้นตรงตามแนวที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมาตัดกับแกนของศักย์ไฟฟ้าที่ I = 0 จะได้ศักย์ไฟฟ้าแตกตัว (Decomposition Potential) ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่ทำให้อิเล็กโทรลิซิสเกิดขึ้นได้ ศักย์ไฟฟ้าแตกตัวเป็นค่าที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับลักษณะของอิเล็กโทรดและสภาวะอื่นๆด้วย ค่าที่ได้ควรเป็นค่าเดียวกับศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับ (Reversible Potential) ซึ่งเป็นศักย์ตอนที่ไอออนและอิเล็กโทรดในสารละลายอยู่ในสภาวะสมดุล เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าศักย์ไฟฟ้าแตกตัวจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับ ศักย์ไฟฟ้าที่เกินศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับเรียกว่า "ศักย์ไฟฟ้าเกินตัว (Over Potential หรือ Over Voltage)" ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวเป็นปรากฏการณ์ที่ค่อนข้างซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ที่สำคัญคือการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นช้าเพราะมีพลังงานกระตุ้นสูง และเป็น Activation Overvoltage อีกปัจจัยหนึ่งคือสารละลายบางอย่างมีความต้านทานมากและไม่เท่ากันในบริเวณต่างๆ ซึ่งเป็น Resistance Overvoltage ปัจจัยสุดท้ายคือความเข้มข้นรอบๆ อิเล็กโทรดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้การนำไฟฟ้าลดลงได้ ซึ่งเป็น Concentration Overvoltage เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าที่ควรจึงจะทำให้เกิดอิเล็กโทรลิซิสขึ้นได้ ปรากฏการณ์เกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้าเกินตัวยังเป็นที่เข้าใจกันน้อย ซึ่งค่าที่ได้ไม่มีความแน่นอนและแตกต่างจากค่าศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรด เพราะฉะนั้นการใช้ศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดในการทำนายการเกิดอิเล็กโทรลิซิสจึงไม่ถูกต้องเสมอไป โดยเฉพาะกรณีที่ปฏิกิริยาให้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซออกซิเจนหรือไฮโดรเจน ในตอนต่อไปจะเห็นว่าเนื่องจากออกซิเจนมีศักย์ไฟฟ้าเกินตัวในสารละลายของเกลือในน้ำที่มีความเข้มข้นสูง ปฏิกิริยาที่แอโนดแทนที่จะให้ก๊าซออกซิเจนกลับได้ก๊าซคลอรีน ทั้งๆที่คลอรีนศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและศักย์ไฟฟ้าในเซลล์อิเล็กโทรลิซิส

2.2.2 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรลิซิส (Faraday's Laws of Electrolysis)

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) เป็นคนแรกที่ได้ค้นพบความสัมพันธ์แบบปริมาณวิเคราะห์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรด ในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส ความมากน้อยของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับจำนวนอิเล็กตรอนที่มีการถ่ายเทในปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน เป็นต้นว่าการรีดิวซ์ไอออนของเงินและทองแดงให้เป็นโลหะตามปฏิกิริยา

$$Ag^{+} + e^{-} \rightarrow Ag_{(s)} \qquad \ldots (7)$$

$$Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(s)} \qquad \ldots (8)$$

จะเห็นว่าปฏิกิริยาในสมการที่ (7) เงิน 1 โมลไอออนรับอิเล็กตรอน 1 โมลได้โลหะเงิน 1 โมลหนัก 1047.87 กรัม ซึ่งจะไปเคลื่อนอิเล็กโทรดที่เป็นแคโทด ส่วนปฏิกิริยาในสมการที่ (8) ไอออนของทองแดง 1 โมลทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอน 2 โมล เนื่องจากจำนวนอิเล็กตรอนมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไฟฟ้า เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าในการรีดิวซ์ไอออนของทองแดงเพื่อให้ได้โลหะ 1 โมล จะต้องใช้ปริมาณไฟฟ้าถึงสองเท่าของปริมาณไฟฟ้าที่ใช้กับเงิน

ปริมาณไฟฟ้าที่จะต้องผ่านเข้าไปในเซลล์อิเล็กโทรลิซิส เพื่อให้อิเล็กตรอน 1 โมล ทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการออกซิเดชัน เรียกว่า 1 ฟาราเดย์ (faraday) เพราะฉะนั้นกรณีข้างบนจะเห็นว่าต้องใช้ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์เพื่อทำให้ไอออนของโลหะเป็นโลหะเงินหลัก 107.87 กรัมและใช้ปริมาณไฟฟ้าถึง 2 ฟาราเดย์เพื่อให้ได้ทองแดงหนัก 63.54 กรัม

ปริมาณไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (Coulomb) หาได้จากความสัมพันธ์

$$\mathbf{Q = I * t} \qquad \ldots (9)$$

เมื่อ Q เป็นปริมาณไฟฟ้าในหน่วยคูลอมบ์ (C) , I เป็นกระแสไฟฟ้าในหน่วยแอมแปร์ (A) และ t เป็นเวลาในหน่วยวินาที (s) เพราะฉะนั้น

$$\mathbf{1\ C = 1\ As} \qquad \ldots (10)$$

ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ (F) เป็นผลคูณของประจุไฟฟ้ากับจำนวนอิเล็กตรอน 1 โมล เนื่องจากประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ $1.6021 * 10^{-19}$ C เพราะฉะนั้น

$$F = eN_A = (1.6021 * 10^{-19} C) (6.02252 * 10^{23} mol^{-1})$$

$$= 96{,}487\ Cmol^{-1}$$

หรือ 1 ฟาราเดย์ = 96,487 C

N_A คือ เลขอาโวกาโดร (Avogadro number)

น้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดโดยการผ่านปริมาณไฟฟ้า 96,487 C เข้าไปในเซลล์อิเล็กโทรลิซิส เป็นน้ำหนักสมมูลของสารนั้น ซึ่งเป็นน้ำหนักที่เกิดขึ้นจากไอออนของโลหะรับอิเล็กตรอน 1 โมล เพราะฉะนั้นจึงพอสรุปได้ว่า "ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์จะทำให้ผลิตผลที่ได้จากออกซิเดชันหรือรีดักชันในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสหนักเท่ากับหนึ่งกรัมสมมูลย์เสมอ" ในกรณีที่เซลล์อิเล็กโทรลิซิสมีไอออนของเงินและทองแดง ถ้าหากผ่านปริมาณไฟฟ้าเข้าไป 1 ฟาราเดย์แล้ว เงินและทองแดงที่ได้จากรีดักชันที่แคโทดจะมีน้ำหนักเป็น 107.87 กรัมและ 63.54/2 = 31.77 กรัม ซึ่งเป็นน้ำหนักกรัมสมมูลของเงินและทองแดงตามลำดับ

จากที่ได้ กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าปริมาณของผลิตผลที่เกิดขึ้นจากออกซิเดชันและรีดักชันมีความสัมพันธ์กับปริมาณไฟฟ้าหรือจำนวนฟาราเดย์ ความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจสรุปเป็นกฎได้เรียกว่า "กฎของอิเล็กโทรลิซิสของฟาราเดย์ (Faraday's Laws of Electrolysis) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. มวลของสารที่เกิดขึ้นที่แอโนดหรือแคโทดในขณะที่เกิดอิเล็กโทรลิซิสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์

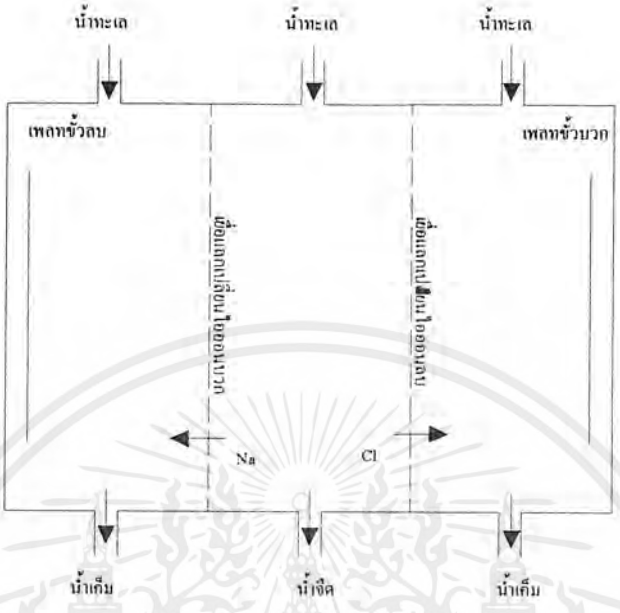
2. มวลของสารต่างๆกันที่เกิดขึ้นในระหว่างาการอิเล็กโทรลิซิสที่ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากันจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักสมมูลของสารนั้นๆ

ในทางปฏิบัติเนื่องจากกระแสไฟฟ้าในวงจรไม่คงที่ทำให้ค่าปริมาณไฟฟ้านั้นไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง การวัดปริมาณไฟฟ้าจึงนิยมใช้เครื่องคูลอมมิเตอร์ (coulometer) ชนิดที่มีอิเล็กโทรดทำด้วยโลหะเงินและและใช้สารละลายที่มีไอออนของเงิน เมื่อต่อคูลอมมิเตอร์แบบอนุกรมเข้ากับเซลล์อิเล็กโทรลิซิสแล้วอาศัยน้ำหนักของเงินที่เพิ่มขึ้นที่แคโทด ก็จะสามารถที่จะคำนวณหาปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอิเล็กโทรลิซิสได้ ทั้งนี้เพราะว่าปริมาณไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์ (96,487 C) สามารถทำให้เงินแยกตัวออกได้หนัก 107.87 กรัม

2.3 กระบวนการอิเล็กโทรไดอะลิซิส

อิเล็กโทรไดอะลิซิสเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้แยกไอออนออกมาสารละลายโดยให้ไอออนเคลื่อนผ่านแผ่นเยื่อบางๆ ไปยังขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงข้ามทำให้สารละลายที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้ามีความเข้มข้นของไอออนลดลง หลักการนี้สามารถนำไปใช้แยกโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนออกจากน้ำทะเล โดยแผ่นเยื่อบางๆมีชื่อเรียกว่าเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Permeable Membrane) ซึ่งตัวเยื่อนี้จะเป็นปัจจัยสำคัญในการเป็นตัวกลางสำหรับแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งก็คือให้เฉพาะไอออนผ่านได้เท่านั้นโดยที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ โดยเยื่อนี้จะแบ่งเป็น 3 ชนิดคือ แบบยอมให้เฉพาะไอออนลบผ่านได้ (Cation Membrane) แบบยอมให้เฉพาะไอออนบวกผ่านได้ (Anion Membrane) และแบบยอมให้ผ่านได้ทั้งไอออนลบและไอออนบวก (Bipolar Membrane) โดยเยื่อทุกชนิดจะมีคุณสมบัติคือมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ดี โดยจะทำจากวัสดุหลายอย่างมาประกอบกัน เช่น สไตรีน, ดิวินิลเบนซีนโคพอรีเมอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 เซลล์อิเล็กโทรไดอะลิซิส

2.4 สภาพทั่วไปและลักษณะของน้ำทะเล

น้ำทะเลที่มีความเค็ม เป็นน้ำบริสุทธิ์อยู่ 96.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีก 3.5 เปอร์เซ็นต์นั้นมีองค์ประกอบต่างๆคือ สารประกอบอนินทรีย์ ซึ่งได้แก่ เกลือแร่ และธาตุอาหารอื่นๆส่วนใหญ่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตได้แก่ คาร์โบไฮเดรต กรด อะมิโน โปรตีน ไขมัน น้ำมัน รวมทั้งสารประกอบอื่นๆ และก๊าซที่ละลายน้ำ ได้แก่ ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ สภาพแวดล้อมที่เป็นปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีในระบบนิเวศทะเล ได้แก่ ความเค็ม อุณหภูมิ ก๊าซที่ละลายในน้ำ ความกดดัน คลื่น และน้ำขึ้นน้ำลงเป็นต้น

ความเค็ม (Salinity)

น้ำทะเลมีปริมาตรและส่วนประกอบทางเคมีคงที่ ได้แก่ ธาตุต่างๆ 61 ธาตุจากธาตุธรรมชาติทั้งหมด 92 ธาตุ และมีปริมาณมากน้อยต่างกัน ในจำนวนนี้เป็นเกลือแกง หรือโซเดียมคลอไรด์มากที่สุด นอกจากนั้นเป็นเกลือของแมกนีเซียม และซัลเฟต ฯลฯ ตัวอย่างของธาตุที่พบมากในน้ำทะเลได้แก่

คลอไรด์ (Chloride) ประมาณ 19.0 กรัม/ลิตร

โซเดียม (Sodium) ประมาณ 10.5 กรัม/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีเซียม (Magnesium) ประมาณ 1.35 กรัม/ลิตร

ความเค็ม (Salinity) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้บอกปริมาณเกลือแร่ในน้ำมาตั้งแต่แรกเริ่ม การที่มีผู้ใช้พารามิเตอร์ตัวนี้เนื่องจากพิจารณาเห็นว่าการวัดปริมาณเกลือแร่ในน้ำโดยวิธีระเหยน้ำให้แห้งและชั่งน้ำหนักเกลือแร่ที่ตกผลึกเป็นวิธีที่ให้ค่าไม่ถูกต้องเพราะมีการระเหยของเกลือแร่บางชนิดเกิดขึ้น ทำให้วัดปริมาณเกลือแร่ได้น้อยกว่าความเป็นจริง วิธีที่น่าเชื่อถือมากที่สุดในการวัดปริมาณเกลือแร่ในน้ำธรรมชาติ คือ วิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบต่างๆทางเคมี อย่างไรก็ตาม วิธีเคมีก็เป็นวิธีที่เสียเวลามากและมักไม่สามารถให้ความแม่นยำได้พอเพียง

Salinity หมายถึง ของแข็งทั้งหมดในน้ำหลังจากคาร์บอเนตถูกเปลี่ยนเป็นออกไซด์ โบรไมด์และไอโอไดด์ถูกแทนที่ด้วยคลอไรด์ และสารอินทรีย์ทั้งหมดถูกออกซิไดซ์จนหมดสิ้น Salinity มักมีค่าน้อยกว่า TDS และรายงานอยู่ในหน่วยกรัมต่อกิโลกรัม การวัดความเค็มจะใช้วิธีคำนวณจากพารามิเตอร์ทางกายภาพหรือเคมีในน้ำที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณเกลือแร่ในน้ำ พารามิเตอร์ดังกล่าวได้แก่ คลอไรด์สภาพนำไฟฟ้า ความหนาแน่น ดรรชนีแสงหักเห (Refractory Index) และความเร็วของเสียง เป็นต้น ความแม่นยำของค่าความเค็มจึงขึ้นอยู่กับความแม่นยำของการวัดค่าทางกายภาพ ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นความแม่นยำของการวัดสภาพนำไฟฟ้า ความหนาแน่น และความเร็วของเสียงเปรียบเทียบกับความแม่นยำของการวัดสภาพนำไฟฟ้า ความหนาแน่น และความเร็วของเสียงเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของความเค็มที่จะได้

พารามิเตอร์ทางกายภาพ	ความแม่นยำในการวัด	ความแม่นยำของค่าความเค็ม
สภาพนำไฟฟ้า	± 0.002	± 0.002
ความหนาแน่น	$\pm 3\times10^{-6}$ กรัมต่อมิลลิกรัม	± 0.004
ความเร็วของเสียง	± 0.02 เมตรต่อวินาที	± 0.01

ตารางที่ 2.1 ความแม่นยำของค่าความเค็มที่คำนวณจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ 3 อย่าง

จากตารางที่ 1 แม้ว่าสภาพนำไฟฟ้าจะให้ความแม่นยำมากที่สุด แต่มีข้อเสียคือจะวัดได้เฉพาะไอออนที่อยู่ในน้ำความหนาแน่นจะให้ความแม่นยำน้อยกว่าแต่จะวัดสารละลายทุกอย่างในน้ำ

คลอไรด์ (Chloride)

คลอไรด์พบอยู่ทั่วไปในน้ำธรรมชาติ ทั้งผิวดินและใต้ดินด้วยระดับความเข้มข้นต่างๆกัน โดยเฉพาะในน้ำผิวดินที่ใกล้ปากน้ำหรือบริเวณที่น้ำทะเลหนุนขึ้นมาถึงได้ สำหรับน้ำทะเลและมหาสมุทรจะมีคลอไรด์อยู่ปริมาณที่สูงมาก นอกจากนี้ยังพบคลอไรด์ได้ในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่ายของมนุษย์ โดยเฉพาะในปัสสาวะและจากน้ำเสียที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพของเรซินแลกเปลี่ยนประจุหรือน้ำเสียบริเวณชายฝั่งทะเลที่มีการซึมผ่านของน้ำทะเลเข้ามาในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยปกติแล้วคลอไรด์ในน้ำไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ แต่อาจใช้เป็นดรรชนีของความสกปรกในน้ำได้ ตามมาตรฐานของน้ำดื่ม กำหนดให้มีคลอไรด์ไม่เกิน 250 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะถ้ามีปริมาณมากกว่านี้อาจทำให้น้ำดื่มมีรสเค็ม ซึ่งทำให้ผู้บริโภคไม่ชอบ แต่อย่างไรก็ตามในบางกรณีน้ำอาจมีคลอไรด์สูงถึง 700 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ไม่มีรสเค็ม แต่น้ำอีกสถานที่มีคลอไรด์เพียง 100 มิลลิกรัม/ลิตร ก็เกิดรสเค็มได้ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนประกอบทั้งสองแตกต่างกัน (ถ้ามีโซเดียมน้อยจะไม่เค็ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลองและผลการทดลอง

3.1 การทดลองตอนที่ 1

เรื่องการหารูปแบบของเพลทที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ในการทดลองตอนที่ 1

1. เพื่อหารูปแบบในการวางแผ่นเพลทที่ดีที่สุดในการทำอิเล็กโทรลิซิสได้แก่พื้นที่ผิวของแผ่นเพลทและระยะห่างระหว่างแผ่นเพลท โดยมุ่งหวังให้ค่าความเค็มของน้ำลดลงได้มากที่สุดโดยยังไม่คำนึงถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่ใช้ในการทำอิเล็กโทรลิซิสที่จะมีผลต่อการลดค่าความเค็มของน้ำ
3. เมื่อทราบถึงเงื่อนไขในหัวข้อข้างต้นแล้ว ก็จะสามารถหารูปแบบที่เหมาะสมได้โดยคำนึงถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยหลัก
4. เพื่อทราบถึงขีดความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลโดยวิธีการอิเล็กโทรลิซิสในรูปแบบที่เหมาะสม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 1

1. วาริแอกขนาด 5 A	1 ตัว
2. หม้อแปลงขนาด 220/15 V, 450 VA	1 ตัว
3. ชุดวงจรบริดจ์เร็กติไฟเออร์	1 ชุด
4. คาปาซิเตอร์ ขนาด 10,000 μF 50 V	2 ตัว
5. ถังพลาสติกขนาด 35×23×20 cm	1 ถัง
6. แผ่นเพลทเป็นแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 15×15 cm และขนาด 15×30 cm	
7. น้ำทะเล	10 ลิตรต่อ 1 การทดลอง
8. โวลท์มิเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับ อย่างละ	1 ตัว
9. แอมมิเตอร์กระแสตรง	1 ตัว
10. สายต่อ รวมทั้งสายปากคีบ	
11. เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity meter)	1 ตัว
12. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (PH meter)	1 ตัว
13. เครื่องวัดค่าดรรชนีการหักเหของแสง (Refractrometer)	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลองในตอนที่ 1

1. ต่อวงจรการทดลอง ยึดแผ่นเพลทเข้ากับถังพลาสติกตามรูปแบบการวางแผ่นเพลทในการทดลองนั้นๆว่าจะกำหนดรูปแบบการวางเป็นอย่างไร
2. เติมน้ำทะเลลงในถังจำนวน 10 ลิตร เมื่อเติมน้ำลงไปแล้วแผ่นเพลทจะมีพื้นที่ผิวที่จุ่มอยู่ในน้ำเท่ากับ 10×15 cm^2 หรือ 10×30 cm^2 แล้วแต่การทดลองนั้นๆว่าจะใช้แผ่นเพลทขนาดไหน
3. เก็บตัวอย่างน้ำที่ยังไม่ได้ผ่านการอิเล็กโทรไลซิสไว้ก่อน
4. เริ่มจ่ายกระแส โดยการปรับวาริแอกให้ได้ขนาดกระแส DC เป็น 5 แอมแปร์ หรือ 10 แอมแปร์ แล้วแต่การทดลองนั้นๆและรักษาระดับกระแสให้คงที่โดยการปรับวาริแอก
5. ทำการบันทึกค่า V_{DC} และ V_{AC} และเก็บตัวอย่างน้ำตามเวลาที่กำหนดไว้โดยกรองน้ำผ่านกระดาษกรองเก็บไว้ในขวดให้ได้ตัวอย่างน้ำประมาณ 30 cc ต่อการเก็บหนึ่งครั้ง
6. นำตัวอย่างน้ำมาวัดค่าความนำไฟฟ้า, ค่าดรรชนีการหักเหของแสงและค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า, เครื่องวัดค่าดรรชนีการหักเหของแสงและเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างตามลำดับ และบันทึกผล

รูปที่ 3.1 วิธีการทำอิเล็กโทรลิซิสในการทดลองตอนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1

เรื่องการทดลองทำการอิเล็กโทรลิซิสที่ขนาดกระแสคงที่

<u>วัตถุประสงค์</u>

1. เพื่อดูลักษณะและแนวโน้มของค่าความเค็มของน้ำทะเลเมื่อผ่านการทำอิเล็กโทรลิซิส ว่าสามารถลดค่าความเค็มของน้ำลงได้จริง
2. เพื่อสังเกตุลักษณะแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการทดลองครั้งต่อไป

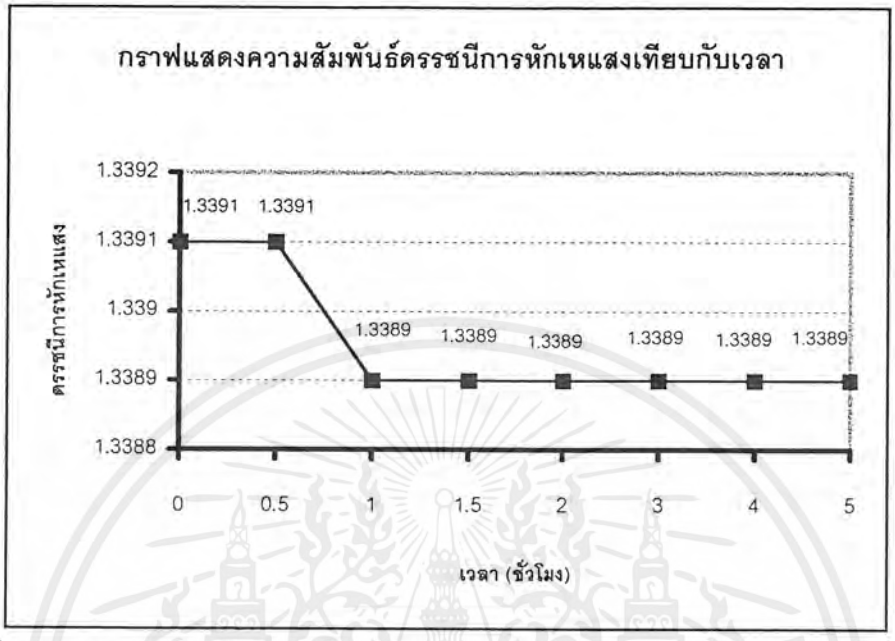
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 10 ลิตร
- ขนาดกระแส 5 A
- ขนาดเพลท 10×15 Cm^2
- ระยะห่างเพลท 18 Cm

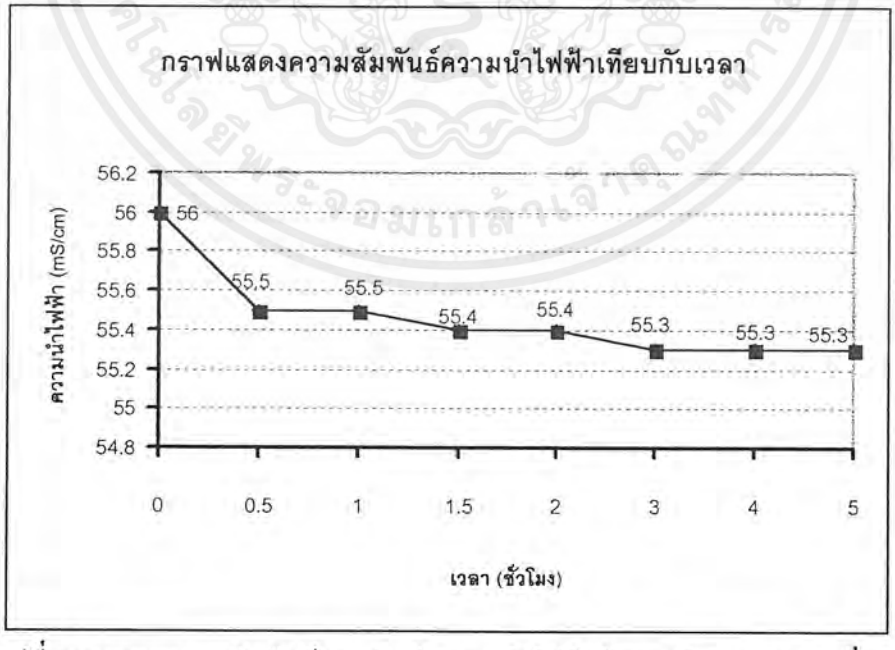
เวลา(ชม.)	V_{ac}(v)	V_{dc}(v)	T($^{\circ}$C)	Conduc. (mS/cm)	Refractory	PH
0	9.6	8.85	26	56.0	1.3391	7.92
0.5	9.8	8.83	27	55.5	1.3391	7.38
1	8.95	8.25	29	55.5	1.3389	7.37
1.5	8.85	8.1	30	55.4	1.3389	7.40
2	8.6	7.75	32	55.4	1.3389	7.14
3	8.4	7.5	34	55.3	1.3389	6.99
4	8.35	7.4	35	55.3	1.3389	6.78
5	8.6	7.4	36	55.3	1.3389	6.71

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

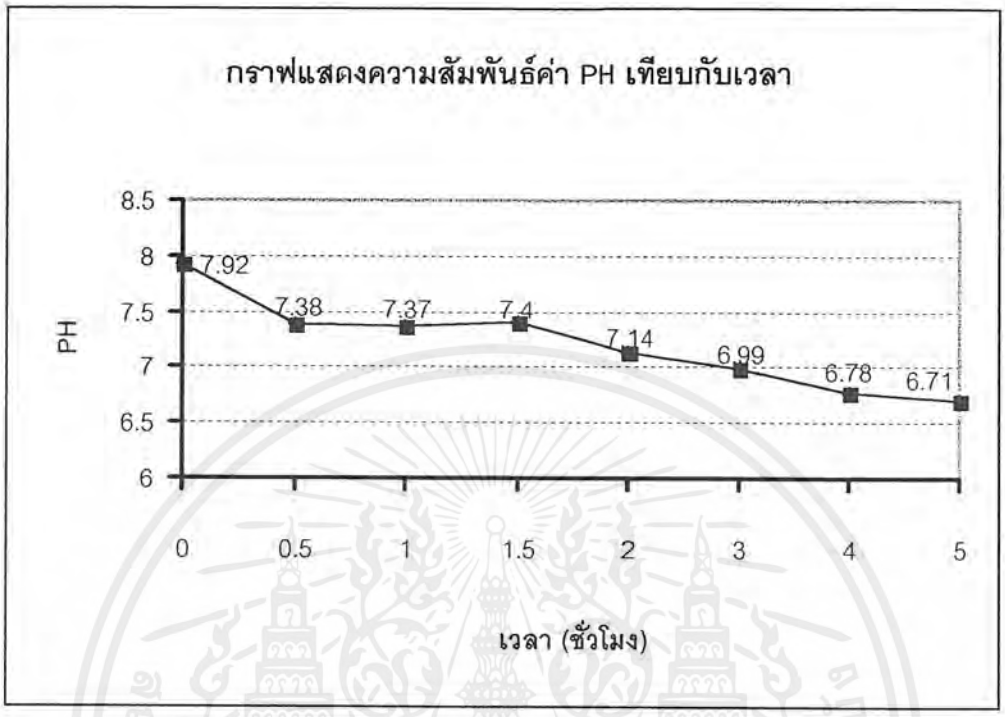


รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 1



รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 1

<u>สรุปผลการทดลองที่ 1</u>

1. แนวโน้มของค่าความเค็มของน้ำทะเลสามารถลดลงได้จริง ซึ่งสามารถดูได้จากผลการทดลอง ซึ่งผลคือที่ระดับกระแสคงที่ 5 แอมแปร์ ค่าความเค็มของน้ำซึ่งก็คือค่าดรรชนีการหักเหของแสงสามารถลดลงได้ 3.92 เปอร์เซ็นต์ และค่าความนำไฟฟ้าของน้ำทะเลลดลงได้ 1.26 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ระยะเวลาในการทดลอง 5 ชั่วโมง
2. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเลก่อนการทดลองน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง แต่เมื่อผ่านการทดลองแล้วน้ำจะเข้าสู่สภาวะเป็นกลางมากขึ้น
3. แนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันจะลดลงเมื่อเราคงที่ค่ากระแสในวงจรไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทดลองที่ 2

เรื่องการเปรียบเทียบขนาดกระแสที่ใช้

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1 เพื่อหาขนาดกระแสที่เหมาะสมในการทำอิเล็กโทรลิซิส เมื่อเราคงที่ค่าตัวแปรอื่นๆไว้ โดยเราจะเพิ่มขนาดกระแสเป็น 10 แอมแปร์

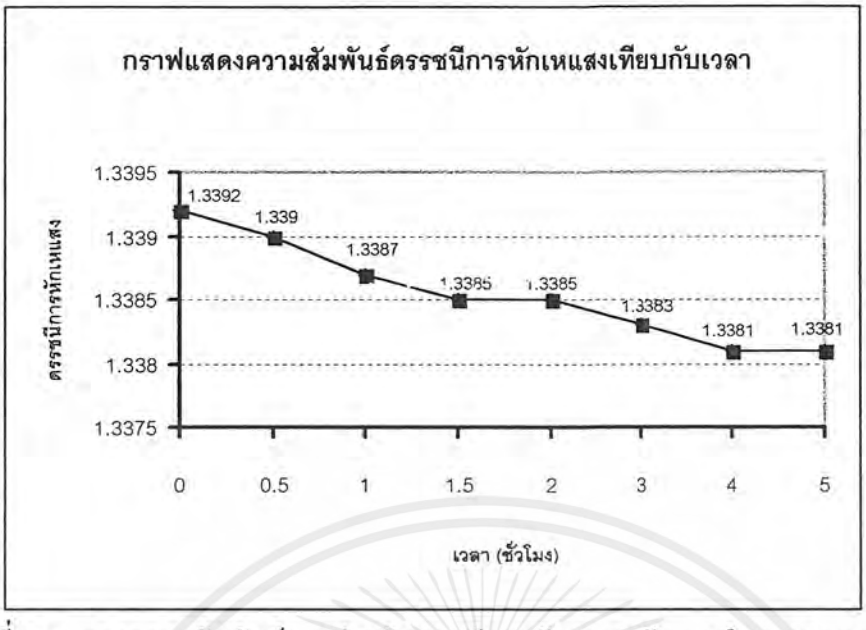
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 10 ลิตร
- ขนาดกระแส 10 A
- ขนาดเพลท 10×15 Cm^2
- ระยะห่างเพลท 18 Cm

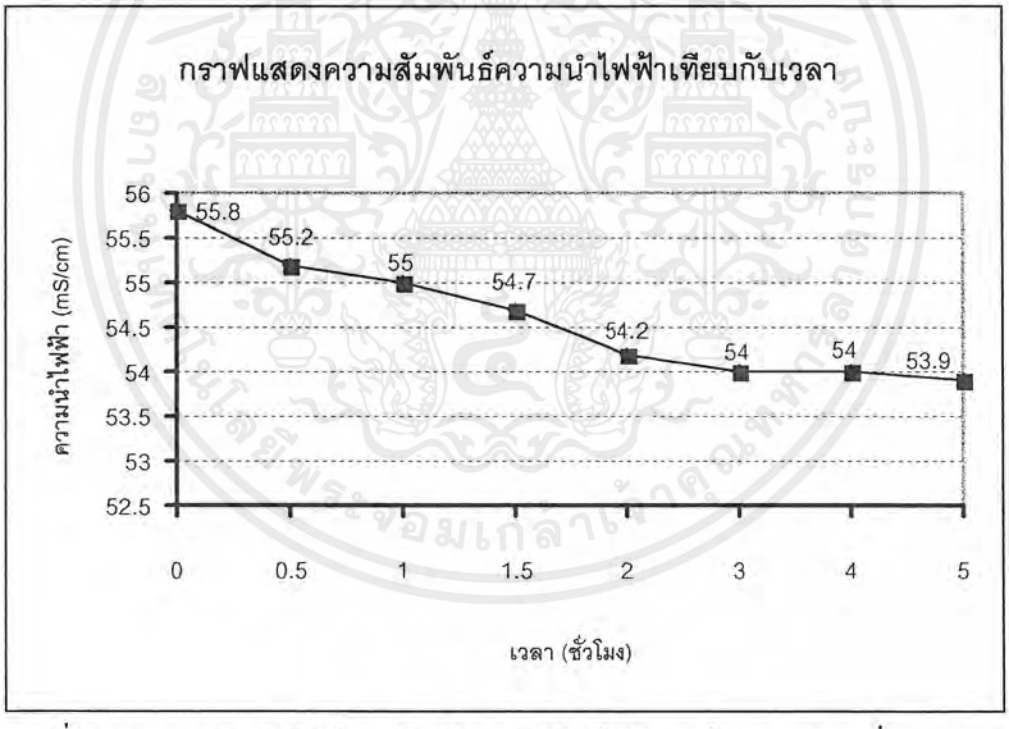
เวลา(ชม.)	V_{ac}(v)	V_{dc}(v)	T(^{o}C)	Conduc. (mS/cm)	Refractro.	PH
0	17	17.6	24.5	55.8	1.3392	7.29
0.5	15	14.8	32.5	55.2	1.3390	7.2
1	14.5	13.9	38	55.0	1.3387	7.17
1.5	14	13.2	42	54.7	1.3385	7.11
2	13.7	13	45	54.2	1.3385	7.08
3	13.3	12.4	52	54.0	1.3383	7.02
4	13.0	12.4	53	54.0	1.3381	6.97
5	13.0	12.3	55	53.9	1.3381	6.93

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
37015

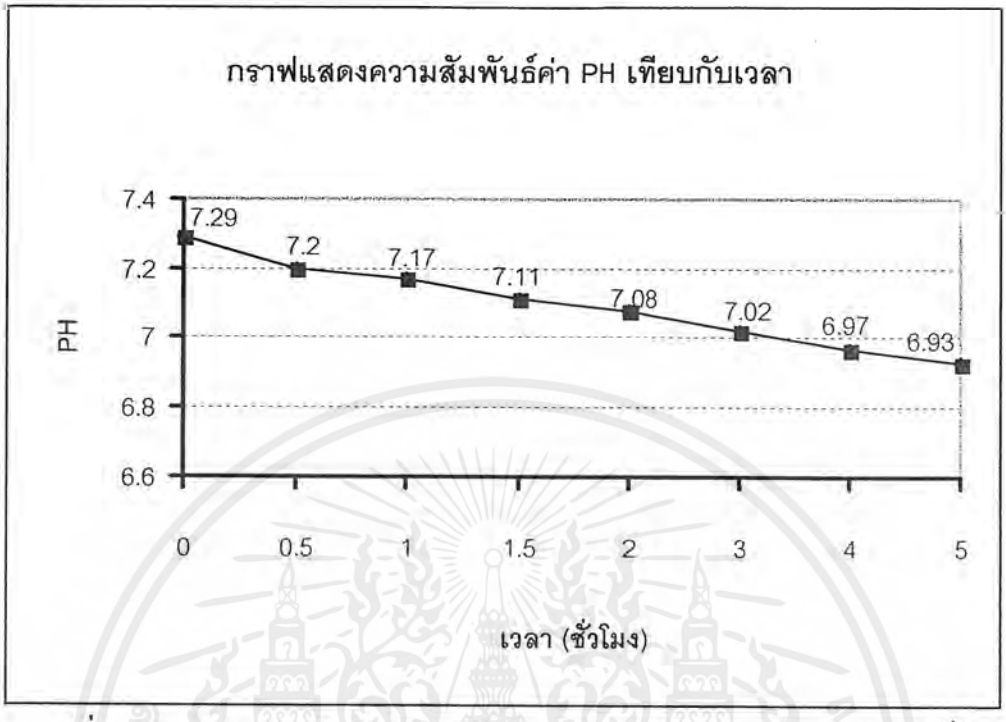


รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 2



รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 2

<u>สรุปผลการทดลองที่ 2</u>

1. จากการวัดค่าความเค็มของน้ำจะพบว่าค่าความเค็มสามารถลดลงได้มากกว่าการที่ใช้กระแส 5 แอมแปร์ คือค่าความเค็มของน้ำที่ขนาดกระแส 10 แอมแปร์สามารถลดลงได้ถึง 21.15 เปอร์เซ็นต์ส่วนที่ขนาดกระแส 5 แอมแปร์ ค่าความเค็มของน้ำสามารถลดลงได้เพียง 3.92 เปอร์เซ็นต์
2. จากการวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำจะพบว่าค่าความนำไฟฟ้าสามารถลดลงไปได้มากกว่าคือสามารถลดค่าความนำไฟฟ้าไปได้ 3.43 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ขนาดกระแส 5 แอมแปร์ค่าความนำไฟฟ้าสามารถลงลงได้เพียง 1.26 เปอร์เซ็นต์
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะมีสภาวะที่ลดความเป็นด่างลงสู่ความเป็นกลางได้มากกว่า
4. จากข้อสรุปข้างต้นจึงสรุปได้ว่าที่เงื่อนไขของการทดลองต่างๆที่เหมือนกัน การให้ระดับกระแสที่สูงกว่าจะทำให้ค่าความเค็มของน้ำสามารถลดลงได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3

เรื่องการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นเพลท

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 ในส่วนของระยะห่างระหว่างเพลทว่ามีผลอย่างไรต่อการทำอิเล็กโทรลิซิส โดยจะลดระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทลงครึ่งหนึ่งของระยะห่างเดิม ส่วนเงื่อนไขอื่นๆจะคงไว้เหมือนกับการทดลองที่ 2

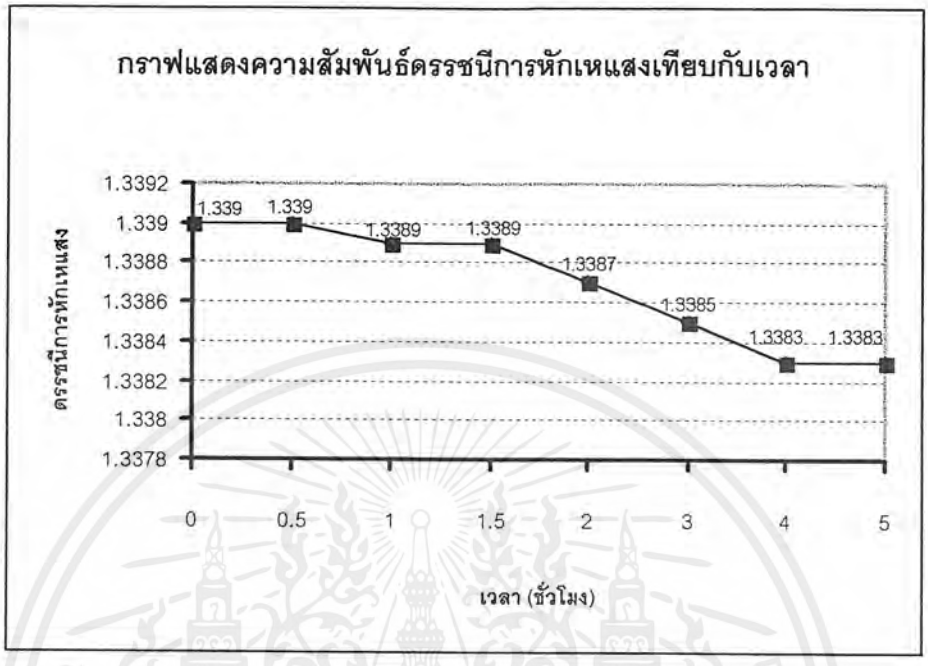
<u>ข้อมูลในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 10 ลิตร
- ขนาดกระแส 10 A
- ขนาดเพลท 10×15 Cm^2
- ระยะห่างเพลท 9 Cm

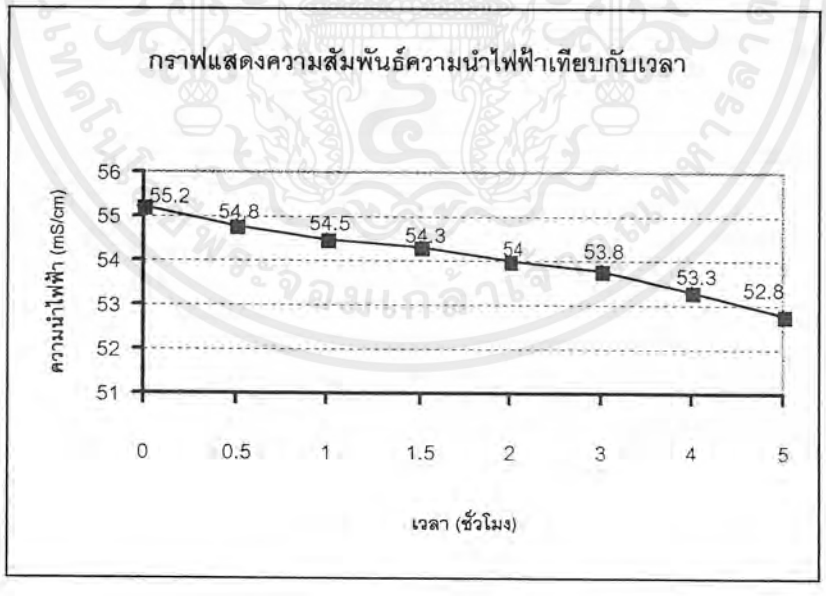
เวลา(ชม.)	V_{ac}(v)	V_{dc}(v)	T($^{\circ}$C)	Conduc. (mS/cm)	Refractro.	PH
0	10.24	10.0	25	55.2	1.3390	7.25
0.5	10.2	9.3	29	54.8	1.3390	6.69
1	10.05	8.3	32	54.5	1.3389	6.42
1.5	10.0	8.1	36	54.3	1.3389	6.29
2	10.0	7.9	38	54.0	1.3387	6.11
3	10.0	7.55	43	53.8	1.3385	5.75
4	9.8	7.3	43	53.3	1.3383	5.61
5	9.7	7.4	44	52.8	1.3383	5.26

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

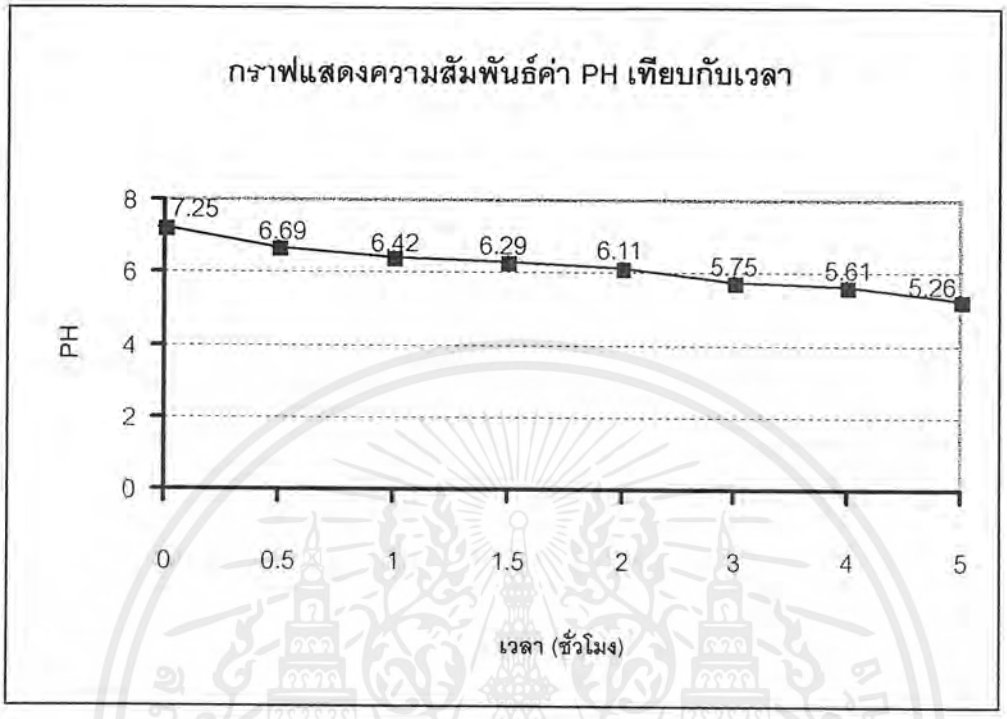


รูปที่ 3.8 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 3



รูปที่ 3.9 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 3

<u>สรุปผลการทดลองที่ 3</u>

1. จากการวัดค่าความเค็มของน้ำสามารถลดลงได้ 14 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน้อยกว่าในการทดลองที่ 2 ซึ่งค่าความเค็มของน้ำสามารถลดลงได้ 21.15 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าสามารถลดลงได้ 4.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าในการทดลองที่ 2 ที่สามารถลดลงได้ 3.43 เปอร์เซ็นต์
3. จากการทำอิเล็กโทรลิซิสที่เรามุ่งหวังให้ค่าความเค็มลดลงได้มากที่สุดทำให้พิจารณาค่าความเค็มของน้ำจากค่าดรรชนีการหักเหของแสงเป็นหลัก ดังนั้นการวางแผ่นเพลทให้มีระยะห่างมากขึ้นจะทำให้สามารถลดค่าความเค็มของน้ำลงได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4

เรื่องการเปรียบเทียบพื้นที่ผิวของแผ่นเพลท

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวของแผ่นเพลทกับค่าความเค็มที่ลดลง โดยเพิ่มพื้นที่ผิวของแผ่นเพลทขึ้นเป็น 300 ตารางเซนติเมตรจากเดิมที่มีขนาด 150 ตารางเซนติเมตร และคงค่าอื่นๆไว้

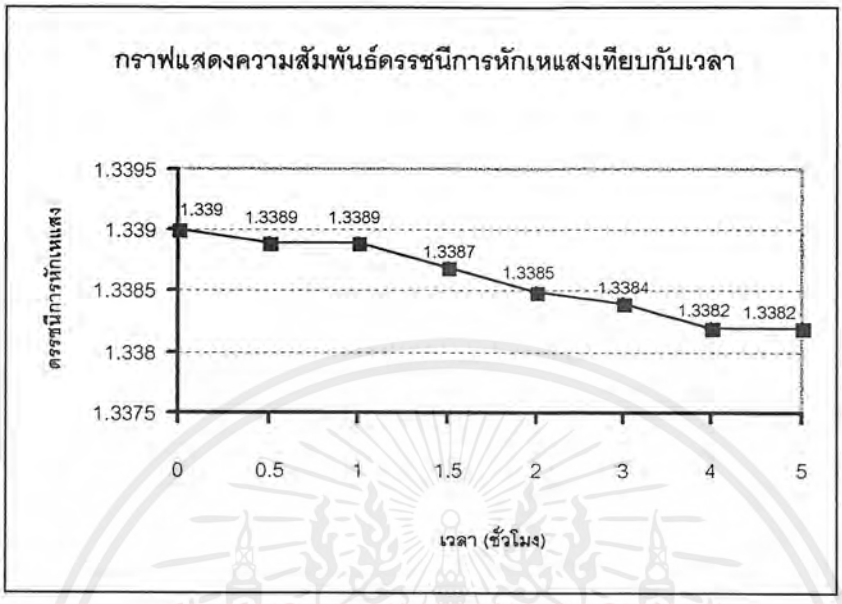
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 10 ลิตร
- ขนาดกระแส 10 A
- ขนาดเพลท 10×30 Cm^2
- ระยะห่างเพลท 18 Cm

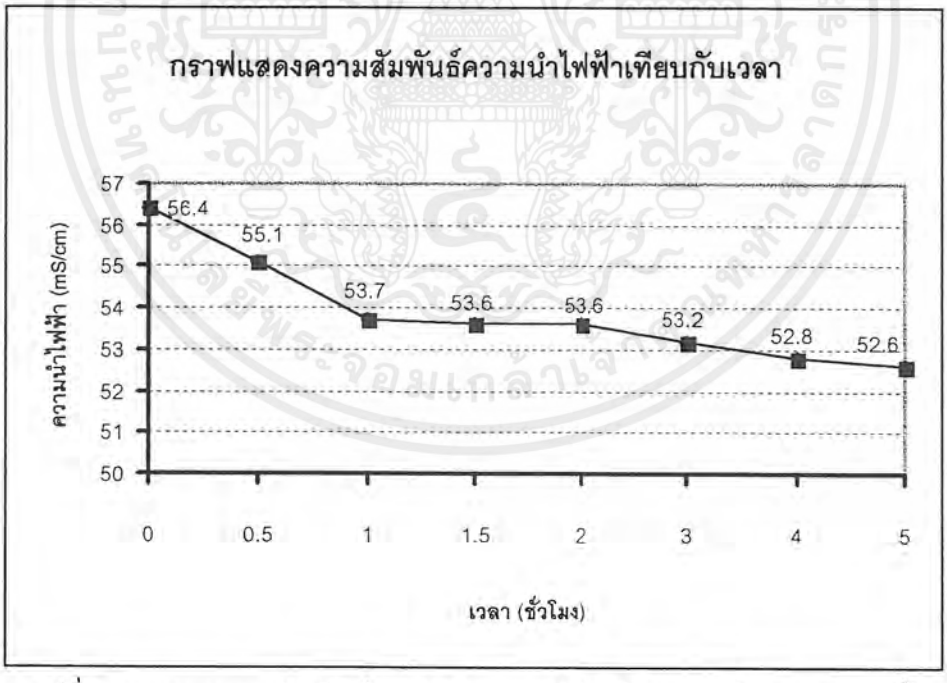
เวลา(ชม.)	V_{ac}(v)	V_{dc}(v)	T($^{\circ}$C)	Conduc. (mS/cm)	Refractro.	PH
0	11.25	11.7	26	56.4	1.3390	6.50
0.5	10.5	10.6	31	55.1	1.3389	6.39
1	10.3	10.2	34	53.7	1.3389	6.35
1.5	10.0	9.8	36	53.6	1.3387	6.30
2	9.9	9.45	40	53.6	1.3385	6.18
3	9.7	9.2	43	53.2	1.3384	6.07
4	9.4	8.9	46	52.8	1.3382	5.43
5	9.4	8.85	47	52.6	1.3382	5.26

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

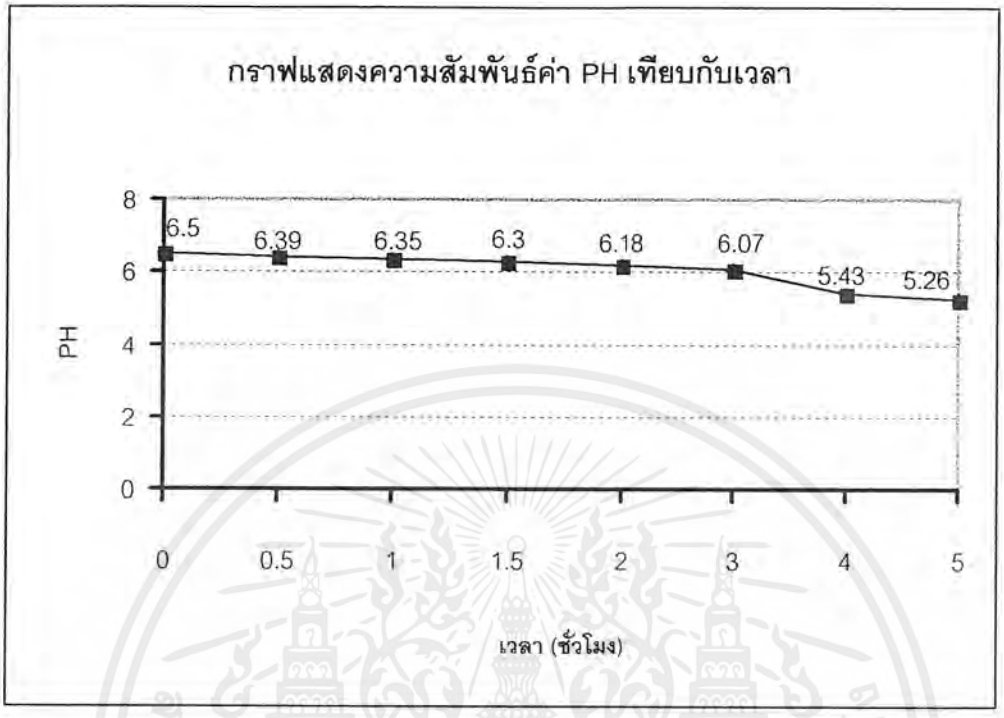


รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 4



รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ **3.13** แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 4

<u>สรุปผลการทดลองที่ 4</u>

1. จากการทดลองนี้จะพบว่าสามารถลดค่าความเค็มของน้ำลงได้ 16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการทดลองที่ 2 ที่สามารถลดลงได้ 21.15 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำลดลงได้ 6.79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าการทดลองที่ 2 ซึ่งลดได้เพียง 3.43 เปอร์เซ็นต์
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะพบว่าน้ำมีค่าแนวโน้มไปในทางที่เป็นกรดสูงขึ้น เนื่องมาจากปริมาณของ HCl ที่เกิดขึ้นสูงจากปฏิกิริยาทางเพลทบวก
4. จะสังเกตุว่าระดับของแรงดันจะมีผลต่อการลดค่าความเค็มของน้ำและค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ นั่นคือถ้าเราสามารถคงระดับแรงดันในการทดลองนี้ให้เท่ากับการทดลองที่ 2 โดยที่ขนาดกระแสยังเท่ากับ 10 แอมแปร์ค่าความเค็มของน้ำในการทดลองนี้จะลดลงได้มากขึ้น
5. การสึกกร่อนของแผ่นเพลทในการทดลองนี้จะต่ำกว่าในการสึกกร่อนของแผ่นเพลทในการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 5

เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นและระยะห่างที่ลดลงกับค่าความเค็มที่ลดลง

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวของแผ่นเพลทที่เพิ่มขึ้นและระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทที่ลดลงกับค่าความเค็มของน้ำที่ลดลงโดยจะนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 4

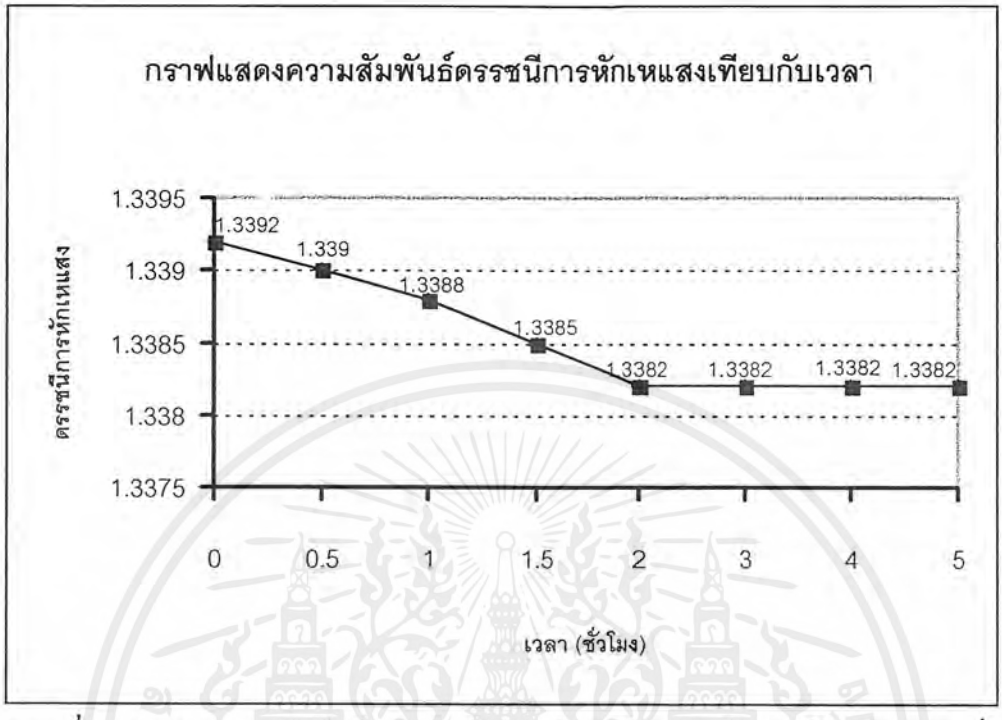
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 10 ลิตร
- ขนาดกระแส 10 A
- ขนาดเพลท 10×30 Cm^2
- ระยะห่างเพลท 6 Cm
- จำนวนเพลท 2 คู่

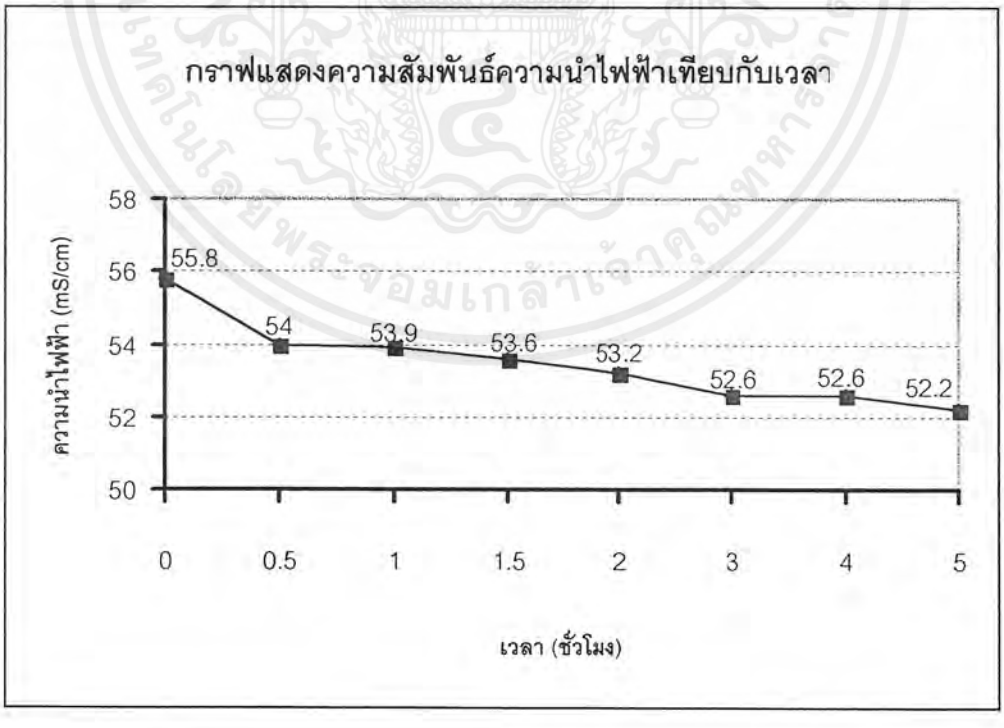
เวลา(ชม.)	V_{ac}(v)	V_{dc}(v)	T($^{\circ}$C)	Conduc. (mS/cm)	Refractory	PH
0	7.0	4.3	25	55.8	1.3392	7.85
0.5	6.6	3.8	29	54.0	1.3390	6.1
1	7.1	3.5	31	53.9	1.3388	6.01
1.5	7.3	3.7	31	53.6	1.3385	6.28
2	7.1	3.6	33	53.2	1.3382	5.9
3	7.2	3.5	35	52.6	1.3382	5.54
4	7.2	3.6	35	52.6	1.3382	6.03
5	7.2	3.6	35.5	52.2	1.3382	5.03

ตารางที่ 3.5 ผลการทดลองที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

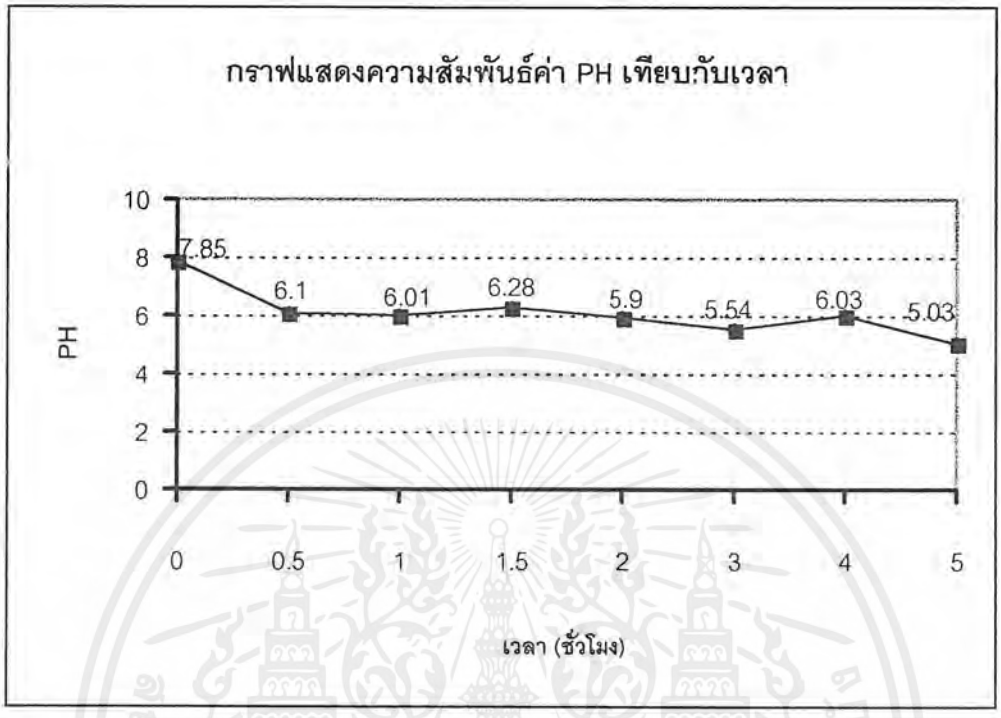


รูปที่ 3.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 5



รูปที่ 3.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 5

<u>สรุปผลการทดลองที่ 5</u>

1. จากการวัดค่าความเค็มของน้ำและค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสามารถลดลงได้ 19.23 เปอร์เซ็นต์ และ 6.51 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ
2. เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเค็มของน้ำที่ลดลงจากการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 4 จะพบว่าลดได้น้อยกว่าการทดลองที่ 2 แต่มากกว่าการทดลองที่ 4 จึงสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของแผ่นเพลทขึ้นและลดระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทลงจะทำให้แรงดันที่ใช้ลดลงทำให้ค่าความเค็มที่ลดได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 6

เรื่องการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทเมื่อคำนึงถึงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค็มของน้ำที่ลดลงกับระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทที่เปลี่ยนไป โดยให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่าเดิมตลอด

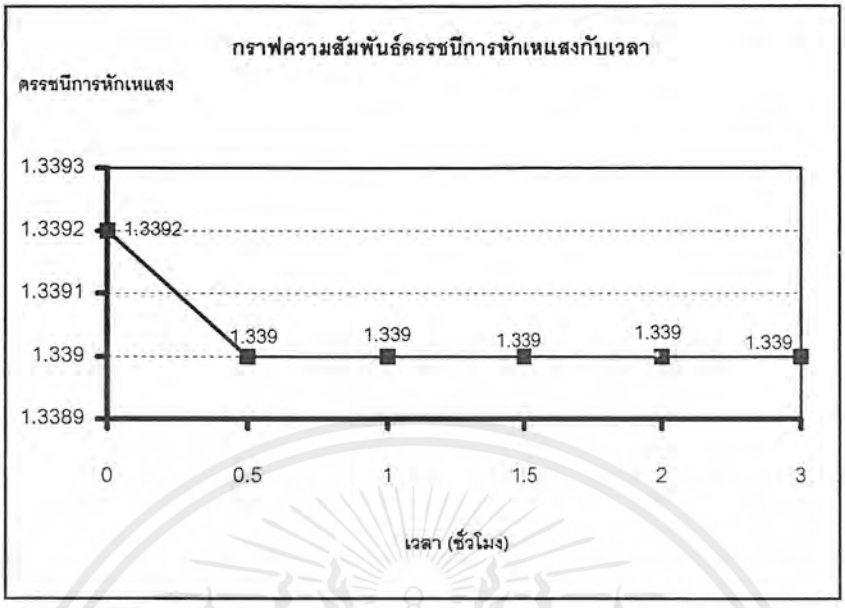
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองที่ 6.1</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดพิกัดกำลัง 200 $\pm$ 10 วัตต์
- ขนาดเพลท 25×23 cm^2
- ระยะห่างเพลท 22 cm
- เพลทบวก อะลูมิเนียม เพลทลบ อะลูมิเนียม

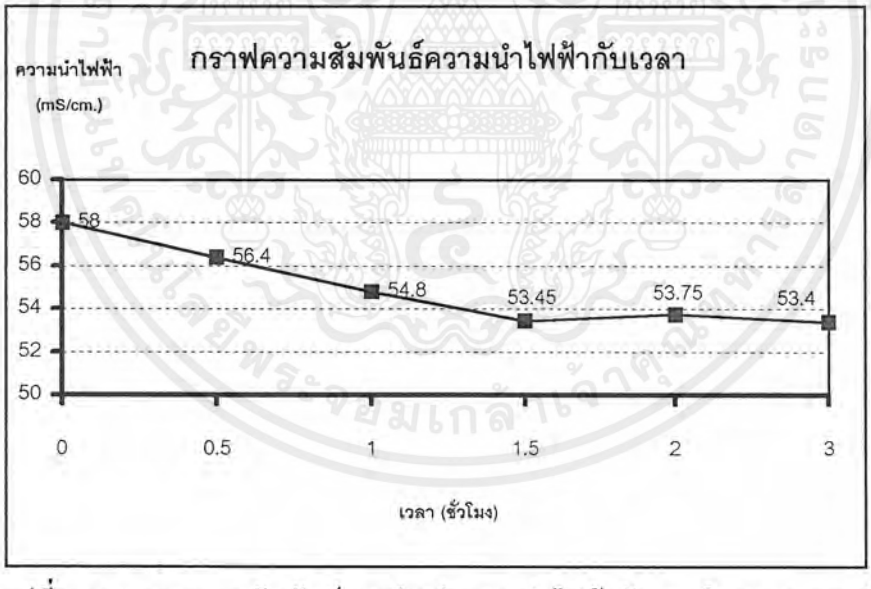
เวลา (ชม.)	PRIMARY		OUTPUT		$P_{o/p}$ (W)	INPUT	Conduc. (mS/cm)	Refrac.	PH.
	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{dc} (v)	I_{dc} (A)		V_{ac} (v)			
0	69	4.8	13	16	208	16	58	1.3392	7.57
0.5	66	4.9	12.3	16.75	206	16	56.4	1.3390	7.53
1	66	4.85	12.2	16.75	204	15.9	54.85	1.3390	7.39
1.5	64.6	5.2	11.8	17	200.6	15	53.45	1.3390	7.48
2	64.4	5.3	11.6	17.75	206	15	53.75	1.3390	7.21
3	62	5.2	11.5	18	207	14	53.4	1.3390	7.15

ตารางที่ 3.6 ผลการทดลองที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

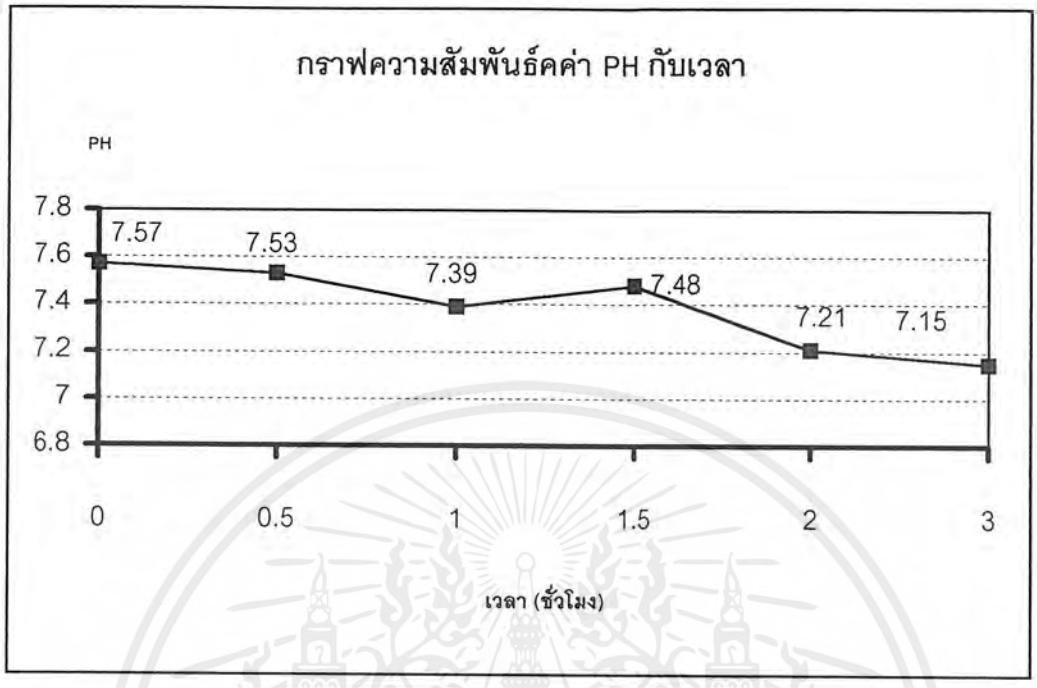


รูป 3.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 6.1



รูปที่ 3.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

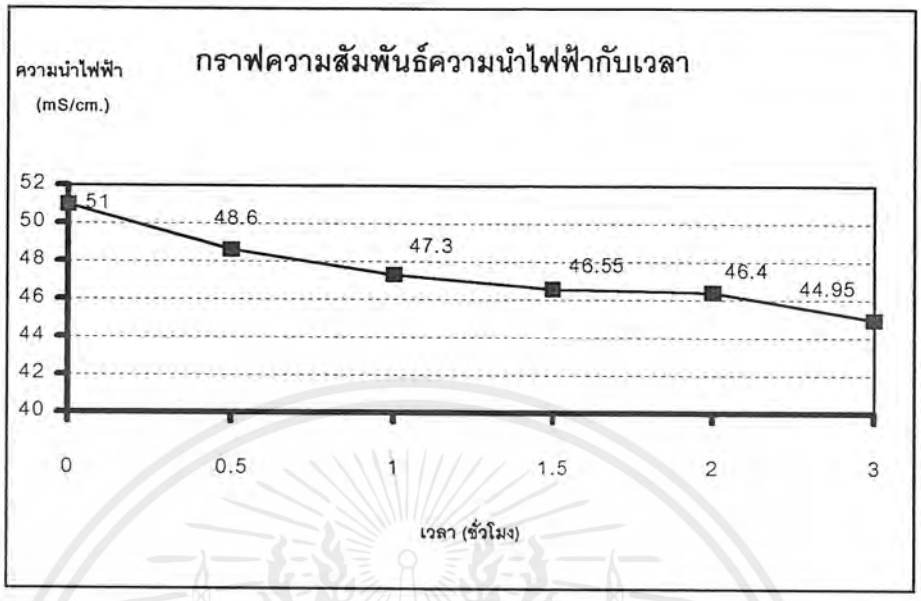
ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองที่ 6.2

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดพิกัดกำลัง 200 ± 10 วัตต์
- ขนาดเพลท 25×23 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm
- เพลทบวก อะลูมิเนียม เพลทลบ อะลูมิเนียม

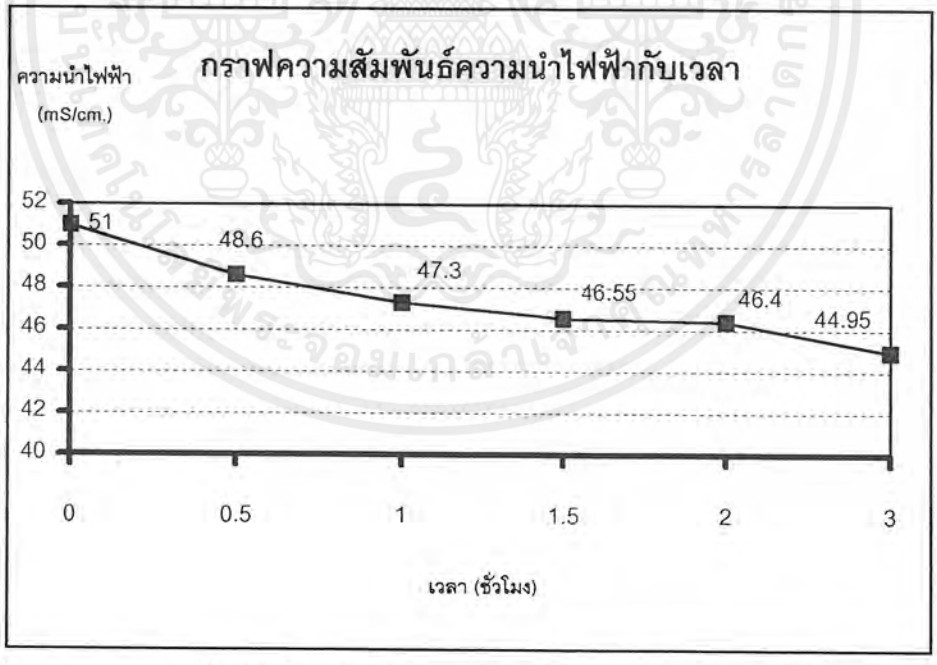
เวลา (ชม.)	PRIMARY		OUTPUT		$P_{o/p}$ (W)	INPUT V_{ac} (v)	Conduc. (ms/cm)	Refrac.	PH.
	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{dc} (v)	I_{dc} (A)					
0	97.4	2.82	20.1	10	201	24	51	1.3387	7.51
0.5	96.5	2.97	19.8	10	198	23.8	48.6	1.3384	7.39
1	95.5	3.15	19.5	10.5	204.75	23.5	47.3	1.3382	7.22
1.5	93.2	3.15	18.9	10.8	204.12	23	46.55	1.3382	7.03
2	93.3	3.2	19	11	209	23	46.4	1.3382	7.06
3	89.8	3.3	18.1	11.25	203.6	22	44.95	1.3381	6.94

ตารางที่ 3.7 ผลการทดลองที่ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

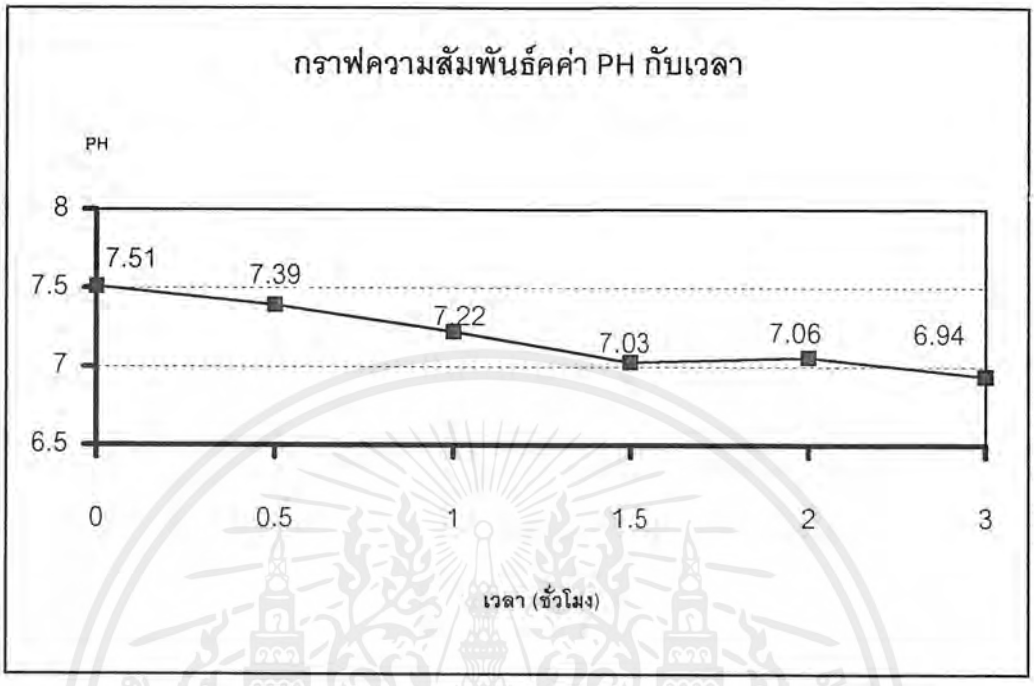


รูปที่3.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าครรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 6.2



รูปที่ 3.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 6.2

<u>สรุปผลการทดลองที่ 6</u>

1. จะพบว่าค่าความเค็มของน้ำจากการทดลองที่ 6.1 และ 6.2 ลดลง 3.8 เปอร์เซ็นต์และ 12.76 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ
2. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำจากการทดลองที่ 6.1 และ 6.2 ลดลง 8 เปอร์เซ็นต์และ 11.98 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ
3. จากการทดลองนี้จะแตกต่างกับการทดลองที่ 3 ตรงที่ว่าการทดลองที่ 3 ไม่คำนึงถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้การให้ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทมากขึ้นจะลดค่าความเค็มของน้ำลงได้มากขึ้นแต่ก็จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากขึ้นตามไปด้วย แต่สำหรับการทดลองนี้จะสรุปได้ว่ายิ่งให้ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทมากขึ้นก็จะลดความเค็มของน้ำลงได้มากขึ้นด้วยโดยที่ยังใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 7

เรื่องการเปรียบเทียบพื้นที่ผิวของแผ่นเพลทเมื่อคำนึงถึงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค็มของน้ำที่ลดลงกับพื้นที่ผิวของแผ่นเพลทที่เปลี่ยนไปโดยให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่าเดิมตลอด

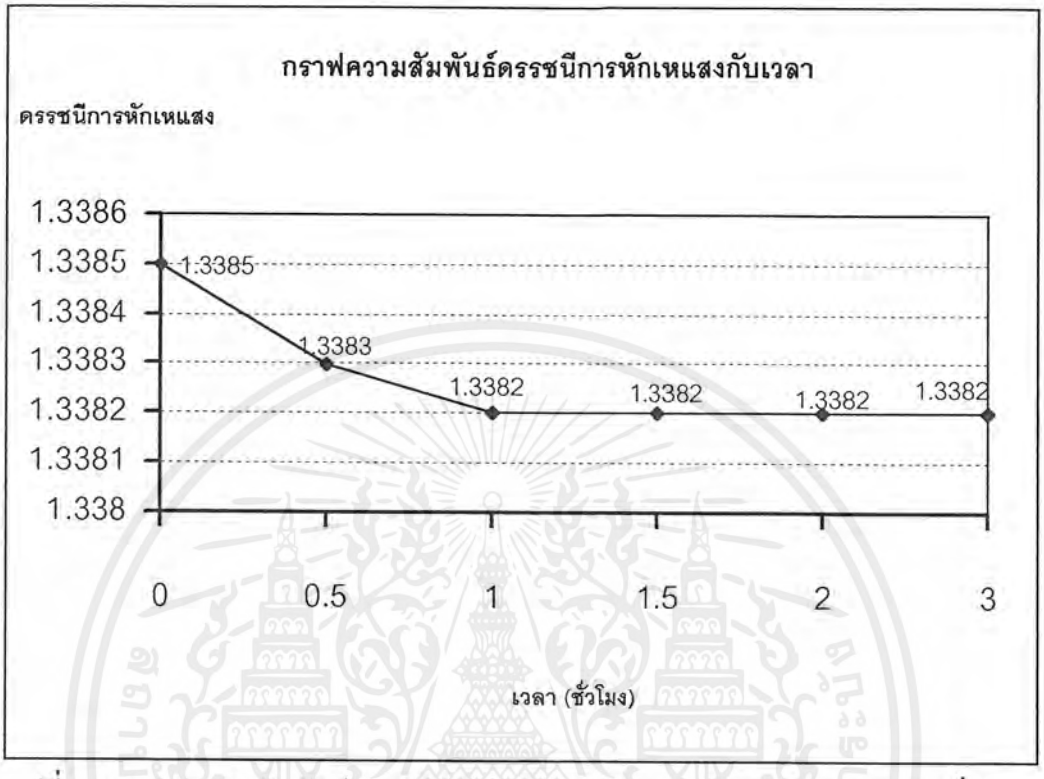
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 11.5×25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm

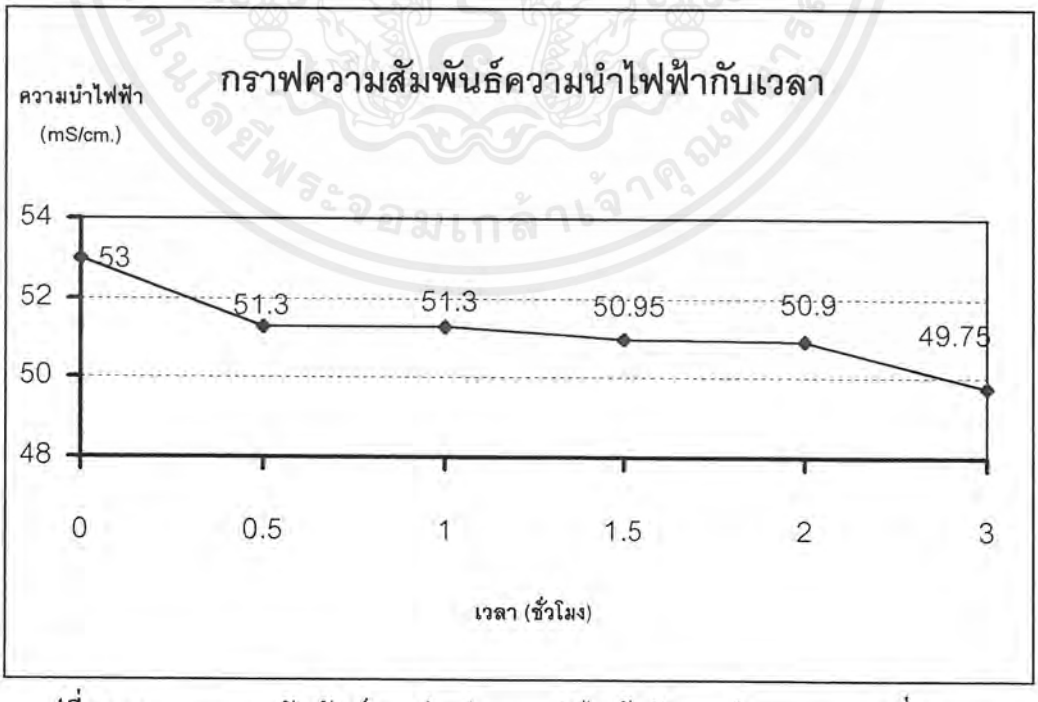
เวลา	PRIMARY		OUTPUT		$P_{O/P}$	Conduc.	Refrac.	PH.
(ชม.)	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{dc} (v)	I_{dc} (v)	(W)	(ms/cm)		
0	95	3.2	19.2	10.8	207	53	1.3385	8.16
0.5	93	3.3	18.6	11.1	206	51.3	1.3383	7.63
1	91	3.4	18.2	11.4	207	51.3	1.3382	7.14
1.5	90	3.45	18.0	11.6	209	50.95	1.3382	6.57
2	88	5.3	17.6	11.8	208	50.9	1.3382	6.5
3	85	3.55	17	11.9	202	49.75	1.3382	6.13

ตารางที่ 3.8 ผลการทดลองที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

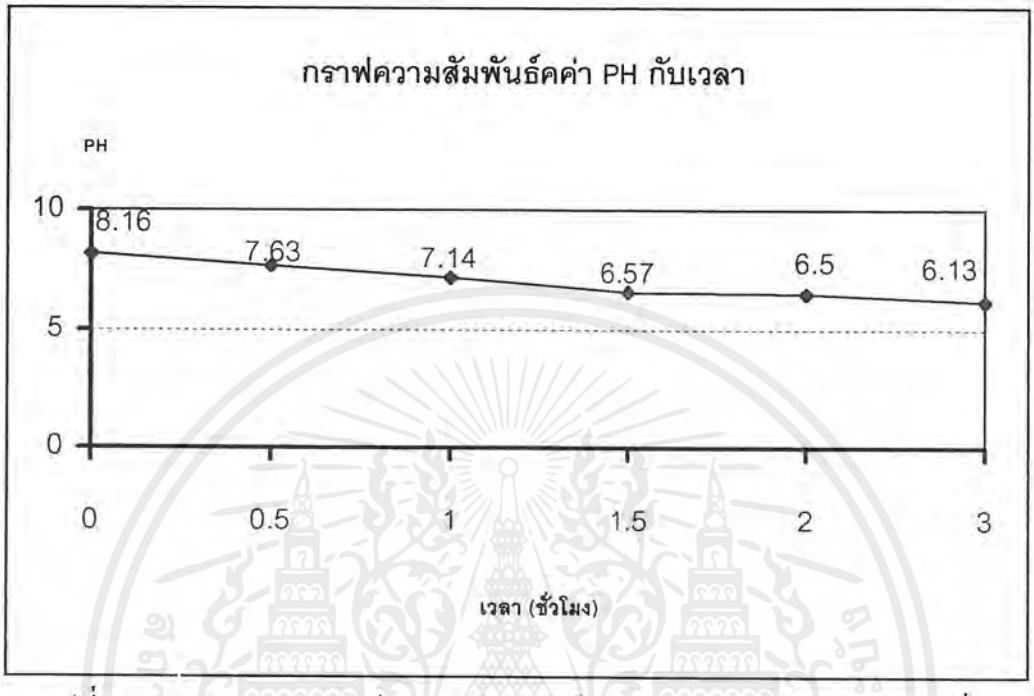


รูปที่ 3.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 7



รูปที่ 3.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 7

<u>สรุปผลการทดลองที่ 7</u>

1. จะพบว่าค่าความเค็มของน้ำจากการทดลองที่ 6.2 และ 7 ลดลง 12.76 เปอร์เซ็นต์และ 6.66 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ
2. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำจากการทดลองที่ 6.2 และ 7 ลดลง 11.98 เปอร์เซ็นต์และ 6.66 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ
3. การทดลองนี้คล้ายกับการทดลองที่ 4 แต่จากการทดลองที่ 4 ยิ่งให้พื้นที่ผิวของแผ่นเพลทมากขึ้นก็จะใช้แรงดันลดลงซึ่งถ้ารักษาแรงดันให้เท่าเดิมก็จะสามารถลดค่าความเค็มของน้ำได้มากขึ้นแต่ก็ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากขึ้นตามไปด้วย แต่จากการทดลองที่ 7 นี้จะสรุปได้ว่าเมื่อยังใช้พลังงานไฟฟ้าที่เท่าเดิมการลดขนาดพื้นที่ผิวของแผ่นเพลทลงจะทำให้ค่าความเค็มของน้ำลดลง ซึ่งเป็นการบอกว่าระดับแรงดันและพื้นที่ผิวของแผ่นเพลทเป็นปัจจัยที่ควรคำนึงถึงก่อนเป็นอันดับแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุปของการทดลองตอนที่ 1

เมื่อไม่คำนึงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เราจะสามารถลดค่าความเค็มของน้ำให้ได้มากที่สุดโดยกำหนดให้มีระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทให้มากที่สุด และมีพื้นที่ผิวของแผ่นเพลทให้มากที่สุดเช่นเดียวกันซึ่งการทำดังกล่าวก็จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อเรากำหนดให้มีระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าไว้ที่ค่าค่าหนึ่งเราก็จะวิเคราะห์ได้ว่าระดับแรงดันที่ใช้ในการทำอิเล็กโทรลิซิสมีผลต่อการลดค่าความเค็มของน้ำมากกว่าระดับกระแสที่ใช้ เราจึงเลือกรูปแบบของเพลทที่เหมาะสมได้คือให้มีระยะห่างระหว่างเพลทให้มากที่สุด และมีขนาดพื้นที่ผิวของแผ่นเพลทให้มากที่สุดเช่นกันโดยดูความเหมาะสมที่จะได้ระดับแรงดันที่สูงที่สุด ทั้งนี้เพื่อผลของการที่จะได้ระดับแรงดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อให้ขนาดกระแสคงที่ แต่เราไม่สามารถกำหนดให้การจ่ายพลังงานเป็นแบบให้แรงดันคงที่ได้ทั้งนี้เนื่องจากการให้ระดับแรงดันคงที่จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากขึ้นเรื่อยๆเมื่อเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้มีปัญหาด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอเมื่อทำปฏิกิริยาไปนานๆ

การลดค่าความเค็มของน้ำทะเลโดยวิธีอิเล็กโทรลิซิสมีขีดจำกัดในการลดค่าความเค็มลงได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้นแม้ว่าจะใช้รูปแบบของเพลทที่เหมาะสมแล้วก็ตาม ในการที่เราจะลดค่าความเค็มของน้ำลงได้มากกว่านี้อีกหรือไม่ เราจะได้ศึกษาและทดลองในตอนที่ 2, 3, และ 4 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทดลองตอนที่ 2

เรื่องการทดลองทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยใช้วัสดุทดแทนเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน

วัตถุประสงค์ของการทดลองตอนที่ 2

1. เพื่อทดลองนำวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกมาใช้เป็นเยื่อกั้นแทนการใช้เยื่อแลกเปลี่ยนไอออนจริงซึ่งมีราคาสูงได้แก่ กระดาษลอกลาย, กระดาษขาวเทา, กระดาษแก้ว, ผ้าชามัวร์วิทยาศาสตร์, กระดาษฉนวนหม้อแปลง, แผ่นเซลโลเฟรม และกระดาษขาวเทาหุ้มด้วยแผ่นเซลโลเฟรม
2. เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลของเยื่อกั้นชนิดต่างๆที่นำมาใช้ เพื่อหาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง
3. เพื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลระหว่างวิธีการอิเล็กโทรลิซิสกับวิธีการอิเล็กโทรไดอะลิซิส

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 2

1. วาริแอกขนาด 10 A 1 ตัว
2. หม้อแปลงขนาด 220/55 V, 2 kVA 1 ตัว
3. ชุดวงจรบริดจ์เร็กติไฟเออร์ 1 ชุด
4. คาปาซิเตอร์ ขนาด 10,000 μF 50 V 2 ตัว
5. แผ่นเพลทเป็นแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 23×25 cm
6. ตู้กระจกขนาด 50×25×30 cm 1 ตู้
7. กระจกขนาด 24.5×30 cm พร้อมเจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm 4 แผ่น
8. กาวซิลิโคน 1 หลอด
9. น้ำทะเล 30 ลิตรต่อ 1 การทดลอง
10. วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นเยื่อกั้นตัดให้มีขนาด 24.5×30 cm
11. โวลท์มิเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับ อย่างละ 1 ตัว
12. แอมมิเตอร์กระแสตรงและกระแสสลับ อย่างละ 1 ตัว
13. สายต่อ รวมทั้งสายปากคีบ
14. เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity meter) 1 ตัว
15. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (PH meter) 1 ตัว
16. เครื่องวัดค่าดรรชนีการหักเหของแสง (Refractrometer) 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลองตอนที่ 2

1. ต่อวงจรการทดลอง ยึดแผ่นเพลทเข้ากับตู้กระจก นำแผ่นกระจกเจาะรู 2 แผ่นมาประกบกับแผ่นวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นเยื่อกั้น แล้วติดกาวซิลิโคนเข้ากับตู้ตามรูปโดยตู้กระจกจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆกัน
2. เติมน้ำทะเลลงในตู้จำนวน 30 ลิตร โดยแต่ละส่วนจะมีน้ำส่วนละ 10 ลิตร และทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ยังไม่ได้ผ่านการอิเล็กโทรไดอะไลซิสไว้ก่อน
3. เริ่มจ่ายกระแส โดยการปรับวาริแอกให้ได้ขนาดกระแส DC เป็น 20 แอมแปร์ทุกการทดลองในตอนที่ 2 นี้และรักษาระดับกระแสให้คงที่โดยการปรับวาริแอก
4. ทำการบันทึกค่าแรงดันและกระแสต่างๆแล้วบันทึกค่าลงในตาราง และเก็บตัวอย่างน้ำจากช่องกลางตามเวลาที่กำหนดไว้และในการเก็บตัวอย่างน้ำครั้งสุดท้ายให้เก็บน้ำจาก 2 ช่องข้างเอาไว้ด้วยโดยกรองน้ำผ่านกระดาษกรองเก็บไว้ในขวดให้ได้ตัวอย่างน้ำประมาณ 30 cc ต่อการเก็บหนึ่งครั้ง
5. นำตัวอย่างน้ำมาวัดค่าความนำไฟฟ้า, ค่าดรรชนีการหักเหของแสงและค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้ เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า, เครื่องวัดค่าดรรชนีการหักเหของแสงและเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างตามลำดับ และบันทึกผล

รูปที่ 3.26 การทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสในการทดลองตอนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 8

เรื่องการนำกระดาษลอกลายมาใช้เป็นเยื่อกั้น

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลของกระดาษลอกลาย

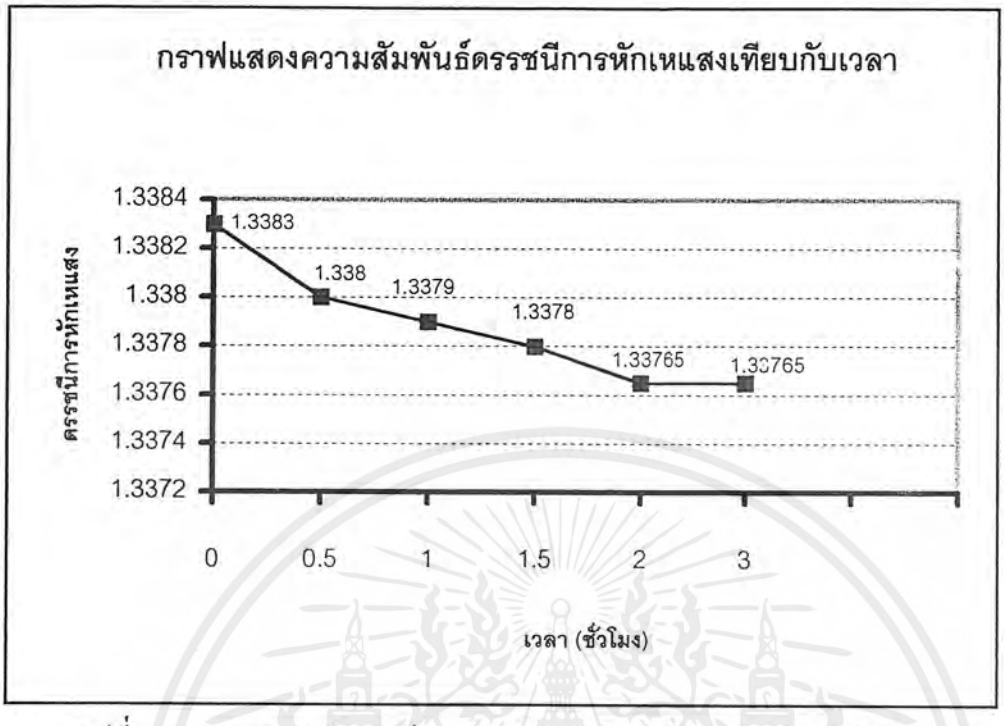
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23×25 Cm^2
- ระยะห่างเพลท 45 Cm

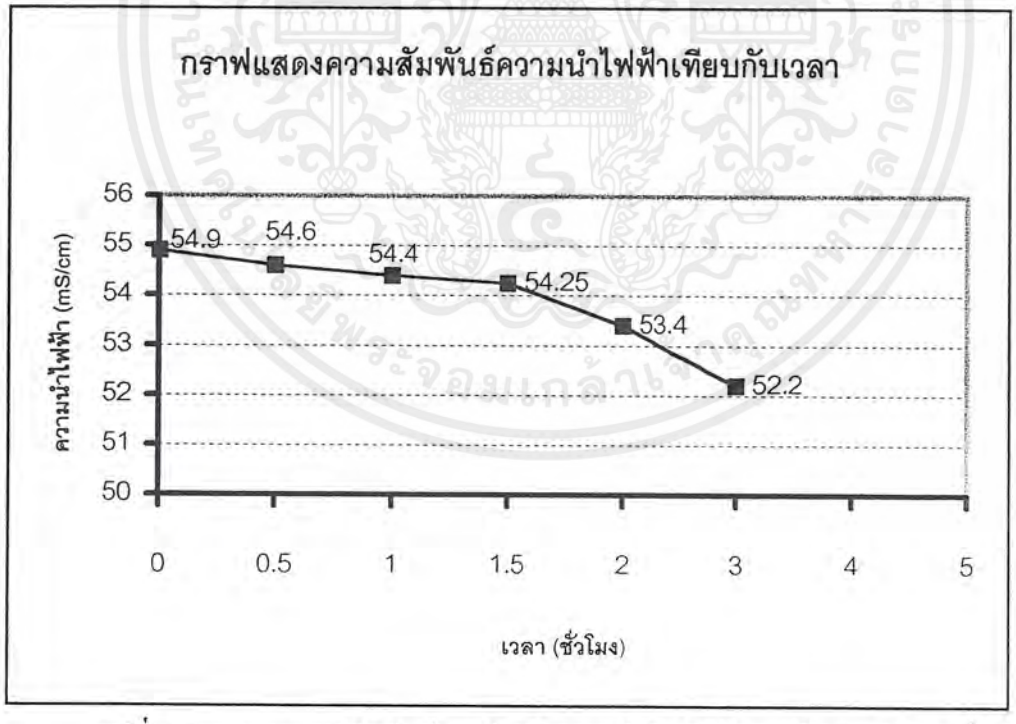
เวลา(ชม.)	V_{ac}(v)	V_{dc}(v)	PH	Refractro.	Conduc. (mS/cm)
0	39.57	45	7.72	1.3383	54.9
0.5	31.5	35	7.75	1.3380	54.6
1	28.05	30	7.68	1.3379	54.4
1.5	26.5	28	7.77	1.3378	54.25
2	24.82	26	8.12	1.33765	53.4
3	23.7	24.5	8.38	1.33765	52.2

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

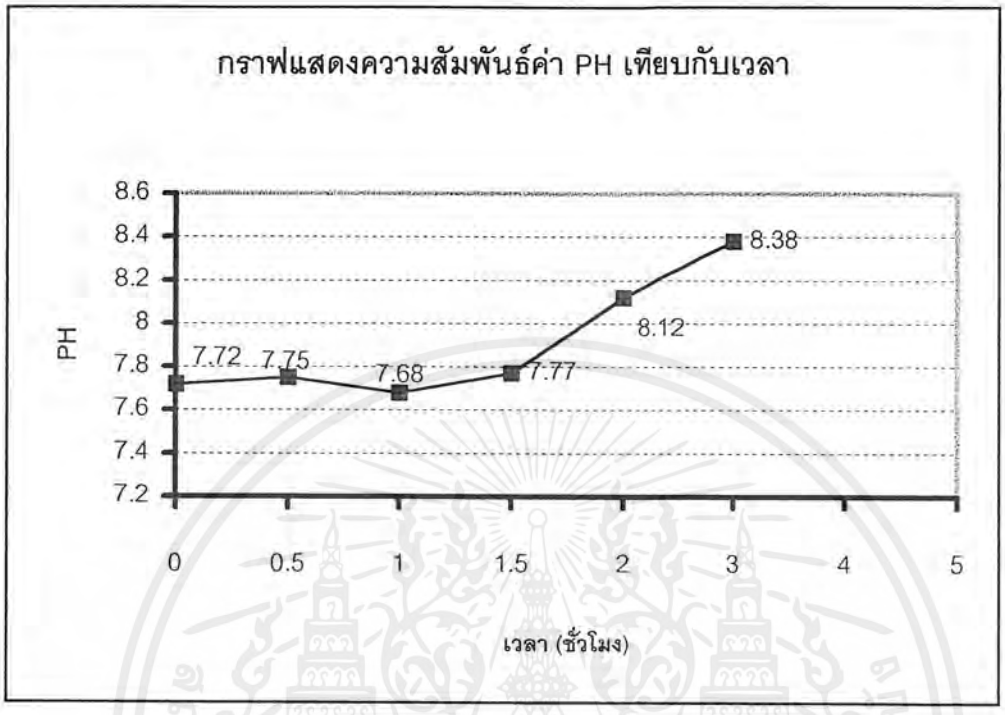


รูปที่ 3.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 8



รูปที่ 3.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 8

<u>สรุปผลการทดลองที่ 8</u>

1. จากผลการทดลองพบว่าค่าความเค็มของน้ำลดลง 15.11 เปอร์เซ็นต์ และค่าความนำไฟฟ้าลดลง 4.96 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่า 8.38 ซึ่งมีลักษณะเป็นด่างอ่อน
3. ขณะทำการทดลองทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสจะเกิดปฏิกิริยาที่บริเวณรอบๆเพลทบวกและลบโดยที่น้ำในช่องที่มีเพลทบวกจะมีสีค่อนข้างดำเล็กน้อย ส่วนที่เพลทลบจะเกิดฟองก๊าซลอยขึ้นมาจากน้ำมากและเมื่อฟองหายไปหมดน้ำจะมีลักษณะเป็นตะกอนขุ่นขาว และเมื่อทดลองไปประมาณ 1 ชั่วโมงจะเกิดตะกอนซึมเข้าไปในช่องกลางเนื่องจากเกิดการรั่วซึมของน้ำระหว่างช่องข้างกับช่องกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 9

เรื่องการนำกระดาษขาวเทามาใช้เป็นเยื่อกั้น

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลของกระดาษขาวเทา

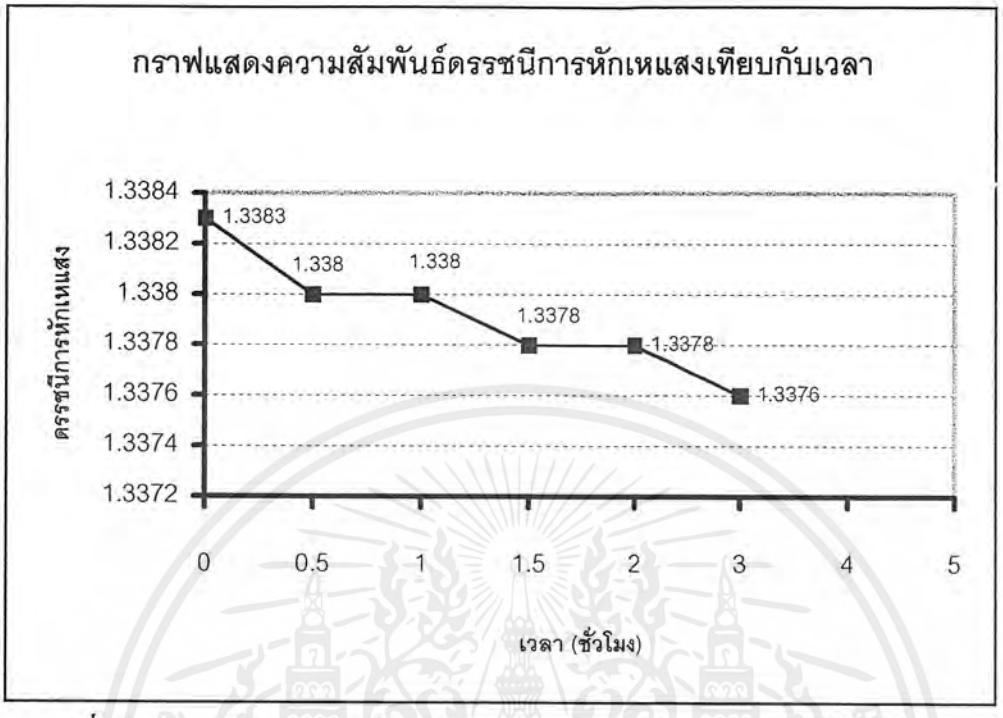
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23×25 Cm^2
- ระยะห่างเพลท 45 Cm

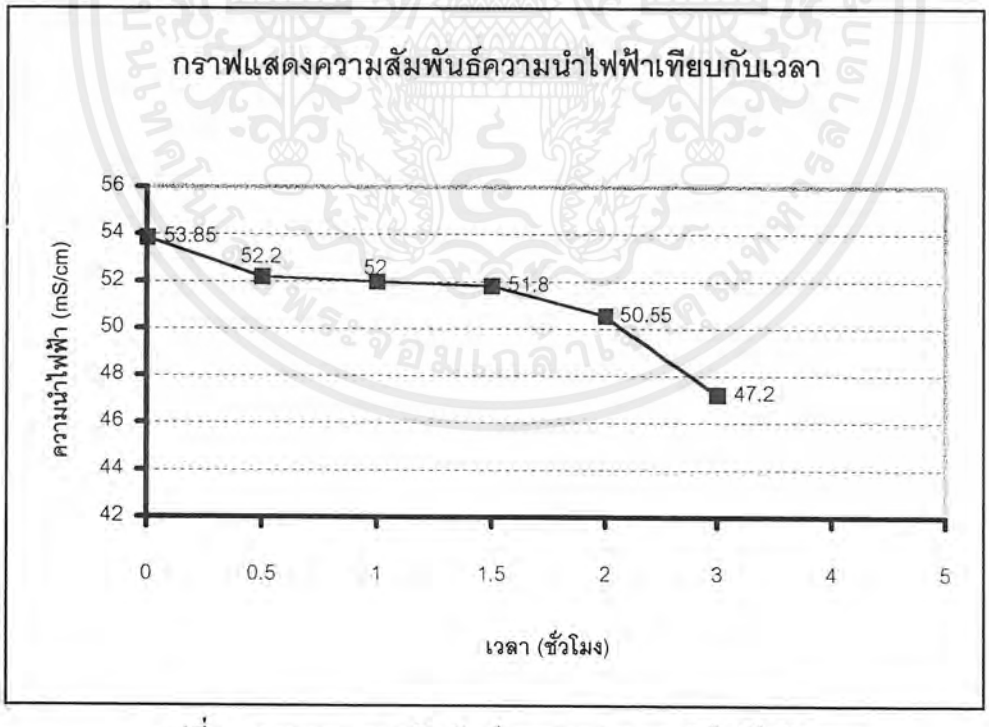
เวลา(ชม.)	V_{ac}(v)	V_{dc}(v)	PH	Refractory	Conduc. (mS/cm)
0	39.2	45	7.62	1.3383	53.85
0.5	32.8	37	7.95	1.3380	52.2
1	34.0	37.5	7.60	1.3380	52
1.5	33.3	37	7.55	1.3378	51.8
2	33.9	37.7	7.52	1.3378	50.55
3	31.2	34	6.54	1.3376	47.2

ตารางที่ 3.10 ผลการทดลองที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

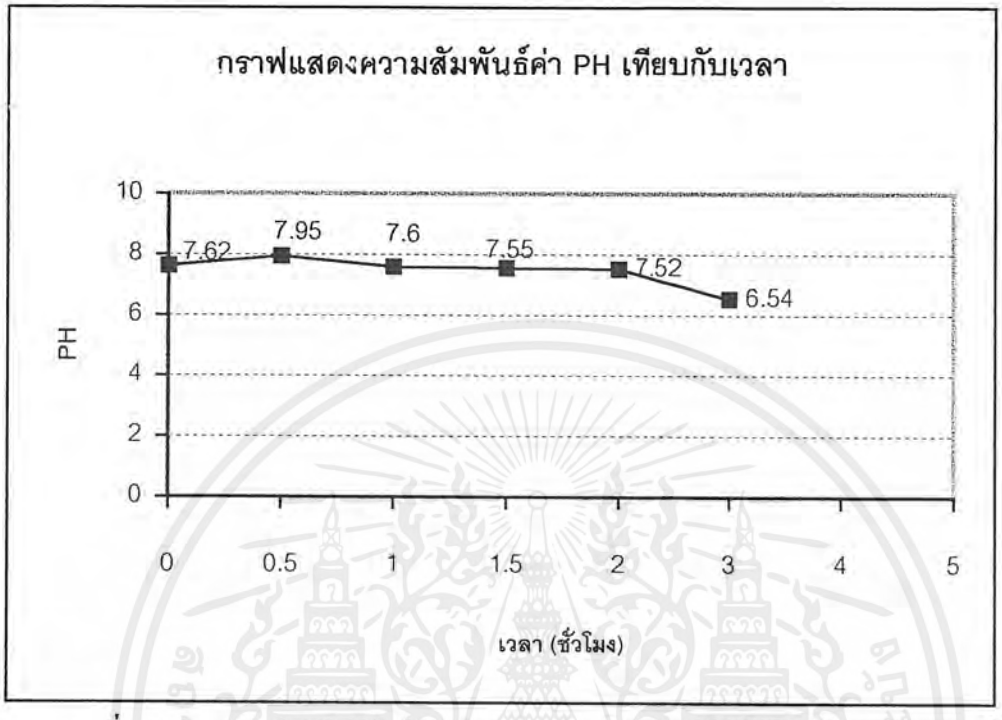


รูปที่ 3.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 9



รูปที่ 3. 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. 32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 9

<u>สรุปผลการทดลองที่ 9</u>

1. จากผลการทดลองพบว่าค่าความเค็มของน้ำลดลง 16.28 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มในการลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนค่าความนำไฟฟ้าลดลงได้ 14.23 เปอร์เซ็นต์และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน
2. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำอยู่ที่ 6.54 คือเป็นกรดอ่อน
3. ลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาจะเหมือนกับการใช้กระดาษลอกลายเป็นเยื่อกั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 10

เรื่องการนำกระดาษแก้วมาใช้เป็นเยื่อกั้น

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลของกระดาษแก้ว

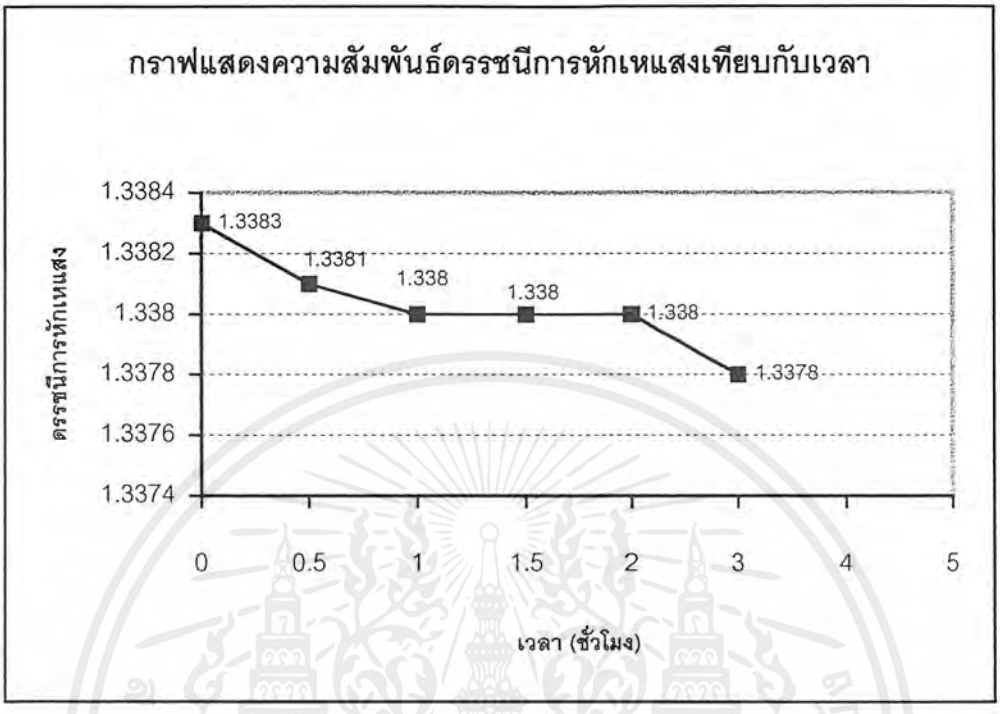
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23×25 Cm^2
- ระยะห่างเพลท 45 Cm

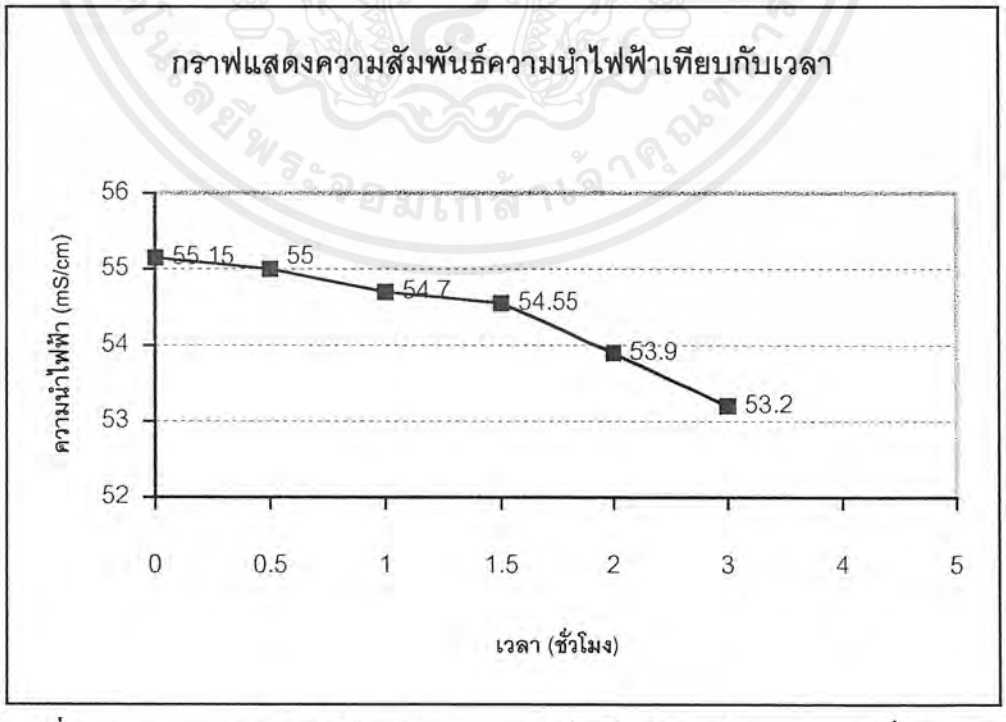
เวลา(ชม.)	V_{ac}(v)	V_{dc}(v)	PH	Refractro.	Conduc. (mS/cm)
0	35.5	39.8	7.64	1.3383	55.15
0.5	31.6	34.7	7.67	1.3381	55.0
1	27.9	29.7	7.82	1.3380	54.7
1.5	26.5	28.0	7.91	1.3380	54.55
2	25.0	26.2	9.03	1.3380	53.9
3	24.2	24.9	11.06	1.3378	53.2

ตารางที่ 3.11 ผลการทดลองที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

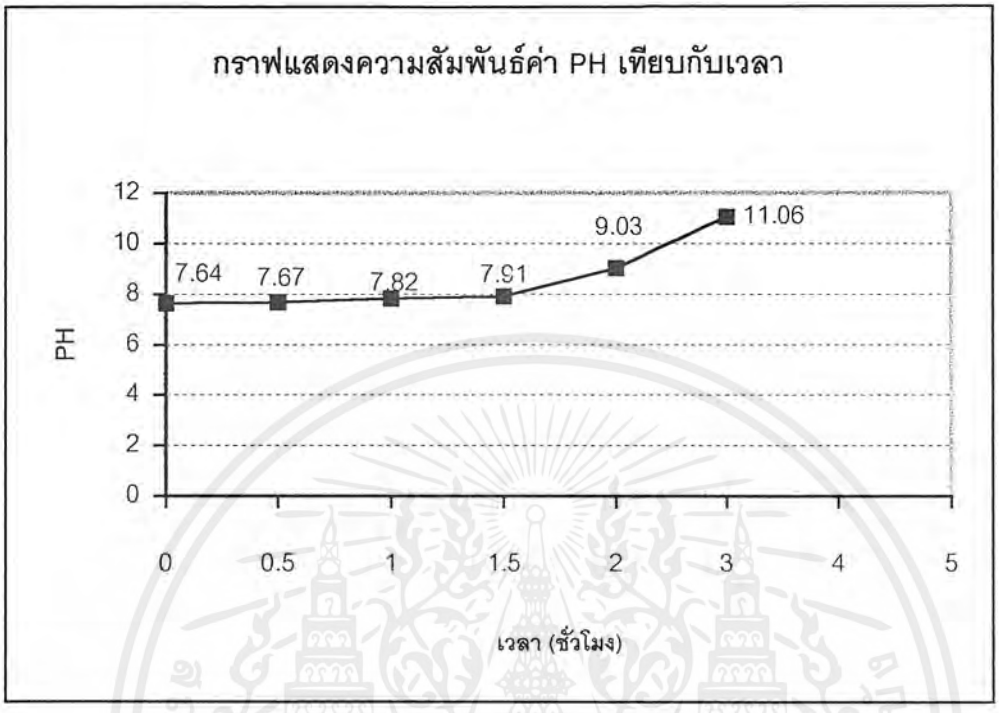


รูปที่ 3. 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 10



รูปที่ 3. 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 10

<u>สรุปผลการทดลองที่ 10</u>

1. จากผลการทดลองพบว่าค่าความเค็มของน้ำลดลง 11.63 เปอร์เซ็นต์ และค่าความนำไฟฟ้าลดลง 3.7 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่า 11.06 แสดงว่าน้ำมีสภาพเป็นด่างสูง
3. เมื่อใช้กระดาษแก้วเป็นเยื่อกั้นจะได้น้ำที่มีสภาพเป็นด่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 11

เรื่องการนำผ้าชามัวร์วิทยาศาสตร์มาใช้เป็นเยื่อกั้น

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลของผ้าชามัวร์วิทยาศาสตร์

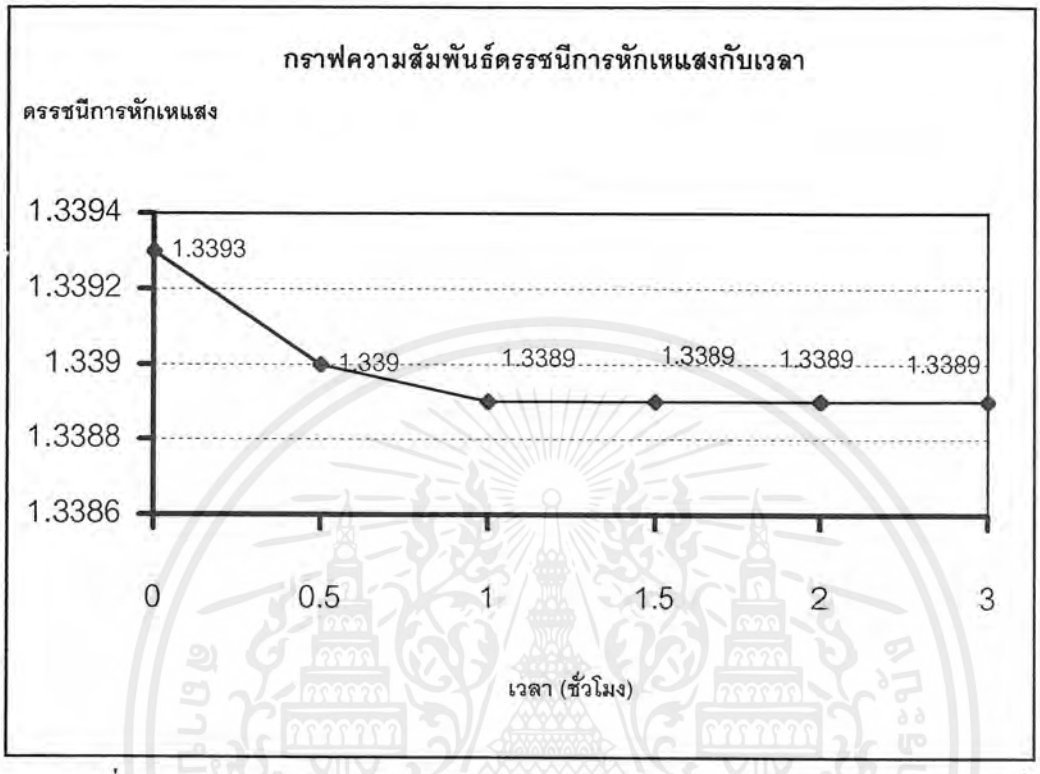
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23X25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 45 cm

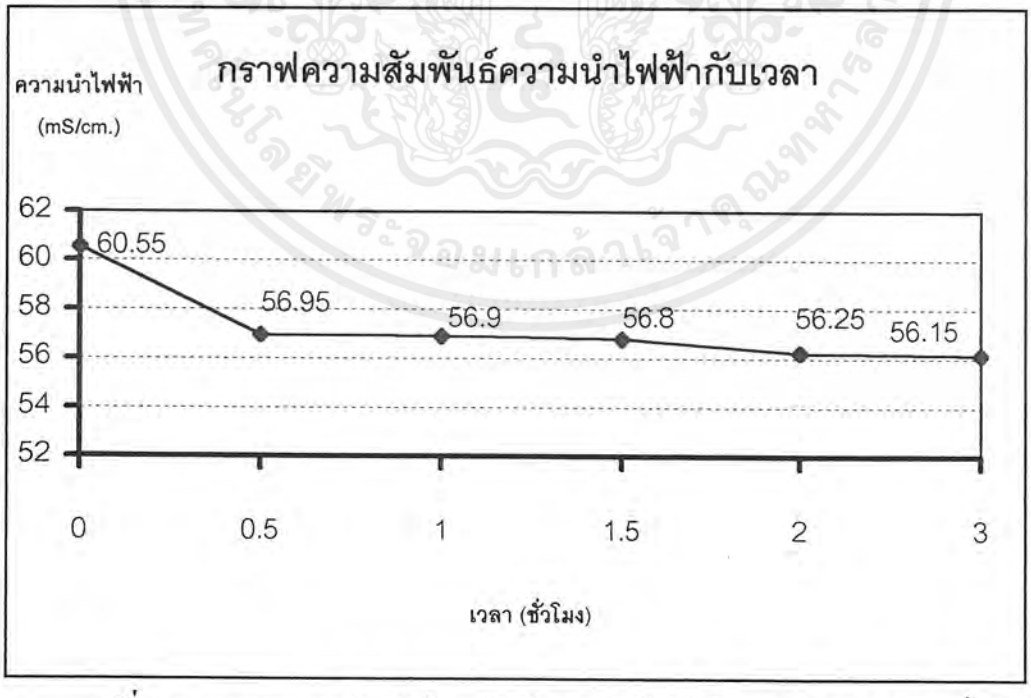
เวลา	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$	Conduc.	Refrac.	PH.
(ชม.)	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)	(W)	(ms/cm)		
0	141	8	35	39	1128	60.55	1.3393	7.17
0.5	126	7.8	32	33	982.8	56.95	1.3390	7.33
1	115	7.6	27	29	874	56.9	1.3389	7.76
1.5	114	7.8	27	28.5	889.2	56.8	1.3389	8.51
2	108	7.6	26	27	820.8	56.25	1.3389	9.05
3	103	7.6	24	25.5	782.8	56.15	1.3389	10.63
+						70.9	1.342	3.68
-						77.8	1.340	12.71

ตารางที่ 3.12 ผลการทดลองที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

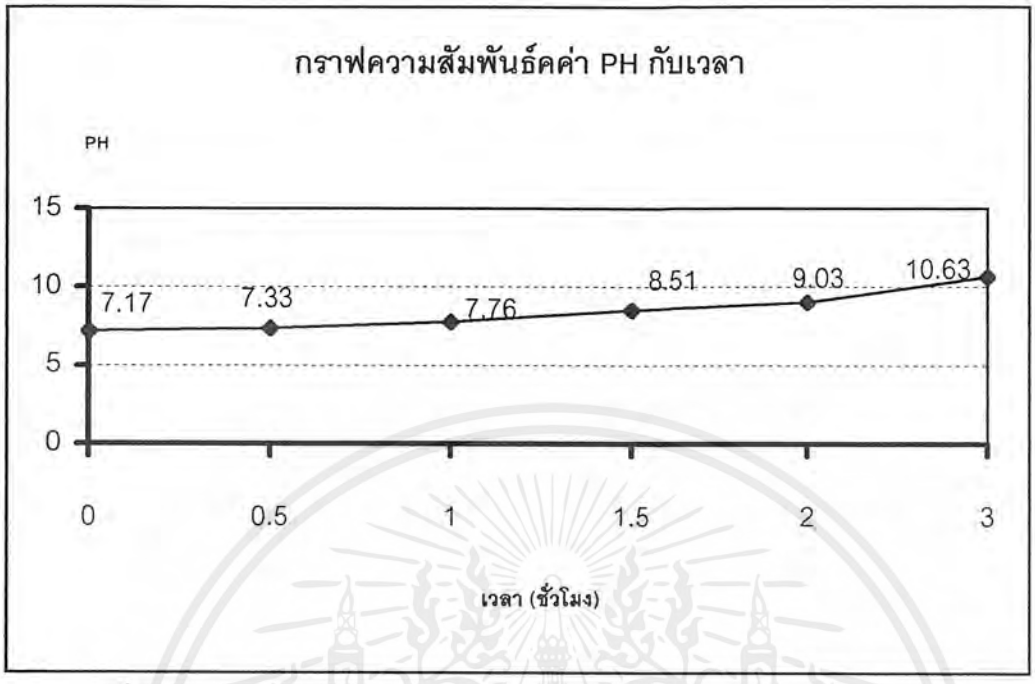


รูปที่ 3. 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 11



รูปที่ 3. 37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 11

<u>สรุปผลการทดลองที่ 11</u>

1. จากผลการทดลองพบว่าค่าความเค็มของน้ำทะเลลดลง 7.54 เปอร์เซ็นต์ในชั่วโมงแรกเท่านั้น หลังจากนั้นจะมีค่าคงที่
2. ค่าความนำไฟฟ้าลดลง 7.32 เปอร์เซ็นต์ โดยจะลดลงมากในครึ่งชั่วโมงแรกจากนั้นจะลดลงน้อยลง
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ 10.63 มีสภาพเป็นด่างค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 12

เรื่องการนำกระดาษฉนวนหม้อแปลงมาใช้เป็นเยื่อกั้น

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลของกระดาษฉนวนหม้อแปลง

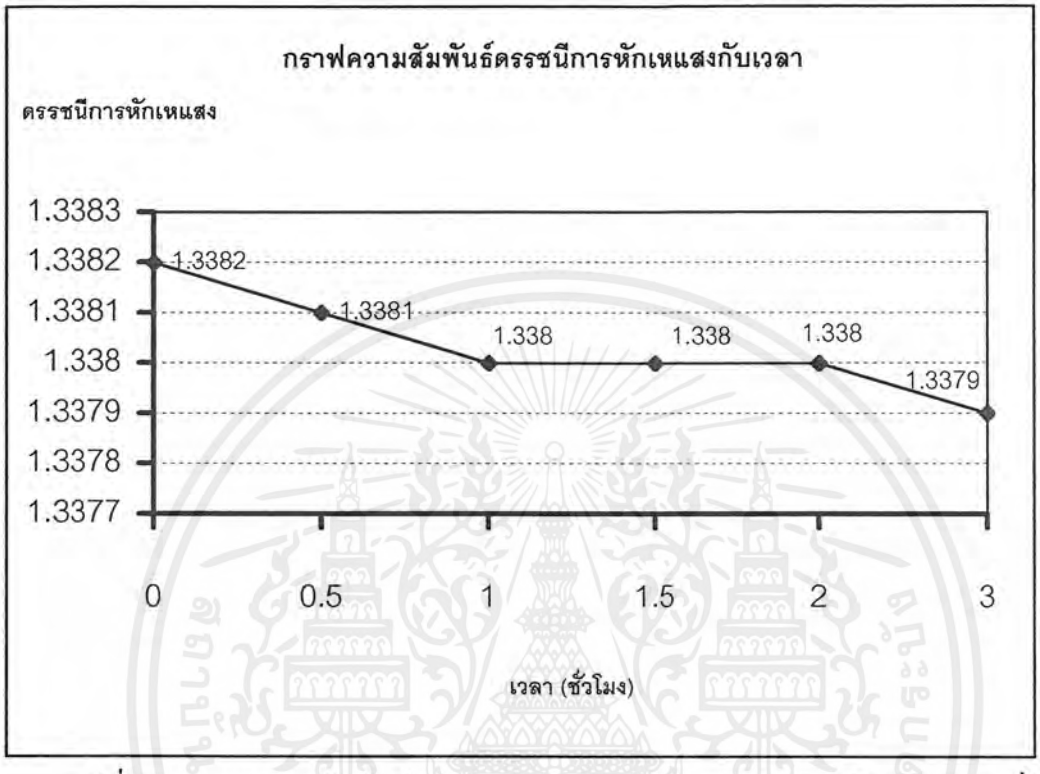
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23x25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 45 cm

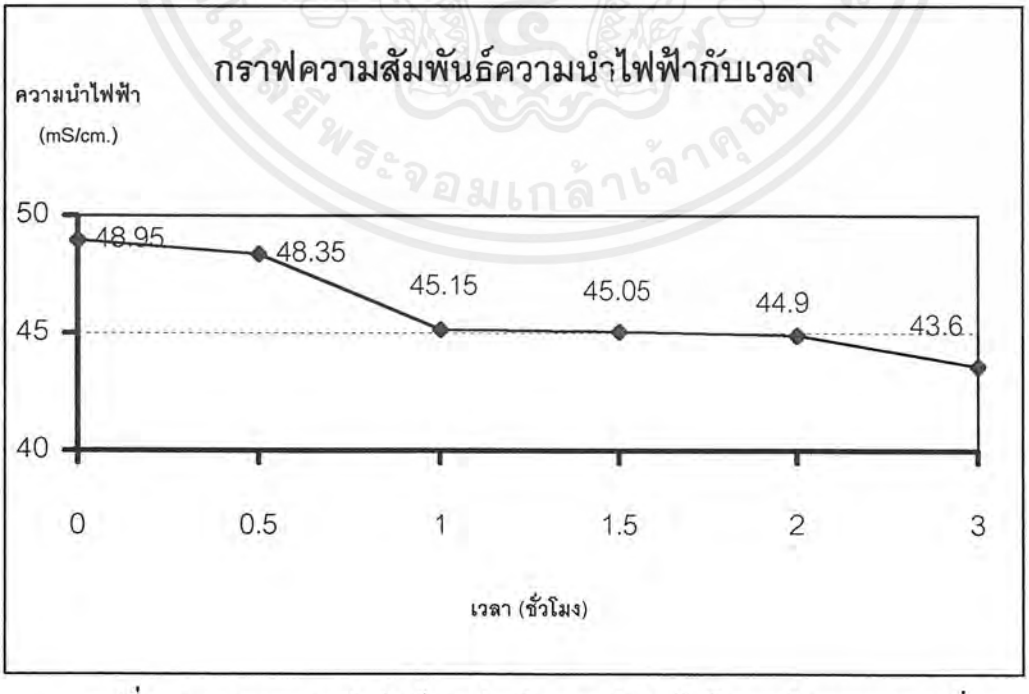
เวลา	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$	Conduc.	Refrac.	PH
(ชม.)	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)	(W)	(mS/cm)		
0	218	6.0	51	46.5	1308	48.35	1.3382	8.04
0.5	170	5.9	42	36	1003	46.25	1.3381	8.05
1	164	5.9	40	34	967	45.15	1.3380	9.31
1.5	190	5.9	47	40	1121	45.05	1.3380	9.39
2	178	5.9	43	37	1050	44.9	1.3380	10.79
3	188	5.9	46	40	1109	43.6	1.3379	11.68
+						63.7	1.341	3.59
-						52.1	1.3395	12.35

ตารางที่ 3.13 ผลการทดลองที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

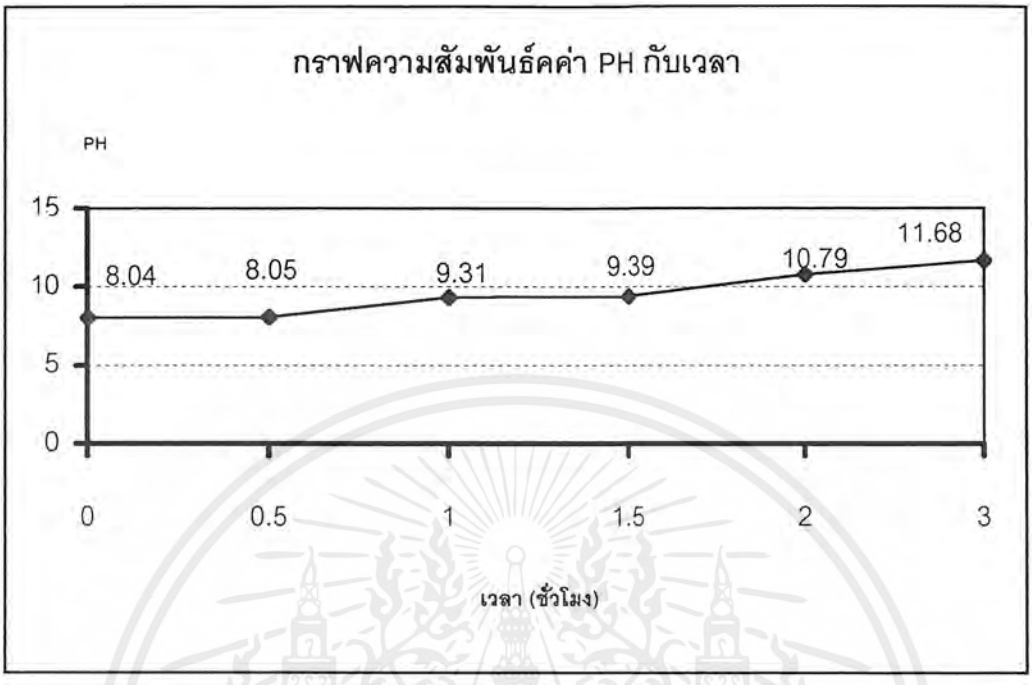


รูปที่ 3.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 12



รูปที่ 3.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 12

<u>สรุปผลการทดลองที่ 12</u>

1. จากผลการทดลองพบว่าค่าความเค็มของน้ำลดลง 7.14 เปอร์เซ็นต์โดยจะลดลงได้มากในชั่วโมงแรก
2. ค่าความนำไฟฟ้าจะลดลง 11.04 เปอร์เซ็นต์ โดยจะลดลงได้มากภายในชั่วโมงแรกเช่นเดียวกัน
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ 11.68 คือมีสภาพเป็นด่างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 13

เรื่องการนำแผ่นเซลโลเฟรมมาใช้เป็นเยื่อกั้น

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลของแผ่นเซลโลเฟรม

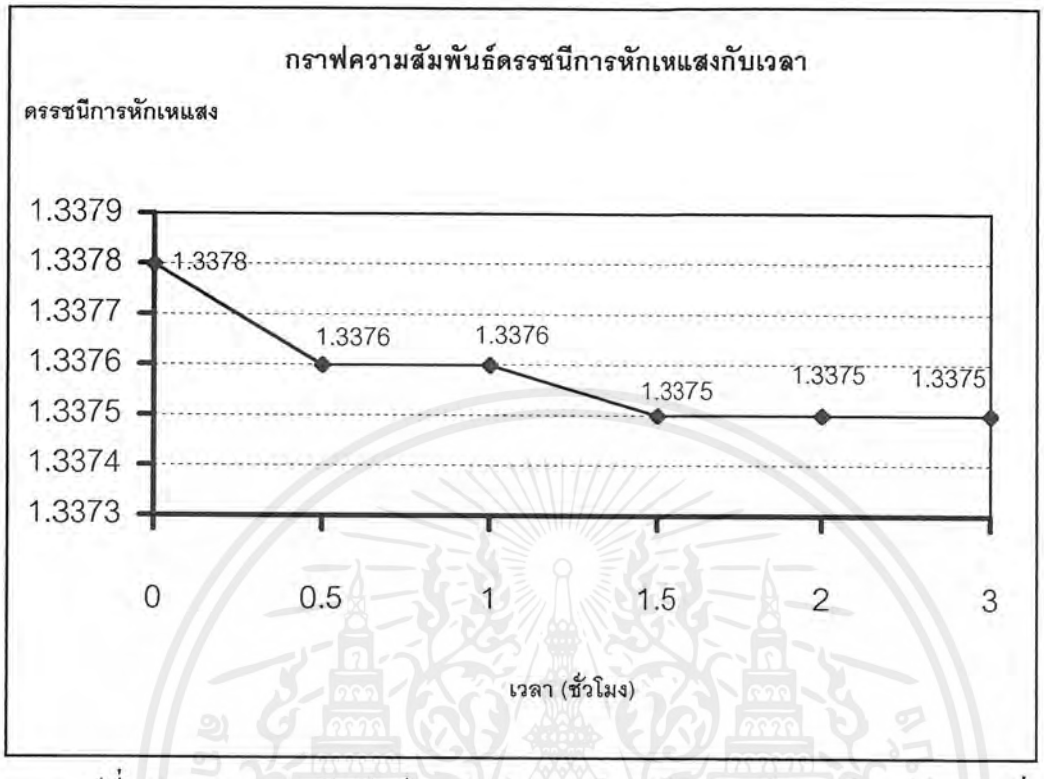
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23x25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 45 cm

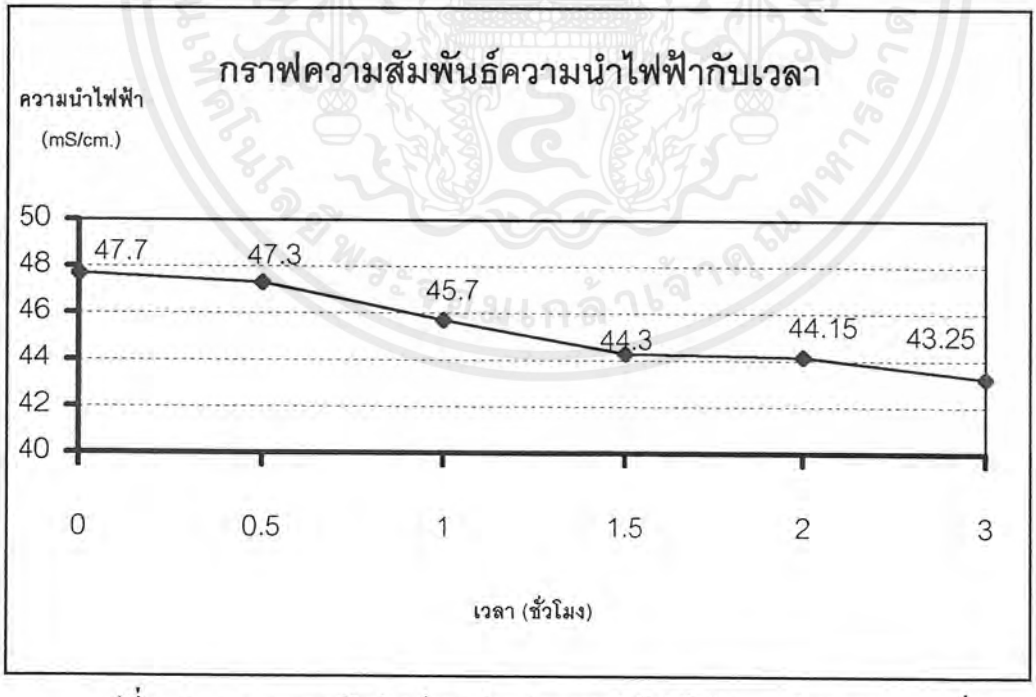
เวลา	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$	Conduc.	Refrac.	PH.
(ชม.)	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)	(W)	(ms/cm)		
0	236	6.05	56	51	1427	47.7	1.3378	8.23
0.5	176	5.9	43	37	1038	47.3	1.3376	9.05
1	158	5.9	38	33	932	45.7	1.3376	9.17
1.5	147	5.9	35.5	30	867	44.3	1.3375	9.41
2	140	5.85	34	29	819	44.15	1.3375	10.84
3	136	5.8	33	28	789	43.25	1.3375	11.72
+						55.6	1.3402	3.58
-						53.5	1.34	12.36

ตารางที่ 3.14 ผลการทดลองที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

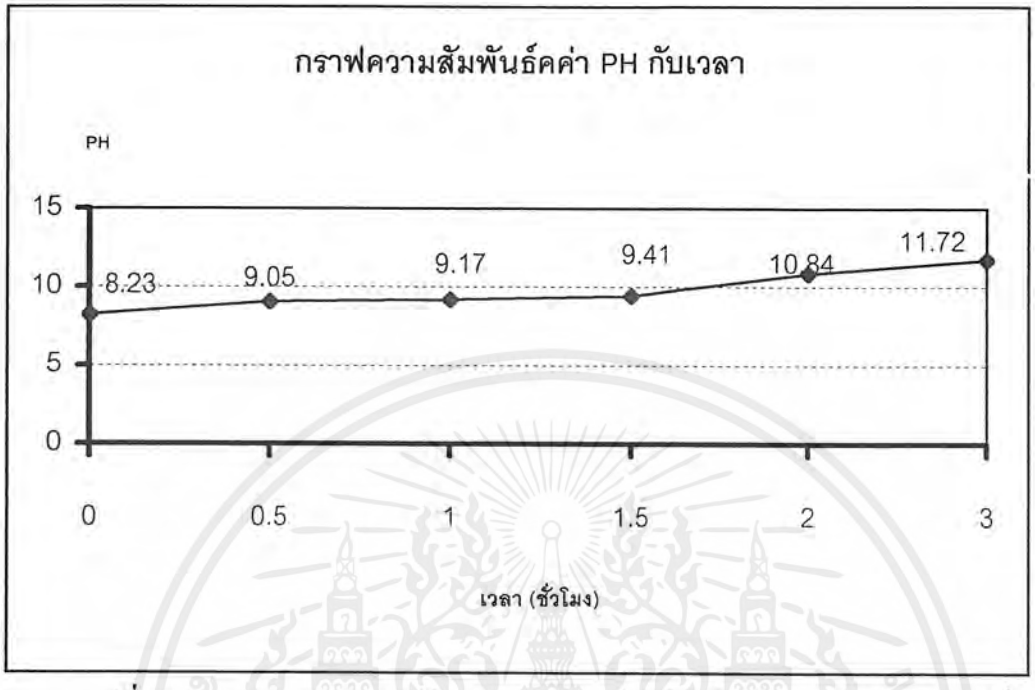


รูปที่ 3.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 13



รูปที่ 3.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 13

<u>สรุปผลการทดลองที่ 13</u>

1. จากผลการทดลองพบว่าค่าความเค็มของน้ำทะเลลดลง 7.89 เปอร์เซ็นต์โดยจะลดลงเรื่อยๆจนถึง 1.5 ชั่วโมงจากนั้นจะเริ่มคงที่
2. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำลดลง 9.42 เปอร์เซ็นต์โดยมีแนวโน้มในการลดเช่นเดียวกับค่าความนำไฟฟ้า
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ 11.72 คือมีสภาพเป็นด่างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 14

เรื่องการนำกระดาษขาวเทาหุ้มด้วยแผ่นเซลโลเฟรมมาใช้เป็นเยื่อกั้น

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลของกระดาษขาวเทาหุ้มด้วยแผ่นเซลโลเฟรม

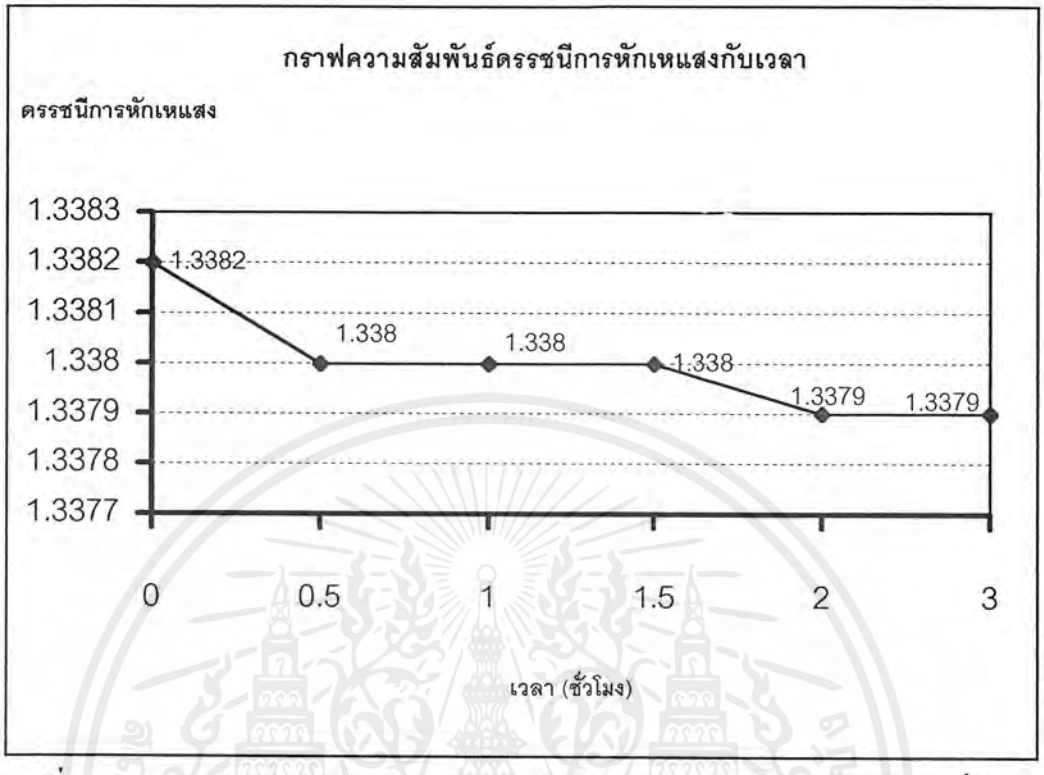
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท $23 \times 25 cm^2$
- ระยะห่างเพลท 45 cm

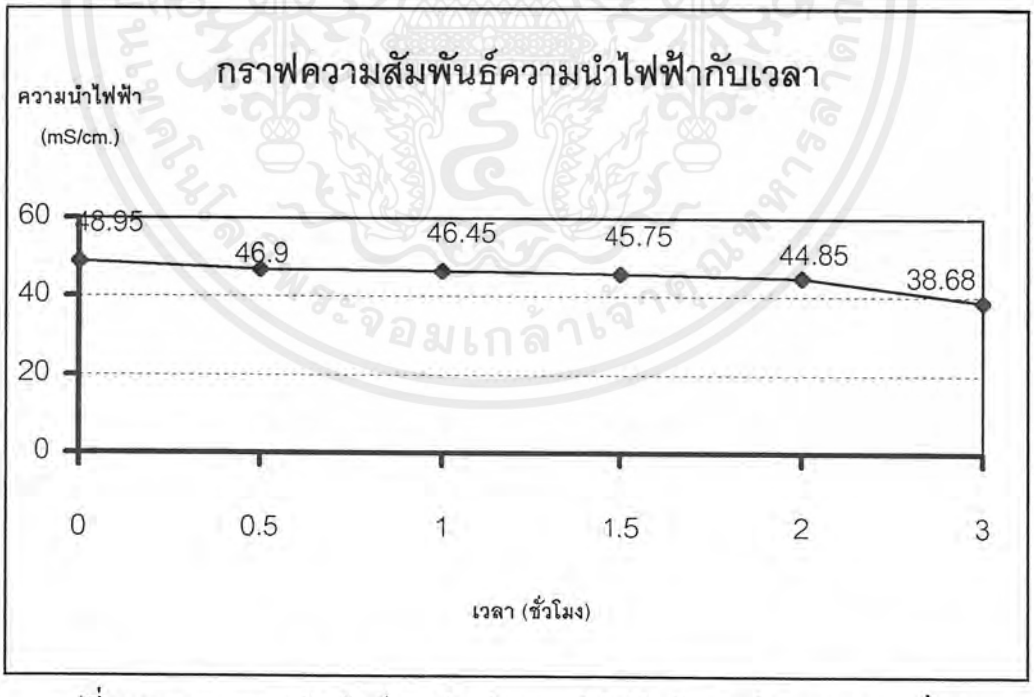
เวลา (ชม.)	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$ (W)	Conduc. (ms/cm)	Refrac.	PH.
	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)				
0	225	6.1	56	47	1372	48.95	1.3382	7.22
0.5	185	6.2	45	39	1147	46.9	1.3380	7.32
1	162	6.2	39	33	1004	46.45	1.3380	7.43
1.5	147	6.2	35	30	911	45.75	1.3380	9.13
2	138	6.2	33	28	855	44.85	1.3379	9.81
3	130	6.1	31	26	793	39.68	1.3379	10.79
+						72.4	1.3410	2.42
-						72.6	1.3392	12.76

ตารางที่ 3.15 ผลการทดลองที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

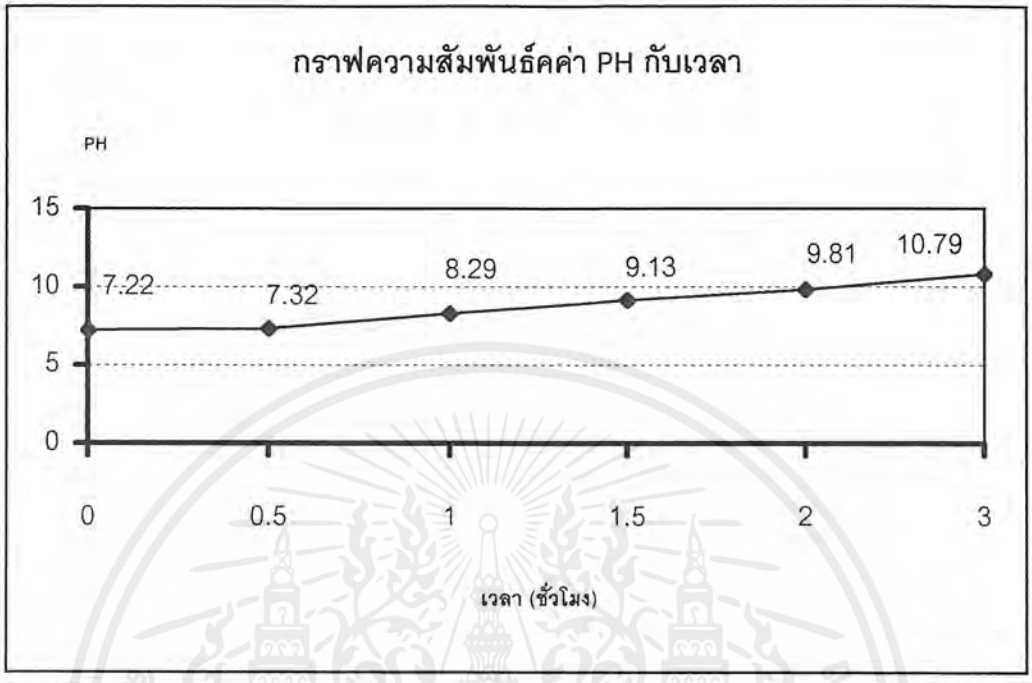


รูปที่ 3.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 14



รูปที่ 3.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 14

<u>สรุปผลการทดลองที่ 14</u>

1. จากการทดลองนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 17 เนื่องจากใช้แผ่นเพลทเป็นสแตนเลสเหมือนกัน ค่าความเค็มของน้ำลดลงได้มากในครึ่งชั่วโมงแรกและเริ่มมีค่าคงที่จนเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงจึงมีค่าลดลงอีกครั้ง โดยค่าความเค็มของน้ำลดลงได้ 7.14 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำจะลดลงได้ 17.6 เปอร์เซ็นต์
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ 10.79 คือมีสภาพเป็นด่างค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

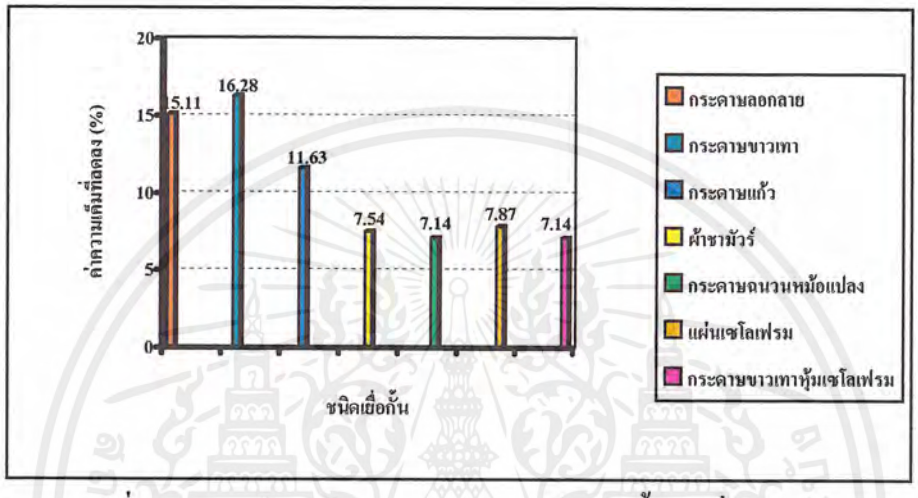
บทสรุปของการทดลองตอนที่ 2

จากการทดลองทั้งหมดในตอนที่ 2 นี้จะได้วัสดุที่มีประสิทธิภาพในการลดค่าความเค็มมากที่สุดคือกระดาษขาวเทาเมื่อนำมาใช้เป็นเยื่อกั้น จากผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่าค่าความเค็มของน้ำทะเลในช่องกลางลดลงส่วนค่าความเค็มของน้ำทะเลในช่องที่มีเพลทบวกและช่องที่มีเพลทลบมีค่าความเค็มเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าเกิดการถ่ายเทไอออนจากช่องกลางไปยังช่องด้านข้างทั้งสองแม้ว่าจะไม่ใช่เยื่อแลกเปลี่ยนไอออนจริงก็ตาม โดยแสดงการเปรียบเทียบต่างๆดังตาราง

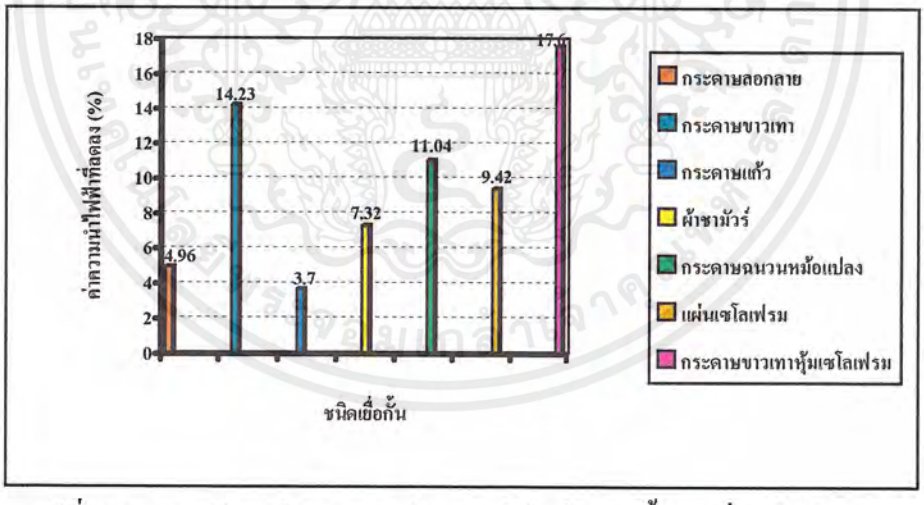
ชนิดของเยื่อกั้น	ค่าความเค็มของน้ำที่ลดลง (%)	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำที่ลดลง (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)
กระดาษลอกลาย	15.11	4.96	2.56
กระดาษขาวเทา	16.28	14.23	3.21
กระดาษแก้ว	11.63	3.7	2.52
ผ้าชามัวร์	7.54	7.32	2.66
กระดาษฉนวนหม้อแปลง	7.14	11.04	3.22
แผ่นเซลโลเฟรม	7.89	9.42	2.78
กระดาษขาวเทาหุ้มด้วยแผ่นเซลโลเฟรม	7.14	17.6	2.91

ตารางที่ 3.16 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเยื่อกั้นชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.48 การเปรียบเทียบการลดค่าความเค็มของน้ำของเชื้อชนิดต่างๆ



รูปที่ 3.49 การเปรียบเทียบการลดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำของเชื้อชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลองตอนที่ 3

เรื่องการหาชนิดของเพลทที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ของการทดลองตอนที่ 3

เพื่อหาคู่ของโลหะที่ดีที่สุดที่จะนำมาใช้เป็นแผ่นเพลทขั้วบวกและแผ่นเพลทขั้วลบ เนื่องจากโลหะแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนหรือเสียอิเล็กตรอนแตกต่างกัน โดยเลือกใช้เฉพาะโลหะที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกได้แก่ อะลูมิเนียม, สังกะสี และสแตนเลส โดยจะเลือกใช้วิธีอิเล็กโทรไดอะลิซิสในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 3

เหมือนกับการทดลองตอนที่ 2 แต่เพิ่มแผ่นเพลทเป็นแผ่นอลูมิเนียม, แผ่นสังกะสี, และแผ่นสแตนเลส

วิธีการทดลองตอนที่ 3

เหมือนกับการทดลองตอนที่ 2

รูปที่ 3.50 วิธีการอิเล็กโทรลิซิสที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 15

เรื่องการใช้ทั้งเพลทบวกและเพลทลบเป็นอะลูมิเนียม

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำและคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆของน้ำเมื่อใช้ทั้งเพลทบวกและเพลทลบเป็นอะลูมิเนียม โดยใช้เยื่อกั้นเป็นแผ่นเซลโลเฟรม โดยค่าที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับการทดลองต่อไป

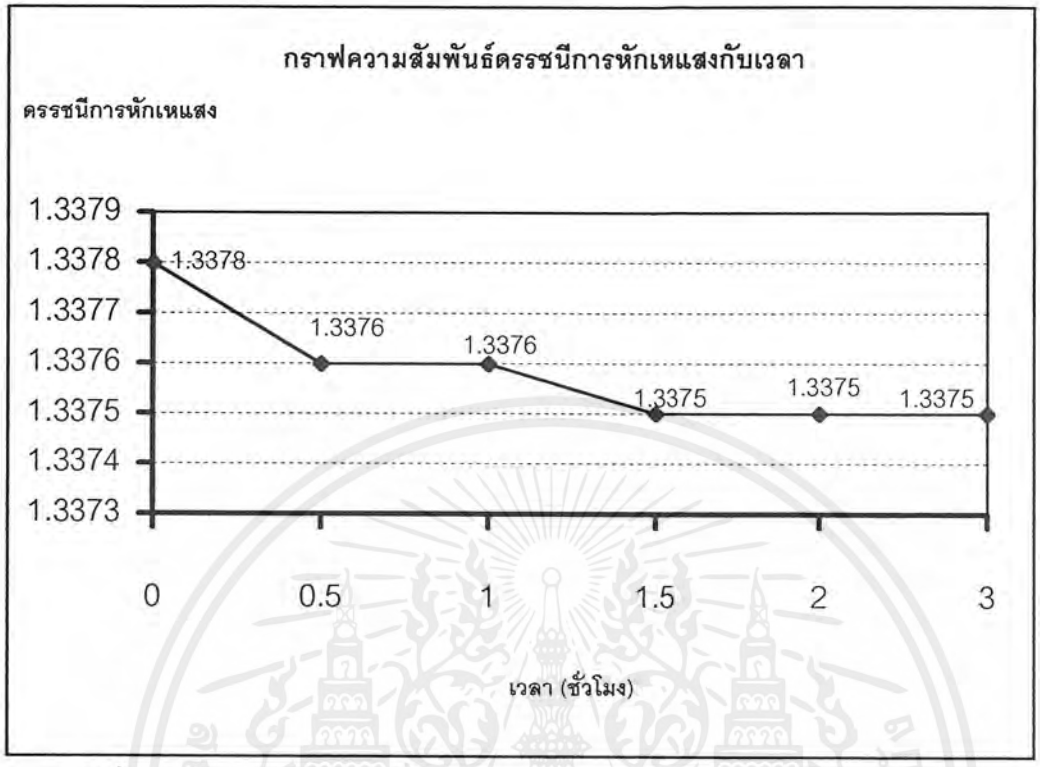
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23x25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm
- ชนิดของเยื่อกั้น แผ่นเซลโลเฟรม
- เพลทบวก อะลูมิเนียม เพลทลบ อะลูมิเนียม

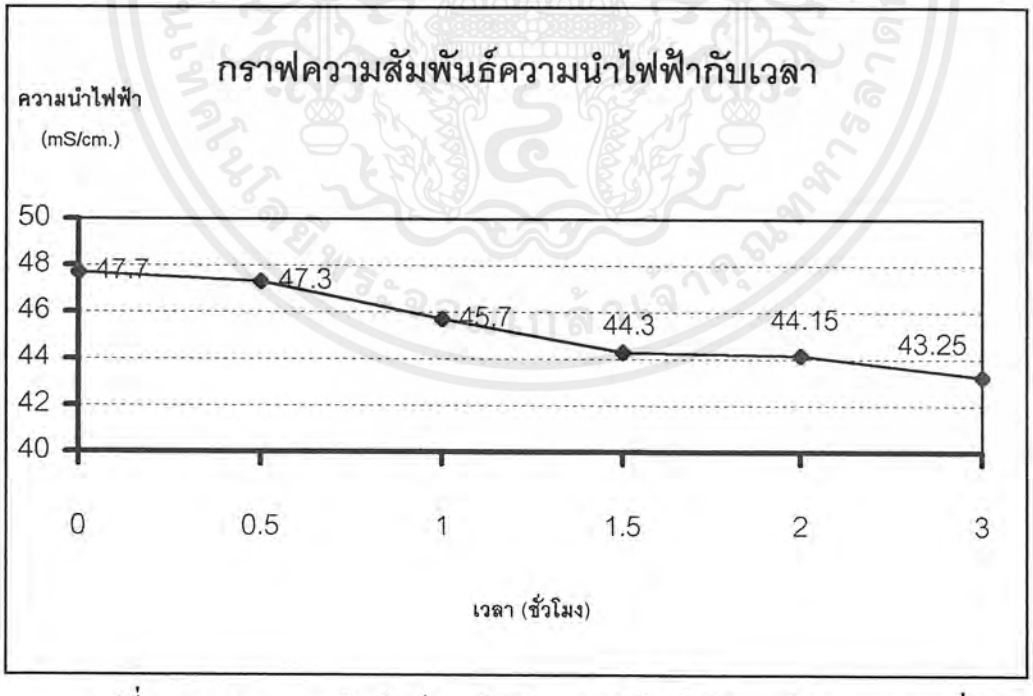
เวลา	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$	Conduc.	Refrac.	PH.
(ชม.)	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)	(W)	(ms/cm)		
0	236	6.05	56	51	1427	47.7	1.3378	8.23
0.5	176	5.9	43	37	1038	47.3	1.3376	9.05
1	158	5.9	38	33	932	45.7	1.3376	9.17
1.5	147	5.9	35.5	30	867	44.3	1.3375	9.41
2	140	5.85	34	29	819	44.15	1.3375	10.84
3	136	5.8	33	28	789	43.25	1.3375	11.72
+						55.6	1.3402	3.58
-						53.5	1.34	12.36

ตารางที่ 3.17 ผลการทดลองที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

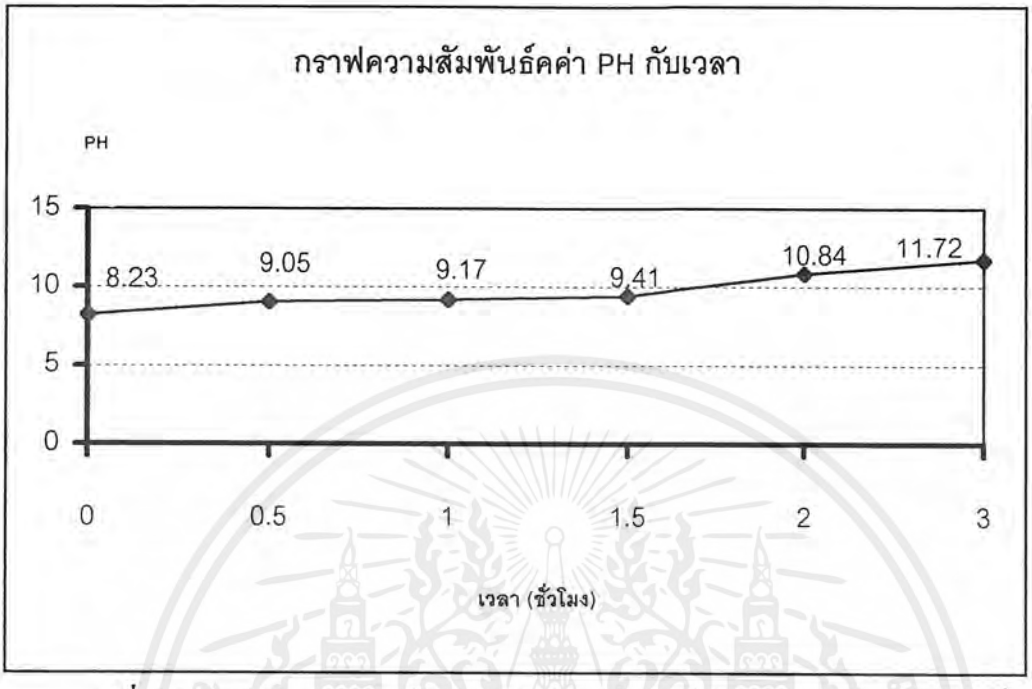


รูปที่ 3.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 15



รูปที่ 3.52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 15

<u>สรุปผลการทดลองที่ 15</u>

1. จากผลการทดลองพบว่าค่าความเค็มของน้ำทะเลลดลง 7.89 เปอร์เซ็นต์โดยจะลดลงเรื่อยๆจนถึง 1.5 ชั่วโมงจากนั้นจะเริ่มคงที่
2. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำลดลง 9.42 เปอร์เซ็นต์โดยมีแนวโน้มในการลดเช่นเดียวกับค่าความนำไฟฟ้า
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ 11.72 คือมีสภาพเป็นด่างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 16

เรื่องการใช้ทั้งเพลทบวกและเพลทลบเป็นสแตนเลส

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำและคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆของน้ำเมื่อใช้ทั้งเพลทบวกและเพลทลบเป็นแผ่นสแตนเลส โดยใช้เยื่อกั้นเป็นแผ่นเซลโลเฟรม โดยค่าที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับการทดลองต่อไป

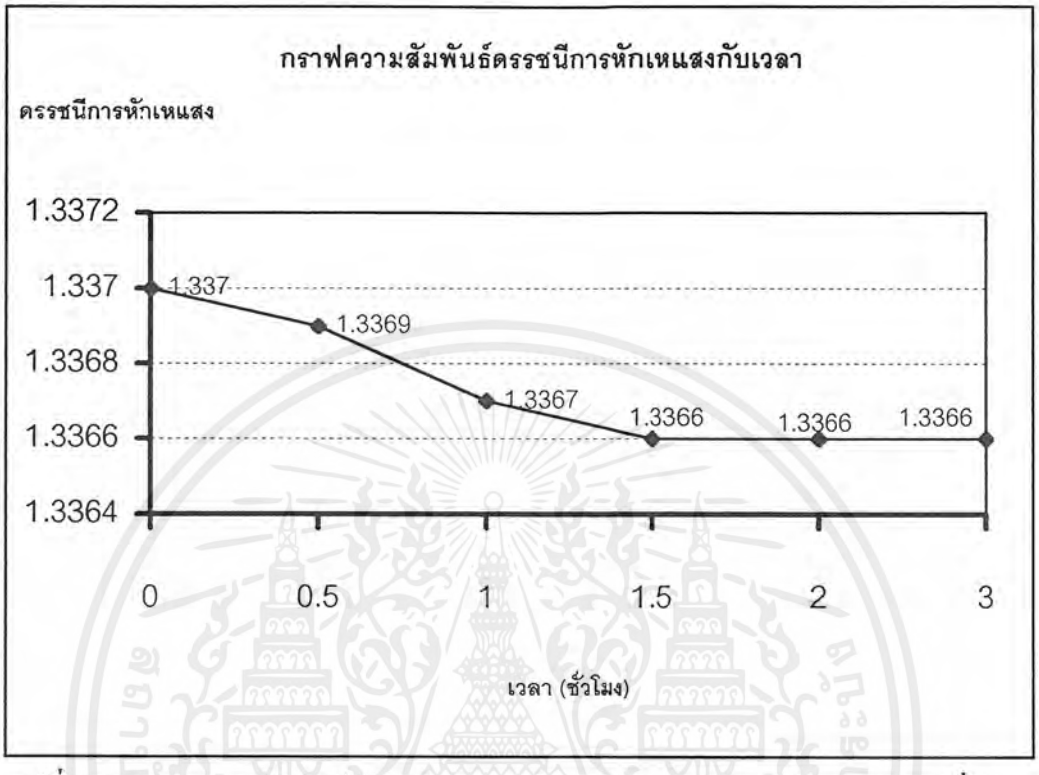
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23X25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm
- เพลทบวก สแตนเลส เพลทลบ สแตนเลส
- ชนิดของเยื่อกั้น แผ่นเซลโลเฟรม

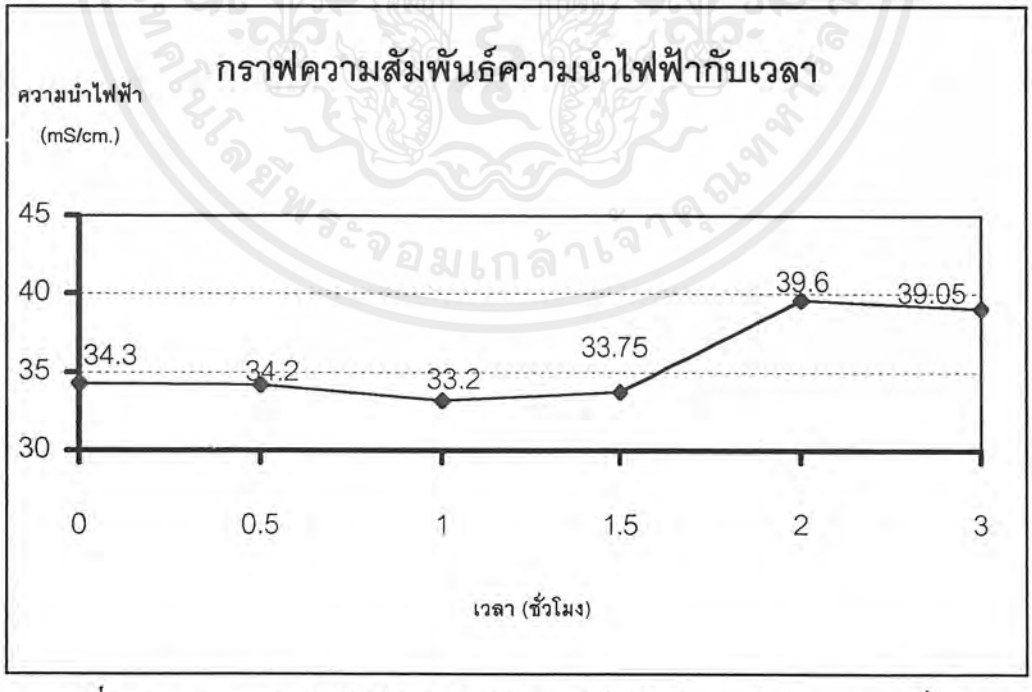
เวลา	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$	Conduc.	Refrac.	PH.
(ชม.)	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)	(W)	(ms/cm)		
0	250	5.9	62	49.5	1475	34.33	1.337	8.15
0.5	205	6.2	49.5	42.5	1271	34.2	1.3369	8.35
1	177	6.2	43	33	1097	33.2	1.3367	9.47
1.5	165	6.2	39.5	32	1023	33.75	1.3366	10.66
2	157	6.2	37.5	30	973	39.6	1.3366	12.05
3	155	6.1	32.5	27	945	39.05	1.3366	12.46
+						54.1	1.3397	2.59
-						64.7	1.3382	13.01

ตารางที่ 3.18 ผลการทดลองที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

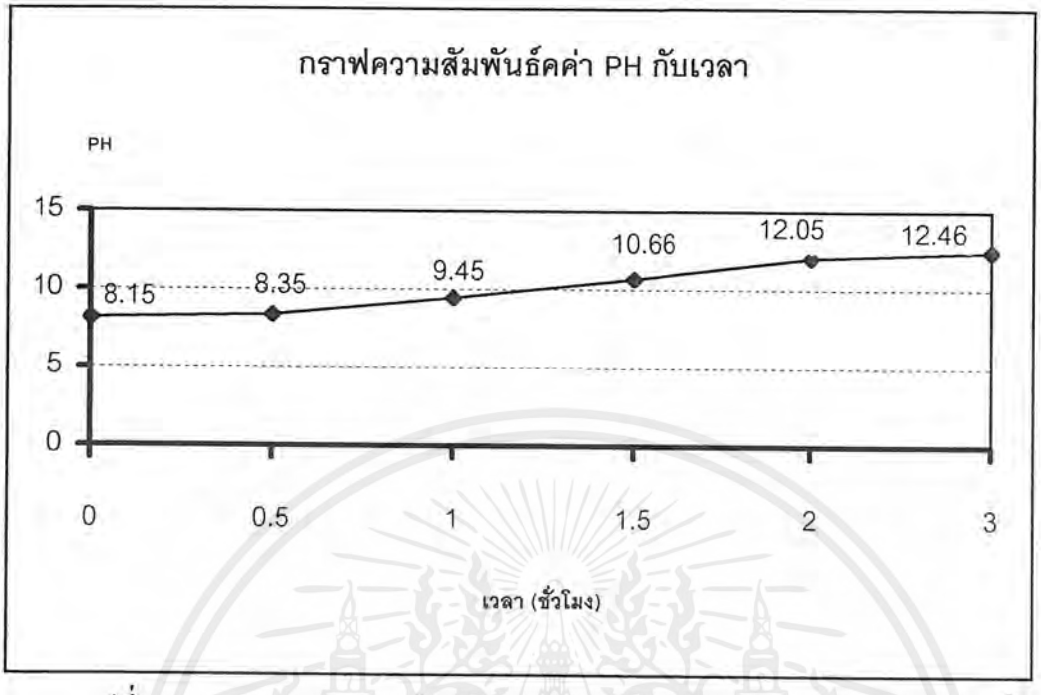


รูปที่ 3.54 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 16



รูปที่ 3.55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 16

<u>สรุปผลการทดลองที่ 16</u>

1. ค่าความเค็มของน้ำมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องใน 1.5 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นค่าความเค็มมีค่าค่อนข้างจะคงที่โดย ค่าความเค็มลดลงได้ 13.33 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำจะลดลงตามช่วงเวลาต่างๆ โดยค่าความนำไฟฟ้าของน้ำลดลงได้ 16.36 เปอร์เซ็นต์
3. สภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง จะทำให้น้ำมีสภาพความเป็นด่างสูง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำคือ 12.46
4. สีของน้ำในช่องที่วางแผ่นเพลทขั้วบวก น้ำมีสีค่อนข้างดำเมื่อตกตะกอนน้ำจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวคล้ำและตะกอนจะเป็นสีดำ ในช่องที่วางแผ่นเพลทขั้วลบน้ำมีสีขาวขุ่นเมื่อตกตะกอนน้ำจะมีสีใส และในช่องกลางน้ำมีสีเขียวคล้ำค่อนไปทางดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 17

เรื่องการใช้ทั้งเพลทบวกและเพลทลบเป็นแผ่นสังกะสี

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำและคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆของน้ำเมื่อใช้ทั้งเพลทบวกและเพลทลบเป็นแผ่นสังกะสี โดยใช้เยื่อกั้นเป็นแผ่นเซลโลเฟรม

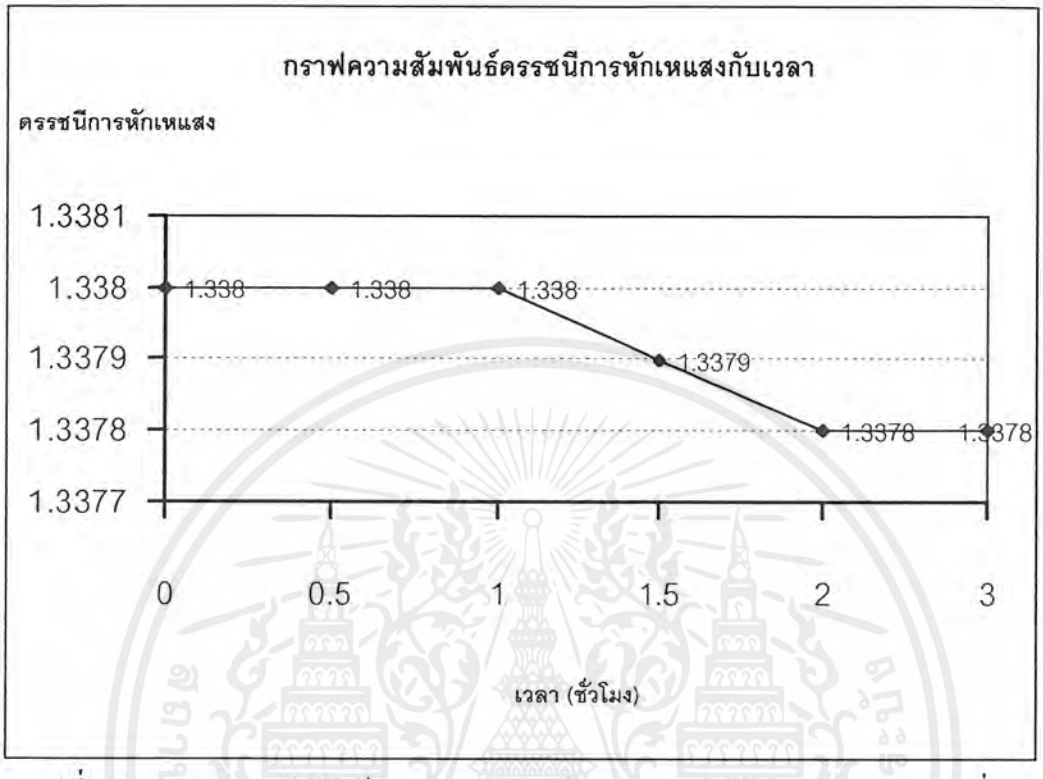
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23x25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm
- เพลทบวก สังกะสี เพลทลบ สังกะสี
- ชนิดของเยื่อกั้น แผ่นเซลโลเฟรม

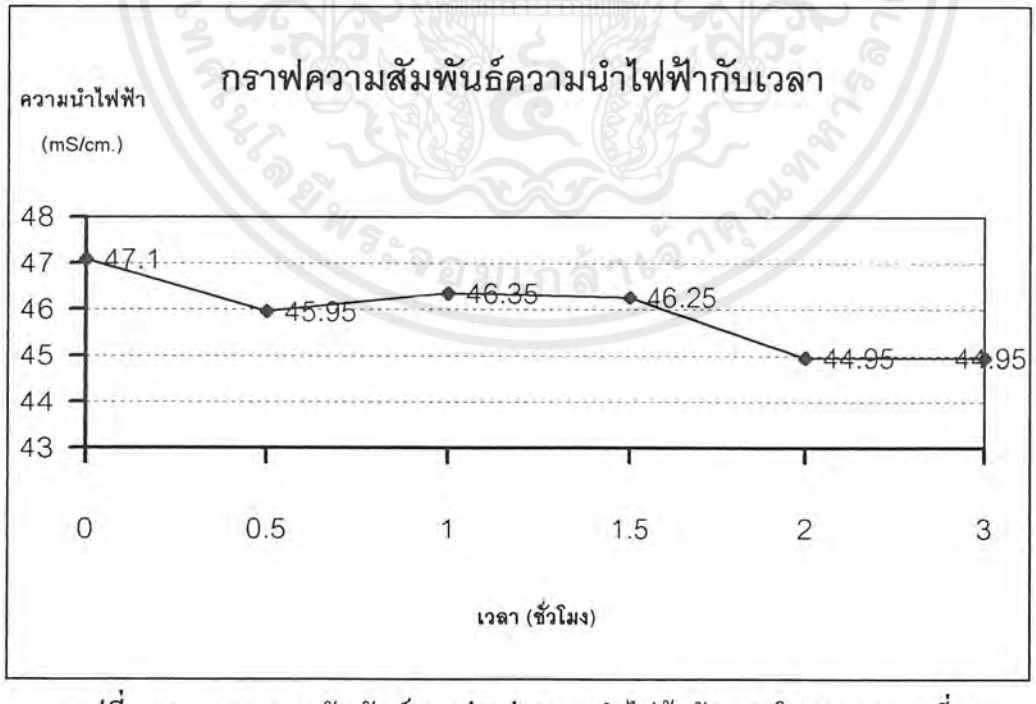
เวลา (ชม.)	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$ (W)	Conduc. (ms/cm)	Refrac.	PH.
	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)				
0	210	6.05	55	45	1270	47.1	1.3380	8.33
0.5	174	5.95	44	36	1035	45.95	1.3380	8.50
1	152	5.9	37	31.5	897	46.35	1.3380	8.62
1.5	140	5.9	34.2	29	826	46.25	1.3379	8.91
2	134	5.9	33	27.2	791	44.95	1.3378	9.38
3	132	5.85	32	26.5	772	44.95	1.3378	11.74
+						60.2	1.3405	3.61
-						52.9	1.3395	12.55

ตารางที่ 3.19 ผลการทดลองที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

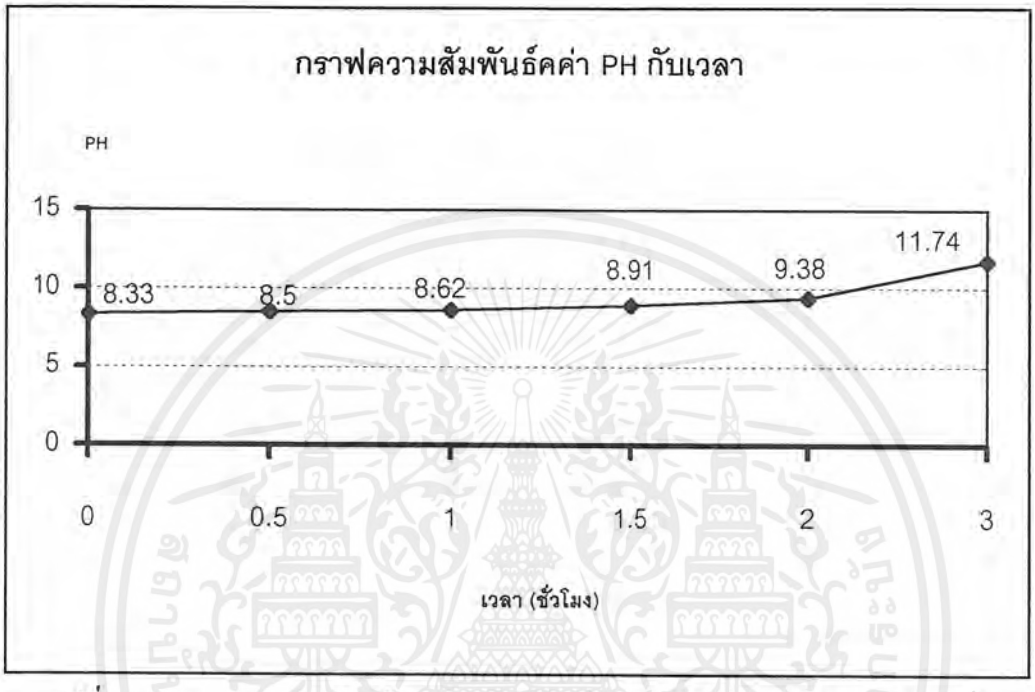


รูปที่ 3.57 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 17



รูปที่ 3.58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 17

<u>สรุปผลการทดลองที่ 17</u>

1. ค่าความเค็มของน้ำลดลงได้เพียง 5 เปอร์เซ็นต์ และค่าความนำไฟฟ้าลดลงได้ 4.61 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ 11.74 คือมีสภาพเป็นด่างสูง
3. น้ำมีสีขาวขุ่นทั้ง 3 ช่อง โดยในช่องที่วางเพลทบวกมีลักษณะขุ่นน้อยกว่าในช่องที่วางเพลทลบ ซึ่งในช่องที่วางเพลทลบจะมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างมากน้ำจะมีความขุ่นมาก แต่เมื่อปล่อยให้ตกตะกอนจะได้นำใสอยู่ข้างบนและตะกอนอยู่ด้านล่าง
4. อัตราการสึกกร่อนของแผ่นสังกะสีจะสูงกว่าโลหะชนิดอื่นๆ ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 18

เรื่องการใช้อะลูมิเนียมเป็นเพลทบวกและสแตนเลสเป็นเพลทลบ

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำและคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆของน้ำเมื่อใช้อะลูมิเนียมเป็นเพลทบวกและสแตนเลสเป็นเพลทลบ

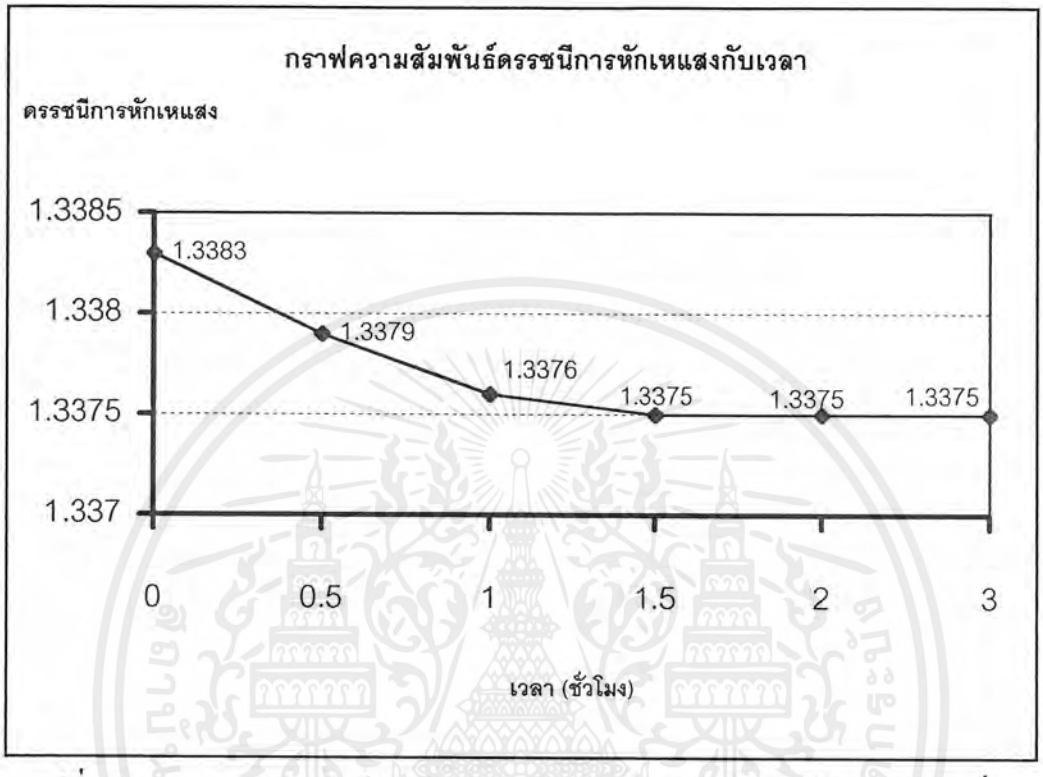
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพล 23×25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm
- เพลทบวก อะลูมิเนียม เพลทลบ สแตนเลส
- ชนิดของเยื่อกั้น กระดาษขาวเทา

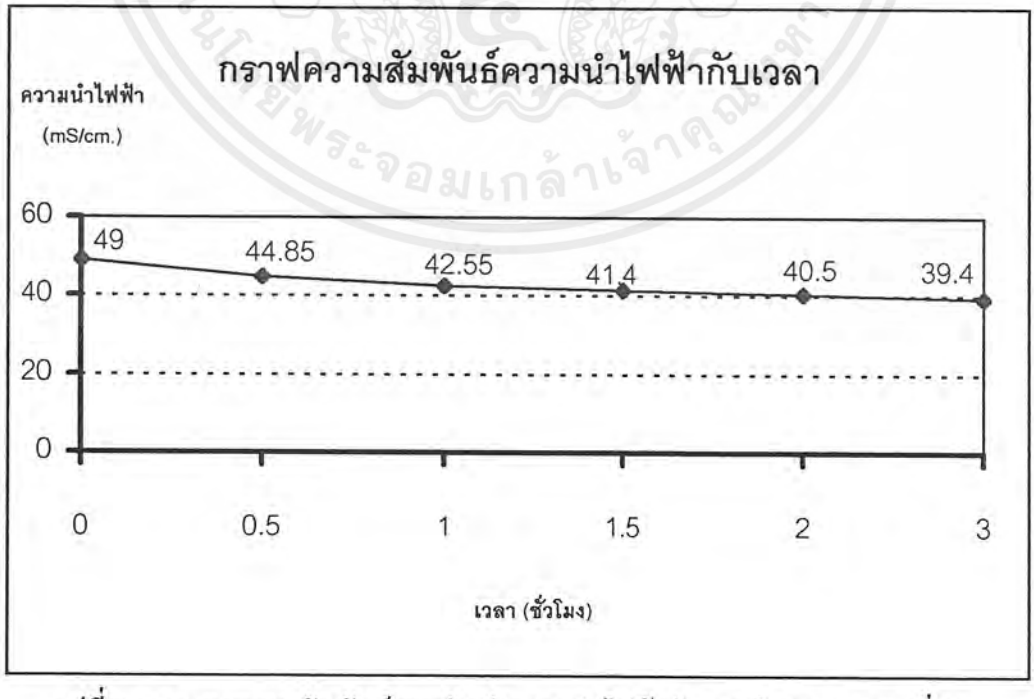
เวลา (ชม.)	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$ (W)	Conduc. (ms/cm)	Refrac.	PH.
	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)				
0	220	6.0	55	47	1320	49	1.3383	7.15
0.5	210	6.2	47	39.5	1302	44.85	1.3379	7.73
1	193	6.1	51.5	41	1177	42.55	1.3376	9.12
1.5	195	6.2	47.5	37.5	1209	41.4	1.3375	9.02
2	170	6.2	41.5	35	1054	40.5	1.3375	11.6
3	157	6.1	37.5	30.5	958	39.4	1.3375	12.0
+						62.9	1.341	3.71
-						78.3	1.3398	12.93

ตารางที่ 3.20 ผลการทดลองที่ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

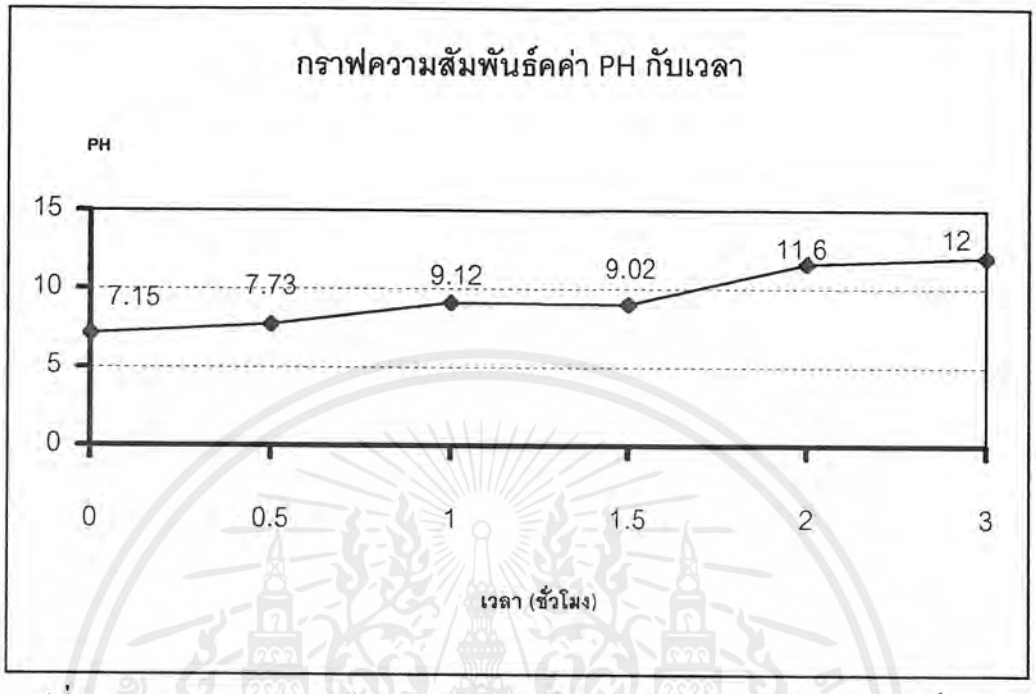


รูปที่ 3.60 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 18



รูปที่ 3.61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 18

<u>สรุปผลการทดลองที่ 18</u>

1. ค่าความเค็มของน้ำลดลงได้มากและต่อเนื่องใน 1.5 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ โดยค่าความเค็มลดลงได้ 18.6 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกชั่วโมง แต่จะลดลงมากในช่วง 1.5 ชั่วโมงแรกหลังจากนั้นจะลดลงได้น้อยลง โดยค่าความนำไฟฟ้าลดลงได้มากที่สุดคือ 19.79 เปอร์เซ็นต์
3. น้ำจะมีสภาพเป็นด่างสูงมากคือค่าความเป็นกรด-ด่าง 12.0
4. สีน้ำมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นและเมื่อตกตะกอนก็จะได้น้ำที่ใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 19

เรื่องการใช้สังกะสีเป็นเพลทบวกและอะลูมิเนียมเป็นเพลทลบ

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำและคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆของน้ำเมื่อใช้สังกะสีเป็นเพลทบวกและอะลูมิเนียมเป็นเพลทลบ

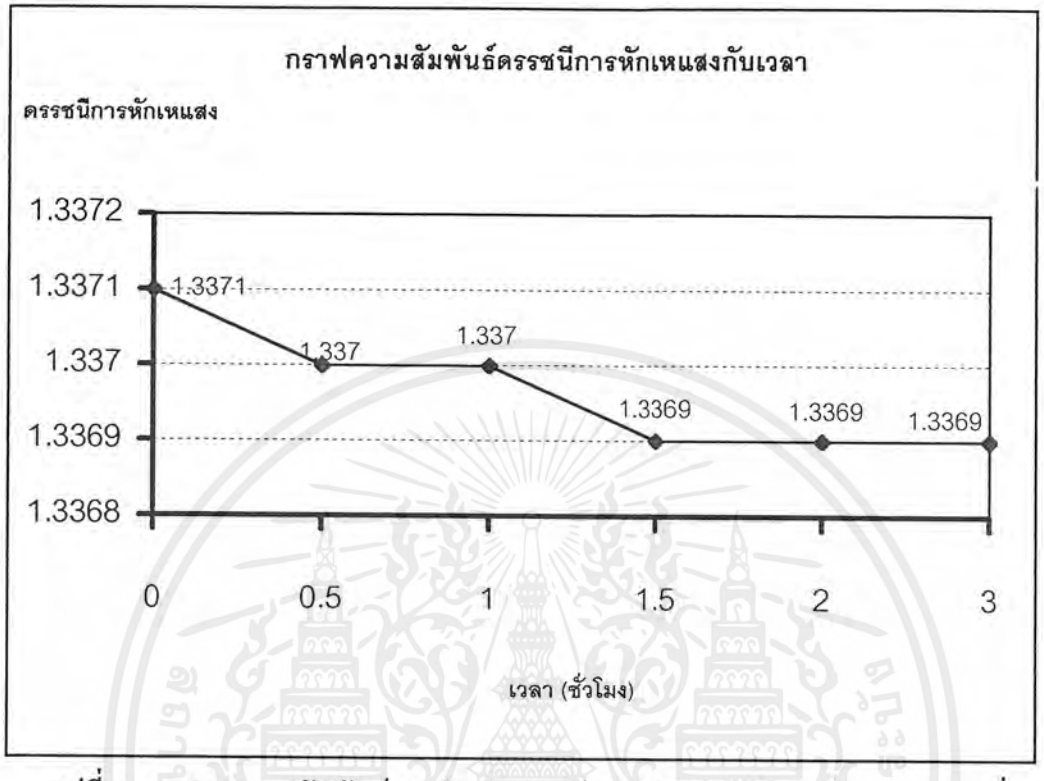
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23x25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm
- เพลทบวก สังกะสี เพลทลบ อะลูมิเนียม
- ชนิดของเยื่อกั้น กระดาษขาวเทา

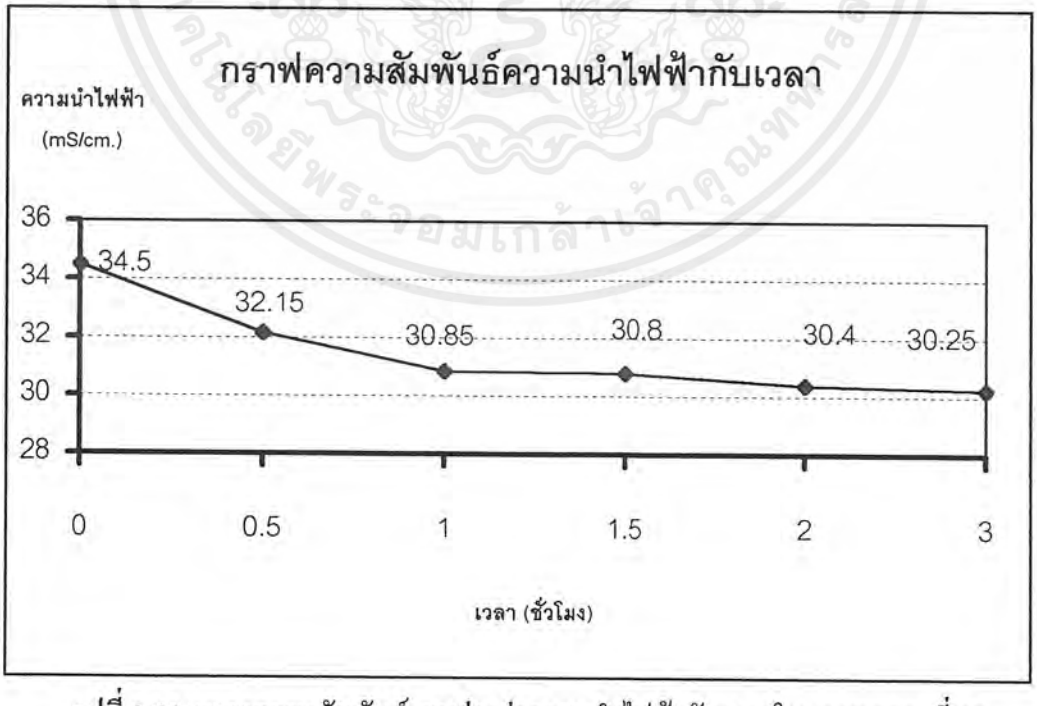
เวลา	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$	Conduc.	Refrac.	PH.
(ชม.)	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)	(W)	(ms/cm)		
0	236	6.05	60	51	1427	34.5	1.3371	7.09
0.5	188	5.9	46	39	1109	32.15	1.3370	7.42
1	188	5.9	46.5	40	1109	30.85	1.3370	8.62
1.5	183	5.85	45	38.5	1070	30.8	1.3369	9.13
2	170	5.85	42	36	994	30.4	1.3369	10.79
3	157	5.85	38.5	32.5	913	30.25	1.3369	11.80
+						42.7	1.3412	3.60
-						39.5	1.3405	12.45

ตารางที่ 3.21 ผลการทดลองที่ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

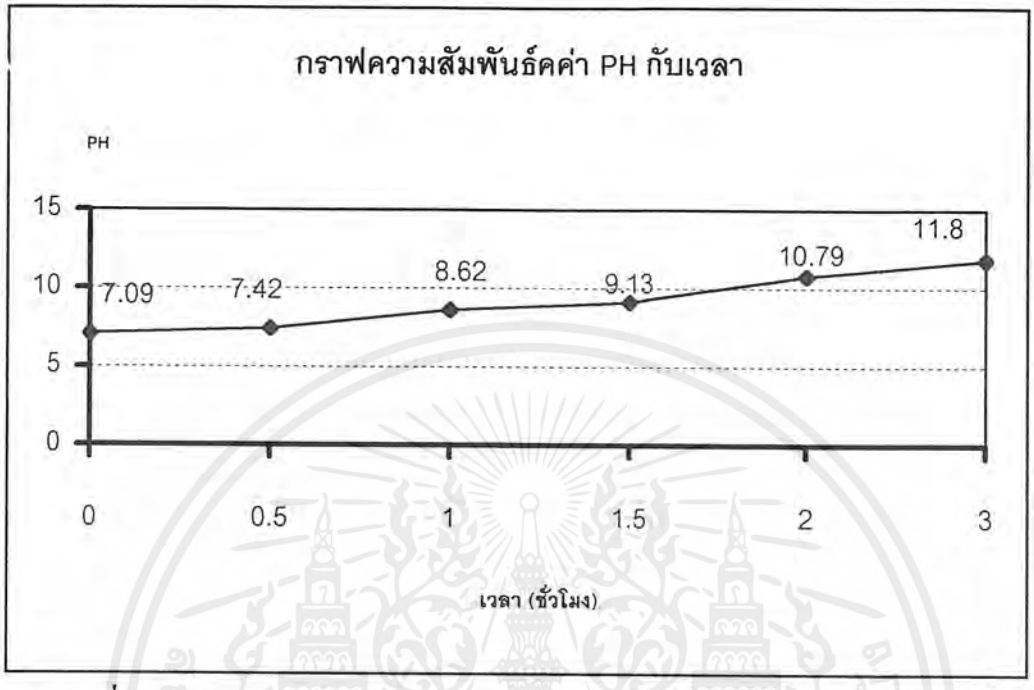


รูปที่ 3.63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 19



รูปที่ 3.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 19

<u>สรุปผลการทดลองที่ 19</u>

1. ค่าความเค็มของน้ำลดลงเป็นช่วงๆสลับกันกับค่าความเค็มที่คงที่ โดยค่าความเค็มของน้ำลดลงได้ 6.45 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าลดลงอย่างมากใน 1 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะลดลงเพียงเล็กน้อย โดยสามารถลดค่าความนำไฟฟ้าลงได้ 12.5 เปอร์เซ็นต์
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่า 11.8 คือมีสภาพเป็นด่างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 20

เรื่องการใช้สังกะสีเป็นเพลทบวกและสแตนเลสเป็นเพลทลบ

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำและคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆของน้ำเมื่อใช้สังกะสีเป็นเพลทบวกและสแตนเลสเป็นเพลทลบ

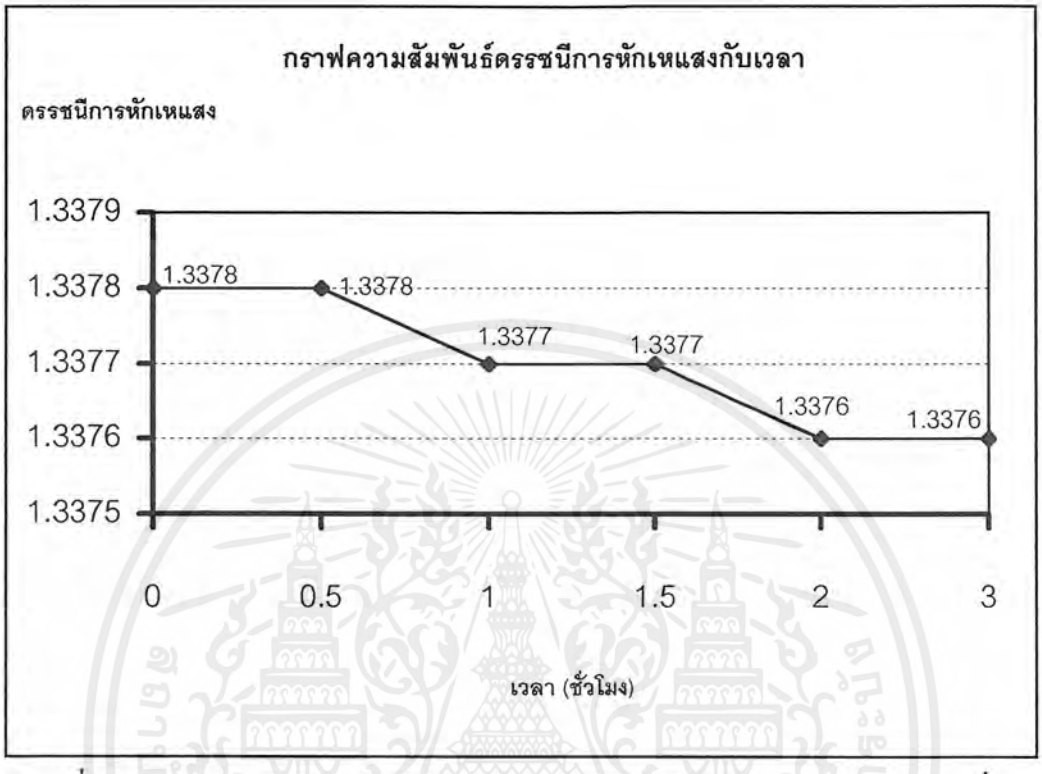
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23x25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm
- เพลทบวก สังกะสี เพลทลบ สแตนเลส
- ชนิดของเยื่อกั้น กระดาษขาวเทา

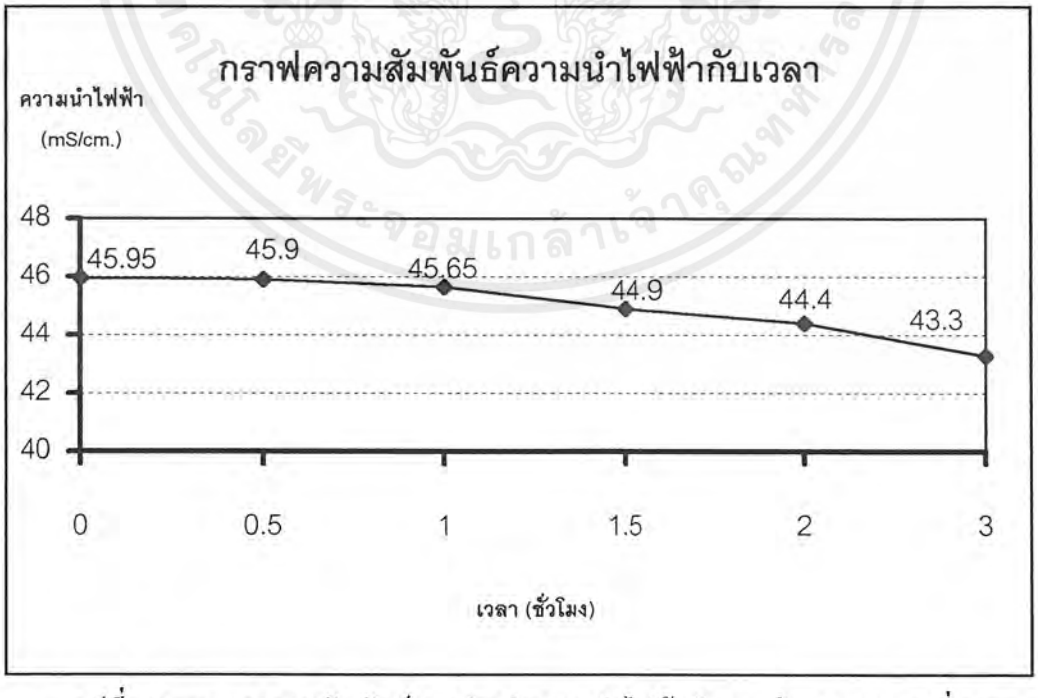
เวลา (ชม.)	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$ (W)	Conduc. (ms/cm)	Refrac.	PH.
	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)				
0	232	5.95	58	49	1380	45.95	1.3378	8.64
0.5	198	5.85	49	42.5	1158	45.9	1.3378	8.74
1	206	5.85	50	44	1205	45.65	1.3377	8.92
1.5	205	5.85	50	44	1199	44.9	1.3377	9.18
2	210	5.85	52	45	1228	44.4	1.3376	10.34
3	178	5.85	44	37.5	1041	43.3	1.3376	11.98
+						59.2	1.3345	3.60
-						70.2	1.3390	13.06

ตารางที่ 3.22 ผลการทดลองที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

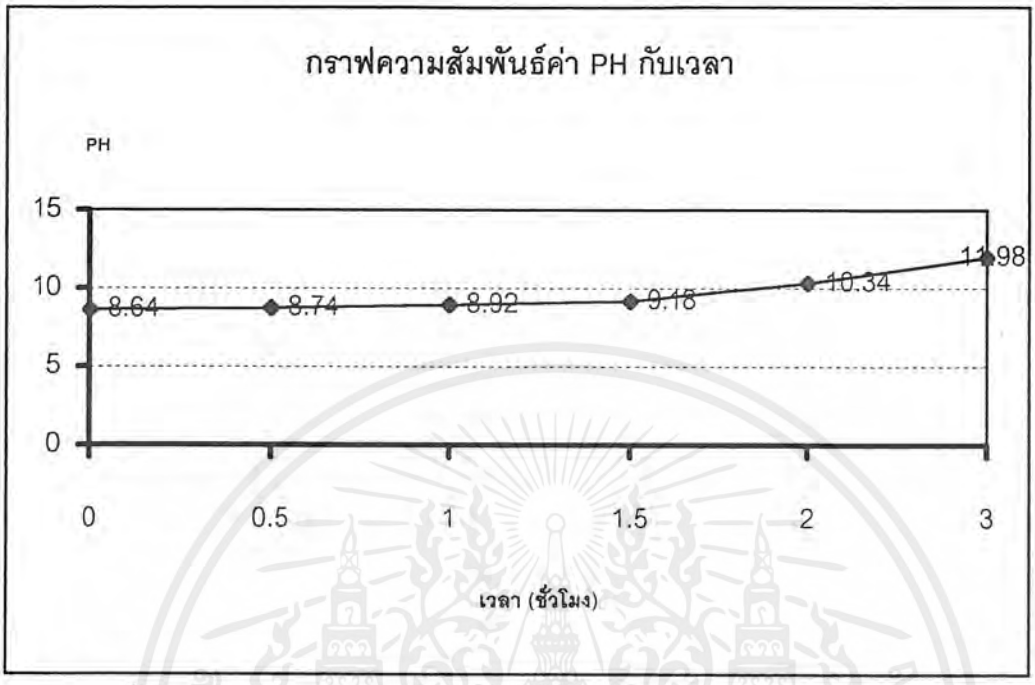


รูปที่ 3.66 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 20



รูปที่ 3.67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.68 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 20

<u>สรุปผลการทดลองที่ 20</u>

1. ค่าความเค็มของน้ำจะลดลงเป็นช่วงสลับกับค่าที่คงที่ ซึ่งค่าความเค็มลดลงได้ 5.26 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำจะลดลงได้มากในช่วง 1 ชั่วโมงแรก โดยค่าความนำไฟฟ้าลดลงได้ 5.83 เปอร์เซ็นต์
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่า 11.98 คือมีสภาพเป็นด่างสูง
4. น้ำทางด้านเพลทบวกจะมีสีเข้มเล็กน้อย แต่เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนจะมีลักษณะใสโดยตะกอนมีสีเข้มเล็กน้อย
5. การสึกกร่อนของเพลทขั้วบวกเกิดขึ้นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 21

เรื่องการใช้สแตนเลสเป็นเพลทบวกและสังกะสีเป็นเพลทลบ

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำและคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆของน้ำเมื่อใช้สแตนเลสเป็นเพลทบวกและสังกะสีเป็นเพลทลบ

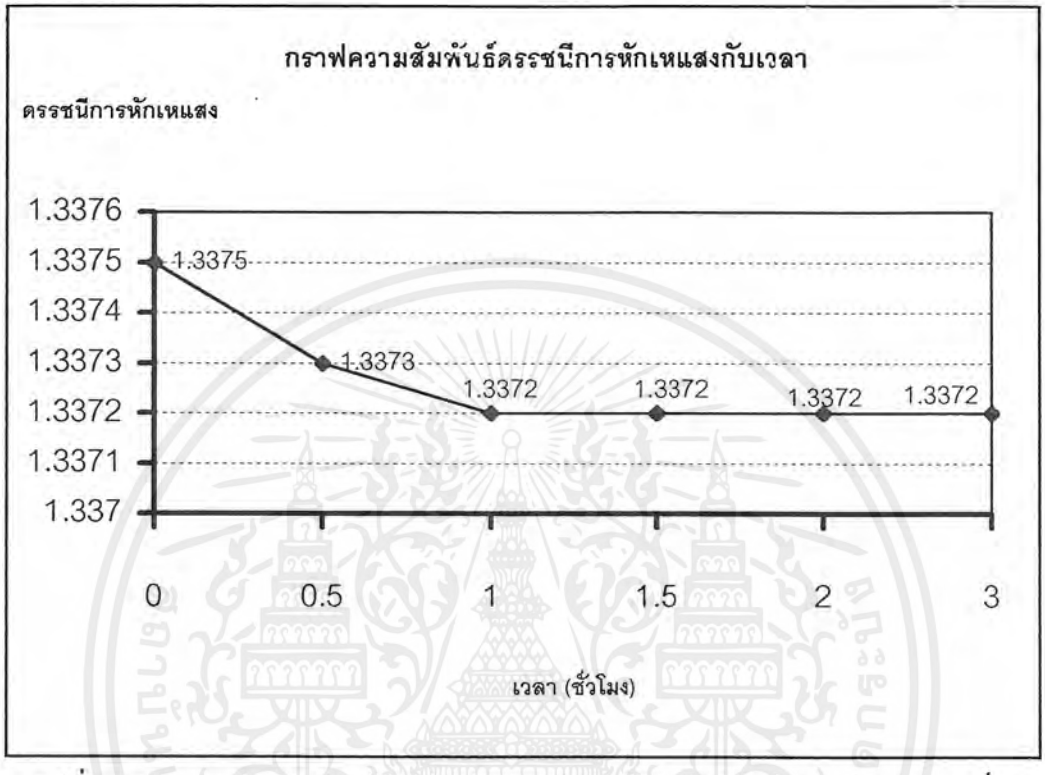
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23x25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm
- เพลทบวก สแตนเลส เพลทลบ สังกะสี
- ชนิดของเยื่อกั้น กระดาษขาวเทา

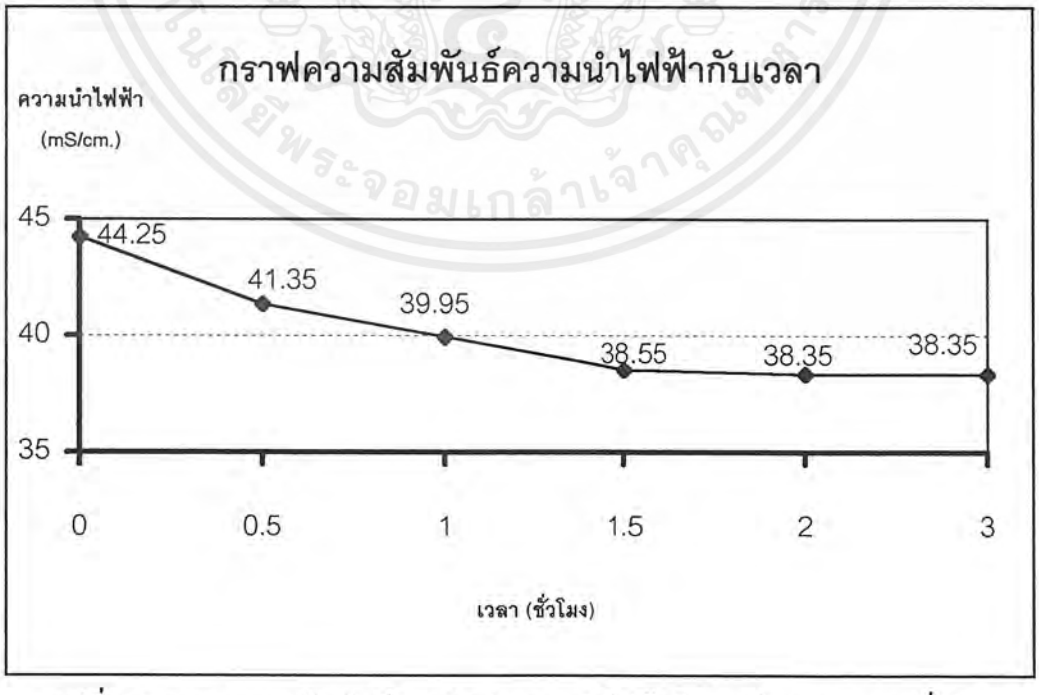
เวลา (ชม.)	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$ (W)	Conduc. (ms/cm)	Refrac.	PH.
	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)				
0	231	6.2	58	48.3	1432	44.25	1.3375	8.60
0.5	182	6.0	45	38	1092	41.35	1.3373	8.41
1	166	5.95	42	34.8	987	39.95	1.3372	8.96
1.5	160	5.99	40	33	958	38.55	1.3372	9.23
2	157	5.90	48	32	926	38.35	1.3372	11.22
3	143	5.90	33	29.5	844	38.35	1.3372	11.58
+						57.9	1.34	2.35
-						53.8	1.3395	12.73

ตารางที่ 3.23 ผลการทดลองที่ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

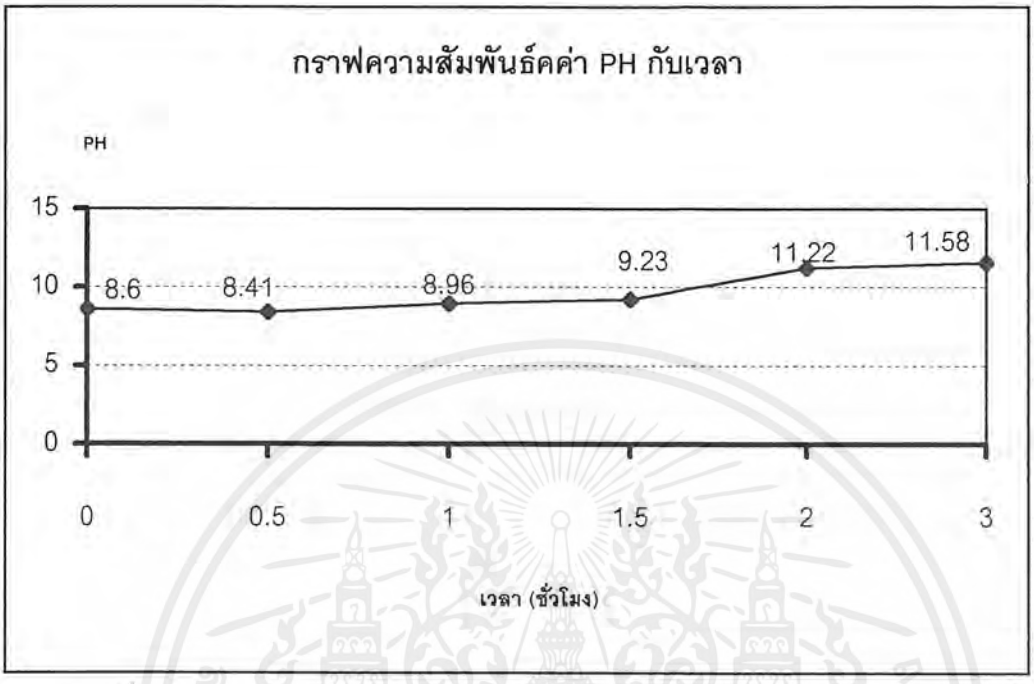


รูปที่ 3.69 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 21



รูปที่ 3.70 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.71 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 21

สรุปผลการทดลองที่ 21

1. ค่าความเค็มของน้ำลดลงได้มากใน 1 ชั่วโมงแรกหลังจากนั้นค่าความเค็มของน้ำจะค่อนข้างคงที่ โดยค่าความเค็มของน้ำลดลงได้ 8.57 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำจะลดลงได้มากในช่วง 1.5 ชั่วโมงแรกหลังจากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยค่าความนำไฟฟ้าลดลงได้ 13.48 เปอร์เซ็นต์
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำคือ 11.58 มีสภาพเป็นด่างสูง
4. สีของน้ำที่ช่องเพลทบวกมีสีเขียวคล้ำค่อนไปทางดำ เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนน้ำจะมีสีเขียวคล้ำแต่ใส และตะกอนจะมีสีค่อนข้างดำมาก สีของน้ำในช่องเพลทลบมีสีขาวขุ่น เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนจะได้น้ำใส ตะกอนเป็นสีขาว สีของในช่องกลางมีสีเขียวคล้ำแต่จางกว่าในช่องของเพลทบวก เมื่อปล่อยให้ตกตะกอนจะได้น้ำสีเขียวใส ตะกอนเป็นสีเขียวเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 22

เรื่องการใช้สแตนเลสเป็นเพลทบวกและอะลูมิเนียมเป็นเพลทลบ

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำและคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆของน้ำเมื่อใช้สแตนเลสเป็นเพลทบวกและอะลูมิเนียมเป็นเพลทลบ

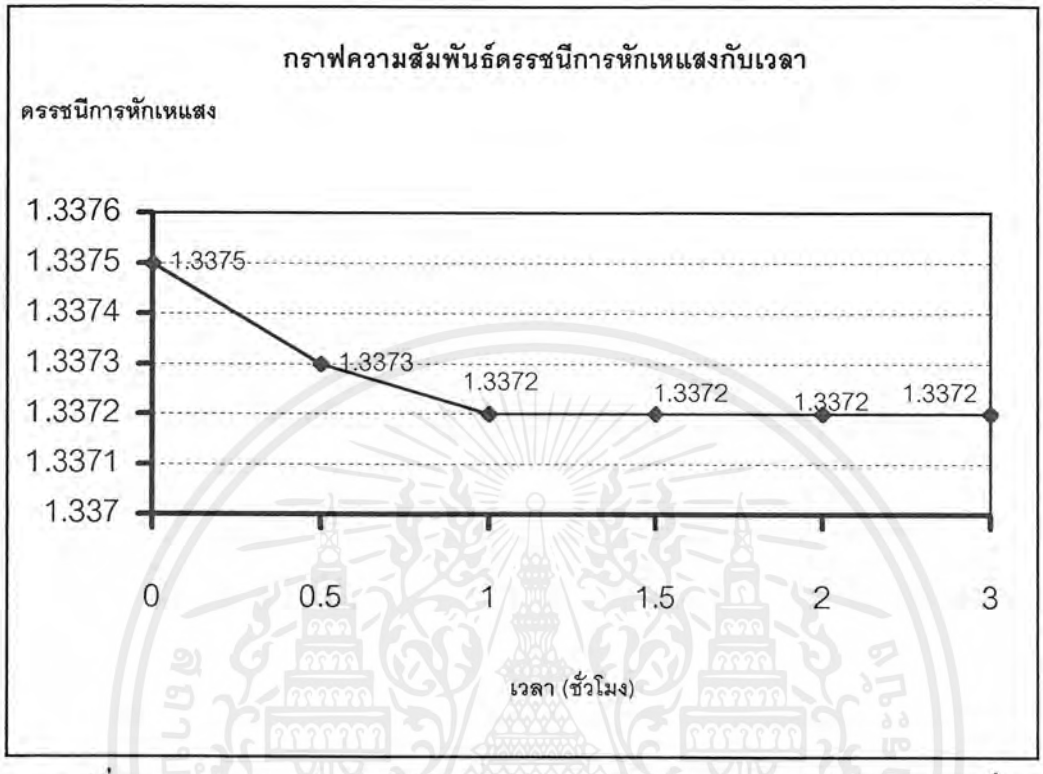
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23x25 cm^2
- ระยะห่างเพล 44 cm
- เพลทบวก สแตนเลส เพลทลบ อะลูมิเนียม
- ชนิดของเยื่อกั้น กระดาษขาวเทา

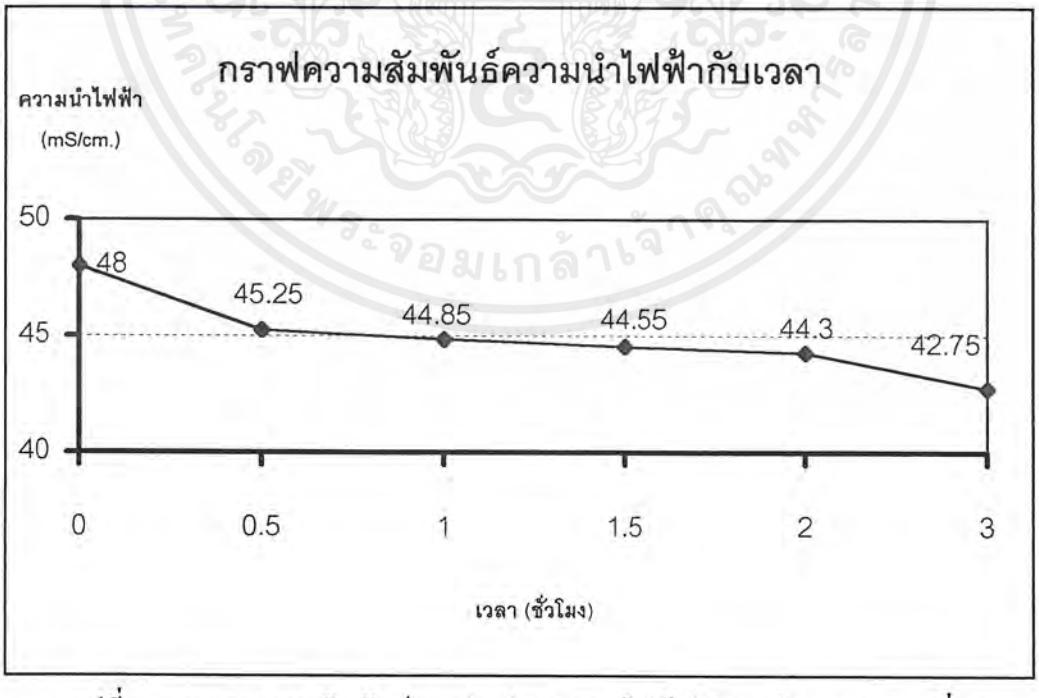
เวลา (ชม.)	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$ (W)	Conduc. (ms/cm)	Refrac.	PH.
	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)				
0	240	6.0	56	51.5	1440	48	1.3375	6.98
0.5	196	6.0	45	41.0	1176	45.25	1.3373	7.24
1	173	5.9	41.5	36.0	1020	44.85	1.3372	8.12
1.5	173	5.9	41.5	36.0	1020	44.55	1.3372	9.16
2	160	5.9	38.5	33.3	944	44.3	1.3372	11.12
3	148	5.9	35.5	30.5	873	42.75	1.3372	12.13
+						51.6	1.3395	2.40
-						53.8	1.34	12.69

ตารางที่ 3.24 ผลการทดลองที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

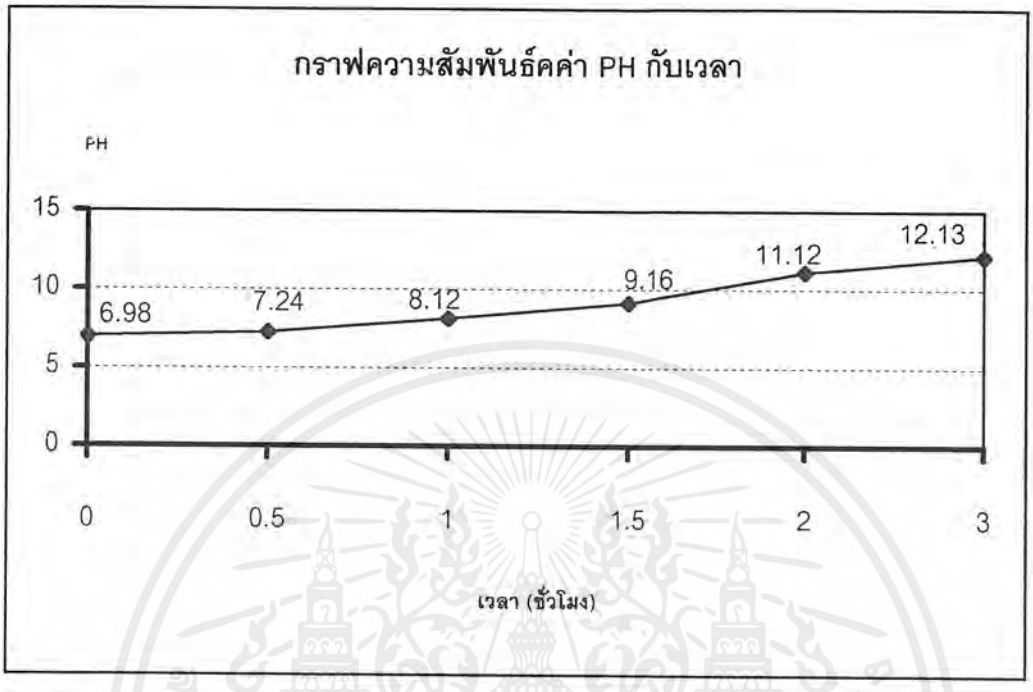


รูปที่ 3.72 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 22



รูปที่ 3.73 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.74 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 22

<u>สรุปผลการทดลองที่ 22</u>

1. ค่าความเค็มของน้ำมีแนวโน้มลดลงมากในช่วง 1 ชั่วโมงแรกหลังจากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยค่าความเค็มของน้ำลดลงได้ 8.5 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าลดลงมากในช่วงครึ่งชั่วโมงแรก ค่าความนำไฟฟ้าลดลงได้ 11.05 เปอร์เซ็น
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำคือ 12.13 มีสภาพเป็นด่างสูงมาก
4. สีของน้ำที่ช่องเพลทบวกมีสีเขียวคล้ำค่อนไปทางดำ เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนน้ำจะมีสีเขียวคล้ำแต่ใส และตะกอนจะมีสีค่อนข้างดำมาก สีของน้ำในช่องเพลทลบมีสีขาวขุ่น เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนจะได้น้ำใส ตะกอนเป็นสีขาว สีของในช่องกลางมีสีเขียวคล้ำแต่จางกว่าในช่องของเพลทบวก เมื่อปล่อยให้ตกตะกอนจะได้น้ำสีเขียวใส ตะกอนเป็นสีเขียวเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 23

เรื่องการใช้อะลูมิเนียมเป็นเพลทบวกและสังกะสีเป็นเพลทลบ

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำและคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆของน้ำเมื่อใช้อะลูมิเนียมเป็นเพลทบวกและสังกะสีเป็นเพลทลบ

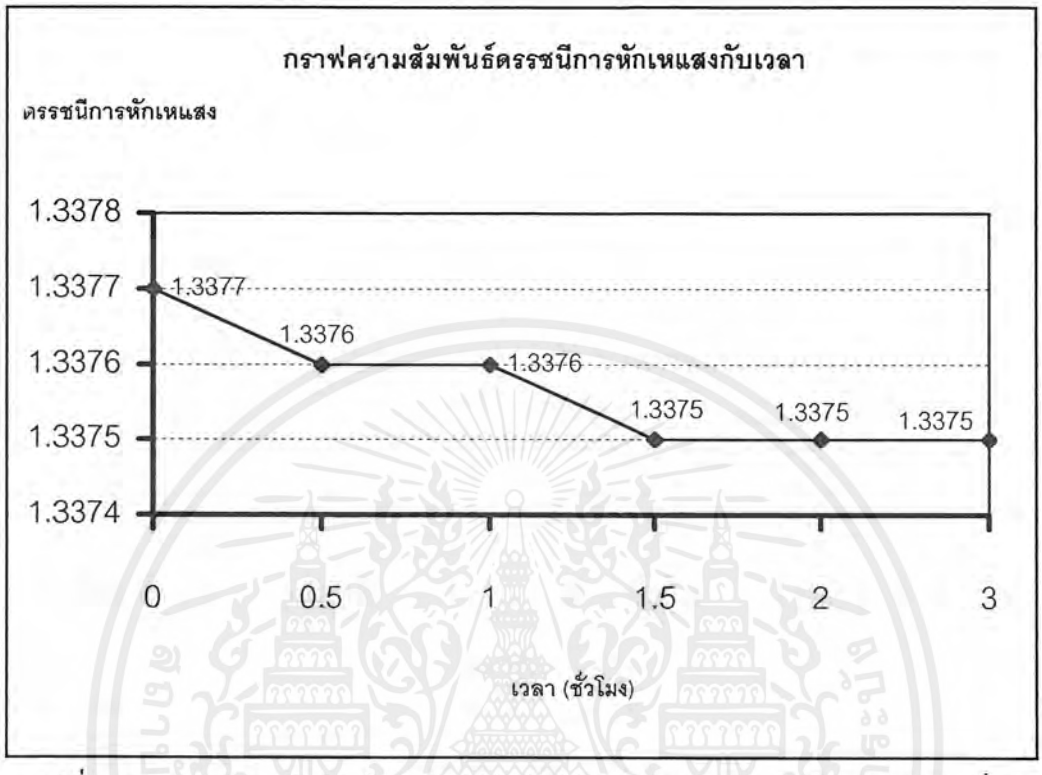
<u>ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง</u>

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23x25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm
- เพลทบวก อะลูมิเนียม เพลทลบ สังกะสี
- ชนิดของเยื่อกั้น กระดาษขาวเทา

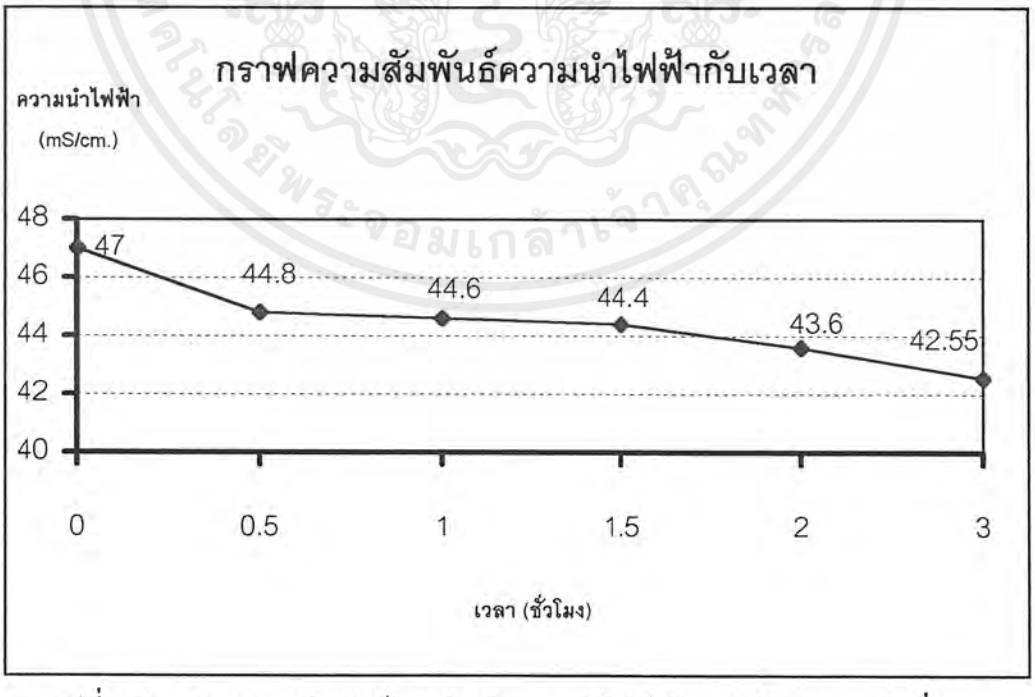
เวลา (ชม.)	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$ (W)	Conduc. (ms/cm)	Refrac.	PH.
	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)				
0	240	6.0	58	51.5	1440	47	1.3377	8.21
0.5	210	5.95	45	50	1249	44.8	1.3376	8.66
1	242	5.95	60	53	1437	44.6	1.3376	8.72
1.5	220	5.95	54	47.5	1309	44.4	1.3375	8.85
2	150	5.95	36	31	892	43.6	1.3375	9.25
3	162	5.95	38	34	964	42.55	1.3375	10.33
+						55.8	1.34	3.60
-						50.3	1.34	12.29

ตารางที่ 3.25 ผลการทดลองที่ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

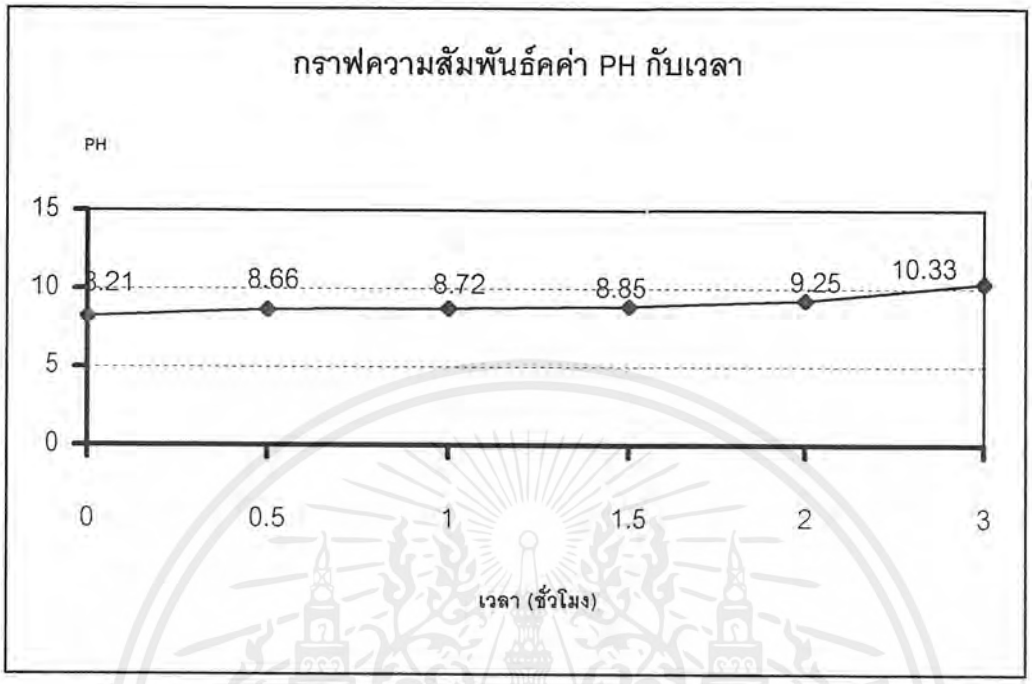


รูปที่ 3.75 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 23



รูปที่ 3.76 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.77 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 23

<u>สรุปผลการทดลองที่ 23</u>

1. ค่าความเค็มของน้ำลดลงสลับกับค่าที่คงที่ โดยค่าความเค็มลดลงได้ 5.4 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยค่าความนำไฟฟ้าลดลงได้ 9.57 เปอร์เซ็นต์
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ 10.33 คือมีสภาพเป็นด่างสูง
4. น้ำมีสีขาวขุ่นทั้งสามช่องและเมื่อทิ้งให้ตกตะกอนจะได้ตะกอนสีขาวและน้ำที่ใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

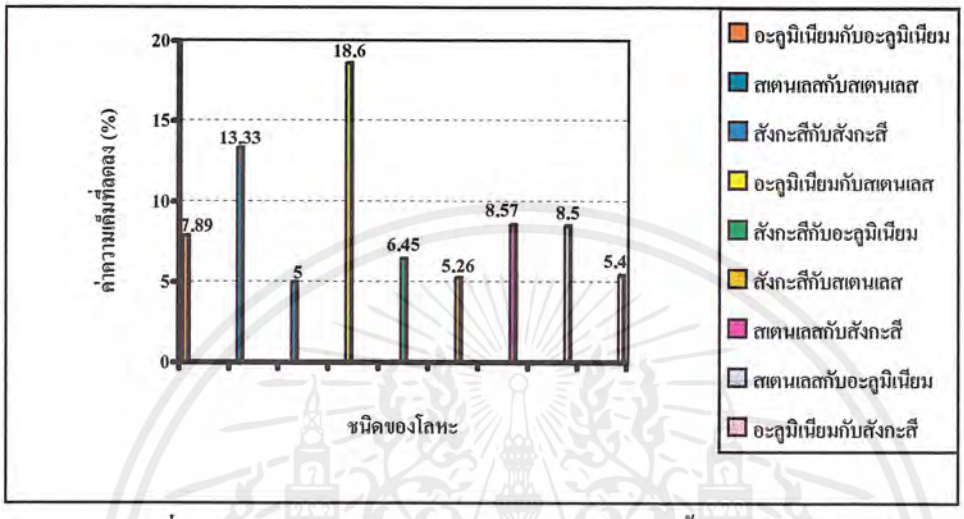
บทสรุปของการทดลองตอนที่ 3

จากการจับคู่เป็นเพลทขั้วบวกและเพลทขั้วลบของโลหะ 3 ชนิดคือ อะลูมิเนียม, สแตนเลส และสังกะสี ทั้ง 9 การทดลองในตอนที่ 3 นี้ จะได้คู่ที่สามารถลดค่าความเค็มของน้ำลงได้มากที่สุด คือแผ่นเพลทขั้วบวกเป็นอะลูมิเนียม และแผ่นเพลทขั้วลบเป็นสแตนเลส ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่โลหะที่สูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายที่สุดคืออะลูมิเนียมและโลหะที่รับอิเล็กตรอนได้ดีที่สุดคือสแตนเลส โดยจะแสดงการเปรียบเทียบต่างๆดังตาราง

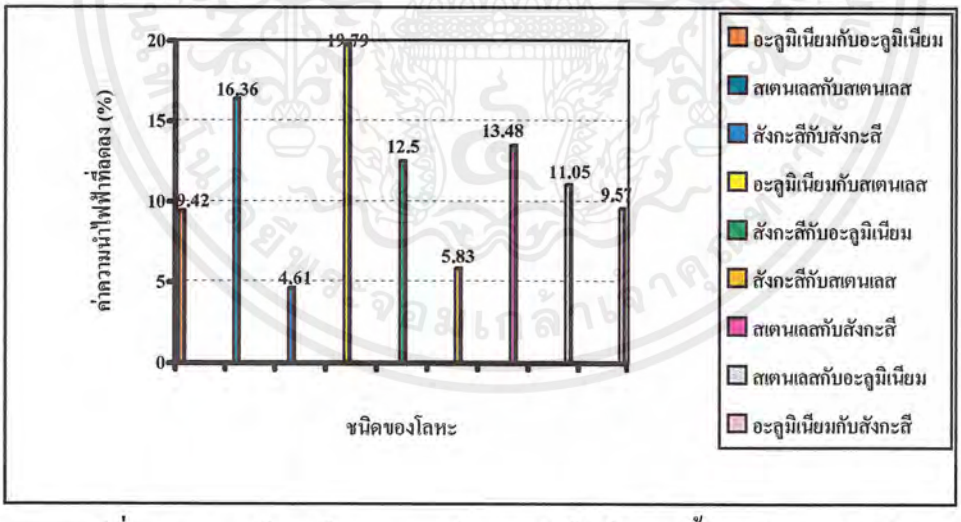
ชนิดของโลหะ		ค่าความเค็มของน้ำที่ลดลง (%)	ค่าความนำไฟฟ้าที่ลดลง (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)
แผ่นเพลทขั้วบวก	แผ่นเพลทขั้วลบ			
อะลูมิเนียม	อะลูมิเนียม	7.89	9.42	2.78
สแตนเลส	สแตนเลส	13.33	16.36	3.27
สังกะสี	สังกะสี	5.0	4.61	2.68
อะลูมิเนียม	สแตนเลส	18.6	19.79	3.44
สังกะสี	อะลูมิเนียม	6.45	12.5	3.21
สังกะสี	สแตนเลส	5.26	5.83	3.57
สแตนเลส	สังกะสี	8.57	13.48	2.99
สแตนเลส	อะลูมิเนียม	8.5	11.05	3.11
อะลูมิเนียม	สังกะสี	5.4	9.57	3.51

ตารางที่ 3.26 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโลหะชนิดต่างๆที่นำมาใช้เป็นแผ่นเพลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.78 การเปรียบเทียบการลดค่าความเค็มของน้ำของโลหะชนิดต่างๆ



รูปที่ 3.79 การเปรียบเทียบการลดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำของโลหะชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดลองตอนที่ 4

เรื่องการทดลองทำอิเล็กโทรลิซิสและอิเล็กโทรไดอะลิซิสในรูปแบบอื่นๆ

วัตถุประสงค์ของการทดลองตอนที่ 4

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลโดยการทำอิเล็กโทรลิซิสและอิเล็กโทรไดอะลิซิสในรูปแบบวิธีการที่คิดประยุกต์ขึ้นมาใช้ได้แก่การทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยให้น้ำหมุนเวียน การทำอิเล็กโทรลิซิสโดยทำการกรองเอาตะกอนออกตลอดเวลา การทำอิเล็กโทรลิซิสโดยการทำซ้ำหลายๆครั้ง และการทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยการใช้สะพานไอออน

การทดลองที่ 24

เรื่องการทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยให้น้ำหมุนเวียน

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำโดยเลือกคู่ของแผ่นเพลทที่ดีที่สุดจากการทดลองตอนที่ 3 ชนิดของเยื่อกั้นที่ดีที่สุดจากการทดลองตอนที่ 2 มาทดลองทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสใหม่อีกครั้งโดยให้น้ำในช่องของเพลทบวกและช่องของเพลทลบมีการหมุนเวียนตลอดเวลา เพื่อจะได้เปรียบเทียบกับการทดลองในตอนที่ 2 ที่ให้น้ำอยู่นิ่ง

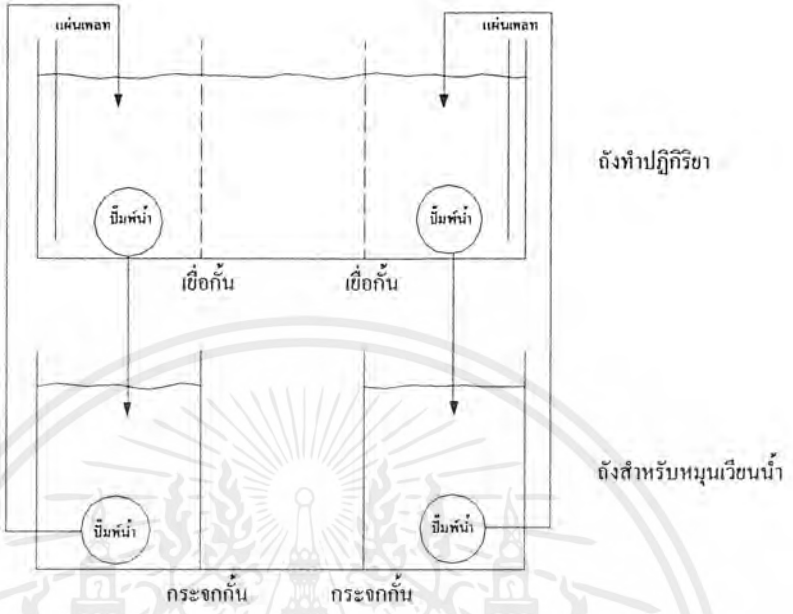
<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง</u>

เหมือนกับการทดลองตอนที่ 2 แต่เพิ่มตู้กระจกขนาดเท่าเดิมโดยแบ่งตู้ออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆกันโดยใช้กระจกกั้น และเพิ่มปั๊มพ์น้ำขนาดเล็กอีก 4 ตัว

<u>วิธีการทดลอง</u>

เหมือนกับการทดลองตอนที่ 2 แต่จะแตกต่างตรงที่ใช้น้ำเพิ่มขึ้นเป็น 50 ลิตรสำหรับตู้ทำปฏิกิริยา 30 ลิตร และตู้สำหรับหมุนเวียนน้ำ 20 ลิตรโดยเทน้ำใส่ในช่องของตู้หมุนเวียนน้ำเพียง 2 ช่องแล้วติดตั้งปั๊มพ์น้ำลงไปในช่องที่มีเพลทบวก, ช่องที่มีเพลทลบ และอีก 2 ช่องของตู้น้ำหมุนเวียน โดยให้เกิดการถ่ายเทน้ำระหว่างตู้ที่ทำปฏิกิริยากับตู้ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาโดยน้ำในช่องกลางของตู้ทำปฏิกิริยาจะไม่ถูกหมุนเวียน ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.80 วิธีการทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยให้น้ำหมุนเวียน

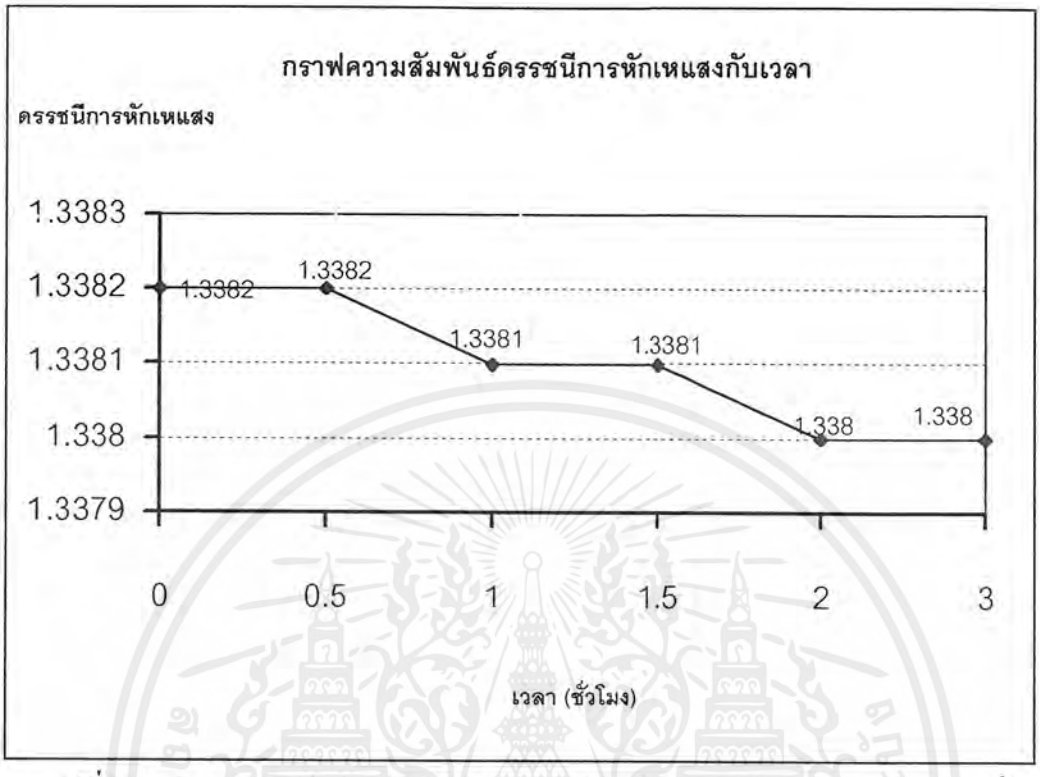
ข้อมูลในการทดลอง

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตรสำหรับทำปฏิกิริยา และ 20 ลิตรสำหรับถังหมุนเวียนน้ำ
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23×25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm
- เพลทบวก อะลูมิเนียม เพลทลบ สแตนเลส ชนิดของเยื่อกั้น กระดาษขาวเทา

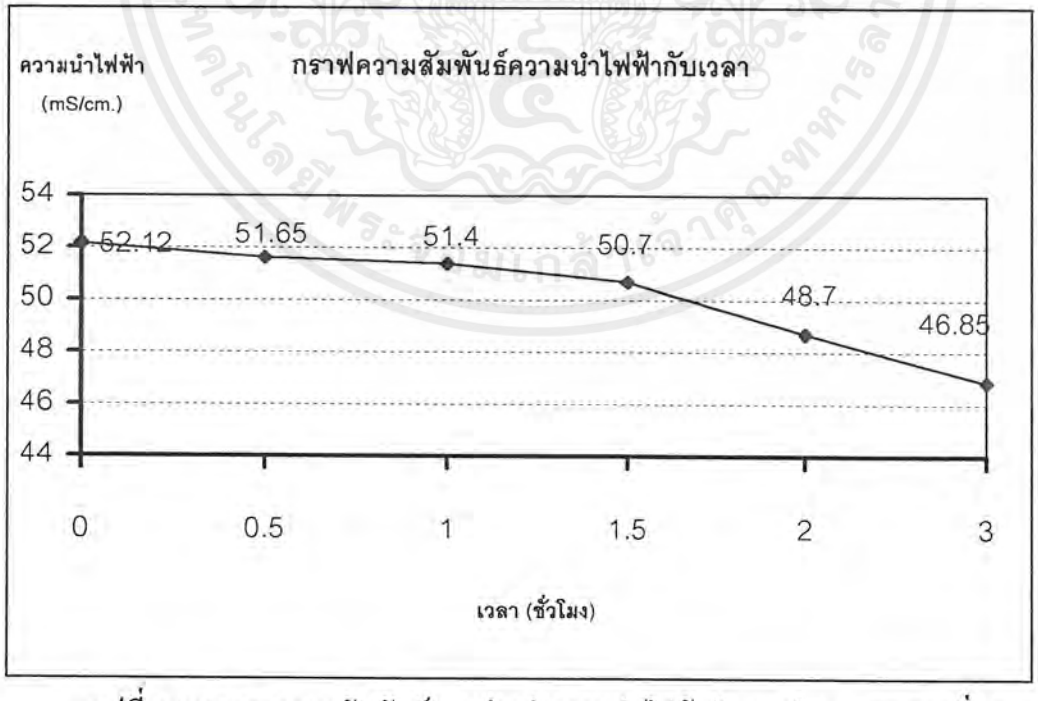
เวลา (ชม.)	PRIMARY		SECONDARY		$P_{i/p}$ (W)	Conduc. (mS/cm)	Refrac.	PH.
	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{ac} (v)	V_{dc} (v)				
0	240	6.0	59	51	1440	52.12	1.3382	7.4
0.5	210	6.0	51.9	45	1260	51.65	1.3382	7.49
1	203	5.8	50	44	1177	51.4	1.3381	7.81
1.5	202	5.8	49.5	43	1171	50.7	1.3381	9.10
2	216	5.85	53	46.5	1264	48.7	1.3380	9.13
3	172	5.8	42	36	998	46.85	1.3380	11.58
+						57.9	1.3394	3.81
-						62.0	1.3389	12.89

ตารางที่ 3.27 ผลการทดลองที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

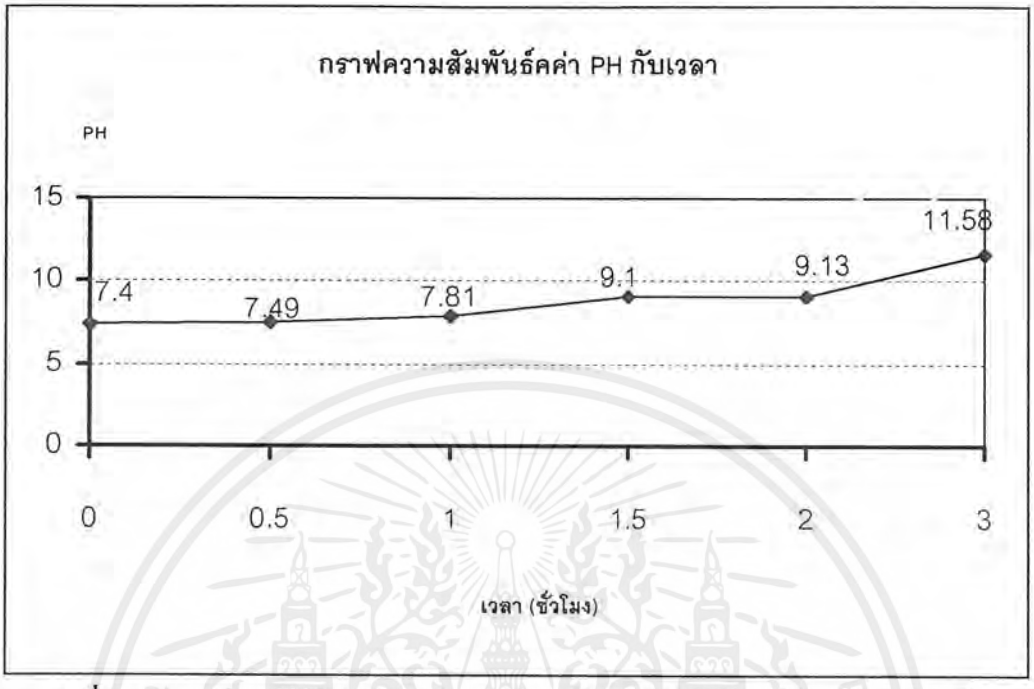


รูปที่ 3.81 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 24



รูปที่ 3.82 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.83 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 24

สรุปผลการทดลองที่ 24

1. ค่าความเค็มของน้ำลดลงเป็นช่วงๆ โดยลดลงได้เพียง 4.76 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน้อยกว่าการทดลองโดยให้น้ำอยู่นิ่ง
2. ค่าความนำไฟฟ้าลดลงได้ 10.2 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน้อยกว่าการทดลองโดยให้น้ำอยู่นิ่ง
3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11.58 มีสภาพเป็นด่างสูง

การทดลองที่ 25

เรื่องการทำอิเล็กโทรลิซิสโดยทำการกรองเอาตะกอนออกตลอดเวลา

วัตถุประสงค์

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลในการทำอิเล็กโทรลิซิสเมื่อทำการกรองเอาตะกอนออกตลอดเวลาเปรียบเทียบกับการทดลองในตอนที่ 1 ที่ปล่อยให้มีตะกอนเกิดขึ้นมากมาย

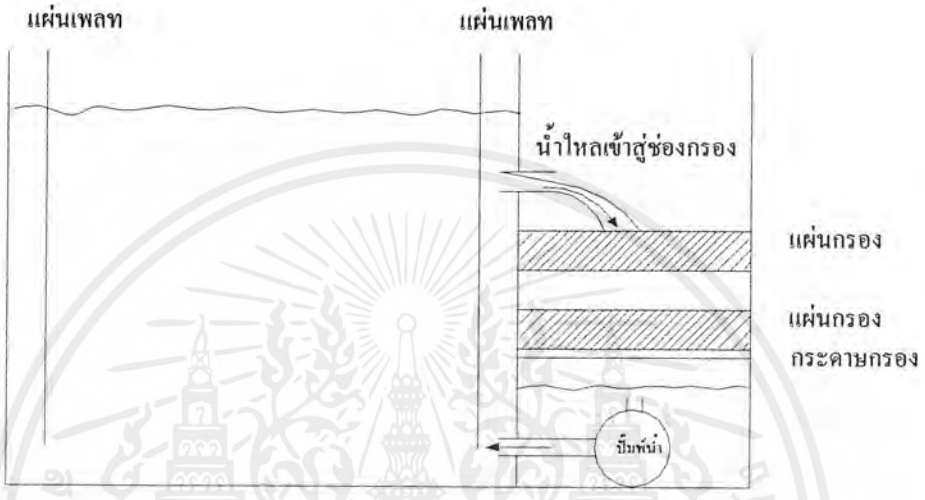
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เหมือนการทดลองในตอนที่ 1 แต่เปลี่ยนจากถังพลาสติกมาใช้เป็นตู้กระจกมาต่อเป็นระบบกรองน้ำแบบหมุนเวียนโดยใช้ปั๊มพ์น้ำ โดยตู้กระจกจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่ทำปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นระบบกรองน้ำ ตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

เหมือนการทดลองตอนที่ 1 เพียงแต่เปิดปั๊มพ์น้ำให้น้ำเกิดการกรองตลอดเวลา โดยตะกอนจะมีมากจนเกิดการอุดตันอย่างรวดเร็วจึงต้องมีการนำแผ่นกรองไปล้างแล้วนำมาใส่ใหม่อยู่ตลอดเวลา



รูปที่ 3.84 วิธีการทำอิเล็กโทรลิซิสโดยการกรองเอาตะกอนออกตลอดเวลา

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

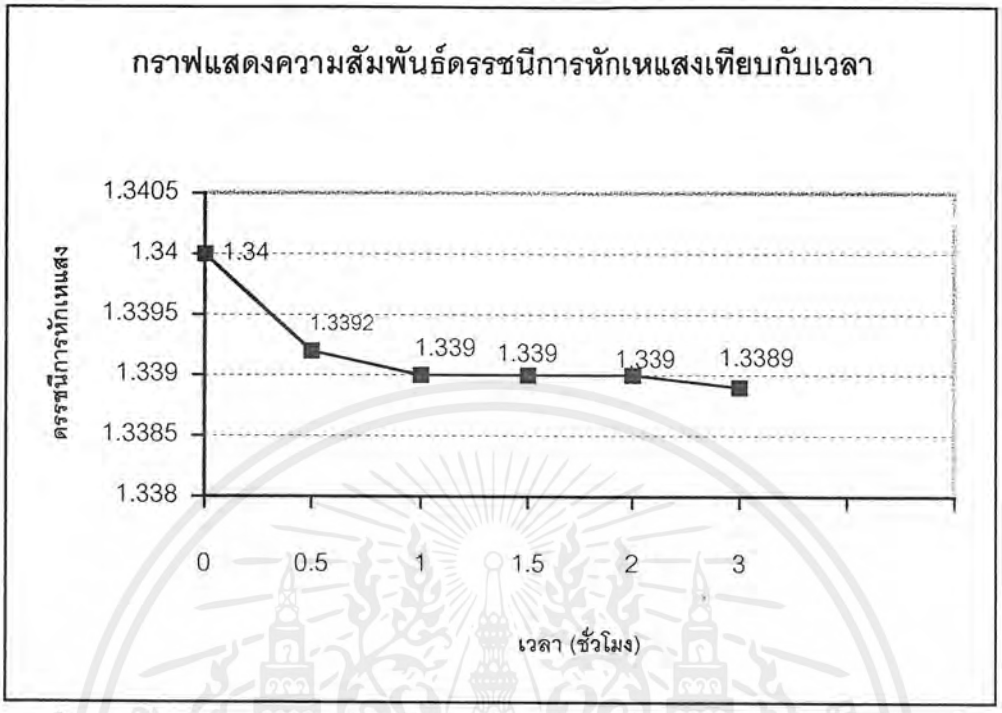
ปริมาณน้ำ	25	ลิตร
ขนาดกระแส	20	A
ขนาดเพลท	23×25	Cm^2
ระยะห่างเพลท	30	Cm

แผ่นเพลทขั้วบวก อะลูมิเนียม แผ่นเพลทขั้วลบอะลูมิเนียม

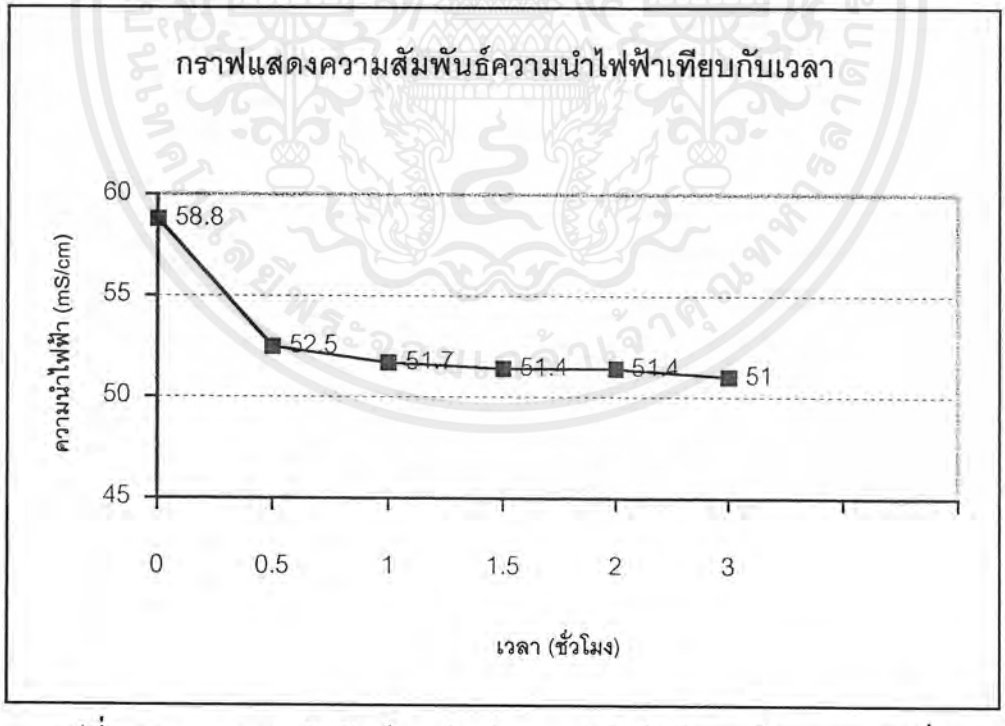
เวลา(ชม.)	V_{ac}(v)	V_{dc}(v)	PH	Refractory	Conduc. (mS/cm)
0	14.48	15.05	6.56	1.34	58.8
0.5	13.42	13.8	6.78	1.3392	52.5
1	13.02	13.4	6.54	1.3390	50.8
1.5	12.10	12.6	6.42	1.3390	51.4
2	11.78	11.8	6.19	1.3390	51.4
3	11.3	11.1	6.03	1.3389	51.0

ตารางที่ 3.28 ผลการทดลองที่ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

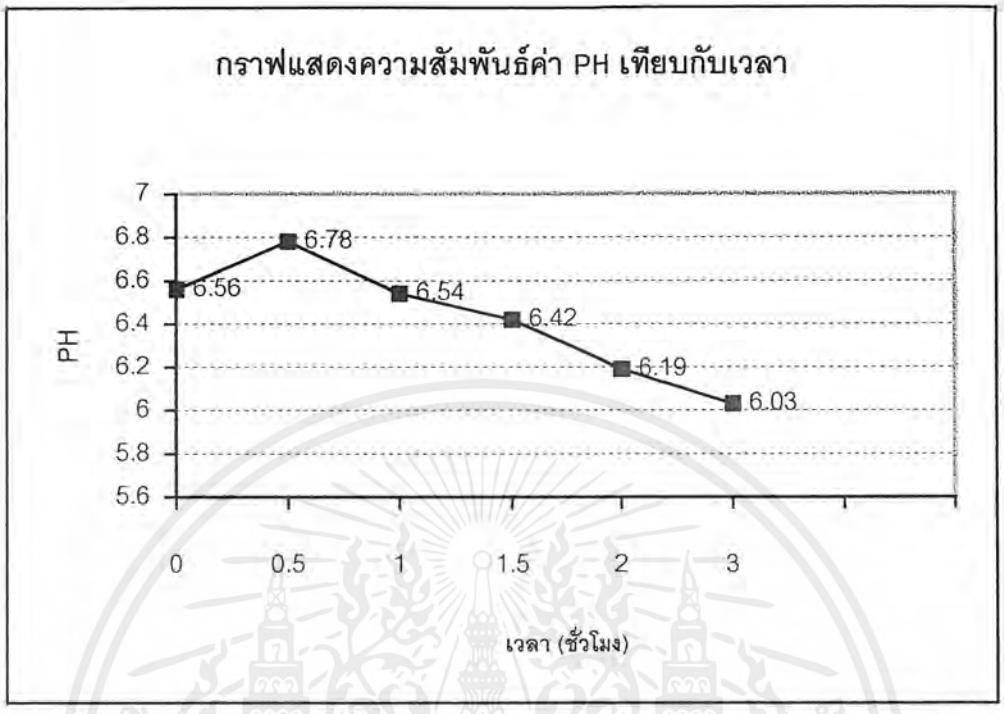


รูปที่ 3.85 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 25



รูปที่ 3.86 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.87 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 25

สรุปผลการทดลองที่ 25

1. ค่าความเค็มของน้ำลดลงได้ 18.33 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าลดลงได้ 13.12 เปอร์เซ็นต์
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ 6.03 มีสภาพเป็นกรด
4. การทดลองนี้ให้ผลในการลดค่าความเค็มของน้ำลงได้ดีพอสมควรแต่มีปัญหาด้านระบบกรองที่เกิดการอุดตันอย่างรวดเร็วมากจนไม่สามารถจะนำไปใช้งานจริงได้

การทดลองที่ 26

เรื่องการทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยใช้สะพานไอออน

วัตถุประสงค์

เพื่อดูความสามารถในการลดค่าความเค็มของน้ำโดยใช้การเชื่อมสะพานไอออน โดยสะพานไอออนคือผ้าชามัวร์วิทยาศาสตร์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เหมือนการทดลองตอนที่ 2 แต่เปลี่ยนจากตู้กระจกธรรมดาเป็นตู้กระจกที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

เหมือนกับการทดลองตอนที่ 2 แต่จะแตกต่างตรงที่ไม่มีเยื่อกั้นให้น้ำแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กันแต่จะเป็นการแบ่งน้ำเป็น 3 ส่วนโดยใช้กระจกกั้นแทนแล้วใช้ผ้าชามัวร์วิทยาศาตร์จำนวน 2 แผ่นมาโยงระหว่างช่องทั้ง 3 ก็คือเป็นสะพานไอออนนั่นเอง รอจนน้ำซึมจนทั่วทั้งแผ่นก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนโดยผ่านทางผ้าชามัวร์นี้ได้ ถ้าน้ำยังซึมไม่ทั่วจะไม่ครบวงจรเมื่อจ่ายไฟฟ้าก็จะไม่มีกระแสไหล เนื่องจากการทดลองนี้จะมีกระแสน้อยจึงต้องใช้แรงดันที่สูงมาก จึงไม่จำเป็นต้องนำวาริแอกมาต่อกับหม้อแปลง

รูปที่ 3.38 วิธีการทำอิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยใช้สะพานไอออน

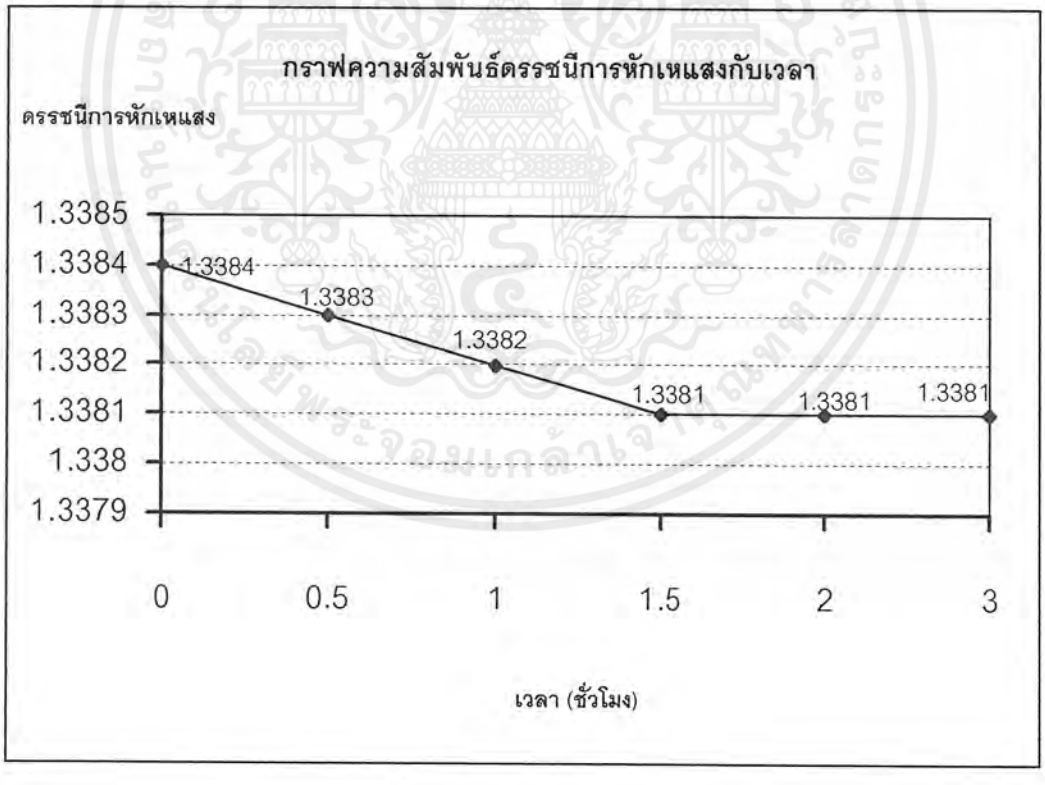
ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

- ปริมาณน้ำ 30 ลิตร
- ขนาดกระแส 20 A
- ขนาดเพลท 23×25 cm^2
- ระยะห่างเพลท 44 cm
- เพลทบวก อะลูมิเนียม เพลทลบ สแตนเลส
- สะพานไอออน ผ้าชามัวร์วิทยาศาตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

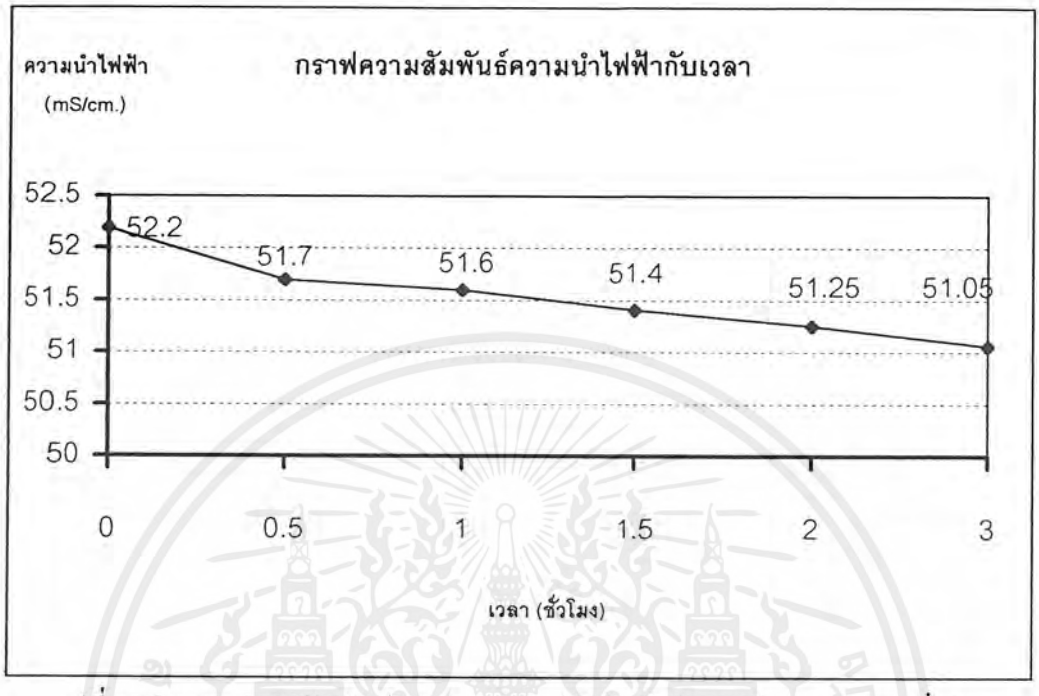
เวลา (ชม.)	PRIMARY		OUTPUT		$P_{i/p}$ (W)	Conduc. (ms/cm)	Refrac.	PH
	V_{ac} (v)	I_{ac} (A)	V_{dc} (v)	I_{dc} (v)				
0	200	1.15	175	1	230	52.2	1.3384	7.36
0.5	175	2.3	155	2	402	51.7	1.3383	7.65
1	172	2.2	152	2	378	51.6	1.3382	7.54
1.5	170	2.2	151	2	374	51.4	1.3381	7.25
2	180	2.25	160	2	405	51.25	1.3381	7.38
3	200	2.2	179	2	440	51.05	1.3381	7.55
+						52.6	1.339	4.13
-						52.4	1.3381	11.24

ตารางที่ 3.29 ผลการทดลองที่ 26

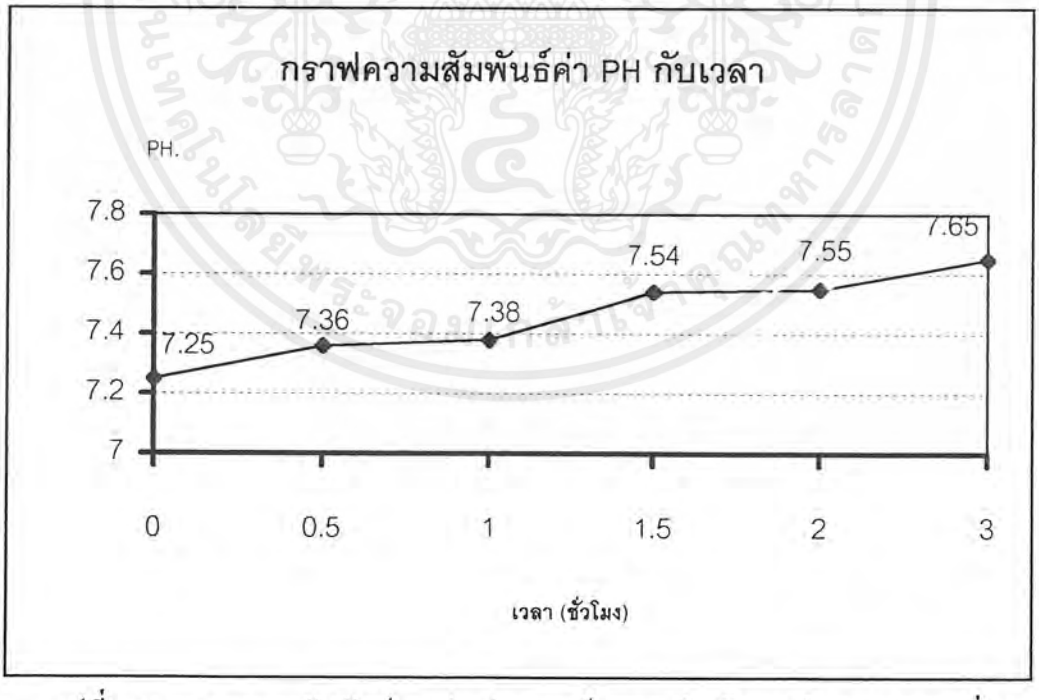


รูปที่ 3.89 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนีการหักเหแสงกับเวลาในการทดลองที่ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.90 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้ากับเวลาในการทดลองที่ 26



รูปที่ 3.91 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างกับเวลาในการทดลองที่ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองที่ 26

1. ค่าความเค็มของน้ำลดลงได้อย่างต่อเนื่องใน 1.5 ชั่วโมงแรกหลังจากนั้นจะเริ่มคงที่ โดยลดลงได้ 6.82 เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำลดลงได้เพียงเล็กน้อยคือ 2.22 เปอร์เซ็นต์
3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำคือ 7.65 มีสภาพที่เกือบจะเป็นกลาง
4. การเกิดปฏิกิริยาที่แผ่นเพลทมีน้อยทำให้ลดค่าความเค็มของน้ำได้น้อยโดยน้ำในช่องที่มีแผ่นเพลทจะขุ่นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่จะมีข้อดีคือน้ำจะมีสภาพเกือบเป็นกลางมากที่สุด

การทดลองที่ 27

เรื่องการทำอิเล็กโทรลิซิสซ้ำ 3 ครั้ง

วัตถุประสงค์

เพื่อดูแนวโน้มในการลดค่าความเค็มของน้ำเมื่อนำน้ำที่ผ่านการอิเล็กโทรลิซิสและผ่านการนำเอาตะกอนออกแล้วมาทำการอิเล็กโทรลิซิสซ้ำอีก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เหมือนการทดลองตอนที่ 1

วิธีการทดลอง

เหมือนการทดลองตอนที่ 1 แต่เมื่อทำการทดลองครบตามเวลาที่กำหนดแล้วทิ้งน้ำนั้นไว้ให้ตกตะกอนแล้วทำการดูดเอาน้ำส่วนที่ใสข้างบนออกมาทำอิเล็กโทรลิซิสซ้ำอีก แต่เนื่องจากการดูดเอาน้ำเฉพาะส่วนที่ใสออกจะได้น้ำมาเพียงประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำก่อนการทดลองเท่านั้น จึงต้องทดลองทำอิเล็กโทรลิซิสใหม่อีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำที่จะนำมาทำการอิเล็กโทรลิซิสซ้ำเป็นครั้งที่ 2 ได้ปริมาณที่เท่าเดิม แล้วทำตามขั้นตอนเดิมก็จะได้มาอีกเพียง 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำตอนเริ่มต้น นำน้ำนั้นไปทำอิเล็กโทรลิซิสซ้ำอีกเป็นครั้งที่ 3 โดยในครั้งนี้ไม่ได้สนใจว่าปริมาณจะต้องเท่าเดิมแต่จะทดลองกับปริมาณน้ำที่ได้เพียงเท่านี้โดยกระแสจะไม่สามารถปรับให้มีขนาดเท่าเดิมได้เนื่องจากปริมาณน้ำลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำอิเล็กโทรลิซิสครั้งที่ 1			ทำอิเล็กโทรลิซิสครั้งที่ 2			ทำอิเล็กโทรลิซิสครั้งที่ 3		
เวลา (ชั่วโมง)	ความนำไฟฟ้า (ms/cm)	พลังงานที่ใช้ (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)	ความนำไฟฟ้า (ms/cm)	พลังงานที่ใช้ (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)	ความนำไฟฟ้า (ms/cm)	พลังงานที่ใช้ (วัตต์)
0	51.0	200	0	45.0	200	0	43.0	120
0.5	48.6	200	0.5	44.4	200	0.5	42.7	120
1	47.3	200	1	44.2	200	1	42.3	120
1.5	46.5	200	1.5	43.8	200	1.5	42.1	120
2	46.4	200	2	43.2	200	2	41.7	120
3	45.0	200	3	43.0	200	3	41.6	120

ตารางที่ 3.30 ผลการทดลองที่ 27

<u>สรุปผลการทดลองที่ 27</u>

ในการทดลองเราได้วัดเพียงค่าความนำไฟฟ้าของน้ำเท่านั้น โดยในการทำอิเล็กโทรลิซิสครั้งแรกค่าความนำไฟฟ้าลดลง 11.88 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำน้ำไปทำอิเล็กโทรลิซิสครั้งที่ 2 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำลดลงเป็น 15.84 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำน้ำไปทำอิเล็กโทรลิซิสครั้งที่ 3 ค่าความนำไฟฟ้าจะลดลงเป็น 18.6 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อนำน้ำไปทำอิเล็กโทรลิซิสซ้ำหลายๆครั้งค่าความนำไฟฟ้าของน้ำก็ยังลดลงได้ไม่มากเท่าไรนัก แต่จะได้ปริมาณน้ำเมื่อทำอิเล็กโทรลิซิส 3 ครั้งแล้วเพียง 21.6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำตอนเริ่มต้นเท่านั้น ซึ่งสรุปได้ว่าวิธีนี้ยังไม่มีประสิทธิภาพในการลดค่าความเค็มของน้ำได้ดีเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุปและการวิเคราะห์ผลของการทดลองทั้งหมด

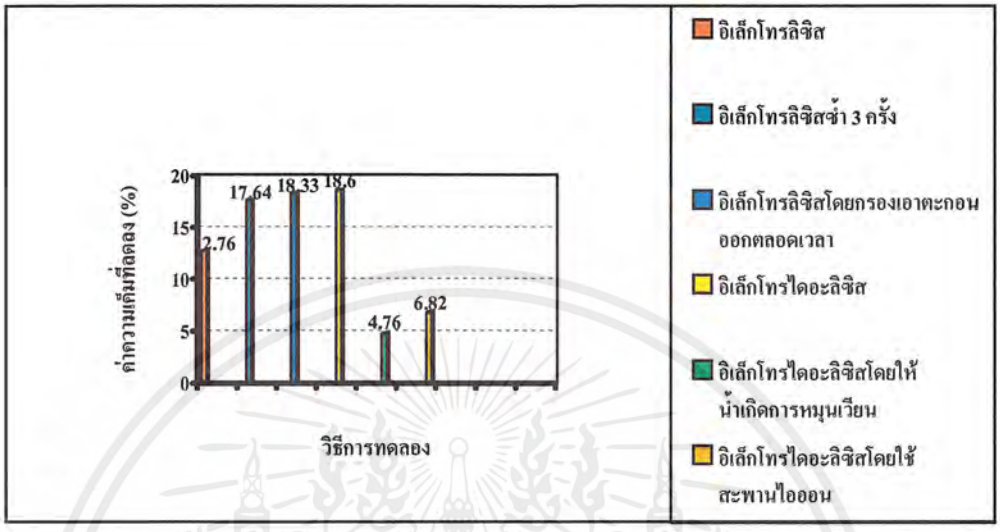
จากการทดลองทั้ง 4 ตอนเราจะได้รูปแบบของเพลทที่เหมาะสม, วัสดุที่ดีที่สุดที่จะนำมาใช้เป็นเยื่อกั้นแทนการใช้เยื่อแลกเปลี่ยนไอออนจริง และชนิดของโลหะที่ดีที่สุดที่จะนำมาใช้เป็นแผ่นเพลทขั้วบวกและแผ่นเพลทขั้วลบ แต่ยังขาดการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดค่าความเค็มของน้ำทะเลของวิธีการอิเล็กโทรลิซิส, วิธีการอิเล็กโทรไดอะลิซิส และวิธีการอื่นๆที่คิดประยุกต์ขึ้นมาใช้ในส่วนของการทดลองตอนที่ 4 ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์จากข้อมูลต่างๆที่ทำการทดลองมาสรุปผลในตารางต่อไปนี้

วิธีการ	ค่าความเค็มของน้ำที่ลดลง (%)	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำที่ลดลง (%)	ระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (kWh)	ประสิทธิภาพของปริมาณน้ำที่ได้ต่อปริมาณน้ำเริ่มต้น (%)
อิเล็กโทรลิซิส 1 ครั้ง	12.76	11.98	3	0.87	≈60
อิเล็กโทรลิซิสซ้ำ 3 ครั้ง	17.67	19.29	9	2.26	≈21.6
อิเล็กโทรลิซิสโดยกรองเอาตะกอนออกตลอดเวลา	18.33	13.72	3	1.51	≈50
อิเล็กโทรไดอะลิซิส	18.6	19.79	3	3.44	33.3
อิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยให้น้ำเกิดการหมุนเวียน	4.76	10.2	3	3.61	20
อิเล็กโทรไดอะลิซิสโดยใช้สะพานไอออน	6.82	2.22	3	1.16	33.3

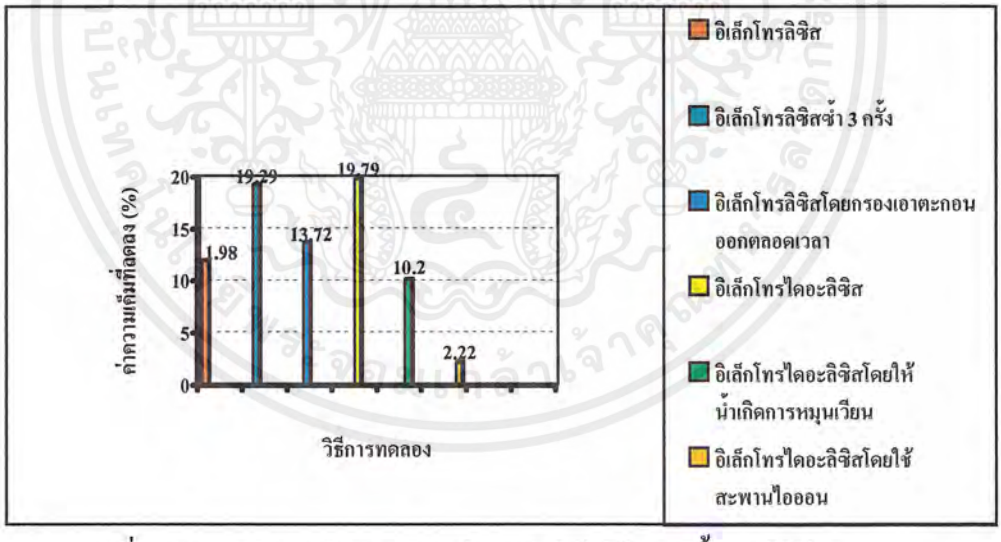
ตารางที่ 3.31 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการอิเล็กโทรลิซิสและวิธีอิเล็กโทรไดอะลิซิสในรูปแบบต่างๆ

จากตารางที่ 3.31 เราจะได้วิธีการอิเล็กโทรไดอะลิซิสเป็นวิธีที่ดีที่สุดโดยพิจารณาเรียงตามลำดับความสำคัญจากมากไปน้อย ได้แก่ ค่าความเค็มของน้ำที่ลดลง, ค่าความน้ำไฟฟ้าที่ลดลง, พลังงานที่ใช้, ระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา และประสิทธิภาพของน้ำที่ได้ต่อปริมาณน้ำเริ่มต้น ในการที่เราให้ความสำคัญกับค่าความเค็มของที่มาจากค่าดรรชนีการหักเหของแสงมากกว่าค่าความนำไฟฟ้าเพราะค่าดรรชนีการหักเหของแสงจะวัดปริมาณของสารที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด แต่ค่าความนำไฟฟ้าจะวัดได้เฉพาะสารที่สามารถเป็นไอออนในน้ำได้เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. 92 การเปรียบเทียบการลดค่าความเค็มของน้ำของวิธีต่างๆ



รูปที่ 3.93 การเปรียบเทียบการลดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำของวิธีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบเครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มเป็นน้ำจืดจำลอง

4.1 หลักการออกแบบ

จากการที่ได้ศึกษาข้อมูลต่างๆจากการทดลองทั้ง 4 ตอนในบทที่ 3 แล้วจึงสามารถเลือกวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดได้โดยการพิจารณาจากค่าความเค็มของน้ำที่ลดลง ค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้า และประสิทธิภาพของน้ำเค็มที่เข้าระบบต่อน้ำจืดที่จะได้ โดยการในไปใช้งานหลักของเครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มเป็นน้ำจืดคือนำไปใช้งานบนเรือเดินทะเล ซึ่งมีพลังงานไฟฟ้าที่จำกัดแต่มีปริมาณน้ำทะเลที่จะนำมาเข้าเครื่องมากมายมหาศาล ฉะนั้นเราจึงเลือกที่จะพิจารณาจากค่าความเค็มที่ลดลงเป็นปัจจัยแรก และการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยรองลงมา ส่วนประสิทธิภาพของน้ำเค็มที่เข้าต่อน้ำจืดที่ได้เป็นปัจจัยสุดท้าย จากตารางที่ 3.31 ในบทที่ 3 เราจะได้วิธีที่ดีที่สุดที่จะนำมาใช้ในการออกแบบเครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มเป็นน้ำจืดจำลองคือวิธีอิเล็กโทรไดอะลิซิส

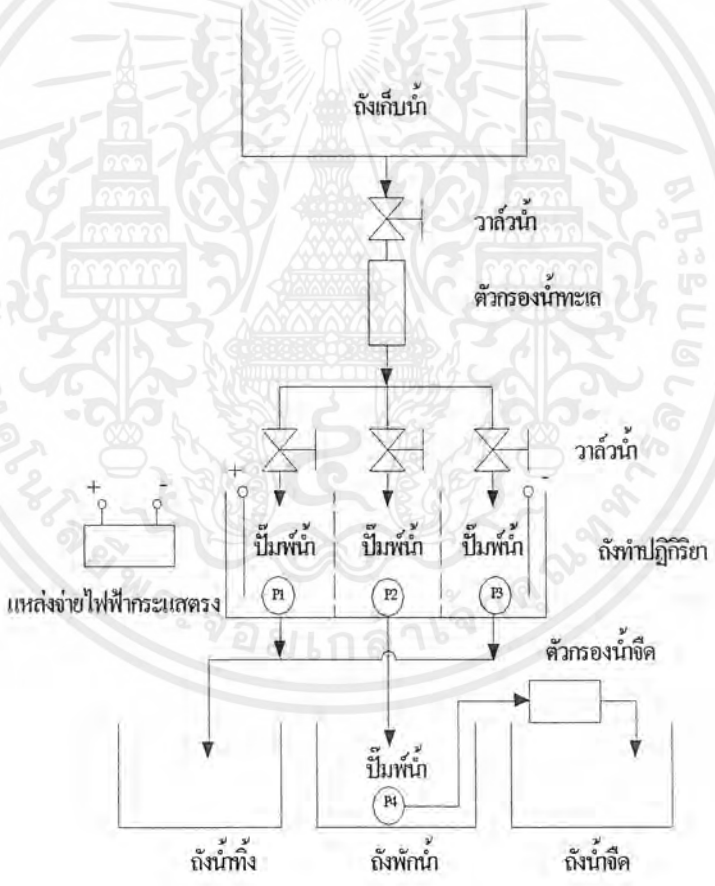
4.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของตัวเครื่อง

1. ถังน้ำเข้า เป็นที่รับน้ำเข้ามาเก็บไว้ให้มีปริมาณที่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาได้หนึ่งครั้ง
2. ตัวกรองน้ำทะเล ประกอบด้วยใส้กรองเรซินซึ่งทำหน้ากรองเอาตะกอนออกและใส้กรองคาร์บอนจะทำหน้าที่ทั้งกรองเอาตะกอนออกและดูดกลิ่นของน้ำทะเลด้วย
3. ถังทำปฏิกิริยา จะเป็นถังที่ใช้สำหรับทำการอิเล็กโทรไดอะลิซิสน้ำทะเลโดยจะแบ่งเป็น 3 ส่วน กั้นแต่ละส่วนด้วยเยื่อกั้น
4. ถังพักน้ำจืด จะใช้สำหรับพักน้ำที่ออกมาจากช่องกลางของถังทำปฏิกิริยาเพื่อลดอุณหภูมิของน้ำจากการทำปฏิกิริยา
5. ตัวกรองน้ำจืด ประกอบด้วยใส้กรองความละเอียด 0.3 ไมครอนเพื่อกรองเอาตะกอนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา
6. ถังเก็บน้ำจืด จะใช้สำหรับเก็บน้ำจืดที่ผ่านตัวกรองแล้วมาเก็บไว้เพื่อนำไปใช้งานต่อไป
7. ถังเก็บน้ำทิ้ง จะใช้สำหรับเก็บน้ำทิ้งจาก 2 ช่องข้างของถังทำปฏิกิริยาเพื่อที่จะนำไปทิ้งลงทะเลต่อไป
8. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง จะประกอบไปด้วยหม้อแปลงลดแรงดัน วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงใช้เป็นวงจรเร็กติไฟร์แบบควบคุมแรงดันได้ (Full wave half control rectifier)
9. ปั๊มพ์น้ำ จะใช้สำหรับถ่ายเทน้ำจากถังหนึ่งไปยังอีกถังหนึ่ง โดยเลือกใช้เป็นปั๊มพ์น้ำขนาดเล็กที่ติดตั้งอยู่ในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทำงานของเครื่องเปลี่ยนน้ำเค็มเป็นน้ำจืดจำลอง

น้ำทะเลจะถูกนำมาใส่ในถังน้ำเข้าจากนั้นจะเปิดวาล์วให้น้ำจากถังน้ำเข้าไหลเข้าสู่ถังทำปฏิกิริยาทั้ง 3 ช่องโดยจะเปิดวาล์วให้น้ำไหลเข้าทีละช่อง จากนั้นจะเริ่มจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่แผ่นเพลทที่บรรจุอยู่ในถังทำปฏิกิริยา เมื่อทำปฏิกิริยาจนครบตามเวลาที่กำหนดก็จะหยุดจ่ายไฟฟ้าแล้วปั๊มพ์น้ำ P_1 , P_3 ก็จะเริ่มดูดน้ำจากช่องข้างทั้งสองข้างของถังทำปฏิกิริยาไปสู่ถังน้ำทิ้ง และปั๊มพ์น้ำ P_2 ดูดน้ำจากช่องกลางไปสู่ถังพักน้ำจืด จากนั้นก็จะเปิดวาล์วเพื่อให้น้ำจากถังน้ำเข้าไหลเข้าสู่ถังทำปฏิกิริยาเป็นวงรอบเดิมต่อไปเรื่อยๆ ส่วนน้ำจืดที่เก็บในถังพักน้ำจืดจะถูกรอให้ลดอุณหภูมิลงก่อนที่จะให้ปั๊มน้ำ P_4 ดูดผ่านตัวกรองเข้าสู่ถังเก็บน้ำจืดต่อไป

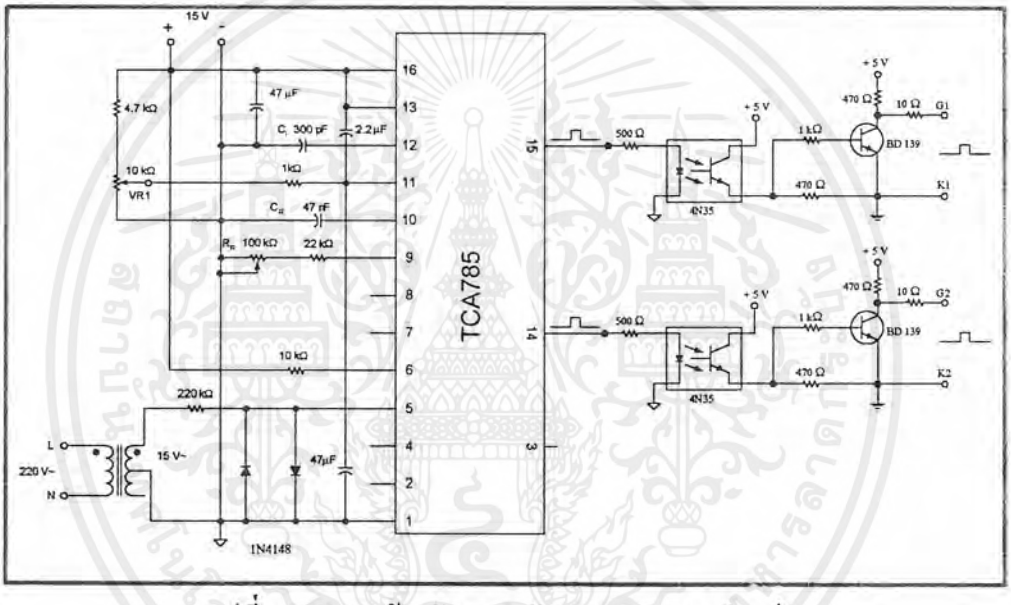


รูปที่ 4.1 แผนผังการทำงานของเครื่องจำลอง

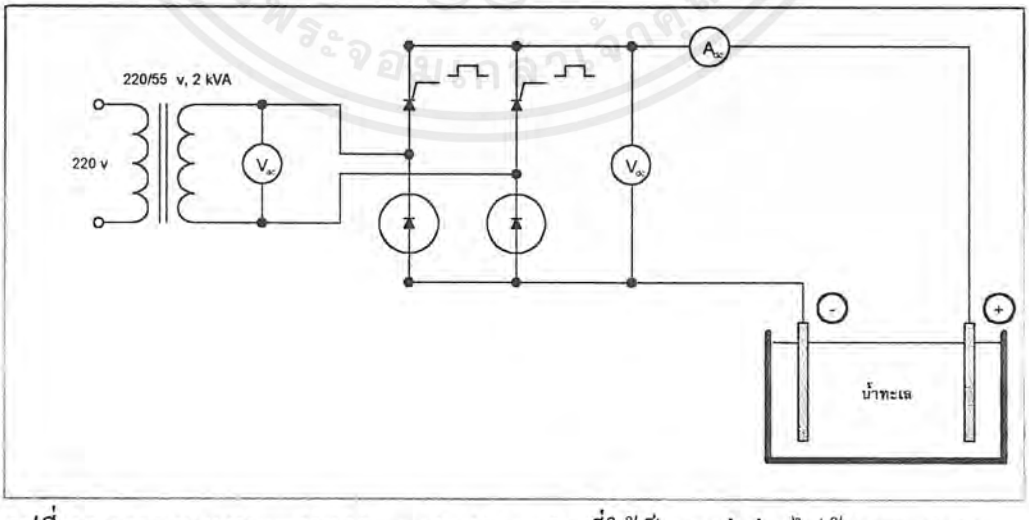
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วงจรการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

จากการทดลองโดยวงจรบริดจ์เร็กติไฟร์จะเห็นแนวโน้มระดับแรงดันและกระแสในการทดลอง เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานจึงใช้วงจรควบคุมแรงดัน โดยการควบคุมมุมทริกของเอสซีอาร์ โดยเลือกใช้เป็นวงจร Full wave half controlled rectifier เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับแรงดันได้ตามต้องการ วงจรสร้างสัญญาณขับขาเกตของเอสซีอาร์ใช้ IC เบอร์ TCA 785 ซึ่งจะมีหลักการทำงานคือสร้างสัญญาณรูปสามเหลี่ยมจากสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้รับแล้วจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้ก็จะได้มุมที่จะทริกเอสซีอาร์ ดังแสดงวงจรดังรูป



รูปที่ 4.2 วงจรสร้างสัญญาณขับขาเกตของเอสซีอาร์



รูปที่ 4.3 วงจร Full Wave Half Controlled Rectifier ที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การคิดค่าใช้จ่าย

ในการทำปฏิกิริยาหนึ่งรอบ พลังงานที่ใช้ประมาณ 3.5 kWh ถ้าค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2 บาทจะเสียค่าไฟฟ้า 7 บาท

ปริมาณน้ำจืดที่ได้ต่อการทำปฏิกิริยาหนึ่งรอบ เท่ากับ 10 ลิตร

∴ ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำจืดเท่ากับ 7/10 = 0.7 บาทต่อลิตร

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาหนึ่งรอบ เท่ากับ 3 ชั่วโมง

∴ อัตราในการผลิตน้ำคือ 10/3 = 3.33 ลิตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงเครื่องจำลองด้านข้างและด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและแนวทางในการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากการที่ได้ทำการศึกษาและทดลองมาทั้งหมดจะได้ปัจจัยหลักในการลดค่าความเค็มของน้ำคือวิธีในการทำปฏิกิริยา ซึ่งก็คือวิธีอิเล็กโทรลิซิสกับวิธีอิเล็กโทรไดอะลิซิส ส่วนการออกแบบเพลทและการเลือกใช้โลหะที่ดีที่สุดมาใช้เป็นเพลทเป็นเพียงปัจจัยเสริม

ในการทำวิธีอิเล็กโทรลิซิสน้ำทะเลจะสามารถลดค่าความเค็มของน้ำลงได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากการทำอิเล็กโทรลิซิสสามารถที่จะเอาคลอไรด์ออกจากน้ำทะเลได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ไม่สามารถที่จะแยกเอาโซเดียมออกจากน้ำทะเลได้เพราะไอออนของคลอไรด์ ($2Cl^-$) จะเป็นไอออนลบที่สามารถไปรวมกับโลหะของแผ่นเพลทขั้วบวกได้เป็นสารประกอบคลอไรด์ที่สามารถแยกออกมาจากน้ำได้รวมทั้งคลอไรด์จะสูญเสียอิเล็กตรอนกลายเป็นก๊าซคลอรีน (Cl_2) ด้วย ส่วนไอออนของโซเดียม (Na^+) ซึ่งเป็นไอออนบวกจะไม่สามารถไปรวมกับโลหะของแผ่นเพลทขั้วลบได้แม้ว่าจะสามารถรวมกับไอออนลบในน้ำได้ซึ่งก็คือไอออนของไฮดรอกไซด์ ($2OH^-$) แต่ในกรณีนี้จะไม่สามารถรวมกันเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ได้ เนื่องจากไอออนของไฮดรอกไซด์ ($2OH^-$) จะเคลื่อนที่ไปที่แผ่นเพลทขั้วบวกแทน โดยคลอไรด์จะไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้หมด ฉะนั้นการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานเกินไปก็จะไม่ได้ผลที่ดีขึ้นจากการทดลองจะได้ผลที่ดีที่สุดโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ส่วนในการทำอิเล็กโทรลิซิสซ้ำเป็นครั้งที่ 2 หรือครั้งที่ 3 โดยนำน้ำจากการทำปฏิกิริยาครั้งแรกไปกำจัดเอาตะกอนออกก่อน ก็จะได้ผลในการลดค่าความเค็มลงได้น้อยกว่าในการทำปฏิกิริยาในครั้งแรกมาก ทั้งนี้เนื่องจากเราไม่สามารถกำจัดเอาสารประกอบคลอไรด์ออกจากน้ำได้หมดโดยการกำจัดตะกอนเพราะสารประกอบคลอไรด์จะสามารถละลายน้ำได้ และประสิทธิภาพของน้ำอินพุทต่อน้ำเอาท์พุทของวิธีการนี้ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้นยิ่งนำน้ำไปทำปฏิกิริยาเป็นครั้งที่ 2 หรือครั้งที่ 3 ก็จะได้ปริมาณน้ำเอาท์พุทที่ลดลงมาก จึงสรุปได้ว่าวิธีการลดค่าความเค็มของน้ำโดยวิธีอิเล็กโทรลิซิสไม่สามารถลดค่าความเค็มของน้ำลงให้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ส่วนในการทำวิธีอิเล็กโทรไดอะลิซิสจะสามารถลดค่าความเค็มของน้ำลงได้มากกว่าวิธีแรก ซึ่งเป็นวิธีที่นำมาใช้ในการออกแบบเครื่องจำลอง เพราะการทำปฏิกิริยาโดยวิธีอิเล็กโทรไดอะลิซิสเพียงครั้งเดียวก็ให้ผลในการลดค่าความเค็มของน้ำลงได้ดีกว่าการทำปฏิกิริยาโดยวิธีอิเล็กโทรลิซิสซ้ำ 3 ครั้ง อีกทั้งยังใช้เวลารวมในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากเราสามารถที่จะเอาทั้งโซเดียมและคลอไรด์ออกจากน้ำทะเลได้โดยการให้ไอออนของโซเดียมและไอออนของคลอไรด์เคลื่อนผ่านเยื่อกั้นเข้าไปหาแผ่นเพลทที่มีขั้วตรงกันข้ามทำให้น้ำในช่องกลางมีความเค็มลดลง ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำในช่องข้างซึ่งมีแผ่นเพลทอยู่ก็จะมีความเค็มเพิ่มขึ้น แต่ผลการลดค่าความเค็มก็ยังสามารถทำได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากประสิทธิภาพในการลดค่าความเค็มของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเยื่อกั้นเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งในการทำจะหาวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นเยื่อกั้นซึ่งมีราคาไม่สูงเกินไปนักแต่มีประสิทธิภาพในการลดค่าความเค็มของน้ำลงได้ดีขึ้นก็จะมีการคิดค้นและพัฒนาต่อไป

5.2 แนวทางในการแก้ไขและพัฒนา

1. เปลี่ยนเยื่อกั้นจากวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกเป็นวัสดุที่ราคาไม่สูงมากนักแต่ค่อนข้างจะหาได้ยาก เช่น แผ่นแอสเบสตอส, แผ่นฟิลเตอร์เค้ก ฯลฯ ก็น่าที่จะให้ผลในการลดค่าความเค็มของน้ำได้ดีขึ้น
2. เนื่องจากเกิดการรั่วซึมของน้ำระหว่างช่องทั้ง 3 ช่องของถังทำปฏิกิริยา ทำให้ค่าความเค็มลดลงได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น ทั้งนี้เนื่องจากไม่สามารถที่จะยึดเยื่อกั้นกับแผ่นกระจกเจาะรูและยึดกระจกเจาะรูกับถังทำปฏิกิริยาให้เป็นการถาวรโดยใช้กาวซิลิโคนได้ เพราะจะต้องมีการเปลี่ยนเยื่อกั้นใหม่ทุกรอบของการทำปฏิกิริยา จึงต้องใช้เป็นวิธีการเสียบอัดให้แน่นแทน จึงต้องมีการแก้ไขหาวิธีที่จะสามารถเปลี่ยนเยื่อกั้นได้ง่ายโดยที่น้ำไม่รั่วซึมระหว่างช่อง
3. โลหะที่นำมาใช้เป็นแผ่นเพลทยังเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก เมื่อนำไปใช้งานจะเกิดการสึกหรอมาก ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแผ่นเพลทใหม่อยู่บ่อยๆ จากการศึกษาพบว่าโลหะที่สามารถใช้งานได้ดีกว่า แต่มีราคาสูงและหาได้ยาก เช่น ไทเทเนียม, พลาทินัม, แกรไฟต์ ดังนั้นในการใช้งานจริงควรจะเปลี่ยนชนิดของโลหะที่จะนำมาใช้เป็นแผ่นเพลทเสียใหม่
4. ในการใช้งานจริงจะไม่เป็นการสะดวกนักที่จะต้องมาคอยปรับแรงดันที่ป้อนให้กับแผ่นเพลทเพื่อให้กระแสคงที่ จึงต้องมีการพัฒนาให้มีวงจรควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อปรับแรงดันให้มีกระแสคงที่โดยอัตโนมัติ
5. ในการใช้งานจริงจะต้องมีระบบที่ควบคุมการปิด-เปิดของวาล์วน้ำ, การทำงานของปั๊มพ์น้ำ, การทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งจะทำงานโดยอัตโนมัติทั้งหมดโดยการเซนเซอร์จากระดับน้ำในถังต่างๆเป็นตัวแปรในการกำหนดการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ
6. เครื่องจำลองที่ออกแบบสามารถผลิตน้ำได้เพียง 10 ลิตรต่อหนึ่งรอบของการทำปฏิกิริยาซึ่งก็คือ 3.33 ลิตรต่อชั่วโมงเท่านั้น ในการใช้งานจริงควรจะมีอัตราการผลิตน้ำได้มากกว่านี้โดยการมีถังทำปฏิกิริยาหลายๆถัง แต่ละถังทำงานไม่พร้อมกันเพื่อที่จะได้น้ำที่ออกมาอย่างต่อเนื่อง
7. เนื่องจากเครื่องที่เราออกแบบจะต้องทำงานร่วมกับน้ำทะเลซึ่งนำไฟฟ้าได้ดีกว่าน้ำจืดมาก จึงอาจจะเกิดอันตรายหากเกิดความผิดพลาดจาก น้ำรั่วซึม หรือน้ำกระเด็น อาจทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจร ในการใช้งานจริงควรจะติดตั้งระบบไฟฟ้าให้มีความสามารถในการกันน้ำได้ในระดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

คุณสมบัติที่สำคัญทางกายภาพของน้ำทะเลและน้ำประปา

คุณสมบัติ	น้ำทะเล	น้ำประปา
ค่าดรรชนีการหักเหของแสง	1.3370-1.3395	1.3340-1.3342
ค่าความเค็ม (ppt)	30-36	0-0.1
ค่าความนำไฟฟ้า (mS/cm)	32-60	0.1-2.0
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7.0-8.5	6.5-8.0

การคำนวณหาค่าความเค็มของน้ำที่ลดลง

$$R = \frac{R_0 - R_t}{R_0 - R_s} \times 100$$

การคำนวณหาค่าความนำไฟฟ้าที่ลดลง

$$C = \frac{C_0 - C_t}{C_0 - C_s} \times 100$$

เมื่อ R คือ ค่าความเค็มของน้ำที่ลดลง (%)

R_0 คือ ค่าดรรชนีการหักเหของแสงของน้ำทะเลก่อนทำปฏิกิริยา

R_t คือ ค่าดรรชนีการหักเหของแสงของน้ำทะเลที่ผ่านการทำปฏิกิริยา t ชั่วโมง

R_s คือค่าดรรชนีการหักเหของแสงของน้ำประปา โดยค่าดรรชนีการหักเหของแสงโดยเฉลี่ยของน้ำประปาอยู่ที่ 1.334

C คือ ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำที่ลดลง (%)

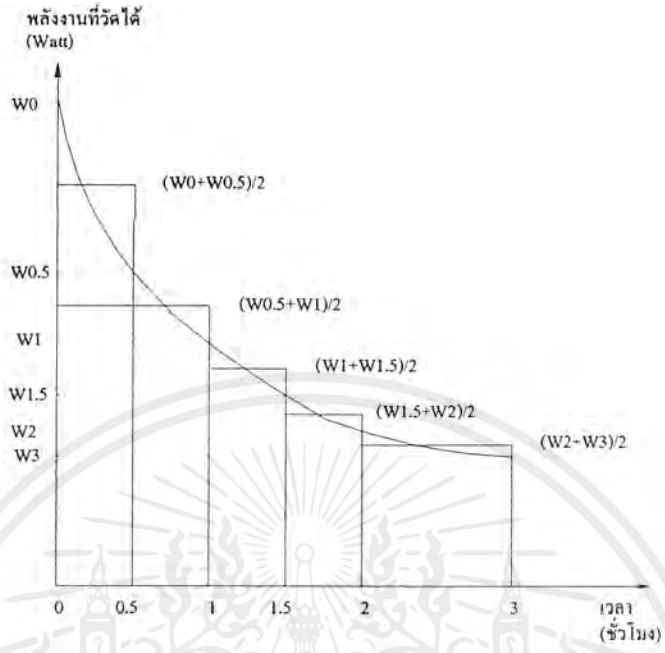
C_0 คือ ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำทะเลก่อนทำปฏิกิริยา (mS/cm)

C_t คือ ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำทะเลที่ผ่านการทำปฏิกิริยา t ชั่วโมง (mS/cm)

C_s คือ ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำประปาโดยค่าความนำไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของน้ำประปาอยู่ที่ 0.5 mS/cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้



เราจะหาพลังงานที่ใช้ได้โดยการหาพื้นที่ใต้กราฟ เมื่อเราประมาณค่าให้พื้นที่ของแท่งสี่เหลี่ยมทั้งหมดเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟ จะได้

$$Wh = \left(\frac{W_0 + W_{0.5}}{2} \times 0.5\right) + \left(\frac{W_{0.5} + W_1}{2} \times 0.5\right) + \left(\frac{W_1 + W_{1.5}}{2} \times 0.5\right) + \left(\frac{W_{1.5} + W_2}{2} \times 0.5\right) + \left(\frac{W_2 + W_3}{2} \times 1\right)$$

$$kWh = \frac{0.25W_0 + 0.5W_{0.5} + 0.5W_1 + 0.5W_{1.5} + 0.75W_2 + 0.5W_3}{1000}$$

เมื่อ W_0 คือ พลังงานไฟฟ้าที่บันทึกค่าในชั่วโมงที่ 0

$W_{0.5}$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่บันทึกค่าในชั่วโมงที่ 0.5

W_1 คือ พลังงานไฟฟ้าที่บันทึกค่าในชั่วโมงที่ 1

$W_{1.5}$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่บันทึกค่าในชั่วโมงที่ 1.5

W_2 คือ พลังงานไฟฟ้าที่บันทึกค่าในชั่วโมงที่ 2

W_3 คือ พลังงานไฟฟ้าที่บันทึกค่าในชั่วโมงที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของโลหะ	ปฏิกิริยาครึ่งเซลล์รีดักชัน	E^{O} (โวลท์)
ทอง	$Au^{3+}(aq) + 3e^{-} \rightarrow Au(s)$	+1.50
เงิน	$Ag^{+}(aq) + e^{-} \rightarrow Ag(s)$	+0.80
ทองแดง	$Cu^{2+}(aq) + e^{-} \rightarrow Cu(s)$	+0.34
เหล็ก	$Fe^{2+}(aq) + e^{-} \rightarrow Fe(s)$	-0.44
สังกะสี	$Zn^{2+}(aq) + e^{-} \rightarrow Zn(s)$	-0.76
อะลูมิเนียม	$Al^{3+}(aq) + e^{-} \rightarrow Al(s)$	-1.66

ตารางแสดงค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชันที่ 298 K ของโลหะที่สำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีก็เพราะความช่วยเหลือ ให้การสนับสนุนที่ดีมาโดยตลอดจากบุคคล ดังรายนามต่อไปนี้ จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

ผศ. ประภาษ ไพรสุวรรณา และ อ. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้แนวทางคำปรึกษาและคำแนะนำในการทำโปรเจ็ก ตลอดจนจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโปรเจ็กนี้

รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และ ผศ. ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำโปรเจ็กนี้

คุณสุรินทร์ คุณกัญญา และคุณสุภัทร เจ้าหน้าที่ห้องแล็บภาควิชาเคมี ที่ได้อำนวยความสะดวกในเรื่องของการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการทดสอบน้ำ และคำแนะนำ

เจ้าหน้าสโตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้อำนวยความสะดวกในเรื่องเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เพื่อนๆ 3W ทุกคนที่ให้การช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำโปรเจ็กตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] K. Vuorilehto and A. Tamminen, "Application of a solid ion-exchange electrolyte in three-dimensional electrodes", Journal of applied electrochemistry 27, page 749-755, 1997

[2] D. Pletcher and F. C. Walsh, "Industrial Electrochemistry", Chapman and Hall, London, 1990

[3] The Electrosynthesis Co., Lancaster, NY 14086

[4] เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, "วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม", มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2539

[5] พิมล เรียนวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, "เคมีสิ่งแวดล้อม", สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, 2539

[6] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, "เคมีเล่ม 6", โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ, 2536

[7] ทบวงมหาวิทยาลัย, "เคมีเล่ม 1", สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์, กรุงเทพฯ, 2531

[8] สุรินทร์ มัจฉาชีพ และ สมสุข มัจฉาชีพ, "สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ", สำนักพิมพ์แพร่วิทยา, กรุงเทพฯ, 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้