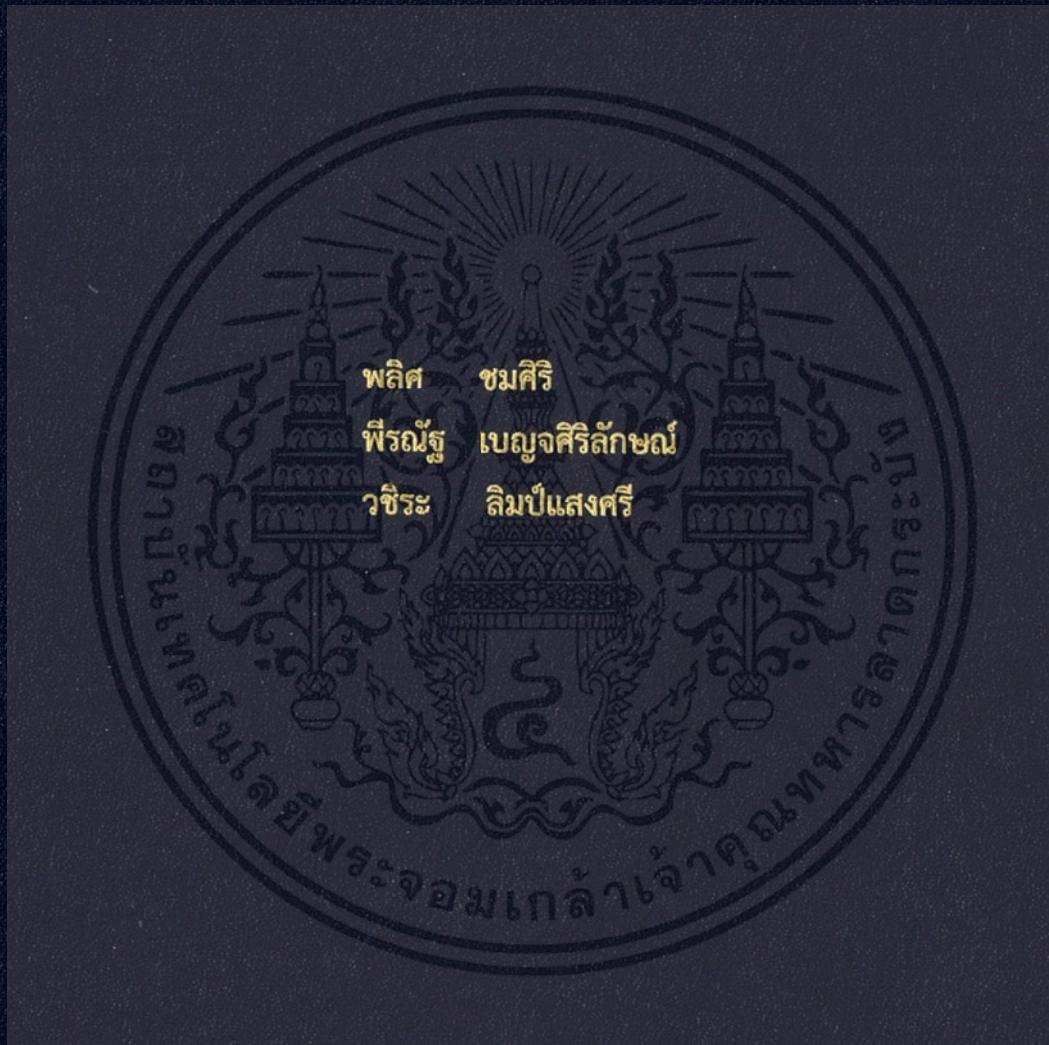


ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า  
ELECTRIC WASTEWATER TREATMENT SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า  
ELECTRIC WASTEWATER TREATMENT SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ELECTRIC WASTEWATER TREATMENT SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า  
ELECTRIC WASTEWATER TREATMENT SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ นาย พลิศ ชมศิริ รหัสนักศึกษา 58010852  
นาย พีรณัฐ เบญจศิริลักษณ์ รหัสนักศึกษา 58010909  
นาย วชิระ ลิ้มป์แสงศรี รหัสนักศึกษา 58011087

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์	

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า	
	ELECTRIC WASTEWATER TREATMENT SYSTEM	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายพลิศ ชมศิริ	รหัสนักศึกษา 58010852
	นายพีรณัฐ เบญจศิริลักษณ์	รหัสนักศึกษา 58010909
	นายวชิระ ลิ้มป์แสงศรี	รหัสนักศึกษา 58011087
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิพล ชื้อสัตย์	
	รองศาสตราจารย์ สักรียา ชิตวงศ์	
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย นิลาศ	
ปีการศึกษา	2561	

### บทคัดย่อ

จุดประสงค์หลักของโครงการนี้คือ จัดทำกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า และ ออกแบบระบบการวัดและควบคุมด้วย PLC รุ่น S7-1200 ในส่วนแรกจะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า โดยในส่วนนี้จะประกอบด้วยหลักการ ขั้นตอน และอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ในส่วนที่สองจะกล่าวถึงการวัดค่าสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าโดยวัดค่า TDS ( ปริมาณของของแข็งที่แขวนลอย ) และ PH ( ความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายในน้ำ ) เพื่อจะนำไปใช้ในการกำหนดค่าเพื่อใช้ในการควบคุม ส่วนต่อมาเป็นการออกแบบระบบควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม TIA สำหรับ PLC รุ่น S7-1200 เพื่อใช้ในการควบคุมตัวแปรต่างๆที่ต้องการควบคุมในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า ในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถที่จะเชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุมกับผู้ใช้งานได้ การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับน้ำเสียของอุตสาหกรรมแต่ละประเภท ต้องคำนึงถึงลักษณะน้ำเสีย ปริมาณน้ำเสีย ประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ ในทางปฏิบัติควรมีการนำน้ำเสียมาทดสอบก่อนเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis title            ELECTRIC WASTEWATER TREATMENT SYSTEM  
Authors                Mr. Palis        Chomsiri  
                              Mr. Peeranut   Benchasiriluck  
                              Mr. Wachira    Limpsangsri  
Thesis Advisor        Asst. Prof. Dr. Taweeapol Suesut  
                              Assoc. Prof.    Sakreya Chitwong  
                              Asst. Prof. Dr. Phongchai Nilas  
Year                     2018

### ABSTRACT

The objective of this project is to design the Electrical wastewater treatment and design measurement and control system by PLC type S7-1200. The first section discusses the design and construction of an electrical wastewater treatment system. This section contains the principles, procedures and equipment of wastewater treatment system, constituting a tool that will be used in wastewater treatment. The second part deals with the measurement of the electrical wastewater treatment process by measuring the TDS (volume of suspended solids) and pH (the alkalinity of the solution in water) to be used in the control configuration. The next step is to design a control system for wastewater treatment by using the TIA program. In this respect the PLC S7-1200 is used to control the variables that need to be controlled in the electrical wastewater treatment system. The last part discusses the development of a user friendly program that allows the user to choose the appropriate technology for each type of industrial wastewater. In terms of the wastewater characteristic, flow-rate, treatment efficiency and cost. In practice, the water should be tested prior to guide the selection of appropriate technology.

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีพล ชื้อสัตว์ รองศาสตราจารย์ สักกรียา ชิตวงค์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย นิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ให้โอกาสที่ผู้ดำเนินโครงการเข้ารับการปฏิบัติทดลองกับเครื่องมือ อุปกรณ์จริง ทำให้สามารถพัฒนาโปรแกรมจัดทำกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า และ ออกแบบ ระบบการวัดและควบคุมด้วย PLC รุ่น S7-1200 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วย ระบบอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการควบคุมตัวแปรต่างๆที่ต้องการควบคุมในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า และช่วยให้คำแนะนำรวมถึงให้ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นต่างๆ ในการจัดทำ ปรับปรุงปริญญาานิพนธ์มา โดยตลอด

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็น ประโยชน์ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบคุณกรรมการสอบปริญญา นิพนธ์ รศ.ดร. ทวีพล ชื้อสัตว์ รศ.ดร.เกษตร์ ศิริสันติสัมพันธ์ รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ และ รศ.ดร.นภศุล วงษ์วานิช ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และคำติชมโครงการ เพื่อนำไปแก้ไขในการทำโครงการให้สมบูรณ์ ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์หัวหน้าภาคและคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการศึกษาวิจัยการ ทดลองเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินโครงการวิจัย จนบรรลุเป้าหมายและประสบความสำเร็จใน โครงการวิจัยเชิงทดลองนี้

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	ix
สารบัญรูป.....	x
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	3
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี.....</b>	<b>4</b>
2.1 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ.....	4
2.1.1 การจัดการน้ำเสียให้เหมาะสม.....	5
2.1.1.1 การหลีกเลี่ยงการเกิดน้ำเสีย หรือการลดปริมาณความสกปรก.....	5
2.1.1.2 การใช้ซ้ำและนำกลับมาใช้ใหม่.....	5
2.1.1.3 การปรับปรุงวิธีการผลิตเพื่อให้เกิดความสกปรกในน้ำเสียน้อยลง.....	5
2.1.2 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้.....	6
2.1.2.1 เครื่องบำบัดน้ำเสียระบบตกตะกอนแยกด้วยไฟฟ้า.....	7
2.1.3 ข้อดีของระบบตกตะกอนแยกด้วยไฟฟ้า.....	7
2.2 การตกตะกอนด้วยไฟฟ้ากับการบำบัดน้ำเสีย.....	8

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1 หลักการของการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	8
2.2.2 กระบวนการการตกตะกอนด้วยไฟฟ้ามีขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้.....	9
2.2.3 ข้อดีของการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	9
2.2.4 ข้อด้อยของการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	10
2.2.5 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	11
2.2.5.1 เมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า.....	11
2.2.5.2 เมื่อใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า.....	12
2.2.6 การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยสารชนิดต่าง ๆ .....	13
2.2.6.1 การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน หรือไขมัน.....	13
2.2.6.2 การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสีย้อมผ้า.....	13
2.2.6.3 การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนัก.....	14
2.3 การจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับในการบำบัดน้ำเสีย.....	15
2.4 การกรองด้วยถ่านกัมมันต์.....	17
2.4.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon).....	17
2.4.2 กระบวนการผลิต (Production).....	17
2.4.3 ประเภทของการดูดซับ.....	18
2.4.3.1 การดูดซับทางกายภาพ.....	18
2.4.3.2 การดูดซับทางเคมี.....	18
2.4.4 ชนิดของ Activated Carbon Filter.....	19
2.4.5 ข้อดีของ Activated Carbon Filter.....	20
2.5 สารกรองแมงกานีส (Manganese Greensand).....	21
2.5.1 กลไกการกำจัดเหล็ก.....	22
2.5.1.1 Intermittent regenerate (IR).....	22
2.5.1.2 Continuous regeneration (CR).....	24

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 สารกรองน้ำแอนทราไซต์.....	24
2.6.1 คุณลักษณะของแอนทราไซต์.....	25
2.6.1.1 เก็บตะกอนน้ำไว้ที่ผิวภายนอกของสารวัตถุ.....	25
2.6.1.2 สามารถดักจับตะกอนไว้ได้เป็นจำนวนมาก.....	25
2.6.1.3 สามารถกรองน้ำได้จนถึงชั้นที่อยู่ลึกลงไปชั้นล่าง ๆ ด้วย.....	25
2.6.1.4 การชำระล้างน้ำทำความสะอาดทำได้ง่ายตาย.....	25
2.6.1.5 มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีในอัตราสูง.....	25
2.6.2 การกรอง (Filtration).....	26
2.6.2.1 Slow Sand Filter.....	26
2.6.2.2 Rapid Sand Filter.....	26
2.6.2.3 Multimedia Filter (แอนทราไซท์ & ทรายกรอง).....	26
2.6.3 ประโยชน์ของระบบการกรองน้ำที่ใช้แอนทราไซท์.....	26
2.7 กระบวนการออสโมซิสผันกลับ.....	27
2.7.1 หลักการ.....	27
2.7.2 เปรียบเทียบ Reverse Osmosis/Ultra-Filtration/Membrane Filtration.....	27
2.7.3 แบบจำลองการถ่ายเทมวล : RO.....	28
2.7.4 ตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของ RO.....	28
2.8 ค่า pH.....	29
2.9 ค่า Total Dissolved Solids (TDS).....	31
2.9.1 แหล่งที่มาของของแข็งหรือโลหะที่ละลายอยู่ในน้ำ.....	32
2.9.2 วิธีการปรับแก้ลดค่า TDS สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้.....	32
2.10 ภาษาที่ใช้สั่งงานโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์.....	34
2.11 โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ SIEMENS Simatic S7-1200.....	35
2.11.1 คุณสมบัติของ S7-1200 S7-1200.....	39

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.12 TIA Portal Version 13.....	39
2.12.1 ส่วนประกอบหน้าต่างโปรแกรม TIA Portal Version 13.....	39
2.12.1.1 Portal view หรือหน้าต่างแรกของโปรแกรม TIA Portal.....	39
V13	
2.12.1.2 Project view หรือหน้าต่างการทำงาน สำหรับสร้างและ.....	40
แก้ไขโปรเจค	
2.12.2 แถบเครื่องมือภายในโปรแกรม TIA Portal Version 15.....	41
2.13 การสื่อสารแบบ Modbus Protocol.....	42
2.13.1 MODBUS RTU.....	42
2.13.2 MODBUS ASCII.....	44
2.13.3 MODBUS TCP/IP.....	45
<b>บทที่ 3</b> วิธีการดำเนินการ.....	<b>47</b>
3.1 การออกแบบและหลักการเลือกใช้อุปกรณ์.....	47
3.1.1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์บำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า.....	53
3.1.1.1 ถังกรองตะกอนและถังกรองหยาบ.....	53
3.1.1.2 เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า.....	54
3.1.1.3 ถังกรองน้ำสแตนเลส.....	55
3.1.1.4 เครื่องกรองน้ำระบบ RO.....	55
3.1.2 ระบบควบคุมการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า.....	55
3.1.2.1 Solenoid valve.....	55
3.1.2.2 Manual valve.....	55
3.1.3 ระบบไฟฟ้าในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า.....	56
3.1.4 การเลือกใช้เครื่องมือวัด.....	58
3.1.4.1 ทรานสมิตเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า.....	58
3.1.4.2 มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า.....	59
3.1.4.3 ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหล.....	59
3.1.4.4 ทรานสมิตเตอร์วัดความเป็นกรด-เบส.....	59

## สารบัญ (ต่อ)

3.1.4.5	ทรานสมิตเตอร์วัดค่าTDS.....	60
3.1.4.6	มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส.....	61
3.1.5	การอ่านค่าจากเครื่องมือวัด.....	62
3.1.5.1	ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการดำเนินงาน.....	62
3.1.5.2	ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดำเนินงาน.....	63
3.1.5.3	การดำเนินงาน.....	63
<b>บทที่ 4</b>	<b>การทดลองและผลการทดลอง.....</b>	<b>67</b>
4.1	การทดลอง Electrocoagulation และวัดค่าน้ำส่วนต่างๆ.....	67
4.1.1	วัตถุประสงค์การทดลอง.....	67
4.2	การทดลองทำงานระบบทั้งระบบและวัดค่าในแต่ละขั้นตอนโดยใช้ไฟฟ้า.....	72
4.2.1	วัตถุประสงค์การทดลอง.....	72
<b>บทที่ 5</b>	<b>สรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>73</b>
5.1	สรุปผล.....	73
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	74
5.3	ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	74

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางสรุปลักษณะการใช้น้ำในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ.....	4
2.2 ตารางแสดงเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดมลพิษน้ำ.....	6
2.3 ตารางแสดงข้อแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี.....	19
2.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบ Reverse Osmosis/Ultra-Filtration/Membrane.....	27
Filtration	
2.5 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของ CPU S7-1200.....	37
4.1 ตารางแสดงค่าของกระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, อัตราการไหล, อุณหภูมิ, pH และ TDS ที่วัดได้ตามช่วงเวลาที่ทดลองในเวลาเริ่มต้น 0-80 นาที	67
4.2 ตารางค่าเฉลี่ย(Mean)ของตัววัดค่าตัวแปรต่าง ๆ .....	68
4.3 ตารางวิเคราะห์ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 4.1.....	70
4.4 แสดงค่า TDS,pH, Temperature ที่ผ่าน Electrocoagulation.....	72



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพกระบวนการการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย.....	9
2.2 เซลล์ไฟฟ้าเคมีสำหรับการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย (a) การต่อขั้วเดี่ยวแบบขนาน (b).....10 การต่อขั้วเดี่ยวแบบอนุกรม (c) การต่อขั้วคู่แบบขนาน	
2.3 การเปรียบเทียบ DC และ APC สำหรับวัสดุอิเล็กโทรดสองชนิดในการกำจัดค่า COD.....16 ในเวลาใช้งานที่แตกต่างกัน	
2.4 แสดงรูปคลื่นของ AC และ APC.....	16
2.5 แสดงลักษณะของรูพรุนภายในของ Activated Carbon.....	17
2.6 แสดงภาพของ Granular Activated Carbon.....	19
2.7 แสดงลักษณะโครงสร้างของ Granular Loose-Fill Filter และ Bonded Carbon Filter.....	20
2.8 สารกรองแมงกานีส.....	21
2.9 แสดงกระบวนการออสโมซิสแบบผันกลับ.....	27
2.10 ค่าพีเอชที่ของสารที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวัน.....	29
2.11 แสดงหลักการอย่างง่ายในการวัดค่าพีเอช.....	30
2.12 แสดงตัวอย่างการวัด TDS.....	33
2.13 แสดงระดับของ TDS ของน้ำแต่ละชนิด.....	33
2.14 ลักษณะภายนอกของ Siemens S7-1200.....	36
2.15 CPU รุ่นต่างๆ ของ SIEMENS S7-1200.....	36
2.16 หน้าต่าง Portal view.....	39
2.17 Project view.....	40
2.18 การติดต่อสื่อสารแบบ Master/Slave.....	42
2.19 ลักษณะเฟรมข้อมูลของ MODBUS RTU.....	43
2.20 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ MODBUS RTU.....	43
2.21 ลักษณะเฟรมข้อมูลของ MODBUS ASCII.....	44

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ MODBUS ASCII.....	45
2.23 ลักษณะการติดต่อสื่อสารแบบ TCP/IP.....	45
2.24 การแปลง MODBUS Serial เป็น MODBUS Ethernet.....	46
3.1 โครงสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า.....	47
3.2 ปิมน้ำที่ใช้สูบน้ำจากท่อน้ำทิ้ง.....	48
3.3 ท่อน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม.....	48
3.4 น้ำที่สูบมาพักก่อนเข้าเครื่อง Centifugo.....	49
3.5 เครื่อง Centifugo.....	49
3.6 ถังกรองตะกอนที่จมน้ำ.....	50
3.7 ถังกรองหยาบ.....	50
3.8 ถังพักน้ำหลังจากกรองขั้นต้นเสร็จ.....	51
3.9 ถังพักน้ำที่ 1.....	51
3.10 เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า.....	52
3.11 ถังกรองน้ำสแตนเลส.....	52
3.12 เครื่องกรองน้ำระบบ RO.....	53
3.13 ถังเก็บน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว.....	53
3.14 tunnel.....	54
3.15 electrode.....	54
3.16 support.....	55
3.17 วงจรแบ่งจ่ายไฟฟ้า.....	56
3.18 วงจรจ่ายไฟฟ้าให้ Pump.....	57
3.19 วงจรจ่ายไฟฟ้าให้ POM.....	57
3.20 วงจรไฟแสดงสถานะ.....	58
3.21 ทรานสมิตเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า.....	58

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.22 พาวเวอร์มิเตอร์.....	59
3.23 ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหล.....	59
3.24 ทรานสมิตเตอร์วัดความเป็นกรด-เบส.....	60
3.25 ทรานสมิตเตอร์วัดความเป็นกรด-เบส.....	60
3.26 ทรานสมิตเตอร์วัดค่าTDS.....	61
3.27 ทรานสมิตเตอร์วัดค่าTDS.....	61
3.28 มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส.....	61
3.29 PLC S7-1200.....	62
3.30 ตัวควบคุม.....	62
3.31 หน้าต่างโปรแกรม TIA Portal V.14 SP1.....	63
3.32 เชื่อมต่อ PLC.....	63
3.33 ฟังก์ชันบล็อก Modbus Master.....	64
3.34 ฟังก์ชันบล็อก Modbus Communication Load.....	64
3.35 Database ในการ config ค่าต่าง ๆ ในฟังก์ชันบล็อก Modbus Master.....	65
3.36 Database ในการตั้งค่าค่าต่าง ๆ ในฟังก์ชันบล็อก Modbus Communication Load.....	65
3.37 Ladder ในการ request เพื่อส่งข้อมูล.....	65
3.38 เขียนโปรแกรมเพื่อเก็บ Data.....	66
3.39 เขียนโปรแกรมเพื่อวนลูป MB_ADDR.....	66
3.40 สร้างฐานเก็บข้อมูล.....	66
4.1 กราฟแสดงค่า TDS ที่วัดได้สัมพันธ์กับช่วงเวลา.....	68

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปรีญญาานิพนธ์

ปัจจุบันเราจะพบแหล่งน้ำที่เน่าสกปรกอยู่ทั่วไป น้ำลักษณะเช่นนี้ไม่สามารถนำมาใช้อุปโภคและบริโภคได้ ทั้งก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายและความเสียหายอย่างมหาดศาลต่อการประมง การเกษตร และการสาธารณสุข ผลกระทบของน้ำเสียมืดต่อไปนี้ คือน้ำเสียจะมีสีและกลิ่นที่น่ารังเกียจ น้ำเสียเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เป็นแหล่งของเชื้อโรคต่างๆ สัตว์ มนุษย์ สัตว์ และพืช อีกทั้งยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพ รวมทั้งมลพิษทางน้ำจะส่งผลให้มีการทำลายทัศนียภาพในเรื่องสิ่งแวดล้อม และการท่องเที่ยวด้วย แหล่งน้ำที่ใหญ่ที่สุด คือ มหาสมุทรและทะเลนั้น ปัจจุบันได้กลายเป็นแหล่งสะสมสารมลพิษทางน้ำเกือบทุกชนิด หากเกิดการสะสมมากขึ้นเป็นลำดับ มนุษย์จะได้รับผลกระทบที่เป็นอันตรายทั้งทางตรงและทางอ้อมที่จะเกิดขึ้นในปัจจุบัน และ ในอนาคต

โรงบำบัดน้ำเสียเป็นสถานที่รวบรวมน้ำเสียจากบ้านเรือน แหล่งพาณิชย์กรรม อุตสาหกรรม และสถาบัน เข้าสู่กระบวนการบำบัดแบบต่าง ๆ เพื่อกำจัดมลสารที่อยู่ในน้ำเสีย ให้มีคุณภาพดีขึ้น และไม่ก่อให้เกิดผลเสียหายต่อแม่น้ำ ลำคลอง แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อมโดยรอบ โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือบางส่วนยังสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร อุตสาหกรรม และอื่นๆ

แม้ว่าน้ำจะเป็นแหล่งทรัพยากรที่มีการใช้ซ้ำหลายครั้งวนเวียนเป็นวัฏจักร และมีกระบวนการทำให้สะอาดโดยตัวมันเอง (Self Purification) แต่กระบวนการนี้ก็มีขีดความสามารถจำกัดในแต่ละแหล่งน้ำ ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียจึงเป็นกลไกสำคัญอันหนึ่งที่จะช่วยลดภาระของแหล่งน้ำในการทำ ความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติและช่วยป้องกันมิให้สารมลพิษปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา การบำบัดน้ำเสียมีหลายวิธี แต่ที่ได้ผลดีและเหมาะสมกับการบำบัดในโรงงานอุตสาหกรรมคือกระบวนการโคแอกกูเลชัน

กระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์และของแข็งอีกทั้งสารแขวนลอยด้วยการเติมสารเคมี (โคแอกกูแลนต์) ที่ให้อิออนที่มีประจุตรงข้าม เช่น สารส้มหรือเฟอริกคลอไรด์ซึ่งทำให้ประจุของคอลลอยด์เป็นกลางและเกิดการรวมตัวกัน กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation, EC) นั้นใช้หลักการเดียวกันในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยการใช้สารโค-แอกกูแลนต์ในรูปของอิออนโลหะที่เกิดจากการละลายโลหะออกจากอิเล็กโทรดด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ขั้วบวก (Anode) และคอลลอยด์ยังถูกกำจัดได้ด้วยเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาต่อเนื่องของอิออนโลหะในน้ำ นอกจากนี้ก๊าซเอกซาร์นี้เป็นเอกซาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (Cathode) จะช่วยทำให้คอลลอยด์ที่รวมตัวเป็นตะกอนลอยตัวขึ้นและสามารถกำจัดออกด้วยการกวาดทิ้งจากผิวน้ำซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่าการทำให้ตะกอนลอยด้วยไฟฟ้า (Electro-flotation)

ในช่วงศตวรรษที่ 20 มีการใช้อิออนโลหะเพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำ แต่ว่าในการบำบัดยังมีข้อจำกัดมากมายซึ่งบางครั้งก็ได้ผลลัพธ์ที่ดี ในช่วงปลายศตวรรษที่ 20 การวิจัยและพัฒนาาระบบอิเล็กทรอนิกส์ของอนุภาคอย่างต่อเนื่อง ทำให้การบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นวิธีหนึ่งที่ดี ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำและน้ำเสียด้วยสารปนเปื้อนที่หลากหลายยกตัวอย่างเช่น ไอออนโลหะหนัก (โครเมียม, สังกะสี, ตะกั่ว), สารแขวนลอยขนาดเล็กและคอลลอยด์ (สีย้อม) เป็นต้น ในปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียระบบไฟฟ้าถูกนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมอาหารอุตสาหกรรมเหมืองแร่และอุตสาหกรรมแปรรูปโลหะ เป็นต้น ในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียไฟฟ้าจะทำงานเฉพาะเมื่อสภาพการทำงานเหมือนกันเช่น ค่าพีเอช, ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิ

ดังนั้นทีมวิจัยโครงการ จึงสนใจในแนวทางการป้องกันการเน่าเสียของน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม ให้กลับมาเป็นน้ำที่ดีมีคุณภาพ จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบพัฒนาและสร้างระบบการวัดและควบคุมสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า โดยการพัฒนาโปรแกรมควบคุมด้วยชุดพัฒนาโปรแกรม Totally Integrated Automation (TIA) สำหรับคอนโทรลเลอร์ที่ตั้งโปรแกรมได้ของ Siemens รุ่น S7-1200 ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียดำเนินการโดยการวัดและควบคุมอย่างอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า
2. ออกแบบและสร้างกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า
3. ออกแบบ พัฒนา และสร้างระบบการวัดและควบคุม สำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

สามารถออกแบบ พัฒนา และสร้างระบบการวัด ระบบควบคุม และกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าต้นแบบเชิงอุตสาหกรรม

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการของกระบวนการโคแอกกูเลชันแบบเคมีและไฟฟ้า
2. ศึกษาองค์ประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า เช่น กระบวนการกรองคาร์บอน กระบวนการกรองน้ำระบบรีเวิร์สออสโมซิส เป็นต้น
3. ศึกษาการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า
4. ศึกษาแผนภาพ P&ID (Piping instrument diagram) ของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า
5. ศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมคอนโทรลเลอร์ที่ตั้งโปรแกรมได้ของ Siemens รุ่น S7-1200 ด้วยซอฟต์แวร์ TIA (Totally Integrated Automation)
6. ทดลองการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า วัดผลการทดลองและปรับแก้ระบบ
7. สรุปผลการทดลอง และจัดทำรายงาน

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจหลักการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า
2. สามารถออกแบบและสร้างระบบไฟฟ้า
3. สามารถออกแบบ และติดตั้งระบบการวัด
4. สามารถออกแบบ และติดตั้งระบบควบคุม
5. สามารถพัฒนาโปรแกรมควบคุมด้วยชุดพัฒนาโปรแกรม TIA สำหรับตัวควบคุมชนิดโปรแกรมได้ รุ่น S7-1200 ของบริษัทซีเมนส์
6. สามารถพัฒนาโปรแกรมสำหรับเชื่อมต่อตัวควบคุมกับผู้ใช้งาน
7. สามารถทดลองการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า วัดผลการทดลองและปรับแก้ระบบได้
8. สามารถนำความรู้จากโครงการวิจัยนี้ไปประกอบอาชีพต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ<sup>[18]</sup>

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ เป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารเคมีต่างๆ มากมาย เช่น กรด ต่าง โลหะหนัก และไซยาไนด์ เป็นต้น รวมทั้งของแข็งที่เป็นฝุ่นเหล็ก หรือเศษเหล็ก และคราบน้ำมันต่างๆ น้ำเสียเกิดจากการชะล้างชิ้นงาน น้ำโบลว์ดาวน์จากหม้อไอน้ำ น้ำจากระบบบำบัดอากาศแบบดักจับด้วยน้ำ น้ำปนเปื้อนสารเคมีที่ระบายจากกระบวนการผลิต น้ำปนเปื้อนที่เกิดจากการทำความสะอาดเครื่องจักร/พื้นโรงงาน และน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งต้องทำการบำบัดให้ได้ตามที่กฎหมายกำหนดก่อนระบายออก

นอกเหนือจากกระบวนการผลิตแล้ว การปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำเสียยังมาจากการรั่วไหลของถังเก็บ จากแนวท่อส่งสารเคมีในพื้นที่ผลิต การหกหล่น การรั่วจากขอบที่กั้นไว้ การรั่วไหลจากหน้าแปลน บั้ม ซีล และจุดอัดวาล์วต่างๆ

การเลือกใช้เทคโนโลยีในการจัดการเกี่ยวกับน้ำเสียขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของมลพิษ ขนาดของโรงงาน วัตถุประสงค์ที่ใช้ธรรมชาติของกระบวนการผลิตสินค้าชนิดนั้นๆ และจำนวนของสินค้าที่ผลิต ฯลฯ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปลักษณะการใช้น้ำในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

กระบวนการผลิต	ลักษณะการใช้น้ำ
การหล่อหลอมโลหะ	ใช้น้ำในระบบบำบัดอากาศแบบดักจับด้วยน้ำ
การขึ้นรูป	ใช้น้ำหล่อเย็น เพื่อให้เกิดการเซ็ทตัวของโลหะในแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว
การตัดผิวโลหะ	ใช้น้ำปริมาณมากในขั้นตอนการล้างเตรียมผิวชิ้นงานให้ปราศจากไขมัน สนิม และน้ำยาชุบ น้ำที่ผ่านขั้นตอนดังกล่าวจะเกิดการปนเปื้อนเป็นน้ำเสีย ที่มีกรด ต่าง และไซยาไนด์
การเชื่อมโลหะ	ใช้น้ำในส่วนการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ซึ่งจะปนเปื้อนเศษโลหะและสารเคมีจากการเชื่อม
การทำแม่พิมพ์โลหะ	ใช้น้ำในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพแม่พิมพ์
การชุบโลหะ	ใช้น้ำในปริมาณมาก น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำปราศจากไอออน ในการล้างเศษโลหะ สนิม และไขมันที่ค้างอยู่บนชิ้นงาน นอกจากนั้นยังมีการใช้น้ำในการเตรียมสารละลายเพื่อใช้ชุบ และล้างชิ้นงานหลังชุบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น หากภาคอุตสาหกรรมมีการจัดการการใช้น้ำที่ดีจะช่วยลดการสูญเสียทรัพยากรน้ำภายในโรงงาน รวมถึงการลดมลพิษด้านน้ำเสียได้ด้วย

## 2.1.1 การจัดการน้ำเสียให้เหมาะสม

### 2.1.1.1 การหลีกเลี่ยงการเกิดน้ำเสีย หรือการลดปริมาณความสกปรกในน้ำเสีย

- 1) แยกแหล่งที่มาของน้ำเสียเพื่อแยกการบำบัดให้เหมาะสม
- 2) เปลี่ยนการเคลือบด้วยตัวทำละลายเป็นการเคลือบแบบผง
- 3) ทำการกรองน้ำมันหรือกวาดคราบน้ำมันออกจากอ่างชุบแทนการถ่ายน้ำออกจากอ่างชุบทั้งหมดถึง
- 4) เลือกใช้สารเคมีแบบไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในการบำบัดน้ำ
- 5) ใช้น้ำยาทำความสะอาดเป็นสูตรละลายน้ำ แทนสูตรใช้ตัวทำละลาย
- 6) พยายามหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีกลุ่มเหล่านี้ในกระบวนการผลิต (1) สารที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ (2) ตัวทำละลายอะโรมาติก (3) ตัวทำละลายอินทรีย์สารที่จัดว่าเป็นสารก่อมะเร็ง หรือสารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ หรือสารที่เป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ (4) สารออกซิไดซ์ซึ่งที่ละลายในคลอรีน (5) ตัวทำละลายที่มีฟอมาลดีไฮด์หรือเอทิลีน

### 2.1.1.2 การใช้ซ้ำและนำกลับมาใช้ใหม่

- 1) การสกัดกลับคืน คือการนำตัวทำละลายต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ซ้ำ เช่น ดูดซับสารอินทรีย์ ระเหยง่ายด้วยผงคาร์บอน แล้วนำผงคาร์บอนนั้นมาฟื้นฟูเพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้

### 2.1.1.3 การปรับปรุงวิธีการผลิตเพื่อให้เกิดความสกปรกในน้ำเสียน้อยลง

- 1) การทำความสะอาดพื้นที่และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ควรมีการดักจับสารอินทรีย์ระเหยง่าย กลับมาใช้ใหม่
- 2) รวบรวมให้มีจุดปล่อยมลพิษเพียงแหล่งเดียวภายในพื้นที่ เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุม
- 3) ควรมีการควบคุมไอระเหยของตัวทำละลาย เช่น จัดให้มีฝารอบอ่างสารเคมี
- 4) การจัดเก็บ การจัดการ การถ่ายโอนวัตถุดิบต่างๆ ควรอยู่ภายในอาคาร หรือ พื้นที่ที่เหมาะสม เช่น การทำคั่นกันล้อมรอบถังสารเคมีต่างๆ หรือ การเดินท่อส่งและท่อถ่ายโอนสารเคมี หรือวัตถุดิบเหนือพื้นดินแทนการเดินท่อใต้ดิน
- 5) การป้องกันสารเคมีหกหล่นในขณะถ่ายลงเก็บในถังขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) ลดการสูญเสียสารเคมีในขณะเติมลง โดยการรวบรวมไอระเหยที่เกิดขึ้น
- 7) จัดทำระบบการตรวจสอบวัตถุอันตรายทั้งหมดในโรงงาน เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารที่ผสมเข้ากันไม่ได้
- 8) ใช้วิธีการเคลือบสเปรย์ระบบใดระบบหนึ่งดังต่อไปนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการถ่ายโอนในการเคลือบผิว มากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์คือ (1) ปริมาณสารที่ใช้สูงแต่แรงดันต่ำ (2) ใช้เทคนิคการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าในการเคลือบ

### 2.1.2 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้

เทคโนโลยีในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ แยกตามชนิดของสารมลพิษ แสดงดังตารางที่ 2.2 ทางโรงงานควรพิจารณาน้ำที่ผ่านการบำบัดและวกกลับมาใช้ในขั้นตอนใดก็ตาม เพื่อทำให้มีปริมาณน้ำที่ออกนอกโรงงานลดลง เช่น การใช้น้ำที่มีคุณภาพต่ำสำหรับบางส่วนของกระบวนการผลิตอาจให้ผลที่ดีกว่าการใช้น้ำใหม่

ตารางที่ 2.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดมลพิษน้ำ

ชนิดของสารมลพิษในน้ำ	เทคโนโลยีที่นำมาใช้
สภาพความเป็นกรด - ด่าง	- การบำบัดโดยการปรับค่าความเป็นกรดต่าง - การทำให้เป็นกลาง
ฟอสเฟต	- การสร้างตะกอนด้วยวิธีการต่างๆ คือ การก่อตะกอน/ การรวมตะกอน/การตกตะกอนทางเคมี
แอมโมเนีย/ ไนเตรต	-
ของแข็งแขวนลอย	- การสร้างตะกอนด้วยวิธีการต่างๆ คือ การก่อตะกอน/ การรวมตะกอน/การตกตะกอนเคมี - การแยกตะกอนออกโดยการตกตะกอนแบบปล่อยให้จม/ การกรอง/การทำให้ลอย - การปั่นเหวี่ยง
สารโลหะ	- การลดสารมลพิษโดยการบำบัดเบื้องต้น - การสร้างตะกอนด้วยวิธีการต่างๆ คือ การก่อตะกอน/ การรวมตะกอน/การตกตะกอนเคมี - การดูดซับด้วยชั้นเรซิน - การรีเวอส์ออสโมซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดมลพิษน้ำ (ต่อ)

ชนิดของสารมลพิษในน้ำ	เทคโนโลยีที่นำมาใช้
น้ำมัน	- การแยกตะกอนออกโดยการตกตะกอนแบบปล่อยให้จม/ การกรอง/การทำให้ลอย

### 2.1.2.1 เครื่องบำบัดน้ำเสียระบบตกตะกอนแยกด้วยไฟฟ้า

เป็นนวัตกรรมใหม่ของระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถนำมาใช้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโลหะได้ มีรูปแบบในการทำงานของระบบที่ไม่ใช้สารเคมีช่วยบำบัด อาศัยหลักการธรรมชาติของสาร แขนวนลอยและสิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำที่มีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยากับกระแสไฟฟ้า เช่น ฟอสเฟต นิกเกิล ตะกั่ว สารสีและ ไอออนของแร่ธาตุต่างๆ

เป็นระบบบำบัดที่ใช้กระแสไฟฟ้าแรงดันสูงมากเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กหนาแน่นสูงที่สามารถ ทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยให้รวมตัวกันจนตกตะกอนและแยกตัวออกจากน้ำเสียได้แต่ต้องใช้เวลาลงทุนที่สูง โดยผลลัพธ์ที่ได้มีอัตราการไหลของน้ำต่ำ ระบบนี้จึงยังไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร แต่ในปัจจุบันได้พัฒนาให้ต้นทุนต่ำลง ประสิทธิภาพและผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจกับการลงทุน

หลักการทำงานของระบบนี้ใช้การปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้ำเสียที่มีสารแขวนลอย โลหะหนัก เบส สารเคมีปนเปื้อน จะถูกสนามไฟฟ้าแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้แตกตัวเป็นไอออน จากนั้น จะเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันของสารแขวนลอยต่างๆ จนทำให้ตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำในที่สุด

### 2.1.3 ข้อดีของระบบตกตะกอนแยกด้วยไฟฟ้า

- 1) บำบัดน้ำเสียได้โดยไม่ต้องปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง
- 2) ระบบสามารถสร้างตะกอนได้อย่างรวดเร็วและตะกอนที่เกิดขึ้นมีความคงตัวไม่สามารถกลับไปละลายปนในน้ำอีกต่อไป
- 3) การใช้งานและซ่อมบำรุงทำได้ง่าย
- 4) ติดตั้งง่าย ต้นทุนการติดตั้งต่ำ เคลื่อนย้ายได้สะดวก ใช้พื้นที่เล็กน้อยเมื่อเทียบกับระบบเคมี
- 5) สามารถลดและกำจัดกลิ่นได้โดยการทำออกซิเดชันของซัลไฟด์
- 6) เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีค่าแปรผันของสิ่งเจือปนในน้ำสูง

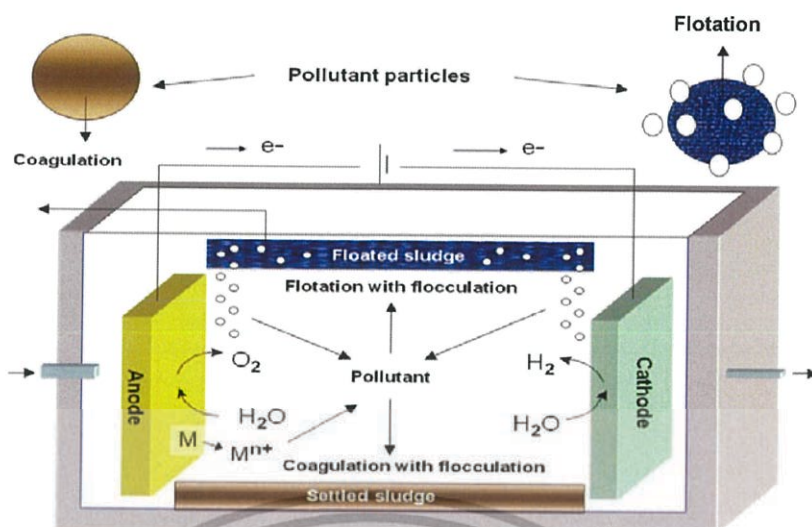
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การตกตะกอนด้วยไฟฟ้ากับการบำบัดน้ำเสีย<sup>[2]</sup>

กระบวนการโคแอกกูเลชันเป็นกระบวนการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์และของแข็ง อีกทั้งสารแขวนลอยด้วยการเติมสารเคมี(โคแอกกูแลนต์) ที่ให้อิออนที่มีประจุตรงข้าม เช่น สารส้มหรือเฟอริกคลอไรด์ซึ่งทำให้ประจุของคอลลอยด์เป็นกลางและเกิดการรวมตัวกัน กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้าหรือการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) นั้นใช้หลักการเดียวกันในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยการใช้สารโคแอกกูแลนต์ในรูปของอิออนโลหะที่เกิดจากการละลายโลหะออกจากอิเล็กโทรดด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ขั้วบวก (Anode) และคอลลอยด์ยังถูกกำจัดได้ด้วยเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาต่อเนื่องของอิออนโลหะในน้ำ นอกจากนี้ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (Cathode) จะช่วยทำให้คอลลอยด์ที่รวมตัวเป็นตะกอนลอยตัวขึ้นและสามารถกำจัดออกด้วยการกวาดทิ้งจากผิวน้ำซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่าการทำให้ตะกอนลอยด้วยไฟฟ้า (Electro-floatation) กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้าหรือการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (electrocoagulation) เป็นกระบวนการที่ใช้บำบัดน้ำเสียได้หลากหลายลักษณะ เช่น น้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ หรือแม้แต่เชื้อจุลินทรีย์

### 2.2.1 หลักการของการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่ใช้บำบัดน้ำที่ปนเปื้อนสารเคมีทั้งที่ละลายและไม่ละลายน้ำ โดยอาศัยการทำลายเสถียรภาพของสารแขวนลอย (หรืออิมัลชัน) หรือสารปนเปื้อนที่มีตัวกลางเป็นน้ำหลักการเบื้องต้น คือการให้กระแสไฟฟ้าตกคร่อมบนขั้วไฟฟ้า ทำให้ขั้วไฟฟ้าชนิดแอโนดละลายออกมาเป็นอิออน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาค หรืออิออนที่อยู่ในน้ำ กล่าวคือทำให้สารปนเปื้อนต่างๆ มีการหักล้างประจุจนมีสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้า เกิดการรวมตัวกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้น และแยกออกจากน้ำได้ด้วยวิธีการปล่อยให้ตกตะกอน หรือการลอยตะกอน เซลล์ที่ใช้ตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบง่ายที่ประกอบด้วยขั้วแอโนด และขั้วแคโทด (ภาพที่ 1) ขั้วทั้งสองอาจเป็นโลหะชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ โดยส่วนมากจะใช้อะลูมิเนียม (Al) หรือ เหล็ก (Fe) เมื่อจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกจะเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี และเกิดอิออนของอะลูมิเนียม ( $Al^{3+}$ ) หรือ อิออนของเหล็ก ( $Fe^{2+}$ ) ขึ้นที่ขั้วแอโนด อิออนเหล่านี้จะทำลายเสถียรภาพของอนุภาคต่างๆที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ กระบวนการนี้สอดคล้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีแบบดั้งเดิมซึ่งใช้สารเร่งตะกอน (coagulant) ส่วนใหญ่เป็นเกลือของอะลูมิเนียม หรือเหล็กนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภาพกระบวนการการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย<sup>[21]</sup>

### 2.2.2 กระบวนการการตกตะกอนด้วยไฟฟ้ามีขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

- 1) ปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด ทำให้ไอออนของโลหะชนิดนั้นๆ หลุดออกมาและเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทดทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้น
- 2) กระบวนการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคหรือสารที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยการจับรวมตัวกันของอนุภาคที่ปนเปื้อนในน้ำที่มีประจุตรงข้ามกับไอออนที่หลุดมาจากขั้วแอโนด ทำให้ประจุอนุภาคดังกล่าวมีสภาพขั้วเป็นกลางจึงเกาะรวมตัวกันง่ายขึ้น กลายเป็นตะกอนและแยกออกได้ง่าย
- 3) อนุภาคที่รวมตัวกันใหญ่มากขึ้นจะถูกกำจัดออกโดยการตกตะกอน หรือการลอยตะกอน ในระหว่างกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยการให้ไฟฟ้านั้น จะเกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้นที่ขั้วแคโทด ซึ่งแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะพาตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำทำให้กำจัดได้ง่าย

### 2.2.3 ข้อดีของการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

- 1) มีประสิทธิภาพในการแยกสารปนเปื้อนสูงกว่าการตกตะกอนด้วยสารเคมี
- 2) ไม่จำเป็นต้องควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย ยกเว้น น้ำเสียที่รุนแรง
- 3) ใช้สารเคมีน้อยมาก
- 4) เกิดตะกอนน้อยกว่าการตกตะกอนด้วยวิธีเคมี
- 5) ต้นทุนการดำเนินการต่ำกว่าวิธีดั้งเดิมแบบอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 ข้อดีของการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

- 1) ขั้วแอโนดจะค่อย ๆ ถูกกัดกร่อน และสูญเสียเนื้อไปอย่างต่อเนื่อง และอาจเกิดคราบหรือฟิล์มบาง เคลือบผิวขั้วไฟฟ้า ทำให้ประสิทธิภาพลดลง
- 2) หากไอออนของอะลูมิเนียม (หรือเหล็ก) ที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้ามีความเข้มข้นสูงมาก อาจต้องกำจัดก่อนปล่อยทิ้ง

การต่อขั้วไฟฟ้าในเซลล์แบบนี้มีความสำคัญ และมีผลต่อประสิทธิภาพต่อการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าอย่างมาก ลักษณะการต่อมีอยู่ 2 แบบหลัก ได้แก่ แบบขั้วเดี่ยว และแบบขั้วคู่ ดังรูปที่ 2.2

ในการต่อแบบขั้วเดี่ยว ขั้วไฟฟ้าแต่ละอันต้องเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก โดยได้รับกระแส ไฟฟ้าโดยตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก การต่อแบบขั้วเดี่ยวแบ่งได้เป็นการต่อขั้วเดี่ยวแบบขนาน (รูปที่ 2.2 a) และการต่อขั้วเดี่ยวแบบอนุกรม (รูปที่ 2.2 b) ส่วนการต่อแบบขั้วคู่ นั้น ขั้วไฟฟ้าที่อยู่ภายนอกจะต่อตรง กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกคล้ายกับขั้วเดี่ยว แต่ขั้วไฟฟ้าที่อยู่ตรงกลางระหว่างขั้วเดี่ยวไม่ได้เชื่อมต่อไฟฟ้ากันโดยตรง แต่ใช้การเหนี่ยวนำไฟฟ้าจากขั้วที่อยู่ภายนอกโดยเกิดโพลาริเซชันของขั้วที่อยู่ตรงกลางระหว่าง ขั้วเดี่ยว ทำให้มีขั้วตรงข้ามกับขั้วที่ต่อตรงภายนอกสลับกันไป ดังแสดงในภาพที่ 2.2 c



รูปที่ 2.2 เซลล์ไฟฟ้าเคมีสำหรับการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย (a) การต่อขั้ว เดี่ยวแบบขนาน (b) การต่อขั้วเดี่ยวแบบอนุกรม (c) การต่อขั้วคู่แบบขนาน

## 2.2.5 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

### 2.2.5.1 เมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า

เมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าทั้งขั้วแอโนดและขั้วแคโทด จะทำให้ขั้วแอโนดมีไอออนของเหล็ก ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ละลายออกมาในน้ำ โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนี้



และที่ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้เป็นไอออนของไฮดรอกไซด์ ( $\text{OH}^-$ ) และแก๊สไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) ดังนี้



เนื่องจากที่ขั้วแคโทดเกิด  $\text{OH}^-$  ขึ้น ทำให้น้ำเสียค่อยๆ มีค่าความเป็นด่างเพิ่มมากขึ้น หรือ  $\text{OH}^-$  บางส่วนรวมตัวกับ  $\text{Fe}^{2+}$  ในน้ำเกิดเป็น  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  และกลายเป็นตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ ดังนี้



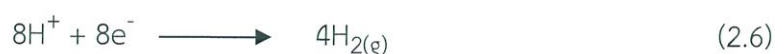
โดยเขียนปฏิกิริยารวม (1) - (3) ได้เป็น



ถ้าระหว่างการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว มี  $\text{O}_2$  อยู่ด้วย  $\text{Fe}^{2+}$  จะถูกออกซิไดซ์ได้เป็น  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ที่ไม่ละลายน้ำ เขียนเป็นปฏิกิริยาได้เป็น



และ  $\text{H}^+$  ที่เกิด ก็จะถูกรีดิวซ์ให้เป็น  $\text{H}_2$  ที่ขั้วแคโทด



ดังนั้น ปฏิกิริยารวมที่ประกอบด้วยปฏิกิริยา (2.5) และ (2.6) เขียนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



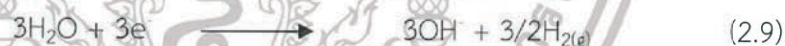
ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า จะเกิด  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  เป็นตะกอนปะปนกับ  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ซึ่งกรองแยกออกมาจากน้ำเสียได้ ตะกอนเหล่านี้จะปะปนกับไอออนของเหล็กและสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กกับไอออนไฮดรอกไซด์ในรูปต่าง ๆ ได้แก่  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  และ  $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$  โดยขึ้นกับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำ (pH) เช่น หากค่า pH อยู่ระหว่าง 3-7 ไอออนของเหล็กไฮดรอกไซด์ จะเกิดการสร้างตัวเป็นโครงข่ายคล้ายกับโพลิเมอร์ไรซ์ของ  $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$  และ  $\text{Fe}_2(\text{OH})_4^{2+}$  เป็นต้น โดยทั้งโครงข่าย แบบโพลิเมอร์ และไอออนของเหล็กในรูปต่าง ๆ มีสมบัติในการดูดซับ และจับเกาะสิ่งที่ปนเปื้อนในน้ำได้ดี ซึ่งเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้เกิดการดูดซับและเกาะรวมตัวเป็นอนุภาคก้อนโตมากขึ้น และแยกออกได้ง่ายขึ้นนั่นเอง

### 2.2.5.2 เมื่อใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

ในกรณีที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า จะมีการละลายไอออนของอะลูมิเนียม ( $\text{Al}^{3+}$ ) เช่นเดียวกับการใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ดังสมการ (2.8)



และปฏิกิริยาที่แคโทดจะให้  $\text{OH}^-$  และแก๊ส  $\text{H}_2$  ดังนี้



เมื่อ  $\text{Al}^{3+}$  ละลายออกมาในน้ำบางส่วนรวมตัวกับ  $\text{OH}^-$  เป็นโมโนเมอร์ของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ปะปนในน้ำ เช่น  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  และ  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  โดยขึ้นกับค่า pH ของตัวกลาง ในตัวกลาง ที่มีค่า pH เป็นด่างจะพบโมโนเมอร์ที่มีประจุบวกมาก โมโนเมอร์ดังกล่าวสามารถเกิดโพลิเมอร์ขึ้นเป็น  $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$ ,  $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$ ,  $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$ ,  $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$ ,  $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$  และ  $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$  ได้ บางส่วนจะอยู่ในรูปโมโนเมอร์ และในที่สุดจะกลายเป็น  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ที่ไม่ละลายน้ำ ดังสมการที่ (10)



ขณะที่เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมจะค่อย ๆ ละลายไป ส่วน  $\text{OH}^-$  ที่เกิดขึ้นซึ่งมี สมบัติเป็นด่างจะกัดเซาะที่ขั้วไฟฟ้าเกิดปฏิกิริยาให้แก๊ส  $\text{H}_2$  ขึ้นดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ส่วนการใช้ Fe เป็นขั้วไฟฟ้า  $\text{OH}^-$  ที่เกิดขึ้นจะไม่กัดเซาะขั้วไฟฟ้าและเกิดเป็น  $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$  เช่นที่เกิดในอะลูมิเนียม ดังนั้น การใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าจะคงทนมากกว่าการใช้อะลูมิเนียม อย่างไรก็ตาม การใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้ามักมีข้อดีที่มีการเกิดโพสิทีฟโอไซด์ และเกิดเป็นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีประจุหลากหลายรูปแบบ ซึ่งมีสมบัติในการดูดซับดี ดังนั้นการเลือกชนิดของขั้วไฟฟ้าจึงต้องพิจารณาถึงข้อดีข้อด้อยของวัสดุขั้วไฟฟ้างกล่าว อีกทั้งชนิดของสิ่งที่ปนเปื้อนในน้ำก็ให้ผลแตกต่างกันอีกด้วย

## 2.2.6 การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยสารชนิดต่าง ๆ

### 2.2.6.1 การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน หรือไขมัน

เนื่องจากกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสามารถบำบัดน้ำปนเปื้อนสารอินทรีย์ได้ จึงมีนักวิจัยที่ศึกษา และทดลองบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันและได้ผลที่น่าพึงพอใจ เช่น Kaliniichuk และคณะได้ศึกษา การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า ซึ่งจะเกิดอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่ขั้วแอโนด และเกิดแก๊สไฮโดรเจนที่ขั้วแคโทด แก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะช่วยลอยตะกอนขึ้น และแยกออกไป หรือการใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้าก็สามารถทำลายเสถียรภาพของน้ำปนเปื้อนน้ำมันที่มีสภาพเป็นอิมัลชัน และทำให้ตกตะกอนไปพร้อมกับสารประกอบไฮดรอกไซด์ของเหล็ก โดยลดปริมาณของน้ำมันที่ปนเปื้อนลงได้อย่างมาก นอกจากนี้ Ogutveren และ Koparal ได้ศึกษาถึงการกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำด้วยวิธีเดียวกัน แต่เปรียบเทียบการใช้ขั้วไฟฟ้าที่เป็นอะลูมิเนียมเทียบกับเหล็ก และพบว่าการใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้ามีประสิทธิภาพดีกว่า เพราะระหว่างกระบวนการจะเกิดไฮดรอกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดจับน้ำมันสูงกว่าไฮดรอกไซด์ของเหล็ก

### 2.2.6.2 การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสีย้อมผ้า

มีการศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมผ้าอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรายงานผลการทดลองว่า การตกตะกอนด้วยไฟฟ้านี้สามารถกำจัดสีย้อมในน้ำได้ดีมาก โดยกำจัดสีย้อมได้ถึงร้อยละ 90 อีกทั้งยัง ใช้เวลาบำบัดสั้นมาก (ประมาณ 3-5 นาที) โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 2.24 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ ยังพบว่า การกำจัดอนุภาคสีย้อมที่เกาะรวมกันได้ง่ายจากการลอยตะกอนด้วยฟองแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า อีกทั้งไอออนของขั้วโลหะที่หลุดมาทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออนที่ขั้วแคโทดเกิดเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ และมีสมบัติในการดูดซับสิ่งปนเปื้อนในน้ำได้ดีอีกด้วย ด้วย Gurses และคณะ ศึกษาถึงการกำจัดสีย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำโดยการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าพบว่า กลไกการกำจัดสีย้อมเกิดได้ 2 แบบ คือการตกตะกอน และการดูดซับบนผิวของสารประกอบไฮดรอกไซด์ของโลหะที่เกิดขึ้น ซึ่งขึ้นกับค่า pH ของตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การตกตะกอน



## การดูดซับ



ในระหว่างกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า โมเลกุลสีย้อมที่มีประจุลบจะถูกทำให้เป็นกลาง ส่วนก้อน อนุภาคที่เกาะรวมตัวกันที่มีประจุบวกเกิดจากการดูดซับของสีย้อมในรูปทั้งที่เป็นโมเนออร์เมอร์และโพลิเมอร์ การศึกษาการกำจัดสีย้อมโดย Kim และคณะ พบว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมให้ผลดีกว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าที่เป็นเหล็ก เนื่องจากประสิทธิภาพในการดูดซับของ  $\text{Fe}^{2+}$  ต่ำกว่าการใช้อะลูมิเนียมที่ให้  $\text{Al}^{3+}$

การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมด้วยวิธีดั้งเดิม ส่วนมากจะใช้วิธีทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์มาสลาย สีย้อม ซึ่งมีต้นทุนต่ำ และไม่ซับซ้อน แต่มีข้อด้อยคือไม่สามารถบำบัด หรือกำจัดน้ำปนเปื้อนสีย้อมได้ทุก แบบเนื่องจากสีย้อมเป็นสารเคมีที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์จึงไม่สามารถใช้ได้ในระยะยาว

การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าจึงเป็นวิธีที่มีศักยภาพสูงที่จะใช้บำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสีย้อม โดยพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดขึ้นกับสมบัติของน้ำเสียนั้น ๆ ไม่ว่าจะเป็นค่า pH ความเข้มข้นสีย้อมที่ปนเปื้อน กระแสไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ และอัตราการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

## 2.2.6.3 การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนัก

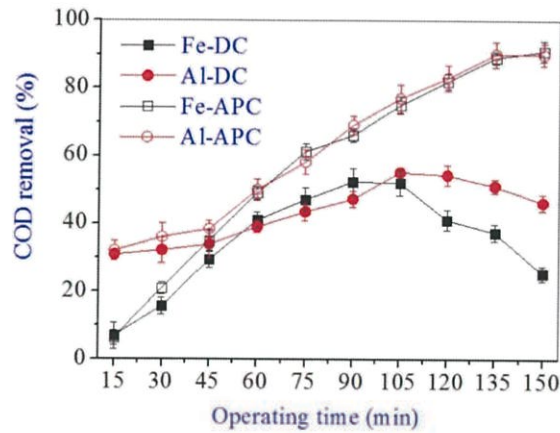
การกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเป็นจุดเด่นข้อหนึ่งของการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า เนื่องจากการบำบัดทางชีวภาพไม่สามารถกำจัดได้ งานวิจัยของ Balasubramanian และ Madhavan ระบุว่า อัตราการกำจัดโลหะหนักขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า รวมถึงความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อน กระแสที่จ่าย ค่า pH และเวลาที่ใช้ในการบำบัด และยังพบว่าในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อน สารหนู สามารถกำจัดปริมาณสารหนูได้ถึง 99% เมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า เนื่องจากเหล็กไฮดรอกไซด์ที่เกิด ขึ้นระหว่างกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้ามีสมบัติดูดซับสารหนูได้ดี นอกจากนั้น งานวิจัยของ Park และ คณะ ที่กำจัดแคดเมียมปนเปื้อนในดิน โดยเริ่มจากการล้างดินด้วยน้ำ และกำจัดแคดเมียมที่ชะออกมา ในน้ำด้วยการลอยตะกอนด้วยไฟฟ้าที่มีอะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า พบว่าวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ อย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี dissolved air flotation (DAF) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่กำจัดสารแขวนลอย เช่น น้ำมัน ด้วยการละลายอากาศ ในถังเก็บน้ำเสียภายใต้ความดันก่อนจะปรับสู่ความดันบรรยากาศอย่างรวดเร็ว

ซึ่งจะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กมากมาย และเมื่อฟองเหล่านี้ไปเกาะสารแขวนลอยจะทำให้สารแขวนลอยลอยขึ้นสู่ผิวน้ำจึงกำจัดออกได้ง่าย

## 2.3 การจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับในการบำบัดน้ำเสีย<sup>[3]</sup>

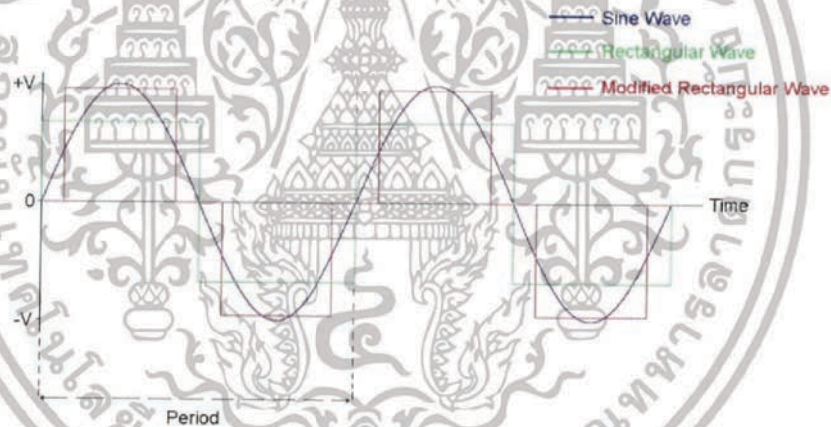
การบำบัดน้ำเสียโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้กระแสตรง ซึ่งผู้ทดลองได้อ้างอิงงานวิจัยเรื่อง Preventing of Cathode Passivation/Deposition in Electrochemical Treatment Methods – A Case Study on Winery Wastewater with Electrocoagulation ของ Murat Eyvaz, Ercan Gürbulak, Serdar Kara และ Ebubekir Yuksel ได้สรุปข้อดีของการใช้กระแสสลับแทนกระแสตรง ดังนี้

- 1) กระแสสลับสามารถกำจัดค่า COD มากกว่ากระแสตรง 40% และสามารถกำจัดได้เร็วกว่ากระแสตรงถึง 30% อ้างอิงได้จากรูปที่ 2.3
- 2) จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าเมื่อจ่ายกระแสตรงในการบำบัดน้ำเสีย การกำจัดค่า COD เพิ่มขึ้นในช่วงแรกพอเวลาผ่านไประยะหนึ่งจะเห็นว่าค่ากำจัดค่า COD ลดลง เนื่องจากมีสารปนเปื้อน รวมถึงไอออนโลหะของขั้วแอโนดไปเกาะที่อิเล็กโทรดของขั้วแคโทด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดพื้นผิวอิเล็กโทรดแล้วนำมาใช้อีกครั้งในระยะเวลาอันสั้น แต่ถ้าเราจ่ายกระแสสลับในการบำบัดน้ำเสียประสิทธิภาพในการกำจัดจะเพิ่มขึ้น และสามารถยืดอายุการใช้งานของอิเล็กโทรด เพราะสารปนเปื้อนและไอออนโลหะของขั้วแอโนดไปเกาะที่ขั้วแอโนดน้อยกว่าในระยะเวลาดำเนินการที่เท่ากัน
- 3) การจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสามารถควบคุมพลังงานได้ด้วย Relay โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวควบคุม



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบ DC และ APC สำหรับวัสดุอิเล็กโทรดสองชนิดในการกำจัดค่า COD ในเวลาใช้งานที่แตกต่างกัน

APC หรือ Alternation Pulse Current คือรูปแบบของคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับเมื่อผ่านตัว Relay ซึ่งเป็นตัวตัดรูปคลื่นเพื่อควบคุมพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.4



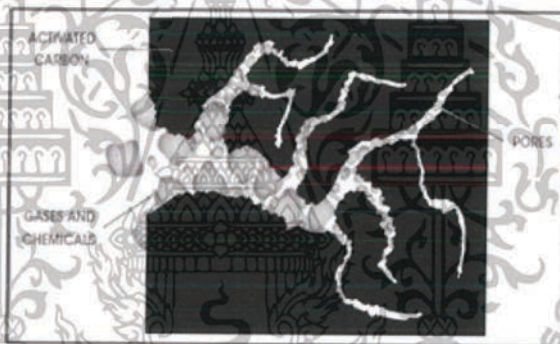
รูปที่ 2.4 แสดงรูปคลื่นของ AC และ APC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การกรองด้วยถ่านกัมมันต์<sup>[5]</sup>

### 2.4.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon หรือ Activated Charcoal) เป็นวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากพื้นผิวถูกทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ส่งผลให้เกิดรูพรุน (Porosity) ขนาดเล็ก และมีพื้นที่ผิว (Surface Area) สูงมาก ซึ่งลักษณะเด่นนี้ส่งผลให้ Activated Carbon มีคุณสมบัติในการเป็นตัวดูดซับที่ดีและถูกนำไปใช้ในการกรองเอาสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ไม่ต้องการออกจากของเหลวหรือก๊าซ เช่น การเตรียมน้ำดื่มบริสุทธิ์ อุตสาหกรรมต่างๆที่ต้องใช้น้ำบริสุทธิ์ การบำบัดน้ำเสีย ใช้ในการฟอกสีของเหลวต่างๆ การทดลองวิจัยในการแยกและเตรียมสารเคมี ทางทางการแพทย์ นำไปใช้ในการกำจัดพิษ การฟอกเลือด และอื่นๆ ใช้กรองกลิ่นและก๊าซที่ไม่ต้องการรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากและมีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ระดับไมโครเมตรจนถึงระดับนาโนเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิตและวัสดุประสงค์ในการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของรูพรุนภายในของ Activated Carbon

### 2.4.2 กระบวนการผลิต (Production)

Activated Carbon มีหลายชนิดซึ่งมักเป็นพวกอินทรีย์สารที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืชและต้นไม้เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเช่น ชี้อยู่ แกลบ กะลามะพร้าวโดยกระบวนการแอคทีเวต Carbon นั้นแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลักๆดังนี้

1) Chemical Activation เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแอคทีเวตวัตถุดิบประเภทไม้และถ่านที่วัตถุดิบจำพวกนี้จะถูกทำให้อึดตัวด้วยสาร Dehydrating Agent ชนิดเข้มข้นจำพวกกรดฟอสเฟอริกหรือซิงค์ คลอไรด์ แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500 - 800°C

2) Steam Activation เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแอคทีเวตวัตถุดิบประเภทกะลามะพร้าวและถ่านหินในสถานะที่เต็มไปด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 800-1100°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

#### 2.4.3.1 การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waal Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

#### 2.4.3.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกละลายกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกละลายเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกละลายออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50 - 400 กิโลจูลต่อโมล
อุณหภูมิที่เกิดจากการดูดซับ	ต่ำ	สูง
แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
การดูดซับแก๊ส - ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะระบบ
พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
รูปแบบชั้นของการดูดซับ	Monolayer และ multilayer	Monolayer

Activated Carbon ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจะปรากฏได้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบผง (Powder), เม็ดกลม (Bead), เม็ดเล็กละเอียด (Granular) เมื่อเปรียบเทียบกับ Activated Carbon แบบผง กับ Activated Carbon แบบเม็ดเล็กละเอียด พบว่า Activated Carbon แบบเม็ดเล็กละเอียดเป็นที่นิยมใช้ในระบบการกรองอากาศมากกว่า เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าและมีพื้นผิวด้านนอกน้อยกว่า ทำให้โมเลกุลของแก๊สแพร่ผ่านได้ง่ายกว่า ส่งผลให้อัตราการแพร่เพิ่มมากขึ้น จึงนิยมใช้ในกระบวนการดูดซับไอต่างๆ ดังรูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของ Granular Activated Carbon



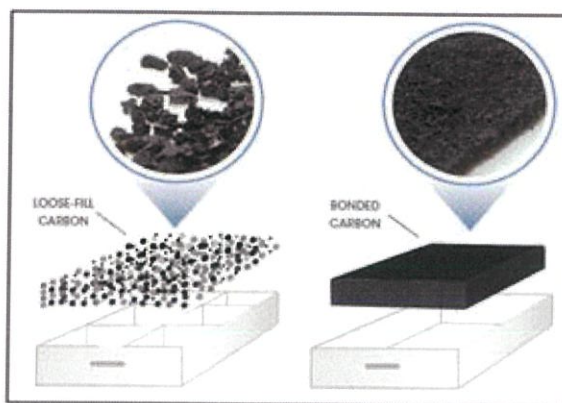
รูปที่ 2.6 แสดงภาพของ Granular Activated Carbon

#### 2.4.4 ชนิดของ Activated Carbon Filter

ในระบบการกรองอากาศนั้นได้มีการนำ Activated Carbon มาเป็นส่วนประกอบใน Filter ซึ่งสามารถแบ่งตามการผลิตได้เป็น 2 ชนิดหลักๆด้วยกันคือ

- 1) Granular Multi-Layer Carbon Filter
- 2) Bonded Carbon Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะโครงสร้างของ Granular Loose-Fill Filter และ Bonded Carbon Filter

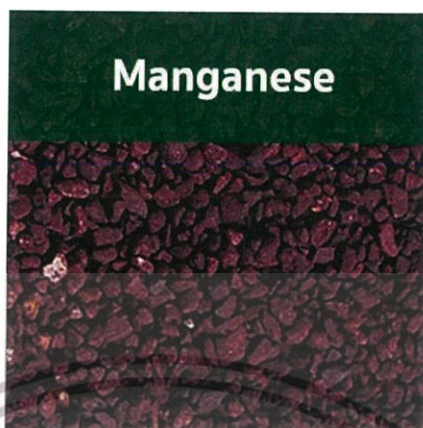
จากรูปที่ 2.7 Granular Multi-Layer Carbon Filter ประกอบด้วยชั้นของเนื้อใยกรอง และชั้นของ Activated Carbon แบบเม็ดเล็กละเอียดวางตัวกันอยู่อย่างหลวมๆภายใน Filter โดย Filter ประเภทนี้จะคงคุณสมบัติเชิงกลและเชิงเคมีของ Activated Carbon ไว้อย่างครบถ้วน แต่ในกรณีของ Bonded Carbon Filter จะเป็นการสร้างพันธะระหว่าง Activated Carbon กับเนื้อใยกรองโดยใช้กระบวนการทางเคมีต่างๆ สารที่ใช้สร้างพันธะหรือที่รู้จักกันในชื่อของ Bonding Agent สารที่ใช้สร้างพันธะนั้นส่วนใหญ่จะเป็นพวกเรซิน เช่น Polystyrene ปริมาณของสารที่ใช้สร้างพันธะจะมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการดูดซับของ Activated Carbon เนื่องจากพื้นที่ผิวของ Activated Carbon จะถูกปกคลุมด้วยสารที่ใช้สร้างพันธะ ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับไอน้ำต่าง ๆ ลดลงชั่วคราวหรือถาวรก็เป็นได้ ปกติแล้ว Carbon Filter ประเภทนี้เป็นที่นิยมสำหรับระบบกรองอากาศ เนื่องจากมีความสะดวกมากกว่าและปราศจากปัญหาเรื่องฝุ่นผงที่มาจากตัวของ Activated Carbon เอง (dust-free) เพราะ Activated Carbon ได้ถูกทำเป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อใยกรอง

แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากอนุภาคของ Activated Carbon นั้นเปราะง่าย อาจจะทำให้อนุภาคนั้นหลุดหรือถูกทำให้เสียหายได้ถ้าขนส่งและจัดเก็บไม่ดี

#### 2.4.5 ข้อดีของ Activated Carbon Filter

ลักษณะเด่นของ Activated Carbon Filter คือความสามารถในการกำจัดแก๊ส, สารเคมี, คาร์บอน, รวมไปถึงกลิ่นไม่พึงประสงค์ต่างๆในอากาศ ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการผลิต (Treat) Activated Carbon ที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้ Activated Carbon ที่ได้มีความสามารถในการดูดซับไอของแก๊สที่แตกต่างกันด้วย

## 2.5 สารกรองแมงกานีส (Manganese Greensand)<sup>[13]</sup>



รูปที่ 2.8 สารกรองแมงกานีส

จากรูปที่ 2.8 แสดงลักษณะทางกายภาพของสารกรองแมงกานีส การกรองโดยตรงเพื่อกำจัดเหล็กและแมงกานีสด้วยแมงกานีสกรีนแซนด์ (Manganese Greensand) ซึ่งเป็นสารที่ทำมาจาก Glauconite Greensand ในสมัยแรกๆจะนำกรีนแซนด์มาทำปฏิกิริยากับแมงกานีสคลอไรด์เพื่อเปลี่ยนกรีนแซนด์ ให้เป็นแมงกานีสกรีนแซนด์ จากนั้นจึงทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ซึ่งจะทำให้เกิดออกไซด์ของแมงกานีสเคลือบอยู่บนผิวของเม็ดกรีนแซนด์ในประเทศ สหรัฐอเมริกา เริ่มใช้ครั้งแรก ค.ศ. 1950 ปัจจุบันแมงกานีสกรีนแซนด์สามารถจำแนกโดยใช้วัสดุที่ผลิตออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- 1) วัสดุประเภทซีโอไลต์ (Zeolite) เป็นวัสดุที่ทำมาจากธรรมชาติ โดยทำมาจาก aluminum silicate rocks ใช้ความร้อนเข้าไปละลายหินดังกล่าวเมื่อหลอมละลายแล้วนำไปแช่น้ำเย็น จะได้เป็น Zeolite crystals ซึ่งในอดีตนำมาใช้กำจัดความกระด้างในน้ำ ปัจจุบันนำมาเคลือบด้วยแมงกานีสออกไซด์โดยวิธีทางเคมีเพื่อใช้ในการกำจัดแมงกานีสเรียกว่าแมงกานีสซีโอไลต์ (manganese zeolite)
- 2) วัสดุประเภททราย (sand) ทำจากทรายธรรมชาติคัดขนาดแล้วนำมาเคลือบด้วยแมงกานีสออกไซด์โดยวิธีทางเคมี ประวัติศาสตร์เริ่มนำมาใช้ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีส ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 ในประเทศสหรัฐอเมริกาในชื่อ “New Jersey Greensand” ต่อมาได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นชนิดเดียวกับแร่ “Glauconite” โดยการนำแร่ที่เกิดจากธรรมชาติมาผ่านกระบวนการคัดแยกขนาดของสารกรองให้ได้ขนาด 18x60 mesh จนได้ขนาด (Effective size) ประมาณ 0.3 ถึง 0.35 มิลลิเมตร และให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniformity coefficient) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.6 ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ดีที่สุดของสารกรอง แร่กลูโคไนต์ (glauconite) เมื่อนำมาเคลือบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมงกานีสออกไซด์ (manganese oxide) และทำให้ยู่ตัว (Stabilization) เรียกว่า “manganese greensand” การเคลือบด้วยสารดังกล่าวทำให้กลุ่มโคโนต์เป็นสารกรองที่สามารถเกิดปฏิกิริยา oxidation-reduction ซึ่งสามารถกำจัดเหล็ก แมงกานีส และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) ที่มีปริมาณน้อยๆได้

ปฏิกิริยาการสร้างแมงกานีสกรีนแซนด์ เป็นดังนี้



ปฏิกิริยาในการกำจัดแมงกานีสในรูปละลายน้ำมีดังนี้



ปฏิกิริยาในการกำจัดเหล็กในรูปละลายน้ำมีดังนี้



### 2.5.1 กลไกการกำจัดเหล็ก

การออกซิไดซ์ (Oxidation) ปัจจุบันสามารถแยกการกำจัดได้ 2 แบบ คือ

#### 2.5.1.1 Intermittent regenerate (IR)

กระบวนการที่มีการเติมสารออกซิแดนต์ลงไปหลังจากที่แมงกานีสกรีนแซนด์หมดสภาพในการออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสแล้วเพื่อฟื้นฟูสภาพของสารกรองจำเป็นต้องมีการหยุดระบบในแหล่งน้ำใต้ดินที่มีปัญหาแมงกานีสน้อยกว่าเหล็กมากๆ กระบวนการ IR สามารถนำมาใช้ได้ ในกรณีนี้กระบวนการนี้จะเริ่มต้นโดยการผ่านน้ำเข้าสู่ชั้นสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ การกำจัดแมงกานีสโดยตรงด้วยปฏิกิริยา oxidation และเคลือบอยู่บริเวณผิวของสารกรอง และเหล็กที่มีปริมาณมากกว่าก็จะถูกออกซิไดซ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและง่ายกว่าแมงกานีส การเคลือบและอุดตันในชั้นสารกรองเมื่อมีการออกซิไดซ์ เหล็กจะทำให้ความสามารถของสารกรองลดลงและความต้องการในการฟื้นฟูสภาพแมงกานีสกรีนแซนด์ด้วยโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) จำเป็นต้องมีจากเหตุผลนี้ น้ำที่ผ่านกระบวนการกรองด้วยแมงกานีสกรีนแซนด์แบบ IR เพื่อกำจัดแมงกานีสและเหล็กซึ่งมีปริมาณมากกว่าควรจะใช้วิธีการกำจัดโดยใช้สารออกซิแดนต์ขั้นต้นก่อน (pre-oxidation) อาจจะใช้คลอรีนหรือการเติมอากาศที่เพียงพอเพื่อเปลี่ยนเหล็กละลายน้ำให้กลายเป็นเหล็กไม่ละลายน้ำก่อนเหล็กจะตกตะกอนผลึกบนชั้นกรอง ซึ่งสามารถกำจัดออกได้โดยการดักด้วยสารกรองแอนทราไซต์ ตามคำแนะนำควรจะมีค่าความสูงของสารกรอง ประมาณ 12 ถึง 15 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับน้ำประเพณีและแมงกานีสจะถูกรอกออกซิไดซ์ โดยแมงกานีสกรีนแซนด์ และเปลี่ยนรูปเป็นแมงกานีสออกไซด์ เคลือบอยู่ที่ผิวเม็ดแมงกานีสกรีนแซนด์ต่อไป

หลังจากเดินระบบไปได้ระยะหนึ่งแล้วความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation capacity) ของสารกรองจะลดลงเรื่อยๆจนหมดตั้งนั้นจึงจำเป็นต้องมีการฟื้นฟูสภาพสารกรองต่อไป ขั้นตอนในการฟื้นฟูสภาพสารกรองมีดังนี้

- 1) ล้างทำความสะอาดสารกรองด้วยน้ำสะอาด (back wash) เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดค้างบนชั้น กรองออกและเพื่อจัดเรียงชั้นสารกรองใหม่ อนึ่งหากน้ำดิบมีความเข้มข้นของเหล็กและอัตราการใช้ของน้ำ เข้าระบบผลิตค่อนข้างสูงการล้างทำความสะอาดสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ อาจจะทำก่อนที่สารกรองจะหมดความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation capacity) กล่าวคือตะกอนเหล็กจะไปอุดตันชั้นกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ โดยสังเกตจากการสูญเสียแรงดันในชั้นสารกรองสูง (high pressure drop)
- 2) การฟื้นฟูสภาพสารกรอง (regeneration) โดยการจ่ายสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) ให้ไหลผ่านชั้นกรองแมงกานีสกรีนแซนด์โดยไหลจากด้านบนลงด้านล่าง โดยใช้ความเข้มข้นของโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตประมาณ 1.5 ออนซ์ ( 1 ออนซ์ เท่ากับ 0.028 กิโลกรัม) ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร ของสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ สารกรองดังกล่าวจะเข้าไปสัมผัสสารกรองเป็นเวลาหลายนาที (ประมาณ 30 ถึง 45 นาที)โดยการเตรียมสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ 4 BV (BV คือปริมาตรสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ และปล่อยให้สารละลายดังกล่าวไหลผ่านชั้นกรองที่อัตราการใช้ 0.1BV โดยการจ่ายสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตให้วนไปเรื่อยๆจนครบเวลาหลังจากครบกำหนดเวลา แล้วให้ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ติดค้างอยู่บนชั้นกรองหมด วิธีการฟื้นฟูสภาพสารกรองแบบ IR นี้ค่อนข้างยืดหยุ่นกล่าวคือสามารถเก็บสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตไว้ ใช้ครั้งต่อไปได้เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

ปฏิกิริยาการฟื้นฟูสภาพสารกรองแมงกานีสกรีนแซนด์ ด้วยโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1.2 Continuous regeneration (CR)

กระบวนการที่เป็นการเติมสารออกซิแดนต์ เช่น คลอรีน ( $Cl_2$ ) หรือโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) อย่างใดอย่างหนึ่งหรืออาจจะจ่ายทั้งสองอย่างลงในระบบตลอดเวลา เพื่อให้สารกรองมีการฟื้นฟูสภาพตลอดเวลาโดยไม่ต้องหยุดระบบ วัตถุประสงค์ หลักใช้กำจัดเหล็กออกจากน้ำเป็นหลักไม่ว่าน้ำนั้นจะมีหรือไม่ มีแมงกานีสวิธีนี้นี้สามารถกำจัดเหล็กที่ละลายน้ำได้มากถึง 15 มิลลิกรัม/ลิตร/อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณเหล็กละลายน้ำสูงขนาดนี้อัตราการไหลของน้ำผ่าน สารกรองจะอยู่ระหว่าง 3.67 ถึง 6.11 เมตร/ชั่วโมง และ ระยะเวลาที่ใช้ในการกรองจะลดลงเหลือประมาณ 4 ถึง 6 ชั่วโมง กรณีความเข้มข้นเหล็กละลายน้ำระหว่าง 0.5 ถึง 3 มิลลิกรัม/ลิตร ระยะเวลาที่ใช้ในการ กรองจะเพิ่มขึ้นเป็น 18 ถึง 36 ชั่วโมงที่อัตราการไหลของน้ำผ่านสารกรองระหว่าง 7.33 ถึง 12.22 เมตร/ ชั่วโมง สำหรับอัตราการไหลของน้ำสูงๆระหว่าง 14.67 ถึง 19.56 เมตร/ชั่วโมง อัตรานี้สามารถนำมาใช้ ได้ แต่ระยะเวลาที่ใช้ ในการเดินระบบผลิตน้ำจะสั้นลง ตัวเลขดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากการทดลองในภาคสนาม (Pilot Plant) ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าตามคำแนะนำที่สามารถยอมรับได้ และ นิยมนำมาใช้ในการออกแบบ

## 2.6 สารกรองน้ำแอนทราไซต์<sup>[19]</sup>

แอนทราไซท์ คือสารกรองน้ำเพื่อกำจัดตะกอนและโคลนตามเพื่อให้ น้ำสะอาด โดยใช้สารแอนทราไซท์ เป็น วัสดุดิบและมีชื่อเรียกสั้น ๆ ว่า “สารกรองน้ำแอนทราไซท์” แอนทราไซท์ เป็นถ่านหินชนิดหนึ่งซึ่งมีธาตุคาร์บอนสูงมากที่สุดมีคาร์บอนสูงกว่าชนิดอื่นๆ ทุกรูปแบบมีส่วนประกอบของคาร์บอนสูงสุดพร้อมทั้งมีวัสดุสารซึ่งละลายน้ำได้น้อยที่สุด ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหินรูปแบบอื่น ๆ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ถ่านหินลิกไนท์ ถ่านหินที่ใช้ในการหุงต้ม ฯลฯ

แอนทราไซท์เป็นสารซึ่งมีธาตุคาร์บอนมาก (FIX CARBON) และมีขี้เถ้าเป็นจำนวนน้อยจึงถือว่าเป็นสารที่มีคุณภาพดีเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุสารอื่น ๆ คาร์บอนจะไม่ละลายน้ำได้ง่าย และทนต่อ วัสดุเคมีได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นถ่านหินที่มีความบริสุทธิ์สูง มีสภาพการตกผลึกที่ดี และไม่เปราะแตกหักง่าย เช่น เพอร์ช ซึ่งมีความแข็งแกร่งและทนทานมาก ก็เป็นรูปแบบหนึ่งของคาร์บอน เนื่องจากมีความแข็ง ไม่เปราะแตกหักง่าย และไม่ละลายน้ำได้ง่ายแอนทราไซท์จึงได้รับการพัฒนาขึ้นมาเป็นสารกรองน้ำ

## 2.6.1 คุณสมบัติของแอนทราไซท์

### 2.6.1.1 เก็บตะกอนน้ำไว้ที่ผิวภายนอกของสารวัตถุ

แร่แอนทราไซท์มิใช่เป็นสารกรองน้ำแบบเดียวกับแอคทีเวตเต็ดคาร์บอน ซึ่งดูดสารละลายที่อยู่ในน้ำไว้ภายในเพื่อทำให้น้ำใสสะอาด แต่เป็นสารซึ่งดักจับสารแขวนลอยต่าง ๆ ไว้ที่บริเวณภายนอกของตัวสาร และมีช่องว่างสามารถกักเก็บสารแขวนลอยได้ในปริมาณมาก วิธีนี้จึงทำให้แร่แอนทราไซท์สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำมาล้างเพื่อกลับไปใช้งานได้อีก

### 2.6.1.2 สามารถดักจับตะกอนไว้ได้เป็นจำนวนมาก

เนื่องจากทรายมีรูปร่างทางกายภาพเหมือนกันหมด และมีน้ำหนักมากเป็นสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับแร่แอนทราไซท์ การใช้สารกรองน้ำนาน ๆ หลายครั้งตะกอนจะสะสมจับตัวกันพอกหนามากขึ้นทุกที ทำให้น้ำซึมผ่านได้น้อยลงทุกที ดังนั้นทรายจึงไม่สามารถกักเก็บตะกอนไว้ได้เป็นจำนวนมาก ในทางตรงกันข้ามเม็ดแอนทราไซท์บริสุทธิ์ แต่ละเม็ดจะมีรูปลักษณะต่าง ๆ กันโดยธรรมชาติ ทำให้สามารถกักเก็บตะกอนไว้ได้เป็นจำนวนมาก น้ำจึงใสสะอาด

### 2.6.1.3 สามารถกรองน้ำได้จนถึงชั้นที่อยู่ลึกลงไปชั้นล่าง ๆ ด้วย

เนื่องจากรูปร่างของเม็ดแอนทราไซท์มีลักษณะแตกต่างกันไป ไม่เป็นแบบพิมพ์เดียวกันและมีน้ำหนักเบา ชั้นของแอนทราไซท์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองน้ำจึงไม่เกาะจับตัวกันแน่นมาก จึงเปิดช่องว่างให้น้ำซึมผ่านลงไปยังชั้นกรองน้ำซึ่งอยู่ชั้นล่างโดยง่าย ดังนั้นจึงสามารถจะกรองน้ำให้ใสสะอาดภายในเวลาอันรวดเร็ว ประสิทธิภาพของการกรองน้ำจะเกิดขึ้นในช่วงรอยต่อระหว่างแอนทราไซท์และทราย

### 2.6.1.4 การชำระล้างน้ำทำความสะอาดทำได้ง่ายตาย

เนื่องจากแร่แอนทราไซท์เป็นสารกรองน้ำที่มีน้ำหนักเบา การทำความสะอาดจึงสามารถทำได้โดยง่าย และผิวมันวาวของแร่แอนทราไซท์ทำให้ตะกอนที่เกิดจากการกรองน้ำ ถูกล้างออกโดยง่าย

### 2.6.1.5 มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีในอัตราสูง

เนื่องจากแร่แอนทราไซท์มีคุณภาพดีและมีส่วนประกอบของธาตุคาร์บอนสูง จึงไม่ละลายในน้ำที่มีสภาพเป็นกรดหรือด่าง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารเคมี และใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมเคมี

## 2.6.2 การกรอง (Filtration)

การกรองแบบติด ค้างในชั้นกรอง จะมี 3 ชนิดคือ

### 2.6.2.1 Slow Sand Filter

เป็นแบบที่ประหยัดใช้กับน้ำที่มีความขุ่นต่ำ การกรองน้ำด้วยอัตราต่ำเหมาะสำหรับใช้ในชนบทปกติ อัตราการไหล  $< 0.2 \text{ gmp/ft}^2$  (gallon per minute per square feet)

### 2.6.2.2 Rapid Sand Filter

เครื่องกรองน้ำแบบนี้ เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในโรงกรองน้ำทั่วไป ซึ่งปกติจะใช้ Media เป็นทรายกรอง สามารถกรองน้ำได้สูงกว่าเครื่องกรองน้ำได้สูงสุดกว่าเครื่องกรองหลายสิบเท่า ปกติอัตราการไหลของน้ำ  $< 2 \text{ gmp/ft}^2$

### 2.6.2.3 Multimedia Filter (แอนทราไซต์ & ทรายกรอง)

เป็นการกรองที่ใช้กันทั่วไป ในถังกรองรุ่นใหม่ ใช้กับน้ำที่มีความขุ่นสูง โดยมีอัตราการกรองสูงกว่า แบบถังกรองทรายธรรมดา มีอัตราการไหลของน้ำ  $> 4 \text{ gmp/ft}^2$

## 2.6.3 ประโยชน์ของระบบการกรองน้ำที่ใช้แอนทราไซต์

ปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงมาใช้แอนทราไซต์แทนทรายกรองน้ำซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีกว่า

ดังนี้

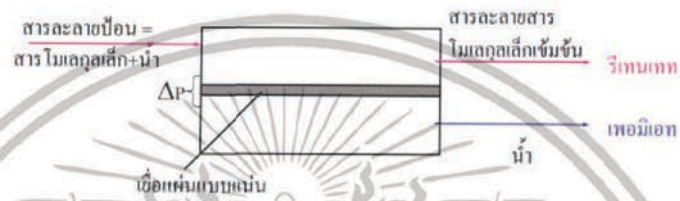
- 1) แอนทราไซต์ มีลักษณะเป็นคาร์บอนชนิดหนึ่ง มีพื้นผิวเป็นเหลี่ยมมุม สามารถกรองตะกอนแขวนลอยที่ปะปนมากับน้ำได้มากกว่าทราย ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลม (ตะกอนแขวนลอยจะมีมากในน้ำในใต้ดินเช่นน้ำบาดาล)
- 2) แอนทราไซต์ มีน้ำหนักน้อยกว่าทราย จึงทำให้การล้างกลับ (Back Wash) ได้ง่ายกว่าทราย ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำล้างกลับและแรงดันของน้ำจึงน้อยกว่าทรายในขนาดเครื่องกรองเท่ากัน ซึ่งจะมีผลทำให้ประหยัดค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย
- 3) การใช้แอนทราไซต์กรองน้ำแทนทราย ทำให้อัตราการผลิตน้ำมากกว่าการใช้ทรายกรอง ในขณะที่ขนาดเครื่องกรองเท่ากัน เนื่องจากแอนทราไซต์จะมีความพรุนระหว่างชั้นมากกว่าทราย ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตน้ำได้มากขึ้น โดยไม่ต้องขยายบ่อกรองมีผลทำให้ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว
- 4) ลักษณะของเม็ดแอนทราไซต์จะใหญ่กว่าทรายแต่น้ำหนักเบากว่า ดังนั้น ภายหลังจากการล้างกลับแอนทราไซต์จะอยู่เหนือทราย ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ชั้นกรองทำหน้าที่ดีขึ้น สามารถกรองความขุ่นได้ในปริมาณมากกว่าเครื่องกรองทราย ทำให้ปริมาณน้ำใสมากกว่า นอกจากนี้ยังสามารถรับน้ำดิบที่มีความขุ่นสูงกว่าเครื่องกรองแบบทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 กระบวนการออสโมซิสผันกลับ<sup>[6] [7][8]</sup>

### 2.7.1 หลักการ

กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis, RO) ใช้แยกน้ำออกจากสารโมเลกุลเล็กที่มีมวลโมเลกุล < 500 (เช่น เกลือ น้ำตาล) จึงใช้เยื่อแผ่นแบบแน่น สารละลายสารโมเลกุลเล็กมีความออสโมติก ( $\pi$ ) สูงความดันในการดำเนินงาน (P) จึงสูงมากประมาณ 10 - 100 atm ( $\Delta P$  ต้องมากกว่า  $\Delta \pi$ ) อ้างอิงได้จากรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการออสโมซิสแบบผันกลับ

2.7.2 เปรียบเทียบ Reverse Osmosis/Ultra-Filtration/Membrane Filtration RO/UF/MF มีหลักการคล้ายกัน คือใช้แรงขับเคลื่อนความดันเหมือนกัน อ้างอิงได้จากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบ Reverse Osmosis/Ultra-Filtration/Membrane Filtration

รูปแบบการกรอง	P (atm)	เยื่อแผ่นที่ใช้ (Molecular weight cut-off)	สารที่ผ่านเยื่อแผ่นหรือเพอมีเอท	สารที่ถูกกักหรือรีเทท
RO	10 - 100	เยื่อแผ่นแบบแน่น < 500 D	ตัวทำละลาย (น้ำ)	สารโมเลกุลเล็ก
UF	2 - 10	เยื่อแผ่นรูพรุนขนาดเล็ก 10 - 500 $\text{Å}$ 500 - 300000 D	น้ำและสารโมเลกุลเล็ก	สารโมเลกุลใหญ่
MF	1 - 5	เยื่อแผ่นรูพรุนขนาดใหญ่ 0.1 - 10 mm > 300000 D	น้ำและโมเลกุลที่ละลายน้ำ	สารแขวนลอยอนุภาคเล็กๆ และคอลลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7.3 แบบจำลองการถ่ายเทมวล : RO

### 2.7.3.1 แบบจำลองการละลาย - การแพร่ : RO

ทั้งตัวถูกละลายและตัวทำละลาย (น้ำ) ต่างก็ละลายเข้าไปในเยื่อแผ่น แล้วแพร่ผ่านเยื่อแผ่น โดยมีผลต่างของความดันตกคร่อมเยื่อแผ่นเป็นแรงขับเคลื่อน ตัวถูกละลายและน้ำมีความสามารถในการละลายในเยื่อแผ่น และแพร่ผ่านเยื่อแผ่นต่างกันจึงเกิดการแยกตัวถูกละลายและน้ำออกจากกัน โดยที่ตัวถูกละลายและตัวทำละลายต่างแพร่ผ่านเยื่อแผ่นอย่างอิสระไม่ขึ้นต่อกัน โดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$J_v = L_p (\Delta P - \Delta \pi) \quad (2.20)$$

$$J_s = k_s \Delta C_s \quad (2.21)$$

$$L_p = \frac{\bar{P}}{\delta_m} \quad (2.22)$$

เมื่อ

$J_v$  = ฟลักซ์ของตัวทำละลาย ( $m^3/m^2.s$ )

$J_s$  = ฟลักซ์ของตัวถูกละลาย ( $m^3/m^2.s$ )

$k_s$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวถูกละลาย (m/s)

$\Delta C_s$  = ผลต่างความเข้มข้นของตัวถูกละลาย ( $mol/m^3$ )

$L_p$  = สภาพการซึมผ่านหรือเพอมีแอนซ์ (permeance) ( $m^3/m^2.s.Pa$ )

$\Delta P$  = ผลต่างความดันระหว่างเยื่อแผ่น (Pa)

$\Delta \pi$  = ผลต่างความดันออสโมติกระหว่างเยื่อแผ่น (Pa)

$\delta_m$  = ความหนาของเยื่อแผ่น (m)

$\bar{P}$  = สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (permeability coefficient) ( $m^3.m/m^2.s.Pa$ )

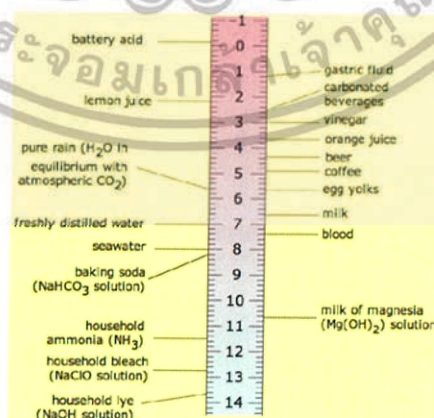
### 2.7.4 ตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของ RO

- 1) ความดัน การเพิ่มความดันเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อน ฟลักซ์จึงเพิ่มขึ้น การกักกันอาจเพิ่มขึ้น ถ้าเกลือที่ถูกดูดซับอยู่ก่อนช่วยกีดกันไม่ให้โมเลกุลอื่นๆผ่านเยื่อแผ่นไปได้ทำให้ตัวถูกละลายผ่านเยื่อแผ่นได้น้อยลง แต่ในหลายๆ กรณีพบค่าการกักกันลดลงเมื่อเพิ่มความดันผลของตัวแปรที่มีต่อค่าการกักกันอธิบายได้ยากกว่าฟลักซ์เพราะขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกละลายกับเยื่อแผ่น

- 2) อุณหภูมิพลักซ์ เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิประมาณ 2 - 3% / 1°C ⇒ ที่อุณหภูมิสูงความหนืดของสารละลายลดลง สัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้น ทั้งน้ำและตัวถูกละลายผ่านเยื่อแผ่นได้ดีขึ้น ⇒ ค่าการกักกันลดลง
- 3) ความเข้มข้น การเพิ่มความเข้มข้นของเกลือทำให้ความดันออสโมติกของสารละลายเพิ่มขึ้น พลักซ์จึงลดลง และที่ความเข้มข้นสูงโอกาสที่เกลือจะละลายหรือแพร่ ในเยื่อแผ่นสูงขึ้นทำให้ค่าการกักกันลดลง
- 4) อัตราการไหล การเพิ่มอัตราการไหลหรือความเร็วที่สารละลายไหลผ่านผิวหน้าเยื่อแผ่นช่วยลดการสะสมของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น ทำให้เกิด Concentration Polarization น้อยลง หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (k) มีค่าสูงขึ้น ⇒ พลักซ์เพิ่มขึ้น
- 5) pH ความเป็นกรดต่างของสารละลายมีผลต่อการแตกตัวของสารอิเล็กโทรไลต์ (เช่น สารละลายเกลือ) และสามารถมีผลต่อการมีขั้ว (polarity) ของเยื่อแผ่นตลอดจนอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกละลายกับเยื่อแผ่น

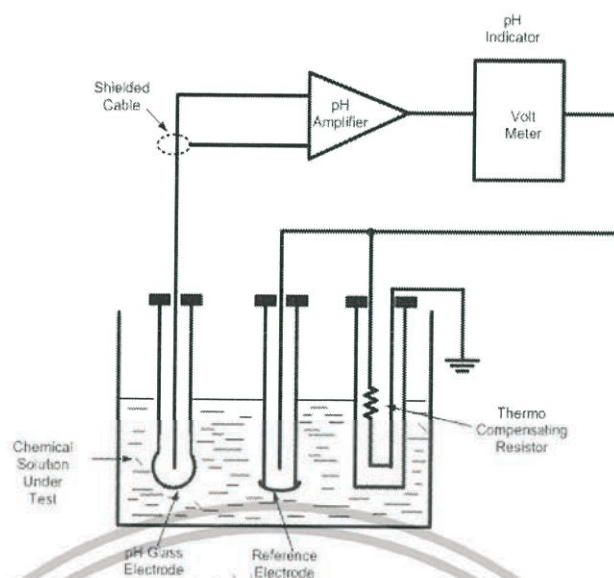
## 2.8 ค่า pH<sup>[10]</sup>

ค่า pH เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรด-เบส ของสารที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยค่า pH จะอยู่ในช่วง 1-14 ถ้าค่า pH น้อยกว่า 7 สารชนิดนั้นก็จะมฤทธิ์เป็นกรด และถ้าค่า pH มากกว่า 7 สารชนิดนั้นก็จะมฤทธิ์เป็นเบสหรือด่าง แต่ค่า pH นั้นมีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารชนิดนั้นเป็นกลางหรือที่เรียกว่า pH balance หรือไม่เป็นกรดหรือเบสไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง การหาค่า pH ในสารต่างๆ มีประโยชน์มากมายในด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ อย่างด้านอาหาร เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง จนรวมไปถึงวงการการแพทย์ การเกษตร ฯลฯ ค่าพีเอชของสารที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวันจะแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ค่าพีเอชของสารที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงหลักการอย่างง่ายในการวัดค่าพีเอช

จากรูปที่ 2.10 จะแสดงหลักการเบื้องต้นของการวัดค่าพีเอช จะใช้วิธีในการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของไอออนในสารละลายระหว่าง Glass Electrode เปรียบเทียบกับ Reference Electrode ซึ่งเป็นเซลล์มาตรฐานที่ทราบค่าศักย์ไฟฟ้าแล้ว

Glass Electrode ประกอบด้วยส่วนรับรู้ค่า pH Glass Membrane ซึ่งปกติจะเป็นลักษณะรูปทรงกลม, Insulating Glass Stem เมื่อ Electrode จุ่มลงสารประกอบไอออนของ ไฮโดรเจนจะมาอยู่ตามบริเวณ Membrane Surface ซึ่งจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า โดยศักย์ไฟฟ้าที่ Electrode Glass ตรวจวัดได้สามารถที่จะคำนวณค่าได้จากสมการ

$$E_g = E_g^0 + \frac{2.303RT}{F} \log_{10} a \quad (2.43)$$

เมื่อ  $E_g$  = ผลรวมของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการวัด

$E_g^0$  = ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเมื่อค่า  $a = 1$

$a$  = ผลรวม ไอออนของไฮโดรเจน

$T$  = ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์เป็นองศาเคลวิน

$R$  = 1.986 Calories ต่อ mol degree

$F$  = Faraday (coulombs per mol)

2.303 = logarithm conversion factor

พีเอชจะได้มาจากค่าลอการิทึมของผลรวมไอออนไฮโดรเจน

$$pH = -\log_{10} a \quad (2.44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการด้านบน จะพบว่าไอออนที่ตรวจจับได้ที่ Membrane จะเป็นค่าที่กำหนดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ซึ่งถ้าที่ Membrane สกปรกจะทำให้พีเอชที่วัดได้มีค่าผิดพลาดตามไปด้วย

จากสมการ จะเห็นได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าจะขึ้นกับอัตราส่วนความเข้มข้นของ แล้วยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (T) อีกด้วยนั้นการวัดค่าพีเอชที่ถูกต้องจำเป็นต้องมีการปรับเทียบเครื่องวัดไปที่อุณหภูมิที่ถูกต้องหรือคือจำเป็นต้องตรวจวัดอุณหภูมิของสารละลาย เพื่อทำการปรับภายในวงจรอีกทีหนึ่ง เครื่องวัดพีเอชที่สมบูรณ์นอกจากจะมีขั้วปรับเทียบแล้วยังมีตัวตรวจวัดอุณหภูมิของสารละลายละลายติดอยู่ด้วย

Reference Electrode จะมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คงที่โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิตัวใด จากรูปโครงสร้างของ Reference type จะประกอบด้วย Mercury (ปรอท) ซึ่งจะสัมผัสอยู่กับ Mercurous ( $Hg_2Cl_2$ ) และ Potassium chloride (KCl) เมื่อคิดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ Reference Electrode รวมกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสามารถหาค่าได้ตามสมการ

$$E = (E_{ref} + E_j) = (E_g^0 + \frac{2.303RT}{F} pH) \quad (2.45)$$

เมื่อ  $E_{ref}$  = ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ Reference Electrode

$E_j$  = ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ Liquid Junction

Thermo Compensating Resistor จะทำหน้าที่ชดเชยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้ผลการวัดได้ถูกต้องโดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิวงจรที่ใช้งานร่วมกับ Thermo Compensating Resistor จะออกแบบให้หักล้างกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายที่ทำการวัด โดยสมการวงจรชดเชยจะได้ดังนี้

$$E_{compensate} = \frac{2.303RT_{compensate}}{F} \quad (2.46)$$

## 2.9 ค่า Total Dissolved Solids (TDS)<sup>[9][11][12]</sup>

Total Dissolved Solids (TDS) เป็นจำนวนรวมของไอออนซึ่งรวมทั้งแร่ธาตุ เกลือหรือโลหะที่ละลายในน้ำในปริมาณที่กำหนดของน้ำแสดงในหน่วยของมิลลิกรัมต่อหน่วยปริมาตรน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) ยังเรียกว่าชิ้นส่วนต่อล้านส่วน (ppm) TDS จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับความบริสุทธิ์ของน้ำและคุณภาพของระบบการทำน้ำให้บริสุทธิ์และมีผลกระทบต่อทุกอย่างที่กินที่อาศัยอยู่ในหรือใช้น้ำไม่ว่าจะเป็นอินทรีย์หรืออนินทรีย์ไม่ว่าจะดีขึ้นหรือแย่ลง

### 2.9.1 แหล่งที่มาของของแข็งหรือโลหะที่ละลายอยู่ในน้ำ

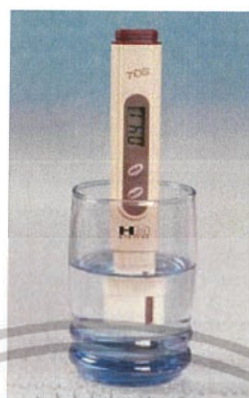
- 1) ของแข็งที่ละลายมาจากแหล่งอินทรีย์ เช่น ตะกอน แพลงก์ตอน และกากอุตสาหกรรม และสิ่งปฏิภูล มาจากการไหลบ่ามาจากพื้นที่เขตเมือง เกลือถนนที่ใช้บนท้องถนน ในช่วงฤดูหนาวและปุ๋ยและยาฆ่าแมลงที่ใช้ในสนามหญ้าและฟาร์ม
- 2) สารที่ละลายได้ยังมาจากวัสดุอนินทรีย์ เช่น หินและอากาศที่อาจมีไบคาร์บอเนตแคลเซียมไนโตรเจนฟอสฟอรัสเหล็กกำมะถันและแร่ธาตุอื่นๆ หลายเหล่านี้เกลือรูปแบบวัสดุซึ่งเป็นสารประกอบที่มีทั้งโลหะและอโลหะ เกลือมักจะละลายในน้ำขึ้นรูปไอออน ไอออนเป็นอนุภาคที่มีประจุบวกหรือลบ
- 3) น้ำยังอาจรับโลหะ เช่น ตะกั่วหรือทองแดงที่พวกเขาเดินทางผ่านท่อที่ใช้ในการแจกจ่ายน้ำให้กับผู้บริโภค
- 4) ประสิทธิภาพของระบบกรองน้ำในการลบของแข็งที่ละลายรวมจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปดังนั้นจึงขอแนะนำให้ตรวจสอบคุณภาพของตัวกรองหรือเมมเบรนและเปลี่ยนตัวกรองเมื่อจำเป็น

### 2.9.2 วิธีการปรับแก้ลดค่า TDS สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

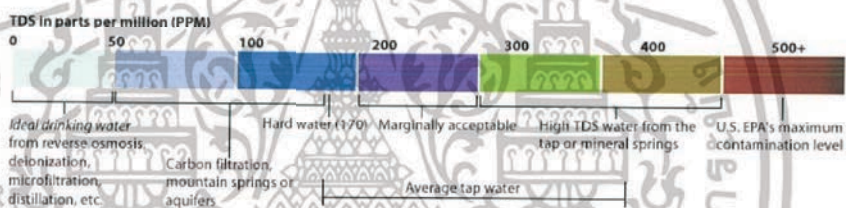
- 1) กรองโดยใช้คาร์บอน (ถ่าน) รูปแบบของคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวสูงดูดซับ (หรือเกาะติด) สารประกอบหลายชนิดรวมทั้งสารพิษบางอย่าง น้ำจะถูกส่งผ่านถ่านกัมมันต์จะลบสิ่งปนเปื้อนดังกล่าว
- 2) กรองน้ำด้วยระบบ Reverse Osmosis โดยการบังคับให้น้ำภายใต้ความดันที่ดีกับเมมเบรนกึ่งดูดซึมที่ช่วยให้โมเลกุลของน้ำที่จะผ่านในขณะที่ยังไม่รวมการปนเปื้อนมากที่สุด RO เป็นวิธีการอย่างละเอียดมากที่สุดของขนาดใหญ่น้ำให้บริสุทธิ์ใช้ได้
- 3) การกลั่น ที่เกี่ยวข้องกับการต้มน้ำเดือดในการผลิตไอน้ำ ไอน้ำแล้วขึ้นไปถึงพื้นผิวเย็นที่จะสามารถรวมตัวกลับเข้ามาในของเหลวและจะถูกเก็บรวบรวม เพราะสารที่ละลายจะไม่ระเหยได้ตามปกติพวกเขายังคงในการแก้ปัญหาเดือด
- 4) Deionization (DI) น้ำจะถูกส่งผ่านระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ ไอออนเยื่อเลือกให้ประจุบวกจะแยกออกจากน้ำที่มีต่อขั้วลบและไอออนลบต่อขั้วบวก มีความบริสุทธิ์สูง แตกตัวเป็นไอออนผลน้ำ น้ำมักจะถูกส่งผ่านหน่วยการ Reverse Osmosis แรกที่จะลบสิ่งปนเปื้อนอินทรีย์สารลดแรงตึง

เครื่องวัด TDS โดยหลักการพื้นฐานจะวัดประจุไฟฟ้า (EC) โดยมีอิเล็กโทรดสองอันวางห่างกันออกไป และจุ่มใส่ลงไปในน้ำและใช้ในการวัดค่าประจุไฟฟ้าในน้ำ ผลที่ได้คือการตีความโดยเครื่องวัด TDS และแปลงเป็นรูปส่วนในล้านส่วน (ppm) ถ้าน้ำไม่มีวัสดุที่ละลายน้ำได้และมีความบริสุทธิ์ก็จะมีตัวเลข 0 ส่วนในล้านส่วน ตรงกันข้ามถ้าน้ำที่เต็มไปด้วยวัสดุที่ละลายอยู่ในน้ำส่งผลให้ค่าที่วัดได้เป็น

สัดส่วนกับปริมาณของสารที่ละลายได้ แสดงตัวอย่างการวัดได้ในรูปที่ 2.11 และแสดงระดับของ TDS ของน้ำแต่ละชนิดในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการวัด TDS



รูปที่ 2.12 แสดงระดับของ TDS ของน้ำแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 ภาษาที่ใช้สั่งงานโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์<sup>[14]</sup>

คณะกรรมการวิชาการด้านไฟฟ้าระหว่างประเทศ หรือไออีซี (IEC ย่อมาจาก International Electrotechnical Commission) กำหนดมาตรฐานไออีซี 1331 เป็นมาตรฐานสากลของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ ประมาณเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2535 ปัจจุบันเปลี่ยนมาตรฐานไออีซี 1131 เป็น มาตรฐานไออีซี 61131

วัตถุประสงค์ของมาตรฐานโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ ไออีซี 61131 ต้องการให้ผู้ผลิตโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ให้มีมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก โดยเฉพาะภาษาของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์เป็นภาษาสากลสำหรับโปรแกรมของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ทุกเครื่อง มาตรฐานไออีซี61131 แบ่งออกเป็นมาตรฐานย่อย 8 ส่วน คือ

- 1) มาตรฐานไออีซี 61131-1 คุณสมบัติทั่วไป (General Information) คือ มาตรฐานเกี่ยวกับคุณสมบัติของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ อุปกรณ์ประกอบของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์สนับสนุนของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์
- 2) มาตรฐานไออีซี 61131-2 คุณสมบัติของอุปกรณ์ประกอบและการทดสอบ (Equipment Requirements and Tests) คือมาตรฐานของอุปกรณ์ประกอบของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ สภาพแวดล้อมการปฏิบัติงาน การขนย้าย และการเก็บบำรุงรักษาอุปกรณ์ประกอบของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ การทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ประกอบของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วย การทดสอบคุณสมบัติทางกล การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า และการทดสอบ สภาพแวดล้อมการปฏิบัติงานของอุปกรณ์ประกอบของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์
- 3) มาตรฐานไออีซี 61131-3 ภาษาโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ (Programming Language) คือมาตรฐานโปรแกรมของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ และภาษาโปรแกรมเมเบิล คอนโทรลเลอร์มาตรฐาน
- 4) มาตรฐานไออีซี 61131-4 แนะนำการใช้ (User Guidelines) คือมาตรฐานการติดตั้งโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ แนวทางการใช้งานโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์และมาตรฐาน ความปลอดภัยของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์
- 5) มาตรฐานไออีซี 61131-5 การสื่อสาร (Messaging Service Specification) คือมาตรฐานการสื่อสารและเครือข่ายโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ รายละเอียดและรูปแบบการสื่อสารระหว่างโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์
- 6) มาตรฐานไออีซี 61131-6 สวอนสำหรับมาตรฐานเพิ่มเติมในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7) มาตรฐานไออีซี 61131-7 การควบคุมฟัซซี (Fuzzy Control Programming) คือ มาตรฐาน เกี่ยวกับการควบคุมฟัซซี และการเขียนโปรแกรมควบคุมฟัซซี
- 8) มาตรฐานไออีซี 61131-8 แนวทางการใช้และการเขียนโปรแกรม (Guidelines for the Application and Implementation of Programming Languages) คือแนวทางการ เขียนโปรแกรมของโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ และขอบเขตของโปรแกรม

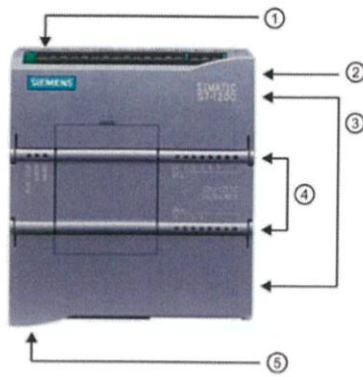
## 2.11 โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ SIEMENS Simatic S7-1200<sup>[14]</sup>

โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ SIEMENS Simatic S7-1200 สามารถเขียนโปรแกรมคำสั่ง ผ่านระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows OS) ได้ ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการเขียน โปรแกรมคำสั่ง

Siemens S7-1200 เป็นคอนโทรลเลอร์ที่สามารถประยุกต์การใช้งานในการควบคุมอุปกรณ์ ได้ หลากหลายชนิด ซึ่งรองรับความต้องการของอุตสาหกรรมระบบอัตโนมัติ มีการออกแบบที่ กะทัดรัด มี ชุดคำสั่งที่มีประสิทธิภาพช่วยให้ S7-1200 ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาที่เหมาะสมเพื่อการใช้งาน สำหรับการ ควบคุมที่หลากหลาย S7-1200 ประกอบไปด้วย ไมโครโพรเซสเซอร์, แหล่งจ่ายไฟแบบ รวม, วงจรอินพุตและเอาต์พุต, มี PROFINET ในตัว, I/O ควบคุมมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงและมี อินพุต แอนาล็อกบนบอร์ด

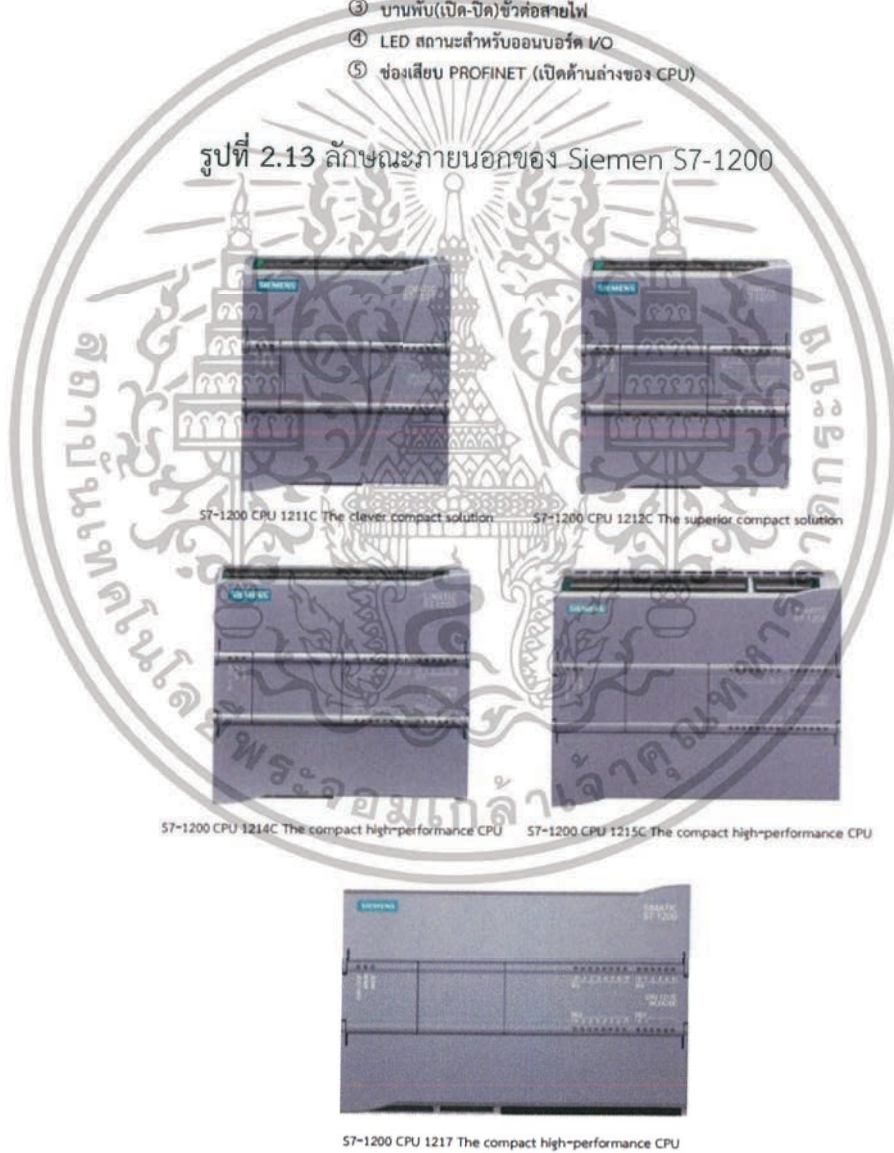
ใน CPU ของ S7-1200 ประกอบด้วยตรรกะที่จำเป็นในการตรวจสอบและควบคุมอุปกรณ์ ต่างๆ CPU จะป้อนข้อมูลและเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์ตามตรรกะของโปรแกรมผู้ใช้งาน โดยวิธีการ Boolean logic, Counting, Timing, Timing complex math operations และอุปกรณ์อื่นๆ

โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ S7-1200 มีพอร์ต PROFINET สำหรับการสื่อสารผ่าน เครือข่าย PROFINET โมดูลเพิ่มเติมมีไว้สำหรับการสื่อสารผ่าน PROFIBUS, GPRS, RS485, เครือข่าย RS232, IEC, DNP3 และ WDC ลักษณะภายนอก รวมทั้งคุณสมบัติของ PLC S7-1200 จะแสดงในรูป ที่ 2.13, 2.14 และตารางที่ 2.5



- ① ปลั๊กต่อไฟฟ้า
- ② ช่องเสียบการ์ดหน่วยความจำ
- ③ บานพับ(เปิด-ปิด)ข้อต่อสายไฟ
- ④ LED สถานะสำหรับออนบอร์ด I/O
- ⑤ ช่องเสียบ PROFINET (เปิดด้านล่างของ CPU)

รูปที่ 2.13 ลักษณะภายนอกของ Siemen S7-1200



ภาพที่ 2.14 CPU รุ่นต่างๆ ของ SIEMENS S7-1200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของ CPU S7-1200

คุณสมบัติของ CPU		CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
ขนาด (มม.)		90 x 100 x 75		110 x 100 x 75	130 x 100 x 75	150 x 100 x 75
User memory	Work	50 Kbytes	75 Kbytes	100 Kbytes	125 Kbytes	150 Kbytes
	Load	1 Mbyte		4 Mbytes		
	Retentive	10 Kbytes				
จำนวนอินพุต/เอาต์พุต	Digital	6 inputs/4 outputs	8 inputs/6 outputs		14 inputs/10 output	
	Analog	2 inputs			2 inputs/2 output	
Process image size	Inputs (I)	1024 bytes				
	Outputs (Q)	1024 bytes				
Bit memory (M)		4096 bytes		8192 bytes		
การขยาย Signal module (SM)		None	2	8		
Signal Board (SB), Battery Board (BB), or Communication Board (CB)		1				
Communication Module (CM) (left-side expansion)		3				
High-speed counters	Total	Up to 6 configured to use any built-in or SB inputs				
	1 MHz					lb.2 to lb.5
	100/180 kHz	la.0 to la.5				
	30/120 kHz	la.6 to la.7		la.6 to lb.5		la.6 to lb.1
	200 kHz					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของ CPU S7-1200 (ต่อ)

คุณสมบัติของ CPU		CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
Pulse outputs	Total	Up to 4 configured to use any built-in or SB outputs				
	1 MHz	-				Qa.0 to Qa.3
	100 kHz	Qa.0 to Qa.3				Qa.4 to Qb.1
	20 kHz	-	Qa.4 to Qa.5	Qa.4 to Qb.	-	
Memory card		SIMATIC Memory card (optional)				
Real time clock retention time		20 days, typ./12 day min. at 40 degrees C (maintenance-free Super Capacitor)				
PROFINET Ethernet communication port		1				2
Real math execution speed		2.3 $\mu$ s/instruction				
Boolean execution speed		0.08 $\mu$ s/instruction				

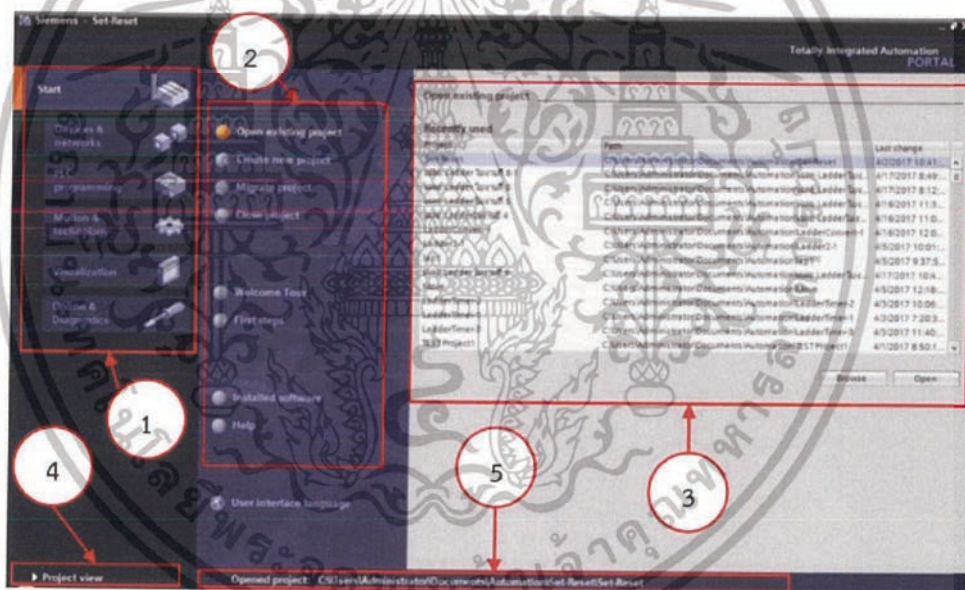
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 TIA Portal Version 13<sup>[14]</sup>

Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) คือ ซอฟต์แวร์ที่แผนกอินดัสตรี ออโตเมชัน ไดรฟ์ เทคโนโลยี บริษัท ซีเมนส์ จำกัด ได้คิดค้นขึ้น เพื่อพัฒนาและทดสอบการทำงานของระบบอัตโนมัติ ผู้ใช้สามารถพัฒนาและทดสอบการทำงานของระบบอัตโนมัติได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ช่วยร่นระยะเวลาการพัฒนาโปรแกรมให้สั้นลงกว่าการทำงานแบบเก่า ที่มีรูปแบบการพัฒนาโปรแกรมที่แยกส่วนออกจากกัน ซึ่งต้องใช้โปรแกรมหลายโปรแกรมในการพัฒนาระบบการควบคุมแบบอัตโนมัติ

### 2.12.1 ส่วนประกอบหน้าต่างโปรแกรม TIA Portal Version 13

#### 2.12.1.1 Portal view หรือหน้าต่างแรกของ โปรแกรม TIA Portal V13



รูปที่ 2.15 หน้าต่าง Portal view

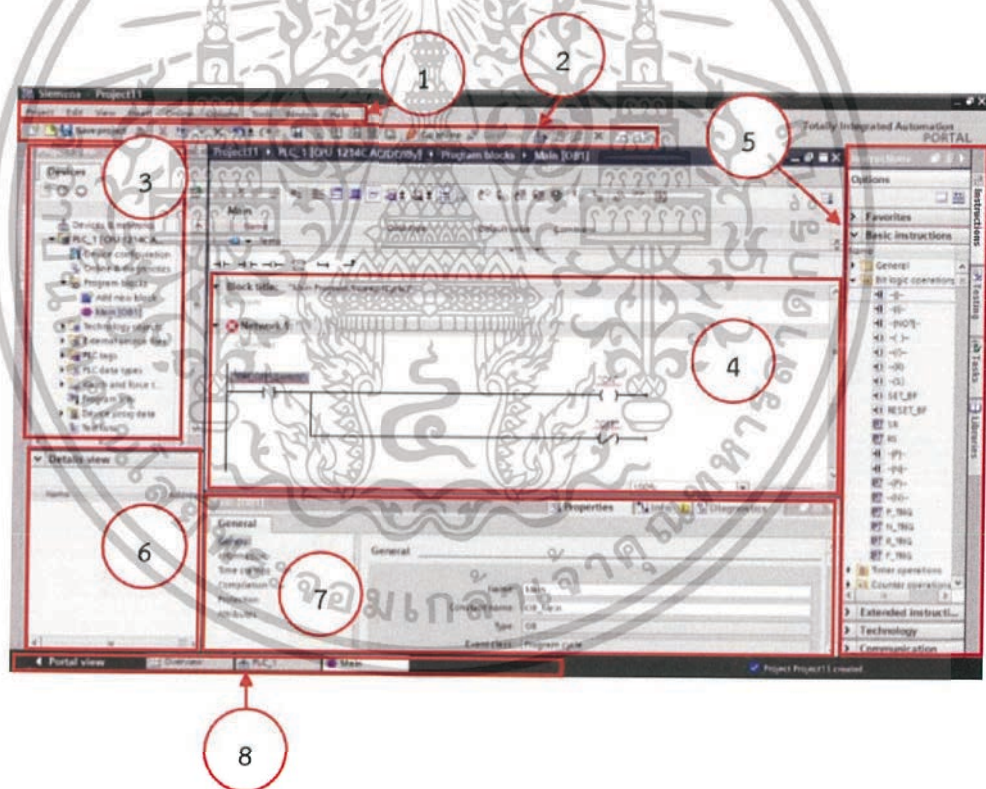
จากรูปที่ 2.15 หน้าต่าง Portal view ประกอบไปด้วย

- 1) Portals for the different tasks ฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับจัดการโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ ซึ่งการจัดการของโปรแกรมเมเบิลนั้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับติดตั้งของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) Actions for the selected portal เมนูสำหรับการดำเนินงานต่างๆ ในโปรแกรม เช่น การสร้างโปรเจกใหม่ การเปิดโปรเจกเก่า และยังมีเมนู Help สำหรับช่วยเหลือเรื่องต่างๆในโปรแกรม
- 3) Selection panel for the selected action จะแสดงโปรเจกที่เคยสร้างไว้ ซึ่งช่วยให้ง่ายต่อการค้นหาโปรเจกที่เคยสร้างไว้
- 4) Switch to project view สำหรับเปลี่ยนมุมมองของหน้าต่างโปรแกรม
- 5) Display of the project that is currently open แลพบแสดงข้อมูลโพลเดอร์ที่อยู่ของโปรเจก

### 2.12.1.2 Project view หรือหน้าต่างการทำงาน สำหรับสร้างและแก้ไขโปรเจก



รูปที่ 2.16 Project view

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 หน้าต่าง Project view ประกอบไปด้วย

- 1) Menu bar หรือแถบเมนู ประกอบด้วยชุดคำสั่งต่างๆ สำหรับการทำงานในโปรแกรม
- 2) Toolbar หรือแถบเครื่องมือ ประกอบด้วยปุ่มเครื่องมือต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้งาน ช่วยให้การเข้าถึงคำสั่งได้ง่ายและรวดเร็วกว่าผ่านทางแถบเมนู
- 3) Project tree หรือแถบโครงสร้างของโปรเจค ช่วยให้การเข้าถึงส่วนประกอบต่างๆ ของโปรเจคได้ง่ายขึ้น และการดำเนินงานต่างๆ ในโปรเจคได้ง่าย เช่น เพิ่ม/แก้ไข ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรเจค (เช่น Block, Device) และการแก้ไขส่วนประกอบของโปรเจค เช่น การแก้ไข Tag, Data types การเชื่อมต่อโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ เป็นต้น
- 4) Work area พื้นที่สำหรับสร้างหรือแก้ไขโปรแกรม
- 5) Task cards ภายใน Task cards จะประกอบไปด้วยกลุ่มคำสั่งต่างๆ แถบนี้จะอยู่ทางด้านขวาของหน้าจอ
- 6) Details view จะแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ ข้อความ หรือ Tags ที่เลือก
- 7) Inspector window ภายในแถบนี้จะแสดงข้อมูลเพิ่มเติมของวัตถุที่เลือกหรือแสดงการดำเนินงานของโปรเจค
- 8) Switching to portal view สำหรับเปลี่ยนมุมมองของหน้าต่างโปรแกรมไปเป็นมุมมอง portal

### 2.12.2 แถบเครื่องมือภายในโปรแกรม TIA Portal Version 15

เครื่องมือพื้นฐานส่วนใหญ่ในแถบเครื่องมือของโปรแกรม TIA Portal Version 13 นั้น จะเหมือนโปรแกรมอื่น ๆ เช่น ปุ่มสร้าง, ปุ่มบันทึก เป็นต้น แต่ก็ยังมีบางปุ่มที่มีเพิ่มขึ้นมาเพื่อใช้ในโปรแกรม TIA Portal โดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.13 การสื่อสารแบบ Modbus Protocol<sup>[20]</sup>

โปรโตคอล MODBUS เป็นการสื่อสารข้อมูลในลักษณะ Master/Slave ซึ่งเป็นการสื่อสารจากอุปกรณ์แม่ (Master) เครื่องเดียว ส่วนใหญ่มักเป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์แสดงผล HMI ไปยังอุปกรณ์ลูก (Slave) ได้หลาย ๆ เครื่อง โดยสามารถกำหนดหมายเลขอุปกรณ์ได้สูงสุด 255 เครื่อง โดยมีลักษณะการส่งข้อมูล 2 แบบ คือ ข้อมูลแบบแอสกี (ASCII) และข้อมูลแบบเลขฐานสอง (Binary) ในโปรโตคอล MODBUS ที่สื่อสารข้อมูลแบบ ASCII จะเรียก MODBUS ASCII และโปรโตคอล MODBUS ที่สื่อสารข้อมูลแบบเลขฐานสอง จะเรียก MODBUS RTU ทำให้มีความแตกต่างในการกำหนดค่าพอร์ตสื่อสาร

การรับส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล MODBUS สามารถเลือกได้ 2 โหมด คือ โหมด ASCII และโหมด RTU ซึ่งทั้ง 2 โหมดนี้มีความแตกต่างกันที่การกำหนดรูปแบบของชุดข้อมูลภายในเฟรม จะเลือกโหมดใดก็ได้แต่มีเงื่อนไขว่า อุปกรณ์ทุกตัวที่ต้องร่วมกันอยู่ในบัสหรือเครือข่ายเดียวกัน จะต้องตั้งให้เลือกใช้โหมดเดียวกันทั้งหมด ดังรูปที่ 2.17

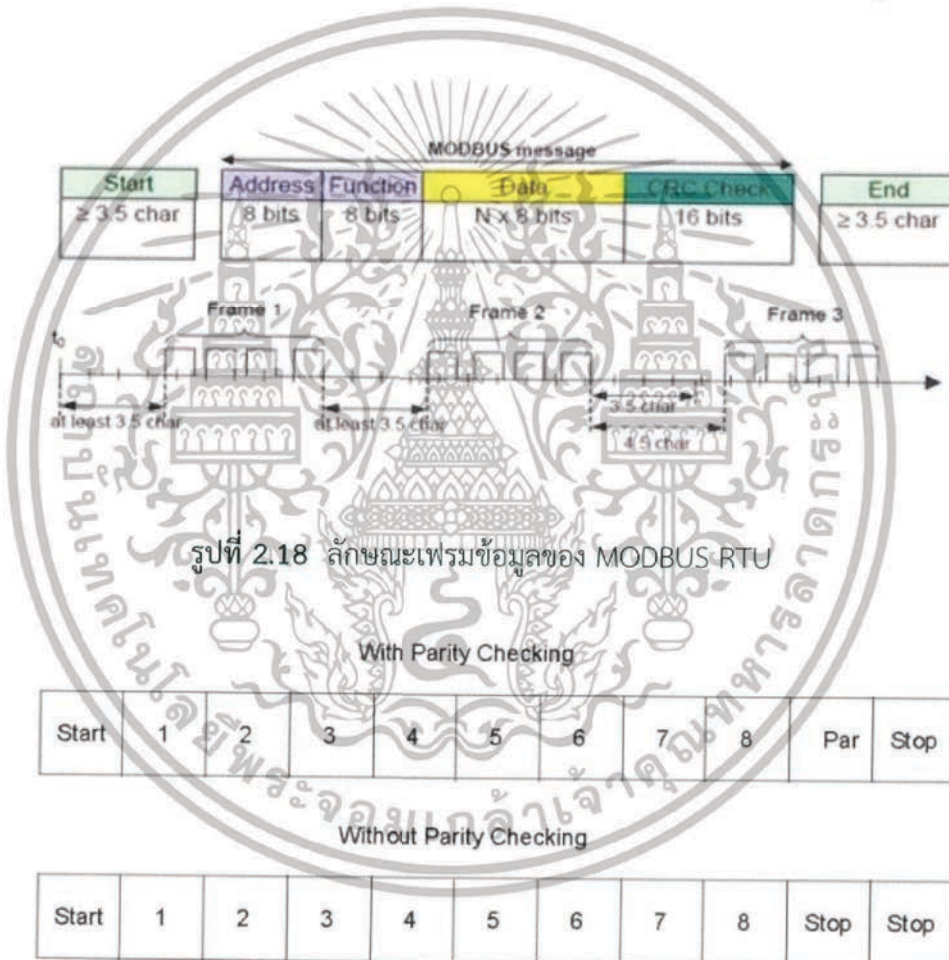


รูปที่ 2.17 การติดต่อสื่อสารแบบ Master/Slave

### 2.13.1 MODBUS RTU

เฟรมข้อมูลในโหมด RTU ประกอบด้วยข้อมูลแสดงตำแหน่งแอดเดรส 1 ไบต์, หมายเลขฟังก์ชัน 1 ไบต์, ข้อมูลที่ทำการรับส่งจำนวนมากสุดไม่เกิน 252 ไบต์ และรหัสตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแบบ CRC (Cyclical Redundancy Checking) ขนาด 2 ไบต์ ค่า CRC นี้เป็นค่าที่คำนวณมาจากข้อมูลทุกไบต์ ไม่รวมบิต Start, Stop และ Parity Check โดยที่ตัว Slave ตัวที่ส่งข้อมูลออกมาจะสร้างรหัส CRC แล้วส่งตามท้ายไบต์ข้อมูลออกมา หลังจากนั้นเมื่อ Master ได้รับเฟรม

ข้อมูลและถอดข้อมูลออกจากเฟรมแล้วจะทำการคำนวณค่า CRC ตามสูตรเดียวกับ Slave เพื่อทำการเปรียบเทียบค่า CRC ทั้ง 2 ค่าว่าตรงกันหรือไม่ หากไม่ตรงกันแสดงว่าเกิดความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลในโหมด RTU การรับส่งข้อมูล 1 ไบต์ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลส่วนใดภายในเฟรมจะต้องทำการส่งบิตข้อมูลรวม 11 บิต คือ บิตเริ่มต้น (Start) 1 บิต, บิตข้อมูล 8 บิต, บิตตรวจสอบ Parity ของข้อมูล 1 บิตและบิตหยุด 1 บิต (Stop) 1 บิต หรือหากเลือกแบบไม่มีบิต Parity ก็จะเป็นแบบ Stop แทน 2 บิต สำหรับการกำหนดให้มีบิต Parity นั้น สามารถเลือกเป็นแบบคู่ (Even Parity) หรือคี่ (Odd Parity) ก็ได้ และหากต้องการออกแบบให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่มีใช้กันทั่วไปมากที่สุด ควรเลือกแบบคู่โดยที่สามารถปรับเปลี่ยนเป็นแบบคี่หรือไม่มีการตรวจสอบ Parity (No Parity) ได้ด้วย ดังรูปที่ 2.18 และ 2.19



รูปที่ 2.19 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ MODBUS RTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.13.2 MODBUS ASCII

การรับส่งข้อมูลในโหมด ASCII นั้นมีความแตกต่างจากโหมด RTU ตรงที่ในโหมด RTU ข้อมูลที่จะส่งขนาด 1 ไบต์ นำมารวมกับบิตประกอบต่างๆ ก็สามารถส่งออกไปได้เลย แต่สำหรับโหมด ASCII จะมองข้อมูล 1 ไบต์ นั้นออกมาเป็นตัวอักษร 2 ตัว เช่น ค่า 0x5B ซึ่งเป็นเลขฐานสิบหก ก็จะถูกมองเป็นตัวอักษร '5' และตัวอักษร 'B' จากนั้นก็จะทำการค้นหารหัส ASCII ของตัวอักษรทั้ง 2 ตัวนั้น ซึ่งได้แก่ 0x35 สำหรับ '5' และ 0x42 สำหรับ 'B' แล้วทำการส่งรหัส ASCII ทั้ง 2 คำนี้ออกไป ซึ่งจะได้ผลเท่ากับการส่งค่า 0x5B ซึ่งเป็นข้อมูลขนาด 1 ไบต์ ในโหมด RTU

การส่งข้อมูลในโหมด ASCII จะต้องทำงานมากกว่าการส่งข้อมูลในโหมด RTU ซึ่งทำให้อัตราเร็วในการสื่อสารมีค่าต่ำกว่า สาเหตุที่เป็นแบบนี้ก็เพราะว่าโหมด ASCII ได้ถูกออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์ที่ไม่มีความสามารถในการกำหนดช่วงระยะเวลาห่างของการส่งเฟรมข้อมูล อย่างเช่น ในโหมด RTU ที่อุปกรณ์สามารถกำหนดได้ว่าจะส่งเฟรมข้อมูลแต่ละเฟรมออกมาด้วยเวลาห่างกันเท่าใด และอุปกรณ์ที่รองรับข้อมูลก็ต้องสามารถตรวจจับและแยกแยะได้ว่าเฟรมข้อมูลแต่ละเฟรมที่รับเข้ามานั้นมีระยะเวลาห่างกันภายในช่วงเวลาที่กำหนดหรือไม่ เพื่อให้สามารถตรวจสอบหาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเฟรมข้อมูลแต่ละเฟรมได้ แต่ในความเป็นจริงยังมีอุปกรณ์อีกหลายชนิดที่ไม่มีความสามารถพิเศษนี้ จึงต้องใช้วิธีอื่นที่จะช่วยให้สามารถรับรู้จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเฟรมข้อมูลได้ นั่นได้แก่โหมด ASCII ซึ่งในโหมดนี้จะเริ่มต้นเฟรมข้อมูลด้วยการส่งรหัส ASCII ที่กำหนดให้หมายถึงจุดเริ่มต้น คือ 0x3A ซึ่งตรงกับตัวอักษร ':' ตามด้วยแอดเดรสของ Slave, หมายเลขฟังก์ชัน, ข้อมูล, รหัสตรวจสอบสอง RLC และรหัส ASCII 2 ตัว ที่กำหนดให้หมายถึงจุดสิ้นสุด คือ รหัส 0x0D และ 0x0A คือรหัส CR (Carriage Return) และ LF (Line Feed) ตามลำดับ โดยในขณะที่บัสข้อมูลว่างจากการรับส่งข้อมูล อุปกรณ์ทุกตัวจะคอยตรวจสอบข้อมูลในบัสว่ามีการส่งรหัส ASCII ของ ':' ออกมาหรือไม่ ถ้ามีก็จะรับรู้ว่าจะขณะนี้ได้มีการเริ่มต้นส่งเฟรมข้อมูลออกมาแล้ว ก็จะเข้ากระบวนการรับข้อมูลต่อไป ดังรูปที่ 2.20 และ 2.21

Start	Address	Function	Data	LRC	End
1 char :	2 chars	2 chars	0 up to 2x252 char(s)	2 chars	2 chars CR,LF

รูปที่ 2.20 ลักษณะเฟรมข้อมูลของ MODBUS ASCII

Start	1	2	3	4	5	6	7	Par	Stop
-------	---	---	---	---	---	---	---	-----	------

Without Parity Checking

Start	1	2	3	4	5	6	7	Stop	Stop
-------	---	---	---	---	---	---	---	------	------

รูปที่ 2.21 ลักษณะข้อมูลแต่ละไบต์ของ MODBUS ASCII

### 2.13.3 MODBUS TCP/IP

MODBUS TCP/IP ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจะนำการสื่อสารแบบ Internet มาใช้กับอุปกรณ์จำพวก Ethernet Device ระยะในการใช้งานสำหรับการเดินสาย (สาย LAN) คือ 100 เมตร โดยสามารถขยายระยะในการสื่อสารได้โดยการใช้อุปกรณ์ Repeater หรือในระบบ LAN จะเรียกอุปกรณ์นี้ว่า Hub หรือ Switch ก็จะสามารถลากสายได้อีก 100 เมตร และยังสามารต่อ Repeater ขยายระยะทางได้โดยไม่จำกัด ในการสื่อสารโดยทั่วไปมีความเร็ว 100,000,000 บิตต่อวินาที (100 Mbps) และเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้ไม่จำกัดจำนวน ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ลักษณะการติดต่อสื่อสารแบบ TCP/IP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODBUS ASCII/RTU ที่จะติดต่อสื่อสารกับ MODBUS TCP เพื่อให้ใช้งานในเครือข่าย Ethernet จะใช้ Gateway ติดต่อและแปลงรูปแบบการสื่อสารข้อมูล โดยการสื่อสารของ MODBUS RTU/ASCII จะเป็นการสื่อสารผ่านทาง RS-232/422/485 นั้นจะถูก Gateway แปลงให้เป็น MODBUS TCP เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารในเครือข่าย Ethernet ต่อไป ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การแปลง MODBUS Serial เป็น MODBUS Ethernet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

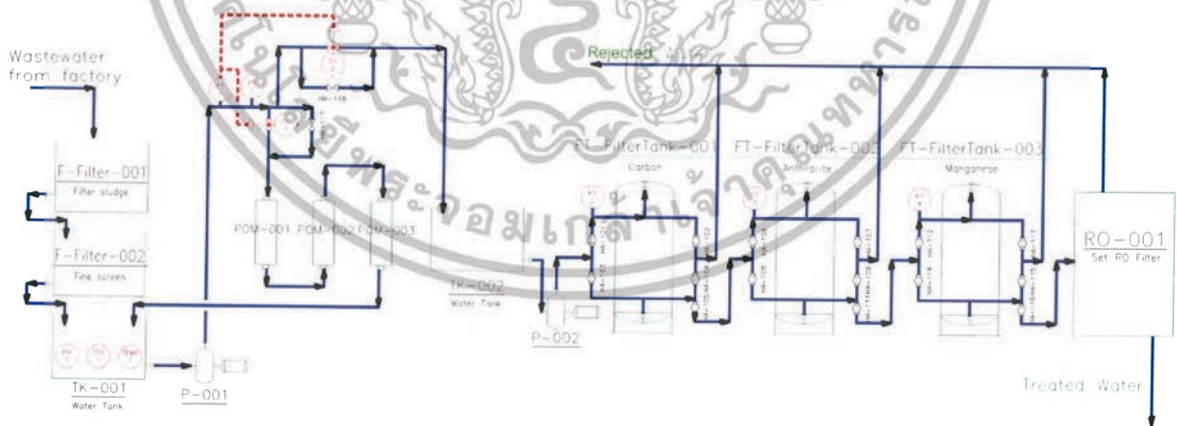
## วิธีการดำเนินการ

ในส่วนของบทนี้จะนำเสนอวิธีดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า ซึ่งจะกล่าวถึงการออกแบบ และหลักการเลือกใช้งานอุปกรณ์โดยมีการอธิบายอุปกรณ์ที่เลือกใช้งานระบบ ขนาด รูปร่าง ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ และมีการอธิบายการทำงานของระบบอย่างละเอียด ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าได้แบ่งการออกแบบและการสร้างงานออกเป็น 3 ส่วน โดยจะอธิบายในหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์บำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า
2. การออกแบบและสร้างระบบควบคุมการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า
3. การออกแบบและสร้างระบบไฟฟ้าในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า
4. การเลือกใช้เครื่องมือวัด
5. การอ่านค่าจากเครื่องมือวัด

### 3.1 การออกแบบและหลักการเลือกใช้อุปกรณ์

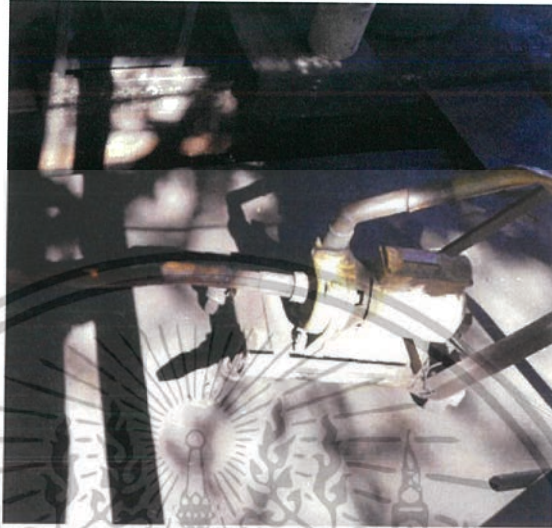
ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ อุปกรณ์บำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า, ระบบควบคุมการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าของระบบควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า



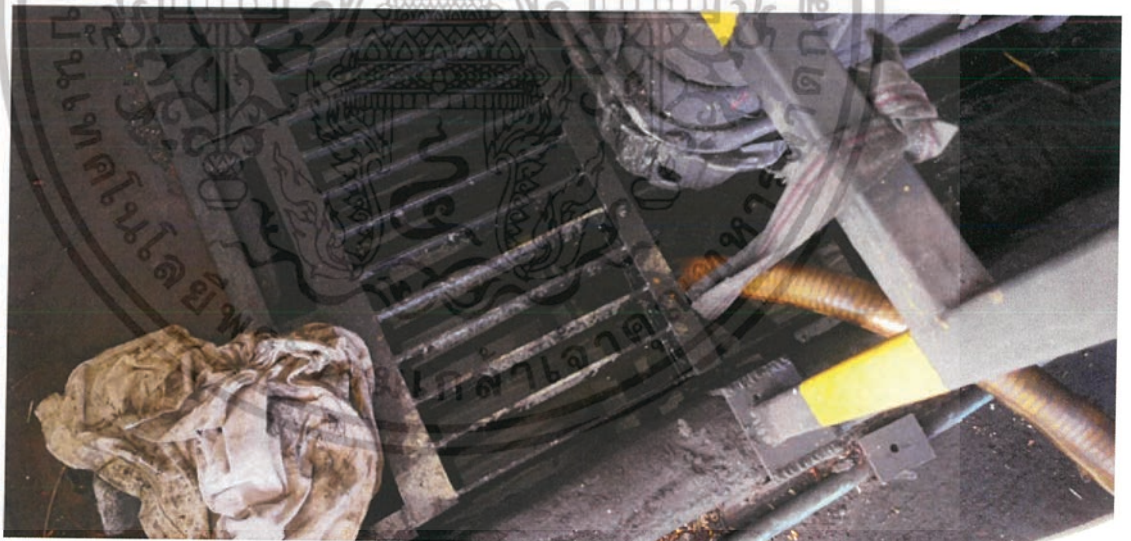
รูปที่ 3.1 โครงสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.1 ส่วนที่ 1 ระบบการไหลเพื่อบำบัดน้ำเสีย เริ่มจากการสูบน้ำจากท่อน้ำทิ้งของโรงงานไหลผ่านการกรองตะกอนที่มีขนาดใหญ่ ๆ ในน้ำยกตัวอย่างเช่น ดินโคลนและโลหะหนัก โดยจะผ่านเครื่อง Centifugo ซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายเครื่องปั่นผ้าโดยจะทำการปั่นให้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่แห้งและติดอยู่ในนั้น ส่วนตะกอนเล็ก ๆ จะยังติดมาอยู่ในน้ำ และต่อมาจะกรองน้ำต่อโดยการใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงในรูปที่ 3.2 ตะกอนที่จมน้ำจะตกลงมาได้ถึง และในส่วนที่อยู่บน ๆ จะไหลผ่านท่อรูปตัวแอล ไปสู่ถังกรองส่วนที่ลอยน้ำต่อไป โดยถังกรองสิ่งที่จมน้ำนี้จะมีก๊อมน้ำที่ใช้ในการถ่ายตะกอนที่อยู่ใต้น้ำทิ้งไป ต่อมาจะเป็นในส่วนของถังกรองหยาบ



รูปที่ 3.2 ปั้มน้ำที่ใช้สูบน้ำจากท่อน้ำทิ้ง



รูปที่ 3.3 ท่อน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 น้ำที่สูบมาพักก่อนเข้าเครื่อง Centifugo



รูปที่ 3.5 เครื่อง Centifugo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ถังกรองตะกอนที่จมน้ำ

จะกรองส่วนที่ลอยปะปนมากับน้ำยกตัวอย่างเช่น ดิน,โคลน เป็นต้น โดยถังนี้จะอยู่ในรูปที่ 3.3 จะมีลักษณะเป็นตะแกรงอยู่ข้างบนเพื่อกรองแล้วน้ำเสียจะไหลผ่านรูที่ตะแกรงลงมาถึง และใต้ถังจะมี วาล์วเปิดปิดน้ำเพื่อต่อท่อส่งน้ำไปยังถังพักน้ำหลังจากการกรองขั้นต้นเสร็จ และจะทำการผสมน้ำเพื่อปรับค่า pH และ TDS โดยการเติมสารส้มและน้ำ RejectRO ที่ได้มาจากชุดกรองน้ำRO เพื่อให้ น้ำมีสถานะเป็นกลางและมีค่า TDS ที่ไม่สูงมากนัก



รูปที่ 3.7 ถังกรองหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



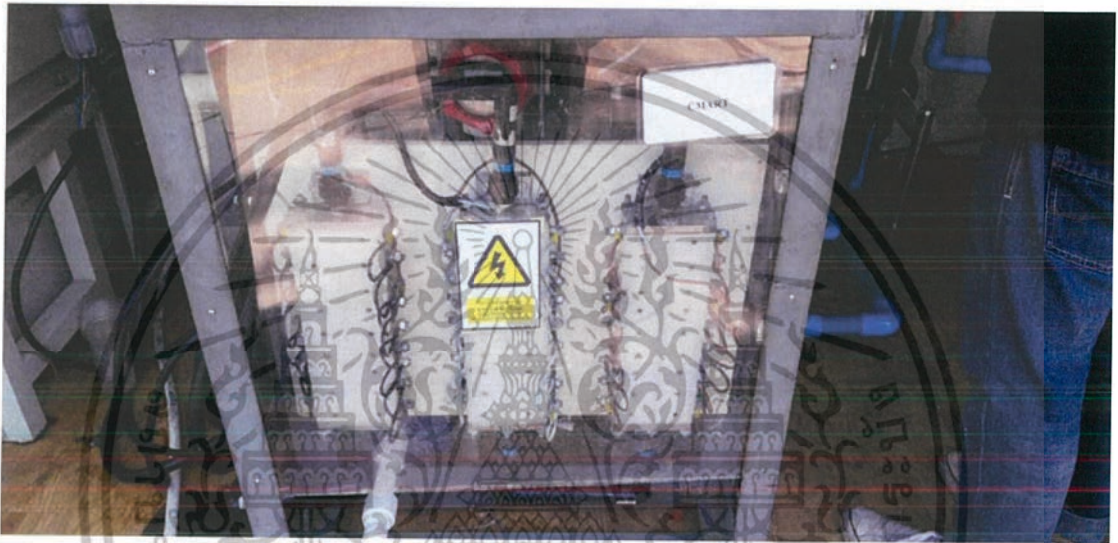
รูปที่ 3.8 ถึงพักน้ำหลังจากกรองชั้นต้นเสร็จ



รูปที่ 3.9 ถึงพักน้ำที่ 1

ที่ถึงพักน้ำที่ 1 จะมีในส่วนของเซ็นเซอร์วัดคุณภาพน้ำ โดยจะมีทั้งหมด 2 ค่าคือ pH (กรด-เบส) และ TDS (Total dissolve solid) หลังจากนั้นจะปล่อยน้ำจากถึงพักน้ำผ่านปั้มน้ำตัวที่ 1 เข้าไปยังเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า (EC) โดยจะผ่าน ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลเพื่อวัดอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งจะควบคุมน้ำโดยการปรับความแรงของปั้มน้ำที่อินเวอร์เตอร์ โดยจะควบคุมอัตราการไหลคงที่อยู่ที่ประมาณ 0.30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ ทรานสมิตเตอร์วัดความดัน วัดความดันของน้ำ โดยไฟฟ้า ที่จ่ายให้เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าแต่ละตัวจะตั้งกระแสไฟฟ้าไว้ที่ 25 แอมแปร์ และแรงดันไฟฟ้า 66 โวลต์ หลังจากผ่านเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าน้ำจะถูกไปพักเก็บที่ถึงพักน้ำที่ 1 และจะถูกปั้มน้ำสูบน้ำวนผ่านเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า เป็นเวลาประมาณ 90 นาที หลังจากนั้น Solenoid Valve เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะปิดทางฝั่งที่จะผ่านเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า แล้วไปเปิดอีกฝั่งหนึ่งไปที่ถังพักน้ำที่ 2 แทนเพื่อรอการส่งต่อไปยังการกรองอย่างละเอียดด้วยถังกรองน้ำสแตนเลส 3 ถัง โดยแต่ละถังจะบรรจุสารกรองต่างชนิดกัน โดยสารกรองที่ใช้ คือ ถ่านกัมมันต์(Activated carbon), แอนทราไซต์(Anthracite) และแมงกานีส(Manganese) ตามลำดับ และเครื่องกรองน้ำระบบ RO เพื่อดักจับตะกอนที่มีขนาดเล็กมากที่ปะปนมากับน้ำ ขั้นตอนการกรองน้ำจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที และส่งไปยังถังพักน้ำเพื่อรอการนำไปใช้งานต่อไป โดยการใช้เวลาในกระบวนการแต่ละรอบอยู่ที่ประมาณ 2 ชั่วโมง ในการกรองน้ำเสีย 600 ลิตร

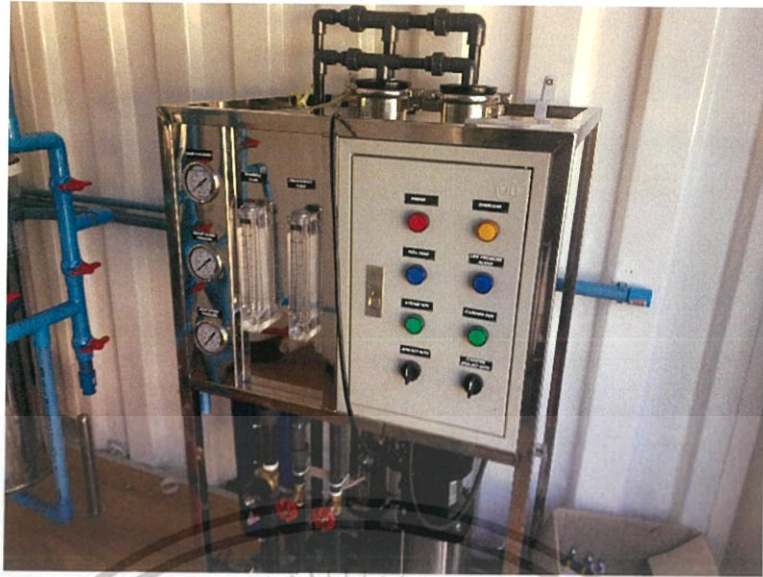


รูปที่ 3.10 เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า

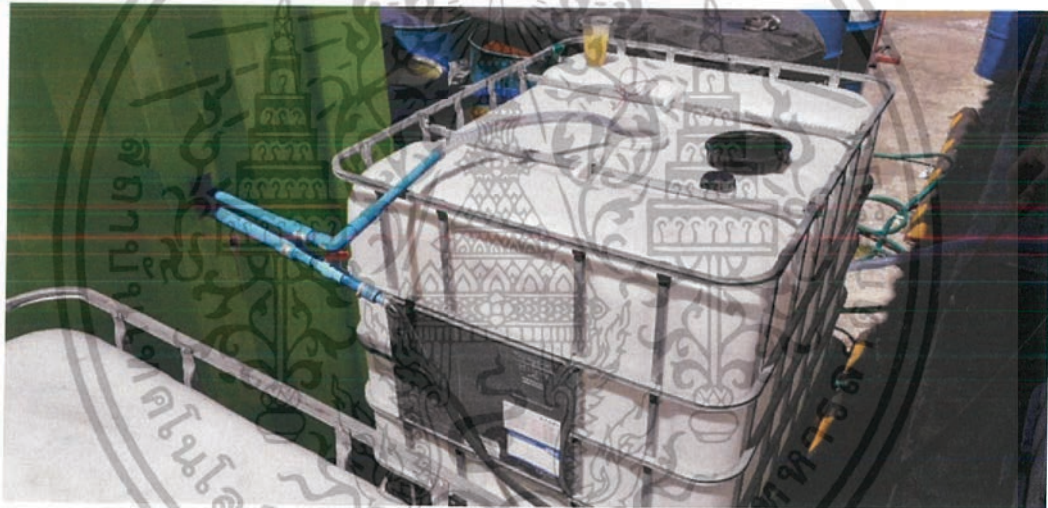


รูปที่ 3.11 ถังกรองน้ำสแตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 เครื่องกรองน้ำระบบ RO



รูปที่ 3.13 ถังเก็บน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว

### 3.1.1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์บำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า

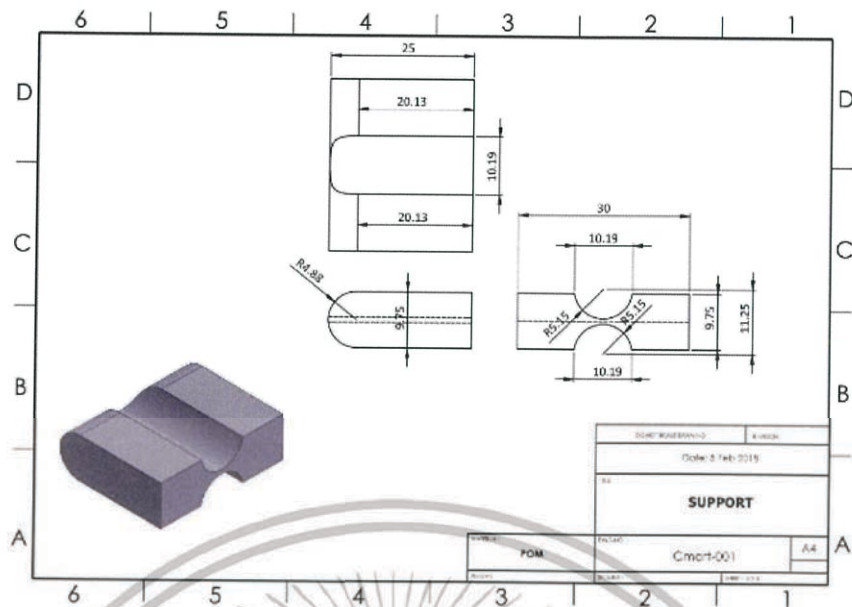
การออกแบบอุปกรณ์บำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้ามีองค์ประกอบ ดังนี้

#### 3.1.1.1 ถังกรองตะกอนและถังกรองหยาบ

ถังกรองตะกอนได้ทำการออกแบบให้มีท่อตัวแอลที่สูงจากตัวฐานของถัง เพื่อให้ตะกอนที่จมน้ำไม่สามารถไหลเข้ามาในท่อบรูปตัว L ได้ และได้ทำการออกแบบให้มีวาล์วในการปล่อยตะกอนทิ้งเมื่อตะกอนได้ถึงเยอะ ๆ และได้ทำขาตั้งให้สูงจากพื้นเพื่อสะดวกในการส่งน้ำไปยังถังกรองหยาบ ถังกรองหยาบได้ทำการออกแบบให้มีลักษณะเป็นตะแกรงเพื่อใช้กรองในส่วนของฟองที่ลอยอยู่บนน้ำเสียและเศษขยะที่ลอยปะปนมาที่มีขนาดใหญ่กว่ารูของตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.16 support

### 3.1.1.3 ถังกรองน้ำสแตนเลส

ได้เลือกใช้งานเป็นถังกรองน้ำสแตนเลส 304 ที่มีขนาดใหญ่ ใช้ทั้งหมด 3 ถัง โดยภายในถังจะบรรจุสารกรองน้ำเข้าไป เพื่อกรองสิ่งที่มีปะปนมากับน้ำ กลิ่น สี คาบสนิมเหล็ก โดยข้อดีของถังนี้คือ มีความทนทานและแข็งแรง ข้อเสีย คือ มีราคาแพง หนัก เคลื่อนย้ายลำบาก เมื่อใช้ไปนาน ๆ อาจมีสนิมเกิดขึ้นภายในได้ ถังที่เลือกมามีอัตราการกรองที่ 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ท่อน้ำเข้าออกขนาด ¾ นิ้ว เป็นวาล์วน้ำ PVC

### 3.1.1.4 เครื่องกรองน้ำระบบ RO

ได้เลือกใช้งานเครื่องกรองน้ำระบบ RO ที่มีขนาดอัตราการกรองใกล้เคียงกับถังกรองสแตนเลส โดยเลือกใช้ที่ 0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โครงสร้างเป็นสแตนเลสแข็งแรง ทนทาน ไส้กรอง RO มีความละเอียดสูงถึงระดับ 0.0001 ไมครอน

## 3.1.2 ระบบควบคุมการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า

การควบคุมการไหลจะมี 2 วาล์วหลัก ๆ ดังนี้

### 3.1.2.1 Solenoid valve

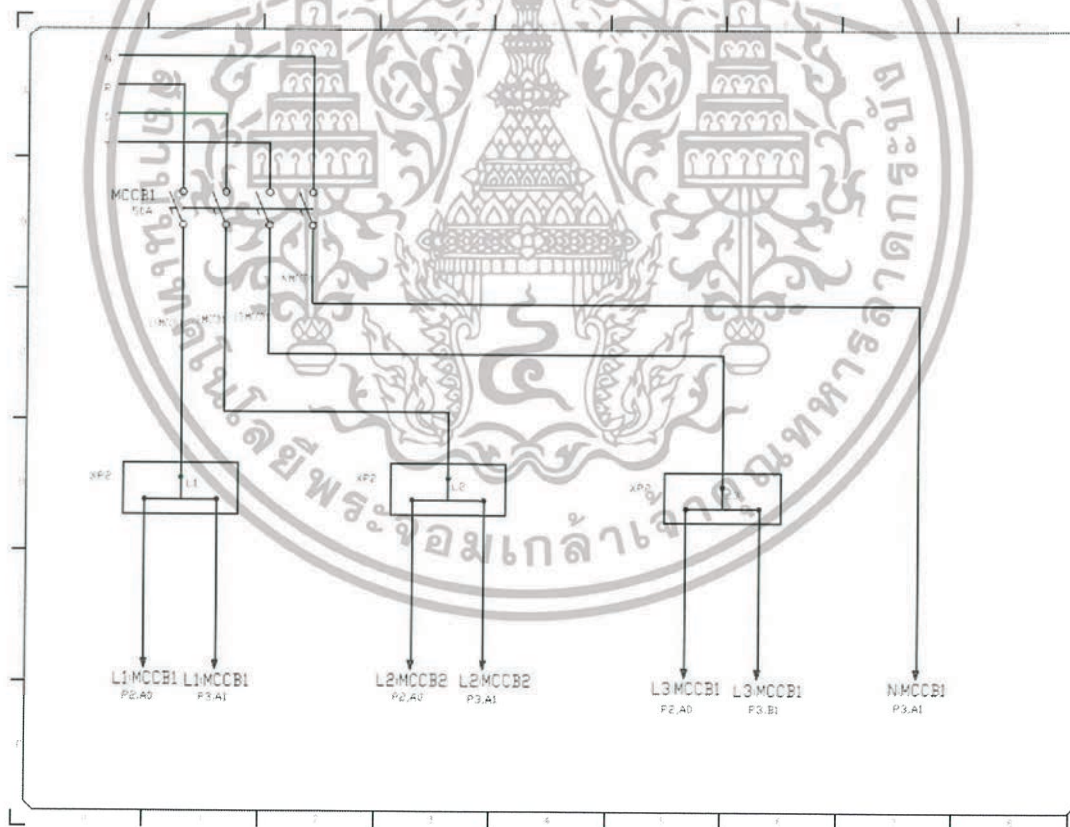
วาล์วที่ใช้ในเปลี่ยนเส้นทางการไหลของน้ำเสีย

### 3.1.2.2 Manual valve

วาล์วที่ใช้เปิดทาง By pass เพื่อทำการเปลี่ยนหรือซ่อมแซมอุปกรณ์ และวาล์วที่ใช้ในการเปลี่ยนเส้นทางของน้ำที่ถังกรองสแตนเลส

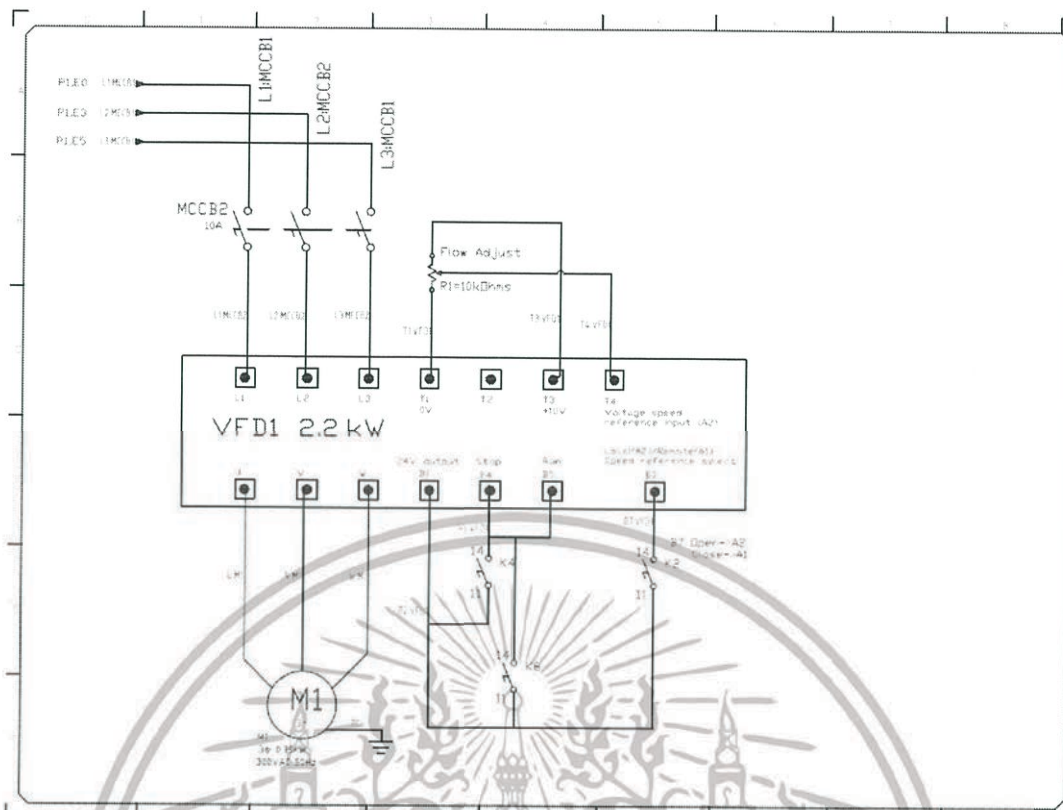
### 3.1.3 ระบบไฟฟ้าในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ Distribution, Pump, EC และไฟแสดงสถานะ ส่วนแรก Distribution ไฟที่ใช้จะเป็นไฟกระแสสลับ 3 เฟส 4 สาย และผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักที่มี AT 50 Amps และทำการแยกสาย โดยแยกสาย L1, L2 และ L3 เป็นสายละ 2 สาย ส่วนกราวด์หรือสาย N ไม่ต้องแบ่ง ส่วนที่สอง เป็นส่วนที่ใช้จ่ายไฟฟ้าให้ปั๊มน้ำ โดยเริ่มจาก MCCB2 เลือก AT 10 Amps จากตัว Spec ของ Inverter แล้วต่อเข้ากับ Inverter VFD1 2.2 kW โดยต่อตามคู่มือการใช้งานของ Inverter และส่วนที่สามใช้ในการจ่ายไฟฟ้าให้เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า (POM) มีทั้งหมด 3 เครื่องจะทำการแบ่งจ่าย 1 POM ต่อ 1 โลนไฟฟ้า โดยจะทำการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ POM โดยใช้ Solid state relay ที่ต่อกับวงจร 1-5 Volts ที่ปรับค่าได้โดยใช้วงจรแบ่งแรงดัน และในวงจรนี้มีมิเตอร์ทั้งหมด 3 ชนิดคือ แอมป์มิเตอร์ใช้วัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า, โวลท์มิเตอร์ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า และ พาวเวอร์มิเตอร์ที่ใช้วัดปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนของวงจรไฟแสดงสถานะที่ใช้ไฟฟ้า 24 VDC

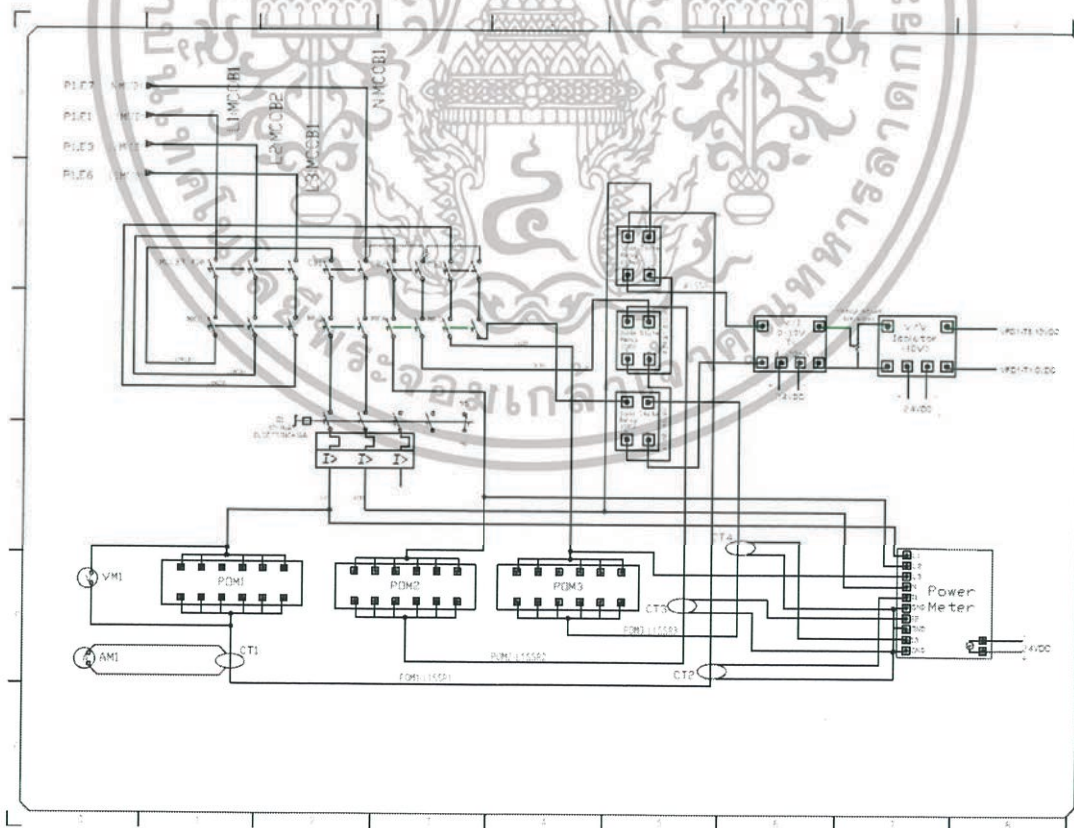


รูปที่ 3.17 วงจรแบ่งจ่ายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

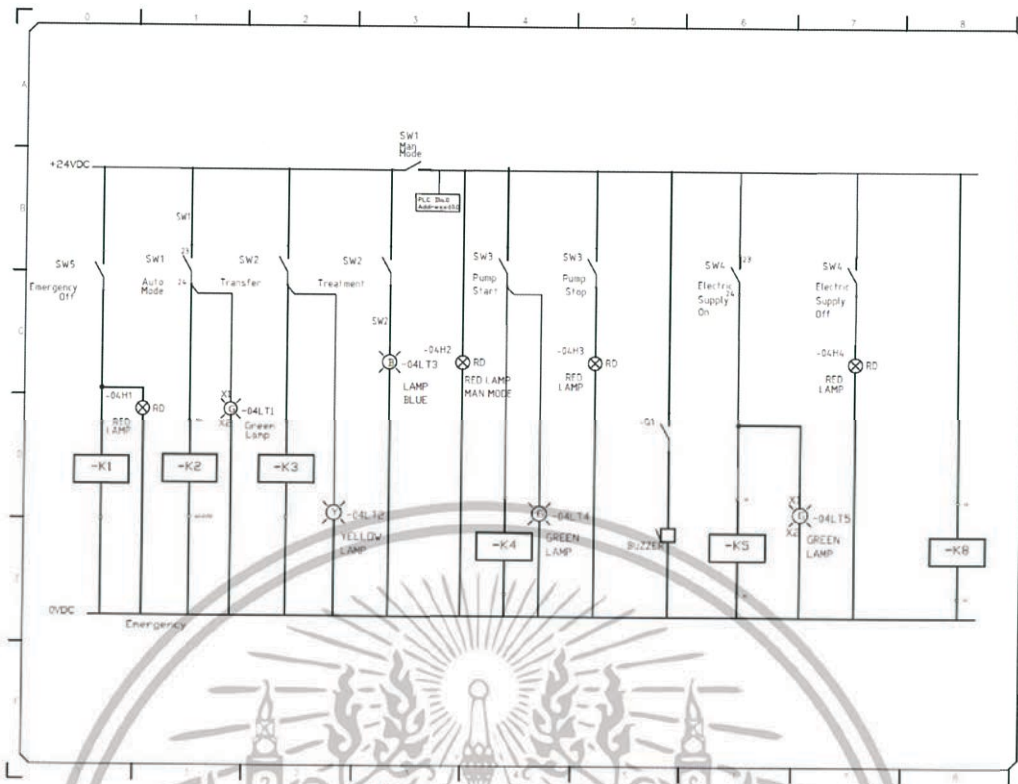


รูปที่ 3.18 วงจรจ่ายไฟฟ้าให้ Pump



รูปที่ 3.19 วงจรจ่ายไฟฟ้าให้ POM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



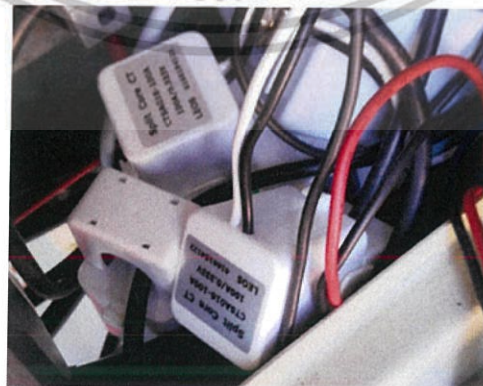
รูปที่ 3.20 วงจรไฟแสดงสถานะ

3.1.4 การเลือกใช้เครื่องมือวัด

สิ่งที่เราจะทำการวัดมีกระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, อัตราการไหล, ความดันภายในท่อ, pH และ TDS

3.1.4.1 ทรานสมิตเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า

ใช้แบบเหนี่ยวนำในการวัดใช้คล่องสายที่ต้องการจะทำการวัด และ กระแสสูงสุดอยู่ที่ 100 แอมแปร์

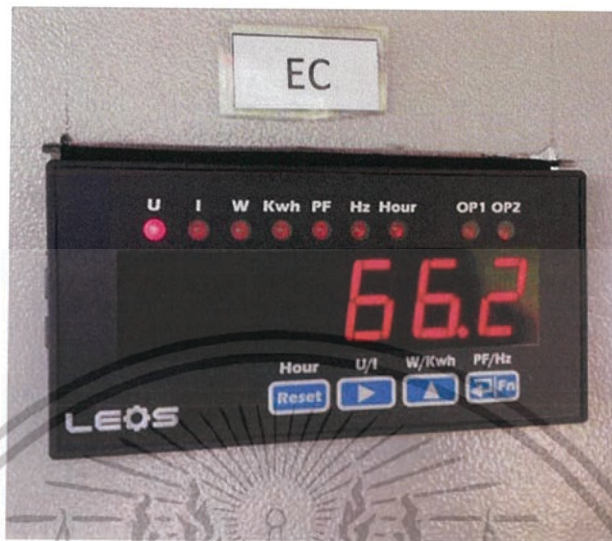


รูปที่ 3.21 ทรานสมิตเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.4.2 มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า

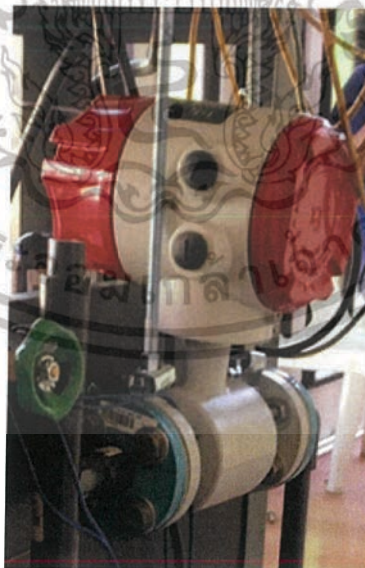
ใช้เป็นพาวเวอร์มิเตอร์ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งกระแสและแรงดันในการวัด



รูปที่ 3.22 พาวเวอร์มิเตอร์

### 3.1.4.3 ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหล

เลือกใช้เป็น Electromagnetic Flowmeter ที่มี output เป็น 4-20 mA และใช้การสื่อสารแบบ RS485



รูปที่ 3.23 ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหล

### 3.1.4.4 ทรานสมิตเตอร์วัดความเป็นกรด-เบส

เลือกใช้เป็น เป็นแบบโพรบเพื่อความสะดวกในการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 ทรานสมิตเตอร์วัดความเป็นกรด-เบส

รูปที่ 3.25 ทรานสมิตเตอร์วัดความเป็นกรด-เบส

#### 3.1.4.5 ทรานสมิตเตอร์วัดค่าTDS

เลือกใช้เป็น เป็นแบบโพรบเพื่อความสะดวกในการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ทรานสมิตเตอร์วัดค่าTDS



รูปที่ 3.27 ทรานสมิตเตอร์วัดค่าTDS

#### 3.1.4.6 มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส

ใช้วัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปทั้งหมดในการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 3.28 มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส

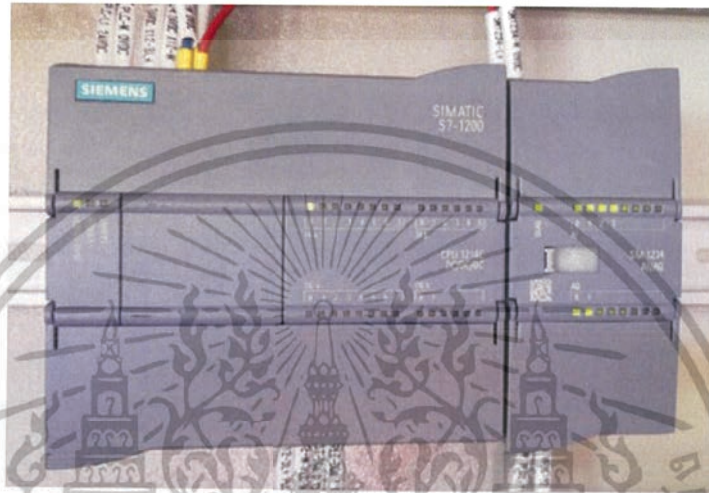
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5 การอ่านค่าจากเครื่องมือวัด

ในการอ่านค่าจากเครื่องมือวัด ในขั้นตอนแรกได้ทำการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการหลังจากนั้นลงมือประกอบฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ และเขียนโปรแกรม

#### 3.1.5.1 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

Programmable Logic Controller (PLC) Siemens S7-1200



รูปที่ 3.29 PLC S7-1200

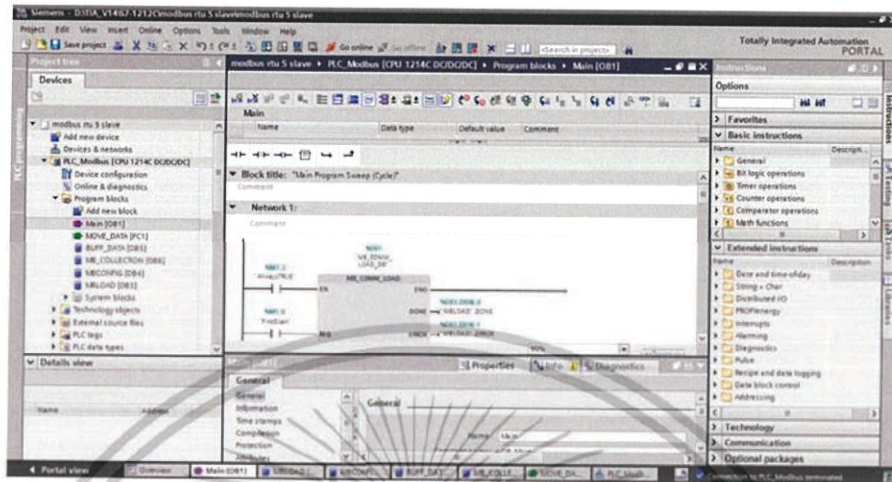


รูปที่ 3.30 ตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

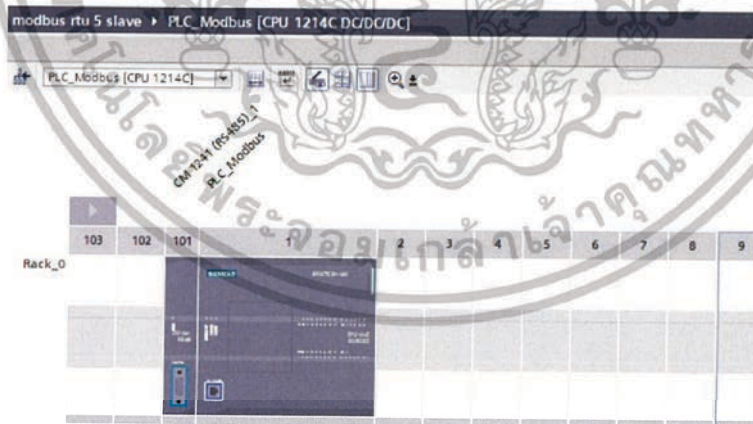
#### TIA Portal V.14 SP1



รูปที่ 3.31 หน้าต่างโปรแกรม TIA Portal V.14 SP1

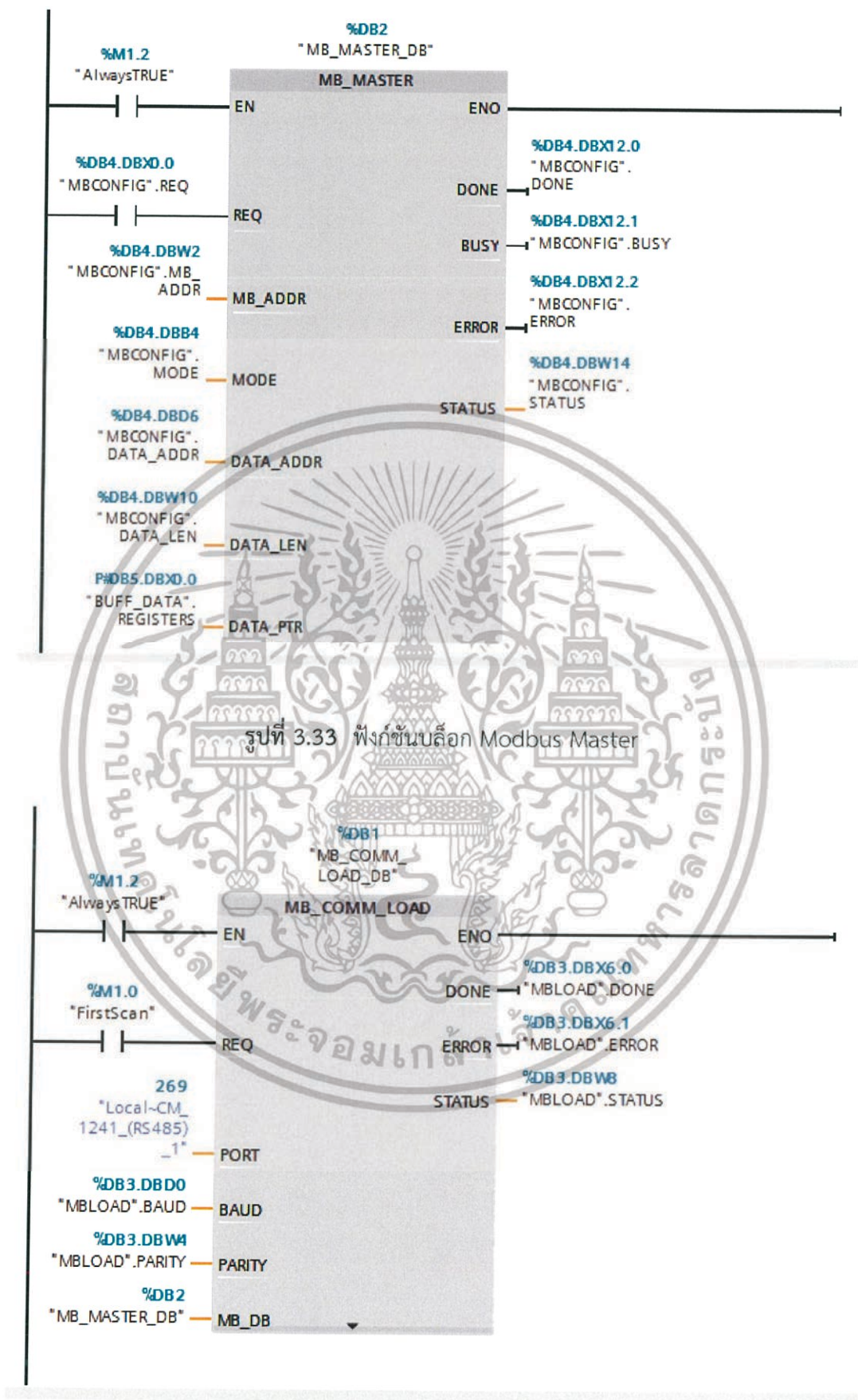
### 3.1.5.3 การดำเนินงาน

เริ่มจากการเชื่อมต่อกับ PLC S7-1200 แล้วทำการเขียนโปรแกรมในการสื่อสารอ่านค่าจากเครื่องมือวัดโดยใช้โปรโตคอล Modbus RTU RS485



รูปที่ 3.32 เชื่อมต่อ PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 ฟังก์ชันบล็อก Modbus Master

รูปที่ 3.34 ฟังก์ชันบล็อก Modbus Communication Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

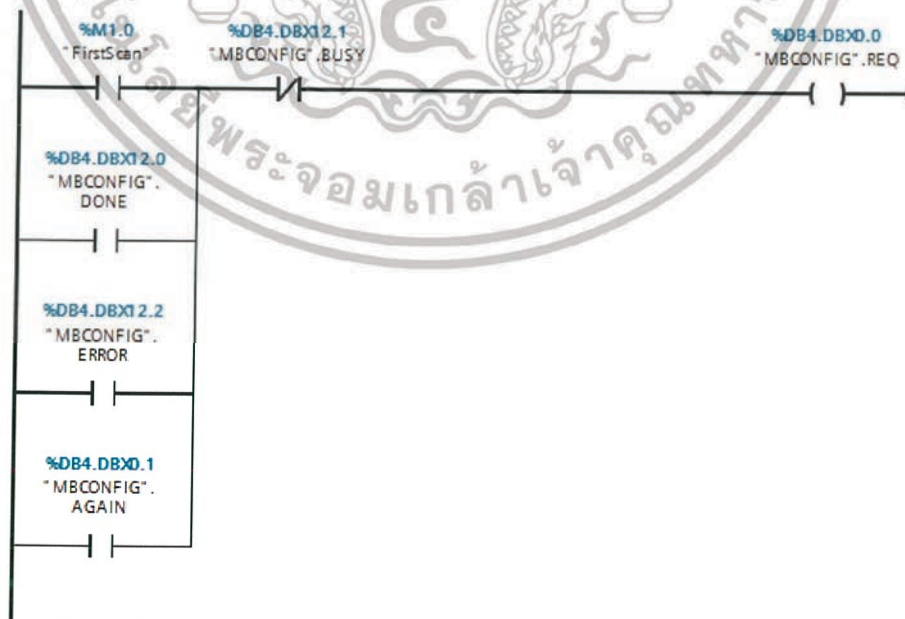
ฟังก์ชันบล็อก Modbus master และ Modbus communication load ทำการตั้งค่าค่าต่าง ๆ โดยการสร้างฐานข้อมูลและกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังรูปข้างล่าง

Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static								
2	REQ	Bool	0.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	AGAIN	Bool	0.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	MB_ADDR	UInt	2.0	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Initialize Slave Id = 1
5	MODE	USint	4.0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	DATA_ADDR	UDint	6.0	40001	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Starting address in the slave : 40001
7	DATA_LEN	UDint	10.0	10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Data lenght : 10
8	DONE	Bool	12.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	BUSY	Bool	12.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	ERROR	Bool	12.2	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	STATUS	Word	14.0	16#D	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

รูปที่ 3.35 Database ในการ config ค่าต่าง ๆ ในฟังก์ชันบล็อก Modbus Master

Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static								
2	BAUD	UDint	0.0	9600	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Baud rate selection : 9600
3	PARTY	UInt	4.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0 = none
4	DONE	Bool	6.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	ERROR	Bool	6.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	STATUS	Word	8.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

รูปที่ 3.36 Database ในการตั้งค่าค่าต่าง ๆ ในฟังก์ชันบล็อก Modbus Communication Load



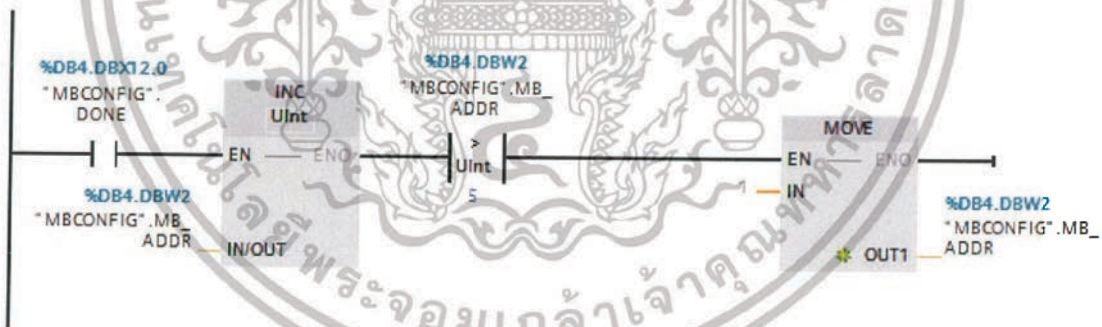
รูปที่ 3.37 Ladder ในการ request เพื่อส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1 CASE #SlaveId OF
2   1: // Statement section case 1
3     MOVE_BLK(IN := "BUFF_DATA".REGISTERS[0],
4             COUNT := #Size,
5             OUT => "MB_COLLECTION".SLAVE1[0]);
6   2: // Statement section case 2
7     MOVE_BLK(IN := "BUFF_DATA".REGISTERS[0],
8             COUNT := #Size,
9             OUT => "MB_COLLECTION".SLAVE2[0]);
10  3: // Statement section case 3
11     MOVE_BLK(IN := "BUFF_DATA".REGISTERS[0],
12             COUNT := #Size,
13             OUT => "MB_COLLECTION".SLAVE3[0]);
14  4: // Statement section case 4
15     MOVE_BLK(IN := "BUFF_DATA".REGISTERS[0],
16             COUNT := #Size,
17             OUT => "MB_COLLECTION".SLAVE4[0]);
18  5: // Statement section case 5
19     MOVE_BLK(IN := "BUFF_DATA".REGISTERS[0],
20             COUNT := #Size,
21             OUT => "MB_COLLECTION".SLAVE5[0]);
22
23 ELSE // Statement section ELSE
24   #SlaveId := 1;
25 END CASE;
  
```

รูปที่ 3.38 เขียนโปรแกรมเพื่อเก็บ Data



รูปที่ 3.39 เขียนโปรแกรมเพื่อวนลูป MB\_ADDR

modbus rtu 5 slave ▶ PLC\_Modbus [CPU 1214C DC/DC] ▶ Program blocks ▶ MB\_COLLECTION [DB6]

MB_COLLECTION										
	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comme
1	Static									
2	▶ SLAVE1	Array[0..9] o...	0.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	▶ SLAVE2	Array[0..9] of UInt	20.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	▶ SLAVE3	Array[0..9] of UInt	40.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

รูปที่ 3.40 สร้างฐานเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าจะทำการทดลอง 2 ส่วนดังนี้

1. การทดลองความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ ค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง
2. การทดลองทำงานระบบทั้งระบบและวัดค่าในแต่ละขั้นตอนโดยใช้ไฟฟ้า

#### 4.1 การทดลอง Electrocoagulation และวัดค่าในส่วนต่างๆ

##### 4.1.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

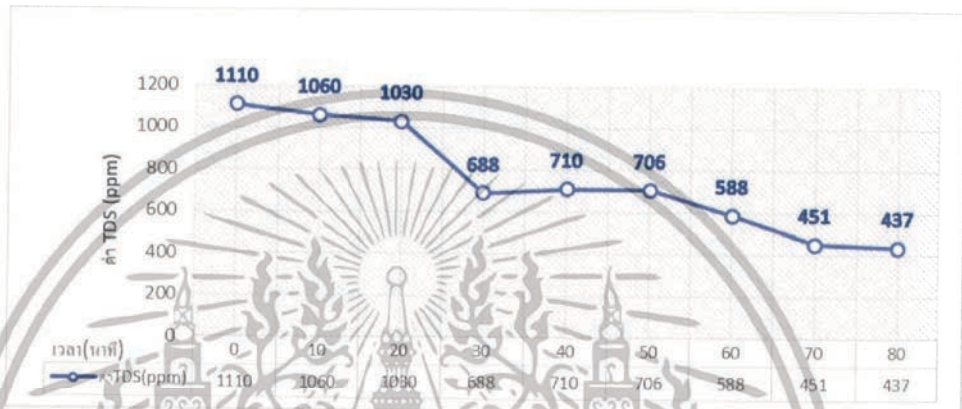
การทดลองนี้ทำการวัดค่าตามช่วงเวลาในตำแหน่งหลังผ่านการกรองทั้ง 3 ดังก่อนจะเข้า RO และบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.1 โดยทำการวัดเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ทำกรเริ่มต้นระบบในการบำบัดน้ำเสียกับ ค่า TDS ว่าเมื่อยังใช้เวลามากขึ้นแล้ว สามารถช่วยให้ตะกอนจับตัวกันมากขึ้นหรือไม่ และทำให้ค่า TDS เปลี่ยนไปอย่างไร โดยกำหนดให้ตัวแปรต่างๆคงที่

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อัตราการไหล อุณหภูมิ pH และ TDS

เวลา(นาที)	กระแสไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	อัตราการไหล	อุณหภูมิ	pH	TDS
0	35	82	2800	32	41.6	7.1	1110
10	33	80.3	2763	33	42.1	7.1	1060
20	32	77.8	2558	33	42.5	7.1	1030
30	32	79	2536	32	42.9	7.1	688
40	32	75.5	2404	33	42.9	7.1	710
50	33	77.2	2609	32	43.1	7.1	706
60	31	76.5	2448	32	43.3	7.1	588
70	33	79.7	2734	32	43.4	7.1	451
80	32	77.0	2624	32	43.4	6.9	437

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อัตราการไหล อุณหภูมิ pH และ TDS ที่วัดได้ตามเวลาที่ทดลองในเวลาเริ่มต้น 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 นาที พบว่าเมื่อเริ่มต้นระบบในการใช้ Electrocoagulation ซึ่งจะใช้เวลาทั้งหมด 80 นาที ในการบำบัดน้ำเสียกับค่า TDS ว่าเมื่อกระบวนการเริ่มทำงานแล้ว สามารถช่วยให้ตะกอนจับตัวกันมากขึ้น จนมีขนาดที่สามารถกรองได้ และทำให้ค่า TDS เปลี่ยนไปโดยลดลง จากค่า TDS 1110, 1060, 1030, 688, 710, 706, 588, 451 และ 437 ตามลำดับ แสดงดังกราฟที่ 4.1



กราฟที่ 4.1 แสดงค่า TDS ที่วัดได้ในช่วงเวลา

#### Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
ครั้งที่ทดลอง	5.00	2.739	9
ช่วงเวลา (นาที)	5.00	2.739	9
กระแสไฟฟ้า(แอมแปร์)	32.56	1.130	9
แรงดันไฟฟ้า(โวลต์)	78.333	2.0724	9
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	2608.44	137.804	9
อัตราการไหล	32.33	.500	9
อุณหภูมิน้ำ	42.800	.6225	9
ค่าที่แสดงความเป็นกรด-เบส	7.078	.0667	9
Total Dissolved Solids	753.33	256.172	9

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ย (Mean) ของตัววัดค่าตัวแปรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 4.1 การศึกษาทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ใช้ Electrocoagulation ในการบำบัดน้ำเสีย โดยการวัดค่าต่างๆที่เวลาแตกต่างกัน ทำการทดลอง 9 ครั้ง และบันทึกผลการทดลอง ผลการศึกษาพบว่า กระแสไฟฟ้า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.56 แอมแปร์, แรงดันไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 78.333 โวลต์, กำลังไฟฟ้า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2608.44 วัตต์ , อัตราการไหล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.33, อุณหภูมิน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.80 องศาเซลเซียส, ค่าที่แสดงความเป็นกรด-เบส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.078 และ Total Dissolved Solids มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 753.33 mg/l



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Correlations										
		ครั้งที่ทดลอง	ช่วงเวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	อัตราการ ไหล	อุณหภูมิ น้ำ	ค่าที่แสดง ความเป็น กรด-เบส	Total Dissolved Solids
ครั้งที่ทดลอง	Pearson Correlation	1	1.000**	-.525	-.577	-.311	-.456	.946**	-.548	-.959**
	Sig. (2-tailed)		.000	.147	.104	.416	.217	.000	.127	.000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
ช่วงเวลา (นาที)	Pearson Correlation	1.000**	1	-.525	-.577	-.311	-.456	.946**	-.548	-.959**
	Sig. (2-tailed)	.000		.147	.104	.416	.217	.000	.127	.000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	Pearson Correlation	-.525	-.525	1	.802**	.815**	-.147	-.693*	.184	.515
	Sig. (2-tailed)	.147	.147		.009	.007	.705	.039	.635	.156
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	Pearson Correlation	-.577	-.577	.802**	1	.879**	-.169	-.685*	.241	.520
	Sig. (2-tailed)	.104	.104	.009		.002	.664	.042	.532	.151
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	Pearson Correlation	-.311	-.311	.815**	.879**	1	-.182	-.504	-.042	.350
	Sig. (2-tailed)	.416	.416	.007	.002		.639	.166	.914	.355
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
อัตราการไหล	Pearson Correlation	-.456	-.456	-.147	-.169	-.182	1	-.361	.250	.527
	Sig. (2-tailed)	.217	.217	.705	.664	.639		.339	.516	.145
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
อุณหภูมิ น้ำ	Pearson Correlation	.946**	.946**	-.693*	-.685*	-.504	-.361	1	-.361	-.944**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.039	.042	.166	.339		.339	.000
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
ค่าที่แสดง ความเป็นกรด- เบส	Pearson Correlation	-.548	-.548	.184	.241	-.042	.250	-.361	1	.463
	Sig. (2-tailed)	.127	.127	.635	.532	.914	.516	.339		.209
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Total Dissolved Solids	Pearson Correlation	-.959**	-.959**	.515	.520	.350	.527	-.944**	.463	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.156	.151	.355	.145	.000	.209	
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ตารางที่ 4.3 ตารางวิเคราะห์ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 4.1

พบว่าครั้งที่ของการทดลอง มีความสัมพันธ์กับช่วงเวลา ( $r = 1.000^{**}$ ,  $p$ -value .000 ) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำ ( $r=.946^{**}$ ,  $p$ -value .000 ) และมีความสัมพันธ์กับ Total Dissolved Solids (mg/l) ( $r=-.959^{**}$ ,  $p$ -value .000)

ช่วงเวลามีความสัมพันธ์กับครั้งที่ของการทดลอง ( $r = 1.000^{**}$ ,  $p$ -value .000 ) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำ ( $r=.946^{**}$ ,  $p$ -value .000 ) และมีความสัมพันธ์กับ Total Dissolved Solids (mg/l) ( $r=-.959^{**}$ ,  $p$ -value .000) เนื่องจากน้ำที่ Reject RO จะวนกลับไปรวมที่ Tank 1 เพื่อนำมาเข้ากระบวนการอีกรอบ ทำให้เมื่อเวลาในการทดลองมากขึ้น ค่า TDS จะค่อยๆลดลง

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) มีความสัมพันธ์กับ แรงดันไฟฟ้า(โวลต์) ( $r = .802^{**}$ ,  $p$ -value .009 )

มีความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ( $r= .815^{**}$ ,  $p$ -value .007) และมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำ ( $r= -.693^{*}$ ,  $p$ -value .039 )

แรงดันไฟฟ้า(โวลต์)มีความสัมพันธ์กับ กระแสไฟฟ้า(แอมแปร์) ( $r = .802^{**}$ ,  $p$ -value .009 )

มีความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ( $r= .879^{**}$ ,  $p$ -value .002) และมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำ ( $r= -.685^{*}$ ,  $p$ -value .042 )

อุณหภูมิน้ำมีความสัมพันธ์กับครั้งที่ของการทดลอง ( $r=.946^{**}$ ,  $p$ -value .000 ) มีความสัมพันธ์กับช่วงเวลา ( $r=.946^{**}$ ,  $p$ -value .000 ) มีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้า(แอมแปร์) ( $r= -.693^{*}$ ,  $p$ -value .039 ) มีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้า(โวลต์) ( $r= -.685^{*}$ ,  $p$ -value .042 ) และมีความสัมพันธ์กับ Total Dissolved Solids ( $r = -.944^{**}$ ,  $p$ -value .000 )

Total Dissolved Solids (mg/l) มีความสัมพันธ์กับครั้งที่ของการทดลอง ( $r=-.959^{**}$ ,  $p$ -value .000) มีความสัมพันธ์กับช่วงเวลา ( $r=-.959^{**}$ ,  $p$ -value .000) และมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำ ( $r = -.944^{**}$ ,  $p$ -value .000 )

**\*\*.** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**\***. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

จากการทดลองพบว่าตัวแปร อัตราการไหล และค่าที่แสดงความเป็นกรด-เบส(pH) ไม่มีค่าความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ ซึ่งในการทดลอง 4.1 ได้ข้อสรุปพื้นฐานว่าต้องออกแบบการเพิ่มขึ้นตอนการปรับค่า pH ในน้ำเสีย และ เพิ่มกระบวนการกรองน้ำเสีย ตัวแปรอื่นๆข้างต้นในระบบที่วัดด้วยระบบไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กัน

## 4.2 การทดลองทำงานระบบทั้งระบบและวัดค่าในแต่ละขั้นตอนโดยใช้ไฟฟ้า

### 4.2.1 วัดประสิทธิภาพการทดลอง

สำหรับการทดลองการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้านั้นค่าของ TDS ที่วัดได้จากการนำน้ำเสียไปปรับ pH ในน้ำเสียจะทำให้ค่า pH สูงขึ้นเนื่องจากการเติมโซดาไฟลงไป ต่อมานำน้ำเข้ากระบวนการ เมื่อน้ำได้ผ่านระบบ Electrocoagulation ค่า TDS ลดลงเนื่องจากตะกอนที่จับตัวกันนั้น ทำให้ตะกอนที่หนักและเบาแยกชั้นกันอย่างชัดเจนต่อมาทำการกรอง ทั้ง 3 ขั้นตอน ทำให้ตะกอนไม่สามารถผ่านการกรองมาได้ ดังนั้นเมื่อผ่านการกรองแต่ละขั้น ค่าของ TDS จะลดลงเรื่อยๆ ตามตารางที่ 4.2 ส่วนน้ำที่ไม่สามารถผ่านขั้นตอนนี้ได้จะมีค่า TDS = 457 mg/l น้ำที่สามารถผ่านขั้นตอน

1	2	3	4	5	6	7	8
น้ำเสีย SBG	น้ำเสียปรับค่า pH แล้ว	ผ่าน EC	ผ่านกรอง ถึงที่ 1	ผ่านกรอง ถึงที่ 2	ผ่านกรอง ถึงที่ 3	น้ำReject RO	น้ำ RO
TDS=1710	TDS=2040	TDS=1210	TDS=755	TDS=384	TDS=406	TDS=457	TDS=8
PH=6.4	PH=6.9	PH=7.1	PH=7.1	PH=7.0	PH=7.1	PH=7.1	PH=7.0
TEMP=29	TEMP=28	TEMP=48c	TEMP=28.9	TEMP=27.2	TEMP=28.1	TEMP=27.6	TEMP=27.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า TDS, pH, Temperature ที่ผ่าน Electrocoagulation

กำหนดค่า TDS ผ่าน RO จะได้ค่า TDS= 8 mg/l ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำ อุณหภูมิของน้ำลดลงเล็กน้อย น้ำมีคุณภาพสามารถนำกลับมาใช้ได้แสดงดังตารางที่ 4.4

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดลองการทำงานของต้นแบบการพัฒนาและสร้างระบบการวัดและควบคุมสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียไฟฟ้า โดยการพัฒนาโปรแกรมควบคุมด้วยชุดพัฒนาโปรแกรม Totally Integrated Automation (TIA) สำหรับคอนโทรลเลอร์ที่ตั้งโปรแกรมได้ของ Siemens รุ่น S7-1200 ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียดำเนินการโดยการวัดและควบคุมอย่างอัตโนมัติ โดยในการทดลองเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าครั้งนี้ จะทำการทดลอง 2 ส่วน

1. การทดลองความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ ค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง
2. การทดลองทำงานระบบทั้งระบบและวัดค่าในแต่ละขั้นตอนโดยใช้ไฟฟ้า

มีผลการทดลอง และข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัยดังนี้

#### 5.1 สรุปผล

ในโครงการวิจัยนี้ผลการทดลองวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 4:1 การศึกษาทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ใช้ Electrocoagulation ในการบำบัดน้ำเสีย โดยการวัดค่าต่างๆที่เวลาแตกต่างกัน ทำการทดลอง 9 ครั้ง และบันทึกผล ผลการศึกษา พบว่า กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กำลังไฟฟ้า (วัตต์) อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส) และ Total Dissolved Solids มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ส่วนอัตราการไหล และ ค่าที่แสดงความเป็นกรด-เบส ไม่มีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กำลังไฟฟ้า (วัตต์) อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส) และ Total Dissolved Solids ทีมผู้ศึกษาวิจัยจึงได้ทำการทดลองขั้นตอนต่อไปในส่วนที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบ โดยได้จัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า โดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับร่วมกับระบบการกรองและ Reverse Osmosis Filter สำหรับใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเหล็ก โดยตัว Electrocoagulation นั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน โดยการทำให้ตะกอนขนาดเล็กจับตัวกันเป็นตะกอนที่สามารถผ่านการกรองได้

จากโครงการเชิงทดลองนี้จึงพบว่า กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสามารถบำบัดน้ำปนเปื้อนโลหะหนักได้ อีกทั้งยังใช้เวลาบำบัดสั้น และให้ผลดี จึงเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้กับภาคอุตสาหกรรมอื่นๆอย่างจริงจัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมระหว่างการทำบัตน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก กับ อุตสาหกรรมอื่น ๆ ว่ามีปัจจัยใดต่างกันบ้าง และสามารถพัฒนาปรับปรุงอย่างไรเพื่อให้ได้ ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละอุตสาหกรรมนั้นๆ
2. ควรศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำว่ามีประสิทธิภาพที่จะสามารถฆ่าเชื้อโรค หรือจุลินทรีย์ ในน้ำเสียได้มากน้อยเพียงใด

## 5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. สามารถเข้าใจหลักการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า
2. สามารถออกแบบและสร้างระบบไฟฟ้า
3. สามารถออกแบบ และติดตั้งระบบการวัด
4. สามารถออกแบบ และติดตั้งระบบควบคุม
5. สามารถพัฒนาโปรแกรมควบคุมด้วยชุดพัฒนาโปรแกรม TIA สำหรับตัวควบคุมชนิด โปรแกรม รุ่น S7-1200 ของบริษัทซีเมนส์ได้
6. สามารถพัฒนาโปรแกรมสำหรับเชื่อมต่อตัวควบคุมกับผู้ใช้งาน
7. สามารถทดลองการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้า วัดผลการทดลองและปรับแก้ ระบบได้
8. สามารถนำความรู้จากโครงการวิจัยนี้ไปประกอบอาชีพต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] ไพบูลย์ แพงคำแหง และ สุรศักดิ์ ศรีคำ, “การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงร่วมกับโอโซน”, กรุงเทพฯ: สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2556.
- [2] ศุภมาส ด้านวิทยากุล, “การตกตะกอนด้วยไฟฟ้ากับการบำบัดน้ำเสีย”, ห้องปฏิบัติการวัสดุสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากสารอันตราย หน่วยวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, ปทุมธานี, 2557.
- [3] Murat Eyvaz, Ercan Gürbulak, Serdar Kara and Ebubekir Yüksel, “Preventing of Cathode Passivation/Deposition in Electrochemical Treatment Methods – A Case Study on Winery Wastewater with Electrocoagulation”, Research of Department of Environmental Engineering, Gebze Technical University, 2014.
- [4] “กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)”, 2551. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/> (5 เมษายน 2562).
- [5] “Activated Carbon Filter”, 2558. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.vali-tech.net/home/article-read.php?ArticleId=14> (5 เมษายน 2562).
- [6] “กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis, RO)”, 2559. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/CHE512/RO.pdf> (6 เมษายน 2562).
- [7] “กระบวนการออสโมซิสผันกลับ ระบบกะ (Batch operation)”, 2559. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/CHE512/RO-UF-MF.pdf> (6 เมษายน 2562).
- [8] “กระบวนการออสโมซิสผันกลับ ระบบต่อเนื่อง (Continuous operation)”, 2559. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : [http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/CHE512/CO\\_files/v3\\_document.html](http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/CHE512/CO_files/v3_document.html) (6 เมษายน 2562).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] “ค่า Total Dissolved Solids (TDS) และวิธีการปรับปรุงระบบน้ำ”, 14 เมษายน 2559. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.thepitchchicago.com/tds-meter/ค่า-total-dissolved-solids-tds-และวิธีการปรับปรุงระบบน้ำ.html> (8 เมษายน 2562).
- [10] “ค่า pH คืออะไร?”, 2551. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.nstda.or.th/th/vdo-nstda/sci-day-techno/4101> (8 เมษายน 2562).
- [11] “ค่า TDS (Total dissolved solids) เป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนในน้ำ”, 22 เมษายน 2558. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://euafp.org/เครื่องวัด-tds-meter/ค่า-tds-total-dissolved-solids-เป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนในน้ำ.html> (8 เมษายน 2562).
- [12] “ทำความรู้จัก Total Dissolved Solids (TDS) และวิธีการวัด”, 22 เมษายน 2558. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.twellwishes.com/เครื่องมือวัด/ทำความรู้จัก-total-dissolved-solids-tds-และวิธีการวัด.html> (8 เมษายน 2562).
- [13] นายพรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, “การกำจัดเหล็กและแมงกานีสด้วยแมงกานีสกรีนแซนด์ (Manganese Greensand)”, ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง, กรุงเทพมหานคร, 2557.
- [14] นายอนุกุล อังโสภา, “การโปรแกรมและควบคุมไฟฟ้า”, ปทุมธานี : วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี, 2556.
- [15] ขวัญชวัน วิริยะเจริญมงคล, “การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะสำหรับอุตสาหกรรม SME โดยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.
- [16] “ระบบน้ำเสีย”, 2557, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.coe.or.th/coe-2/Download/Articles/ENV/CH3.pdf> (10 พฤษภาคม 2562).
- [17] นายวัชรไชย ชมินทกุล, นางสาวสุจิตรา กัญยาวิลาศ และนางสาวพีรยา บุญสำเร็จ, “คู่มือความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นและการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยตัวเอง”, กรุงเทพมหานคร : กรมควบคุมมลพิษ, 2558.
- [18] มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, “คู่มือ Lean Management for Environment สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ”, นนทบุรี : มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2555.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [19] “สารกรองน้ำแอนทาไซท์”, 2558. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.winwinpoolshop.com/content/13064/สารกรองน้ำแอนทราไซท์-ดีกว่า-สารกรองทรายอย่างไร> (8 เมษายน 2562).
- [20] “การสื่อสารแบบ Modbus Protocol”, 2562 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://riverplus.com/2011/08/18/plc-protocol-การสื่อสารแบบ-modbus-protocol/> (10 เมษายน 2562).
- [21] Irena Mickova, “Advanced Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment. Part II: Electro-Flocculation and ElectroFlotation”, Faculty of Technology and Metallurgy, Saints Cyril and Methodius University of Skopje, 2015.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้