



รายงานการวิจัย

การพัฒนาชุดอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลสำหรับการอุปโภค
เพื่อแก้ไขปัญหาภัยแล้งของชุมชน

**Development of Groundwater Treatment Equipment Sets for
Consumption to Tackle Drought of Community**

ปิยรัตน์ มูลศรี และคณะ
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลสำหรับการอุปโภค เพื่อแก้ไขปัญหาภัยแล้งของชุมชน

Development of Groundwater Treatment Equipment Sets for Consumption to Tackle Drought of Community

ปิยรัตน์ มุลศรี

สาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาทิตย์ หู้เต็ม

สาขาวิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ศานิตย์ สุวรรณวงศ์

สาขาวิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนอุดหนุนโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

งบประมาณแผ่นดินโดยผ่านความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2561

(ก)

ชื่องานวิจัย	การพัฒนาชุดอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลสำหรับการอุปโภคเพื่อ แก้ไขปัญหามลพิษของชุมชน
ผู้วิจัย	รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ มุลศรี
ผู้ร่วมวิจัย	อาทิตย์ หู่เต็ม และศานิตย์ สุวรรณวงศ์
สาขาวิชา	เคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ปีที่เสร็จวิจัย	2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจคุณภาพน้ำบาดาลของชุมชนตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยได้แบ่งการจัดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวนทั้งสิ้น 3 สถานี โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำตัวอย่างเพื่อตรวจสอบคุณภาพจำนวน 3 ครั้ง ระหว่างเดือนเมษายน ถึงเดือนธันวาคม 2561 พบว่าน้ำบาดาลตัวอย่างมีปริมาณค่าเฉลี่ยของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง $538-701 \text{ mg L}^{-1}$ มีปริมาณค่าเฉลี่ยความขุ่นอยู่ในช่วง $5.33-18.36 \text{ NTU}$ มีค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง $493-1,232 \text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$ มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง $\text{pH } 7.28 - 7.83$ มีค่าเฉลี่ยความกระด้างทั้งหมดอยู่ในช่วง $278-510 \text{ mg L}^{-1}$ มีปริมาณโลหะ Fe ที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง $0.0018 - 0.0044 \text{ ppm}$ มีค่าปริมาณโลหะ Cu อยู่ในช่วง $0.0003 - 0.0020 \text{ ppm}$ และมีค่าปริมาณโลหะ Mn อยู่ในช่วง $0.0058 - 0.0629 \text{ ppm}$ มีปริมาณคลอไรด์ไอออนอยู่ในช่วง $1.90 - 9.85 \text{ ppm}$ การบำบัดน้ำโดยวิธีการทางเคมีโดยใช้สารเคมี Ca(OH)_2 ประมาณ 81 g และ Na_2CO_3 ประมาณ 51 g ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลตัวอย่างปริมาณ 200 L พบว่าเมื่อเวลาผ่าน 120 นาทีไปมีค่า degree of water softening ของความกระด้างทั้งหมดลดลงจาก 0.912 เป็น 0.412 และของความกระด้างคาร์บอเนตลดลงจาก 0.923 ไปเป็น 0.385 และการใช้กระบวนการ electro coagulation จะทำให้กระบวนการตกตะกอนเกิดได้เร็วขึ้น การบำบัดน้ำบาดาลโดยใช้ชุดถังกรองน้ำบาดาลที่ผลิตจากท่อ PVC ชนิดหนา โดยใช้สารกรองคาร์บอน สารกรองแมงกานีส และสารกรองเรซินอย่างละ 3 kg ใช้การดึงน้ำบาดาลจากถังภาชนะบรรจุโดยใช้ปั้มน้ำโซล่าเซลล์ขนาด 5.5 bar พบว่ามีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 4.8 L min^{-1} เมื่อน้ำผ่านระบบกรองแล้วจะมีอัตราการไหลของน้ำดีที่ได้ในอัตราการไหลเท่ากับ 3.8 L min^{-1} สำหรับประสิทธิภาพในด้านการปรับปรุงคุณภาพของน้ำบาดาลที่ผ่านถังกรอง พบว่าสามารถช่วยลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้

99.8% ลดค่าความขุ่นได้ 71.2% ลดค่าการนำไฟฟ้าได้ 98.7% มีค่าความเป็นกรดต่างเปลี่ยนแปลง 6.7% ลดค่าความกระด้างทั้งหมดได้ 89.4% ลดปริมาณโลหะ Fe ได้ 61.0% ลดปริมาณโลหะ Mn ได้ 94.8% ลดปริมาณโลหะ Cu ได้ 50% และปริมาณคลอไรด์ไอออน ได้ 57.2% ซึ่งสามารถนำน้ำที่ผ่านการกรองไปใช้ในการอุปโภคได้ เนื่องจากคุณภาพของน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพนี้มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของน้ำสำหรับการอุปโภค นอกจากนี้การใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากฝักมะขามที่เสียหายจากรา เป็นวัสดุกรองแทนสารกรองคาร์บอนก็สามารถช่วยลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ 98.6% ลดค่าความขุ่นได้ 65.5% ลดค่าการนำไฟฟ้าได้ 98.2% มีค่าความเป็นกรดต่างเปลี่ยนแปลง 4.0% ลดค่าความกระด้างทั้งหมดได้ 89.0% ลดปริมาณโลหะ Fe ได้ 51.3% ลดปริมาณโลหะ Mn ได้ 94.4% ลดปริมาณโลหะ Cu ได้ 27.3% และปริมาณคลอไรด์ไอออน ได้ 48.2% โดยมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้สารกรองคาร์บอนที่มีขายโดยทั่วไปไม่มากนัก และสามารถใช้ในการบำบัดน้ำบาดาลได้ดีเช่นกัน สามารถนำน้ำที่ผ่านการกรองนี้ไปใช้ในการอุปโภค และแก้ไขปัญหาภัยแล้งของชุมชนได้ โดยมีความพึงพอใจของผู้ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ในภาพรวมมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (4.33)

คำสำคัญ : น้ำบาดาล ชุดอุปกรณ์บำบัดน้ำบาดาล ปัญหาภัยแล้ง

Type of research: Development of Groundwater Treatment Equipment Sets for Consumption to Tackle Drought of Community

Type of research: Applied research (Chemistry)

Researcher: Associate Professor Dr. Piyaat Moonsri

Co-researcher: Artit Hutem and Sanit Suwanwong

Faculty: Science and Technology

University: Phetchabun Rajabhat University

Year: 2018

Abstract

This research investigated groundwater quality of the community in Huay Yai Subdistrict, Mueang District, Phetchabun Province. By dividing the collection of groundwater samples in total of 3 stations by collecting the samples for quality inspection 3 times during April to December 2018, it was found that the total groundwater samples were in the range of 538-701 mg L⁻¹, with turbidity average the range of 5.33-18.36 NTU, with an average conductivity of 493-1,232 μ S. cm⁻¹ with pH values of pH 7.28 - 7.83, total hardness of 278-510 mg L⁻¹, Fe metal content in the range of 0.0018 - 0.0044 ppm, Cu metal content is in the range of 0.0003 - 0.0020 ppm and Mn metal content in the range of 0.0058 - 0.0629 ppm. Chloride ion content is in the range of 1.90 - 9.85 ppm. Improving 200 L of groundwater quality via chemical methods were used chemical Ca(OH)₂ about 80 g and Na₂CO₃ about 51 g. Over time 200 minutes, the degree of water softening of all hardness was reduced from 0.912 to 0.412 and the carbonate hardness decreased from 0.923 to 0.385 and using electro coagulation process caused the sedimentation process to occur fast. Groundwater treatment by using a groundwater filter set made from thick PVC pipes using carbon filters Manganese filter and resin filter, each using of 3 kg. Groundwater from the container tank using a 5.5 bar solar cell pump has flow rate of 4.8 L min⁻¹ go through the filter set. The output flow rate of the treated water is about 3.8 L min⁻¹ flow out from the filter set. For efficiency in improving the quality of groundwater that passes through the filter tank, it was found that 99.8% of total solids could be reduced, reducing turbidity by 71.2%, reducing the conductivity by 98.7%, changing the pH by

6.7%, reducing the total hardness by 89.4%, reducing the metal Fe, Mn, and Cu content by 61.0%, 94.8% and 50%, respectively. And it can reduce the chloride ion of 57.2%. Due to the quality of the water that has been improved, this quality is in accordance with the standards of water for consumption. In addition, the use of activated carbon produced from damaged tamarind pods from the mold as a filter material instead of carbon filter, can help reduce the amount Total solids by 98.6%, reducing the turbidity by 65.5%, reducing the conductivity by 98.2%, changing the pH of 4.0%, reducing the total hardness by 89.0%, reducing the amount of Fe, Mn, and Cu content by 51.3%, 94.4% and 27.3%, respectively. And chloride ions were reduced of 48.2%. The effective was less than the use of carbon filters, which are sold in general not much. And can be used to treat groundwater for consumption and solve drought problems in the community due to the quality of the water that has been improved and within the standards of water for consumption. The satisfaction of users benefiting from this developed technology was found in high level of satisfaction (4.33)

Keywords : Groundwater, Groundwater Treatment Equipment Sets, Drought problems

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อการพัฒนาชุดอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล สำหรับการอุปโภคเพื่อแก้ไขปัญหาภัยแล้งของชุมชน โดยได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2561 โดยผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์และสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่ได้อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อแก้ไขปัญหาภัยแล้งของชุมชน การบริหารจัดการน้ำบาดาลเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการอุปโภคของชุมชน การนำไปใช้ในด้านเกษตร และตลอดจนผู้ที่สนใจทั่วไปสามารถนำข้อมูลและผลการวิจัยที่ได้นี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไป

ปิยรัตน์ มุลศรี และคณะ

ธันวาคม 2561

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	3
1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แหล่งน้ำดิบจากธรรมชาติ	4
2.2 ลักษณะและคุณภาพของน้ำโดยทั่วไป	5
2.3 การปรับสภาพน้ำ	8
2.4 กระบวนการปรับสภาพน้ำ	17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	27
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	20
3.2 การเตรียมวัตถุดิบและสารละลาย	22
3.3 การออกแบบและเตรียมเครื่องมือ และชุดอุปกรณ์ในการวิจัย	25
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	25
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	43
4.1 ผลการศึกษาการสำรวจคุณภาพน้ำบาดาล	30

(น)

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2 ผลการศึกษาการออกแบบและจัดทำชุดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล	39
4.3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานเทคโนโลยี	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	45
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	51
ประวัตินักวิจัย	63

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	20
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	21
4.1 แสดงค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี	31
4.2 แสดงค่าความขุ่นของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี	31
4.3 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี	32
4.4 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี	32
4.5 แสดงค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี	33
4.6 แสดงปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี	33
4.7 แสดงปริมาณคลอไรด์ไอออน ของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี	34
4.8 แสดงค่าเฉลี่ยความกระด้างทั้งหมด ความกระด้างชั่วคราว ความกระด้างถาวรที่สัมพันธ์กับปริมาณ Ca(OH)_2 และ Na_2CO_3 ที่ต้องใช้สำหรับการบำบัดน้ำบาดาลปริมาตร 200 L	35
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดกับคุณภาพของความกระด้างที่หลงเหลืออยู่	38
4.10 แสดงประสิทธิภาพของการปรับสภาพน้ำตัวอย่าง ในการบำบัดความกระด้างทั้งหมด	63
4.11 อัตราการไหลผ่านของอากาศเข้าและอุณหภูมิของเปลวไฟของเชื้อเพลิง	38
4.12 แสดงประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลตัวอย่าง	41
4.13 แสดงประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลตัวอย่าง โดยการใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากฝักระยะขามที่เสียหายจากรา	42
4.14 ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในด้านต่าง ๆ	43

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การทำน้ำให้สะอาดด้วยระบบแลกเปลี่ยนไอออน	10
2.2 ถังเรซินแบบผสม	11
2.3 ถังพักใส	13
2.4 ระบบสัมผัสอากาศแบบน้ำตก	14
2.5 ระบบการกระจายอากาศเข้าไปในน้ำ	14
2.6 บ่อเติมอากาศด้วยเครื่องตีอากาศ	15
2.7 หอทำให้เย็น	15
2.8 ระบบหมุนเวียนแบบปิด	16
2.9 แสดงกระบวนการทำน้ำสะอาด	17
2.10 แสดงกระบวนการทำน้ำประปา	18
2.11 แสดงกระบวนการทำน้ำสะอาดในโรงงานอุตสาหกรรม	18
4.1 แสดงลักษณะชุดตรวจวิเคราะห์ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล	35
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของค่าความกระด้างชั่วคราวของน้ำ ที่ต้องการบำบัดปริมาตร 200 L กับปริมาณน้ำหนักของ Ca(OH)_2 ที่ต้องใช้	36
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของค่าความกระด้างถาวรของน้ำ ที่ต้องการบำบัดปริมาตร 200 L กับปริมาณน้ำหนักของ Na_2CO_3 ที่ต้องใช้	37
4.4 แสดงลักษณะการออกแบบชุดอุปกรณ์ถังกรองในการบำบัดน้ำบาดาล	39
4.5 แสดงรูปชุดอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำบาดาล	40
4.6 แสดงรูปแบบการจัดเซตอุปกรณ์ในส่วนของไส้กรอง	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัญหาภัยแล้งเป็นภัยธรรมชาติที่นำความเสียหายทางเศรษฐกิจและสังคม ทั้งทางด้านการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค และด้านผลิตผลทางการเกษตรที่ต้องพึ่งพาแหล่งน้ำจากธรรมชาติ ประกอบกับประเทศไทย เป็นประเทศที่ส่งออกสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรที่สำคัญในตลาดโลก ภัยแล้งจึงมีผลกระทบโดยตรงต่อการลดลงของผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทย และมีผลกระทบทางอ้อม ได้แก่ การอพยพทิ้งที่ดินทำกิน ละทิ้งที่อยู่อาศัยไปหางานทำในเมือง ซึ่งเป็นที่ประจักษ์แล้วว่าได้ก่อให้เกิดปัญหาทั้ง ทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม ตามมา ปัญหาภัยแล้งจึงจัดเป็นปัญหาสำคัญของชาติ โดยภัยแล้ง หมายถึง ความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศ อันเกิดจากการที่มีฝนน้อยกว่าปกติ หรือฝนไม่ตก ต้องตามฤดูกาลเป็นระยะเวลานานกว่าปกติและครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำดื่ม น้ำใช้ พืชพันธุ์ไม้ต่าง ๆ ขาดน้ำทำให้ไม้เจริญเติบโตตามปกติ เกิดความเสียหายและความอดอยากทั่วไป (ศูนย์สารสนเทศสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551) ภัยแล้งในประเทศไทยเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่น้อยกว่าปกติและมีปัจจัยที่เป็นสาเหตุให้เกิดภัยแล้งอีกหลายประการ เช่น ระบบการหมุนเวียนของบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศกับน้ำทะเลหรือมหาสมุทร ดังนั้น การเกิดภัยแล้งจึงมิใช่เกิดจาก สาเหตุใดสาเหตุหนึ่งเพียงอย่างเดียว

สถานการณ์ปัจจุบันใน พ.ศ. 2558 ได้เกิดปรากฏการณ์ภัยแล้งอย่างกว้างขวางหลายพื้นที่และส่งผลกระทบในหลายจังหวัดและการคาดการณ์สถานการณ์ภัยแล้งจากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา รายงานว่าปริมาณน้ำฝนสะสม พ.ศ. 2557 ต่ำกว่าค่าปกติอย่างมาก เมื่อเทียบกับ พ.ศ. 2556 และสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ กรมชลประทาน ได้สรุปว่าสถานการณ์น้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ และขนาดกลาง พ.ศ. 2557 น้อยกว่า พ.ศ. 2556 ถึง 5,310 ล้านลูกบาศก์เมตร (กรมชลประทาน, 2557) จึงมีแนวโน้มสถานการณ์ภัยแล้งและภาวะฝนทิ้งช่วงใน พ.ศ. 2558 จะเกิดขึ้นในหลายพื้นที่ของประเทศไทยโดยอาจเกิดเร็วขึ้นและยาวนานขึ้น จากสถานการณ์ภัยแล้งในประเทศไทยพบว่ารัฐบาลแก้ปัญหาภัยแล้งตามแผนระยะเร่งด่วนในแต่ละปีมีการช่วยเหลือเกษตรกรโดยวิธีให้การสนับสนุนเครื่องสูบน้ำ จัดสรรงบประมาณในการขุดลอกคูคลอง และฝนหลวง ฯลฯ เพื่อบรรเทาปัญหาเฉพาะหน้าซึ่งรัฐบาลสามารถจัดการแก้ไขปัญหานี้ในระยะสั้นในแต่ละปีได้เป็นอย่างดี แต่การบริหารจัดการน้ำที่ยั่งยืนในทางปฏิบัติยังไม่เกิดผล ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจและสังคมในระยะยาว เนื่องจากปัญหาภัยแล้งส่งผลให้

ปริมาณการผลิตไม่เพียงพอต่อการบริโภคที่มากขึ้นตามการเติบโตของสังคมที่ต้องการอาหารและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น เมื่อปัญหาภัยแล้งยังคงเกิดขึ้นทุกปีและเป็นปัญหาหลักของไทยเนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพเกษตรกรรม และยังต้องดำรงชีวิตอยู่ด้วยการอาศัยทรัพยากรธรรมชาติ คือแหล่งน้ำอันเป็นปัจจัยหลักในการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์อันเป็นผลผลิตอาหารแก่ประชากรของประเทศ การอาศัยน้ำฝนตามฤดูกาลอาจไม่เพียงพอต่อการเพาะปลูก ทุกฝ่ายจึงต้องดำเนินการแก้ปัญหาภัยแล้งอย่างยั่งยืน โดยต้องคำนึงถึงความสอดคล้องระหว่างธรรมชาติและ การพัฒนาด้วย

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของน้ำบาดาลของชุมชน โดยการใช้ชุดอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพน้ำ ที่ได้พัฒนาขึ้นจากงานวิจัย โดยใช้เทคโนโลยีที่ชาวบ้านสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ รวมถึงการใช้ทรัพยากรและอุปกรณ์ที่มีราคาไม่สูงมากนักในการจัดทำเป็นชุดการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อนำไปใช้ในการอุปโภค โดยคาดหวังว่าแนวทางในการดำเนินการวิจัยนี้จะสามารถช่วยในการแก้ไขปัญหาภัยแล้งของชุมชนในช่วงฤดูแล้ง เป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของคนในชุมชน ท้องถิ่น ตลอดจนการประกอบกิจกรรมที่ต้องใช้น้ำสะอาดของคนในชุมชนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาการออกแบบชุดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลแบบเคลื่อนที่ได้ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ สำหรับการใช้ประโยชน์ในชุมชน
2. เพื่อศึกษาการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำและทดสอบประสิทธิภาพของการบำบัดคุณภาพน้ำบาดาลของชุมชน
3. เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแก้ไขปัญหาภัยแล้งของชุมชน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ชุดอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลแบบเคลื่อนที่ได้โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สำหรับการใช้ประโยชน์ในชุมชน
2. ได้ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ที่ศึกษา
3. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำ และคุณภาพน้ำสำหรับการอุปโภคที่ผ่านการบำบัดโดยใช้ชุดอุปกรณ์ดังกล่าว
4. มีการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งในการเกษตรในการแปรรูปเป็นวัสดุรอง และมีการใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการ
5. กลุ่มชาวบ้าน กลุ่มเกษตรกร หน่วยงานภาครัฐและเอกชนหรือผู้สนใจทั่วไปได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

6. ทำให้เกิดการจัดการการใช้ประโยชน์จากน้ำบาดาลในชุมชนเพื่อบรรเทาหรือแก้ไขปัญหาภัยแล้งที่เกิดขึ้นของชุมชนได้

7. ได้บทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารในประเทศหรือต่างประเทศอย่างน้อย 1 เรื่อง หรือสามารถนำไปจดสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตรได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลแบบเคลื่อนที่สำหรับการใช้ประโยชน์ในชุมชน โดยใช้พลังงานความร้อนและไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

2. ทำการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำและทดสอบประสิทธิภาพของการบำบัดคุณภาพน้ำบาดาลของชุมชน

3. ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำบาดาลก่อนและหลังการบำบัดคุณภาพน้ำเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการอุปโภคและบริโภค

4. ศึกษาต้นทุนการผลิต ผลผลิตภาพและประสิทธิภาพการจากการใช้งานจริง ในภาคสนามและศึกษาแนวทางในการนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาภัยแล้งอย่างเหมาะสม

5. ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีและผลงานวิจัยแก่ตัวแทนของกลุ่มหน่วยงานภาครัฐ เครือข่ายชุมชนต่าง ๆ ตลอดจนผู้ประกอบการและผู้สนใจทั่วไป หรือนำเสนอในการประชุมวิชาการ

1.5 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ตั้งแต่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง 31 ธันวาคม 2561

1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย

- ห้องปฏิบัติการทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- สถาบันเศรษฐกิจพอเพียงเครือข่ายเกษตรอินทรีย์ ตำบลห้วยใหญ่ จังหวัดเพชรบูรณ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของทุกชีวิตบนโลกนี้ โดยน้ำเป็นสารหมุนเวียนที่เกิดขึ้นได้เองตามวัฏจักรของน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมนุษย์ที่ต้องใช้น้ำเป็นสิ่งหลักที่จำเป็นต้องได้รับบริโภคเข้าไปเพื่อให้ร่างกายทำงานได้อย่างเป็นปกติ นอกจากนี้น้ำก็ยังเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่สำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม เช่น การชลประทาน การประมง การสาธารณสุขบริโภค การผลิตพลังงาน และอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย ในปัจจุบันคุณภาพของน้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติ หรือแหล่งน้ำรอบ ๆ ตัวเรา ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ทันทีโดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบันมีการเสื่อมโทรมลงของสิ่งแวดล้อม การระบาดของโรคติดต่อ และปัญหาของน้ำเน่าเสียอันเนื่องมาจากการประกอบกิจการต่าง ๆ ของมนุษย์ ดังนั้นน้ำที่สามารถนำมาอุปโภคหรือบริโภคได้ควรต้องได้รับการบำบัดและปรับสภาพน้ำให้อยู่ในลักษณะและมีคุณภาพเหมาะสมต่อวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำก่อน

2.1 แหล่งน้ำดิบจากธรรมชาติ

แหล่งน้ำดิบจากธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ น้ำฝน น้ำในแม่น้ำ น้ำบาดาล และน้ำทะเล ดังนี้

2.1.1 น้ำฝน

เป็นน้ำที่เกิดในบรรยากาศ (atmospheric water) เกิดจากการกลั่นตัวของน้ำบนผิวโลกเป็นไอ และกลายเป็นเมฆ หมอก แล้วตกลงมาเป็นฝน น้ำฝนอาจละลายหรือพาสังสกรปรกในบรรยากาศ เช่น ฝุ่น ละอองเกสร ไอต่าง ๆ ปะปนมาด้วย

2.1.2 น้ำในแม่น้ำ

น้ำในแม่น้ำ น้ำในคลองและแหล่งเก็บน้ำต่าง ๆ น้ำเหล่านี้มีต้นกำเนิดมาจากน้ำฝนที่ตกลงมารวมกัน การไหลของน้ำได้มีการชะล้างเอาแร่ หิน ดิน ทราย มาด้วยตามการไหลของน้ำ ทำให้มีการปะปนของเศษแร่ หิน ดิน ทราย เกิดความขุ่นขึ้น และมีอนุภาคเจือปนมากมาย

2.1.3 น้ำใต้ดิน

เป็นน้ำที่ซึมลงจากดินไปรวมกันเป็นแอ่งใต้ดิน ซึ่งมีความลึกจากผิวดินหลายระดับ และน้ำใต้ดินอาจจะไหลจากแอ่งหนึ่งไปยังอีกแอ่งหนึ่งได้ น้ำใต้ดินแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.1.3.1 น้ำใต้ดิน (soil water) หมายถึง น้ำใต้ดินระดับผิวดิน ๆ เช่น น้ำบ่อ

2.1.3.2 น้ำบาดาล (ground water) เป็นน้ำที่อยู่ในระดับลึกซึ่งถูกกับเก็บ อยู่ในแอ่ง โดยมากจะเป็นชั้นหินที่อยู่ลึกจากผิวดินมากกว่า 10 เมตร

โดยน้ำใต้ดินยังมีระดับความลึกมากยังมีความใสมาก เนื่องจากผ่านการกรองด้วยดิน และหินชั้นต่าง ๆ แต่น้ำใต้ดินจะมีแร่ธาตุและสารต่าง ๆ ในดินละลายอยู่มาก

2.1.4 น้ำทะเล

เป็นแหล่งน้ำที่มาจากแม่น้ำ ลำคลอง น้ำใต้ดิน และน้ำฝนไหลรวมกัน น้ำทะเลจะมีเกลือแร่มากมายละลายปนอยู่

2.2 ลักษณะและคุณภาพของน้ำโดยทั่วไป

ลักษณะและคุณภาพของน้ำ (water quality) แบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

2.2.1 ลักษณะทางกายภาพ (physical quality)

2.2.1.1 อุณหภูมิ โดยทั่วไป อุณหภูมิของน้ำมักจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม หากอุณหภูมิของน้ำในแหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มขึ้นโดยตัวมันเอง เป็นการบ่งชี้ให้ทราบว่าน้ำกำลังมีปฏิกิริยาการหมักเน่า หรือมีปฏิกิริยาเคมีบางอย่างเกิดขึ้นในน้ำนั้น การวัดอุณหภูมิจึงเป็นการตรวจวัดคุณภาพของน้ำอย่างหนึ่ง

2.2.1.2 รสและกลิ่น เป็นสมบัติของสารเคมีที่เจือปนอยู่ในน้ำ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ รสและกลิ่นของน้ำที่เกิดจากสิ่งสกปรก อาจไม่เหมาะต่อการบริโภค

2.2.1.3 สี น้ำบริสุทธิ์เป็นสารที่ไม่มีสี สีของน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารเจือปนในน้ำที่แขวนลอย ละลายหรือจมนอนกันอยู่ในน้ำจนทำให้น้ำทึบแสง หรือมีสีเหลือง สีขาว สีน้ำตาล สีสนิม สีตะไคร่น้ำ หรือสีดำ

2.2.1.4 ความขุ่น เป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีสารแขวนลอยในน้ำ สารเหล่านี้มีขนาดและมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับน้ำ จึงไม่จมหรือไม่ลอย ได้แก่ เศษผงของหิน ดิน แร่ โคลน และสิ่งปฏิกูลละเอียดซึ่งถูกพัดพามา สิ่งเหล่านี้ทำให้น้ำเกิดความขุ่น ซึ่งเป็นลักษณะของน้ำที่ไม่ดี ไม่เหมาะต่อการนำมาบริโภค

2.2.1.5 ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ ได้แก่ หิน ดิน แร่ สิ่งปฏิกูลทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในรูปของเกลือต่าง ๆ สารเหล่านี้แยกออกจากกันได้โดยการตกตะกอนทางเคมี

2.2.1.6 การนำไฟฟ้า เนื่องจากน้ำมีเกลือแร่ต่าง ๆ ละลายอยู่ในรูปไอออน ทำให้น้ำมีการนำไฟฟ้าได้

2.2.2 ลักษณะและคุณภาพทางเคมี (chemical quality)

2.2.2.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นค่าความเข้มข้นของ H^+ ในน้ำ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 14 น้ำสะอาดและบริสุทธิ์จะมีฤทธิ์เป็นกลาง น้ำใช้โดยทั่วไปอาจมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6 ถึง 8 ไม่ควรมีฤทธิ์เป็นกรดหรือเบสมากเกินไป เพราะอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

2.2.2.2 ความกระด้าง (hardness) น้ำที่มีแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ซึ่งอยู่ในรูปของเกลือคลอไรด์ ซัลเฟต ไนเตรต หรือไบคาร์บอเนต จะทำให้น้ำนั้นเกิดความกระด้าง หากน้ำกระด้างนั้นมีเกลือของไบคาร์บอเนตของโลหะดังกล่าว จะทำให้เกิดความกระด้างชั่วคราว (temporary hardness) แต่ถ้าในน้ำมีเกลือซัลเฟต คลอไรด์ หรือไนเตรตของโลหะ ดังกล่าวละลายอยู่ จะทำให้เกิดความกระด้างถาวร (permanent hardness) ซึ่งแก้โดยการต้มไม่ได้ ต้องใช้สารเคมีกำจัดความกระด้างเท่านั้น ซึ่งความกระด้างอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคนิ่วได้กับผู้ดื่มน้ำกระด้างนี้เป็นประจำ

2.2.2.3 ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (dissolved oxygen) ออกซิเจนเป็นแก๊สที่ละลายน้ำได้ น้ำที่อุณหภูมิต่างกันจะมีออกซิเจนละลายอยู่ไม่เท่ากัน ที่อุณหภูมิต่ำจะมีออกซิเจนละลายอยู่มากกว่าที่อุณหภูมิสูง การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะใช้เป็นการบอกคุณภาพของน้ำนั้นได้ ถ้าน้ำเสียจะมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่ำ

2.2.2.4 ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ (oxygen demand) ความต้องการออกซิเจนในน้ำอาจวัดได้หลายกรณี เช่น

1) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (biochemical oxygen demand, BOD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ในน้ำต้องการใช้สารอินทรีย์ หรือเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ ในน้ำภายใต้ภาวะที่ต้องการใช้ออกซิเจน แล้วเปลี่ยนสารต่าง ๆ ให้ไปอยู่ในรูปของซัลเฟต ฟอสเฟต และขับถ่ายคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมา หากน้ำมีสารอินทรีย์มาก จุลินทรีย์ในน้ำจะใช้เป็นอาหาร และขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วพร้อมทั้งต้องการใช้ออกซิเจนเป็นปริมาณมากขึ้นด้วย ค่า BOD ของน้ำจะสูงขึ้น และในกรณีเช่นนี้หากจุลินทรีย์ในน้ำได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอก็จะตายหรือเจริญเติบโตช้า จึงทำให้จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนเจริญเติบโตขึ้นมาแทนโดยการกินอาหารและย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดเป็นแก๊สมีเทน (CH_4) แอมโมเนีย (NH_3) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น หรือเรียกว่าน้ำเน่า

2) ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (chemical oxygen demand, COD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้เพื่อออกซิไดซ์สารอินทรีย์หรือสิ่งปฏิกูลในน้ำในรูปของสารเคมี การหาปริมาณออกซิเจนในกรณีนี้มักจะทำเพื่อดูว่าน้ำเสียหรือไม่ ค่า COD จะสัมพันธ์กับค่า BOD เพราะเป็นค่าที่วัดได้จากการใช้ออกซิเจนเพื่อออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำ โดยปกติค่า BOD สามารถหาได้จากค่า COD การวิเคราะห์ค่า COD สะดวกกว่าการวิเคราะห์ BOD ซึ่งต้องใช้เวลาวิเคราะห์ถึง 5 วัน ในขณะที่การหาค่า COD ใช้เวลาเพียง 3 ชั่วโมง

3) ค่าเปอร์แมงกาเนต (permanganate value, PV) เป็นปริมาณออกซิเจนในปฏิกิริยาเคมี เมื่อใช้ด่างทับทิมในกรดเดิมลงไปในน้ำเพื่อออกซิไดส์สารละลายของเหล็ก แมงกานีส และสารเคมีอื่น ๆ เพื่อให้เกิดเป็นตะกอนที่สามารถกรองออกได้และช่วยทำลายกลิ่น รสของน้ำ ค่า PV มักจะมีค่าน้อยกว่า BOD และ COD

2.2.2.5 สารประกอบคลอไรด์ น้ำในธรรมชาติโดยทั่วไปพบว่ามีคลอไรด์ในปริมาณต่าง ๆ กัน คลอไรด์ปริมาณที่พอเหมาะจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อคน แต่ถ้ามากกว่า 250 ppm จะทำให้น้ำมีรสเค็ม

2.2.2.6 ไนโตรเจนในน้ำ ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสัมพันธ์ในระบบชีวภาพ ในกรณีที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์จะเป็นอาหารของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น โปรตีน กรดอะมิโน ยูเรีย หรืออยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ เช่น แกลูตามิโนเอคาร์บอเนต แอมโมเนียซัลเฟต สารไนไตรท์ และไนเตรด การมีสารประกอบไนโตรเจนในน้ำปริมาณมากจะทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำเจริญเติบโตได้ดี

2.2.2.7 สารประกอบซัลเฟต น้ำในธรรมชาติพบว่ามีปริมาณซัลเฟตตั้งแต่ 2 ถึง 1000 ppm ถ้าในน้ำมีสารประกอบซัลเฟตมากจะทำให้ผู้บริโภคเกิดการท้องร่วงได้ นอกจากนี้ยังมีผลเสียต่อการใช้น้ำในอุตสาหกรรม คือจะเป็นตัวทำให้เกิดตะกอนและเกิดการกัดกร่อนในท่อน้ำ และทำให้เกิดกลิ่นเหม็นได้

2.2.2.8 เหล็กและแมงกานีส โดยปกติแล้วเหล็กและแมงกานีสในดินอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ แต่ถ้าหากน้ำซึมผ่านดินที่มีฤทธิ์เป็นกรด จะสามารถทำปฏิกิริยากับการสลายประกอบของเหล็กและแมงกานีสในสภาพที่ขาดออกซิเจน ทำให้เปลี่ยนเป็นสารละลายน้ำได้ และเมื่อน้ำสัมผัสกับอากาศจะเกิดเป็นสนิมเหล็กขึ้น ทำให้เป็นปัญหาในการบริโภค เกิดสีและกลิ่นขึ้น

2.2.2.9 สารพิษในน้ำ ได้แก่ สารปรอท ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู ไซยาไนด์ ยาปราบศัตรูพืช ปุ๋ย รวมทั้งไขมันและน้ำมัน ซึ่งมาจากน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม จากบ้านเรือน การเกษตร การคมนาคมและการขนส่งทางน้ำ อันเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาการใช้น้ำและสิ่งแวดล้อมมากในปัจจุบัน

2.2.3 ลักษณะและคุณภาพทางชีวภาพ

น้ำในแหล่งน้ำตามธรรมชาติทุกแห่งจะมีสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ทั้งพืชและสัตว์อาศัยอยู่มากมาย เช่น แบคทีเรีย ไวรัส พยาธิ สัตว์น้ำ สาหร่ายและพืชน้ำอื่น ๆ สิ่งมีชีวิตในน้ำเหล่านี้ส่วนใหญ่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ แต่จะมีส่วนช่วยให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น เพราะสิ่งมีชีวิตในน้ำเหล่านี้กินของเสียและอินทรีย์สารต่าง ๆ ในน้ำ ทำให้ของเสียในน้ำลดลง และยังปล่อยสารอื่นที่มีประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอื่นด้วยเป็นการพึ่งพาอาศัยกันเป็นวัฏจักร

ปัจจุบันแหล่งน้ำในธรรมชาติมักจะเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งที่ใช้แล้ว ไม่ว่าจะเป็นโรงงานอุตสาหกรรม หรือบ้านเรือน ทำให้น้ำมีสิ่งมีชีวิตที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์มากขึ้น และน้ำจะเป็น

แหล่งแพร่กระจายจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี เชื้อโรคที่แพร่กระจายโดยใช้น้ำเป็นสื่อ ได้แก่ ไทฟอยด์ บิด อหิวาตกโรค ซึ่งเป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหาร ดังนั้นการนำน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาทำเป็นน้ำสะอาดเพื่อการบริโภค จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพเป็นอย่างดี

2.3 การปรับสภาพน้ำ (water treatment)

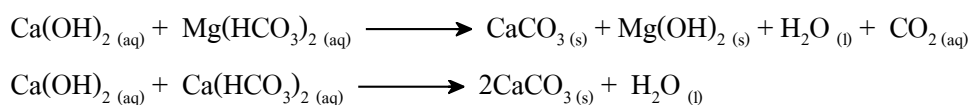
การปรับสภาพน้ำ หมายถึง การปรับปรุงสภาพน้ำให้เหมาะกับการใช้งาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีใหญ่ ๆ คือ

2.3.1 การปรับสภาพน้ำทางเคมี

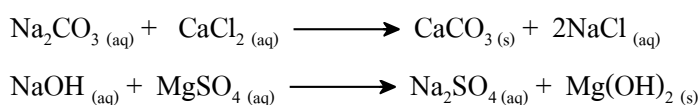
การปรับสภาพน้ำทางเคมี (chemical treatment) เป็นวิธีการกำจัดสิ่งเจือปนที่เป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่

2.3.1.1 กระบวนการเติมปูนขาวและโซดา (lime-soda process) โดยการเติม ปูนขาว (CaO) โซดาแอช (Na₂CO₃) โซดาไฟ (NaOH) เพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำซึ่งเป็นเกลือของแคลเซียมและแมกนีเซียม

- การแก้ความกระด้างชั่วคราวของน้ำซึ่งเป็นเกลือไบคาร์บอเนตและเกลือคาร์บอเนต ดังสมการ



- การแก้ความกระด้างถาวรของน้ำ



2.3.1.2 การทำให้สารแขวนลอยรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ แล้วตกตะกอนลง (coagulation and flocculation) วิธีนี้เป็นการกำจัดความขุ่นจากน้ำ เนื่องจากในน้ำมีสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กจนไม่สามารถเกิดการตกตะกอนเองได้ โดยการเติมสารเคมีที่จะทำให้อนุภาคเล็ก ๆ เหล่านั้นเข้ามาจับเกาะกันแน่นจนมีน้ำหนักมาก แล้วตกลงมาและสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยการกรอง

หลักการทำงาน คือ เติมสารเคมีที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวก (cation) ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ สารส้ม (alum, Al₂(SO₄)₃·18H₂O) โซเดียมอะลูมิเนต (Na₂Al₂O₄) เฟอรัสซัลเฟต (FeSO₄·7H₂O) เฟอริกคลอไรด์ (FeCl₃·6H₂O) แมกนีเซีย (MgO) เมื่อเติมสารเหล่านี้ลงไปในน้ำ จะทำให้ลดแรงผลักระหว่างอนุภาคที่แขวนลอยในน้ำ เกิดการเข้ามาเกาะตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น วิธีนี้เรียกว่า coagulation หลังจากนั้นอนุภาคที่จับเกาะกันจะรวมตัวจนมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนัก แล้วตกลงมาด้วย

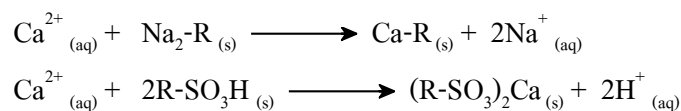
แรงโน้มถ่วง เรียกว่า flocculation ตะกอนที่จมลงนี้สามารถแยกออกได้ด้วยการกรอง วิธีนี้สามารถดึงเอาแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ ตกจมลงมาได้ด้วย

การเกิด coagulation และ flocculation จะเกิดขึ้นได้ดีต้องปรับ pH ของน้ำให้เหมาะสมกับการทำงานของสารที่เติมลงไป เช่น การเติมสารส้ม น้ำควรมี pH 5.5 ถึง 8.0 ถ้าใช้เฟอริกคลอไรด์ น้ำควรมี pH 4.0 ถึง 11.0 เป็นต้น และถ้าจะให้การตกตะกอนเกิดได้ดีอาจเติมสารอื่น ๆ ที่ช่วยให้การจับตัวระหว่างอนุภาคในน้ำกับ coagulant เป็นไปได้ดีและมากขึ้น จนทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นตกได้เร็ว สารเหล่านี้เรียกว่า coagulating aid ซึ่งมีอยู่ 4 ประเภท คือ

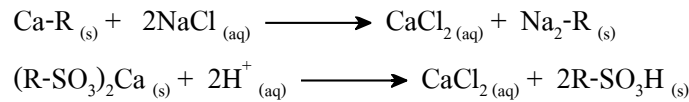
- absorbent weighing agents เป็นสารที่ช่วยเพิ่มน้ำหนัก ทำให้ตะกอนตกเร็วขึ้น ได้แก่ ดินเบนโทไนท์ (bentonite clay)
- oxidants เป็นสารที่ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยให้สารอยู่ในรูปที่จะเกิดตะกอนได้ดี เช่น โอโซน ด่างทับทิม คลอรีนไดออกไซด์ คลอรีน
- activated silica เป็นทรายสังเคราะห์ที่ช่วยทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดีขึ้น
- polyelectrolyte เป็นสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีประจุไฟฟ้า ช่วยให้ตะกอนเกาะตัวกันได้ดีขึ้นและตกตะกอนได้เร็วขึ้น ได้แก่ polysaccharide gum

2.3.1.3 การใช้สารแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange treatment) เป็นการผ่านน้ำไปยังสารกรองซึ่งใช้วิธีการแลกเปลี่ยนไอออน สารที่มีความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีกับอนุมูลที่มีประจุพบในธรรมชาติได้แก่ ซีโอไลต์ (zeolite, $\text{NaH}_6\text{AlSiO}_7$) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็นสารพอลิเมอร์ สามารถแลกเปลี่ยนไอออนที่สังเคราะห์จากสารอินทรีย์ที่เรียกว่า เรซิน (resin) มีลักษณะเป็นเม็ดกลม ผิวรอบจะมีการเติมหมู่ฟังก์ชันเพื่อให้มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ สารแลกเปลี่ยนประจุมี 2 ชนิด คือ เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange resin) และเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบ (anion exchange resin)

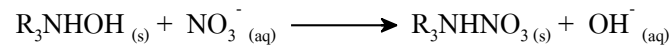
เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก ได้แก่ Na_2R , H_2R , HR , $\text{R-SO}_3\text{H}$, R-COOH และ $\text{R-H}_2\text{PO}_3$ โดยที่ R คือ อนุมูลของเรซินซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่ ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออน คือ



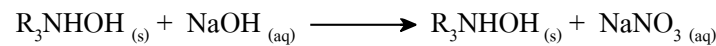
เรซินเมื่อใช้งานไปนาน ๆ ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนจะลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการล้างเรซินเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (regeneration) เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกจะล้างด้วยเกลือหรือกรด ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซิน เช่น



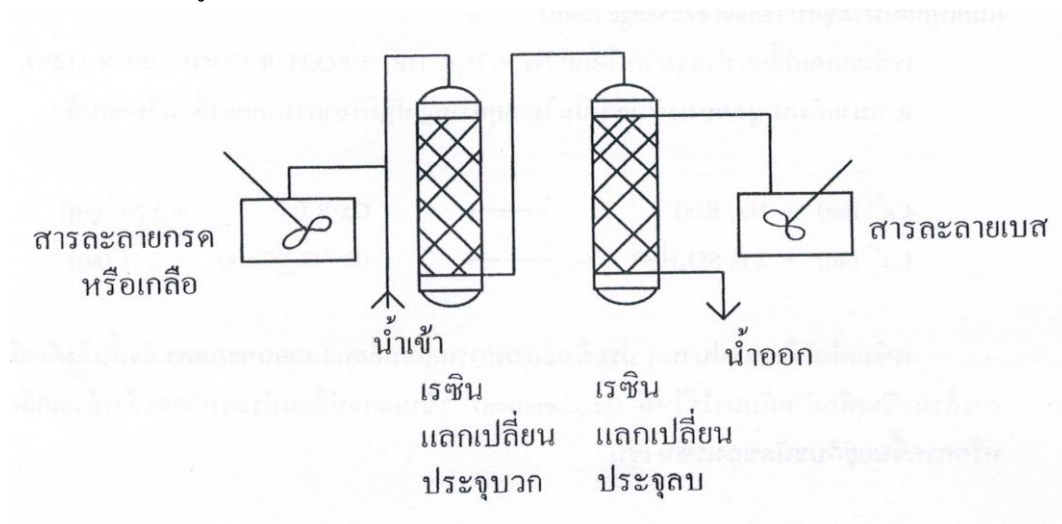
สำหรับเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบ ได้แก่ R_3NHOH , R_4NOH และ ROH ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออน คือ



ในการล้างเรซินเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่จะล้างด้วยเบส ดังสมการ



สำหรับเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบจะมีขนาดเล็กกว่าเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก การทำน้ำให้บริสุทธิ์โดยการแลกเปลี่ยนไอออน ทำได้โดยให้น้ำไหลผ่านเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกก่อน แล้วจึงผ่านเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งน้ำที่ออกมาเรียกว่า น้ำปราศจากไอออน (deionized water) หรือน้ำที่ปราศจากแร่ธาตุ (demineralized water) เมื่อใช้ไปนาน ๆ ประสิทธิภาพของเรซินจะลดลง ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากค่าการนำไฟฟ้า ถ้าน้ำมีไอออนอยู่จะเกิดค่าการนำไฟฟ้าขึ้น และต้องทำการล้างเรซิน

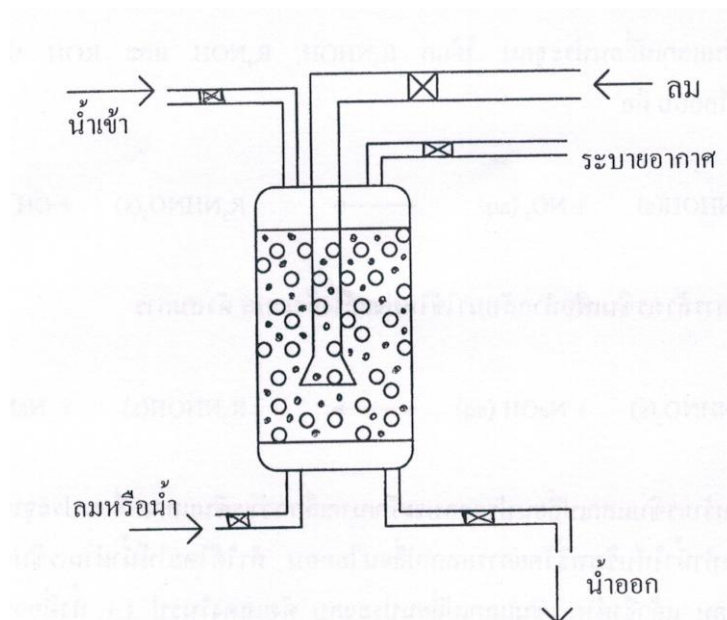


รูปที่ 2.1 การทำน้ำให้สะอาดด้วยระบบแลกเปลี่ยนไอออน

ที่มา : (สาวิตรี จันทรานุกรักษ์, 2546, หน้า 38)

อีกวิธีหนึ่งทำโดยการนำเรซินทั้งสองชนิดมาผสมรวมกันในถังเดียวกัน เรียกว่า ถังเรซินผสม (mixed bed exchanger) โดยผสมเรซินทั้งสองชนิดให้ปะปนกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งการ

ล้างจะใช้ลมเป่าจากด้านล่างเพื่อให้เรซินแยกชั้นกันก่อน เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบมีขนาดเล็กจะลอยอยู่ ส่วนบน เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกซึ่งมีขนาดใหญ่จะอยู่ด้านล่าง จากนั้นล้างด้วยกรด ตามด้วยน้ำ จนกระทั่งไม่มีความเป็นกรด ล้างต่อด้วยสารละลายเบส ตามด้วยน้ำจนกระทั่งไม่มีความเป็นเบส เมื่อทำการล้างเสร็จแล้วจะผสมเรซินทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยการเป่าด้วยลมจากด้านบนของถัง

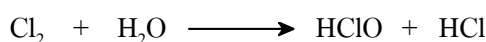


รูปที่ 2.2 ถังเรซินแบบผสม

ที่มา : (สาวิตรี จันทรานุกรักษ์, 2546, หน้า 39)

2.3.1.4 การใช้ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ถ่านกัมมันต์ คือ พงถ่านที่มีคุณสมบัติในการดูดซับ โดยที่ผิวจะมีรูพรุนที่สามารถดูดซับสารประกอบที่ทำให้เกิดสี เกิดกลิ่น และรสได้ ถ่านกัมมันต์ ทำจาก ถ่านหิน ไม้ ขี้เลื่อย กะลามะพร้าว วิธีนี้นิยมใช้ต่อจากกระบวนการอื่น เพราะไม่สามารถใช้กำจัดสารที่มีขนาดใหญ่ได้ เมื่อใช้ไปนาน ๆ ประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลง จึงต้องล้างด้วยตัวทำละลายซึ่งอาจเป็นกรด เบส หรือไอน้ำแล้วแต่ความเหมาะสม

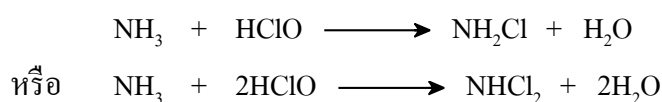
2.3.1.5 การใช้คลอรีน (chlorination) คือ การเติมคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีนลงไปในน้ำเพื่อฆ่าเชื้อโรค (disinfection) ที่เป็นแบคทีเรียและไวรัส หลักการทำงานคือ เมื่อเติมคลอรีนลงไปในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาเป็นสารละลายไฮโปคลอรัส (HClO) ดังปฏิกิริยาซึ่งจะเป็นตัวฆ่าเชื้อโรคได้



วิธีการเติมคลอรีนลงไปในน้ำเพื่อกำจัดกลิ่น สามารถทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 3 วิธี คือ

1. การเติมด้วยวิธีธรรมดา เป็นวิธีการเติมคลอรีนในน้ำโดยตรง ปริมาณที่ใช้เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาและฆ่าเชื้อโรคได้ วิธีการนี้เหมาะสำหรับน้ำที่ผ่านกระบวนการกำจัดสารแขวนลอยแล้ว เช่น น้ำประปา หรือน้ำบาดาลที่มีสารอินทรีย์เจือปนอยู่น้อย

2. เติมในลักษณะของแอมโมเนีย-คลอรีน (ammonia chlorine treatment) เป็นการเติมคลอรีนและแอมโมเนียเพื่อให้ทำปฏิกิริยากันแล้วอยู่ในลักษณะของคลอรามิน (chloramines) ดังสมการ



วิธีการนี้คลอรีนจะค่อย ๆ สลายตัวอย่างช้า ๆ ทำให้ไม่มีกลิ่นคลอรีนรุนแรง แต่ต้องใช้เวลานานในการทำลายจุลินทรีย์ จึงเหมาะสำหรับการใช้ฆ่าเชื้อโรคในอ่างเก็บน้ำที่จะนำไปทำเป็นน้ำประปาต่อไป

3. การเติมแบบ break point chlorination เป็นวิธีการเติมคลอรีนเพื่อให้มีปริมาณคลอรีนอิสระอยู่ได้นาน และคลอรีนอิสระจะเกิดปฏิกิริยาและฆ่าเชื้อโรคไปเรื่อย ๆ คลอรีนที่ใช้เติมลงไปใต้น้ำอาจเป็นแก๊ส หรือเป็นผงที่อยู่ในรูปของแคลเซียมหรือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$, NaClO)

2.3.2 การปรับสภาพน้ำทางกายภาพ

การปรับสภาพน้ำทางกายภาพ (physical treatment) เป็นวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำต่อการปรับสภาพน้ำทางเคมี ซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่

2.3.2.1 การกรอง (filtration) เป็นการแยกสิ่งปฏิกูลออกโดยใช้สารกรอง (filter) สารกรองจะมีลักษณะเป็นรูพรุน หรือเป็นวัสดุที่เป็นเม็ดขนาดเล็ก ๆ วางเรียงกันแล้วทำให้เกิดช่องว่างเพื่อให้น้ำไหลผ่านได้ แต่จะกั้นสิ่งปฏิกูลไว้ สารกรองมีหลายประเภทได้แก่

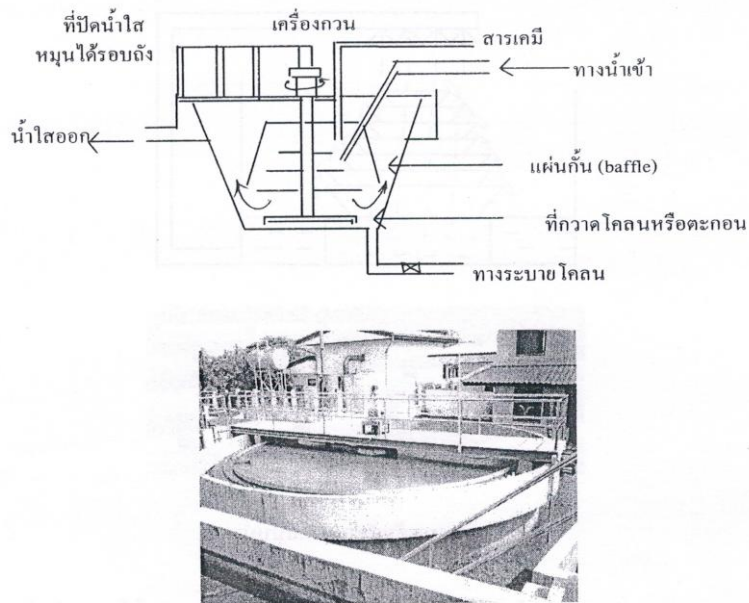
1. สารกรองทราย (sand filter) ใช้ทรายวางเรียงกันเป็นชั้น ๆ โดยวางหินที่มีขนาดใหญ่ไว้ชั้นล่างสุด ถัดขึ้นมาจะเป็นขนาดเล็กลงจนกระทั่งชั้นบนสุดจะเป็นทรายละเอียด

2. สารกรองถ่านกัมมันต์ (activated carbon filter) มีรูพรุนสม่ำเสมอ ช่วยในการฟอกสีและดูดกลิ่นได้ด้วย

3. สารกรองเส้นใย (fiber filter) โดยเส้นใยทำเป็นแผ่นหรือเป็นไส้กรอง

4. สารกรองดินเบา (diatomaceous earth filter) เป็นดินที่เกิดจากซากพืชซากสัตว์ทับถมกัน ประกอบด้วยซิลิกา (SiO_2) ดินประเภทนี้มีความละเอียดมาก และช่วยในการฟอกสีด้วย

2.3.2.2 การตกตะกอนนอนก้น (sedimentation) เป็นการแยกสารที่เป็นของแข็งออกจากน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (gravity) ดังที่ใช้ในการแยกตะกอนออกสรางด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก อาจเป็นรูปวงกลมหรือสี่เหลี่ยม ถังชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า ถังพักใส (clarifier) หรือถังทำน้ำอ่อน (softener) หรือถังตกตะกอน (sedimentation tank) ดังแสดงในรูปที่ 3.3

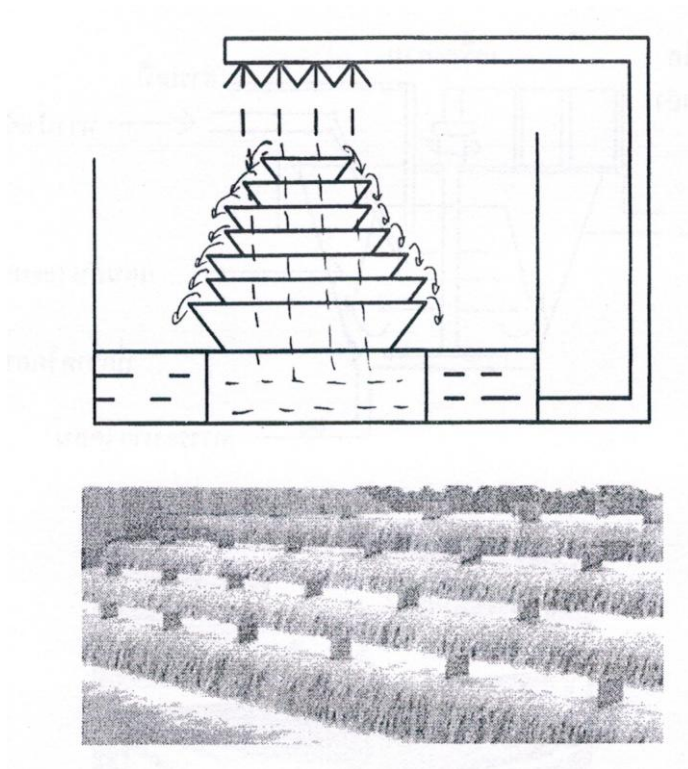


รูปที่ 2.3 ถังพักใส

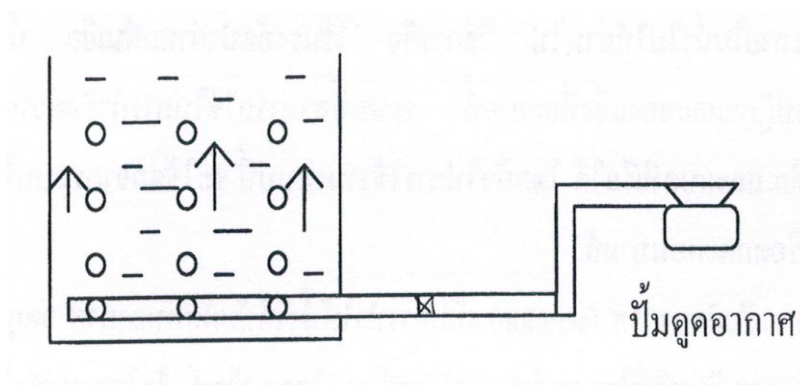
ที่มา : (วรรณ กาญจนมยุร, 2551, หน้า 11)

2.3.2.3 รีเวอร์ออสโมซิส (reverse osmosis) เป็นการอาศัยหลักการออสโมซิส มาใช้ แต่การทำงานจะตรงข้ามกับการใช้เยื่อบาง ๆ (membrane filter) เป็นตัวกรอง เยื่อจะสามารถกั้นของแข็งที่ละลายในน้ำไม่ให้ผ่านไป วิธีการคือ ใช้แรงอัดน้ำผ่านแผ่นเยื่อ น้ำที่ออกมาจะปราศจากสิ่งปฏิกูลและของแข็งที่ละลายน้ำ ระบบนี้สามารถใช้ในการกำจัด ความเค็ม ความกระด้าง เหล็ก และแบคทีเรียได้ โดยทั่วไปการใช้งานระบบนี้ จะใช้ต่อจาก ระบบอื่น เช่น ผ่านการกรอง หรือตกตะกอนมาแล้ว

2.3.2.4 การสัมผัสอากาศ (aeration) เป็นการทำให้น้ำได้สัมผัสกับอากาศ วัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย กำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นสารกัดกร่อนออกจากน้ำ กำจัดเหล็ก แมงกานีส และสารอินทรีย์ในน้ำ เครื่องมือในการสัมผัสอากาศมี 2 แบบ คือ แบบน้ำตก (water fall) และแบบกระจายอากาศเข้าไปในน้ำ (diffused air type) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

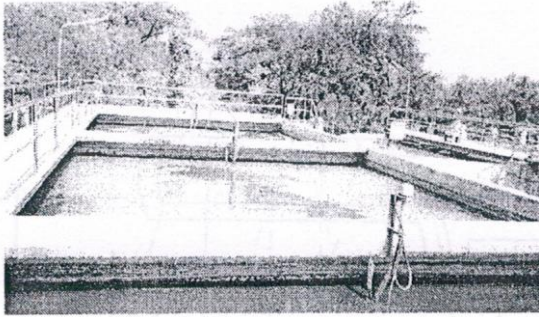


รูปที่ 2.4 ระบบสัมผัสอากาศแบบน้ำตก
ที่มา : (วรรณ กาญจนมธุร, 2551, หน้า 12)



รูปที่ 2.5 ระบบการกระจายอากาศเข้าไปในน้ำ

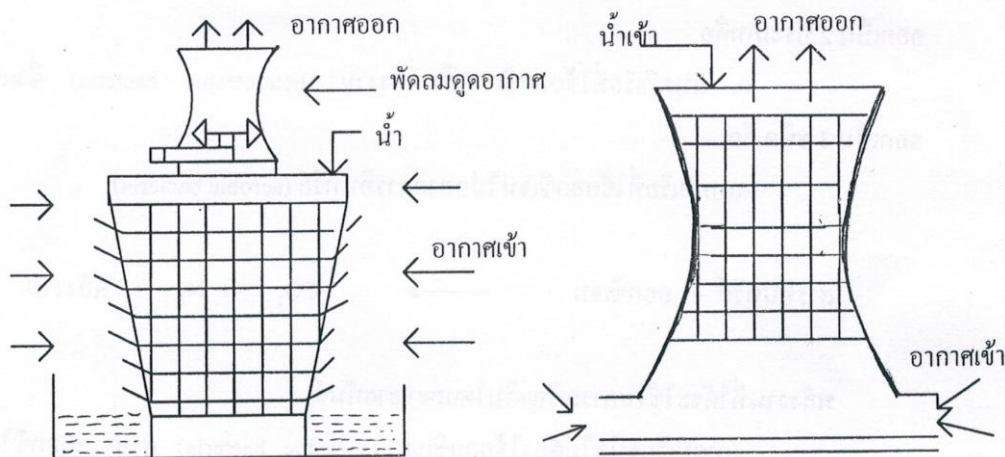
การกระจายอากาศเข้าไปในน้ำ จะทำให้น้ำมีการสัมผัสกับอากาศได้นานกว่า วัสดุที่ใช้
ต้องทนต่อการกัดกร่อนของออกซิเจนในน้ำ ได้แก่ คอนกรีต อะลูมิเนียม เหล็กกล้า หรือโลหะผสม
นอกจากนี้ปัจจุบันยังมีการใช้เครื่องตีอากาศ ซึ่งจะทำให้อากาศกระจายเข้าไปในน้ำได้เร็วขึ้น ซึ่งนิยมใช้
ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ป่อเติมอากาศด้วยเครื่องตีอากาศ
ที่มา : (วรรณ กาญจนมยุร, 2551, หน้า 13)

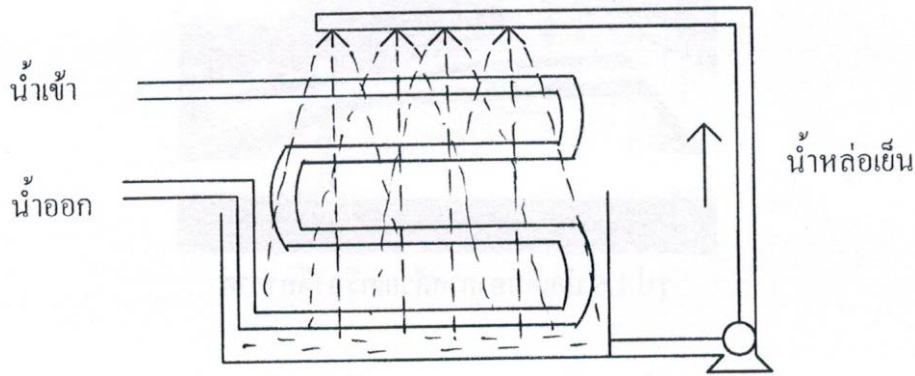
2.3.2.5 ระบบการให้น้ำเย็นและการปรับสภาพน้ำ (cooling water system and water conditioning) เป็นการดึงความร้อนออกจากน้ำ ทำได้ 2 แบบ คือ

1. ระบบหมุนเวียนแบบเปิด (open circulating system) เป็นการปล่อยความร้อนออกสู่บรรยากาศโดยการพ่นน้ำเป็นฝอยขึ้นไปในอากาศเหมือนน้ำพุ หรือการใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อนออกจากน้ำ เครื่องมือที่ใช้มีลักษณะเป็นหอสูง เรียกว่า หอทำให้เย็น (cooling tower) มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบให้พัดลมดูดอากาศและแบบไม่ใช้พัดลม ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 หอทำให้เย็น
ที่มา : (วรรณ กาญจนมยุร, 2551, หน้า 13)

2. ระบบหมุนเวียนแบบปิด (closed circulating system) เป็นการระบายความร้อน โดยไม่มีการสัมผัสอากาศ แต่ใช้น้ำจากภายนอกเป็นตัวดึงความร้อนออกไป ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งวิธีการนี้มีข้อดีคือ ช่วยไม่ให้น้ำเกิดความกระด้าง



รูปที่ 2.8 ระบบหมุนเวียนแบบปิด

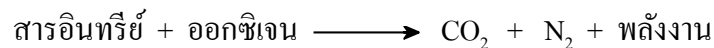
ที่มา : (วรรณ กาญจนมูร, 2551, หน้า 14)

2.3.3 การปรับสภาพน้ำทางชีววิทยา

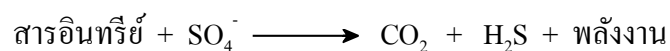
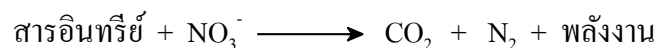
การปรับสภาพน้ำทางชีววิทยา (biological treatment) เป็นวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยการเลี้ยงแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตด้วยการใช้สิ่งปฏิกูลและของเสียเป็นอาหาร เป็นการเปลี่ยนสภาพของเสียไม่ให้เกิดเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการปรับสภาพน้ำทางชีววิทยานิยมใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งใช้เวลานาน และใช้สถานที่มาก สำหรับจุลินทรีย์ที่ใช้ในการกำจัดน้ำเสียแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.3.3.1 แบคทีเรียที่ใช้ ออกซิเจนเป็นพลังงาน (heterotrophic bacteria) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. แบคทีเรียที่ใช้ ออกซิเจนไปสลายสารอินทรีย์ (aerobic bacteria) ซึ่งพลังงานที่ได้จะใช้ในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์

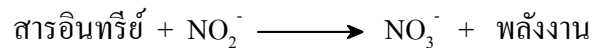
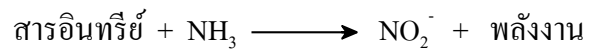


2. แบคทีเรียชนิดไม่ต้องใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria) สามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจนอิสระ แต่อาศัยออกซิเจนจากสารประกอบอื่น เช่น สารไนเตรต ซัลเฟต เป็นต้น



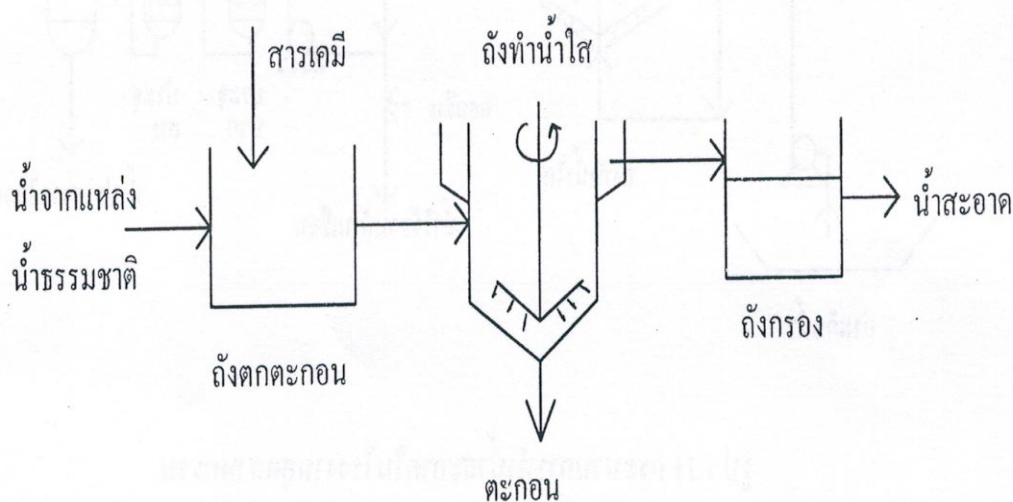
3. แบคทีเรียชนิดที่ดำรงชีวิตได้ทั้งใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน (facultative bacteria) แบคทีเรียชนิดนี้สามารถอยู่ได้ทั้ง 2 สถานะ ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนอิสระในน้ำ

2.3.3.2 แบคทีเรียที่ใช้สารอนินทรีย์เป็นพลังงาน (autotrophic bacteria) ได้แก่ nitrifying bacteria สามารถออกซิไดซ์ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปแอมโมเนียไปเป็นไนเตรต ปฏิกิริยาจะเกิดเมื่ออุณหภูมิสูง



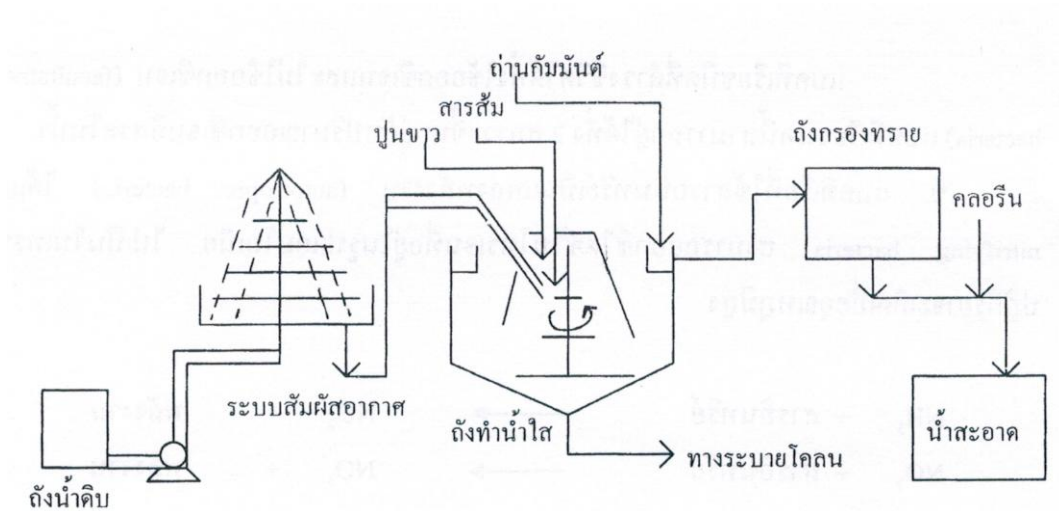
2.4 กระบวนการปรับสภาพน้ำ

กระบวนการปรับสภาพน้ำ (water treatment process) เป็นการทำน้ำให้สะอาดหรือทำให้มีสภาพเป็นน้ำอ่อน (soft water) โดยใช้สารเคมีเพื่อกำจัดความกระด้าง ดังแสดงผังกระบวนการดังรูปที่ 3.9 ซึ่งตะกอนที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยออกทางก้นถัง ส่วนน้ำใสจะลอยขึ้นด้านบน น้ำใสที่ได้ผ่านถังกรองเพื่อกำจัดความขุ่น สารกรองที่ใช้อาจเป็นทราย ดินเบา หรือถ่านกัมมันต์ น้ำที่ได้จะสะอาดปราศจาก ความกระด้างและความขุ่น สำหรับระบบการทำน้ำประปาและการทำน้ำสะอาดเพื่อใช้ในโรงงาน อุตสาหกรรมแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 2.10 และรูปที่ 2.11 ตามลำดับ



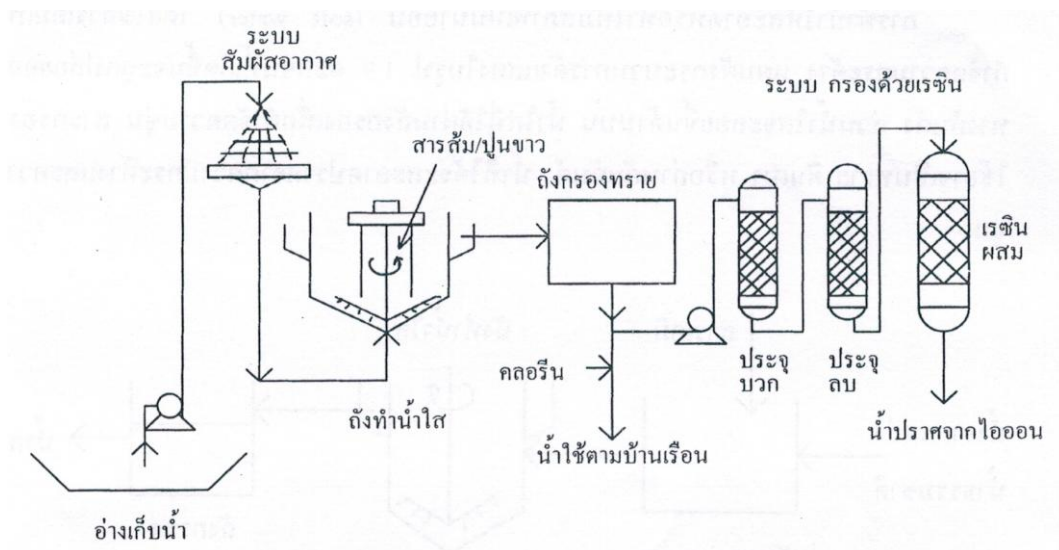
รูปที่ 2.9 แสดงกระบวนการทำน้ำสะอาด

ที่มา : (สาวิตรี จันทรานุกฤษ, 2546, หน้า 41)



รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการทำน้ำประปา

ที่มา : (สาวิตรี จันทรานุกรักษ์, 2546, หน้า 43)



รูปที่ 2.11 แสดงกระบวนการทำน้ำสะอาดในโรงงานอุตสาหกรรม

ที่มา : (สาวิตรี จันทรานุกรักษ์, 2546, หน้า 44)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประวิทย์ จันทรแห่ง (2553) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งในพื้นที่อำเภอ กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มี ผลต่อความแห้งแล้งได้แก่ ปริมาณน้ำฝนต่อปี ปริมาณน้ำบาดาล ลักษณะเนื้อดิน และการระบายน้ำของ ดิน คลองชลประทาน และการใช้ประโยชน์จากที่ดิน โดยพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแห้งแล้งใน พื้นที่ที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมากที่สุดคือ การระบายน้ำของดิน รองลงมาคือ ลักษณะเนื้อดิน ส่วนปัจจัยอื่น ๆ มีความสัมพันธ์ไม่แตกต่างกัน

รัตนา สนั่นเมือง ยุทธพงษ์ อุดแน่น และวิภารัตน์ เชื้อชวด. (2551) ได้ศึกษาการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลสังเคราะห์ด้วยไคโดซานเมมเบรน โดยพบว่า ไคโดซานเมมเบรนสามารถดูดซับที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) และที่ 40 องศาเซลเซียส ได้ดีที่พีเอช 2.5 - 7.0 (75.21– 100.00 %) สำหรับสมมูลในการดูดซับนั้นเกิดขึ้นตั้งแต่ชั่วโมงแรกจนกระทั่งชั่วโมงที่ 16 โดยสามารถดูดซับเหล็กได้ 72.33-97.61 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้น ของสารละลายเหล็กนั้น พบว่าไคโดซานเมมเบรนมีความสามารถในการดูดซับเหล็กเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเหล็กสูงขึ้นโดยประสิทธิภาพของการดูดซับที่ดีจะอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.5 – 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าการดูดซับอยู่ในช่วง 69.20 - 96.61 % ผลการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าสอดคล้องกับสมการฟรุนดลิช ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นการดูดซับแบบต่อเนื่อง โดยมีค่าคงที่ K_f ในสมการฟรุนดลิชเท่ากับ 19.05 ซึ่งมีค่าสูง แสดงถึงความจุในการดูดซับของไคโดซานเมมเบรน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงด้วย

เฉลิมพร ชัยบุญเรือง (2553) ได้ศึกษาการบริหารจัดการคุณภาพน้ำบาดาล กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม เพื่อสำรวจปริมาณการปนเปื้อนของมลพิษจากฟาร์มหมูในแหล่งน้ำบาดาลและประเมินสภาพความรุนแรงของการปนเปื้อนของมลพิษในน้ำเสียจากฟาร์มหมูต่อคุณภาพน้ำบาดาล ตลอดจนแนวทางการป้องกันและแก้ไขปัญหา โดยศึกษาจากฟาร์มหมูขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจากบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ระหว่างปี 2551-2552 การศึกษาค่า pH และความขุ่นพบว่า มีค่าความเป็นกรดและเบสสูง ค่า BOD มีค่าอยู่ระหว่าง 1,500-3,000 mg/L ซึ่งเกิดมาตรฐานน้ำบาดาลสำหรับการอุปโภคบริโภค เห็นได้ว่าคุณภาพน้ำบาดาลมีแนวโน้มเสื่อมสภาพลงในช่วงปีที่ศึกษา ซึ่งอาจทวีความรุนแรงก่อให้เกิดผลเสียหายมากขึ้นเป็นลำดับ ดังนั้นทั้งภาครัฐและเอกชนจึงควรต้องเร่งส่งเสริมและผลักดันให้เกษตรกรพัฒนาฟาร์มเลี้ยงสัตว์ของตนให้ได้มาตรฐานโดยเร็ว เพื่อผลดีต่อสุขภาพของ ชุมชน ผู้บริโภคและเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์เองในระยะยาว

รัชฎาพร วัชรวิชานันท์ และกมณชนก วงศ์สุขสิน (2555) ได้ศึกษาการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและการอุปโภคในเขตตำบลหนองบัวศาลาและตำบลหนองระเวียง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมี โดยได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวทางเคมีของถ่านกัมมันต์ด้วยกรดไนตริก และทำการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีในน้ำบาดาลในฤดูร้อนและฤดูฝน โดยทำการวิเคราะห์ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านกัมมันต์ ผลการวิเคราะห์พบว่า น้ำบาดาลในฤดูร้อนของทั้ง 2 ตำบล มีปริมาณ เหล็กเกินค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับอุปโภค และเมื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลโดยใช้ถ่านกัมมันต์ จะทำให้มีปริมาณ Fe ลดลงและมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำบาดาล และนอกจากนี้ยังพบว่าน้ำบาดาลที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมีแล้ว มีปริมาณ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีเฉลี่ยไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมและหม้อไอน้ำ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	บริษัทผู้ผลิต
เครื่องชั่งทศนิยม ตำแหน่ง (Analytical balance)	BP 210S	Sartorius, Germany
เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS)	PinAAcle 900F	PerkinElmer USA
เครื่องวัดพีเอช (pH meter)	GC700	EUTECH Singapore
เตาอบ (Hot air oven)	UM500	Memmert Germany
เครื่องให้ความร้อนและหมุนเวียน (Hotplate & Stirrer)	4658	Cole-Parmer USA
ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer)	UV-1700	Simadzu, Japan
เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Microprocessor conductivity meter)	LF300	WTW, USA
เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity meter)	2100 N	HACH USA
อ่างน้ำร้อนและเครื่องเขย่า (Water & Shaker bath)	WB22	Memmert Germany

3.1.2 สารเคมี

ในการวิจัยนี้ สารเคมีที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรเคมี	MW (g/mol)	เกรด	บริษัทผู้ผลิต
กรดไฮโดรคลอริก 37% (v/v) (Hydrochloric acid)	HCl	36.46	AR	Merck, Germany
กรดไนตริก (Nitric acid)	HNO ₃	63.01	AR	Fluka Switzerland
เอทานอล (Ethanol)	C ₂ H ₅ OH	46.07	AR	Fisher, USA
แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride)	NH ₄ Cl	53.49	AR	Sigma, USA
แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide)	NH ₄ OH	35.05	AR	Sigma, USA
แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate)	CaCO ₃	100.09	AR	Sigma USA
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide)	Ca(OH) ₂	74.10	AR	Fluka Switzerland
เอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซีติกแอซิก (Ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA)	C ₁₀ H ₁₆ N ₂ O ₈	292.25	AR	Fluka Switzerland
แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (Magnesium chloride hexahydrate)	MgCl ₂ ·6H ₂ O	203.31	AR	Fluka Switzerland
โพแทสเซียมโครเมต (Potassium chromate)	K ₂ CrO ₄	194.20	AR	Merck, Germany
โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate)	Na ₂ CO ₃	105.99	AR	Fluka Switzerland
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	NaOH	40.00	Lab	Carlo Erba, Italy
ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate)	AgNO ₃	169.88	AR	Fluka Switzerland

3.2 การเตรียมวัตถุดิบและสารละลาย

3.2.1 การเก็บและการเตรียมตัวอย่างน้ำ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสำรวจคุณภาพของน้ำบาดาลของชุมชนตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างของน้ำบาดาลจำนวน 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงเดือนเมษายน 2561 ช่วงเดือนกรกฎาคม 2561 และช่วงเดือนธันวาคม 2561 เพื่อตรวจสอบคุณภาพของน้ำบาดาลในพื้นที่ดังกล่าว โดยมีวิธีในการดำเนินการดังนี้

3.2.1.1 การเก็บน้ำบาดาลจากบ่อบาดาลของชุมชนจะต้องทำการสูบน้ำปล่อยทิ้งก่อนเก็บประมาณ 3-5 นาที แล้วจึงนำขวดเก็บตัวอย่างไปรองรับน้ำ และต้องระวังไม่ให้ปากขวดไปสัมผัสกับปากสายน้ำ จากนั้นทำการปิดฝาขวดให้สนิทแล้วจึงนำไปวิเคราะห์คุณภาพ หรือเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ และจะต้องทำการวิเคราะห์ภายใน 3 วัน

3.2.1.2 ตัวอย่างน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมด 3 สถานีหลัก ได้แก่

- 1) ณ ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง วัดป่าพุทธอุทยาน หมู่ 2 ตำบลห้วยใหญ่
- 2) ณ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลห้วยใหญ่
- 3) ณ โรงเรียนบ้านห้วยใหญ่

3.2.1.3 การเตรียมตัวอย่างน้ำบาดาลที่เก็บมาได้ ทำโดยการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อแยกเอา insoluble matter ออกไป และเก็บตัวอย่างน้ำในขวด polyethylene ขนาด 1 L ปิดจุให้แน่น

3.2.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.2.1 สารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5-20%

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37%) ปริมาตร 13.5, 27.1, 40.5 และ 54.1 mL ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL ที่บรรจุน้ำกลั่นไว้บางส่วนแล้วจำนวน 4 ขวด ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร ภายหลังการเขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5, 10, 15, และ 20 % ตามลำดับ

3.2.2.2 สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1%

ปิเปตกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) มา 1 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนขีดปริมาตร จะได้สารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 1%

3.2.2.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.0 M

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ หนัก 40 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 400 mL ในบีกเกอร์ขนาด 500 mL คนด้วยแท่งแก้วจนกระทั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ของแข็งละลายหมด จากนั้นค่อย ๆ เทลงในขวดปริมาตรขนาด 1000 mL อย่างระมัดระวัง แล้วนั้นปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.4 สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 M

ชั่ง KCl มาหนัก 0.7456 g ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน (DI water) ปริมาตร 100 mL ของ ในบีกเกอร์ขนาด 250 mL จากนั้นถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 1000 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร (สารละลายนี้มีค่า Conductivity 1,413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ที่ 25°C)

3.2.2.5 สารละลาย Eriochrome Black T indicator

ชั่ง Eriochrome Black T มาหนัก 0.15 g ละลายด้วย triethanolamine ปริมาตร 15 mL ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL จากเดิม 95% ethanol จงไปปริมาตร 15 mL กวนผสมให้เข้ากัน เทลงในขวดสีน้ำตาลเก็บสารละลาย ปิดฝาให้สนิท และเก็บไว้ในที่มืดแสง (เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพโดยแสงสว่าง)

3.2.2.6 สารละลายบัฟเฟอร์ pH 10.0

ชั่ง EDTA มาหนัก 0.2358 g และชั่ง $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ มา 0.1288 g ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาตร 10 mL ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL จากนั้นทำการชั่ง NH_4Cl มาหนัก 3.38 g ละลายด้วย conc. NH_4OH 28.6 mL ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL อีกใบหนึ่ง นำสารละลายจากบีกเกอร์ทั้งสองใบผสมให้เข้ากัน แล้วถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 50 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.7 สารละลาย K_2CrO_4 5% w/v

ชั่ง K_2CrO_4 มาหนัก 5.0 g ละลายด้วย 50 mL ของน้ำกลั่นปราศจากไอออน (DI water) ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL จากนั้นถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.8 สารละลายมาตรฐาน AgNO_3 0.0141 N

ชั่ง AgNO_3 มาหนัก 0.5985 g ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ละลายด้วย 50 mL ของน้ำกลั่นปราศจากไอออน (DI water) ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL จากนั้นถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 250 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.9 สารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนต

ชั่ง CaCO_3 มาหนัก 0.25 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL จากนั้นค่อย ๆ หยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกลงไปทีละหยดผ่านกรวยแก้วจน CaCO_3 ละลายหมด จากนั้นเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนลงไป 20 mL แล้วต้มให้เดือดประมาณ 2-3 นาที (ที่อุณหภูมิประมาณ 60°C) ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วหยด Methyl red indicator 2-3 หยด ปรับให้สารละลายมีสีส้มโดยใช้ conc. NH_4OH แล้วรินสารละลายใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร (โดย 1 mL ของสารละลายมาตรฐาน = 1 mg CaCO_3)

3.2.2.10 สารละลาย EDTA 0.01 M

ชั่ง EDTA (ethylenediamine tetraacetic acid) มาหนัก 1.862 g ให้ทรานน้ำหนักที่แน่นอน ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน (DI water) 100 mL ในบีกเกอร์ขนาด 250 mL จากนั้นถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 500 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.11 สารละลาย Methyl red indicator 0.1% w/v

ชั่ง Methyl red มาหนัก 0.05 g ให้ทรานน้ำหนักที่แน่นอน ละลายด้วยเอทานอลในบีกเกอร์ขนาด 50 mL จากนั้นถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 50 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยเอทานอลจนถึงขีดปริมาตร

3.2.2.12 สารละลายมาตรฐานแมงกานีส

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแมงกานีสความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 1.0 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 10.0 ppm จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้น 10 ppm มา 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานแมงกานีสที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, , 0.80, 0.10 และ 0.12 ppm ตามลำดับ

3.2.2.13 สารละลายมาตรฐานเหล็ก

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 1.0 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายเหล็กมาตรฐานความเข้มข้น 10.0 ppm จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้น 10 ppm มา 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานเหล็กที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, , 0.80, 0.10 และ 0.12 ppm ตามลำดับ

3.2.2.14 สารละลายมาตรฐานทองแดง

ปีเปตสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 1.0 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายทองแดงมาตรฐานความเข้มข้น 10.0 ppm จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 10 ppm มา 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 mL ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานทองแดงที่มีความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, , 0.80, 0.10 และ 0.12 ppm ตามลำดับ

3.3 การออกแบบและเตรียมเครื่องมือ และชุดอุปกรณ์ในการวิจัย

ทำการศึกษาออกแบบชุดปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล โดยทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วย ส่วนของการบำบัดคุณภาพน้ำบาดาลโดยการใช้สารเคมี และส่วนของการบำบัดโดยการใช้สารกรอง ที่มีความเหมาะสมและเพียงพอต่อการนำไปใช้งานในระดับครัวเรือน

ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตและในการใช้งาน ศึกษาขั้นตอนและเงื่อนไขการใช้งาน และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตและการใช้งาน ศึกษาต้นทุนและความคุ้มค่าในการใช้งาน

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำบาดาล

3.4.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid, TS) โดยวิธีระเหยแห้ง

นำถ้วยระเหยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นนำถ้วยระเหยมาชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) จดบันทึกน้ำหนักถ้วยระเหยที่ชั่งได้ (บันทึกเป็นน้ำหนัก A) ทำการเขย่าตัวอย่างน้ำบาดาลให้เข้ากันแล้วจึงปีเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 50 mL ใส่ลงในถ้วยระเหย แล้วนำไปประเหยด้วยความร้อนจากไอน้ำที่ได้จากเครื่องอังน้ำที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 100 °C จนกระทั่งปริมาณน้ำตัวอย่างระเหยไปเกือบหมด จากนั้นนำถ้วยระเหยเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วทำการชั่งถ้วยระเหยที่เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง (บันทึกเป็นน้ำหนัก B) คำนวณหาผลต่างของน้ำหนักของถ้วยระเหยของน้ำหนัก B-A โดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของปริมาณของแข็งทั้งหมดหรือ TS

3.4.1.2 การวิเคราะห์หาค่าความขุ่นโดยวิธีเนฟโฟโลเมตริก (Nephelometric Method)

ทำการเปิดเครื่องวัดความขุ่นทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อเตรียมความพร้อมของเครื่อง ก่อนทำการวัดค่าความขุ่น จากนั้นทำการ calibrate ตามคู่มือของเครื่องวัดค่าความขุ่น โดยใช้ละลายมาตรฐาน Formazin Turbidity Standard ที่มีค่าความขุ่นเท่ากับ 20, 200, 1000, และ 4000 NTU

ตามลำดับ ทำการเขย่าขวดภาชนะที่บรรจุน้ำบาดาลตัวอย่างแล้วเทลงในขวดใส่สารตัวอย่างสำหรับวัดค่าความขุ่น นำไปวางไว้ในช่องใส่สารตัวอย่างของเครื่อง แล้วทำการวัดค่าความขุ่น บันทึกผลที่ได้

3.4.1.3 การวิเคราะห์หาค่าการนำไฟฟ้า

ทำการเปิดเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าไว้ประมาณ 5-10 นาที เพื่อเตรียมความพร้อมของเครื่องก่อน และปรับตั้งเครื่องเพื่อการวัดค่าการนำไฟฟ้าตามคู่มือของเครื่อง จากนั้นทำการวัดสารละลายมาตรฐานตามช่วงการใช้งาน เช่น สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 normal จะมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ $1,413 \pm 5 \mu\text{mol cm}^{-1}$ ที่ 25°C หรือตามกำหนดไว้ในคู่มือเพื่อปรับเครื่องมือให้มีค่าถูกต้อง ทำการล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดแล้วเช็ดให้แห้ง ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลตัวอย่าง โดยการเขย่าภาชนะขวดที่เก็บน้ำตัวอย่าง แล้วเทใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 mL จากนั้นจุ่มอิเล็กโทรดลงในน้ำตัวอย่าง และกวนผสมน้ำตัวอย่างประมาณ 30-60 วินาที แล้วบันทึกค่าการนำไฟฟ้าที่อ่านได้

3.4.2 การวิเคราะห์หาคุณลักษณะทางเคมีของน้ำบาดาล

3.4.2.1 การวิเคราะห์หาความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ทำการวิเคราะห์หาความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่องมือ pH meter โดยในขั้นตอนแรกใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเล็กโทรดให้สะอาด ใช้กระดาษทิชชูซับน้ำให้แห้ง จากนั้นทำการปรับเทียบมาตรฐานโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มี pH 4, pH 7 และ pH 10 ซึ่งมีค่าครอบคลุมในช่วงที่ต้องการวัด แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเล็กโทรดอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่างและจดบันทึกค่าที่อ่านได้ ทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

3.4.2.2 การวิเคราะห์หาความกระด้างทั้งหมด

การวิเคราะห์หาความกระด้างทั้งหมดของน้ำตัวอย่างแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การทำ standardize การทำ Blank และการวิเคราะห์หาค่าความกระด้างทั้งหมด (Total hardness, H total) ค่าความกระด้างคาร์บอเนต (Carbonate hardness, H carb) และค่าความกระด้างถาวร (Non-carbonate hardness, H non-carb) ของตัวอย่างน้ำบาดาล ดังนี้

1) การทำ Standardize ทำโดยเปิดสารละลายมาตรฐาน CaCO_3 มาปริมาตร 50 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL จากนั้นเติมสารละลาย buffer pH 10 ลงไป 1 mL เติมอินดิเคเตอร์ Eriochrome Black T ลงไป 2-3 หยด เพื่อให้ได้สารละลายที่เปลี่ยนเป็นสีชมพูใส จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลาย EDTA ความเข้มข้น 0.01 M จนถึงจุดยุติ จะได้สารละลายสีน้ำเงินใส (การไทเทรตต้องทำให้เสร็จภายใน 5 นาที) บันทึกปริมาตรที่ใช้ แล้วนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย EDTA มาตรฐาน

2) การทำ Blank ทำโดยปิเปตน้ำกลั่นมา 50 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL จากนั้นเติมสารละลาย buffer pH 10 ลงไป 1 mL เติมอินดิเคเตอร์ Eriochrome Black T ลงไป 2-3 หยด เพื่อให้ได้สารละลายที่เปลี่ยนเป็นสีชมพูใส จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA จนถึงจุดยุติ จะได้สารละลายสีน้ำเงินใส บันทึกปริมาตรที่ใช้ แล้วนำไปคำนวณหาความกระด้างของ Blank

3) การวิเคราะห์หาค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลตัวอย่าง ทำโดยการปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL จากนั้นเติมสารละลาย buffer pH 10 ลงไป 10 mL เติมอินดิเคเตอร์ Eriochrome Black T ลงไป 4-5 หยด จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA จนถึงจุดยุติ ซึ่งสารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีชมพูใสไปเป็นสีน้ำเงินใส บันทึกปริมาตรที่ใช้ แล้วนำไปคำนวณหาความกระด้างทั้งหมด โดยจำนวนโมลของความกระด้างทั้งหมดจะเท่ากับจำนวนโมลของ EDTA ที่ใช้ในการไทเทรต

4) การวิเคราะห์หาค่าความกระด้างคาร์บอเนตของน้ำบาดาลตัวอย่าง ทำโดยการปิเปตน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 mL ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL จากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ Methyl orange ลงไป 4-5 หยด จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน 0.1 M HCl จนถึงจุดยุติ ซึ่งสารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองไปเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรที่ใช้ แล้วนำไปคำนวณหาความกระด้างคาร์บอเนต (H carb raw) โดยจำนวนโมลของความกระด้างชั่วคราวจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนโมลของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรต

5) คำนวณหาค่าความกระด้างถาวรจากสมการ

$$\text{ค่าความกระด้างถาวร (H}_{\text{non-carb}}) = \text{ค่าความกระด้างทั้งหมด (H}_{\text{total}}) - \text{ค่าความกระด้างชั่วคราว (H}_{\text{carb}})$$

3.4.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดและปริมาณคลอไรด์ในน้ำบาดาล

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ ปริมาณเหล็ก ปริมาณแมงกานีส ปริมาณทองแดง และปริมาณคลอไรด์ไอออน ในน้ำบาดาลตัวอย่าง ดังนี้

1) การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก

นำสารละลายมาตรฐานเหล็กที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, และ 0.12 mg L⁻¹ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำน้ำบาดาลตัวอย่างที่ผ่านการกรองเอาสิ่งเจือปนออกไปแล้วมา 50 mL ใส่ลงในขวดสารตัวอย่างแล้วนำไปวัดหาค่าความเข้มข้นของปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่างด้วยเครื่อง AAS

2) การวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีส

นำสารละลายมาตรฐานแมงกานีสที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, และ 0.12 mg L⁻¹ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้น

นำน้ำบาดาลตัวอย่างที่ผ่านการกรองเอาสิ่งเจือปนออกไปแล้วมา 50 mL ใส่ลงในขวดสารตัวอย่างแล้วนำไปวัดค่าความเข้มข้นของปริมาณแมงกานีสในน้ำตัวอย่างด้วยเครื่อง AAS

3) การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดง

นำสารละลายมาตรฐานทองแดงที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, และ 0.12 mg L⁻¹ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำน้ำบาดาลตัวอย่างที่ผ่านการกรองเอาสิ่งเจือปนออกไปแล้วมา 50 mL ใส่ลงในขวดสารตัวอย่างแล้วนำไปวัดค่าความเข้มข้นของปริมาณทองแดงในน้ำตัวอย่างด้วยเครื่อง AAS

4) การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ในน้ำบาดาลตัวอย่างที่ผ่านการกรองเอาสิ่งสกปรกออกไปแล้วโดยวิธีอาร์เจนโตเมตริก (Argentometric method) โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

ทำ Blank โดยการปิเปตน้ำกลั่นที่ปราศจากคลอไรด์ไอออน มา 100 mL เติมสารละลาย 5% w/v K₂CrO₄ ลงไปปริมาณ 1 mL จากนั้นนำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.0141 N จนกระทั่งถึงจุดยุติ (สารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีเหลืองแดง)

ทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ในน้ำบาดาลตัวอย่าง โดยการปิเปตน้ำบาดาลตัวอย่างมา 50 mL ใส่ลงไปในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL แล้วเติมน้ำกลั่นที่ปราศจากคลอไรด์ไอออนลงไปอีกปริมาตร 50 mL จากนั้นเติมสารละลาย 5% w/v K₂CrO₄ ลงไปปริมาณ 1 mL แล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน AgNO₃ 0.0141 N จนกระทั่งถึงจุดยุติ (สารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีเหลืองแดง) บันทึกผล และนำไปคำนวณหาปริมาณคลอไรด์ในน้ำบาดาลตัวอย่าง

3.4.3 การบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาลตัวอย่าง

การบำบัดความกระด้างของน้ำบาดาลตัวอย่าง ทำโดยการกำจัดความกระด้างคาร์บอเนตโดยใช้ Ca(OH)₂ และกำจัดความกระด้างถาวรโดยใช้ Na₂CO₃ จากค่าความกระด้างทั้งหมดและค่าความกระด้างคาร์บอเนตที่ได้จากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 3.4.2.2 โดยดำเนินการดังนี้

1. จากค่าความกระด้างทั้งหมด ทำการคำนวณเป็นน้ำหนัก Ca(OH)₂ ที่จะต้องใช้ในการปรับสภาพน้ำตัวอย่าง

2. จากผลต่างระหว่างค่าความกระด้างทั้งหมดกับค่าความกระด้างคาร์บอเนต นำไปคำนวณหาน้ำหนักของ Na₂CO₃ ที่ต้องใช้ในการปรับสภาพน้ำ

3. เติม Ca(OH)₂ และ Na₂CO₃ ลงไปในน้ำตัวอย่างที่จะทำการปรับสภาพน้ำตามจำนวนที่คำนวณได้ จากนั้นทำการกวนอย่างต่อเนื่องประมาณ 60 นาที

4. นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดความกระด้างในที่ช่วงเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที มากรอง แล้วจึงทำการไทเทรตหาค่าความกระด้างทั้งหมดและความกระด้างคาร์บอเนตอีกครั้ง

5. ทำการคำนวณค่าความกระด้างทั้งหมด (H total soft) และค่าความกระด้างคาร์บอเนต (H carb soft) ของน้ำหลังจากการบำบัดเพื่อปรับสภาพน้ำแล้ว

6. คำนวณหาประสิทธิภาพของการปรับสภาพน้ำตัวอย่าง โดยการคำนวณค่า degree of water softening (η_{soft}) โดยใช้สมการดังนี้

$$\eta_{\text{soft}} = \frac{\text{H total soft}}{\text{H total raw}}$$

$$\eta_{\text{soft}} = \frac{\text{H carb soft}}{\text{H carb raw}}$$

7. ทำการเขียนกราฟระหว่างค่าความกระด้างทั้งหมด ค่าความกระด้างคาร์บอเนตและค่า degree of water softening กับเวลา

3.4.4 การศึกษาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์บำบัดน้ำ

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์บำบัดน้ำ โดยจะศึกษาถึงประสิทธิภาพในด้านอัตราการกำลังการผลิต คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัด และด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน และด้านต้นทุนและความคุ้มค่าในการใช้เป็นพลังงานทดแทน ดังนี้

3.4.6.1 การศึกษาประสิทธิภาพในด้านอัตราการกำลังในการผลิต

ทำการศึกษาโดยการวัดอัตราการผลิตน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำ เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการผลิตน้ำสะอาด

3.4.6.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตน้ำสะอาด

ทำการศึกษาโดยการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยชุดบำบัดน้ำบาดาลไปตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามหัวข้อ 3.4.2

3.4.6.3 การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ทำการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานจากกลุ่มเกษตรกร และผู้ที่สนใจเข้าร่วมการอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี เรื่องการผลิตและการใช้ประโยชน์จากชุดบำบัดน้ำบาดาลเพื่อใช้ในการอุปโภคและการเกษตร จากผลการวิจัยที่ได้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ได้ทำการศึกษาการพัฒนาชุดอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลสำหรับการอุปโภค โดยในการวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการสำรวจคุณภาพน้ำบาดาลของชุมชนตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ขั้นตอนที่ 2 เป็นการออกแบบชุดอุปกรณ์สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล และขั้นตอนที่ 3 เป็นการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์สำหรับการปรับสภาพน้ำบาดาล การหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้งาน และการหาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ ทั้งนี้เพื่อให้ได้แนวทางในการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในงานด้านการผลิตน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการอุปโภคของชุมชนจากแหล่งน้ำใต้ดิน คุณภาพของน้ำบาดาลและน้ำบาดาลที่ผ่านการผลิตโดยใช้ชุดอุปกรณ์ ซึ่งรายละเอียดของผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาในแต่ละขั้นตอน เป็นดังนี้คือ

4.1 ผลการศึกษาการสำรวจคุณภาพน้ำบาดาล

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการสำรวจคุณภาพน้ำบาดาลของชุมชนตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยได้แบ่งการจัดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวนทั้งสิ้น 3 สถานี โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำตัวอย่างเพื่อตรวจสอบคุณภาพจำนวน 3 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่ 1 เดือนเมษายน 2561 ครั้งที่ 2 เดือนมิถุนายน 2561 และครั้งที่ 3 เดือนธันวาคม 2561 โดยจุดเก็บน้ำบาดาลตัวอย่างได้แก่ จุดเก็บที่ 1 ณ ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง วัดป่าพุทธอุทยาน หมู่ 2 ตำบลห้วยใหญ่ จุดเก็บที่ 2 ณ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลห้วยใหญ่ และจุดเก็บที่ 3 ณ โรงเรียนบ้านห้วยใหญ่ แล้วทำการศึกษาคุณภาพของน้ำบาดาลของตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ ผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำบาดาล

จากการสำรวจคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำบาดาลที่เก็บจากชุมชนหมู่ 2 ตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งได้ทำการตรวจวิเคราะห์หาคุณภาพทางกายภาพของน้ำบาดาลตัวอย่างได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด การวิเคราะห์หาค่าความขุ่น และการวิเคราะห์หาค่าการนำไฟฟ้า โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

4.1.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยวิธีการระเหยแห้งของน้ำบาดาลตัวอย่างจากจุดเก็บจำนวน 3 สถานี ที่เก็บได้จากตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี

สถานีเก็บน้ำตัวอย่าง	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS, mg L ⁻¹)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
จุดเก็บที่ 1	608	707	583	632
จุดเก็บที่ 2	630	795	678	701
จุดเก็บที่ 3	576	625	414	538

จากตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณค่าเฉลี่ยของแข็งทั้งหมดของน้ำบาดาลตัวอย่างของจุดเก็บทั้ง 3 สถานี ในช่วงระยะเวลาที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 538-701 mg L⁻¹ โดยจุดเก็บที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำบาดาลตัวอย่างสูงที่สุด แต่เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานแล้วพบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่ออุปโภคที่อนุโลมสูงสุดกำหนดให้มีย่าน้อยกว่า 1,200 mg L⁻¹

4.1.1.2 การวิเคราะห์หาค่าความขุ่น

จากการวิเคราะห์หาค่าความขุ่นโดยวิธีเนฟิโลเมตริกของน้ำบาดาลตัวอย่างจากจุดเก็บจำนวน 3 สถานี ที่เก็บได้จากตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความขุ่นของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี

สถานีเก็บน้ำตัวอย่าง	ปริมาณค่าความขุ่น (NTU)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
จุดเก็บที่ 1	5.12	12.2	3.25	6.85
จุดเก็บที่ 2	19.7	24.1	11.3	18.36
จุดเก็บที่ 3	5.51	8.11	2.37	5.33

จากตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณค่าเฉลี่ยความขุ่นทั้งหมดของน้ำบาดาลตัวอย่างของจุดเก็บทั้ง 3 สถานี ในช่วงระยะเวลาที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 5.33-18.36 NTU โดยจุดเก็บที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณความขุ่นของน้ำบาดาลตัวอย่างสูงที่สุด ทั้งนี้ในจุดเก็บน้ำตัวอย่างที่ 2 นี้ การเก็บน้ำทำโดยการใช้ปั๊มสูบน้ำแบบมือโยก ซึ่งอาจทำให้น้ำบาดาลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างมีค่าความขุ่นสูงกว่าการเก็บจากจุดเก็บอื่นๆ ที่มีปั๊มน้ำบาดาลดึงน้ำขึ้นมา เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานแล้วพบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่ออุปโภคที่อนุโลมสูงสุดกำหนดให้มีย่าน้อยกว่า 20 NTU

4.1.1.3 การวิเคราะห์หาค่าการนำไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์หาค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลตัวอย่างจากจุดเก็บจำนวน 3 สถานี ที่เก็บได้จากตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี

สถานีเก็บน้ำตัวอย่าง	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S cm}^{-1}$)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
จุดเก็บที่ 1	934	1,246	1,517	1,232
จุดเก็บที่ 2	675	1,013	708	798
จุดเก็บที่ 3	395	455	629	493

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลตัวอย่างของจุดเก็บทั้ง 3 สถานี ในช่วงระยะเวลาที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง $493\text{--}1,232 \mu\text{S cm}^{-1}$ โดยจุดเก็บน้ำตัวอย่างที่ 1 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด โดยค่าการนำไฟฟ้าไม่ได้มีการกำหนดไว้ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่ออุปโภค

4.1.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมีของน้ำบาดาล

จากการสำรวจคุณลักษณะทางเคมีของน้ำบาดาลที่เก็บจากชุมชนหมู่ 2 ตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งได้ทำการตรวจวิเคราะห์หาคุณภาพทางเคมีของน้ำบาดาลตัวอย่างได้แก่ การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง การวิเคราะห์หาค่าความกระด้างทั้งหมด ปริมาณโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ ปริมาณเหล็ก ทองแดง และแมงกานีส ตลอดจนปริมาณไอออนคลอไรด์ที่เป็นอยู่ในน้ำบาดาลตัวอย่าง ซึ่งผลการศึกษาเป็นดังนี้

4.1.2.1 การวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง

จากการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่างโดยเครื่องพีเอชมิเตอร์ของน้ำบาดาลตัวอย่างจากจุดเก็บจำนวน 3 สถานี ที่เก็บได้จากตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี

สถานีเก็บน้ำตัวอย่าง	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
จุดเก็บที่ 1	7.51	7.17	8.23	7.64
จุดเก็บที่ 2	8.17	7.05	8.26	7.83
จุดเก็บที่ 3	7.45	6.86	7.53	7.28

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำบาดาลตัวอย่างของจุดเก็บทั้ง 3 สถานี ในช่วงระยะเวลาที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง pH 7.28 - 7.83 ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานแล้วพบว่าค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่ออุปโภคที่อนุโลมสูงสุดกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 6.5-9.2

4.1.2.2 การวิเคราะห์หาค่าความกระด้างทั้งหมด

จากการวิเคราะห์หาค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลตัวอย่างจากจุดเก็บจำนวน 3 สถานี ที่เก็บได้จากตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5 ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี

สถานีเก็บน้ำตัวอย่าง	ปริมาณค่าความกระด้างทั้งหมด (mg L ⁻¹)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
จุดเก็บที่ 1	700	452	380	510
จุดเก็บที่ 2	500	320	260	320
จุดเก็บที่ 3	320	314	200	278

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่าเฉลี่ยความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลตัวอย่างของจุดเก็บทั้ง 3 สถานี ในช่วงระยะเวลาที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 278-510 mg L⁻¹ ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานแล้วพบว่าส่วนใหญ่มีค่าเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุด แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่อนุโลมสูงสุด ยกเว้นจุดเก็บน้ำตัวอย่างที่ 1 ซึ่งมีค่าความกระด้างทั้งหมดสูงกว่าเกณฑ์ที่อนุโลมสูงสุดกำหนดไว้สำหรับมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่ออุปโภค (เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด < 300 และเกณฑ์ที่อนุโลมสูงสุดกำหนดให้มีค่าน้อยกว่า 500 mg L⁻¹)

4.1.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อน

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก Fe Cu และ Mn ที่ปนเปื้อนโดยการใช้เครื่อง AAS ของน้ำบาดาลตัวอย่างจากจุดเก็บจำนวน 3 สถานี ที่เก็บได้จากตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี

สถานีเก็บน้ำ ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อน (mg L ⁻¹)								
	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
	Fe	Cu	Mn	Fe	Cu	Mn	Fe	Cu	Mn
จุดเก็บที่ 1	0.0034	0.0004	0.0230	0.0042	0.0020	0.1126	0.0044	0.0009	0.0574
จุดเก็บที่ 2	0.0023	0.0003	0.0382	0.0037	0.0012	0.0309	0.0039	0.0005	0.0629
จุดเก็บที่ 3	0.0018	0.0003	0.0096	0.0025	0.0005	0.0083	0.0033	0.0013	0.0058

จากตารางที่ 4.6 พบว่าปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อน ของน้ำบาดาลตัวอย่างพบว่าปริมาณของโลหะ Fe Cu และ Mn ของจุดเก็บทั้ง 3 สถานี ในช่วงระยะเวลาที่ศึกษามีค่าปริมาณโลหะ Fe ที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 0.0018 – 0.0044 ppm มีค่าปริมาณโลหะ Cu อยู่ในช่วง 0.0003 – 0.0020 ppm และมีค่าปริมาณโลหะ Mn อยู่ในช่วง 0.0058 – 0.0629 ppm โดยเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่ออุปโภคที่อนุโลมสูงสุดกำหนดให้มีค่าของปริมาณ Fe ปนเปื้อนอยู่ไม่เกินกว่า 1.0 mg L^{-1} กำหนดให้มีค่าของปริมาณ Cu ปนเปื้อนอยู่ไม่เกินกว่า 1.5 mg L^{-1} และกำหนดให้มีค่าของปริมาณ Mn ปนเปื้อนอยู่ไม่เกินกว่า 0.5 mg L^{-1} ดังนั้นจึงแสดงได้ว่าทุกจุดที่ทำการเก็บน้ำตัวอย่างมีคุณภาพของน้ำบาดาลเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

4.1.2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ไอออน

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ไอออน ที่ปนเปื้อน ของน้ำบาดาลตัวอย่างจำนวน 3 สถานี ที่เก็บได้จากตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณคลอไรด์ไอออน ของน้ำบาดาลตัวอย่างที่เก็บได้แต่ละสถานี

สถานีเก็บน้ำตัวอย่าง	ปริมาณคลอไรด์ไอออน (mg L^{-1})			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
จุดเก็บที่ 1	7.31	8.81	9.31	8.47
จุดเก็บที่ 2	10.31	9.81	9.42	9.85
จุดเก็บที่ 3	1.81	1.33	2.56	1.90

จากตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณคลอไรด์ไอออน ของน้ำบาดาลตัวอย่างของจุดเก็บทั้ง 3 สถานี ในช่วงระยะเวลาที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 1.90 – 9.85 ppm เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานแล้วพบว่าส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่ออุปโภคที่อนุโลมสูงสุดกำหนดให้มีค่าน้อยกว่า 600 mg L^{-1}

4.2 ผลการศึกษาการออกแบบและจัดทำชุดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลโดยแบ่งการศึกษาออกแบบและจัดทำเป็น 2 ชุดอุปกรณ์ ได้แก่ ชุดอุปกรณ์ในการบำบัดคุณภาพน้ำด้วยสารเคมีโดยใช้การทำให้ตกตะกอนด้วยกระบวนการ electro coagulation และชุดอุปกรณ์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้สารกรองน้ำ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้

4.2.1 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำโดยวิธีการทางเคมี

ในขั้นตอนนี้ได้ใช้น้ำบาดาลตัวอย่างจากแหล่งเก็บน้ำตัวอย่างจำนวน 3 แหล่งมาทำการศึกษา โดยทำการคำนวณหาค่าความกระด้างทั้งหมด ความกระด้างชั่วคราวและความกระด้างถาวรเพื่อคำนวณหาปริมาณสารที่ใช้ในการบำบัดน้ำ ผลการศึกษาที่ได้เป็นดังนี้

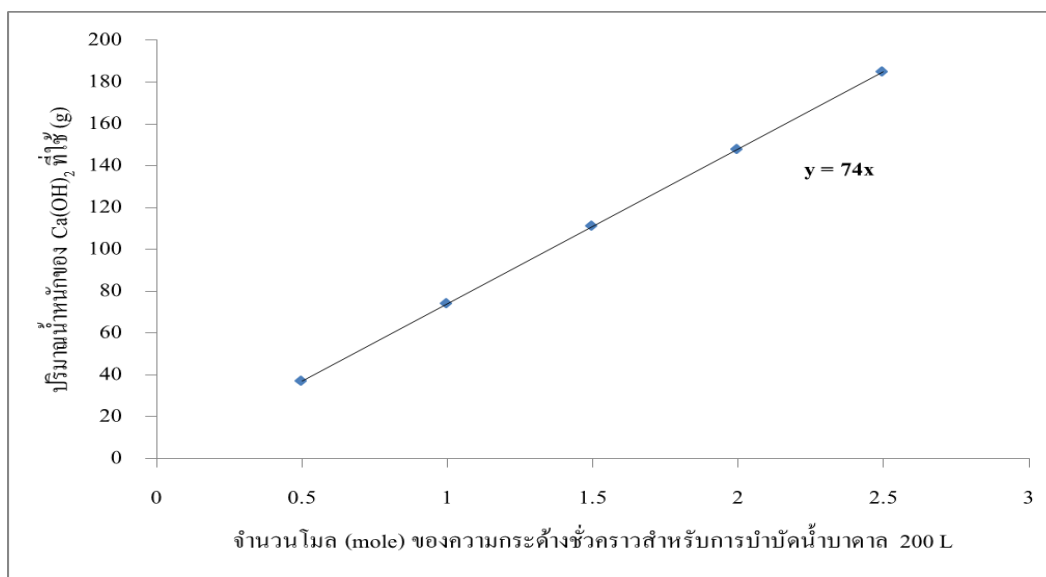


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะชุดตรวจวิเคราะห์ค่าความกระด้างของน้ำบาดาล

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยความกระด้างทั้งหมด ความกระด้างชั่วคราว ความกระด้างถาวร ที่สัมพันธ์กับปริมาณ Ca(OH)_2 และ Na_2CO_3 ที่ต้องใช้สำหรับการบำบัดน้ำบาดาลปริมาตร 200 L

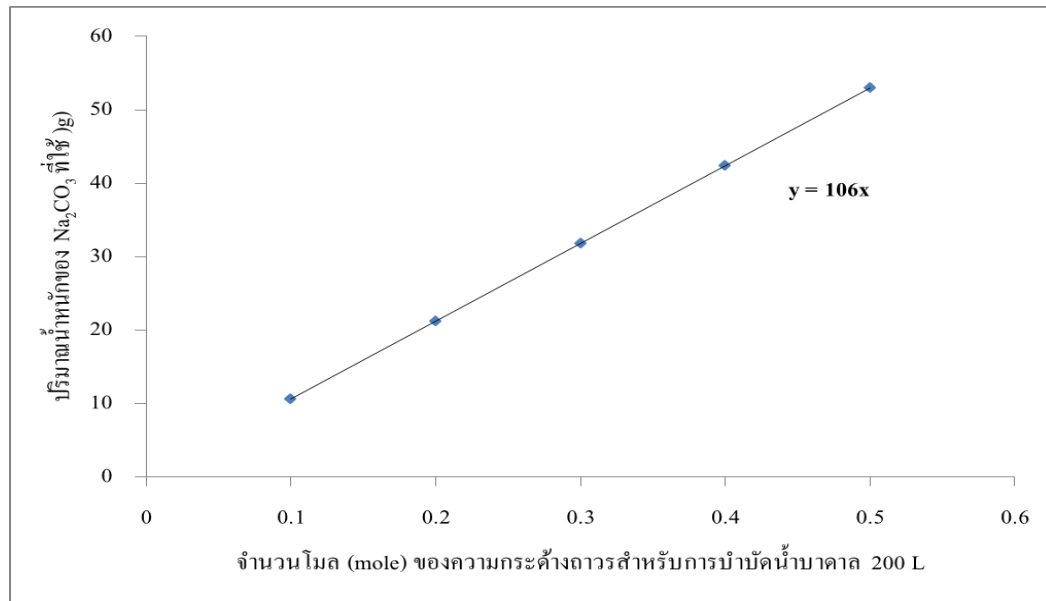
สิ่งที่ตรวจวัด	จุดเก็บน้ำที่ 1	จุดเก็บน้ำที่ 2	จุดเก็บน้ำที่ 3
ค่าความกระด้างทั้งหมด (mol L^{-1})	0.0066	0.0068	0.0060
ค่าความกระด้างชั่วคราว (mol L^{-1})	0.0042	0.0054	0.0041
ค่าความกระด้างถาวร (mol L^{-1})	0.0024	0.0014	0.0019
จำนวนโมลความกระด้างชั่วคราวของน้ำ 200 L (mole)	0.84	1.08	0.82
จำนวนโมลความกระด้างถาวรของน้ำ 200 L (mole)	0.48	0.28	0.38
ปริมาณ Ca(OH)_2 ที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำ (g)	62.16	79.92	60.68
ปริมาณ Na_2CO_3 ที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำ (g)	50.88	29.68	40.28

จากตารางที่ได้จะเห็นว่าน้ำตัวอย่างมีค่าความกระด้างทั้งหมดจะอยู่ในช่วงเท่ากับ $0.0060\text{--}0.0068\text{ mol L}^{-1}$ ค่าความกระด้างชั่วคราวเท่ากับ $0.0041\text{--}0.0054\text{ mol L}^{-1}$ และค่าความกระด้างถาวรเท่ากับ $0.0014\text{--}0.0024\text{ mol L}^{-1}$ เมื่อคำนวณเป็นจำนวนโมลความกระด้างชั่วคราว (carbonate hardness) สำหรับการบำบัดน้ำบาดาลปริมาตร 200 L แล้ว จะมีค่าอยู่ในช่วง $0.82\text{--}1.08\text{ mole}$ ซึ่งทำให้ต้องใช้ปริมาณ Ca(OH)_2 สำหรับการบำบัดความกระด้างชั่วคราวอยู่ในช่วง $60.68\text{--}79.92\text{ g}$ เมื่อคำนวณเป็นจำนวนโมลความกระด้างถาวร (noncarbonate hardness) สำหรับการบำบัดน้ำบาดาลปริมาตร 200 L แล้ว จะมีค่าอยู่ในช่วง $0.28\text{--}0.48\text{ mole}$ ซึ่งทำให้ต้องใช้ปริมาณ Na_2CO_3 สำหรับการบำบัดความกระด้างถาวรอยู่ในช่วง $29.68\text{--}50.88\text{ g}$ ตามลำดับ ดังนั้นหากจะทำให้การคำนวณปริมาณสารที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำบาดาลปริมาตร 200 L ทำได้ง่ายขึ้นจึงได้มีการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของค่าความกระด้างชั่วคราวของน้ำที่ต้องการบำบัดปริมาตร 200 L กับปริมาณน้ำหนักของ Ca(OH)_2 ที่ต้องใช้ รวมถึงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของค่าความกระด้างถาวรของน้ำที่ต้องการบำบัดปริมาตร 200 L กับปริมาณน้ำหนักของ Na_2CO_3 ที่ต้องใช้ ในการบำบัดน้ำบาดาล แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของค่าความกระด้างชั่วคราวของน้ำที่ต้องการบำบัดปริมาตร 200 L กับปริมาณน้ำหนักของ Ca(OH)_2 ที่ต้องใช้

ดังนั้นจากการคำนวณเพื่อหาค่าจำนวนโมลของความกระด้างชั่วคราวของน้ำบาดาลที่ต้องการบำบัดจำนวน 200 L แล้ว สามารถใช้กราฟนี้หรือสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของความกระด้างชั่วคราวของน้ำที่ต้องการบำบัดกับปริมาณน้ำหนักของ Ca(OH)_2 ที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำบาดาลได้



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โมลของค่าความกระด้างถาวรของน้ำที่ต้องการบำบัด ปริมาตร 200 L กับปริมาณน้ำหนักของ Na_2CO_3 ที่ต้องใช้

ดังนั้นจากการคำนวณเพื่อหาค่าจำนวน โมลของความกระด้างถาวรของน้ำบาดาลที่ต้องการ บำบัดจำนวน 200 L แล้ว สามารถใช้กราฟนี้หรือสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน โมลของ ความกระด้างถาวรของน้ำที่ต้องการบำบัดกับปริมาณน้ำหนักของ Na_2CO_3 ที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำ บาดาลได้

4.2.2 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำโดยวิธีการทางเคมีและการตกตะกอนโดยใช้กระบวนการ electro coagulation

ในการบำบัดน้ำโดยใช้กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีช่วยในการจับก้อนและการตกตะกอนนี้จะทำ โดยการใช้ขั้วโลหะเหล็กทั้งคู่และจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ลงไป ซึ่งขั้วหนึ่งจะต่อเข้ากับขั้ว ลบของแบตเตอรี่และอีกขั้วหนึ่งจะต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ทำให้เกิดสภาพขั้วลบ (ขั้วแคโทด) และขั้วบวก (ขั้วแอโนด) เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าตรงลงไปจะทำให้เกิดกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสของ ทั้งสองขั้ว โดยอนุภาคที่มีประจุบวกจะวิ่งไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และอนุภาคที่มี ประจุลบจะวิ่งไปเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วบวก ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพน้ำหลังจากมีการเติมสารเคมี เพื่อบำบัดความกระด้างของน้ำแล้ว คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อเวลาผ่านไปของการบำบัดทั้งสอง วิธีคือ การทิ้งไว้ให้ตกตะกอนธรรมชาติ และวิธีการทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส แสดงได้ดัง ตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดกับคุณภาพของความกระด้างที่หลงเหลืออยู่

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำ (นาท)	การทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยวิธีธรรมดา			การทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยวิธี electrolysis		
	ความกระด้างทั้งหมด (mol L ⁻¹)	ความกระด้างชั่วคราว (mol L ⁻¹)	ความกระด้างถาวร (mol L ⁻¹)	ความกระด้างทั้งหมด (mol L ⁻¹)	ความกระด้างชั่วคราว (mol L ⁻¹)	ความกระด้างถาวร (mol L ⁻¹)
0	0.0068	0.0052	0.0016	0.0068	0.0052	0.0016
30	0.0062	0.0048	0.0014	0.0058	0.0046	0.0012
60	0.0053	0.0041	0.0012	0.0045	0.0037	0.0008
120	0.0041	0.0031	0.0010	0.0032	0.0025	0.0007
180	0.0028	0.0020	0.0008	0.0021	0.0016	0.0005

จากผลที่ได้จะพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปค่าความกระด้างจะมีค่าลดลง และเมื่อใช้กระบวนการ electrolysis เข้าร่วมด้วยจะทำให้กระบวนการตกตะกอนเกิดได้เร็วขึ้น และมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพน้ำได้มากขึ้น โดยประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำที่เวลาต่าง ๆ โดยการคำนวณค่า degree of water softening (η_{soft}) ของความกระด้างทั้งหมด และความกระด้างคาร์บอเนต แสดงได้ดังตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพของการปรับสภาพน้ำตัวอย่าง ในการบำบัดความกระด้างทั้งหมด

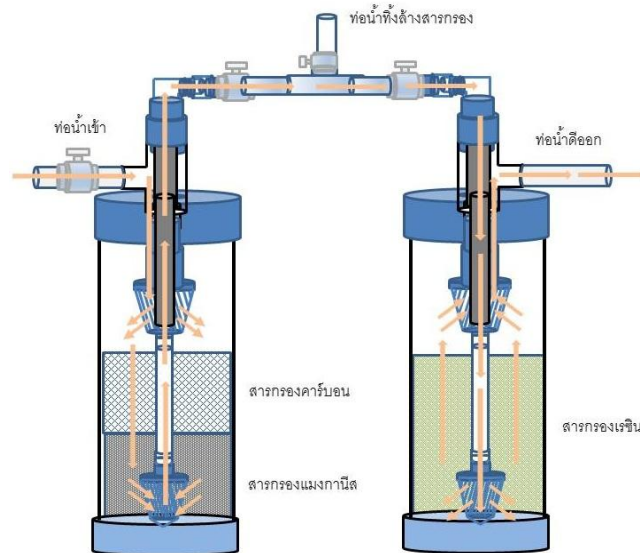
วิธีการทิ้งไว้ให้ตกตะกอน	ประสิทธิภาพของการปรับสภาพน้ำที่เวลาผ่านไป (นาท)			
	30	60	120	180
การทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยวิธีธรรมดา	0.912	0.779	0.603	0.412
การทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยวิธี electrolysis	0.853	0.662	0.470	0.308

ตารางที่ 4.11 แสดงประสิทธิภาพของการปรับสภาพน้ำตัวอย่าง ในการบำบัดความกระด้างคาร์บอเนต

วิธีการทิ้งไว้ให้ตกตะกอน	ประสิทธิภาพของการปรับสภาพน้ำที่เวลาผ่านไป (นาท)			
	30	60	120	180
การทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยวิธีธรรมดา	0.923	0.788	0.596	0.385
การทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยวิธี electrolysis	0.885	0.712	0.481	0.307

4.2.3 ผลการศึกษาการออกแบบชุดอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำบาดาล

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการออกชุดอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำบาดาล ซึ่งประกอบไปด้วยถังกรองน้ำบาดาล 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นถังกรองสำหรับกรองอนุภาคสารแขวนลอย ดูดซับตะกอน ความขุ่น รวมถึงโลหะหนัก เช่น สนิม เหล็ก แมงกานีส กรองสี และกลิ่นของน้ำ และส่วนที่ 2 เป็นถังกรองความกระด้างของน้ำ ซึ่งการออกแบบชุดอุปกรณ์การกรอง การบรรจุสารกรอง และระบบการไหลเวียนของน้ำเข้าและน้ำออกสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำแสดงได้ดังรูปที่ 4.4

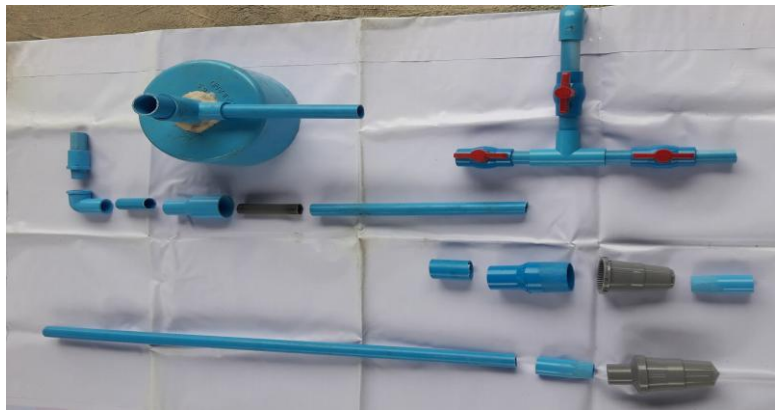
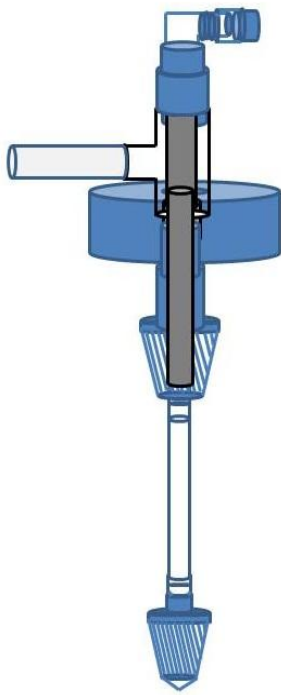


รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะการออกแบบชุดอุปกรณ์ถังกรองในการบำบัดน้ำบาดาล

จากขั้นตอนการออกชุดอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำบาดาล ได้ทำการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำบาดาล แสดงดังรูปที่ 4.5 และลักษณะของไส้กรองภายในแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 แสดงรูปชุดอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำบาดาล



รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการจัดเซตอุปกรณ์ในส่วนของไส้กรอง

โดยระบบของชุดอุปกรณ์สำหรับการบำบัดน้ำบาดาลที่สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวกโดยถังกรองแรกจะใช้ท่อ PVC ชนิดหนา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว มีความสูง 95 cm ส่วนถังกรองที่สองจะใช้ท่อ PVC ชนิดหนา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ที่มีความสูง 95 cm เท่ากับ โดยจะมีความจุของถังกรองแรกและถังกรองที่สองเท่ากับ 16.8 L และ 7.5 L ตามลำดับ สำหรับระบบของกระบวนการกรองน้ำ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่

1) ระบบการดึงน้ำบาดาลเข้าบำบัดในถังกรอง ซึ่งหากแหล่งน้ำบาดาลที่มีการใช้ปั้มน้ำบาดาลที่สามารถดึงน้ำให้ไหลเข้าท่อของถังกรองได้ก็สามารถทำการต่อท่อโดยตรงจากปั้มน้ำบาดาลได้เลย หรือหากแหล่งน้ำบาดาลอยู่ในที่ๆ ห่างไกล หรือเป็นแหล่งน้ำบาดาลแบบปั้มน้ำแบบใช้มือโยกจะต้องทำการรองรับน้ำด้วยถังภาชนะบรรจุน้ำก่อนจากนั้นจะใช้ปั้มน้ำโดยใช้แหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่หรือระบบโซล่าเซลล์ เพื่อดึงน้ำเข้าสู่ถังกรอง

2) ระบบของการกรองน้ำประกอบด้วย ถังกรองแรกจะใช้สารกรองคาร์บอนปริมาณ 3 kg ทำหน้าที่ในการกรองตะกอน ความขุ่น ดูดซับสี กลิ่น คลอรีน และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ปนมากับน้ำ และใช้สารกรองแมงกานีสปริมาณ 3 kg ทำหน้าที่ในการกรองและดูดซับตะกอน ความขุ่นที่ปนมากับน้ำ ตลอดจนโลหะหนัก เช่น สนิมเหล็ก แมงกานีส และเติมออกซิเจนให้กับน้ำ (ต้นทุนสำหรับการผลิตชุดถังกรองทั้งสองถังต่ำกว่า 3,000 บาท) และถังกรองที่สองจะใช้สารกรองเรซินปริมาณ 3 kg โดยมีระบบของการไหลเวียนน้ำเข้าออกดังแสดงในรูปที่ 4.4 และมีไส้กรองภายในถังบำบัดดังรูปที่ 4.6

4.2.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ในการบำบัดคุณภาพน้ำ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ในการบำบัดคุณภาพน้ำบาดาลโดยใช้การดึงน้ำบาดาลจากถังภาชนะบรรจุน้ำบาดาลโดยใช้ปั๊มน้ำโซล่าเซลล์ขนาด 80 psi หรือ 5.5 bar พบว่ามีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 4.8 L min^{-1} เมื่อน้ำผ่านระบบกรองแล้วจะมีอัตราการไหลของน้ำดีที่ได้ในอัตราการไหลเท่ากับ 3.8 L min^{-1} ซึ่งหากใช้ระบบของการป้อนน้ำเข้าโดยปั๊มน้ำที่มีแรงดันมากกว่านี้ก็จะทำได้สามารถบำบัดน้ำและมีน้ำดีออกมาในอัตราที่สูงกว่าที่ทำการศึกษานี้ สำหรับประสิทธิภาพในด้านการปรับปรุงคุณภาพของน้ำบาดาลที่ผ่านถังกรอง แสดงได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลตัวอย่าง

ชนิดของปัจจัยที่ศึกษา	ปริมาณของคุณภาพที่ตรวจวัดได้	
	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg L^{-1})	725	1.41
ค่าความขุ่น (NTU)	24.1	6.95
ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1,215	15.27
ความเป็นกรด-ด่าง	7.15	7.63
ค่าความกระด้างทั้งหมด (mg L^{-1})	452	48
ปริมาณโลหะ Fe (ppm)	0.0420	0.0164
ปริมาณโลหะ Mn (ppm)	0.1126	0.0058
ปริมาณโลหะ Cu (ppm)	0.0020	0.0010
ปริมาณไอออน Cl^- (ppm)	9.81	4.2

จากผลการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของน้ำบาดาลที่ผ่านชุดกรองน้ำบาดาลที่ประดิษฐ์ขึ้นพบว่าชุดอุปกรณ์กรองน้ำบาดาลนี้สามารถใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลของชุมชนได้ โดยสามารถช่วยลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ 99.8% ลดค่าความขุ่นได้ 71.2% ลดค่าการนำไฟฟ้าได้ 98.7% มีค่าความเป็นกรดด่างเปลี่ยนแปลง 6.7% ลดค่าความกระด้างทั้งหมดได้ 89.4% ลดปริมาณโลหะ Fe ได้ 61.0% ลดปริมาณโลหะ Mn ได้ 94.8% ลดปริมาณโลหะ Cu ได้ 50% และปริมาณคลอไรด์ไอออนได้ 57.2% ซึ่งสามารถนำน้ำที่ผ่านการกรองนี้ไปใช้ในการอุปโภคในชุมชนได้เนื่องจากคุณภาพของน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพนี้มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของน้ำสำหรับการอุปโภค

เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากฝักระยะขามที่เสียหายจากรา โดยถ่านกัมมันต์นี้มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 624 mg/g มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 6.8-7.5% มีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 6.5-7.3% และมีความหนาแน่นปรากฏประมาณ 0.42 g/cm^3 (ปิรรัตน์ มุลศรี และคณะ, 2555) เป็นวัสดุกรองแทนสารกรองคาร์บอน และศึกษาการบำบัดน้ำบาดาล ผลที่ได้แสดงได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลตัวอย่าง โดยการใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากฝักระยะขามที่เสียหายจากรา

ชนิดของปัจจัยที่ศึกษา	ปริมาณของคุณภาพที่ตรวจวัดได้	
	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg L^{-1})	754	10.54
ค่าความขุ่น (NTU)	22.7	7.84
ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1,145	20.82
ความเป็นกรด-ด่าง	7.23	7.52
ค่าความกระด้างทั้งหมด (mg L^{-1})	546	60
ปริมาณโลหะ Fe (ppm)	0.0380	0.0185
ปริมาณโลหะ Mn (ppm)	0.1115	0.0062
ปริมาณโลหะ Cu (ppm)	0.0022	0.0016
ปริมาณไอออน Cl^- (ppm)	9.84	5.1

จากผลการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของน้ำบาดาลที่ผ่านชุดกรองน้ำบาดาลที่ประดิษฐ์ขึ้นและได้ใช้สารกรองเป็นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากฝักระยะขามที่เสียหายจากรา พบว่าชุดอุปกรณ์กรองน้ำบาดาลนี้สามารถใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลของชุมชนได้ โดยสามารถช่วยลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ 98.6% ลดค่าความขุ่นได้ 65.5% ลดค่าการนำไฟฟ้าได้ 98.2% มีค่าความเป็นกรดต่างเปลี่ยนแปลง 4.0% ลดค่าความกระด้างทั้งหมดได้ 89.0% ลดปริมาณโลหะ Fe ได้ 51.3% ลดปริมาณโลหะ Mn ได้ 94.4% ลดปริมาณโลหะ Cu ได้ 27.3% และปริมาณคลอไรด์ไอออน ได้ 48.2% ซึ่งสามารถนำน้ำที่ผ่านการกรองนี้ไปใช้ในการอุปโภคในชุมชนได้ เนื่องจากคุณภาพของน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพนี้มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของน้ำสำหรับการอุปโภค

4.3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานเทคโนโลยี

การศึกษาคำพึงพอใจของผู้ใช้งาน (ผู้ที่ผ่านการฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี) การพัฒนาชุดอุปกรณ์ การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลสำหรับการอุปโภคเพื่อแก้ไขปัญหาภัยแล้งของชุมชน โดยการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในด้านต่าง ๆ ซึ่งลักษณะของแบบประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) จำนวน 10 ข้อ มีตัวเลือก 5 ตัวเลือก คือ พึงพอใจมากที่สุดให้ 5 คะแนน พึงพอใจมากให้ 4 คะแนน พึงพอใจปานกลางให้ 3 คะแนน พึงพอใจน้อยให้ 2 คะแนน และ พึงพอใจน้อยที่สุดให้ 1 คะแนน

สำหรับเกณฑ์การประเมินความพึงพอใจต่อเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ในด้านต่าง ๆ ที่ได้จากการสอบถามและประมวลผลของคะแนนความพึงพอใจของผู้เข้ารับการอบรมในแต่ละด้านเพื่อแสดงระดับความพึงพอใจต่อเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ได้ใช้เกณฑ์ในการประเมิน ดังนี้

ค่าเฉลี่ย	ระดับความพึงพอใจ
4.51 – 5.00	พึงพอใจมากที่สุด
3.51 – 4.50	พึงพอใจมาก
2.51 – 3.50	พึงพอใจปานกลาง
1.51 – 2.50	พึงพอใจน้อย
1.00 – 1.50	พึงพอใจน้อยที่สุด

ผลที่ได้จากการสอบถามและการประมวลผลของความพึงพอใจต่อเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นและได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการให้กับผู้ที่สนใจเข้าร่วมการอบรมจำนวน 20 คน แสดงได้ดังตารางที่ 4.14 ดังนี้

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในด้านต่าง ๆ

หัวข้อในการประเมิน ความพึงพอใจ	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการใช้งานในระดับต่าง ๆ					ค่าเฉลี่ยการ ประเมิน
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)	
1.ความสะดวก และความง่ายในการ จัดหาวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตชุด อุปกรณ์	(10) 50%	(8) 40%	(2) 10%			4.4 มาก
2.ความสะดวกและความง่ายของ วิธีการเตรียมชุดอุปกรณ์บำบัดน้ำฯ	(8) 40%	(6) 30%	(6) 30%			4.4 มาก
3.ความสะดวกและความง่ายของ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการ บำบัดน้ำบาดาล	(8) 40%	(8) 40%	(4) 20%			4.2 มาก
4.ความสะดวกและความง่ายของ ขั้นตอนวิธีการบำบัดน้ำบาดาล	(7) 35%	(8) 40%	(5) 25%			4.1 มาก

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในด้านต่าง ๆ (ต่อ)

หัวข้อในการประเมิน ความพึงพอใจ	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในการใช้งานในระดับต่าง ๆ					ค่าเฉลี่ย การ ประเมิน
	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)	
5.ปริมาณ สึกลื่นและลักษณะทางกายภาพของน้ำบาดาลที่ผ่านการบำบัด	(9) 45%	(7) 35%	(4) 20%			4.25 มาก
6.ลักษณะคุณภาพทางเคมีของน้ำบาดาลที่ผ่านการบำบัด	(8) 40%	(8) 40%	(4) 20%			4.2 มาก
7.ความสะดวกและความง่ายของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการบำบัดน้ำบาดาล	(12) 60%	(8) 40%				4.6 มากที่สุด
8.การใช้ประโยชน์จากชุดตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาล	(5) 25%	(10) 50%	(5) 25%			4.0 มาก
9.การใช้ประโยชน์จากชุดอุปกรณ์บำบัดน้ำบาดาล	(13) 65%	(5) 25%	(2) 10%			4.55 มากที่สุด
10.การนำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ประโยชน์ได้จริง	(12) 60%	(8) 40%				4.6 มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมในทุกด้าน						4.33 มาก

จากการศึกษาความพึงพอใจต่อเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้น ในด้านต่าง ๆ พบว่า ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวก และความง่ายในการจัดหาวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตชุดอุปกรณ์อยู่ในระดับมาก (4.4) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของวิธีการเตรียมชุดอุปกรณ์บำบัดน้ำอยู่ในระดับมาก (4.4) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการบำบัดน้ำบาดาลอยู่ในระดับมาก (4.2) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของขั้นตอนวิธีการบำบัดน้ำบาดาลอยู่ในระดับมาก (4.1) ระดับความพึงพอใจด้านปริมาณ สึกลื่นและลักษณะทางกายภาพของน้ำบาดาลที่ผ่านการบำบัดอยู่ในระดับมาก (4.25) ระดับความพึงพอใจด้านลักษณะคุณภาพทางเคมีของน้ำบาดาลที่ผ่านการบำบัดอยู่ในระดับมาก (4.2) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการบำบัดน้ำบาดาลอยู่ในระดับมากที่สุด (4.6) ระดับความพึงพอใจด้านการใช้ประโยชน์จากชุดตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลอยู่ในระดับมาก (4.0) ระดับความพึงพอใจด้านการใช้ประโยชน์จากชุดอุปกรณ์บำบัดน้ำบาดาลอยู่ในระดับมากที่สุด (4.55) ระดับความพึงพอใจด้านการนำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้จริงอยู่ในระดับมากที่สุด (4.6) ดังนั้นภาพรวมของระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้อยู่ในระดับมาก (4.33)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาชุดอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลสำหรับการอุปโภคเพื่อแก้ไขปัญหาภัยแล้งของชุมชน โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ 1) เพื่อพัฒนาการออกแบบชุดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลแบบเคลื่อนที่ได้ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สำหรับการใช้ประโยชน์ในชุมชน 2) เพื่อศึกษาการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำและทดสอบประสิทธิภาพของการบำบัดคุณภาพน้ำบาดาลของชุมชน และ 3) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแก้ไขปัญหาภัยแล้งของชุมชน โดยการดำเนินการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะที่ 1 เป็นการสำรวจคุณภาพน้ำบาดาลของชุมชนหมู่ที่ 2 ตำบลห้วยใหญ่ ระยะที่ 2 เป็นการออกแบบชุดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลแบบเคลื่อนที่ได้โดยใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และการใช้วัสดุเหลือทิ้งหรือวัสดุที่มีอยู่พื้นที่เพื่อใช้เป็นวัสดุรอง และระยะที่ 3 ทำการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์การปรับสภาพน้ำบาดาล ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการปรับสภาพน้ำ ศึกษาประสิทธิภาพในการปรับสภาพน้ำบาดาล และคุณลักษณะของน้ำสะอาดที่ผ่านการบำบัดโดยใช้ชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ตลอดจนสมบัติอื่น ๆ ของน้ำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไป จากนั้นนำชุดอุปกรณ์ไปใช้ทดสอบงานจริงในภาคสนาม ถ่ายทอดเทคโนโลยี และสำรวจความพึงพอใจของกลุ่มผู้ใช้งาน โดยการทำการวิจัยตามระยะต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้คือ

5.1 การศึกษาการสำรวจคุณภาพน้ำบาดาล

จากการสำรวจคุณภาพน้ำบาดาลของชุมชนตำบลห้วยใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยได้แบ่งการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวนทั้งสิ้น 3 สถานี โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำตัวอย่างเพื่อตรวจสอบคุณภาพจำนวน 3 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่ 1 เดือนเมษายน 2561 ครั้งที่ 2 เดือนมิถุนายน 2561 และครั้งที่ 3 เดือนธันวาคม 2561 โดยจุดเก็บน้ำบาดาลตัวอย่างได้แก่ จุดเก็บที่ 1 ณ ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง วัดป่าพุทธอุทยาน หมู่ 2 ตำบลห้วยใหญ่ จุดเก็บที่ 2 ณ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลห้วยใหญ่ และจุดเก็บที่ 3 ณ โรงเรียนบ้านห้วยใหญ่ พบว่าน้ำบาดาลตัวอย่างมีปริมาณค่าเฉลี่ยของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง $538-701 \text{ mg L}^{-1}$ มีปริมาณค่าเฉลี่ยความขุ่นอยู่ในช่วง $5.33-18.36 \text{ NTU}$ มีค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง $493-1,232 \text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$ มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง $\text{pH } 7.28 - 7.83$ มีค่าเฉลี่ยความกระด้างทั้งหมดอยู่ในช่วง $278-510 \text{ mg L}^{-1}$ มีปริมาณโลหะ Fe ที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง $0.0018 - 0.0044 \text{ ppm}$ มีค่าปริมาณโลหะ Cu อยู่ในช่วง $0.0003 - 0.0020 \text{ ppm}$ และมีค่าปริมาณโลหะ Mn อยู่ในช่วง $0.0058 - 0.0629 \text{ ppm}$ มีปริมาณคลอไรด์ไอออนอยู่ในช่วง $1.90 - 9.85 \text{ ppm}$ ซึ่งจากพารามิเตอร์ของน้ำบาดาลตัวอย่างจากจุดเก็บน้ำตัวอย่างต่าง ๆ ที่ตรวจวัดได้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ยกเว้นค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

5.2 การศึกษาออกแบบและจัดทำชุดอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล

ได้ทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลและการคำนวณเพื่อหาปริมาณสารเคมี Ca(OH)_2 และ Na_2CO_3 ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลปริมาณ 200 L จากนั้นได้ทำให้เกิดการตกตะกอนด้วยวิธีการแบบธรรมชาติและการทำให้ตกตะกอนด้วยกระบวนการ electro coagulation จากผลที่ได้จะพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปค่าความกระด้างจะมีค่าลดลง และเมื่อใช้กระบวนการ electrolysis เข้าร่วมด้วยจะทำให้กระบวนการตกตะกอนเกิดได้เร็วขึ้น และมีประสิทธิภาพในการปรับสภาพน้ำได้มาก

ได้ทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ในการบำบัดน้ำบาดาล ซึ่งประกอบไปด้วยถังกรองน้ำบาดาล 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นถังกรองสำหรับกรองอนุภาคสารแขวนลอย ดูดซับตะกอน ความขุ่น รวมถึงโลหะหนัก เช่น สนิม เหล็ก แมงกานีส กรองสี และกลิ่นของน้ำ และส่วนที่ 2 เป็นถังกรองความกระด้างของน้ำ โดยระบบของชุดอุปกรณ์สำหรับการบำบัดน้ำบาดาลที่สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวกโดยถังกรองแรกจะใช้ท่อ PVC ชนิดหนา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว มีความสูง 95 cm ส่วนถังกรองที่สองจะใช้ท่อ PVC ชนิดหนา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ที่มีความสูง 95 cm เท่ากับ โดยจะมีความจุของถังกรองแรกและถังกรองที่สองเท่ากับ 16.8 L และ 7.5 L ตามลำดับ สำหรับระบบของกระบวนการกรองน้ำประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ระบบการดึงน้ำบาดาลเข้าบำบัดในถังกรอง และระบบของการกรองน้ำประกอบด้วย ถังกรองแรกจะใช้สารกรองคาร์บอนปริมาณ 3 kg และใช้สารกรองแมงกานีสปริมาณ 3 kg ส่วนถังกรองที่สองจะใช้สารกรองเรซินปริมาณ 3 kg

จากการศึกษาประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ในการบำบัดคุณภาพน้ำบาดาลโดยใช้การดึงน้ำบาดาลจากถังภาชนะบรรจุน้ำบาดาลโดยใช้ปั้มน้ำโซล่าเซลล์ขนาด 80 psi หรือ 5.5 bar พบว่ามีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 4.8 L min^{-1} เมื่อน้ำผ่านระบบกรองแล้วจะมีอัตราการไหลของน้ำที่ดีที่สุดในอัตราการไหลเท่ากับ 3.8 L min^{-1} สำหรับประสิทธิภาพในด้านการปรับปรุงคุณภาพของน้ำบาดาลที่ผ่านถังกรอง พบว่าชุดอุปกรณ์กรองน้ำบาดาลนี้สามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ 99.8% ลดค่าความขุ่นได้ 71.2% ลดค่าการนำไฟฟ้าได้ 98.7% มีค่าความเป็นกรดต่างเปลี่ยนแปลง 6.7% ลดค่าความกระด้างทั้งหมดได้ 89.4% ลดปริมาณโลหะ Fe ได้ 61.0% ลดปริมาณโลหะ Mn ได้ 94.8% ลดปริมาณโลหะ Cu ได้ 50% และปริมาณคลอไรด์ไอออน ได้ 57.2% โดยน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพนี้มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของน้ำสำหรับการอุปโภค นอกจากนี้การใช้น้ำดื่มที่ผลิตได้จากฝักมะขามที่เสียหายจากราที่มีค่าไอโอดีนนับเบอร์เท่ากับ 624 mg/g มีความหนาแน่นปรากฏประมาณ 0.42 g/cm^3 เป็นวัสดุกรองแทนสารกรองคาร์บอนก็สามารถช่วยลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ 98.6% ลดค่าความขุ่นได้ 65.5% ลดค่าการนำไฟฟ้าได้ 98.2% มีค่าความเป็นกรดต่างเปลี่ยนแปลง 4.0% ลดค่าความกระด้างทั้งหมดได้ 89.0% ลดปริมาณโลหะ Fe ได้ 51.3% ลดปริมาณโลหะ Mn ได้ 94.4% ลดปริมาณโลหะ Cu ได้ 27.3% และปริมาณคลอไรด์ไอออน ได้ 48.2% โดยมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้สารกรองคาร์บอนที่มีขายโดยทั่วไปไม่มากนัก และสามารถใช้ในการบำบัดน้ำบาดาลได้ดีเช่นกัน สามารถนำน้ำที่ผ่านการกรองนี้

ไปใช้ในการอุปโภคได้ เนื่องจากคุณภาพของน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพนี้มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของน้ำสำหรับการอุปโภคได้

5.3 การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานเทคโนโลยี

จากการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (ผู้ผ่านการฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีจำนวน 20 คน) การพัฒนาชุดอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลสำหรับการอุปโภค ผู้เข้าอบรมมีความพึงพอใจต่อเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นและได้ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีผ่านโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ ในด้านต่าง ๆ ดังนี้ ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายในการจัดหาวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตชุดอุปกรณ์อยู่ในระดับมาก (4.4) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของวิธีการเตรียมชุดอุปกรณ์บำบัดน้ำอยู่ในระดับมาก (4.4) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการบำบัดน้ำบาดาลอยู่ในระดับมาก (4.2) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของขั้นตอนวิธีการบำบัดน้ำบาดาลอยู่ในระดับมาก (4.1) ระดับความพึงพอใจด้านปริมาณ สักลั่นและลักษณะทางกายภาพของน้ำบาดาลที่ผ่านการบำบัดอยู่ในระดับมาก (4.25) ระดับความพึงพอใจด้านลักษณะคุณภาพทางเคมีของน้ำบาดาลที่ผ่านการบำบัดอยู่ในระดับมาก (4.2) ระดับความพึงพอใจด้านความสะดวกและความง่ายของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการบำบัดน้ำบาดาลอยู่ในระดับมากที่สุด (4.6) ระดับความพึงพอใจด้านการใช้ประโยชน์จากชุดตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลอยู่ในระดับมาก (4.0) ระดับความพึงพอใจด้านการใช้ประโยชน์จากชุดอุปกรณ์บำบัดน้ำบาดาลอยู่ในระดับมากที่สุด (4.55) ระดับความพึงพอใจด้านการนำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ประโยชน์ได้จริงอยู่ในระดับมากที่สุด (4.6) ดังนั้นในภาพรวมของระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (4.33)

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการพัฒนาชุดอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลสำหรับการอุปโภคเพื่อแก้ไขปัญหาภัยแล้งของชุมชน มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้ผู้ที่สนใจนำไปปรับปรุงและประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นดังนี้

1) ชุดอุปกรณ์สำหรับการกรองน้ำบาดาลที่ใช้ในการวิจัยนี้ ผลิตขึ้นจากท่อ PVC ชนิดหนา ที่มีขนาดและปริมาณการผลิตน้ำสะอาดสำหรับใช้ในระดับครัวเรือน เป็นชุดอุปกรณ์การกรองน้ำขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนที่ไปทำการติดตั้งได้ในบริเวณที่ใกล้กับแหล่งน้ำบาดาลได้ และใช้สารกรองในปริมาณที่ไม่มากนัก เพื่อให้มีต้นทุนในการผลิตน้อย (โดยชุดอุปกรณ์การกรองน้ำทั้ง 2 ทั้งมีต้นทุนในการผลิตรวมต่ำกว่า 3,000 บาท) และสามารถรับแรงดันน้ำภายในได้ โดยหากต้องการเพิ่มปริมาณขนาดของชุดอุปกรณ์การกรองก็สามารถทำได้ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงต้นทุน ความสามารถในการรับแรงดันน้ำในถัง และการนำไปใช้งานจริงด้วย

2) ในงานวิจัยนี้ใช้ระบบการดึงน้ำบาดาลเข้าถังกรองโดยใช้ปั้มน้ำโซลาร์เซลล์ซึ่งสามารถใช้แหล่งพลังงานได้จากทั้งแผ่นโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่แต่แนะนำให้ทำการต่อเข้ากับแบตเตอรี่เพื่อให้ปั้มน้ำทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และใช้โซลาร์เซลล์ในการชาร์จพลังงานไฟฟ้ากลับเข้าไปในแบตเตอรี่ใหม่ทดแทน ซึ่งแรงดันน้ำที่ได้อาจจะไม่สูงมากนักแต่สามารถนำไปใช้ได้กับชุดถังกรองในการกรองน้ำได้ แต่หากในบริเวณแหล่งน้ำบาดาลมีปั้มน้ำไฟฟ้าหรือมีปั้มน้ำโซลาร์เซลล์ติดตั้งอยู่แล้วก็สามารถดึงน้ำบาดาลเข้าถังบำบัดได้โดยตรง

3) ชุดการกรองน้ำนี้สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำจากแหล่งน้ำอื่นๆ ได้ เช่น หากเป็นระบบน้ำประดาหมู่บ้านที่ยังไม่มีคุณภาพดี ก็สามารถต่อท่อเข้าผ่านถังบำบัดได้โดยตรงไม่ต้องผ่านปั้มน้ำ

4) สำหรับชุดอุปกรณ์การบำบัดน้ำด้วยวิธีทางเคมีนั้น แนะนำให้ใช้ก็ต่อเมื่อน้ำบาดาลของแหล่งนั้นมีค่าความกระด้างที่สูงกว่ามาตรฐานมาก แต่หากแหล่งน้ำบาดาลนั้นมีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำแล้วว่าไม่เกินค่ามาตรฐาน ก็สามารถนำน้ำบาดาลนั้นมาผ่านถังกรองเพื่อทำการบำบัดคุณภาพได้เลยโดยไม่ต้องทำการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมีก่อนก็ได้

5) ชุดอุปกรณ์ถังกรองควรมีการล้างกลับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการกรองและการบำบัดคุณภาพน้ำเมื่อใช้ไปนาน ๆ โดยควรมีการล้างกลับในทุก ๆ 3 เดือน โดยอายุการใช้งานถังกรองน้ำขึ้นอยู่กับคุณภาพของแหล่งน้ำบาดาล การดูแลรักษา และคุณภาพของวัสดุที่ใช้ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- การประปาส่วนภูมิภาค. (2558). **คู่มือกระบวนการหลักด้านการกระบวนการผลิตน้ำประปาเล่ม 1 ภาคปฏิบัติ**. กรุงเทพฯ : การประปาส่วนภูมิภาค
- เฉลิม ชัยบุญเรือง. (2553). **การบริหารจัดการคุณภาพน้ำบาดาล กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ประวิทย์ จันทน์แจ้ง. (2553). **การวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อความแข็งแรงในพื้นที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
- ปิยรัตน์ มูลศรี วิไลพร ปองเพียร และกฤษฎา มูลศรี. (2555). **การผลิตถ่านกัมมันต์จากฝักมะขามที่เสียหายจากราเพื่อการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์**. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. เพชรบูรณ์. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- รัตนา สนั่นเมือง ยุทธพงษ์ อุดแน่น และวิภารัตน์ เชื้อชวด. (2551). **การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลสังเคราะห์ด้วยไคโตซานเมมเบรน**. *NU Science Journal*, ฉบับที่ 5 (2), หน้า 200-209.
- รัชฎาพร วัชรวิชานันท์ และกมณชนก วงศ์สุขสิน. (2555). **การวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและการอุปโภคบริโภคในเขตตำบลหนองบัวศาลาและตำบลหนองระเวียง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวทางเคมี**. เอกสารสืบเนื่องการประชุมวิชาการ GRC 2012 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. จังหวัดขอนแก่น.
- วรรณ กาญจนมยุร. (2551). **เคมีอุตสาหกรรม (พิมพ์ครั้งที่ 2)**. มหาสารคาม. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2540). **คู่มือครู : แนวการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามโครงการของ Globe เรื่องน้ำ**. กระทรวงศึกษาธิการ.
- สาวิตรี จันทรานุกษ์. (2546). **กระบวนการแยกเชิงกลในอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อลิสา วังใน. (2554). **การบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพ**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Environmental Protection Agency. (1997). **Wastewater treatment manuals; Primary secondary and tertiary treatment**. Wexford : EPA Publisher.

- FEMP U.S. Department of Energy. (2011). **Cooling Tower: Understanding key Components of Cooling Towers and How to Improve Water Efficiency** [online]. Available HTTP : www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/waterfs_coolingtowers.pdf [2015, October 20]
- Freeman, H. M., (1989). **Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal**. New York : McGraw-Hill.
- Henze, M. (2002). **Wastewater Treatment**. 3rd ed. New York : Springer.
- Knowledge Publication. (2007). **Principle of water treatment** [online]. Available HTTP : knowledgepublications.com/doe/doe_chemistry_web_educational_textbook_solar_hydrogen_fuel_cells.htm [2015, October 18]
- Lenntech. (1998). **Deionized/ Demineralized water** [online]. Available HTTP : www.lenntech.com/applications/process/demineralised/deionised-demineralised-water.htm [2015, October 14]
- Mazille, F. and Spuhler, D. (2012). **Coagulation-Flocculation** [online]. Available HTTP : www.sswm.info/content/coagulation-flocculation [2015, October 14]
- Moonsri, P., Pongpian, W., & Moonsri, K. (2016). Production of Activated Carbon from Moldy Damaged Tamarind-Pod. *Applied Mechanics and Materials*, Vol.855, pp 137-142.
- Osmonics. (1997). **Osmonics Pure Water Handbook**. 2nd ed. Minnesota : Osmonics, Inc.
- Sperling, M. V. (2007). **Activated sludge and aerobic biofilm reactors**. New York : IWA.
- Srinivas, T. (2008). **Environmental biotechnology**. New Delhi : New Age International.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค

ตารางที่ ผก.1 แสดงมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
ทางกายภาพ	1.สี (Color)	แพลทินัม-โคบอลต์	5	15
	2.ความขุ่น (Turbidity)	หน่วยความขุ่น	5	20
	3.ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	7.0-8.5	6.5-9.2
ทางเคมี	4.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.5	1.0
	5.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.3	0.5
	6.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 1.0	1.5
	7.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 5.0	15.0
	8.ซัลเฟต (SO ₄)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 200	250
	9.คลอไรด์ (Cl)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 250	600
	10.ฟลูออไรด์ (F)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.7	1.0
	11.ไนเตรด (NO ₃)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 45	45
	12.ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as CaCO ₃)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 300	500
	13.ความกระด้างถาวร (Non carbonate hardness as CaCO ₃)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 200	250
	14.ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลาย ได้ (Total dissolved solid)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 600	1,200
สารพิษ	15.สารหนู (As)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.05
	16.ไซยาไนด์ (CN)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.1
	17.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.05
	18.ปรอท (Hg)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.001
	19.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.01
	20.ซีลีเนียม (Se)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.01

ตารางที่ ผก.1 แสดงมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค (ต่อ)

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
ทางแบคทีเรีย	21.แบคทีเรียที่ตรวจพบโดยวิธี Standard plate count	โคโลนีต่อ ลบ.ซม.	ไม่เกินกว่า 500	-
	22.แบคทีเรียที่ตรวจพบโดยวิธี Most Probable Number (MPN)	เอ็ม.พี.เอ็น ต่อ 100 ลบ.ซม	น้อยกว่า 2.2	-
	23.อี. โคไล (E.coli)	-	ต้องไม่มีเลย	-

แหล่งที่มา: ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการ
ในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551
ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนพิเศษ 85 ง ลงวันที่ 21 พฤษภาคม 2552

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาค่าความกระด้าง การบำบัดน้ำและค่า Degree of water softening

1) การคำนวณหาค่าความกระด้างและปริมาณสารสำหรับการปรับสภาพน้ำ

1.1 การคำนวณหาค่าความกระด้างทั้งหมด (จากปริมาณน้ำตัวอย่าง 25 mL)

จากการทดลองพบว่าการไทเทรตได้ใช้ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน EDTA ความเข้มข้น 0.10 M ไปในปริมาณเท่ากับ 1.65 mL

เนื่องจากจำนวนโมลของความกระด้างทั้งหมด = จำนวนโมลของ EDTA ที่ใช้ในการไทเทรต

$$\begin{aligned} &= \frac{0.1 \text{ mole EDTA} \times 1.65 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \\ &= 1.65 \times 10^{-4} \text{ mole EDTA} \end{aligned}$$

ดังนั้นในน้ำตัวอย่าง 25 mL มีความกระด้างทั้งหมดเท่ากับ 1.65×10^{-4} mole EDTA

$$\begin{aligned} \text{และหากใช้น้ำตัวอย่าง 1000 mL มีความกระด้างทั้งหมด} &= \frac{1.65 \times 10^{-4} \text{ mole EDTA} \times 1000 \text{ mL}}{25 \text{ mL}} \\ &= 6.6 \times 10^{-3} \text{ mole EDTA} \end{aligned}$$

ดังนั้นในน้ำตัวอย่าง 1 L มีความกระด้างทั้งหมดเท่ากับ $6.6 \times 10^{-3} \text{ mole L}^{-1}$

1.2 การคำนวณหาค่าความกระด้างชั่วคราวและค่าความกระด้างถาวร (จากปริมาณน้ำตัวอย่าง 25 mL)

จากการทดลองพบว่าการไทเทรตหาความกระด้างชั่วคราวได้ใช้ปริมาตรของสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.10 M ไปในปริมาณเท่ากับ 2.13 mL

เนื่องจากจำนวนโมลของความกระด้างชั่วคราว = $\frac{1}{2}$ จำนวนโมลของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรต

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \times \frac{0.1 \text{ mole HCl} \times 2.13 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \\ &= 1.065 \times 10^{-4} \text{ mole HCl} \end{aligned}$$

ดังนั้นในน้ำตัวอย่าง 25 mL มีความกระด้างทั้งหมดเท่ากับ 1.065×10^{-4} mole HCl

$$\begin{aligned} \text{และหากใช้น้ำตัวอย่าง 1000 mL มีความกระด้างทั้งหมด} &= \frac{1.065 \times 10^{-4} \text{ mole HCl} \times 1000 \text{ mL}}{25 \text{ mL}} \\ &= 4.2 \times 10^{-3} \text{ mole HCl} \end{aligned}$$

ดังนั้นในน้ำตัวอย่าง 1 L มีความกระด้างชั่วคราวเท่ากับ $4.2 \times 10^{-3} \text{ mole L}^{-1}$

จาก ค่ากระด้างทั้งหมด = ค่าความกระด้างชั่วคราว + ค่าความกระด้างถาวร

$$H_{\text{total}} = H_{\text{carb}} + H_{\text{non-carb}}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{ค่ากระด้างถาวร} &= \text{ค่าความกระด้างทั้งหมด} - \text{ค่าความกระด้างชั่วคราว} \\
 &= 6.6 \times 10^{-3} \text{ mole L}^{-1} - 4.2 \times 10^{-3} \text{ mole L}^{-1} \\
 &= 2.4 \times 10^{-3} \text{ mole L}^{-1}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นในน้ำตัวอย่าง 1 L มีความกระด้างถาวรเท่ากับ $2.4 \times 10^{-3} \text{ mole L}^{-1}$

1.3 การคำนวณหาปริมาณ Ca(OH)_2 และ Na_2CO_3 เพื่อใช้ในการปรับสภาพน้ำบาดาลตัวอย่าง 200 ลิตร

จากการคำนวณหาความกระด้างชั่วคราว (หรือความกระด้างคาร์บอเนต) ของน้ำตัวอย่างได้เท่ากับ $4.2 \times 10^{-3} \text{ mole L}^{-1}$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น น้ำตัวอย่าง 200 L จะมีความกระด้างชั่วคราว} &= 4.2 \times 10^{-3} \text{ mole L}^{-1} \times 200 \text{ L} \\
 &= 0.84 \text{ mole}
 \end{aligned}$$

จากค่าความกระด้างชั่วคราว จึงต้องใช้ Ca(OH)_2 ในจำนวนโมลที่เท่ากับค่าความกระด้างที่คำนวณได้ด้วย โดยน้ำหนักโมเลกุลของ Ca(OH)_2 เท่ากับ 74.0 g/mol

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{ปริมาณของ } \text{Ca(OH)}_2 \text{ ที่ต้องใช้} &= 0.84 \text{ mole} \times 74.0 \text{ g mol}^{-1} \\
 &= 62.16 \text{ g}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นการบำบัดน้ำตัวอย่างจำนวน 200 L จะต้องใช้ Ca(OH)_2 เท่ากับ 62.16 g

จากการคำนวณหาความกระด้างถาวร (non-carbonate hardness) ของน้ำตัวอย่างได้เท่ากับ $2.4 \times 10^{-3} \text{ mole L}^{-1}$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น น้ำตัวอย่าง 200 L จะมีความกระด้างถาวร} &= 2.4 \times 10^{-3} \text{ mole L}^{-1} \times 200 \text{ L} \\
 &= 0.48 \text{ mole}
 \end{aligned}$$

จากค่าความกระด้างถาวร จึงต้องใช้ Na_2CO_3 ในจำนวนโมลที่เท่ากับค่าความกระด้างที่คำนวณได้ด้วย โดยน้ำหนักโมเลกุลของ Na_2CO_3 เท่ากับ 106 g/mol

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{ปริมาณของ } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ ที่ต้องใช้} &= 0.48 \text{ mole} \times 106.0 \text{ g mol}^{-1} \\
 &= 50.88 \text{ g}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นการบำบัดน้ำตัวอย่างจำนวน 200 L จะต้องใช้ Na_2CO_3 เท่ากับ 50.88 g

3) การคำนวณหาค่า Degree of water softening

จากการทดลองพบว่าเริ่มต้นน้ำบาดาลตัวอย่างมีค่าความกระด้างทั้งหมดเท่ากับ $0.0068 \text{ mol L}^{-1}$ และมีค่าความกระด้างชั่วคราวเท่ากับ $0.0052 \text{ mol L}^{-1}$

จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาการบำบัดน้ำผ่านไปนาน 60 นาที น้ำบาดาลตัวอย่างมีค่าความกระด้างทั้งหมดเท่ากับ $0.0053 \text{ mol L}^{-1}$ และมีค่าความกระด้างชั่วคราวเท่ากับ $0.0041 \text{ mol L}^{-1}$

จากสูตรการคำนวณหาประสิทธิภาพของการปรับสภาพน้ำตัวอย่าง โดยการคำนวณค่า degree of water softening (η_{soft}) โดยใช้สมการดังนี้

$$\eta_{\text{soft}} = \frac{H \text{ total soft}}{H \text{ total raw}} \quad \text{และ} \quad \eta_{\text{soft}} = \frac{H \text{ carb soft}}{H \text{ carb raw}}$$

แทนค่า ประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างทั้งหมด = $\frac{0.0053 \text{ mol L}^{-1}}{0.0068 \text{ mol L}^{-1}}$

$$\eta_{\text{soft}} = 0.779$$

ดังนั้นการบำบัดน้ำตัวอย่างมีประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างทั้งหมด (η_{soft}) เท่ากับ 0.779

แทนค่า ประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างชั่วคราว = $\frac{0.0041 \text{ mol L}^{-1}}{0.0052 \text{ mol L}^{-1}}$

$$\eta_{\text{soft}} = 0.788$$

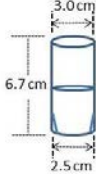
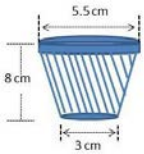
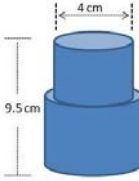
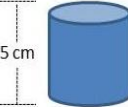
ดังนั้นการบำบัดน้ำตัวอย่างมีประสิทธิภาพการบำบัดความกระด้างชั่วคราว (η_{soft}) เท่ากับ 0.788

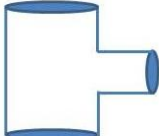
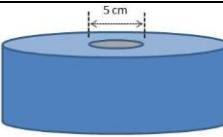
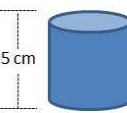
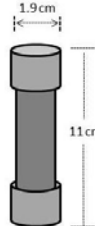
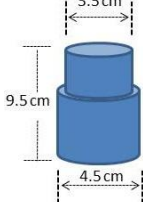
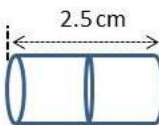
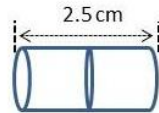
ภาคผนวก ก

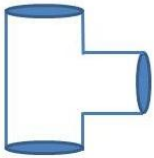
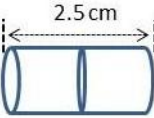
รายการอุปกรณ์และวิธีการประกอบเครื่องกรองน้ำ

รายการอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการประดิษฐ์เครื่องกรองน้ำบาดาลแบบเคลื่อนที่ได้สำหรับชุมชน ที่ผลิตจากท่อ PVC ชนิดหนา แสดงได้ดังตารางที่ ผค.1

ตารางที่ ผค.1 แสดงรายการอุปกรณ์

ลำดับที่	ลักษณะรูปแบบ	รายละเอียดของอุปกรณ์
1		ท่อ PVC ชนิดหนา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ตัดให้มีขนาดยาว 85 cm
2		ฝาครอบท่อ PVC ชนิดหนา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว
3		กรวยกรองด้านล่าง
4		ข้อต่อตรงท่อ PVC ขนาด 4 หุน
5		ท่อ PVC ชนิดหนา ขนาด 4 หุน ตัดยาว 50 cm
6		ข้อต่อตรงท่อ PVC ขนาด 4 หุน
7		กรวยกรองด้านบน
8		ท่อ PVC ชนิดหนา ขนาด 4 หุน ตัดยาว 27 cm
9		ข้อต่อตรงท่อ PVC ลดขนาด
10		ข้อต่อตรงแบบในท่อยาว 2 นิ้ว ตัดจากท่อ PVC ขนาด 8 หุน (ท่อ 1 นิ้ว)

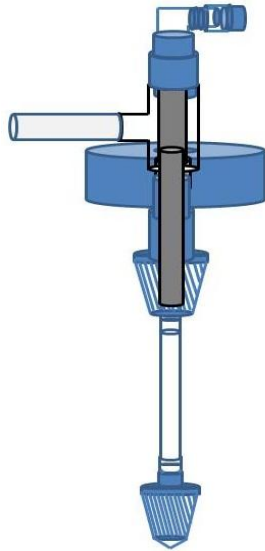
11		ท่อสามทางลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ลดขนาดเป็น 4 หุน
12		ฝาครอบท่อ PVC ชนิดหนา ขนาด 6 นิ้ว เจาะรูตรงกลาง
13		ข้อต่อตรงแบบในท่อยาว 2 นิ้ว ตัดจากท่อ PVC ขนาด 8 หุน
14		ข้อต่อตรงแบบในท่อยาว 11 cm ขยายปลาย 2 ด้าน ตัดจากท่อ PVC ขนาด 19 mm (ท่อขนาด 3 หุน)
15		ข้อต่อตรงลดขนาด
16		ข้อต่อตรงแบบในท่อยาว 5.7 cm ตัดจากท่อ PVC ขนาด 4 หุน
17		ข้อต่อองขนาด 4 หุน แบบเกลียวใน
18		ข้อต่อตรงขนาด 4 หุน แบบเกลียวนอก
19		ข้อต่อตรงแบบในท่อยาว 2 นิ้ว ตัดจากท่อ PVC ขนาด 4 หุน
20		บอลวาล์วสำหรับท่อขนาด 4 หุน
21		ข้อต่อตรงแบบในท่อยาว 2 นิ้ว ตัดจากท่อ PVC ขนาด 4 หุน

22		ข้อต่อสามทางขนาด 4 นิ้ว
23		ข้อต่อตรงแบบในท่อยาว 2 นิ้ว ตัดจากท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว
24		บอลวาล์ว
25		ข้อต่อตรงแบบในท่อยาว 2 นิ้ว ตัดจากท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว
26		ข้องอแบบเกลียวนอกขนาด 4 นิ้ว
27		ข้อต่อลดขนาด หรือข้อต่อสำหรับต่อใช้งาน

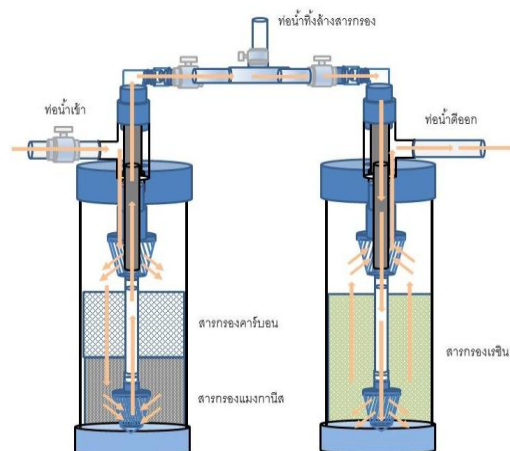
วิธีการประกอบ

1. ทำการประกอบถังกรองน้ำสำหรับการบรรจุสารกรองคาร์บอนและสารกรองแมงกานีส โดยการประกอบท่อ PVC ชนิดหนา (ลำดับที่ 1) เข้ากับฝาครอบท่อ (ลำดับที่ 2) โดยใช้กาวทาท่อ PVC ทั้งไว้ให้กาวแห้ง
2. ทำการประกอบส่วนของท่อลำเลียงน้ำภายในถังกรอง (ไส้กรอง) โดยการทากาวและประกอบส่วนของอุปกรณ์ลำดับที่ 3-10 ตามลำดับ
3. ทำการประกอบส่วนของฝาครอบถังกรองด้านบนโดยการประกอบชิ้นส่วนลำดับที่ 11 และ 12 เข้าด้วยกัน โดยใช้กาวซิลิโคนอีพอกซี ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 2 วัน
4. ทำการประกอบชุดอุปกรณ์ในข้อ 2 และข้อ 3 เข้าด้วยกันโดยใช้กาวทาท่อ
5. ทำการทากาวประสานชิ้นส่วนที่ 14 เข้ากับชิ้นส่วนที่ 8 เป็นท่อลำเลียงน้ำภายใน
6. ทำการทากาวประสานชิ้นส่วนที่ 13 เข้ากับชิ้นส่วนที่ 11 ให้คร่อมท่อตรงชิ้นส่วนที่ 14 และทากาวประสานชิ้นส่วนที่ 15 เข้ากับชิ้นส่วนที่ 13 ให้คร่อมท่อชิ้นส่วนที่ 14 เช่นกัน และจัดให้มีระดับของปลายท่อที่ 14 กับปลายท่อชิ้นส่วนที่ 15 ให้เสมอกัน
7. ทำการทากาวประสานชิ้นส่วนที่ 16 เข้ากับชิ้นส่วนที่ 14 และ 15
8. ทำการทากาวประสานชิ้นส่วนที่ 17 เข้ากับชิ้นส่วนที่ 16
9. ทำการทากาวประสานชิ้นส่วนที่ 18-22 เข้าด้วยกันและนำมาทากาวประกอบเข้ากับชิ้นส่วนที่ 17
10. ทำการทากาวประสานชิ้นส่วนที่ 23-27 เข้าด้วยกันและนำมาทากาวประกอบเข้ากับชิ้นส่วนที่ 11

11. ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 1-10 แต่ใช้ท่อ PVC ชนิดหนา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว และฝาครอบท่อขนาด 4 นิ้ว แทน ในข้อที่ 1



12. นำส่วนของท่อไส้กรองใส่ลงไปในถังกรองท่อ PVC แล้วเติมสารกรองถ่านหนักประมาณ 3 kg (หรือใช้แอคทีฟคาร์บอนที่เตรียมได้จากวัสดุธรรมชาติ) และสารกรองเมกกาไนต์หนักประมาณ 3 kg
13. ทำการทากาวประสานเชื่อมฝาครอบท่อพร้อมชุดไส้กรอง (ลำดับที่ 12) เข้ากับถังกรองท่อ PVC ในลำดับที่ 1 แล้วทิ้งไว้ให้กาวแห้ง
14. นำส่วนของท่อไส้กรองใส่ลงไปในถังกรองท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว แล้วเติมสารกรองเรซินหนักประมาณ 3 kg
15. ทำการทากาวประสานเชื่อมฝาครอบท่อพร้อมชุดไส้กรอง (ลำดับที่ 12) เข้ากับถังกรองท่อ PVC ในลำดับที่ 1 ที่มีสารกรองเรซิน แล้วทิ้งไว้ให้กาวแห้ง
16. นำถังกรองท่อ PVC ทั้งสองถังเชื่อมต่อเข้าด้วยกันโดยใช้ท่อสามทางในลำดับที่ 22



การใช้งานชุดอุปกรณ์กรองน้ำ

1. ทำการต่อท่อน้ำเข้าถังกรอง (โดยใช้ปั้มน้ำโซล่าเซลล์ หรือใช้ปั้มไฟฟ้า) ซึ่งแรงดันของน้ำขาเข้าจะมีผลต่อปริมาณน้ำและอัตราการกรอง ซึ่งควรใช้อัตราการป้อนน้ำเข้าให้พอดีไม่แรงเกินไปหรือน้อยเกินไป
2. ทำการปิดวาล์วในส่วนของการนำน้ำเข้าถังกรองเรซิน และเปิดวาล์วในส่วนของการท่อน้ำทิ้ง ปล่อยให้ น้ำเข้าถังกรอง น้ำจะไหลออกมาทางท่อน้ำทิ้งล้างสารกรอง ทิ้งไว้จนน้ำมีลักษณะใส
3. ทำการปิดวาล์วในส่วนของการท่อน้ำทิ้ง และเปิดวาล์วในส่วนของการนำน้ำเข้าถังกรองเรซิน ปล่อยให้ น้ำเข้าถังกรอง น้ำจะไหลออกมาทางท่อน้ำออก ทิ้งไว้จนน้ำมีลักษณะใส
4. เมื่อทำการล้างสารกรองของถังกรองทั้ง 2 ถังแล้ว สามารถนำน้ำบาดาลที่ต้องการกรองผ่านถังกรองและนำไปใช้ได้
5. ควรทำการล้างถังกรองทุก ๆ 3 เดือน โดยการ back wash

ภาคผนวก ง

การจัดอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่ชุมชน



ประวัติผู้วิจัย

- ชื่อ:** รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ มุลศรี (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- คุณวุฒิ:** วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ตำแหน่ง:** อาจารย์
- สถานที่ติดต่อ:** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
-
- ชื่อ:** อาจารย์อาทิตย์ หู่เต็ม (ผู้ร่วมวิจัย)
- คุณวุฒิ:** วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ตำแหน่ง:** อาจารย์
- สถานที่ติดต่อ:** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
-
- ชื่อ:** อาจารย์ศานิตย์ สุวรรณวงศ์ (ผู้ร่วมวิจัย)
- คุณวุฒิ:** ศึกษาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์-คณิตศาสตร์) คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์) สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ตำแหน่ง:** อาจารย์
- สถานที่ติดต่อ:** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์