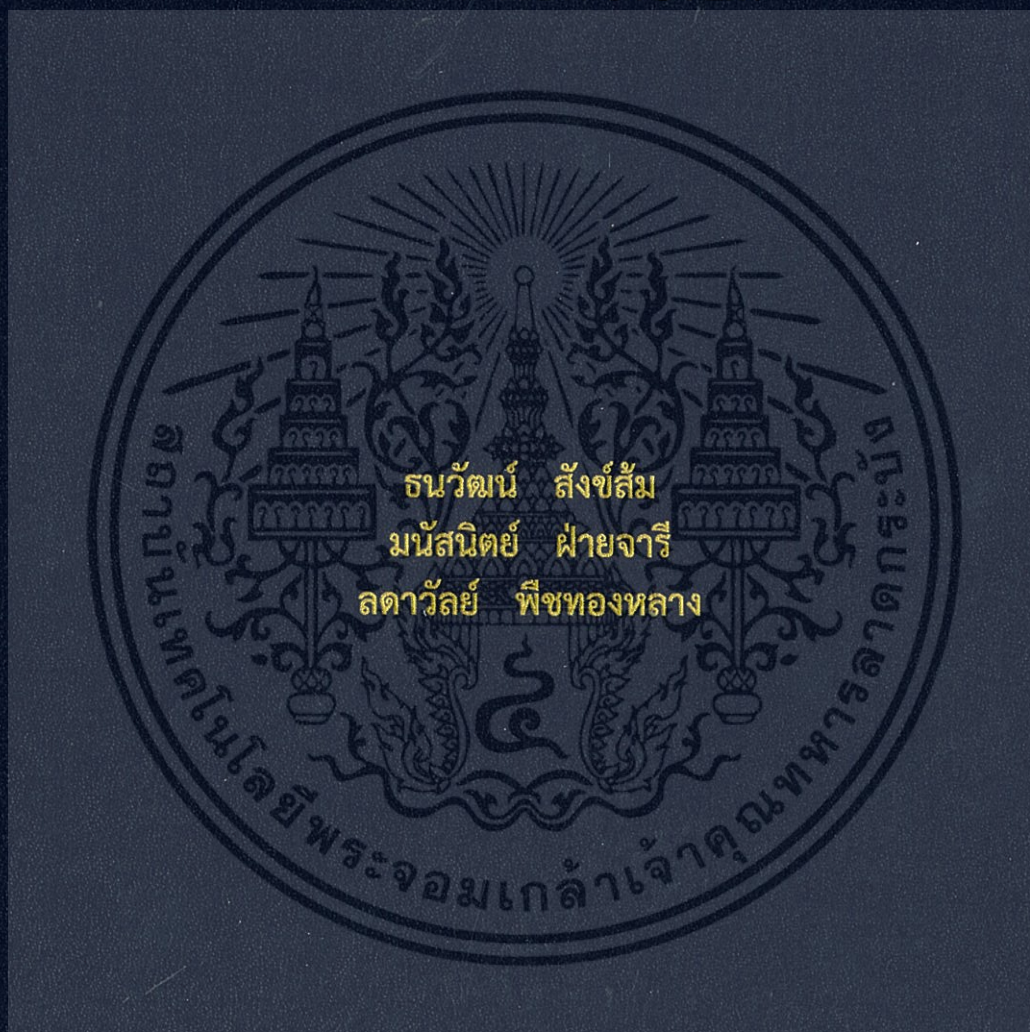


การพัฒนาต้นแบบระบบอัตโนมัติรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูก  
สำหรับทำน้ำดื่มจากทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า  
DEVELOPMENT OF A LOW COST ELECTRICALLY  
OPERATED AUTOMATIC REVERSE OSMOSIS  
DESALINATION SYSTEM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การพัฒนาต้นแบบระบบอัตโนมัติรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูก  
สำหรับทำน้ำดื่มจากทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า  
DEVELOPMENT OF A LOW COST ELECTRICALLY  
OPERATED AUTOMATIC REVERSE OSMOSIS  
DESALINATION SYSTEM



T149460

ธนวัฒน์ สังข์สัมพันธ์  
มนัสนิตย์ ฝ่ายจารี  
สดาวัลย์ พิชทองกลาง

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 149460  
วันเดือนปี 8 ส.ค. 2561

b.12884558  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้การศึกษาปีการศึกษา 2559 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF A LOW COST ELECTRICALLY  
OPERATED AUTOMATIC REVERSE OSMOSIS  
DESALINATION SYSTEM



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)  
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษา **ACADEMIC YEAR 2016** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาต้นแบบระบบอัตโนมัติรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกลำหรับทำน้ำดื่มจากน้ำทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า  
Development of a Low Cost Electrically Operated Automatic Reverse Osmosis Desalinated Drinking Water System

ชื่อนักศึกษา นายธนวัฒน์ สังข์สัมพันธ์ รหัสนักศึกษา 56051151  
นายมนัสสินธ์ ฝ่ายจारी รหัสนักศึกษา 56051192  
นางสาวลดาวัลย์ พิษทองกลาง รหัสนักศึกษา 56051202

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)  
ภาควิชา ฟิสิกส์  
ปีการศึกษา 2559  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อนุพงศ์ สรงประภา

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ภาณุพล ไชลนกระโทก ประธานกรรมการ	
อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ กรรมการ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
รศ.อนุพงศ์ สรงประภา อาจารย์ที่ปรึกษาและกรรมการ	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาต้นแบบระบบอัตโนมัติรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกลำหรับทำน้ำดื่มจากน้ำทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า	
ชื่อนักศึกษา	นายธนวัฒน์ สังข์สัมพันธ์	รหัสนักศึกษา 56051151
	นายมนัสสินิตย์ ฝ่ายจारी	รหัสนักศึกษา 56051192
	นางสาวลดาวัลย์ พีชทองกลาง	รหัสนักศึกษา 56051202
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.อนุพงษ์ สรงประภา	

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นการทดสอบและปรับปรุงต้นแบบระบบรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกลำหรับผลิตน้ำดื่มจากน้ำทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ที่พัฒนาโดยห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะทำให้มีความเป็นอัตโนมัติสะดวกในการใช้งานโดยทำการเพิ่มเซ็นเซอร์ที่ออกแบบสร้างขึ้นโดยใช้หลักการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะขนานประกอบการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในการวัดเก็บข้อมูลค่าระดับ ความสูง และอัตราการไหลของน้ำจากถังพัก ซึ่งนอกจากใช้ควบคุมจังหวะเปิดปิดปั๊ม น้ำความดันสูงชนิดที่ไม่สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องได้แล้ว การตรวจสอบค่าในระยะยาว เมื่ออัตราไหลลดลงถึงจุดซึ่งคล้องจองกับการหมดอายุของไส้กรอง ก็จะสั่งหยุดระบบ

คำสำคัญ : รีเวอร์สออสโมซิส, ทำน้ำจืดจากน้ำทะเล, ระบบอัตโนมัติ, แท่งโลหะขนาน, ค่าความจุไฟฟ้า

<b>Title</b>	Development of a Low Cost Electrically Operated Automatic Reverse Osmosis Desalination System	
<b>Students</b>	Mr.Thanawat Sangsom	Student ID 56051151
	Mr.Manasnit Faicharee	Student ID 56051192
	Ms.Ladawan Puedthonglang	Student ID 56051202
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Applied Physics)	
<b>Department</b>	Physics	
<b>Faculty</b>	Science	
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
<b>Academic Year</b>	2016	
<b>Advisor</b>	Assoc.Prof.Anupong Songprapa	

### Abstract

This special project's aims are the testing and upgrading of an electrically operated reverse osmosis desalination prototype that was developed by medical and environmental equipment research laboratory to be a cheap and easy to use automatic system. Realtime water level in the fore tank has been measured, processed and stored by using the design parallel metallic rods capacitive sensor in conjunction with a microcontroller. This enabling not only the control of safe on/off interval for the short duty-cycle high pressure pump but also prohibit the system's operation when the calculated flow rate drop to the level correspond to the end life of the filter.

**Keywords :** Reverse osmosis, Desalination, Automatic system, Parallel metallic rods, Capacitive sensor

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สามารถสำเร็จล่วงได้ด้วยเนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุน โดยรองศาสตราจารย์อนุพงศ์ สรงประภา เป็นผู้ให้โอกาสแก่นักศึกษาได้เริ่มจัดทำโครงการพิเศษนี้ เพื่อให้ผู้จัดทำได้ค้นหาศักยภาพของตนเอง ให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการและแนวทางแก้ไข ปัญหาให้คณะผู้จัดทำได้มาประยุกต์ใช้กับโครงการพิเศษ ทำให้สามารถดำเนินงานได้อย่างราบรื่นและ ประสบผลสำเร็จ

ขอบคุณ อาจารย์ประจำตึกซ่อมสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนใน ส่วนของสถานที่ปฏิบัติงานและเครื่องมือในการทำโครงการพิเศษ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการทำให้โครงการ พิเศษนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณ นายณฤชา อมรดิษฐ์ ที่ช่วยแนะนำและช่วยเหลือในโครงการพิเศษนี้

ขอบคุณเพื่อในท้องโปรเจกต์ที่คอยให้ความช่วยเหลือที่ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จล่วงไปได้ ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่เมตตาตั้งแต่การศึกษาภาคบังคับจนถึง ปัจจุบันตลอดจนกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้คำปรึกษาและเป็นแรงผลักดันให้คณะ ผู้จัดทำโครงการพิเศษซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการศึกษาและการทำโครงการพิเศษนี้

ธนวัฒน์ สังข์สัมพันธ์

มนัสสินธ์ ฝ่ายจารี

ลดาวัลย์ พีชทองกลาง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนวิจัยและวิธีการดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	<b>4</b>
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของระบบรีเวอร์สออสโมซิส	4
2.1.1 ประวัติความเป็นมา	4
2.1.2 ปฏิกิริยาการกรองออสโมซิสและรีเวอร์สออสโมซิส	5
2.1.3 ระบบการรีเวอร์สออสโมซิสพื้นฐาน	5
2.1.4 ระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่สมบูรณ์	6
2.1.5 การนำรีเวอร์สออสโมซิสมาใช้บำบัดน้ำ	7
2.2 วิธีการสอบวัดคุณภาพน้ำ	7
2.2.1 การวัดค่าความสะอาดของน้ำ	7
2.2.2 การวัดค่าความเค็มของน้ำ ( Salinty )	8
2.3 คาปาซิทีฟพรีอกซิมีตีเซนเซอร์ (Capacitive Proximity Sensors)	8
2.3.1 ความจุไฟฟ้า	8
2.3.2 ตัวเก็บประจุ	8
2.3.3 ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแผ่นโลหะขนาน	9
2.3.4 คาปาซิทีฟพรีอกซิมีตีเซนเซอร์	10
2.3.5 หลักการทำงานของคาปาซิทีฟพรีอกซิมีตีเซนเซอร์	11
2.3.6 ขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกขนาน	13
2.3.7 ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแท่งโลหะขนาน	14
2.3.8 ตัวเก็บประจุในการตรวจวัดระดับ	15
2.4 การวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้วงจรรอสเตเบิล	15
2.4.1 วงจรรอสเตเบิล	15
2.4.2 Shielding	17
2.5 Arduino	18

## สารบัญ ( ต่อ )

	หน้า
<b>บทที่ 3</b> วิธีการดำเนินงานวิจัย	20
3.1. การศึกษาการทำงานของระบบรีเวอร์สออสโมซิสสำหรับทำน้ำดื่มจากทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า	20
3.1.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องกรองน้ำระบบรีเวอร์สออสโมซิส	20
3.1.2 การทดลองประสิทธิภาพของไส้กรอง	21
3.2 กระบวนการออกแบบเซนเซอร์และการสร้างวงจรพร้อมกับการทดสอบเซนเซอร์ที่ได้ทำการออกแบบ	22
3.2.1 ทำการทดสอบวงจรวัดค่าจุไฟฟ้า	22
3.2.2 การทดลองระยะห่างของแท่งโลหะขนานที่ส่งผลต่อค่าตัวเก็บประจุ	23
3.2.3 การทดลองศึกษาระดับของน้ำภายในภาชนะที่ส่งผลต่อค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะคู่ขนาน	24
3.2.4 การประกอบ และทดสอบระบบคาปาซิทีฟเซนเซอร์โครงสร้างทรงกระบอกโลหะคู่ขนาน ในการวัดระดับน้ำ	24
3.2.4.1 การประกอบระบบ	24
3.2.4.2 การทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับค่าความถี่วงจรกรณี static	27
3.2.4.3 การทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับค่าความถี่วงจรกรณี dynamic	28
<b>บทที่ 4</b> ผลการวิจัยและอภิปรายผล	29
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของไส้กรองรีเวอร์สออสโมซิส	29
4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/l)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s)	29
4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/l)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s)	31
4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s)	33
4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s)	36
4.2 ผลการออกแบบเซนเซอร์และการสร้างวงจรพร้อมกับการทดสอบเซนเซอร์ที่ออกแบบ	38
4.2.1 ผลการทดสอบวงจรวัดค่าจุไฟฟ้า	38
4.2.2 ผลการทดลองระยะห่างของผิวแท่งโลหะขนานที่ส่งผลต่อค่าตัวเก็บประจุ	39
4.2.3 การทดลองศึกษาระดับของน้ำภายในภาชนะที่ส่งผลต่อค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะคู่ขนาน	39
4.2.4 การประกอบ และทดสอบระบบคาปาซิทีฟเซนเซอร์โครงสร้างทรงกระบอกโลหะคู่ขนาน ในการวัดระดับน้ำ	40

## สารบัญ ( ต่อ )

	หน้า
4.2.4.2 การทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับ ค่าความถี่จรรณณี static	40
4.2.4.3 การทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับ ค่าความถี่จรรณณี dynamic	41
<b>บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ</b>	<b>42</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>44</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>45</b>
<b>ภาคผนวก ก</b>	<b>46</b>
<b>ภาคผนวก ข</b>	<b>58</b>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

ตารางที่ 2.1   ขนาดของน้ำและสารละลายต่างๆที่ปนอยู่ในน้ำ

7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1	2
1.1	2
รูปที่ 2.1	5
2.1	5
รูปที่ 2.2	5
2.2	6
รูปที่ 2.3	6
2.3	9
รูปที่ 2.4	9
2.4	10
รูปที่ 2.5	10
2.5	11
รูปที่ 2.6	11
2.6	12
รูปที่ 2.7	12
2.7	13
รูปที่ 2.8	13
2.8	13
รูปที่ 2.9	13
2.9	14
รูปที่ 2.10	14
2.10	15
รูปที่ 2.11	15
2.11	16
รูปที่ 2.12	16
2.12	16
รูปที่ 2.13	16
2.13	17
รูปที่ 2.14	17
2.14	17
รูปที่ 2.15	17
2.15	19
รูปที่ 2.16	19
2.16	20
รูปที่ 3.1	20
3.1	21
รูปที่ 3.2	21
3.2	22
รูปที่ 3.2	22
3.2	22
รูปที่ 3.3	22
3.3	23
รูปที่ 3.4	23
3.4	24
รูปที่ 3.5	24
3.5	25
รูปที่ 3.6	25
3.6	26
รูปที่ 3.7	26
3.7	26
รูปที่ 3.8	26
3.8	27
รูปที่ 3.9	27
3.9	27
รูปที่ 3.10	27
3.10	27
รูปที่ 3.11	27
3.11	
รูปที่ 4.1	
4.1	29
อัตราการไหลของน้ำดื่ม(mL/s)ที่ความดัน 14 bar	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป ( ต่อ )

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/l)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s)ที่ความดัน 16 bar	30
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/l)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s)ที่ความดัน 18 bar	30
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/l)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s)ที่ความดัน 20 bar	31
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/l)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s)ที่ความดัน 14 bar	31
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/l)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s)ที่ความดัน 16 bar	32
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/l)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s)ที่ความดัน 18 bar	32
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/l)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s)ที่ความดัน 20 bar	33
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0 g/l	33
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.25 g/l	34
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.5 g/l	34
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.75 g/l	35
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 1 g/l	35
รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0 g/l	36
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.25 g/l	36
รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.5 g/l	37
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.75 g/l	37
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 1 g/l	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ความเข้มข้นเกลือ 1 g/l เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ซ้ำ 38 การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป ( ต่อ )

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับความถี่ของวงจรอะสเดเบิล	38
รูปที่ 4.20	การแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างระยะห่างของผิวแท่งเหล็กกับค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะ	39
รูปที่ 4.21	กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างระดับน้ำภายในขวดกับค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะ	39
รูปที่ 4.22	ค่าความถี่ที่ระดับน้ำต่างๆ	40
รูปที่ 4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ ความสูงของน้ำในถัง(cm)กับ ความถี่(Hz)	41
รูปที่ 4.24	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงของน้ำในถังกับค่าความถี่	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การผลิตน้ำประปาเพื่อการอุปโภคบริโภคโดยทั่วไปจะเลือกผลิตจากแหล่งน้ำจืด ได้แก่ แม่น้ำ คลอง บึง น้ำบาดาลธรรมชาติ เนื่องจากมีต้นทุนที่ถูกและใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ง่ายไม่ซับซ้อนแต่สำหรับในบางพื้นที่ที่สภาพภูมิประเทศไม่มีแหล่งน้ำจืด หรือมีแต่ไม่เพียงพอต่อการอุปโภคบริโภคของประชากร เนื่องจากมีผู้อยู่อาศัยอยู่มากจึงจำเป็นต้องจัดหาซื้อจากนอกพื้นที่ สำหรับประชาชนที่อาศัยอยู่ตามชายฝั่งทะเล หรือชุมชนเกาะก็ยังมีทางเลือกอีกทาง คือการผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเล

ปัจจุบันกรรมวิธีในการทำน้ำทะเลให้กลายเป็นน้ำจืดโดยการแยกเกลือ และสารเจือปนอื่นๆ ออกไปนั้นมีหลายแนวทาง เช่น กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะ (Phase-change process), การกรองด้วยเยื่อเลือกผ่าน (Membrane technology), กระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำด้วยพลังงานทดแทน, การพัฒนาระบบอัลตราโซนิกในการผลิตน้ำทะเลเป็นน้ำจืด เป็นต้น ในส่วนของโครงการพิเศษนี้จะเป็นการพัฒนาต้นแบบระบบอัตโนมัติรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกสำหรับทำน้ำดื่มจากทะเล โดยใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งได้ทำการพัฒนามาจากต้นแบบเดิม ของห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อม (Medical and Environmental Equipment Research Lab, MERL) มีลักษณะดังรูปที่ 1.1

เครื่องต้นแบบเดิมของห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อมมีลักษณะเป็นระบบควบคุมด้วยมือ ( manual ) ทำให้ไม่สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากบิมพ์น้ำความดันสูงที่ใช้ในระบบเป็นบิมพ์ที่มีราคาถูกทำให้ไม่สามารถใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลานานได้ เพราะบิมพ์น้ำความดันสูงจะเกิดความร้อนที่สูงมากทำให้บิมพ์หยุดการทำงาน และเกิดความเสียหายต่อบิมพ์ ผู้ใช้งานต้องคอยควบคุมการใช้งานอย่างใกล้ชิด ไม่ให้ใช้งานต่อเนื่องนานเกินไป อีกปัญหาหนึ่งของเครื่องต้นแบบเดิมของห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อมเมื่อน้ำภายในถังพักที่ใช้ในการกรองหมด ทำให้ไม่มีน้ำส่งไปยังบิมพ์น้ำความดันสูง หากบิมพ์ยังคงทำงานอยู่จะทำให้บิมพ์เกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้ระบบยังไม่สามารถทราบสถานะการอุดตันของไส้กรองรีเวอร์สออสโมซิสซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานลดลง และน้ำที่ได้จากการกรองอาจจะมีคุณภาพต่ำไม่เหมาะสำหรับการอุปโภคบริโภค

คณะผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาต้นแบบระบบอัตโนมัติรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกสำหรับทำน้ำดื่มจากน้ำทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องบิมพ์น้ำความดันสูง ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิน (arduino) ร่วมกับคาปาซิทีฟพรีอ็อกซิเมตริเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นเองเพื่อลดต้นทุนในการสร้าง โดยคาปาซิทีฟพรีอ็อกซิเมตริเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นมาจะทำให้สามารถวัดระดับความสูงของน้ำภายในถังเก็บน้ำสำหรับใช้กรองได้โดยอาศัยวงจรอะอสเตเบิลโดยใช้ไอซี 555 ไทเมอร์ เพื่อสร้างความถี่จากค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่เปลี่ยนแปลงไปตามระดับน้ำภายในถัง เมื่อทราบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำภายในถังที่ใช้เก็บแล้วทำให้เราสามารถใช้อุปกรณ์ที่ได้มาประเมินอัตราการไหลของน้ำภายในถังเก็บน้ำสำหรับใช้กรอง ทำให้สามารถทราบได้ว่าถึงสถานะการอุดตันของไส้กรองรีเวอร์สออสโมซิสถึงระดับที่ต้องทำความสะอาดไส้กรอง หรือต้องทำการเปลี่ยนไส้กรองหรือไม่ เพื่อรักษาคุณภาพของน้ำกรองที่ได้ให้อยู่ในคุณภาพที่ดีเหมาะสมต่อการอุปโภคบริโภค และใช้สั่งหยุดการ

ทำงานของปั๊มที่ความดันสูงได้เมื่อระดับน้ำภายในถังพักไม่เพียงพอต่อการใช้งานของเครื่องได้ ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวปั๊มที่ความดันสูงทำให้ให้สามารถใช้งานปั๊มได้ยาวนานขึ้น



รูปที่ 1.1 ต้นแบบระบบรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกลำดับสำหรับ  
ทำน้ำดื่มจากทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาด้านแบบระบบรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกลำดับสำหรับทำน้ำดื่มจากทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้าให้เป็นระบบอัตโนมัติเพื่อให้สะดวกในการใช้งาน
2. เพื่อตรวจเช็คคุณภาพของน้ำดื่ม และตรวจเช็คการอุดตันของไส้กรองรีเวอร์สออสโมซิส
3. เพื่อลดต้นทุนการผลิตเครื่องกรองน้ำระบบอัตโนมัติรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกลำดับสำหรับทำน้ำดื่มจากทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. เพื่อทดสอบ และปรับปรุงต้นแบบระบบรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกลำดับสำหรับทำน้ำดื่มจากน้ำทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาและสร้างเซนเซอร์ตรวจวัดระดับน้ำ เพื่อจะใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องเครื่องต้นแบบระบบอัตโนมัติรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกลำดับสำหรับทำน้ำดื่มจากน้ำทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องต้นแบบระบบรีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกลำดับสำหรับทำน้ำดื่มจากทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า
2. ศึกษาการทำงานของระบบเซนเซอร์
3. สร้างระบบเซนเซอร์ และทดลองใช้งาน
4. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการของระบบรีเวอร์สออสโมซิส
2. สามารถตรวจพบการอุดตันของไส้กรองรีเวอร์สออสโมซิส
3. สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการสร้างเซนเซอร์เองแทนการซื้อ
4. สามารถลดต้นทุนการผลิตเครื่องกรองน้ำระบบรีเวอร์สออสโมซิสสำหรับทำน้ำดื่มจากน้ำทะเลโดยเป็นระบบอัตโนมัติสำหรับทำน้ำดื่มจากทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้าได้
5. สามารถนำไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

กรรมวิธีหลักในการทำน้ำทะเลให้กลายเป็นน้ำจืดโดยใช้เทคนิคการกรองโดยใช้เยื่อเลือกผ่าน (Membrane) ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงการผลิตน้ำประปาเพื่อการอุปโภคบริโภคจากน้ำทะเลโดยระบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis : R.O.) [1] ซึ่งเป็นหลักการย้อนกลับของปรากฏการณ์ออสโมซิสที่ให้แรงอัดสูง ทำให้เกิดความดันกับสารละลายที่มีความเข้มข้นเคลื่อนผ่านเมมเบรน (R.O. Membrane) ซึ่งมีรูพรุนขนาดเล็ก ทำหน้าที่เป็นตัวกรองที่ยอมให้โมเลกุลที่เล็กกว่ารูพรุนนั้นผ่านไปได้ ซึ่งเหมาะกับการใช้แยกน้ำออกจากสารละลายต่างๆอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปแล้วจะใช้เซนเซอร์วัดระดับน้ำที่หาซื้อมา ทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูง จึงประยุกต์โดยการสร้างเซนเซอร์วัดระดับน้ำขึ้นมาเอง เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกรองน้ำระบบรีเวอร์สออสโมซิสสำหรับทำน้ำดื่มจากน้ำทะเล โดยเซนเซอร์จะเป็นตัวตรวจสอบคุณภาพของไส้กรองโดยอาศัยการวัดจากอัตราการไหลของน้ำที่ภายในถึงพักว่าจะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด และยังใช้ในการควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำความดันสูง ป้องกันปั๊มเสียหายจากการที่น้ำทะเลที่ใช้ในการผลิตหมดจากถังพัก

### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis : R.O.)

#### 2.1.1 ประวัติความเป็นมา

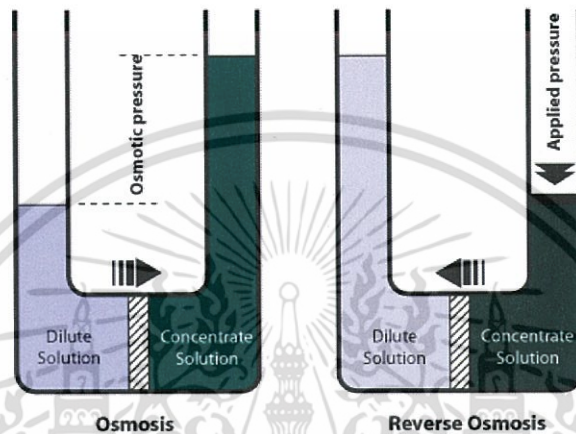
ต้นกำเนิดของระบบกรองน้ำรีเวอร์สออสโมซิสได้ถูกคิดค้นมาเพื่อใช้ในกองทัพสหรัฐ เพื่อนำน้ำทะเลผ่านการบำบัด และการกรองให้เป็นน้ำจืด เพื่อใช้ในเรือที่อยู่กลางทะเลซึ่งไม่สามารถหาน้ำจืดใช้ได้

รีเวอร์สออสโมซิส คือ ระบบการกรองโดยการเพิ่มความดันให้กับสารละลาย เพื่อให้สารละลายไหลผ่านไส้กรอง R.O. โดยที่ไส้กรองนั้นจะมีรูที่ผิวของเยื่อขนาด 0.0001 ไมครอน จึงทำให้โมเลกุลของน้ำซึ่งมีขนาดเล็กกว่าสามารถไหลผ่านไส้กรองนี้ได้ แต่สารละลายที่มีขนาดใหญ่กว่ารูของไส้กรอง R.O. จะถูกขับออกทางท่อน้ำทิ้งของระบบรีเวอร์สออสโมซิส

น้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยระบบรีเวอร์สออสโมซิสนี้ได้รับการรับรองจาก EPA (Environmental Protection Agency - USA) ว่าเป็นระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่ดีที่สุดระบบหนึ่งของโลก ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี พิษวิทยา และจุลชีววิทยา ดังนั้นจะพบว่าน้ำที่ผ่านการกรอง เมื่อนำไปดื่มจะไม่เกิดคราบตะกอน จึงเป็นระบบผลิตน้ำที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และได้มีการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ในด้านอุปโภคบริโภค และใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ผลิตน้ำดื่ม การบริโภค และใช้ในการแพทย์ เป็นต้น

## 2.1.2 ปฏิกิริยาออสโมซิส และรีเวอร์สออสโมซิส

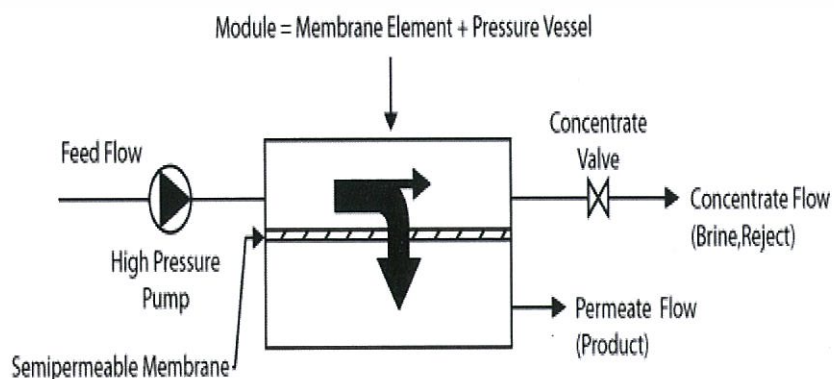
จากรูปที่ 2.1 (ซ้าย) แสดงปรากฏการณ์ออสโมซิส (Osmosis) น้ำจะแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านซึ่งกั้นอยู่ตรงกลางโดยแพร่จากด้านที่สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำไปด้านที่มีสารละลายความเข้มข้นสูง ส่วนต่างระดับที่เกิดขึ้นเรียกว่า “แรงดันออสโมติก” (Osmotic) สำหรับรูปที่ 2.1 (ขวา) จะมีการใส่แรงดันทางฝั่งที่มีสารละลายความเข้มข้นสูงให้มากกว่าแรงดันออสโมติก น้ำจะแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านกลับไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปรากฏการณ์รีเวอร์สออสโมซิส” (Reverse Osmosis) [2]



รูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบหลักการทำงานของระบบออสโมซิส และรีเวอร์สออสโมซิส (ที่มา : <http://www.ginkosea.com/article/53--ro>)

### 2.1.3 ระบบกรองรีเวอร์สออสโมซิสพื้นฐาน

โดยทั่วไปการกรองน้ำทะเลโดยวิธีรีเวอร์สออสโมซิส มีหลักการทำงานโดยต้องทำการเพิ่มความดันให้น้ำทะเลมีแรงดันสูงกว่า 50 บาร์ ( bar ) ก่อนที่จะผ่านระบบกรอง เมื่อน้ำทะเลผ่านไส้กรองR.O. จะแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่มีเกลือต่ำ หรือก็คือ น้ำR.O. ในทางเทคนิคเรียกว่า “Permeate” ส่วนน้ำที่ไหลผ่านไส้กรองR.O. ออกไปทาง Concentrate Valve คือ น้ำทิ้งที่มีเกลือสูง เรียกน้ำส่วนนี้ว่า Concentrate หรือ Reject ซึ่งสาเหตุที่ต้องมีส่วนน้ำทิ้งก็เพราะเป็นการป้องกันโมเลกุลสารละลายที่ไม่สามารถผ่านไส้กรองR.O. ไปได้สะสมจนความเข้มข้นถึงจุดตกผลึก ทำให้ไส้กรองR.O. สูญเสียพื้นที่การทำงานบางส่วน หรือทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.2 หลักการทำงานพื้นฐานของระบบกรอง R.O. ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.4 ระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่สมบูรณ์

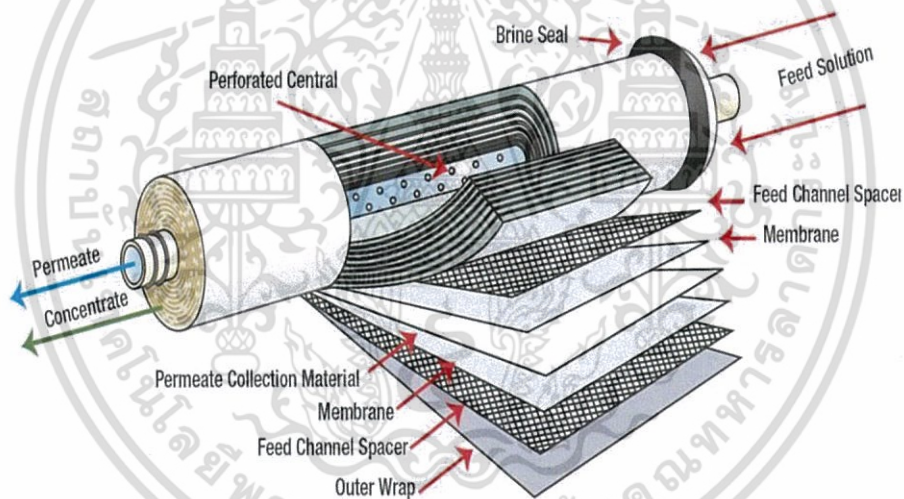
กระบวนการกรองที่สมบูรณ์มี 4 ขั้นตอน ดังนี้ [3]

1. Sediment Filter เป็นการกรองตะกอนหยาบขั้นต้น โดยกรองสิ่งสกปรกที่ปะปนมากับน้ำทุกชนิด เช่น ทรายละเอียด สนิมเหล็ก เศษผง จุลินทรีย์ และสามารถกรองสิ่งทีเล็กกว่าเส้นผมได้ถึง 5 เท่า โดยเยื่อกรองเป็น Polypropylene Filter ขนาด 5 ไมครอน เป็นการปรับสภาพน้ำในระดับหนึ่งเพื่อยืดอายุการใช้งานของ R.O. Membrane

2. Pre-Carbon Filter ใส์กรองจะเป็นถ่านกัมมันต์ ( Activated carbon ) ซึ่งจะลดปริมาณคลอรีนในน้ำที่จะทำลาย R.O. Membrane นอกจากนี้ยังปรับปรุงสี กลิ่น และรสของน้ำ

3. R.O. Membrane จะสามารถขจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำ เป็นกระบวนการที่ใช้แรงดันน้ำผ่านเยื่อกรอง ซึ่งเป็นเยื่อกรองที่สามารถให้น้ำซึมผ่านได้ มีรูขนาด 0.0001 ไมครอน มีสัดส่วนในการแยกสารละลาย (Salt Rejection) สามารถแยกสารเคมีโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว โปรท แคดเมียม และเชื้อโรคต่างๆ

4. Post-carbon Filter ใส์กรองจะเป็นถ่านกัมมันต์ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของระบบกรองเพื่อขจัดกลิ่น หรือก๊าซที่ยังคงหลงเหลือในน้ำ และปรับรสชาติของน้ำให้เป็นธรรมชาติ



รูปที่ 2.3 รายละเอียดของใส์กรอง R.O. Membrane

(ที่มา : <https://moleculah2o.wordpress.com/2013/05/29/ce-sunt-si-cum-funcioneaza-filtrele-cu-osmoza-inversa/>)

### 2.1.5 การนำรีเวอร์สออสโมซิสมาใช้บำบัดน้ำ

จากหลักการดังกล่าวของระบบรีเวอร์สออสโมซิส จึงถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำอย่างแพร่หลาย เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี และมีขนาดโมเลกุลที่เล็กมาก เมื่อเทียบกับขนาดของโมเลกุลสิ่งแปลกปลอมอื่นๆที่ปะปนอยู่ (ดังตารางที่ 2.1) จึงสามารถแพร่ผ่านไส้กรองR.O. ได้แต่ข้อจำกัดของการบำบัดน้ำแบบรีเวอร์สออสโมซิสจะให้ผลผลิตน้ำที่มีอัตราการไหลต่ำ ดังนั้นจึงต้องการพื้นที่ผิวของเยื่อกรองที่สูง เพื่อให้ได้น้ำในปริมาณมากภายในเวลาที่เหมาะสม นอกจากนี้เยื่อกรองจะมีการเสียหาย และอุดตัน เกิดขึ้นได้ง่าย หากน้ำที่นำมาบำบัดมีการปนเปื้อนสูง ดังนั้นน้ำที่นำมาบำบัดต้องผ่าน Pre filter เพื่อขจัดสารแขวนลอยที่มีโมเลกุลใหญ่ และขจัดสารประกอบคลอไรด์ที่จะทำให้ไส้กรองR.O. เกิดความเสียหาย และหากต้องการนำน้ำจากการบำบัดไปใช้ในการอุปโภคบริโภคต้องนำน้ำที่ผ่านไส้กรองR.O. แล้วไปผ่าน Post filter อีกครั้งหนึ่งเพื่อขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์

ตารางที่ 2.1 ขนาดของน้ำ และสารละลายต่างๆที่ปนอยู่ในน้ำ

ชนิดของสาร	ขนาดของโมเลกุล โดยประมาณ
น้ำ	0.0001 ไมครอน
ตะกั่ว	0.00031 ไมครอน
ปรอท	0.00029 ไมครอน
แคดเมียม	0.00028 ไมครอน
สารหนู	0.00024 ไมครอน
เหล็ก	0.00023 ไมครอน
แคลเซียม	0.00040 ไมครอน
โครเมียม	0.00023 ไมครอน
แร่เงิน	0.00040 ไมครอน
อลูมิเนียม	0.00027 ไมครอน
แบเรียม	0.00042 ไมครอน
แบคทีเรีย	0.4-1.0 ไมครอน
ไวรัส	0.02-0.4ไมครอน

## 2.2 วิธีการสอบวัดคุณภาพน้ำ

### 2.2.1 การวัดค่าความสะอาดของน้ำ

วิธีการวัดค่าความสะอาดของน้ำวิธีหนึ่งใช้เครื่อง conductivity เป็นวิธีวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ โดยการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าซึ่งเกิดจากมีอยู่ของสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น แอนไอออนของคลอไรด์ไนเตรตซัลเฟต และฟอสเฟต (แอนไอออนคือไอออนที่มีประจุลบ) หรือแคทไอออนของโซเดียมแมกนีเซียม เหล็ก และอลูมิเนียม (แคทไอออนคือไอออนที่มีประจุบวก) โดยหน่วยวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นไมโครมห์ต่อเซนติเมตร ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) หรือไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ( $\mu\text{s/cm}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 การวัดค่าความเค็มของน้ำ ( Salinity )

การตรวจวัดความเค็ม เป็นการตรวจวัดปริมาณเกลือที่ละลายน้ำที่พบในน้ำเค็มหรือน้ำกร่อย โดยมีหน่วยเป็นส่วนในหนึ่งพันส่วน (ppt ย่อมาจาก part per thousand) ความเค็มของน้ำทะเลของโลกมีค่าเฉลี่ย 35 ppt น้ำจืดมีค่าไม่เกิน 0.5 ppt น้ำกร่อยมีค่า 0.5 – 25 ppt ค่าความเค็มจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณหยาดน้ำฟ้า น้ำจากหิมะละลาย หรือบริเวณรอยต่อระหว่างน้ำเค็มกับน้ำจืด เช่น บริเวณปากแม่น้ำ ปริมาณของเกลือในน้ำเป็นตัวการสำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้บ่งชี้ว่าจะพบสิ่งมีชีวิตชนิดใดในบริเวณเหล่านั้น ดังนั้นชนิดสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำจืดและที่อาศัยในน้ำเค็มจึงแตกต่างกันมาก พืชหรือสัตว์ที่อาศัยในน้ำจืดจะมีเกลืออนเซลล์มากกว่าในแหล่งที่อาศัยอยู่สิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะกำจัดเกลือออกมาทางของเสีย ส่วนพืชหรือสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำทะเลมีปริมาณของเกลือเท่ากับหรือน้อยกว่าในสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่ และมีกลไกของร่างกายที่จะคงสภาพสมดุลของเกลือไว้ นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มในแหล่งน้ำที่อาศัยอยู่ได้

## 2.3 คาปาซิทีฟพริอ็อกซิมีตีเซนเซอร์ (Capacitive Proximity Sensors)

### 2.3.1 ความจุไฟฟ้า

ความจุไฟฟ้า (Capacitance) คือ ความสามารถในการเก็บประจุของตัวนำไฟฟ้า หรือปริมาณประจุไฟฟ้า ที่ทำให้ตัวนำมีค่าศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย ตัวนำใดมีความจุไฟฟ้ามาก แสดงว่าจะต้องใช้ประจุไฟฟ้าจำนวนมากในการทำให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ตัวนำใดมีความจุไฟฟ้าน้อย ศักย์ไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นจากเดิมมาก

$$C = \frac{Q}{V}$$

$Q$  คือ จำนวนประจุไฟฟ้า ที่ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

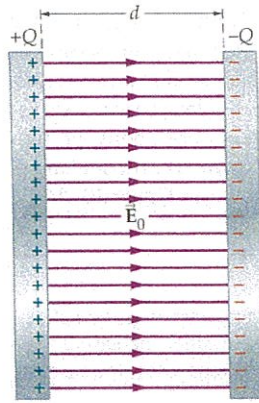
$V$  คือ ศักย์ไฟฟ้าของตัวนำ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

$C$  คือ ความจุไฟฟ้าของตัวนำ มีหน่วยเป็น คูลอมบ์/โวลต์ (C/V) หรือ ฟารัด (F)

### 2.3.2 ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยตัวนำสองชิ้น ในรูปร่างใดก็ได้ กัน มีฉนวนคั่นกลาง ซึ่งฉนวนนี้เรียกว่า ไดอิเล็กทริก (Dielectric) เช่น อากาศ กระจก แก้ว และเซรามิก ทำหน้าที่ไม่ให้อิเล็กตรอนประจุถ่ายถึงกันแต่ยอมให้อำนาจไฟฟ้าส่งผ่านถึงกันได้ตัวเก็บประจุแบบที่ง่ายที่สุดจะเป็นแผ่นตัวนำสองแผ่นวางแยกกันอยู่คู่ขนานกัน โดยแผ่นหนึ่งมีประจุบวกและอีกแผ่นหนึ่งมีประจุลบ ซึ่งทำได้โดยการนำแผ่นคู่ขนานที่เป็นโลหะ และเติมเป็นกลางทางไฟฟ้าทั้งสองแผ่นมา แล้วใช้แรงภายนอก ทำงานในการย้ายประจุจากแผ่นหนึ่งไปไว้อีกแผ่นหนึ่ง ทำให้แผ่นหนึ่งเป็นลบ และ อีกแผ่นหนึ่งเป็นบวก ซึ่งการทำเช่นนี้ ทำให้พลังงานศักย์ไฟฟ้าของระบบสูงขึ้น หรืออาจจะกล่าวได้ว่า การทำให้แผ่นตัวคู่ขนานมีประจุนั้นเป็นการ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสอง เราพบว่าขนาดของความต่างศักย์ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองนั้น แปรผันโดยตรงกับขนาดของประจุ ที่สะสมอยู่ที่แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ตัวเก็บประจุ

(ที่มา : [http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/electromagnetism/sub\\_lesson/4\\_1.htm](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/electromagnetism/sub_lesson/4_1.htm))

### 2.3.3 ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแผ่นโลหะขนาน

ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแผ่นโลหะขนานหาได้จาก ค่าประจุไฟฟ้าบนแผ่นใดแผ่นหนึ่งหารด้วยความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง สามารถคำนวณความต่างศักย์ระหว่างแผ่นที่มีประจุได้ จะได้ว่า

$$V = \frac{qd}{A\epsilon_0}$$

$\epsilon_0$  คือ permittivity of free space =  $8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำ

$d$  คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ

หา  $C$  จาก

$$C = \frac{A\epsilon_0}{d}$$

ซึ่งค่าความจุไฟฟ้านี้ไม่ขึ้นกับปริมาณของประจุไฟฟ้าที่เก็บหรือความต่างศักย์ ค่าความจุไฟฟ้าขึ้นกับพื้นที่ของแผ่นและระยะห่างระหว่างแผ่นเท่านั้น นอกจากนี้ค่า  $C$  ยังขึ้นอยู่กับชนิดของ dielectric ที่อยู่ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองโดยที่

$$C = K\epsilon_0 \frac{A}{d}$$

เมื่อ  $K$  คือ dielectric constant ที่มีค่าแตกต่างกันไปสำหรับ dielectric แต่ละชนิด

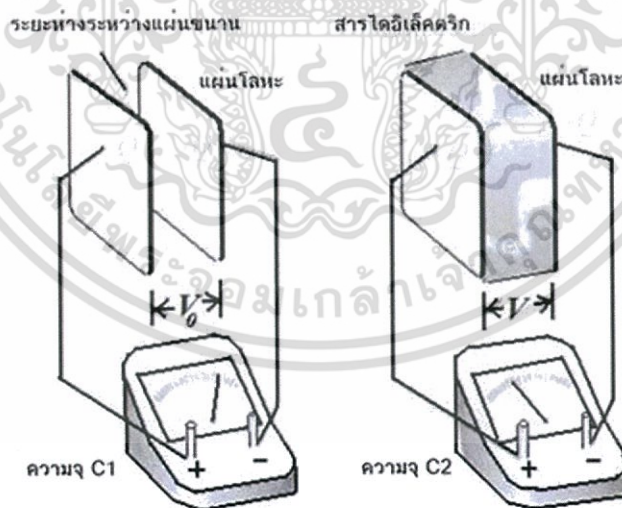
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 คาปาซิทีฟพริ็อกซิมีตีเซนเซอร์

คาปาซิทีฟพริ็อกซิมีตีเซนเซอร์ ( Capacitive Proximity Sensors ) เป็นเซนเซอร์ที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงของค่าคาปาซิแตนซ์ โดยการสร้างสนามไฟฟ้าสถิต ซึ่งต่างจากอินดักทีฟเซนเซอร์ (Inductive Sensors) ที่จะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้จะมีความสามารถตรวจจับวัตถุที่เป็นโลหะหรือมีส่วนประกอบของโลหะเท่านั้น แต่คาปาซิทีฟเซนเซอร์ ( Capacitive Sensors ) ซึ่งใช้หลักการสร้างไฟฟ้าสถิตนั้น ทำให้สามารถตรวจจับวัตถุได้เกือบทุกประเภท ทั้งโลหะและอโลหะ ซึ่งทำให้เซนเซอร์ชนิดนี้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายเพราะมีเซนซิทีวิตีที่ดี (Sensitivity Adjustment) ซึ่งทำให้สามารถตรวจจับระดับของเหลวในภาชนะทึบแสงเช่น ไซ้เซ้ระดับน้ำมันเครื่องในถังพลาสติกทึบแสง เป็นต้น [4]

คาปาซิทีฟพริ็อกซิมีตีเซนเซอร์ (Capacitive Proximity Sensors) เป็นเซนเซอร์ที่สามารถทำการตรวจจับได้โดยตัวเซนเซอร์ไม่ต้องสัมผัสกับตัววัตถุ ทำให้เซนเซอร์ชนิดนี้มีอายุการใช้งานที่ยาวเป็นอย่างมาก และยังสามารถตรวจจับได้ทั้งโลหะ และอโลหะ เช่น กระดาษ ขวด แก้ว พลาสติก น้ำ โดยความสามารถของการตรวจจับของเซนเซอร์ชนิดนี้นั้น จะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของค่าไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) หรือค่า k ของวัตถุ

สารไดอิเล็กตริก คือ สารที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น ยาง แก้ว กระดาษไข พาราฟิน และเทฟลอน เป็นต้น ส่วนวัตถุที่เป็นตัวเก็บประจุนั้นเป็นแผ่นโลหะบางๆวางซ้อนกันโดยมีสารไดอิเล็กตริกอยู่ตรงกลาง จะมีลักษณะเป็นแผ่นระนาบสองแผ่นที่วางขนานกัน โดยจะมีระยะห่างระหว่างแผ่นขนาน และมีค่าความจุเริ่มต้น เมื่อใส่สารไดอิเล็กตริกเข้าไปแทนที่ ที่ว่างดังกล่าว จะทำให้ตัวเก็บประจุ นั้น มีค่าความจุเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.5[5]



รูปที่ 2.5 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric) =  $C1/C2$

(ที่มา : <http://www.supremelines.co.th/สาระน่ารู้/2089-คาปาซิทีฟ-พริ็อกซิมีตี-เซนเซอร์-capacitive-proximity-sensors.html>)

### 2.3.5 หลักการทำงานของคาปาซิทีฟพริอ็อกซิมีตีเซนเซอร์

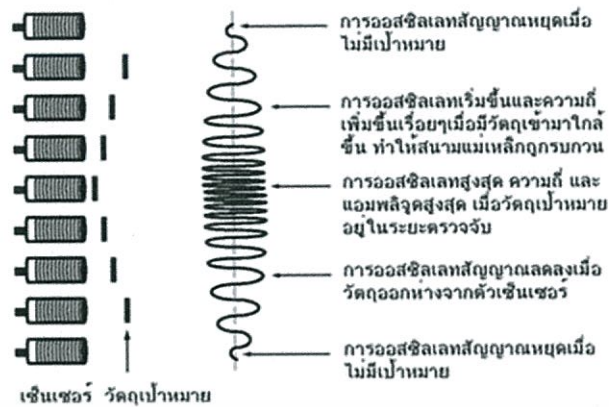
เซนเซอร์ชนิดนี้มีรูปร่างและหน้าตาของตัวเซนเซอร์คล้ายกับอินดักทีฟพริอ็อกซิมีตีเซนเซอร์ (Inductive Proximity Sensors) แต่หลักการทำงานของเซนเซอร์สองชนิดนี้จะต่างกัน โดยเซนเซอร์ชนิดนี้จะอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความจุของตัวประจุ [6] เมื่อวัตถุที่เราจะตรวจจับเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กับสนามไฟฟ้าของตัวเซนเซอร์มากขึ้น โดยใช้แอกทีฟอิเล็กโทรด (A) และเอิ์ทีฟอิเล็กโทรด (B) การเปลี่ยนแปลงค่าความจุ (Capacitance Value) ดังกล่าว จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างวัตถุเป้าหมายกับตัวเซนเซอร์ยิ่งวัตถุเคลื่อนที่เข้าใกล้ตัวเซนเซอร์มากขึ้น ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างตัววัตถุกับคาปาซิทีฟเซนเซอร์ยิ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยค่าความจุไฟฟ้าจะมากขึ้นขนาดและรูปร่างของวัตถุ และชนิดของ วัตถุเป้าหมาย ค่าไดอิเล็กตริกหรือค่า  $k$  ของวัตถุต่างกัน จะมีค่าความจุที่แตกต่างกัน เมื่อค่าความจุเปลี่ยนแปลงไปจนถึงค่าๆหนึ่ง ซึ่งมีค่าความต้านทาน ( ในวงจรออสซิลเลเตอร์ RC ) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคือตั้งเป็นค่าคงที่ตั้งแต่แรก จะส่งผลให้เกิดการออสซิลเลทสัญญาณขึ้น และค่าแอมพลิจูด และ ความถี่สูงขึ้นเมื่อมีวัตถุเข้ามาในระยะตรวจจับที่ความถี่สูงค่าหนึ่ง วงจรทริกเกอร์จะสั่งให้มีค่าเข้าที่พุดออกไป และส่งต่อไปที่เข้าที่พุด เพื่อสั่งการให้เข้าที่พุดทำงาน ส่วนประกอบของตัว คาปาซิทีฟ พริอ็อกซิมีตี เซนเซอร์ได้แก่ อิเล็กโทรด(แบ่งเป็นแอ็คทีฟอิเล็กโทรด (A) กับอิเล็กโทรดชดเชย (B) ออสซิลเลเตอร์ วงจรทริกเกอร์ ตัวส่งสัญญาณเข้าที่พุด



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบต่างๆ ภายในตัวเซนเซอร์

(ที่มา : <http://www.supremelines.co.th /สาระน่ารู้/2089-คาปาซิทีฟ-พริอ็อกซิมีตี-เซนเซอร์-capacitive-proximity-sensors.html>)

ขั้นตอนการทำงานจะเริ่มจาก ในขณะปรกติ คือ ไม่มีวัตถุเข้ามาในระยะตรวจจับตัวออสซิลเลเตอร์จะอยู่ในสภาวะที่ไม่ทำงาน แต่เมื่อมีวัตถุเข้ามาในระยะทำงาน ตัวออสซิลเลเตอร์จะเริ่มทำงานโดยจะค่อยๆเพิ่มความถี่ของสัญญาณให้มากขึ้น เนื่องจากสนามไฟฟ้าสถิตที่สร้างขึ้นถูกรบกวนด้วยวัตถุที่เคลื่อนที่เข้ามาในระยะตรวจจับ เมื่อวัตถุเข้ามาอยู่ในระยะตรวจจับออสซิลเลเตอร์จะสร้างความถี่และแอมพลิจูดมากที่สุด และเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ออกจากระยะออสซิลเลเตอร์จะค่อยๆลดความถี่ลงจนวัตถุเคลื่อนที่ออกไปจนพ้นระยะ ออสซิลเลเตอร์ก็จะหยุดทำงานอีกครั้งหนึ่ง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการทำงานของ ออสซิลเลเตอร์

(ที่มา : <http://www.supremelines.co.th/สารระนำรัฐ/2089-คาปาซิทีฟ-พริ็อกซิมีตี้-เซนเซอร์-capacitive-proximity-sensors.html>)

ในขณะที่มีวัตถุเข้ามาในระยะและส่งความถี่ออกไปจนถึงค่าๆหนึ่งที่ได้กำหนดไว้ ออสซิลเลเตอร์จะทำการส่งสัญญาณต่อไปให้ตัวประมวลผล และส่งสัญญาณต่อไปให้ตัวส่งสัญญาณเข้าที่พู่ เพื่อส่งสัญญาณเข้าที่พู่ไปให้อุปกรณ์อื่นต่อไป

เซ็นเซอร์ชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensor) เซ็นเซอร์ประเภทนี้มีโครงสร้างทั้งภายนอกและภายในคล้ายกับแบบเหนียวน้ำ การเปลี่ยนแปลงของความจุ เนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของวัตถุชนิดหนึ่งเข้ามาใกล้สนามไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ เซ็นเซอร์ชนิดนี้สามารถตรวจจับอุปกรณ์ที่ไม่ใช่โลหะได้ นิยมใช้ตรวจจับชิ้นงานที่มีระยะห่างจากตัวเซ็นเซอร์ค่อนข้างมาก นอกจากนี้มีคุณลักษณะเด่นในเรื่องของระยะการตรวจจับที่ไกลแล้ว เซ็นเซอร์ชนิดนี้ยังมีข้อดีอยู่อีกหลายประการด้วยกัน คือ

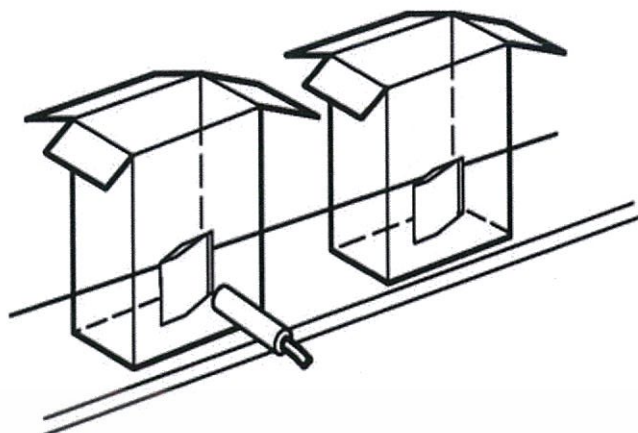
สามารถตรวจจับวัตถุได้เกือบทุกประเภท

ความเร็วในการตรวจจับสูง

มีรุ่นที่สามารถแยกความแตกต่างสีได้

เนื่องจากในงานบางลักษณะไม่สามารถใช้เซ็นเซอร์ประเภทต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ เช่นการตรวจจับของเหลวในภาชนะบรรจุ ตรวจจับระดับความลึกของแหล่งน้ำ ตรวจจับพื้นผิวถนนสำหรับยานพาหนะบางชนิด เป็นต้น

เซ็นเซอร์ชนิดเก็บประจุ สามารถปรับค่าความไวในการตรวจจับได้โดยการปรับตั้งค่าความต้านทาน ซึ่งจะมีผลต่อการปรับระยะการตรวจจับใกล้หรือไกล หรือใช้ในการปรับตั้งให้ตัวเซ็นเซอร์สามารถตรวจจับข้ามผ่านวัตถุที่ขวางกั้นวัตถุเป้าหมายได้ เช่น การตรวจจับระดับน้ำภายในขวด หรือตรวจจับของที่อยู่ภายในกล่อง



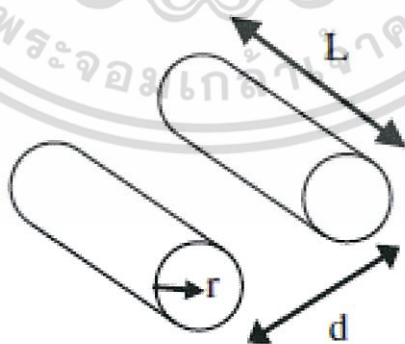
รูปที่ 2.8 การตรวจจับข้ามผ่านวัตถุของ คาปาซิทีฟเซนเซอร์

(ที่มา : <http://www.supremelines.co.th/สารระนำรู้/2089-คาปาซิทีฟ-พรีอกซิมีตี-เซนเซอร์-capacitive-proximity-sensors.html>)

### 2.3.6 ขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกขนาน

ขั้วไฟฟ้าของเซนเซอร์แบบตัวเก็บประจุ สามารถปรับรูปแบบ และโครงสร้างได้ รูปทรงเรขาคณิตของเซนเซอร์ชนิดนี้สามารถมีอิทธิพลต่อสนามไฟฟ้า ตัวอย่างเช่นความจุระหว่างสองแท่งขนานจะเป็นแตกต่างจากแบบจานขนานสองอันเนื่องจากลักษณะของการกระจายสนามไฟฟ้ารอบวัตถุที่มีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามรูปแบบ และโครงสร้างของขั้วไฟฟ้า เช่น แท่งทรงกระบอก แผ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายเกลียว และท่อ [7]

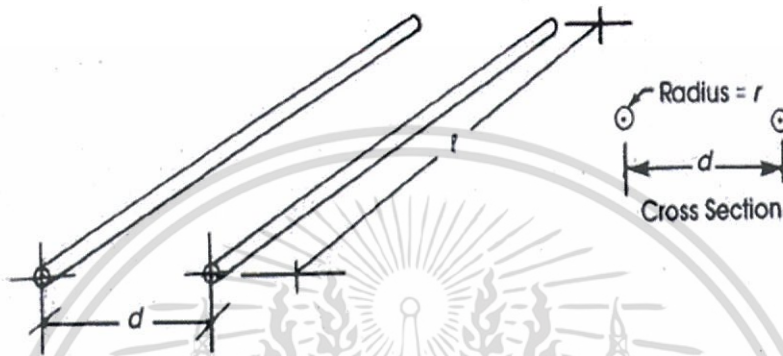
ขั้วไฟฟ้ารูปทรงกระบอก ทำมาจากตัวนำซึ่งเป็นขั้วลบและขั้วบวก สนามไฟฟ้าจะมีอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าสองตัวถ้ามีแรงดันไฟฟ้าอยู่ตรงข้ามกันรูปที่ 2.10 แสดงรูปทรงกระบอกสองอันที่คั่นด้วยระยะทาง  $d$ . ความจุระหว่างสองแท่งขนานสามารถถูกกำหนดได้โดยความยาว ระยะห่างระหว่างแท่ง และรัศมีของแท่งทรงกระบอก



รูปที่ 2.9 การตรวจจับลูกสูบของขั้วไฟฟ้า

### 2.3.7 ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแท่งโลหะขนาน

ความจุระหว่างแท่งโลหะขนานจะเป็นตัวกำหนดค่าความถี่ในวงจรที่ใช้ควบคู่กัน[8] มีสมการที่สามารถนำมาคำนวณเพื่อใช้กำหนดค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะขนาน และเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่วัดได้ เพื่อประเมินผลกระทบของสิ่งแวดลอมที่มีผลต่อค่าความจุไฟฟ้า ปัจจัยที่ส่งผลกับค่าความจุไฟฟ้าต่อหน่วยความยาวระหว่างแท่งโลหะขนานแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10. ด้วนำวรัศมี r ยาวสองด้วถูกแยกจากกันโดยระยะห่าง d  
สมการ

$$\begin{aligned} \frac{C}{l} &= \frac{\pi\epsilon_r\epsilon_0}{\ln\left[\frac{d}{2r} + \sqrt{\left(\frac{d}{2r}\right)^2 - 1}\right]} F/m \\ &= \frac{\pi\epsilon_r\epsilon_0}{\ln\left\{\frac{d}{2r}\left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{2r}{d}\right)^2}\right]}\right\}} F/m \\ \frac{C}{l} &\approx \frac{\pi\epsilon_{r(eff)}\epsilon_0}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)} F/m \quad \text{for } \frac{2r}{d} \ll 1 \\ &= \frac{27.8\epsilon_{r(eff)}}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)} pF/m \\ &= \frac{0.7\epsilon_{r(eff)}}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)} pF/in \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

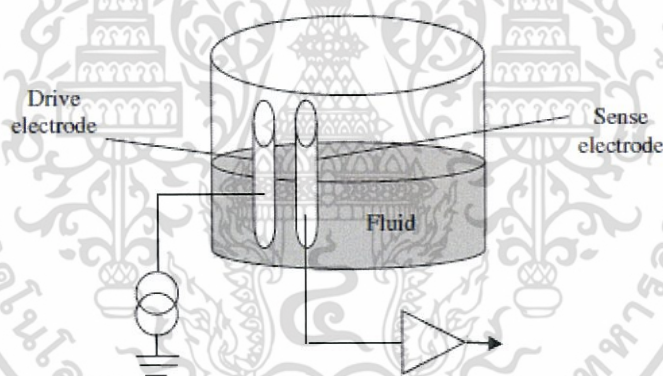
$\epsilon$  = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (F/m)

$\epsilon_0$  = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกในอากาศ  
 $= 8.84 \times 10^{-12}$  F/m

$\epsilon_{r(\text{eff})}$  = มีผลต่อค่าคงที่สำหรับความไม่สม่ำเสมอของเนื้อที่รอบตัวนำ

### 2.3.8 ตัวเก็บประจุในการตรวจวัดระดับ

สมบัติทั่วไปของตัวเก็บประจุที่อธิบายไว้ สามารถใช้งานได้ในการวัดระดับของเหลวในถังเก็บข้อมูล ในขั้นพื้นฐานระบบตรวจจับเซนเซอร์แบบตัวเก็บประจุ จะมีขั้วสองตัวที่สร้างตัวเก็บประจุ ถ้าช่องว่างระหว่างสองแท่งได้รับการแทนที่ด้วยระดับของน้ำ สามารถกำหนดได้โดยการวัดความจุระหว่างตัวนำที่อยู่ในของเหลว ตั้งแต่ความจุเป็นสัดส่วนกับความเป็นฉนวนคงที่ของเหลวที่เพิ่มขึ้นระหว่างทั้งสองแท่งคู่ขนานจะเพิ่มความจุของเซลล์วัดเป็นฟังก์ชันความสูงของของเหลว หากต้องการวัดระดับของเหลวให้ใช้แรงดันกระตุ้นกับ ไดรฟ์และตรวจจับด้วยอิเล็กทรอนิกส์ทรานเซเซเซอร์ รูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงพื้นฐานการตั้งค่าของระบบการวัดระดับของเหลวในส่วนนี้ด้านต่างๆ และได้อธิบายการกำหนดรูปแบบของการวัดระดับของเหลวแบบตัวเก็บประจุ

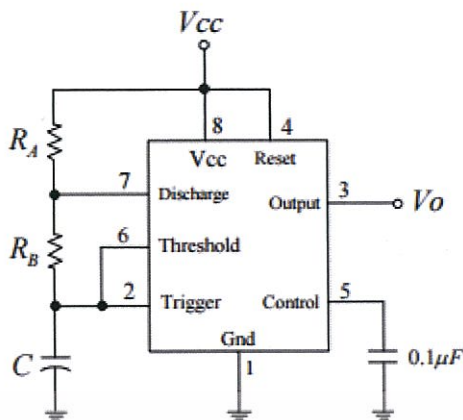


รูปที่ 2.11 ระบบตรวจจับของเหลวขั้นพื้นฐาน

## 2.4 การวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้วงจระอะสเตเบิล

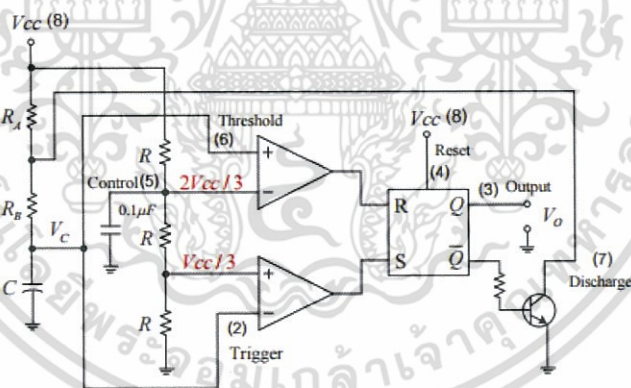
### 2.4.1 วงจระอะสเตเบิล

วงจระอะสเตเบิลเป็นวงจรที่ไม่ต้องการสัญญาณอินพุตจากภายนอกและ สามารถให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นกระบวนคลื่นพัลส์ โดยที่ความถี่ ( $f$ ) และ วัฏจักรหน้าที่ (Duty Cycle) สามารถคำนวณได้จากค่า  $R_A$  และ  $R_B$  และ  $C$  ของวงจรงดังรูปที่ 2.12 การทำงานของวงจนี้จะคล้ายกับวงจรถูกกำเนิดความถี่(oscillator)ในบางตำราวงจนี้จะถูกเรียกว่า Free running Multivibrator [9]



รูปที่ 2.12 วงจรอะสเตเบิลโดยใช้ไอซี 555 ไทมเมอร์

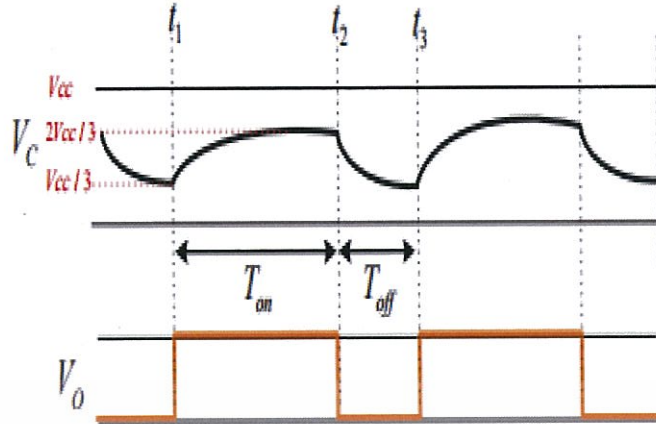
จะเห็นได้ว่า วงจรนี้ไม่มีการต่อสัญญาณอินพุตจากภายนอกเข้าขา Trigger และขา Threshold จะต่อเข้าด้วยกันไปยังตัวเก็บประจุ C ทำให้แรงดันที่ใช้ เปรียบเทียบของคอมพาราเตอร์ ทั้งสองมีค่าเท่ากับ  $V_c$  ในส่วนของขา Discharge จะต่ออยู่ระหว่าง  $R_A$  และ  $R_B$  เพื่อให้ตัวเก็บประจุ C คายประจุผ่าน  $R_B$  ลงสู่กราวด์ในการวิเคราะห์วงจรนี้ จะพิจารณาโครงสร้างของไอซี 555 ที่ต่อเป็นวงจระอะสเตเบิล [10] ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรอะสเตเบิลโดยใช้ไอซี 555 ไทมเมอร์

ในการทำงานของวงจระอะสเตเบิลเริ่มจากให้ RS ฟลิปฟลอปอยู่ในสถานะ Reset ทำให้  $V_o$  มีค่าเป็น 0 ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ตัวเก็บประจุ C คายประจุผ่าน  $R_B$  ซึ่งจะมีค่าคงที่เวลา  $\tau_{discharge} = R_B C$  เมื่อ  $V_c$  มีค่าลดลงต่ำกว่า  $V_{CC} / 3$  ขา S จะถูกกระตุ้นให้เป็น 1 ในขณะเดียวกัน ขา R มีค่าเป็น 0 ( $Q=1$  และ  $\bar{Q}=1$ ) ทำให้สัญญาณเอาต์พุต  $V_o$  มีค่าเป็น 1 ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน จากนั้นตัวเก็บประจุจะเริ่มอัดประจุผ่าน  $R_A$  และ  $R_B$  ในขั้นตอนนี้จะมีความคงที่เวลา  $\tau_{charge} = (R_A + R_B) C$  จนทำให้  $V_c$  เพิ่มขึ้นมากกว่า  $2V_{CC} / 3$  ทำให้ขา  $R=1$  ทำให้ RS ฟลิปฟลอปอยู่ในสถานะ Reset อีกครั้ง การทำงานจะวนซ้ำในลักษณะนี้ ลักษณะของสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจระอะสเตเบิลแสดง ดังรูปที่ 2.14

เอกสารที่แนบมาในวงจระอะสเตเบิลแสดง ดังรูปที่ 2.14 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



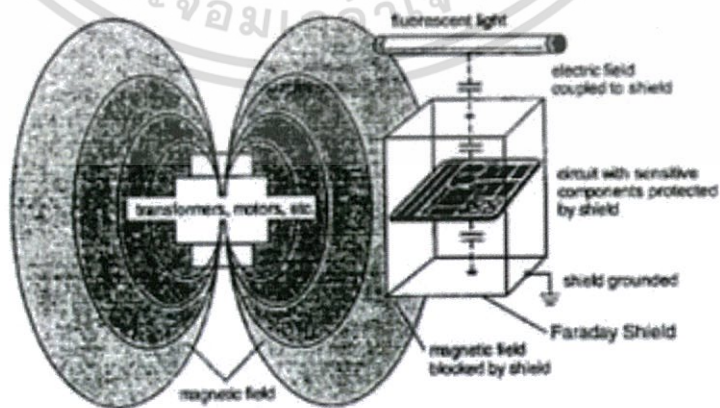
รูปที่ 2.14 วงจรอะอสเตเบิลโดยใช้ไอซี 555 ไทเมอร์

### 2.4.2 Shielding

การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพราะทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาดได้ การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเกิดจากหลายแหล่ง เช่น สายส่งไฟฟ้ากำลังสูง ระบบแสงฟลูออเรสเซนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า และ อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ[11]

การชีลด์จากสนามไฟฟ้าทั่วไปมักจะเรียกว่า สัญญาณรบกวน(noise) ซึ่งมีอิทธิพลสนามไฟฟ้าในธรรมชาติ คือ แสงฟลูออเรสเซนต์ สายไฟฟ้ากำลัง ซีอาร์ที (CRT) และวงจรดิจิทัลความเร็วสูง รูปแบบง่ายที่สุดของการกวนจากสนามไฟฟ้าที่เป็นตัวสร้างสัญญาณรบกวนในลักษณะแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าแบบตัวเก็บประจุต่อควบเข้าก็บวงจรที่เราสนใจ

การลดความผิดพลาดเนื่องมาจากการเกิดค่าตัวเก็บประจุเชื่อมต่อ (coupling) นี้ทำได้ดีที่สุดโดยการใช้ฟาราเดย์ชีลด์ (Faraday Shield) การชีลด์แบบนี้โดยปกติก็จะประกอบด้วยชั้นส่วนโลหะที่ถูกต่อลงดิน (ground) ระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนกับวงจรที่ไวต่อสัญญาณ (sensitive)



รูปที่ 2.15 แสดงฟาราเดย์ชีลด์ (Faraday Shield)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

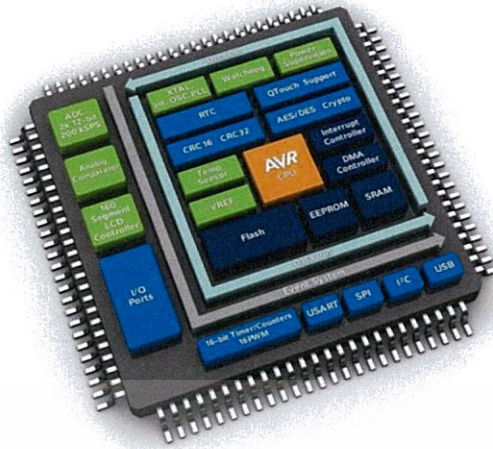
## 2.5 Arduino

Arduino [12] เป็นภาษาอิทาลีโดยเป็นชื่อโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ในรูปแบบ Open Source คือวิธีการในการออกแบบ พัฒนา และแจกจ่ายสำหรับต้นฉบับของสินค้าหรือความรู้ โดยเฉพาะซอฟต์แวร์ โดยโอเพนซอร์ซถูกพิจารณาว่าเป็นทั้งรูปแบบหนึ่งในการออกแบบและแผนการในการดำเนินการ โอเพนซอร์ซเปิดโอกาสให้บุคคลอื่นนำเอาระบบนั้นไปพัฒนาได้ต่อไป การพัฒนามาจากโครงการ Open Source เดิมของ AVR ที่ชื่อ Wiring โดยโครงการ Wiring ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATmega128 ซึ่งมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่นเป็นชิปที่มีตัวถังแบบ SMD ทำให้นำมาใช้งานยากเพราะตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดเล็กเกินไป ทำให้ไม่สะดวกในการต่อใช้งานจริง มีขาอินพุทและเอาต์พุทจำนวนมากเกินไป ตัวบอร์ดมีขนาดใหญ่เกินไป ไม่เหมาะสมสำหรับผู้เริ่มต้นเรียนรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ไม่ได้รับความนิยม ระยะเวลาที่ทีมงาน Arduino จึงได้นำโครงการ Wiring มาพัฒนาใหม่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ขนาดเล็ก คือ ATmega8 และ ATmega168 ทำให้ได้รับความนิยมจนถึงปัจจุบัน Arduino ประกอบด้วยสองส่วน คือ

1. ส่วนที่เป็น Hardware คือ บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มี ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน หรือที่เรียกกันว่า บอร์ด Arduino โดยบอร์ด Arduino เองก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดของบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ, แรงดันไฟที่ใช้, ประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น

2. ส่วนที่เป็น Software คือ ภาษา Arduino เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม MCU, มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษา C/C++ โดยใช้ Arduino IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Arduino, คอมไพล์โปรแกรม ( Compile ) และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด ( Upload )

Arduino ถูกใช้ประโยชน์ในลักษณะเดียวกับ MCU คือ ใช้ติดต่อสื่อสารและควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ด้วยการเขียนโปรแกรมให้กับ MCU เพื่อควบคุมการรับส่งสัญญาณทางไฟฟ้าตามเงื่อนไขต่างๆ ข้อดีของ Arduino คือ กำลังเป็นที่นิยม และเป็นที่น่าสนใจ สำหรับนักอิเล็กทรอนิกส์ทั้งมือใหม่และมือเก่า ทำให้เราสามารถหาอ่านคู่มือ วิธีใช้ วิธีแก้ปัญหาต่างๆ ได้ง่ายบนอินเทอร์เน็ต พร้อมใช้งานทันที เพราะบอร์ด Arduino ติดตั้งอุปกรณ์จำเป็นพื้นฐานมาให้หมดแล้ว (ต่างจาก MCU เปล่าๆ ที่ต้องซื้ออุปกรณ์จำเป็นอื่นๆ มาติดตั้งเพิ่มเติม) สามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานด้วยไวยากรณ์ภาษา C/C++ ซึ่งง่ายสำหรับผู้ที่มีพื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมอยู่บ้างแล้ว แต่สำหรับผู้ที่ไม่เคยเขียนโปรแกรมมาก่อนเลย ก็สามารถเริ่มต้นศึกษา และหาหนังสืออ่านได้ไม่ยาก นอกจากนี้ยังมี Library ให้เลือกใช้มากมาย ทำให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ราคาไม่แพงเกินไปสำหรับผู้ที่ยอยากเริ่มต้นใช้งาน และการอัปโหลดโปรแกรมที่เขียนบนคอมพิวเตอร์ลงไปที่ Arduino ก็ทำได้โดยง่าย แค่ใช้สาย USB ต่อบอร์ด Arduino เข้ากับคอมพิวเตอร์ แล้วอัปโหลดด้วยโปรแกรม Arduino IDE

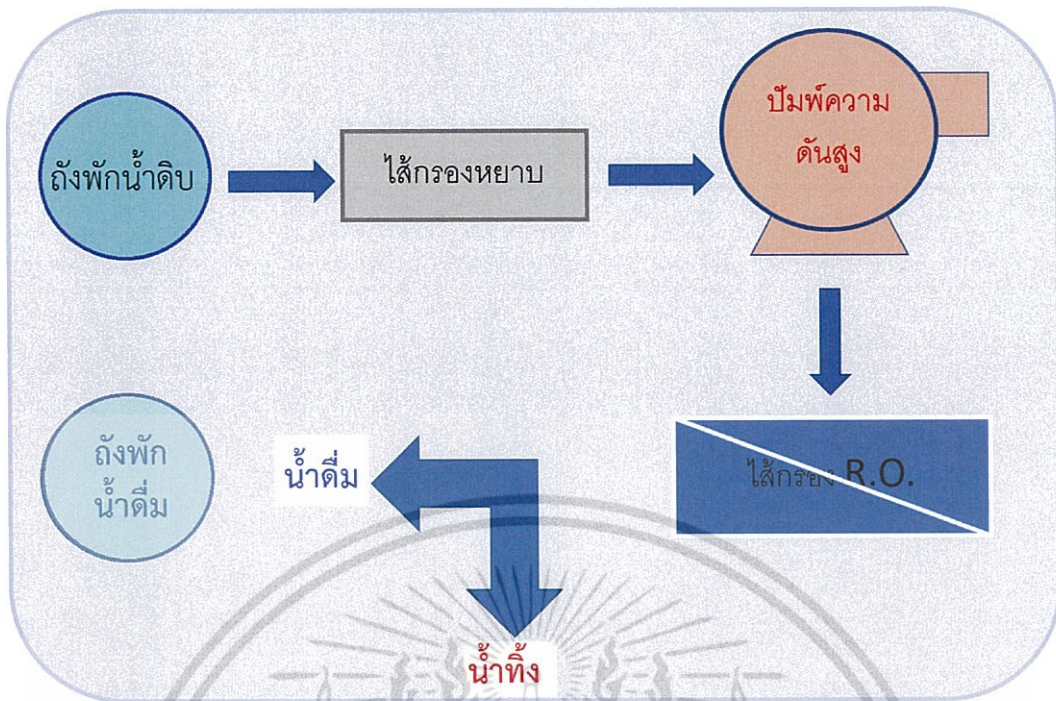


รูปที่ 2.16 สถาปัตยกรรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR  
(ที่มา : [www.Microcontroller.com/news/Atmel\\_AVR\\_XMEGA\\_B1.asp](http://www.Microcontroller.com/news/Atmel_AVR_XMEGA_B1.asp))



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.2 ไตอะแกรมอธิบายขั้นตอนการทำงานของเครื่องกรองน้ำระบบรีเวอร์สออสโมซิส

โดยปั๊มน้ำความดันสูง (4) จะดูดน้ำจากถังพักน้ำดิบ (2) จากนั้นน้ำจะผ่านไส้กรองหยาบ (3) และเข้าเครื่องปั๊มพ์ความดันสูงเพื่อนำน้ำเข้าสู่กระบอกบรรจุไส้กรอง R.O. (7) โดยจะมี check valve (5) ควบคุมความดันภายในกระบอกบรรจุไส้กรอง R.O. ช่วยระบายความดันส่วนเกินออก และสามารถอ่านค่าความดันได้จากเกจวัดความดันที่ขาเข้า และขาออก (6), (8) เมื่อน้ำไหลผ่านกระบอก R.O. แล้วจะถูกแบ่งออกเป็นสองทาง คือ น้ำดื่ม ที่มีค่า Conductivity ต่ำ และน้ำทิ้ง ที่มีค่า Conductivity สูงกว่าน้ำดื่ม โดยน้ำดื่ม ถูกเก็บไว้ที่ถังพักน้ำดื่ม (9) ส่วนน้ำทิ้งจะถูกนำไปเก็บไว้ที่ถังพักน้ำทิ้ง (10)

### 3.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของไส้กรอง

1. เตรียมน้ำใสในถังพักน้ำดิบ (2) ขนาด 100 ลิตร
2. ต่อถังพักขนาด 100 ลิตร เข้ากับท่อน้ำเข้ากรองหยาบ (3)
3. ต่อท่อน้ำออกของกรองหยาบเข้ากับท่อน้ำเข้าของเครื่องปั๊มพ์น้ำความดันสูง (4)
4. ต่อท่อน้ำออกของเครื่องปั๊มพ์แรงดันสูงเข้ากับท่อน้ำเข้าของกระบอกบรรจุไส้กรอง (7) ซึ่งด้านในบรรจุด้วยไส้กรองเรียบร้อยแล้ว
5. ตั้ง check valve (5) ไว้ที่ 14 bar เพื่อกำหนดแรงดันภายในภาชนะใส่ไส้กรอง
6. เปิดการทำงานของเครื่องปั๊มพ์น้ำแรงดันสูงเพื่อนำน้ำภายในถังน้ำดิบ ล้างไส้กรองจำนวน 50 ลิตรจากนั้นหยุดการทำงานของเครื่องปั๊มพ์แรงดันสูง
7. เปิดการทำงานของเครื่องปั๊มพ์แรงดันสูงเป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นบันทึกปริมาณของน้ำดี และน้ำเสีย จำนวน 5 ครั้ง
8. เปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำภายในถังน้ำดิบที่ใช้กรองโดยเติมเกลือให้น้ำมีความเข้มข้นของเกลือเป็น 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1 g/l

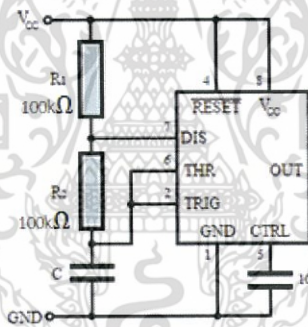
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 6-7
10. ทำการปรับ check valve ⑤ เพื่อเปลี่ยนแรงดันเป็น 16, 18, 20 bar จากนั้นทำการทดลองซ้ำขั้นตอนที่ 6-8
11. นำปริมาณน้ำที่วัดได้มาคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำดี
12. ทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/l)กับอัตราการไหลของน้ำดี(ml/s) ในเงื่อนไขความดัน 14, 16, 18 และ 20 bar
13. ทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/l)กับอัตราการไหลของน้ำเสีย(ml/s) ในเงื่อนไขความดัน 14, 16, 18 และ 20 bar
14. ทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหล(ml/s) ในเงื่อนไขความเข้มข้นเกลือ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 g/l

### 3.2 กระบวนการออกแบบเซนเซอร์และการสร้างวงจรพร้อมกับการทดสอบเซนเซอร์ที่ได้ทำการออกแบบ

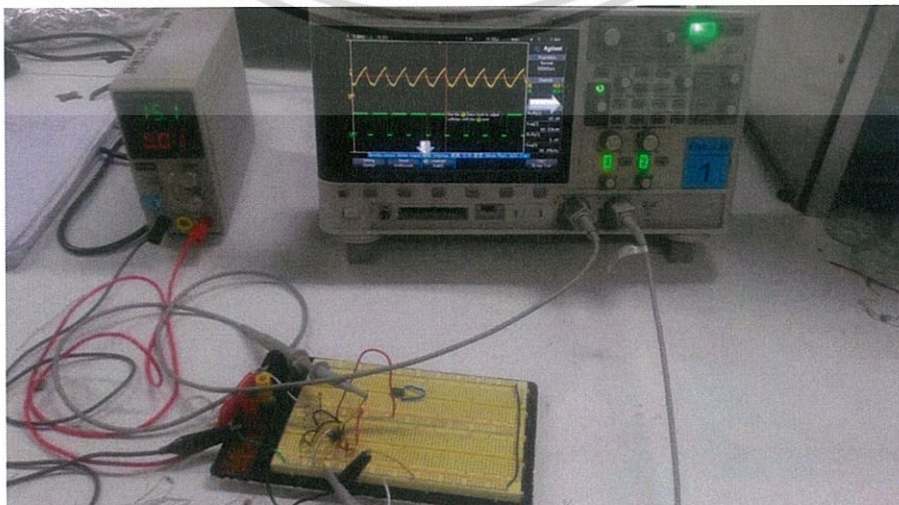
#### 3.2.1 ทำการทดสอบวงจรวัดค่าจุไฟฟ้า

1. ทำการต่อวงจรอะสเตเบิล ในวงจรรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรอะสเตเบิล 555 Timer

2. นำตัวเก็บประจุ 1pF, 2pF, 3pF, 4pF และ 5pF เปลี่ยนที่ตัว C ของวงจรในรูปที่ 3.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.3 การทดลองหาความถี่โดยใช้ตัวเก็บประจุ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการสังเกตสัญญาณที่วัดโดย เครื่อง Oscilloscope ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น DSO-X-2012A และบันทึกค่าความถี่เอาต์พุทของวงจร
4. ทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับความถี่ของวงจรอะสแตเบิลิต

### 3.2.2 การทดลองระยะห่างของแท่งโลหะขนานที่ส่งผลต่อค่าตัวเก็บประจุ

1. นำแท่งเพลลาเหล็กเกลียวความยาว 18.4 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 cm วางขนานกัน
2. ทำการคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้า จากความสัมพันธ์

$$C \approx \frac{\pi \epsilon_{r(\text{steel})} \epsilon_0}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)}$$

3. บัดกรีสายไฟเข้ากับแท่งเหล็กเพื่อใช้ต่อเข้ากับเครื่อง LCR Meter ยี่ห้อ LEADER รุ่น LCR-745
4. ต่อขั้วสายไฟเส้นของแท่งเหล็กเข้ากับเครื่อง LCR Meter ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การวัดค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะคู่ขนาน

5. ทำการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของแท่งโลหะทั้งสองที่วางขนานกันเป็นระยะ 0.2 cm, 0.4 cm, 0.6 cm, 0.8 cm และ 1 cm ตามลำดับ
6. สังเกตและบันทึกค่าความจุไฟฟ้าจากเครื่อง LCR Meter ยี่ห้อ LEADER รุ่น LCR-745
7. เปรียบเทียบค่าความจุไฟฟ้าที่ทดลองได้กับค่าความจุไฟฟ้าที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 2
8. ทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของแท่งโลหะกับค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะคู่ขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การทดลองศึกษาระดับของน้ำภายในภาชนะที่ส่งผลต่อค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะ คู่ขนาน

1. นำแท่งเพลลาเหล็กคู่ขนานไปติดเข้ากับด้านข้างของขวดพลาสติกที่ใส่น้ำ โดยระยะห่างของผิวแท่งเหล็กกว้าง 0.1 cm
2. กำหนดจุดต่ำสุดของแท่งเหล็กเป็นระยะที่ 0 cm
3. ทำการเติมน้ำลงในภาชนะที่ติดแท่งเหล็กไว้ตามระดับความสูงที่ 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 cm ตามลำดับ
4. สังเกต และบันทึกค่าความจุไฟฟ้าของแท่งเหล็กที่ระดับน้ำต่างๆด้วยเครื่อง LCR Meter ยี่ห้อ LEADER รุ่น LCR-745 ดังรูปที่ 3.5
5. ทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำภายในขวดกับค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะ



รูปที่ 3.5 การวัดค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะ

### 3.2.4 การประกอบ และทดสอบระบบคาปาซิทีฟเซนเซอร์โครงสร้างทรงกระบอกโลหะ คู่ขนาน ในการวัดระดับน้ำ

#### 3.2.4.1 การประกอบระบบ

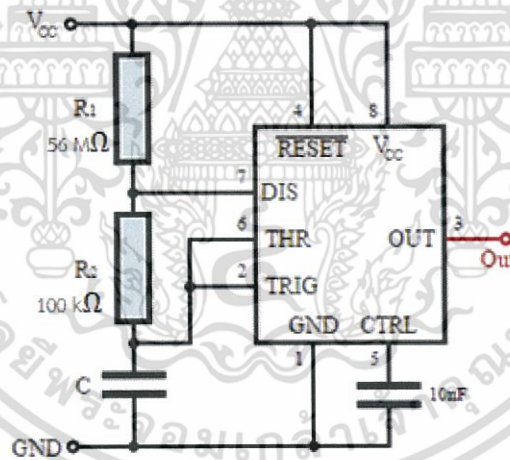
1. เปลี่ยนภาชนะที่บรรจุน้ำจากขวดน้ำพลาสติกเป็นถังน้ำดิบขนาด 100 ลิตร และเพิ่มขนาดความยาวของแท่งเหล็กเกลียวที่ใช้ให้มีขนาดเท่ากับ 57 cm มีขนาดที่พอดีกับถัง และวางขนาดกันโดยที่ระยะห่างผิวแท่งเหล็กห่าง 0.1 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ขนาดความยาวเหล็กเกลียวที่ขนาด 57 cm

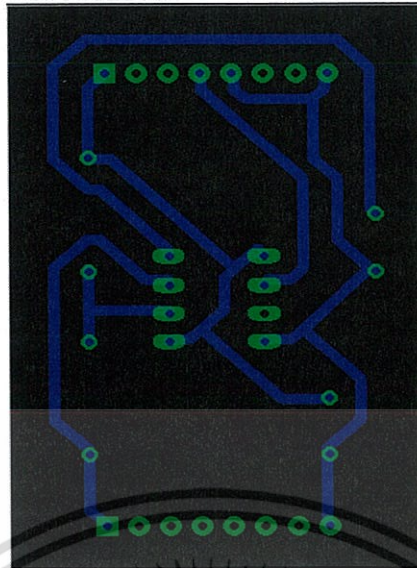
2. ออกแบบวงจรสร้างความถี่อะอสเตเบิล โดยตัวเซนเซอร์ที่ทำขึ้นมาใช้ไอซีเบอร์ LM555 ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 รูปภาพวงจรที่ออกแบบ

3. นำวงจรอะอสเตเบิลที่ออกแบบมาทำการออกแบบลายวงจรผ่านโปรแกรมอีเกิ้ล(Eagle) เพื่อนำไปกัดลายแผ่นปริ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ลายวงจรอะสเตเบิล

4. นำวงจรที่ออกแบบในรูปแบบที่ 3.8 ไปทำการกัดปรินต์ลงแผ่น PCB และใส่อุปกรณ์ให้เสร็จสมบูรณ์ดังรูปที่ 3.9

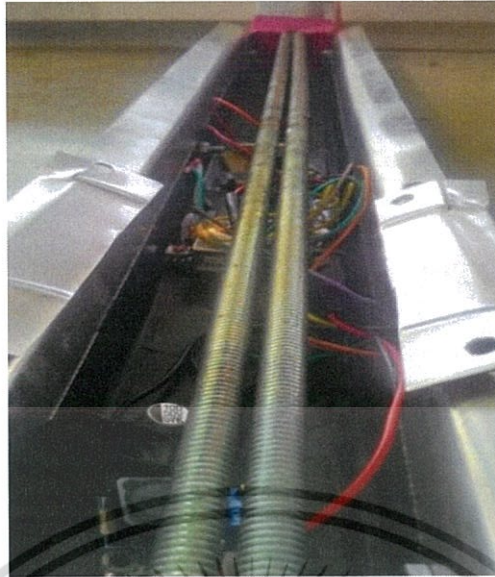


รูปที่ 3.9 วงจรอะสเตเบิลพร้อมอุปกรณ์

5. ต่อแท่งเหล็กเข้ากับวงจรในส่วนของ C ในวงจรอะสเตเบิล
6. ต่อไฟเลี้ยงของ Arduino ด้วย วงจร Regulator 5V
7. จ่ายไฟเลี้ยง 5V ของ Arduino ให้กับวงจรอะสเตเบิล
8. นำแผ่นอลูมิเนียมมาตัดและตัดตรงเพื่อนำอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดไปไว้ภายในกล่องเพื่อลดสัญญาณรบกวน ดังรูปที่ 3.11
9. ต่อจอ LCD เข้ากับที่ครอบไปบนโครงสร้างหัววัด ยึดกับผิวนอกถังพักน้ำดิบ

Arduino เพื่อใช้แสดงค่าความถี่ที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดไปไว้ภายในกล่องเพื่อลดสัญญาณรบกวน

10. นำกล่องที่ทำด้วยอลูมิเนียมไปติดไว้ที่ข้างถังพักน้ำดิบขนาด 100 ลิตร



รูปที่ 3.11 กล่องที่ทำด้วยอลูมิเนียมไปติดไว้ที่ข้างถัง

#### 3.2.4.2 การทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับค่าความถี่วงจรกรณี static

การวัดค่ากรณีนี้กระทำในสภาวะกำหนดระดับน้ำค่าต่างๆไม่ว่าจะด้วยการเติมจากก๊อกน้ำประปาหรือการถ่ายเทออก โดยไม่มีการเปิดระบบไฟฟ้าของมอเตอร์ปั๊มพื้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอกจนกว่าระดับน้ำนิ่งจึงทำการบันทึกค่า (สภาวะ static โดยปราศจากสัญญาณรบกวนจากระบบปั๊มน้ำไฟฟ้า)

1. นำเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นมาติดตั้งถึงพักขนาด 100 ลิตร
2. เติมน้ำให้มีระดับเพิ่มขึ้นทีละ 5.5 cm จากนั้น บันทึกค่าความถี่ที่อ่านได้จากจอ LCD จากระดับน้ำที่ 0 – 55 cm
3. ลดระดับน้ำทีละ 5.5 cm โดยใช้สายยางดูดน้ำออกจากนั้นบันทึกค่าความถี่ที่อ่านได้จากจอLCD จากระดับน้ำที่ 55 – 0 cm
4. ทำซ้ำขั้นตอนที่2-3 จำนวน 5 ครั้ง
5. ทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับระดับน้ำ

### 3.2.4.3 การทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับค่าความถี่วงจรกรณี dynamic

การวัดค่ากรณีนี้กระทำภายใต้สภาวะ dynamic เมื่อมีการทำงานจริงของระบบกรองน้ำ โดยมีการใช้ปั๊มความดันสูงสูบน้ำออกจากถังพัก ซึ่งจะมีสัญญาณไฟฟ้าจากส่วนมอเตอร์ขับเคลื่อนเข้าไปรบกวนผ่านช่องเปิดของโครงสร้าง shield ของระบบวงจรวัดเพื่อจะทราบถึงประสิทธิภาพของการ shield ว่าเหมาะสมหรือไม่ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เติมน้ำใส่ถังพักจนถึงระดับความสูงที่ 55 cm
2. เปิดปั๊มน้ำเพื่อลดระดับน้ำลงจากระดับความสูง 55 – 0 cm เมื่อระดับน้ำลดถึงระดับที่กำหนดทุกๆ 5.5 cm ทำการอ่านค่าความถี่ ณ ตอนนั้น
3. ทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับระดับน้ำ

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

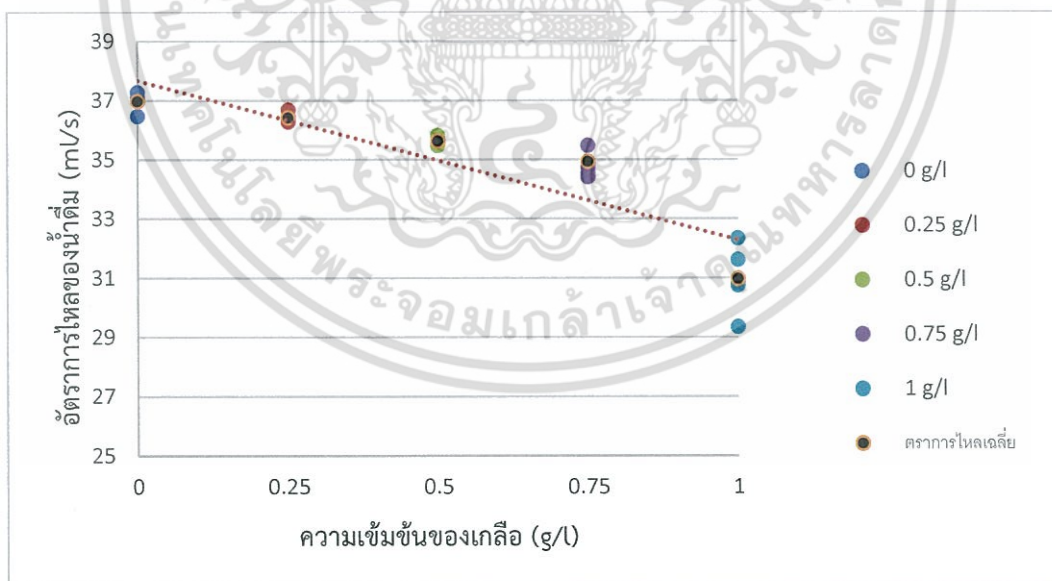
ในบทนี้จะอธิบายถึงผลที่ได้จากการทดลอง และการวิเคราะห์ผลของการศึกษาความเป็นไปได้ของการออกแบบระบบการเปลี่ยนน้ำทะเลให้เป็นน้ำจืดโดยระบบอัตโนมัติ

#### 4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของไส้กรองรีเวอร์สออสโมซิส

ทำการหาค่าความแตกต่างของค่า Conductivity และ Flow Rate ของระบบการทำน้ำจืดจากน้ำทะเล โดยใช้เครื่องปั้มน้ำแรงดันสูงพลังงานไฟฟ้าระบบอัตโนมัติ ทำการอัดน้ำทะเลเข้าไปในท่อร์เวอร์สออสโมซิส เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อกรองรีเวอร์สออสโมซิส ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้เกลือละลายน้ำแทนน้ำทะเล โดยวัดค่าจากการเก็บน้ำ 15 วินาทีเพื่อทดสอบค่า Flow Rate ของน้ำดีและน้ำเสีย

##### 4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/L)กับอัตราการไหลของน้ำดี(mL/s)

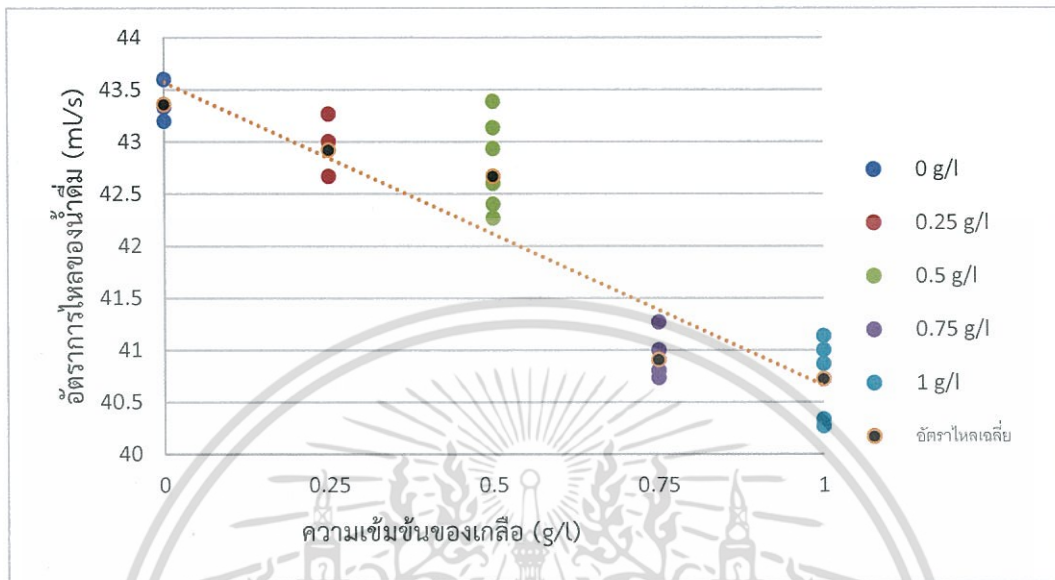
การหาอัตราการไหลของน้ำดีที่ความดัน 14 bar ความเข้มข้นของเกลือในน้ำเท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 g/l ตามลำดับ ได้ผลเป็นความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.1 โดยอัตราการไหลของน้ำดีลดลงเมื่อค่าความเข้มข้นของเกลือในน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/L)กับอัตราการไหลของน้ำดี(mL/s) ที่ความดัน 14 bar

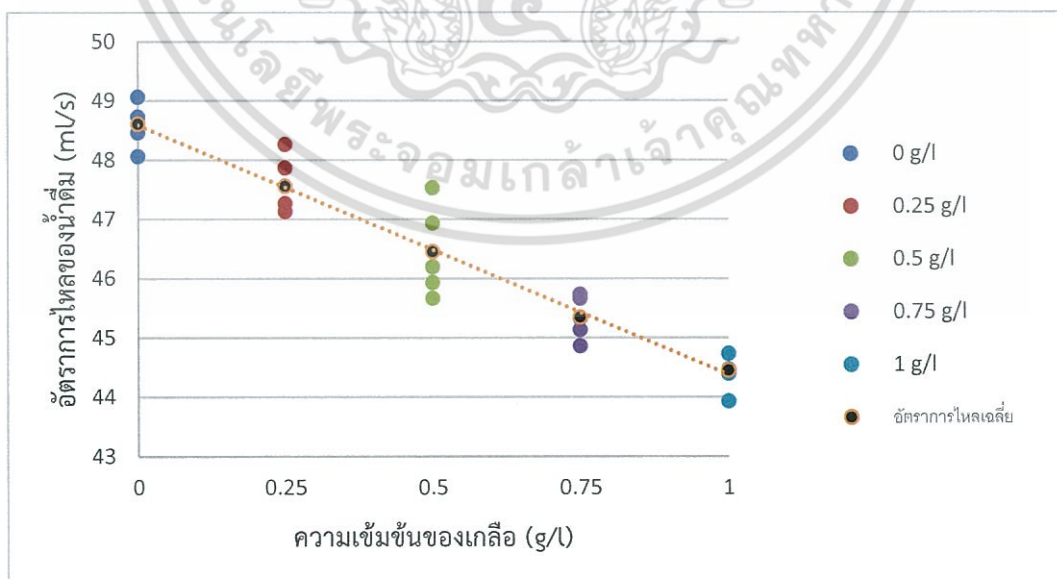
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาอัตราการไหลของน้ำดื่มที่ความดัน 16 bar ความเข้มข้นของเกลือในน้ำเท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 g/l ตามลำดับ พบว่าเป็นความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.2 โดยอัตราการไหลของน้ำดื่มลดลงเมื่อค่าความเข้มข้นของเกลือในน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/L)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(mL/s) ที่ความดัน 16 bar

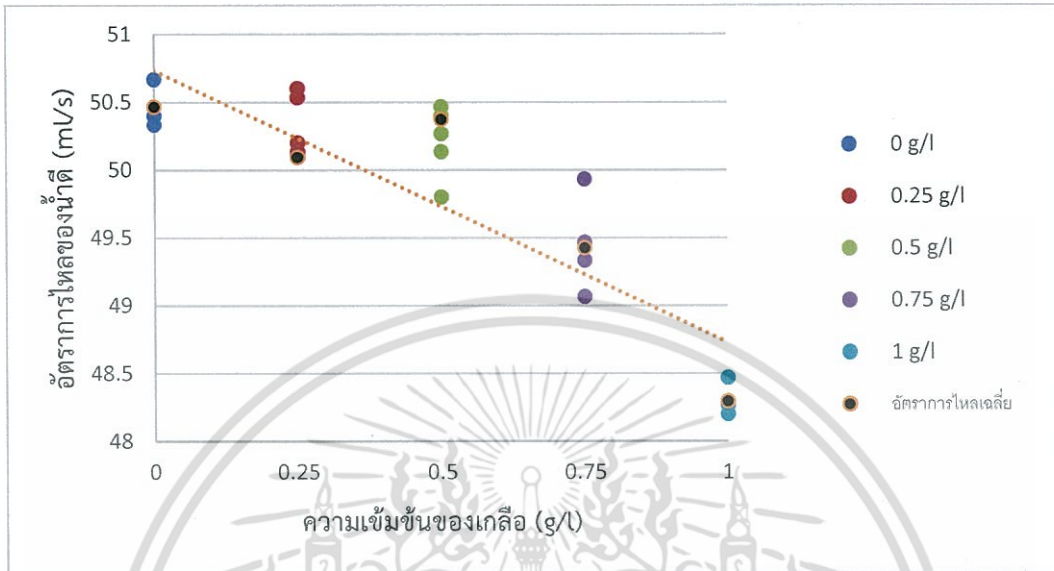
การหาอัตราการไหลของน้ำดื่มที่ความดัน 18 bar ความเข้มข้นของเกลือในน้ำเท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 g/l ตามลำดับ พบว่าเป็นความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.3 โดยอัตราการไหลของน้ำดื่มลดลงเมื่อค่าความเข้มข้นของเกลือในน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/L)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(mL/s) ที่ความดัน 18 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

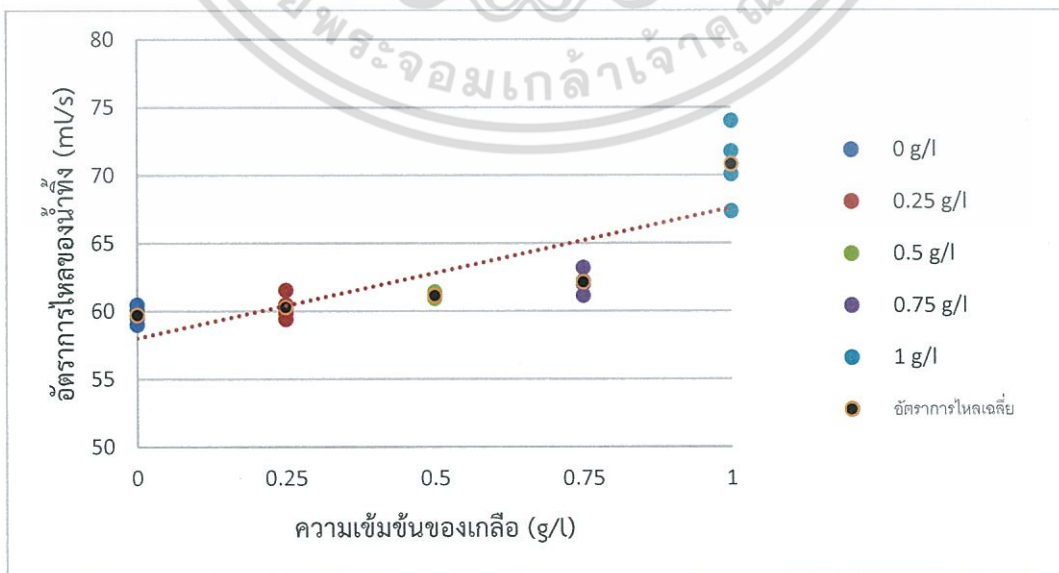
การหาอัตราการไหลของน้ำดื่มที่ความดัน 20 bar ความเข้มข้นของเกลือในน้ำเท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 g/l ตามลำดับ พบว่าเป็นความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.4 โดยอัตราการไหลของน้ำดื่มลดลงเมื่อค่าความเข้มข้นของเกลือในน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/L)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(mL/s) ที่ความดัน 20 bar

#### 4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/L)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(mL/s)

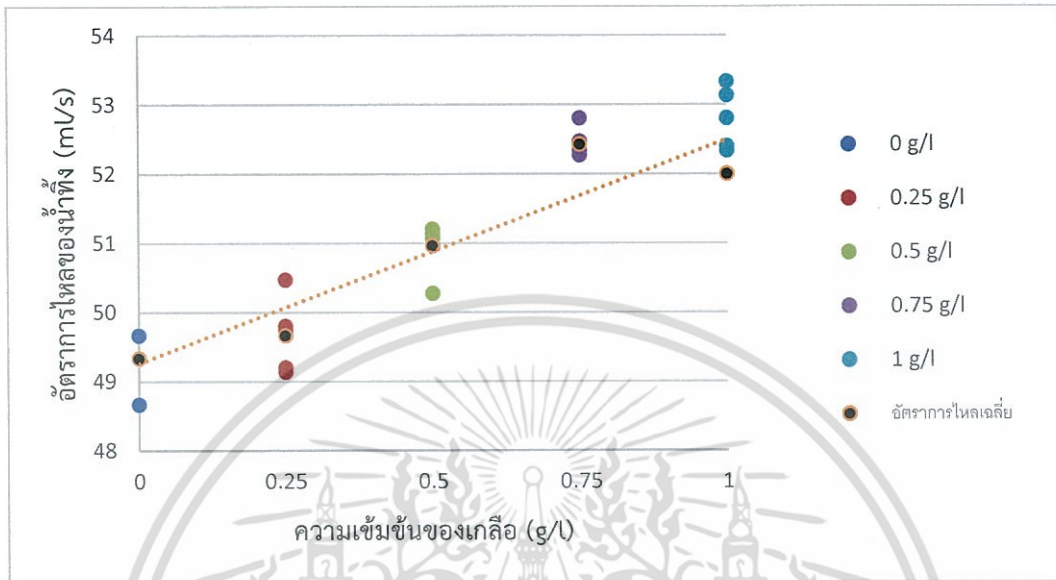
การหาอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ความดัน 14 bar ความเข้มข้นของเกลือในน้ำเท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 g/l ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.5 โดยอัตราการไหลของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นของเกลือในน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/L)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(mL/s) ที่ความดัน 14 bar

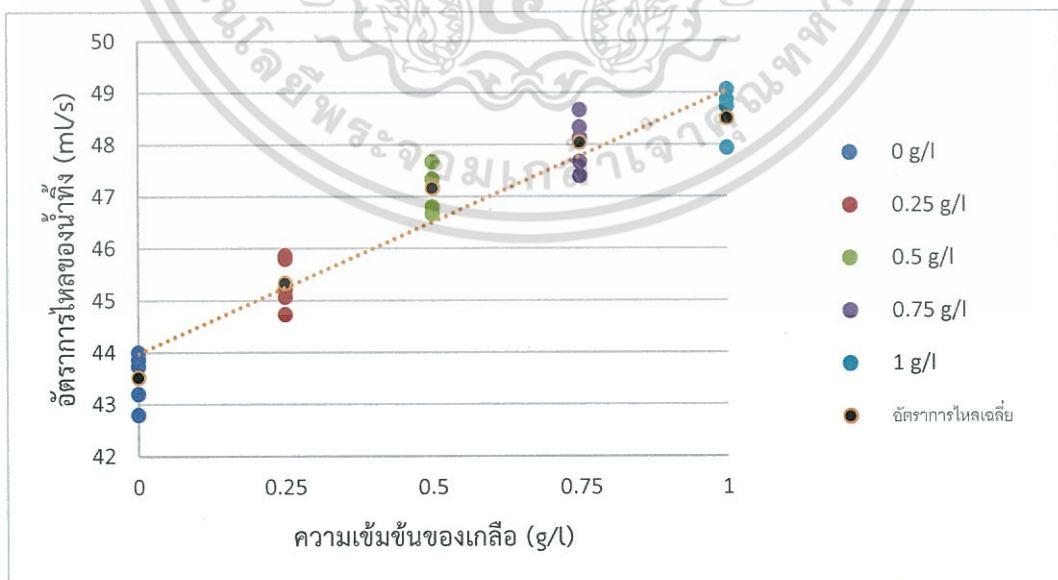
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ความดัน 16 bar ความเข้มข้นของเกลือในน้ำเท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 g/l ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.6 โดยอัตราการไหลของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นของเกลือในน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/L)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(mL/s) ที่ความดัน 16 bar

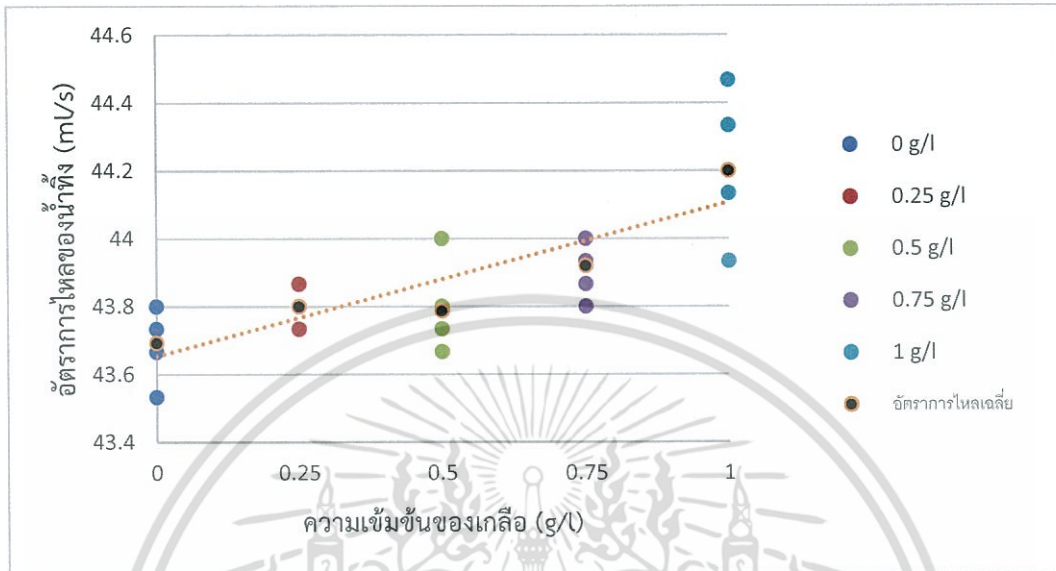
การหาอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ความดัน 18 bar ความเข้มข้นของเกลือในน้ำเท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 g/l ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.7 โดยอัตราการไหลของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นของเกลือในน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/L)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(mL/s) ที่ความดัน 18 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

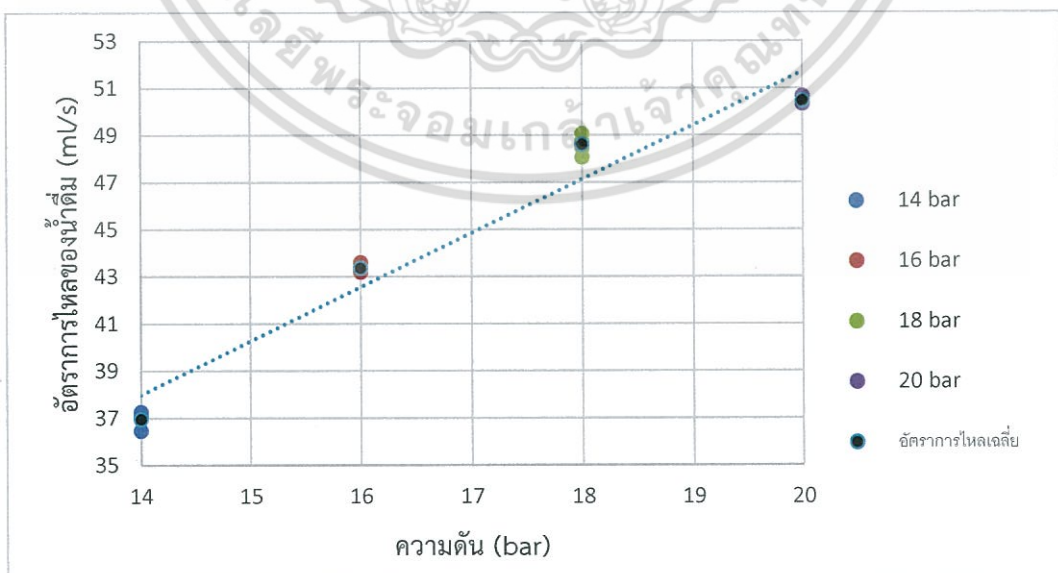
การหาอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ความดัน 20 bar ความเข้มข้นของเกลือในน้ำเท่ากับ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 g/l ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.8 โดยอัตราการไหลของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นของเกลือในน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือ(g/L)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(mL/s) ที่ความดัน 20 bar

#### 4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(mL/s)

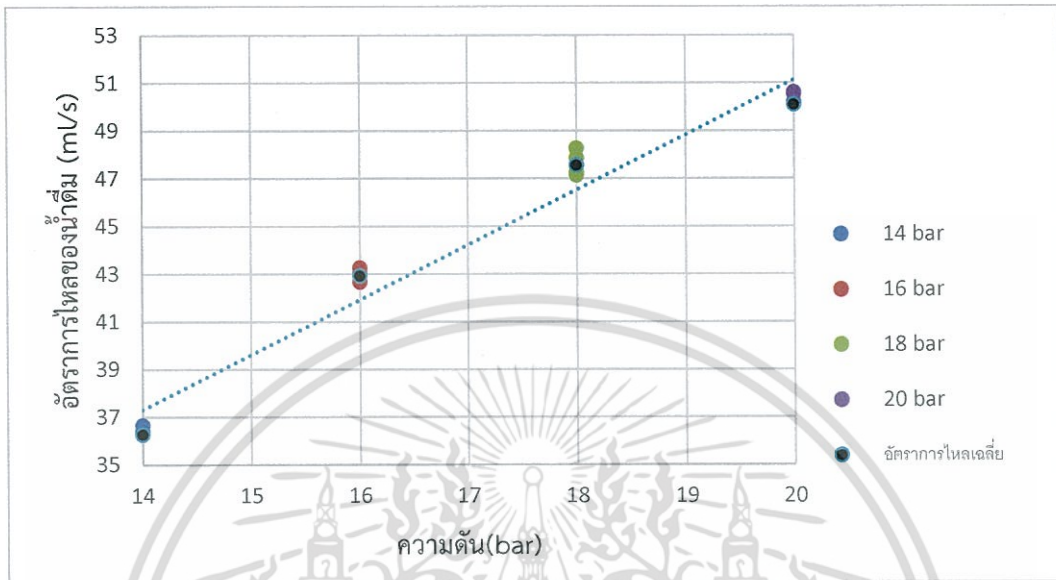
การหาอัตราการไหลของน้ำดื่มที่ความเข้มข้นของเกลือในน้ำ 0 g/l ที่ความดัน 14, 16, 18, และ 20 bar ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.9 โดยอัตราการไหลของน้ำดื่มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(mL/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0 g/L

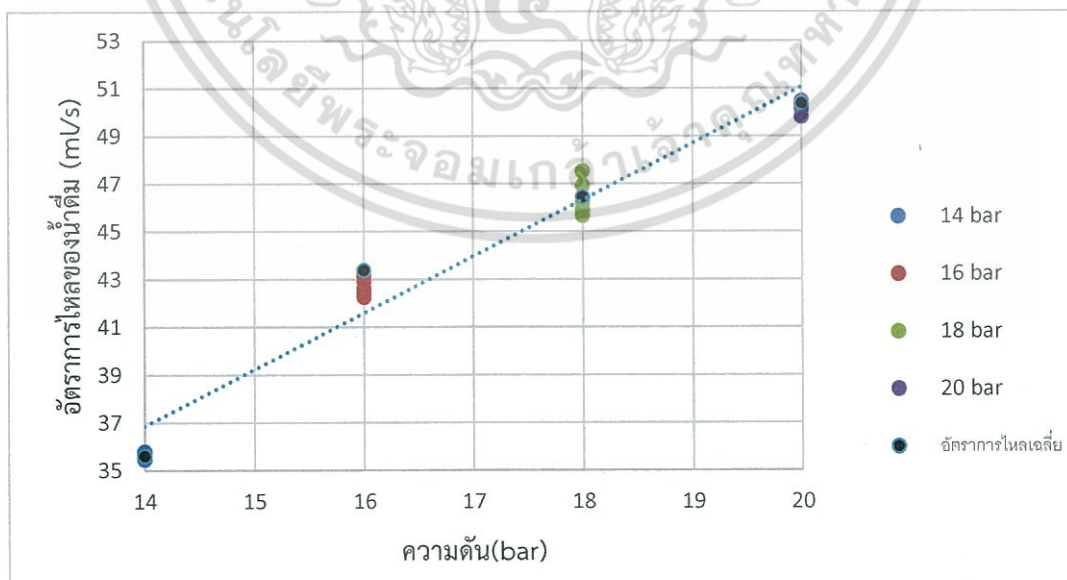
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาอัตราการไหลของน้ำดื่มที่ความเข้มข้นของเกลือในน้ำ 0.25 g/l ที่ความดัน 14, 16, 18, และ 20 bar ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.10 โดยอัตราการไหลของน้ำดื่มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(mL/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.25 g/l

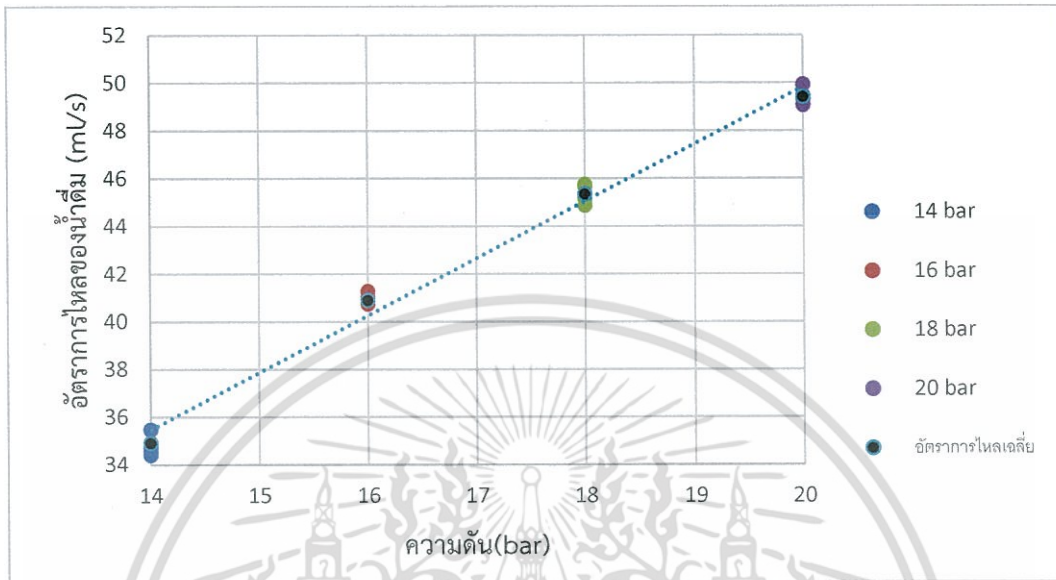
การหาอัตราการไหลของน้ำดื่มที่ความเข้มข้นของเกลือในน้ำ 0.5 g/l ที่ความดัน 14, 16, 18, และ 20 bar ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.11 โดยอัตราการไหลของน้ำดื่มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(mL/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.5 g/l

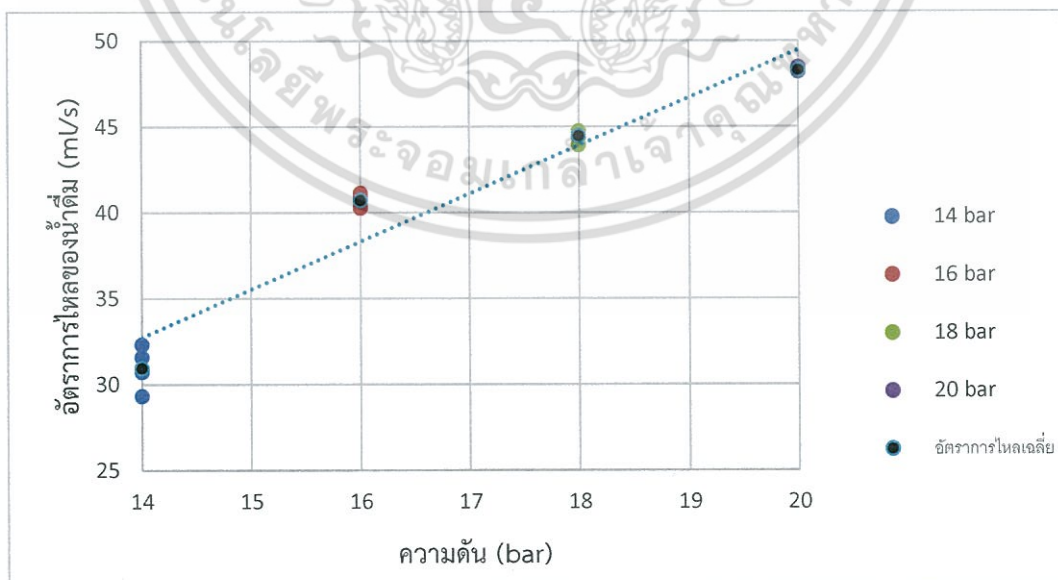
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาอัตราการไหลของน้ำดื่มที่ความเข้มข้นของเกลือในน้ำ 0.75 g/l ที่ความดัน 14, 16, 18, และ 20 bar ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.12 โดยอัตราการไหลของน้ำดื่มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.75 g/l

การหาอัตราการไหลของน้ำดื่มที่ความเข้มข้นของเกลือในน้ำ 1 g/l ที่ความดัน 14, 16, 18, และ 20 bar ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.13 โดยอัตราการไหลของน้ำดื่มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้น

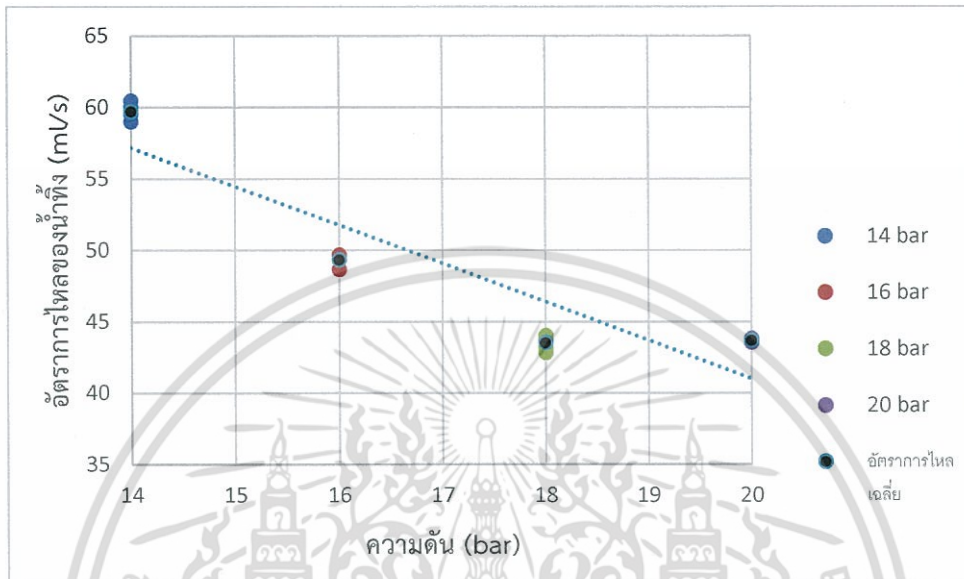


รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำดื่ม(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 1 g/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

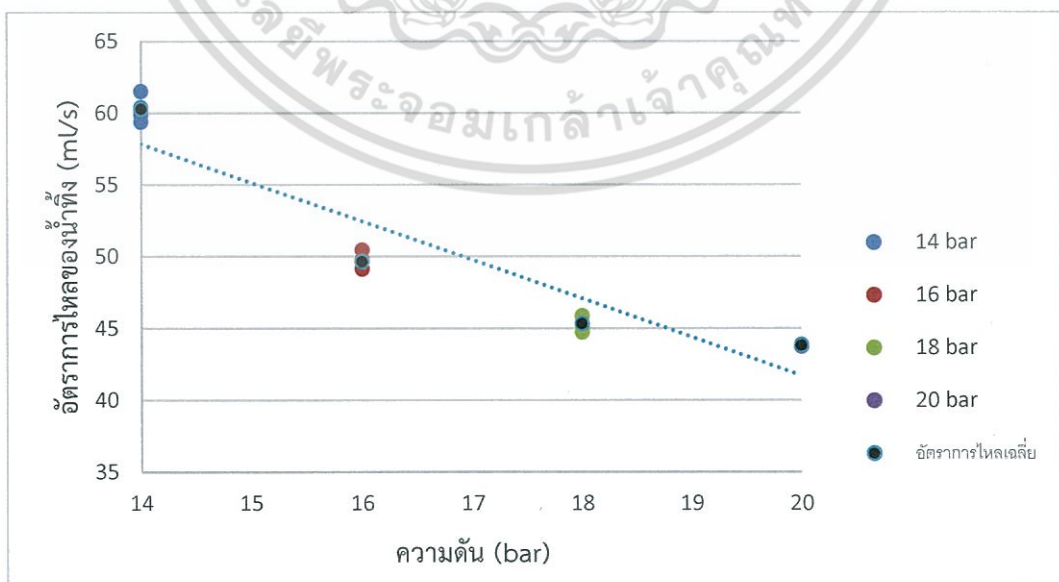
#### 4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s)

การหาอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นของเกลือในน้ำ 0 g/l ที่ความดัน 14, 16, 18, และ 20 bar ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.14 โดยอัตราการไหลของน้ำทิ้งลดลงเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0 g/l

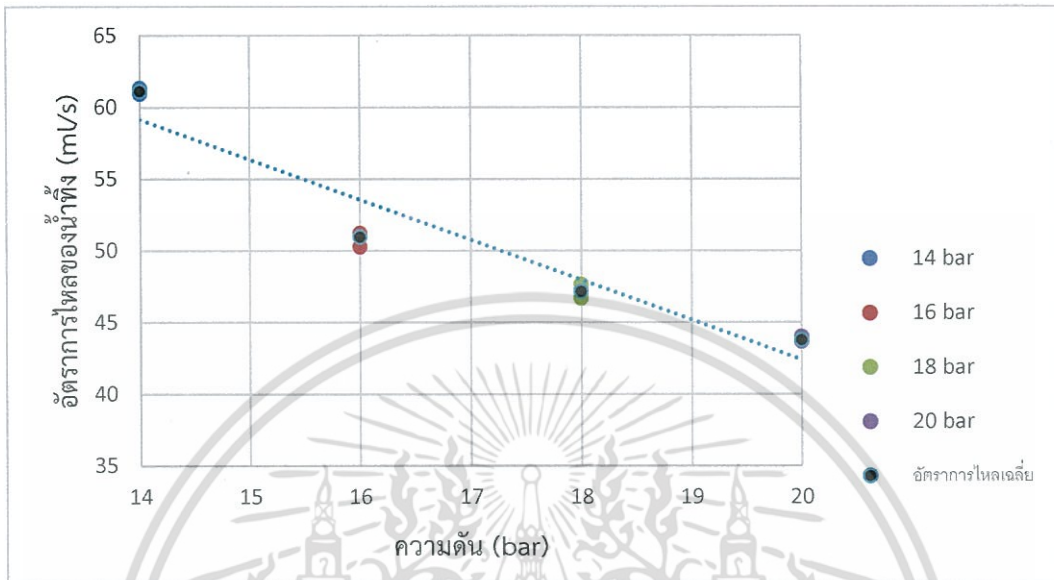
การหาอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นของเกลือในน้ำ 0.25 g/l ที่ความดัน 14, 16, 18, และ 20 bar ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.15 โดยอัตราการไหลของน้ำทิ้งลดลงเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.25 g/l

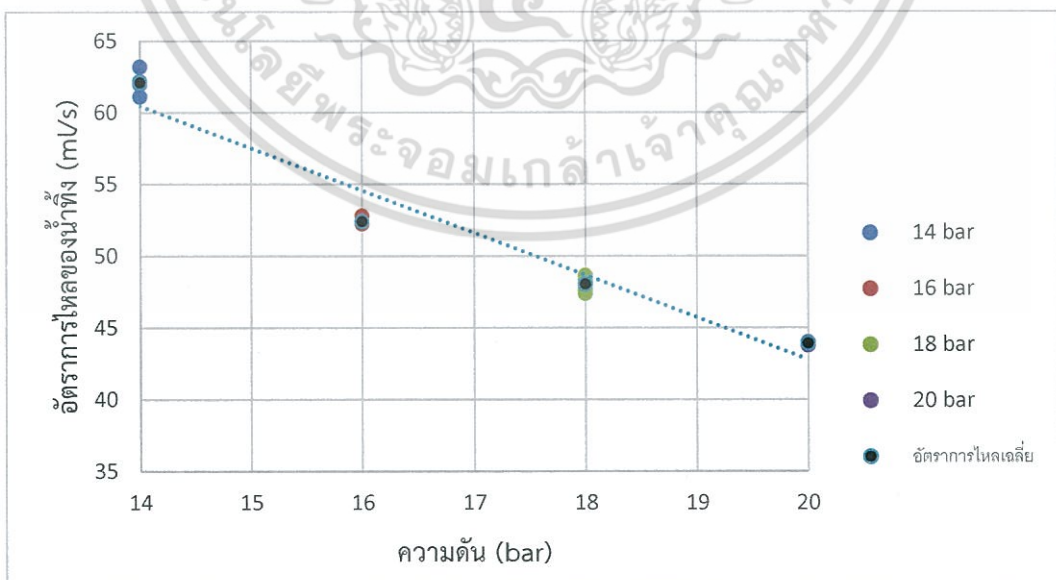
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนสุรนารีศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นของเกลือในน้ำ 0.5 g/l ที่ความดัน 14, 16, 18, และ 20 bar ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.16 โดยอัตราการไหลของน้ำทิ้งลดลงเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(mL/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.5 g/l

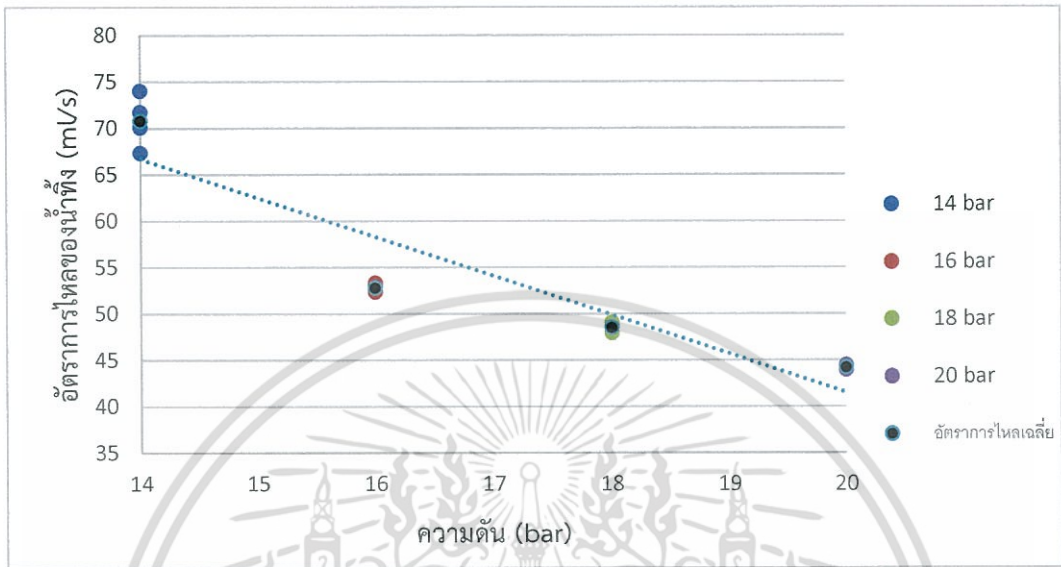
การหาอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นของเกลือในน้ำ 0.75 g/l ที่ความดัน 14, 16, 18, และ 20 bar ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.17 โดยอัตราการไหลของน้ำทิ้งลดลงเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(mL/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.75 g/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นของเกลือในน้ำ 1 g/l ที่ความดัน 14, 16, 18, และ 20 bar ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.18 โดยอัตราการไหลของน้ำทิ้งลดลงเมื่อค่าความดันเพิ่มขึ้น

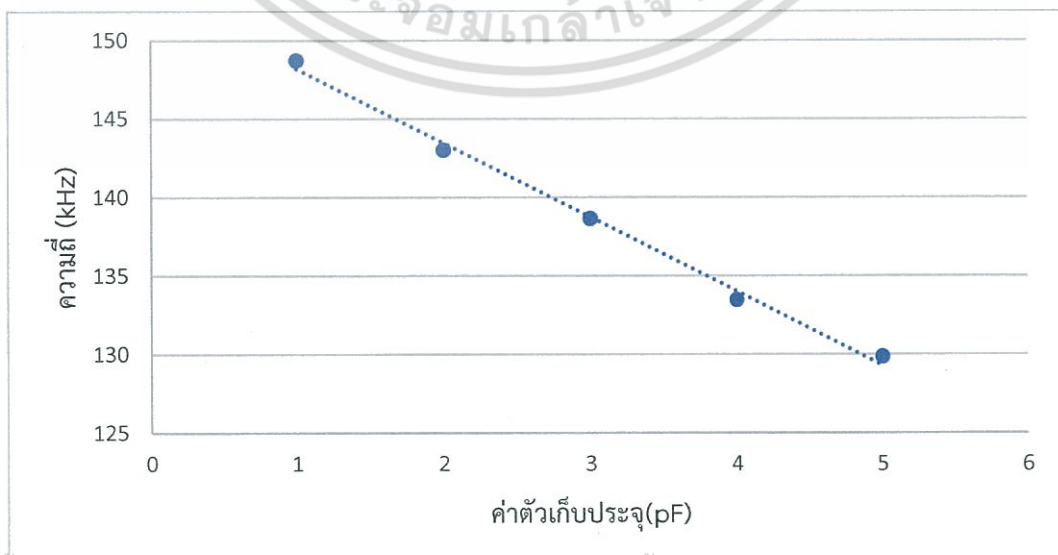


รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(bar)กับอัตราการไหลของน้ำทิ้ง(ml/s) ที่ความเข้มข้นเกลือ 1 g/l

## 4.2 ผลการออกแบบเซนเซอร์และการสร้างวงจรพร้อมกับการทดสอบเซนเซอร์ที่ออกแบบ

### 4.2.1 ผลการทดสอบวงจรวัดค่าจุไฟฟ้า

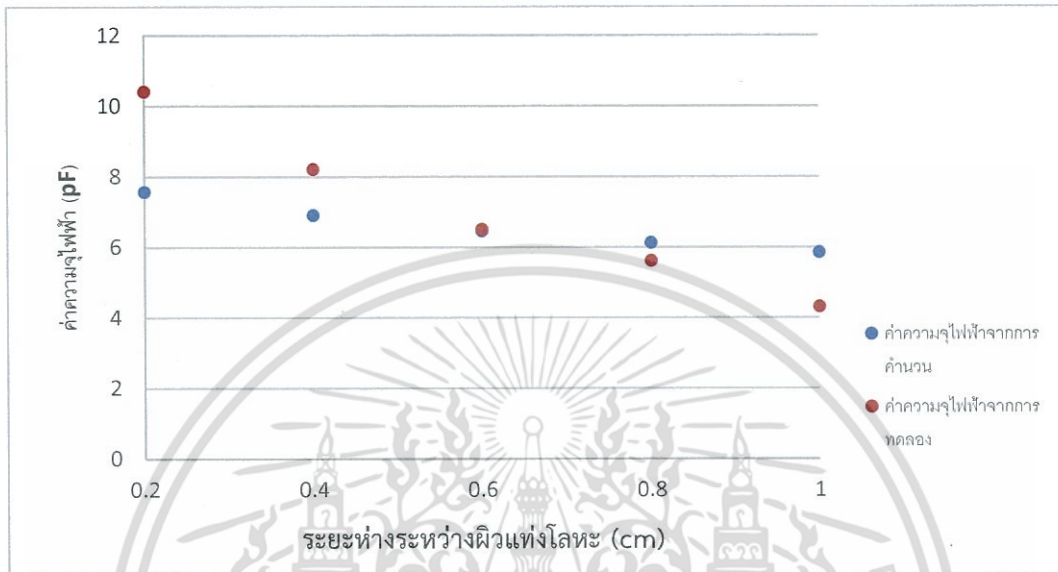
การทดสอบวงจรวัดค่าความจุไฟฟ้าพบว่า การเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจรตามค่าความจุไฟฟ้าที่เป็น C ของวงจร ที่ค่าความจุไฟฟ้า 1, 2, 3, 4 และ 5 pF พบว่ามีความสัมพันธ์ดัง รูปที่ 4.19 โดยค่าความถี่ของวงจรจะลดลงเมื่อค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับความถี่ของวงจรอะอสเตเบิล

#### 4.2.2 ผลการทดลองระยะห่างของผิวแท่งโลหะขนานที่ส่งผลต่อค่าตัวเก็บประจุ

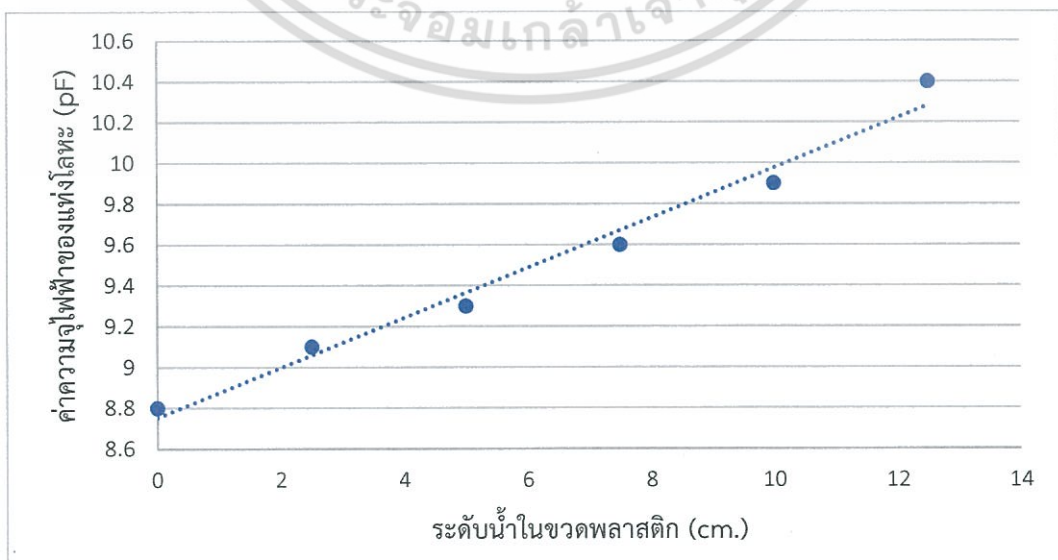
จากการทดลองที่ระยะห่างของผิวแท่งเหล็กที่ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 cm พบว่ามีความสัมพันธ์ดัง รูปที่ 4.20 โดยเมื่อระยะห่างของผิวแท่งเหล็กเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความจุไฟฟ้าของแท่งเหล็กลดลง



รูปที่ 4.20 การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของผิวแท่งเหล็กกับค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะ

#### 4.2.3 การทดลองศึกษาระดับของน้ำภายในภาชนะที่ส่งผลต่อค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะคู่ขนาน

จากการทดลองที่ระดับความสูงของน้ำในขวดที่ 0, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 cm พบว่ามีความสัมพันธ์ดัง รูปที่ 4.21 โดยค่าความจุไฟฟ้าของแท่งเหล็กเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของน้ำภายในขวด



รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำภายในขวดกับค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะ

#### 4.2.4 การประกอบ และทดสอบระบบคาปาซิทีฟเซนเซอร์โครงสร้างทรงกระบอกโลหะคู่ขนาน ในการวัดระดับน้ำ

##### 4.2.4.2 การทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับค่าความถี่จจรกรณี static

เปรียบเทียบค่าความถี่ของเซนเซอร์ที่ใช้วัดระดับน้ำภายในถัง พบว่ามีความสัมพันธ์ดัง รูปที่ 4.22 โดยที่ระดับน้ำ 35 cmมีค่าความถี่ของเซนเซอร์ที่น้อยกว่าที่ระดับน้ำ 25 cm



( ก )

( ข )

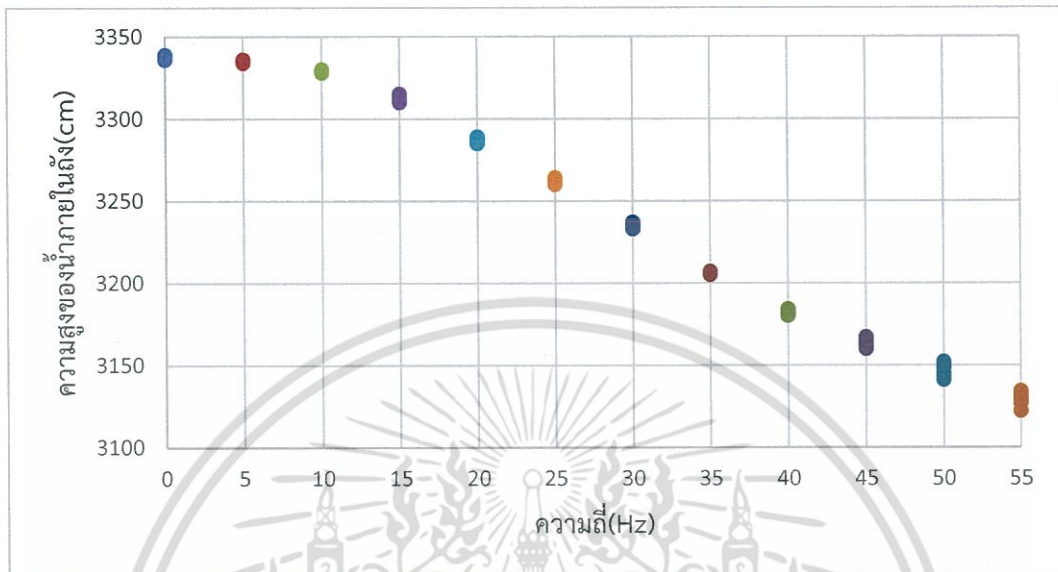
รูปที่ 4.22 ค่าความถี่ที่ระดับน้ำต่างๆ

( ก ) ค่าความถี่ที่ระดับน้ำสูง 35 cm

( ข ) ค่าความถี่ที่ระดับน้ำสูง 25 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

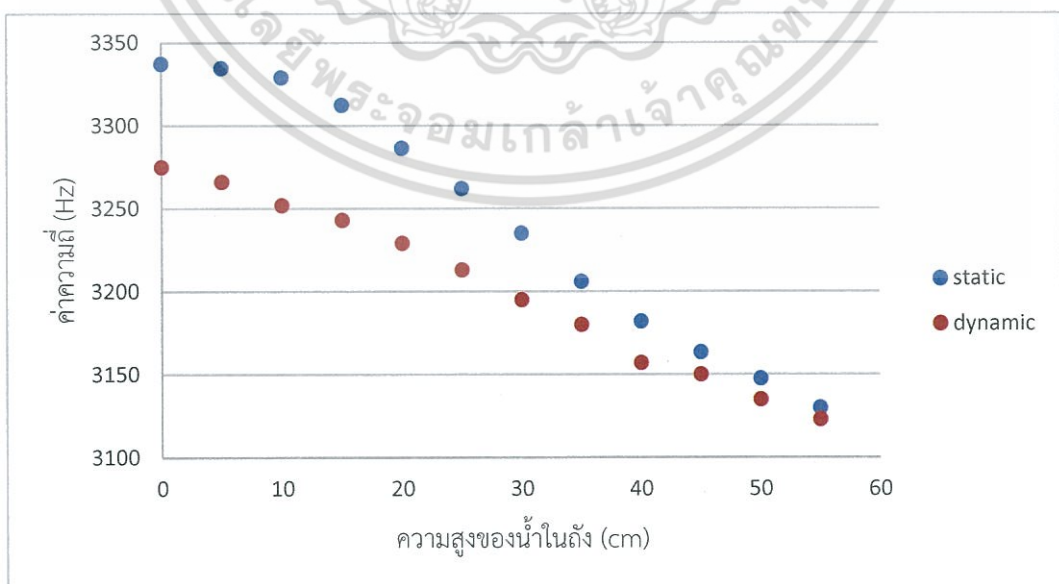
การวัดค่าความถี่ของเซนเซอร์ ที่ระดับน้ำ 0 – 55 cm โดยวัดความถี่ของเซนเซอร์ ทุกๆ 5.5 cm พบว่ามีความสัมพันธ์ดัง รูปที่ 4.23 โดยความถี่ของเซนเซอร์ลดลงเมื่อระดับน้ำในถังเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความสูงของน้ำในถัง(cm)กับความถี่(Hz)

#### 4.2.4.3 การทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับค่าความถี่วงจรณี dynamic

เปรียบเทียบค่าความถี่ของเซนเซอร์ที่วัดได้ ของกรณี static และ dynamic พบว่ามีความสัมพันธ์ดัง รูปที่ 4.24 โดยค่าความถี่ที่อ่านได้ลดลงตามระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นเหมือนกัน แต่ในกรณีของ dynamic ที่ระดับน้ำเดียวกับกรณี static มีค่าความถี่ที่ต่ำกว่า



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำในถังกับค่าความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อกรองรีเวอร์สออสโมซิส ที่อัตราความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1 g/l และมีความดันน้ำภายในกระบอกบรรจุไส้กรอง R.O. ที่ 14, 16, 18 และ 20 bar พบว่าที่ทุกค่าความดันน้ำภายในกระบอกบรรจุไส้กรอง R.O. อัตราการไหลของน้ำที่ลดลงเมื่อความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรองเพิ่มขึ้น แต่อัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเกลือในน้ำเพิ่มขึ้น และที่ทุกค่าของความเข้มข้นของเกลือในน้ำเมื่อเพิ่มความดันน้ำให้อัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้นด้วย แต่อัตราการไหลของน้ำที่ลดลง ดังนั้นค่าความเข้มข้นของเกลือในน้ำ และความดันน้ำภายในกระบอกบรรจุไส้กรอง R.O. มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ

จากการทดลองโดยใช้วงจรรอสเตเบิลวัตต์ค่าตัวเก็บประจุ พบว่าค่าความถี่ของวงจรรอสเตเบิลขึ้นอยู่กับค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุภายในวงจร ค่าความถี่ของวงจรรอสเตเบิลจะแปรผกผันกับค่าความจุไฟฟ้าของ C ในวงจร โดยเมื่อค่าความจุไฟฟ้าของ C เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความถี่ของวงจรรอสเตเบิลลดลง

จากการทดลองระยะห่างของแท่งโลหะขนานที่ส่งผลต่อตัวเก็บประจุที่ระยะ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 cm พบว่าเมื่อระยะห่างของแท่งโลหะเพิ่มมากขึ้นทำให้ความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะน้อยลง ซึ่งโดยค่าความจุไฟฟ้าที่ได้มีการลดลงแบบเป็นเอกซ์โพเนนเชียล มีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าความจุไฟฟ้าในทฤษฎีโดยเฉลี่ย 18.37%

จากการทดลองศึกษาอันดับของน้ำภายในภาชนะที่ส่งผลต่อค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะ พบว่าเมื่อระดับน้ำในภาชนะสูงขึ้นทำให้ค่าไดอิเล็กตริกของอากาศที่อยู่ระหว่างแท่งโลหะ ถูกแทนที่ด้วยค่าไดอิเล็กตริกของน้ำ ค่าไดอิเล็กตริกของอากาศมีค่าต่ำกว่าค่าไดอิเล็กตริกของน้ำ ทำให้เมื่อค่าไดอิเล็กตริกระหว่างแท่งโลหะเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าความจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังนั้นการวัดความสูงของน้ำสามารถทำได้โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะได้

จากการทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับค่าความถี่วงจรกรณี static พบว่าค่าความถี่ของเซนเซอร์ขึ้นอยู่กับระดับของน้ำภายในถัง โดยค่าความถี่จะแปรผกผันกับค่าความสูงของน้ำ เนื่องจากเมื่อค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะเพิ่มมากขึ้นทำให้การเก็บ และคายประจุของวงจรถองใช้เวลาเพิ่มขึ้นด้วย

จากการทดลองวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับค่าความถี่วงจรกรณี dynamic เทียบกับกรณี static แสดงให้เห็นว่าค่าความถี่ที่ได้ไม่เท่ากัน โดยค่าความถี่ในกรณี dynamic มีค่าต่ำกว่าค่าความถี่ของกรณี static เมื่อคำนวณหาความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยแล้วได้เท่ากับ 1.28%

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบเซนเซอร์โดยใช้แท่งโลหะขนานเป็นตัวเก็บประจุของวงจรรอสเตเบิล พบว่าค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะที่เปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำในถัง ส่งผลให้ค่าความถี่ของวงจรรอสเตเบิลเปลี่ยนแปลง ค่าความถี่ของวงจรรอสเตเบิลจะแปรผกผันกับระดับของน้ำภายในถัง ทำให้สามารถหาความสูงของน้ำภายในถังได้โดยอาศัยความถี่ของวงจรรอสเตเบิล ในอนาคตอันใกล้จะสามารถทำให้รีเวอร์สออสโมซิสราคาถูกลงสำหรับทำน้ำดื่มจากทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นระบบอัตโนมัติที่สมบูรณ์ขึ้นได้ โดยอาศัยอัตราการไหลของน้ำภายในถัง จากระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงระดับของน้ำ จากความสูงหนึ่งไปยังอีกความสูงหนึ่ง ถ้าระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของน้ำในถังเพิ่มขึ้น แสดงว่าอัตราการไหลของน้ำในถังลดลง เมื่ออัตราการไหลลดลงจนถึงจุดซึ่งคล้องจองกับการหมดอายุของไส้กรองแล้ว ก็จะสั่งหยุดระบบ



## เอกสารอ้างอิง

- [1] Wikipedia, the free encyclopedia. 2017. Reverse osmosis. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [https://en.wikipedia.org/wiki/Reverse\\_osmosis](https://en.wikipedia.org/wiki/Reverse_osmosis)
- [2] บริษัทโพรเฟสชันแนล โอโซนไนซ์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด. 2012. ปรากฏการณ์ออสโมซิส และ รีเวอร์สออสโมซิส. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.ozoneinter.com/osmosis.html>
- [3] บริษัท ทอป ริช คอร์ปอเรชั่น จำกัด. 2013. ระบบรีเวอร์สออสโมซิสที่สมบูรณ์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.toprich.co.th/th/products/industrial/reverse-osmosis-ro/>
- [4] บริษัท สุพรีมไลน์ส จำกัด. 2015. Capacitive Proximity Sensors. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.supremelines.co.th/-capacitive-proximity-sensors.html>
- [5] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2560. สารไดอิเล็กตริก. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/ไดอิเล็กตริก>.
- [6] Edin Terzic , Jenny Terzic , Romesh Nagarajah , Muhammad Alamgir. 2012. Capacitors in Level Sensing. เข้าถึงได้จาก หนังสือ A Neural Network Approach to Fluid Quantity Measurement in Dynamic Environments
- [7] Charles S. Walker. 1990. Capacitance. เข้าถึงได้จาก หนังสือ Capacitance Inductance and Crosstalk Analysis
- [8] Larry K. Baxter. 1997. Capacitive Sensors. เข้าถึงได้จาก หนังสือ Capacitive Sensors Design and Applications
- [9] ศิวะพงษ์ ธิโสภา. 2555. วงจรออสเตเบิล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://elec-thai.blogspot.com/2012/12/astable-multivibrator.html>
- [10] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2556. ไอซี 555. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [https://th.wikipedia.org/wiki/ไอซี\\_555](https://th.wikipedia.org/wiki/ไอซี_555)
- [11] Bhornpawis Leangpanich. 2013. การชิลด์จากสนามไฟฟ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://shieldandground.blogspot.com/p/blog-page.html>
- [12] Wikipedia, the free encyclopedia. 2017. Arduino. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

การศึกษาการทำงานของระบบอัตโนมัติรีเวสสอลโซมิซิสราคาถูกสำหรับทำน้ำดื่มจากทะเลโดยใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการเพิ่มปริมาณเกลือ 0g , 0.25g , 0.5g , 0.75g . 1g และทำการเปลี่ยนความดันที่ 14 , 16 , 18 , 20 bar ตามลำดับ

ที่แรงดันน้ำ 14 บาร์

ตารางที่ 1 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	37.00	60.06	0	14
2	37.00	59.53	0	14
3	37.06	59.00	0	14
4	36.46	59.53	0	14
5	37.26	60.46	0	14
Average	36.96	59.72		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0 g/l

ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 210  $\mu$ S

ตารางที่ 2 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.25g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	36.26	59.86	0	14
2	36.40	61.53	0	14
3	36.66	59.40	0	14
4	36.33	60.20	0	14
5	36.40	60.40	0	14
Average	36.28	60.29		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.25 g/l

ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 620  $\mu$ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.5g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	35.60	61.04	10	14
2	35.53	60.93	10	14
3	35.66	61.06	10	14
4	35.46	61.00	10	14
5	35.80	61.33	10	14
Average	35.61	61.14		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.5 g/l

ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,030  $\mu$ S

ตารางที่ 4 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.75g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	35.46	62.00	20	14
2	35.46	63.20	10	14
3	34.53	62.20	10	14
4	34.73	62.06	10	14
5	34.40	61.13	10	14
Average	34.92	62.12		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.75 g/l

ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,330  $\mu$ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 1g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	31.60	71.73	30	14
2	32.33	74.00	20	14
3	30.80	70.06	20	14
4	29.33	67.33	20	14
5	30.73	70.80	20	14
Average	30.96	70.78		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 1  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,680  $\mu$ S

ที่แรงดันน้ำ 16 บาร์

ตารางที่ 6 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	43.33	48.66	0	16
2	43.60	49.66	0	16
3	43.20	49.66	0	16
4	43.33	49.33	0	16
5	43.33	49.33	0	16
Average	43.36	49.33		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0 g/l  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 210  $\mu$ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.25g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	43.00	49.20	0	16
2	43.26	49.80	0	16
3	43.26	49.13	0	16
4	43.00	50.46	0	16
5	42.66	49.73	0	16
Average	42.92	49.66		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.25 g/l  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 620  $\mu$ S

ตารางที่ 8 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.5g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	42.60	51.06	10	16
2	42.93	51.13	10	16
3	42.40	50.26	10	16
4	43.13	51.20	10	16
5	42.26	51.13	10	16
Average	42.66	50.96		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.5 g/l  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,010  $\mu$ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.75g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	41.00	52.26	10	16
2	40.73	52.33	10	16
3	41.26	52.80	10	16
4	40.80	52.26	10	16
5	40.73	52.46	10	16
Average	40.90	52.42		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.75 g/l  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,340  $\mu$ S

ตารางที่ 10 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 1g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	41.13	53.13	10	16
2	40.33	52.33	20	16
3	40.86	52.80	20	16
4	41.00	53.33	10	16
5	40.26	52.40	10	16
Average	40.72	52.00		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 1 g/l  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,680  $\mu$ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แรงดันน้ำ 18 บาร์

ตารางที่ 11 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	48.06	42.80	0	18
2	49.06	44.00	0	18
3	48.46	43.20	0	18
4	48.73	43.86	0	18
5	48.73	43.73	0	18
Average	48.61	43.52		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0 g/l

ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 220  $\mu$ S

ตารางที่ 12 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.25g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	47.13	44.73	0	18
2	48.26	45.80	0	18
3	47.86	45.86	0	18
4	47.26	45.20	0	18
5	47.26	45.06	0	18
Average	47.56	45.33		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.25 g/l

ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 620  $\mu$ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.5g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	47.53	47.33	10	18
2	46.93	47.66	10	18
3	46.20	47.33	0	18
4	45.66	46.66	0	18
5	45.93	46.80	0	18
Average	46.45	47.16		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.5 g/l  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,030  $\mu$ S

ตารางที่ 14 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.75g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	45.66	48.66	10	18
2	44.86	47.40	10	18
3	45.33	48.13	10	18
4	45.13	47.66	10	18
5	45.73	48.33	10	18
Average	45.34	48.04		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.75 g/l  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,330  $\mu$ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 1g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	44.40	47.93	20	18
2	44.73	48.86	10	18
3	43.93	47.93	10	18
4	44.73	49.06	10	18
5	44.46	48.73	10	18
Average	44.45	48.50		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 1 g/l  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,690  $\mu$ S

ที่แรงดันน้ำ 20 บาร์

ตารางที่ 16 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	50.46	43.53	0	20
2	50.33	43.73	0	20
3	50.66	43.66	0	20
4	50.40	43.73	0	20
5	50.46	43.80	0	20
Average	50.46	43.69		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0 g/l  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 210  $\mu$ S

ตารางที่ 17 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.25g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	50.20	43.73	0	20
2	50.13	43.86	0	20
3	50.53	43.80	0	20
4	50.13	43.86	0	20
5	50.60	43.73	0	20
Average	50.09	43.79		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.25  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 640  $\mu$ S

ตารางที่ 18 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.5g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	50.46	43.66	10	20
2	50.26	43.73	10	20
3	50.13	43.80	10	20
4	50.40	43.73	0	20
5	49.80	44.0	0	20
Average	50.37	43.78		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.5  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,020  $\mu$ S

ตารางที่ 19 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 0.75g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	49.46	44.00	10	20
2	49.33	43.86	10	20
3	49.93	44.00	10	20
4	49.33	43.93	10	20
5	49.06	43.80	10	20
Average	49.42	44.00		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 0.75  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,370  $\mu$ S

ตารางที่ 20 แสดงค่า conductivity และ flow rate ของน้ำ ค่า conductivity ของน้ำที่ละลายด้วยเกลือ 1g/l

Time	Flow Rate(ml/s)		Conductivity	Pressure(bar)
	Water	Waste		
1	48.46	44.46	20	20
2	48.26	44.13	10	20
3	48.26	43.93	10	20
4	48.20	44.13	10	20
5	48.26	44.33	10	20
Average	48.29	44.2		

ความเข้มข้นของเกลือในน้ำที่ใช้กรอง 1  
ค่าConductivityของน้ำก่อนกรอง 1,680  $\mu$ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 21 แสดงค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ และการทดลอง

ระยะห่างของแท่งเหล็ก (mm)	ค่าความจุไฟฟ้าจากการ คำนวณ(pF)	ค่าความจุไฟฟ้าจากการ ทดลอง(pF)	Error
2	7.56	10.4	37.56
4	6.90	8.2	18.84
6	6.45	6.5	0.77
8	6.11	5.6	8.34
10	5.84	4.3	26.36

ตารางที่ 22 แสดงค่าความจุไฟฟ้าของแท่งโลหะที่เกิดจากระดับความสูงน้ำในภาชนะ

ระดับความสูงของน้ำ (cm)	ค่าความจุไฟฟ้า (pF)
0	8.8
2.5	9.1
5	9.3
7.5	9.6
10	9.9
12.5	10.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 23 แสดงค่าความสูงของถัง(cm) กับความถี่ที่เซนเซอร์วัดได้(Hz)

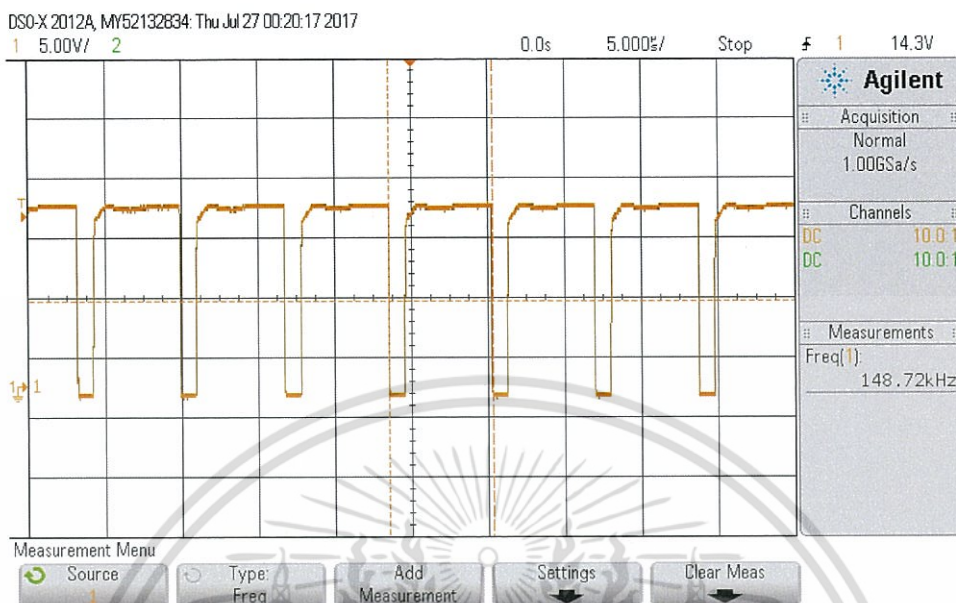
ความสูงของถัง (cm)	ความถี่ (Hz)										ความถี่เฉลี่ย (Hz)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
0	3337	3338	3337	3336	3338	3336	3338	3337	3339	3338	3337.4
5	3334	3334	3334	3335	3334	3336	3334	3335	3335	3336	3334.7
10	3330	3329	3329	3330	3328	3328	3330	3329	3328	3330	3329.1
15	3314	3310	3313	3310	3312	3315	3310	3313	3314	3313	3312.4
20	3289	3285	3286	3288	3286	3287	3285	3286	3287	3286	3286.5
25	3264	3260	3262	3262	3263	3263	3262	3262	3263	3260	3262.1
30	3236	3236	3233	3234	3234	3235	3236	3236	3237	3234	3235.1
35	3207	3205	3205	3205	3207	3207	3206	3206	3207	3205	3206
40	3184	3180	3183	3183	3183	3183	3180	3181	3181	3183	3182.1
45	3162	3165	3167	3163	3164	3160	3163	3164	3163	3163	3163.4
50	3141	3152	3149	3145	3150	3151	3143	3144	3148	3152	3147.5
55	3122	3133	3129	3127	3131	3132	3133	3134	3129	3130	3130

ตารางที่ 24 แสดงค่าระดับน้ำกับความถี่ที่อ่านได้จากจอ LCD โดยเปรียบเทียบกับระหว่างกรณี static กับกรณี dynamic

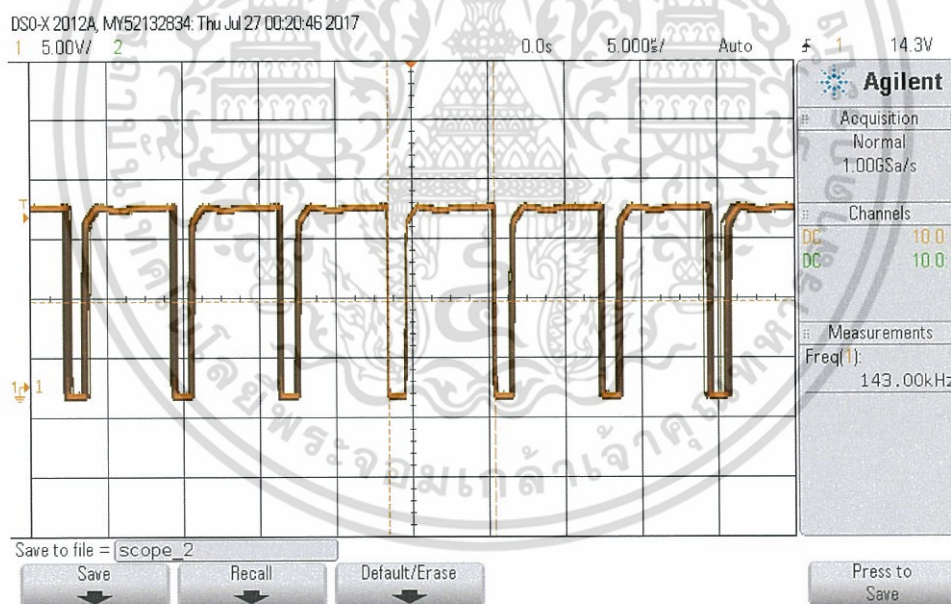
ระดับความสูงของน้ำ (cm)	เฉลี่ยความถี่กรณี static (Hz)	ความถี่กรณี dynamic (Hz)	%error
0	3337.4	3275.0	1.86
5	3334.7	3266.0	2.06
10	3329.1	3252.0	2.31
15	3312.4	3243.0	2.09
20	3286.5	3229.0	1.74
25	3262.1	3213.0	1.50
30	3235.1	3195.0	1.23
35	3206.0	3180.0	0.81
40	3182.1	3157.0	0.78
45	3163.4	3150.0	0.42
50	3147.5	3135.0	0.39
55	3130.0	3123.0	0.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

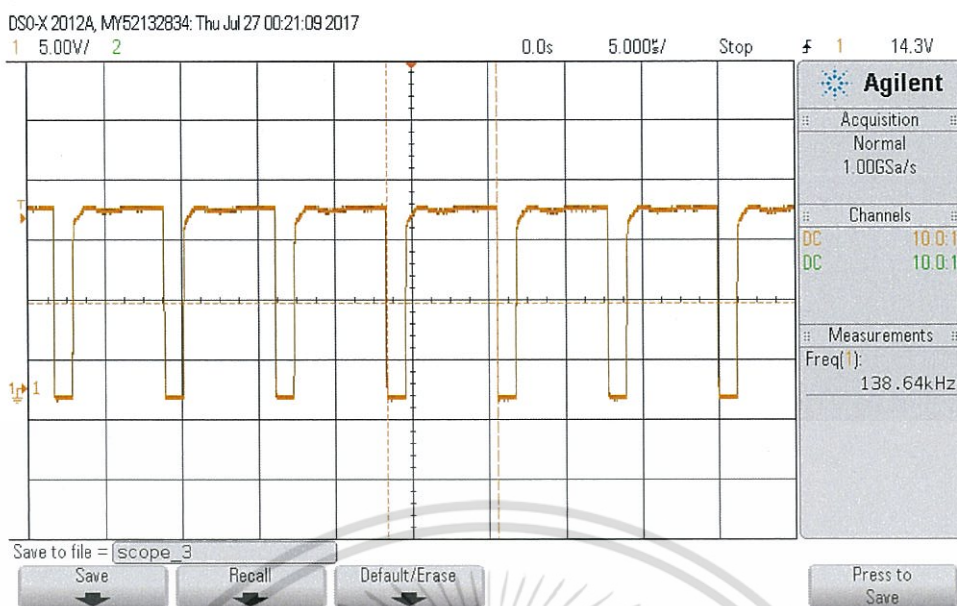


รูปที่ 1 ค่าความถี่ของตัวเก็บประจุขนาด 1 pF ที่ออสซิลโลสโคปวัดได้

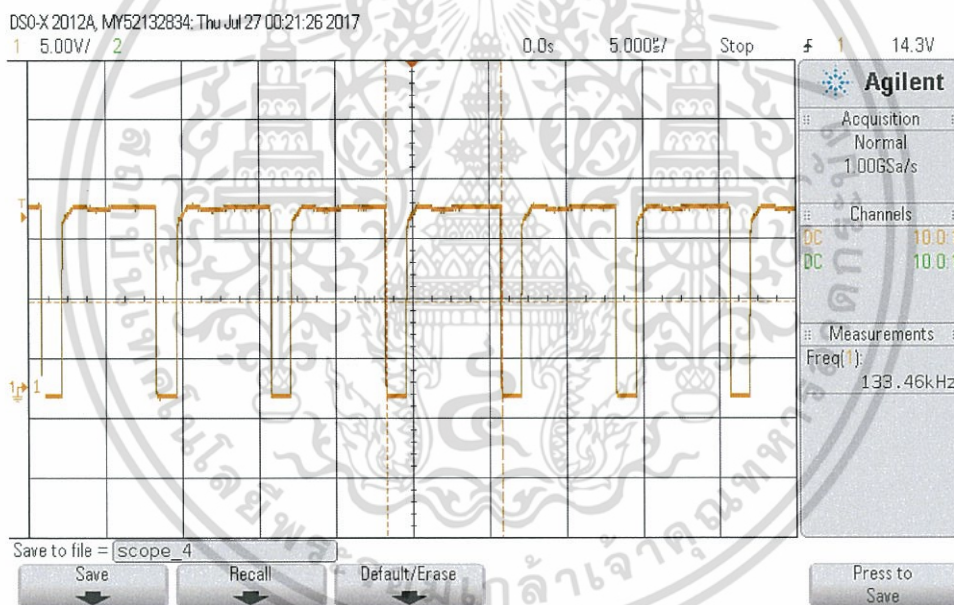


รูปที่ 2 ค่าความถี่ของตัวเก็บประจุขนาด 2 pF ที่ออสซิลโลสโคปวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ค่าความถี่ของตัวเก็บประจุขนาด 3 pF ที่ออสซิลโลสโคปวัดได้



รูปที่ 4 ค่าความถี่ของตัวเก็บประจุขนาด 4 pF ที่ออสซิลโลสโคปวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSO-X 2012A, MY52132834: Thu Jul 27 00:21:41 2017

1 5.00V/ 2

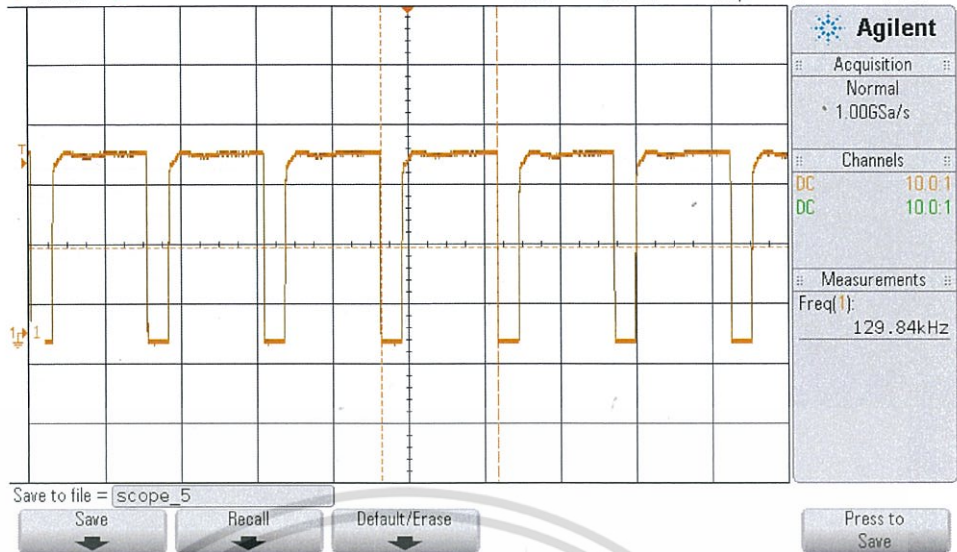
0.0s

5.000%/

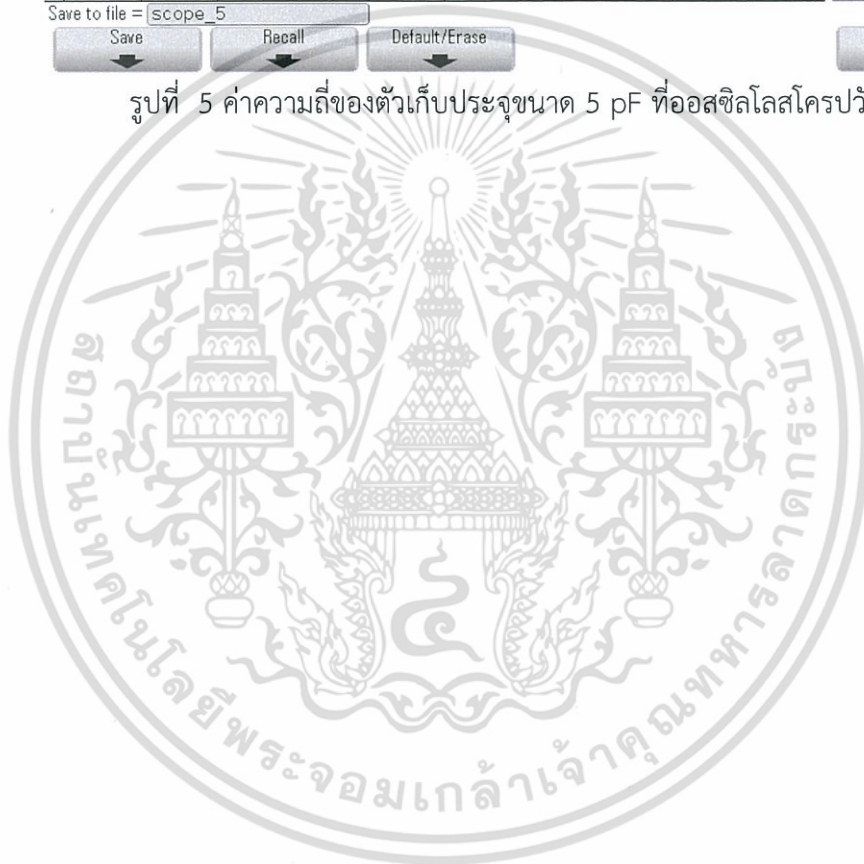
Stop

f 1

14.3V



รูปที่ 5 ค่าความถี่ของตัวเก็บประจุขนาด 5 pF ที่ออสซิลโลสโคปวัดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

001651



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

