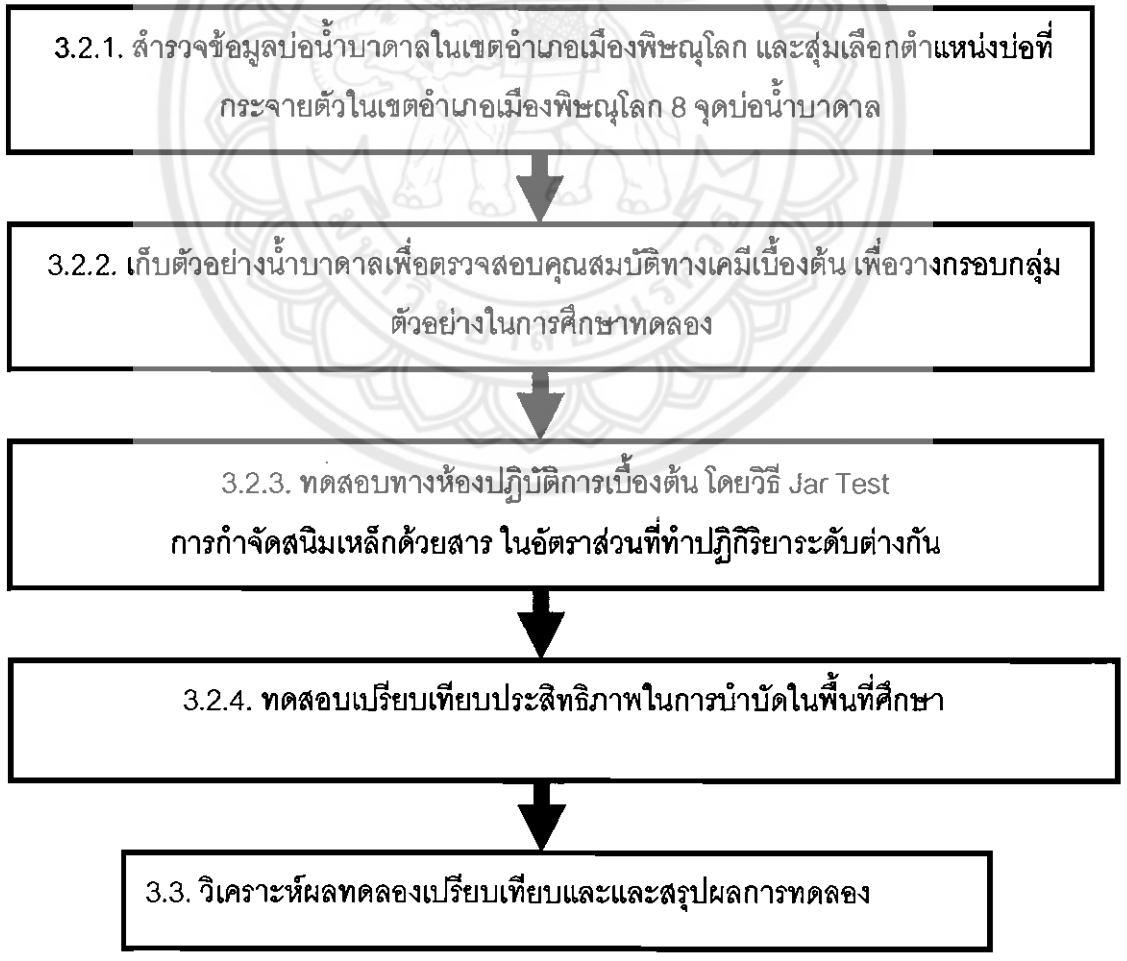
บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

3.1. รูปแบบการศึกษา

การศึกษาวิจัยเน้นการทดลองและทดสอบ (Experimental Research) ที่แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ (1) การทดลองในห้องปฏิบัติการเบื้องต้น (Preliminary Experimental Test) เพื่อทดลองหาช่วงระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต($KMnO_4$) และสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์($Ca(OH)_2$) (2) การทดลองในพื้นที่จริง (On-site) เพื่อทดสอบเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพในการกำจัดสนิมเหล็กของสาร $KMnO_4$ และ $Ca(OH)_2$ ทั้งศึกษาเปรียบเทียบขั้นตอนและต้นทุนการบำบัด

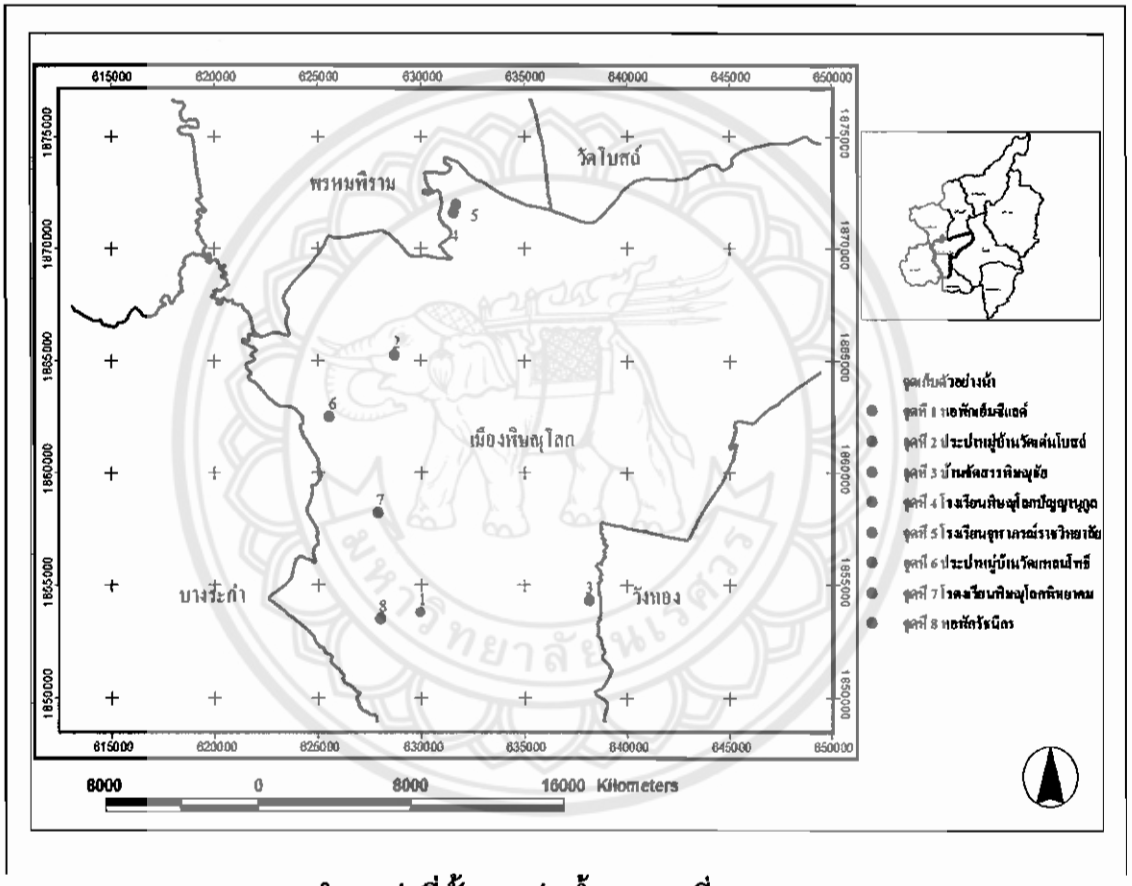
3.2. ขั้นตอนการทดลอง



ภาพ 3 ขั้นตอนการศึกษา

3.2.1. **ตรวจวัดคุณภาพทางเคมีเบื้องต้นของน้ำบาดาลจากบ่อบาดาลในเขตอำเภอเมืองจังหวัดพิษณุโลก**

1) กำหนดจุดที่เก็บตัวอย่างน้ำ เพื่อการตรวจวัดค่าคุณสมบัติทางเคมีของน้ำบาดาล โดยเลือกจุดเก็บตัวอย่าง ที่เป็นบ่อน้ำบาดาลที่ยังใช้มีการสูบใช้ประจำ และเป็นตำแหน่งบ่อที่เป็นตัวแทนบริเวณนั้นๆ โดยทำการเลือกแบบสุ่ม มา 8 จุดเก็บ ที่การกระจายตัวในเขตอำเภอเมืองพิษณุโลก (ภาพ 4)



ภาพ 4 ตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำบาดาลที่ทดสอบ

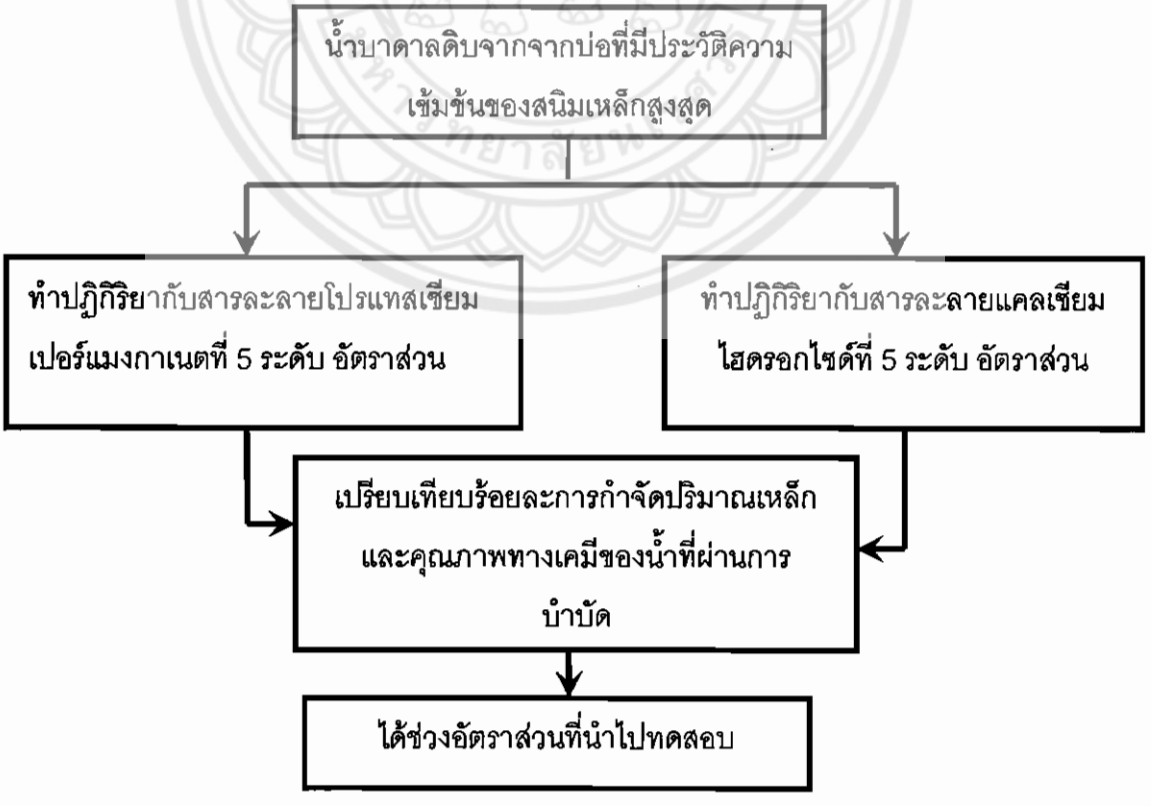
2) **การเก็บน้ำตัวอย่าง** น้ำดิบตัวอย่างแต่ละจุดจะถูกเก็บ 3 ครั้ง ในช่วงเวลา 09.00 น. – 13.00 น. โดยเก็บใส่ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร เก็บรักษาน้ำด้วยการกรดไนตริก 1 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร แล้วนำตัวอย่างแช่ใส่ถังน้ำแข็งก่อนนำส่งกลับห้องปฏิบัติการที่ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์พิษณุโลก

3) **การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง** ตัวอย่างน้ำบาดาลจะถูกวิเคราะห์ค่าคุณภาพทางเคมีเบื้องต้นของน้ำ โดยใช้ขั้นตอนและวิธีการที่แนะนำใน Standard Methods for Water and Wastewater Analysis (APHA,1998) คือ

- ค่าระดับ pH วิเคราะห์โดย pH phobe และ pH meter ของ Metrohm
- ค่าความกระด้าง วิเคราะห์โดยวิธี Complexometric Titration
- ค่าปริมาณแมงกานีส และค่าปริมาณเหล็กรวมวิเคราะห์โดยวิธี Flame Atomic Absorption Spectrophotomter โดยเครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometry ของ Perkin Elmer รุ่น 3100

ขั้นตอนในการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์และการ Calibrate เครื่องวัด ทำตามข้อแนะนำคู่มือการใช้เครื่องแต่ละเครื่อง โดยแต่ละน้ำตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ซ้ำสามครั้ง (Triplicate)

3.2.2.**ทดสอบทางห้องปฏิบัติการเบื้องต้น** การกำจัดสนิมเหล็กด้วยสารทดสอบในห้องปฏิบัติการใช้ Jar test โดยทดสอบที่ระดับอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ของสารทดสอบ (โปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์) กับปริมาณเหล็กรวมในน้ำดิบที่ 5 ระดับอัตราส่วน (ภาพ 5)



ภาพ 5 ขั้นตอนการทดลองทางห้องปฏิบัติการเบื้องต้น

1) **กำหนดระดับความเข้มข้น** ของสารโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตและสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จากสมการปฏิกิริยาเคมีของน้ำที่มีสนิมเหล็กปนเปื้อนกับสาร $KMnO_4$ (สมการที่ 3.1) และกับสาร $Ca(OH)_2$ (สมการที่ 3.2) คำนวณปริมาณสารที่ใช้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยน เหล็กเฟอร์รัส Ferrous(Fe^{2+}) เป็น Ferric(Fe^{3+}) ได้มากที่สุด พบว่าที่ 1 โมล ของสารประกอบ Ferrous ต้องใช้ $KMnO_4$ 1/3 โมล และต้องใช้ $Ca(OH)_2$ 1 โมล

$$3\,Fe(HCO_3)_2 + KMnO_4 + 7\,H_2O \longrightarrow MnO_2 + 3Fe(OH)_3 + KHCO_3 + 5H_2CO_3$$ สมการ 3.1

$$Fe(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Fe(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2$$ **สมการ** 3.2

การทดลองทางห้องปฏิบัติการเบื้องต้น จึงกำหนดอัตราส่วนความเข้มข้น**ของสารเคมีต่อสารประกอบเหล็กที่** 5 ระดับอัตราส่วนโดยน้ำหนัก คือ ที่ 0.8 ,0.9 , 1.0 ,1.1 ,และ 1.2 **ต่อ ปริมาณเหล็กหนึ่งส่วน**

2) **การเตรียมสารทดสอบ**

- **สารละลายโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต** เตรียมจากสารโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) **ความบริสุทธิ์** 99.0 % ผลิตโดย Merck โดยเตรียมสารละลายโปรแทส**เซียมเปอร์แมงกาเนตไว้ที่ความเข้มข้น** 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารตั้งต้น แล้วนำไปเจือจางใน**อัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้** (ภาคผนวก ก)

- สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เตรียมจากสารแคลเซียมไฮดรอก**ไซด์**($Ca(OH)_2$) **ความบริสุทธิ์** 99.0 % ผลิตโดย Merck โดยเตรียมสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไว้**ที่ความเข้มข้น** 100 **มิลลิกรัม**ต่อลิตร เป็นสารตั้งต้น แล้วนำไปเจือจางในอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้ (**ภาคผนวก** ก)

3) **ขั้นตอนการทดสอบ ใช้เครื่อง** Jar Test

- น้ำบาดาลดิบที่นำมาทดสอบ ถูกเก็บจากจุดเก็บที่ 3 (โครงการบ้านจัดสรรพิษณุชัย) เก็บใส่ถังพลาสติกขนาด 5 ลิตร เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน แล้วส่งห้องปฏิบัติการเพื่อการวิเคราะห์หา (1) ค่า pH (2) ค่าความกระด้าง (3) ปริมาณความเข้มข้นเหล็กรวม ตามวิธี 3.2.1(3)

- การผสมสารละลายเพื่อการทำปฏิกิริยาใน Jar Test (ภาพ 6) เติมน้ำบาดาลดิบลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร โดยคำนวณปริมาตรของน้ำดิบ และปริมาตรของสารทดสอบ (สารละลายโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตและสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์)ต่อระดับเหล็กรวมให้ได้ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 0.8:1 ,0.9:1 ,1:1 ,1.1:1 ,1.2:1 โดยแต่ละอัตราส่วนจะถูกทดสอบ 3 ครั้ง

ภาพ 6 การทดลองด้วยเครื่อง Jar Test

- ตั้งจังหวะการปั่นเป็น 2 ระดับ คือปั่นเหวี่ยงเร็วใช้ความเร็วรอบ 100 **รอบต่อนาที นาน 1 นาที** ปั่นเหวี่ยงช้าที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาทีนาน 20 นาที แล้วปล่อยทิ้งให้ตกตะกอน 20 **นาที แล้ว**นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง whatman ขนาดเบอร์ 1 ขนาด 100 ไมครอน **เพื่อนำส่วนใสที่กรอง**ผ่านไปวิเคราะห์ต่อไป

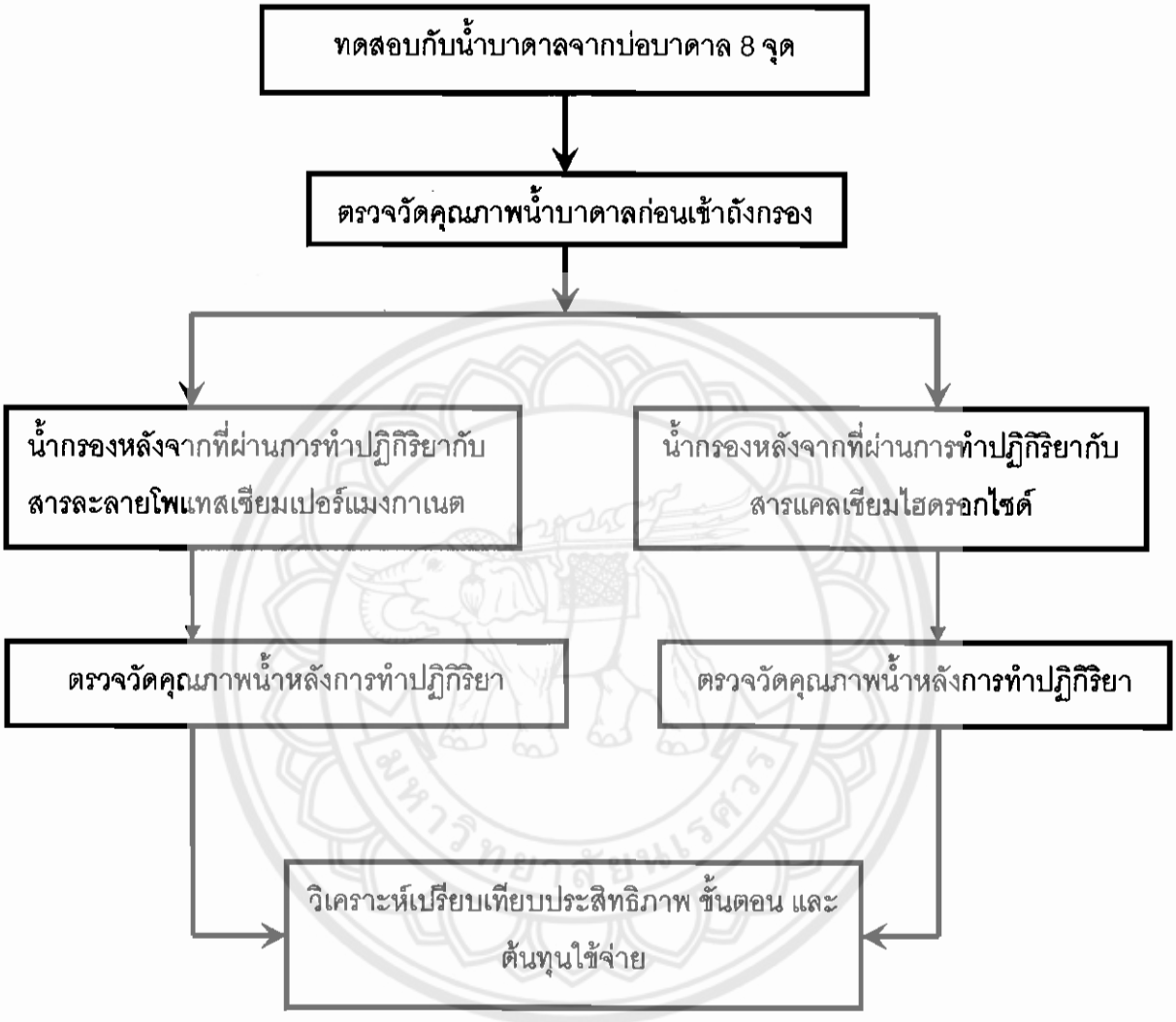
- น้ำบาดาลที่ผ่านการกรองแล้ว จะถูกนำมาวิเคราะห์หา (1) ระดับ pH (2) **ค่าความกระด้าง และ** (3) ค่าความเข้มข้นเหล็กรวม แล้วนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าใน**น้ำดิบก่อนการทำปฏิกิริยา**กับสารเคมีทดสอบ

4) ผลการตรวจวัดจาก ขั้นตอนการทดสอบสามซ้ำต่อชุดทดสอบ จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป โดยระดับอัตราส่วนที่ให้ค่ากำจัดเหล็กดีที่สุด และให้ผลค่าคุณสมบัติของน้ำหลังการบำบัดดีที่สุด จะถูกนำไปใช้เพื่อทดสอบการปรับปรุงคุณภาพน้ำในพื้นที่ศึกษา

3.2.3. **การทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดสนิมเหล็กในพื้นที่ศึกษา เพื่อ**เปรียบเทียบเปอร์เซนต์การกำจัดสนิมเหล็ก ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัด, คุณสมบัติทางเคมีของน้ำที่ผ่านการบำบัดและผลกระทบของการใช้สารเคมีนั้นๆต่อสิ่งแวดล้อม

ผลจากการทดลองข้อ 3.2.1 ระดับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และของสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่กำจัดสนิมเหล็กได้ดีที่สุด ถูกนำทดสอบกับน้ำบาดาล

ดิบ ณ.จุดบำบัดน้ำใกล้ตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลที่สุ่มเลือก 8 จุด ขั้นตอนการทดสอบโดยสรุปตามแผนภาพ 7

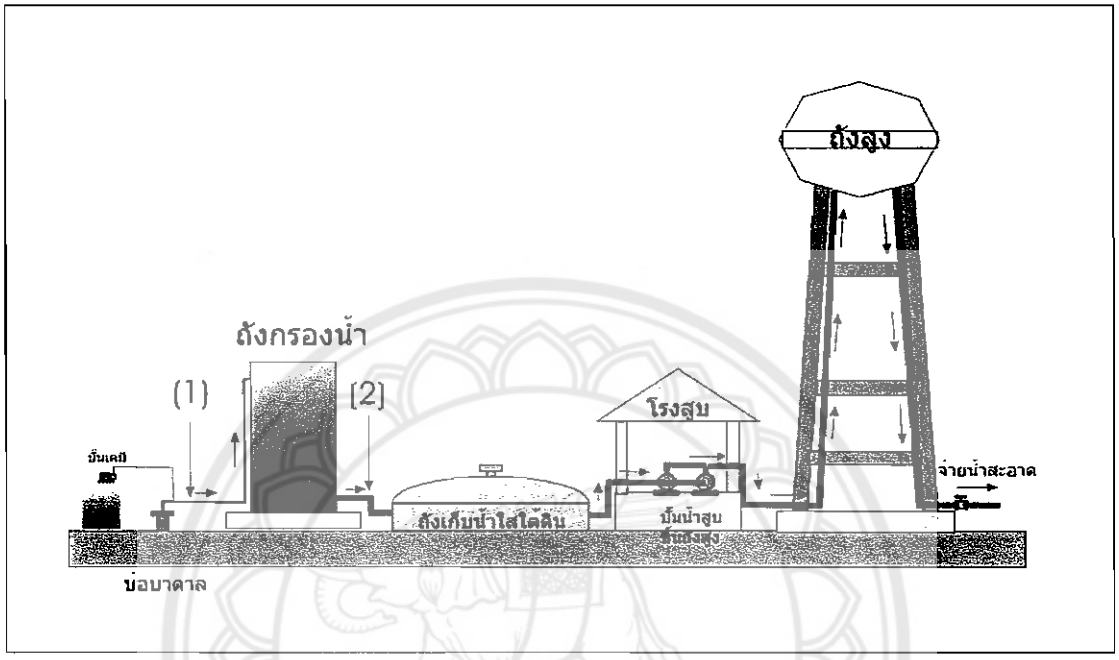


ภาพ 7 ขั้นตอนการทดสอบการกำจัดสนิมเหล็กโดยสารเคมีในพื้นที่ศึกษา

1) **บ่อน้ำบาดาลที่ใช้ทดสอบ** ในพื้นที่ มี 8 จุด ตามตำแหน่งที่สุ่มเลือก(จาก 3.1.1.) ทั้ง 8 บ่อเป็นบ่อขนาดกลาง ขุดเจาะเพื่อนำน้ำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคที่มีอัตราการใช้ประโยชน์ประมาณ 20-90 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

จุดปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลแต่ละจุดจะประกอบด้วย บ่อน้ำบาดาล ตัวปั๊มน้ำ ถังเติมสารเคมีและตัวปั๊มน้ำ (เพิ่มเติมในการวิจัยครั้งนี้) ถังกรองน้ำ ที่ต่อสายรับน้ำเพื่อเก็บไว้แจกจ่าย

ต่อไป และในการศึกษานี้ กำหนดจุดเก็บน้ำตัวอย่าง 2 จุดคือ (1) น้ำดิบจากบ่อบาดาล (2) น้ำบำบัดผ่านถังกรองแล้ว ดังภาพ 8



ภาพ 8 แผนภาพของระบบบ่อบาดาลที่ใช้ในการทดสอบ

2) **การเตรียมพื้นที่ทดสอบ**

เริ่มจากเปิดน้ำ Backwash ล้างถังกรองให้สะอาดเป็นเวลา 10 นาที เพื่อล้างตะกอนหน้าทรายออก สำหรับเตรียมถังกรองเพื่อเก็บน้ำตัวอย่าง จากนั้นเริ่มเปิดปั๊มน้ำบาดาล ซึ่งปั๊มเคมีสำหรับฉีดสารจะทำงานพร้อมปั๊มน้ำบาดาล ปั๊มฉีดสารเคมี จะฉีดสารเคมีเข้าท่อน้ำที่มีน้ำดิบสูบจากบ่อบาดาล ในท่อนำสารทดสอบ เพื่อให้สารเคมี เข้าทำปฏิกิริยา Oxidation กับน้ำบาดาล น้ำที่ผ่านการทำปฏิกิริยาแล้วจะถูกส่งเข้าไปในถังกรองตะกอนเหล็ก น้ำตัวอย่างจะถูกเก็บหลังจากผ่านถังกรองแล้ว ทุก 15 นาทีจำนวน 3 ครั้ง หลังจากนั้นปล่อยให้น้ำดิบ ไหลผ่านถังกรอง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่สารทดสอบ ตัวที่ 1 ออก จากระบบ หลังจากนั้นจะใช้สารทดสอบตัวที่ 2 ที่เตรียมไว้ฉีดเข้าท่อบ่อบาดาลเหมือนกันกับการฉีดสารทดสอบตัวที่ 1 และเก็บตัวอย่างน้ำหลังกรองตามขั้นตอนที่ผ่านมา ดำเนินการเช่นนี้ทั้ง 8 จุดทดสอบ

3. การเตรียมสารเคมีเพื่อการทดสอบในพื้นที่

สารโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 99.3 % เป็นเกร็ด มีส่วนผสมคลอไรด์ 0.02% และซัลเฟต 0.05% ผลิตโดย Sino Ocean Enterprises (China) Ltd.

สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นผง ผลิตโดย หจก.โกวิท ปูนขาว สระบุรี เตรียมสารละลายโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งสารโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตและสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับปริมาณของเหล็กที่พบในน้ำบาดาลแต่ละบ่อคูณกับ 10 (เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) แล้วผสมกับน้ำ 4.7 ลิตร คนให้เข้ากัน ฉีดสารเข้าไปในท่อที่ทำปฏิกิริยาออกจากบ่อบาดาลด้วยอัตราการฉีดสาร 4.7 ลิตรต่อชั่วโมง

4.การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างที่เก็บแต่ละชุดทดสอบ 1 ชุดทดสอบประกอบด้วย 2 ชุดตัวอย่าง (น้ำดิบ และน้ำหลังการบำบัด) ทดสอบทุดจุดทดสอบคือ 8 จุด และทุกจุดใช้ สารทดสอบ 2 ประเภท ตัวอย่างน้ำทั้งหมดถูกวิเคราะห์หา (1) ระดับ pH, (2) ค่าความกระด้าง, (3) ปริมาณเหล็กรวม และ (4) ปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีส ด้วยวิธีวิเคราะห์ที่อธิบายไว้ใน 3.2.1(3)

3.3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.3.1.ใช้สถิติเชิงบรรยาย (Descriptive Statistics) เช่น การหาค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าร้อยละ (Percentage)เพื่อใช้อธิบายลักษณะของการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยใช้สารละลายโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตและสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

3.3.2 ใช้สถิติเชิงอ้างอิง (Referentail Statistics) โดยการใช้ *t*-test และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ในการกำจัดสนิมเหล็ก ปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีส ค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าความกระด้าง เพื่อนำค่าทดสอบทางสถิติไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสนิมเหล็กในน้ำบาดาล ของสารละลายโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต กับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ร่วมกับข้อมูลเชิงบรรยาย (ต้นทุนค่าสารเคมี, ผลกระทบคุณภาพน้ำบำบัด) และการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์