

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(7)
รายการภาพประกอบ	(8)
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	22
2 เครื่องมือ	23
3 วิธีการวิจัย	28
วัสดุ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	28
4 ผลและการอภิปรายผล	34
5 บทสรุป	68
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก	
ก บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11	72
ข การเขียนแผนภูมิสายงานโปรแกรม (Flowchart)	77
ค โปรแกรมควบคุมการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11	90
ง โปรแกรมควบคุมการรับ-ส่ง และประมวลผลข้อมูล	94
จ ผลการทดลอง การหาค่าสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	100
ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ	
ฉ ผลการทดลอง การหาค่าสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	110
โดยใช้ความเข้มข้น 1.0 M. ที่ตำแหน่งต่างๆ กัน	
ประวัติผู้เขียน	130

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงสัมประสิทธิ์การแพร่ของของเหลว	9
2	แสดงค่าโมบิลิตีของไอออนต่างๆในสารละลายซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำละลายที่ 298.15 K	21
3	แสดงค่าสภาพนำไฟฟ้าโมลาร์ของไอออนชนิดต่างๆ ในน้ำที่ 25° C	22
4	แสดงค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อทำการทดลองหาค่าการละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ตำแหน่งต่างๆ ในช่วงเวลา 3000 วินาที	51
5	แสดงค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อทำการทดลองหาค่าการละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ตำแหน่งต่างๆ ในช่วงเวลา 3000 วินาที	56
6	แสดงค่าสภาพนำไอออนิกที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าเมื่อทำการหาค่าการละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต	62

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงตัวอย่างเส้นสมศักย์และเส้นแรงไฟฟ้าที่ปรากฏระหว่างขั้วลบกับขั้วบวกของตัวนำไฟฟ้า	4
2	แสดงการเคลื่อนที่ของไอออนแบบไมเกรชัน	5
3	แสดงการนำพาไอออนจากชั้นสารละลายไปยังผิวหน้าขั้วไฟฟ้าด้วยการแพร่	6
4	แสดงรูปแบบกระบวนการที่ขั้วไฟฟ้า	11
5	แสดงตัวอย่างการอัดกระแสในกระบวนการนอนฟาราเดอิก	12
6	แสดงการละลายของโซเดียมคลอไรด์ในน้ำ	14
7	(ก) แสดงการรวมตัวของออกซิเจนและไฮโดรเจนเป็น โมเลกุลน้ำ (ข) แสดงสัญลักษณ์ของโมเลกุลที่มีขั้วของน้ำ อะตอมของออกซิเจนแสดงขั้วลบ อะตอมของไฮโดรเจนแสดงขั้วบวก	14
8	แสดงการยึดเหนี่ยวด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างอะตอมของออกซิเจนกับอะตอมของไฮโดรเจนของน้ำแต่ละโมเลกุล	15
9	แสดงการแตกตัวของโซเดียมคลอไรด์ โดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นตัวทำละลาย	15
10	แสดงการไหลของไอออนในเซลล์ไฟฟ้า	16
11	แสดงการนำไฟฟ้า (ก) เซลล์ไฟฟ้า (ข) การคงไว้ซึ่งความเป็นกลางของประจุ	17
12	แสดงอิเล็กโทรลิซิสของโซเดียมคลอไรด์เหลว	18
13	แสดงการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลาย (ก) เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน บรรยากาศไอออนิกจะมีลักษณะเป็นทรงกลมสมมาตร (ข) เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านบรรยากาศไอออนิกจะเสียสมมาตร การแยกกันของประจุบวกและประจุลบ ทำให้ไอออนที่จุดศูนย์กลางเคลื่อนที่ได้ช้าลง	18
14	แสดงรูปลูกบาศก์ของสารละลายที่มีความเข้มข้นของแคตไอออนเท่ากับ c_M และมีความต่างศักย์ระหว่างด้านตรงข้ามเท่ากับ V volts	19
15	แสดงกลไกของโมบิลิตีของ H_3O^+ โดยการโยกย้าย H^+ ผ่านโมเลกุลของ H_3O^+	21

	ซึ่งเรียงกันเป็นโซ่ตรง ทำให้ H^+ สามารถนำไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว	
16	แสดงหัววัดความต่างศักย์ไฟฟ้าจำนวน 80 หัว ที่ด้านล่างของชุดทดลองสนามไฟฟ้า	24
17	แสดงการทำงานของขาวงจรชิปควมสัญญาณเบอร์ 4051	25
18	แสดงการทำงานของขาวงจรชิปควมสัญญาณเบอร์ 4067	25
19	แสดงการต่อวงจรมัลติเพลกเซอร์กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11	27

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	แสดงตำแหน่งการหยดสารละลายที่ตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ	30
21	แสดงตำแหน่งการหยดสารละลายที่ขั้วไฟฟ้าบวก	31
22	แสดงตำแหน่งการหยดสารละลายที่ขั้วไฟฟ้าลบ	31
23	แสดงการวัดค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อทำการทดลองหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์	32
24	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.05 M. ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในการเก็บข้อมูล 30 วินาที	36
25	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.2 M. ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในการเก็บข้อมูล 30 วินาที	37
26	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.0 M. ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในการเก็บข้อมูล 30 วินาที	38
27	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า ก่อนการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ	39
28	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในการเก็บข้อมูล 30 วินาที	40
29	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในการเก็บข้อมูล 90 วินาที	41

30	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า ก่อนการหยุด สารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ	42
31	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุด สารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในการเก็บข้อมูล 30 วินาที	43
32	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุด สารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในการเก็บข้อมูล 90 วินาที	43

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
33	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุด สารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในการเก็บข้อมูล 120 วินาที	44
34	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุด สารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในการเก็บข้อมูล 180 วินาที	44
35	แสดงความแตกต่างของเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุด สารละลายโซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในการเก็บข้อมูล 240 วินาที	45
36	แสดงจำนวน ไอออนบวกที่เคลื่อนอยู่บริเวณใกล้ขั้วไฟฟ้าบวก	46
37	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า ก่อนการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก	47
38	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในการเก็บข้อมูล 600 วินาที	47
39	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในการเก็บข้อมูล 1200 วินาที	48
40	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในการเก็บข้อมูล 1800 วินาที	48

41	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในการเก็บข้อมูล 2400 วินาที	49
42	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในการเก็บข้อมูล 3000 วินาที	49
43	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในการเก็บข้อมูล 3600 วินาที	50
44	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในการเก็บข้อมูล 4200 วินาที	50
45	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก ในการเก็บข้อมูล 4800 วินาที	51
46	แสดงจำนวนไอออนลบที่เหลืออยู่บริเวณใกล้ขั้วไฟฟ้าลบ	52

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
47	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า ก่อนการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ	53
48	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในการเก็บข้อมูล 600 วินาที	53
49	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในการเก็บข้อมูล 1200 วินาที	54
50	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในการเก็บข้อมูล 1800 วินาที	54
51	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในการเก็บข้อมูล 2400 วินาที	55
52	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าลบ ในการเก็บข้อมูล 3000 วินาที	55
53	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในวงจรกับเวลา โดยหยุด สารละลายตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ขั้วไฟฟ้าบวกและ ขั้วไฟฟ้าลบ	59

54	แสดงการนำไฟฟ้า (ก) เซลล์ไฟฟ้า (ข) การคงไว้ซึ่งความเป็นกลางของประจุ	60
55	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาโดยหดย สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ขั้วไฟฟ้าบวกและขั้วไฟฟาลบ	64
56	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาโดยหดย สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าบวก	65
57	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาโดยหดย สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลาง ระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและขั้วไฟฟาลบ	65
58	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาโดยหดย สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งขั้วไฟฟาลบ	66
59	แสดงขาสัญญาณต่างๆ ของซีพียูเบอร์ 68SEC811E2	75
60	แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของซีพียู	76
61	แสดงแผนภูมิสายงาน โปรแกรมหลักส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งติดต่อกับ กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์	79

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
62	แสดงแผนภูมิสายงาน โปรแกรมย่อยส่วนเก็บข้อมูลเพื่อส่งต่อไปประมวลผลที่ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์	82
63	แสดงแผนภูมิสายงาน โปรแกรมย่อยแปลงสัญญาณข้อมูลจากอนาล็อกเป็น สัญญาณดิจิทัล	84
64	แสดงแผนภูมิโปรแกรมหลักส่วนที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ติดต่อกับส่วน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	85
65	แสดงแผนภูมิสายงาน โปรแกรมหลักส่วนที่อ่านข้อมูล ประมวลผลและพล็อต เส้นแรงไฟฟ้า	87
66	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหดยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 30 วินาที ความเข้มข้น 0.05 M.	101
67	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหดยสารละลายโซเดียมคลอไรด์	102

	ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 30 วินาที ความเข้มข้น 0.2 M.	
68	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยุดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 30 วินาที ความเข้มข้น 1.0 M.	103
69	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยุดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 120 วินาที ความเข้มข้น 0.05 M.	104
70	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยุดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 120 วินาที ความเข้มข้น 0.2 M.	105
71	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยุดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 120 วินาที ความเข้มข้น 1.0 M.	106
72	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยุดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 300 วินาที ความเข้มข้น 0.05 M.	107

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
73	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยุดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 300 วินาที ความเข้มข้น 0.2 M.	108
74	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้า ก่อนและหลังการหยุดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 300 วินาที ความเข้มข้น 1.0 M.	109
75	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า ก่อนการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ	111
76	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย	112

	โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 30 วินาที	
77	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 300 วินาที	112
78	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 600 วินาที	113
79	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 900 วินาที	113
80	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 1200 วินาที	114
81	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 1500 วินาที	114
82	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 1800 วินาที	115

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
83	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 2100 วินาที	115
84	แสดงกราฟเส้นแรงไฟฟ้าและค่าศักย์ไฟฟ้า หลังการหยุดสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ตำแหน่งตรงกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและลบ ในช่วงเวลา 2400 วินาที	116

