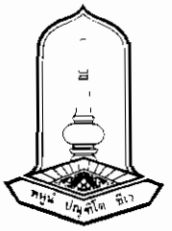
การกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลโดยใช้ทราย เถ้าแกลบดำ และถ่านไม้

อภิวัฒน์ บุญรอง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์
สิงหาคม 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนาย อภิวัฒน์ บุญรอง แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....	ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย)	(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ประชุมพร เลาห์ประเสริฐ)	(ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)
.....	กรรมการ
(ผศ.ดร.มณีรัตน์ องค์วรรณดี)	(กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)
.....	กรรมการ
(ผศ.ดร.สงครามชัย ลีทองดี)	(กรรมการบัณฑิตศึกษาประจำคณะ)
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธีรยุทร อุดมพร)	(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....	.....
(ผศ.ดร.สงครามชัย ลีทองดี)	(ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดทูล)
คณบดีคณะสาธารณสุขศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 8 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2557

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก อาจารย์ ดร.ประชุมพร เลาห์ประเสริฐ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณีรัตน์ องค์วรรณดี กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ความเข้าใจในด้านวิชาการ

ขอขอบคุณ คุณวีระพงษ์ สุวรรณเพ็ญ นักวิทยาศาสตร์ ศูนย์อีพีซี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์การตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ขอขอบคุณ คุณศักดา แสนโคตร ในการเตรียม จัดหาวัสดุสำหรับการทดลอง และช่วยในการเก็บตัวอย่างตลอดการทดลอง คุณนิติพันธ์ แสนสุข นักวิชาการสุขาภิบาล เทศบาลเมืองวารินชำราบ ในการนำส่งตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ และช่วยสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณครอบครัวอันมีคุณพ่อ คุณแม่และสมาชิกในครอบครัว ทุกท่านที่เป็นผู้ให้กำลังใจมาตลอด ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีเพียงใด ขอมอบแด่คุณพ่อคุณแม่ และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ ความสามารถจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

อภิวัฒน์ บุญรอง

ชื่อเรื่อง การกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลโดยใช้ทราย เถ้าแกลบดำ และถ่านไม้
ผู้วิจัย นายอภิวัฒน์ บุญรอง
ปริญญา สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา สาธารณสุขศาสตร์
กรรมการควบคุม อาจารย์ ดร.ประชุมพร เลาห์ประเสริฐ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มณีรัตน์ องค์วรรณดี
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2557

บทคัดย่อ

แหล่งน้ำธรรมชาติของประเทศไทยนอกจากแหล่งน้ำบนผิวดินที่มีการนำมาใช้ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึงต่างๆ ยังมีแหล่งน้ำที่เป็นบ่อบาดาลที่ประชาชนนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ปัญหาที่พบคือน้ำบาดาลเหล่านั้นมีแร่ธาตุเจือปนอยู่ในระดับที่เกินมาตรฐาน เช่น มีคลอไรด์และมีความกระด้าง ทำให้น้ำมีรสฝาด กร่อย เค็มและขุ่น นอกจากนี้ยังพบเหล็กและแมงกานีสในปริมาณที่สูง ซึ่งการปนเปื้อนของแร่ธาตุต่างๆ ที่เกินมาตรฐานอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อ ศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) โดยใช้ทรายแม่น้ำ ทรายบก เถ้าแกลบดำคัดขนาด เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ถ่านไม้ยูคาลิปตัส และถ่านไม้ไผ่ โดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่องด้วยถังกรองแบบคอลัมน์ ซึ่งมีความสูงของชั้นกรองในถัง 60 เซนติเมตร และความเข้มข้นของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) สังเคราะห์ 40 มิลลิกรัม/ลิตร การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุกรองทั้ง 6 ชนิด ขั้นตอนที่ 2 นำวัสดุกรองที่ดีที่สุดของแต่ละประเภท คือ ทราย เถ้าแกลบดำ และถ่านไม้ มาคลุกเคล้าในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน และขั้นตอนที่ 3 นำวัสดุกรองมาศึกษาอายุการใช้งานในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) จากน้ำบาดาลบ่อจริง เก็บตัวอย่างน้ำผ่านคอลัมน์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลืออยู่ในน้ำ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลการศึกษาพบว่า วัสดุกรองทุกชนิดมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณ (Fe^{2+}) ได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยที่ถ่านไม้ยูคาลิปตัสมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ร้อยละ 99.98 รองลงมาคือ ถ่านไม้ไผ่ ร้อยละ 99.76 ทรายแม่น้ำ ร้อยละ 99.31 เถ้าแกลบดำคัดขนาด ร้อยละ 98.86 เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ร้อยละ 98.59 ส่วนทรายบกมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 96.69 เมื่อนำวัสดุกรองมาคลุกรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p-value = 0.001) โดยที่อัตราส่วนของทรายแม่น้ำ 15 ซม. เถ้าแกลบดำคัดขนาด 30 ซม. และถ่านไม้ยูคาลิปตัส 15 ซม. มีประสิทธิภาพมากที่สุด และพบว่าเวลาเฉลี่ยของสารกรองเท่ากับ 147.33 ชั่วโมง

โดยสรุป ถ่านไม้ยูคาลิปตัสมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ได้สูงสุด และเมื่อนำวัสดุกรองซึ่งได้แก่ ทรายแม่น้ำ เถ้าแกลบดำคัดขนาด และถ่านไม้ยูคาลิปตัส มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ได้มากกว่า ร้อยละ 90 ซึ่งเหมาะสำหรับพื้นที่ที่ประสบกับปัญหาการปนเปื้อนของเหล็กในน้ำสำหรับการบริโภค

คำสำคัญ: น้ำบาดาล; การกำจัดเหล็ก; การกรอง

TITLE Iron Removal from Groundwater by Sand, Rice Hull Ash and Charcoal
AUTHOR Mr. Apiwat Boonrong
DEGREE M.P.H. MAJOR Public Health
ADVISORS Prachumporn Lauprasert, Ph.D.
Assist. prof. Maneerat Aongwandee, Ph.D.
UNIVERSITY Mahasarakham University YEAR 2014

ABSTRACT

Surface water sources such as rivers, lake and canal are important natural water resources in Thailand and Thai people generally use water from these sources for their daily life. Artesian water is another important natural water resources that are widely used. Unfortunately, this ground water is contaminated with some minerals, which exceed the standard levels of minerals in water for example chloride leading to harsh quality, brackish or salty taste and turbidity. Additionally, high concentration of iron and manganese are also detected. The high levels of these minerals are possibly harmful to human health.

The aim of this research is to study the effectiveness of reducing iron (Fe^{2+}) levels in ground water using different filters; river sand, pit sand, screened rice hull ash, Eucalyptus wood charcoal and bamboo charcoal. The continuous filer columns were used for experiment and these columns were filled with 60 cm thickness of different filers as mentioned earlier. The concentration of synthesized iron (Fe^{2+}) used in this study was 40 mg/liter. The experiment was divided into 3 phases. The first phase was to compare the effectiveness of 6 different filers in reducing iron levels. The second phase of study, the best filers of each type of materials (sand, ash, rice hull ash and charcoal) were selected then these filters were mixed in different proportions. The final phase, lifetime use of filer materials in iron (Fe^{2+}) removal from natural artesian water was examined and iron (Fe^{2+}) levels in water filtrated through the filer columns were analyzed triplicately.

The results showed that more than 90% of synthesized iron (Fe^{2+}) amounts were effectively removed by all filer materials. The Eucalyptus charcoal filters provided the highest efficiency in removing iron (99.98%) and other filter materials also effectively removed iron; bamboo charcoal (99.76 %), River sand (99.31 %), screened rice hull ash (98.86%), unscreened rice hull ash (98.59 %) whereas pit sand provided the lowest effectiveness of iron (Fe^{2+}) removal (96.69%). The mixture of different filter materials with different proportion had different results in removing iron (Fe^{2+}). The mixture of 15 centimeter of river sand, 30 centimeter of screened rice hull ash and 15

centimeter of Eucalyptus charcoal significantly had the highest efficiency in iron removal (p-value = 0.001) and the average filter time was 147.33 hours.

In conclusion, the Eucalyptus charcoal had the highest efficiency in removing iron (Fe^{2+}). The mixture of river sand, screened rice hull ash and Eucalyptus charcoal also provided high efficiency (90%) in iron (Fe^{2+}) removal. This is suitable for the area where has a problem of iron contamination in water.

Key Words: Groundwater; Iron Removal; Filtration

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพประกอบ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ภูมิหลัง	1
1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล	5
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำบาดาล	5
2.2 ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำบาดาลกับการใช้ประโยชน์ (Groundwater quality and uses)	9
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กในน้ำบาดาล	11
2.4 ปัญหาของเหล็กในน้ำ	15
2.5 วิธีกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล	16
2.6 การกรอง	18
2.7 การใช้น้ำในเขตเทศบาลตำบลโพนทราย	21
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
2.8.1 งานวิจัยในประเทศ	24
2.8.2 งานวิจัยต่างประเทศ	26
2.9 กรอบแนวคิดการวิจัย	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	28
3.2 วิธีการทดลอง	29
3.3 ศึกษาอายุการใช้งานของขุดกรองในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำเมื่อใช้น้ำจากบ่อบาดาลจริง	29
3.4 ระยะเวลาในการวิจัย	35
3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	35

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 36
4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ เมื่อใช้วัสดุกรองที่แตกต่างกัน 36
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ เมื่อนำวัสดุกรองมาผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 38
4.3 การศึกษาระยะเวลาการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำจากบ่อบาดาลจริง เมื่อใช้วัสดุกรองมาผสมรวมกัน 40
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 41
5.1 สรุปผล 41
5.2 อภิปรายผล 43
5.3 ข้อเสนอแนะ 44
เอกสารอ้างอิง 45
ภาคผนวก 49
ภาคผนวก ก ผลการตรวจวิเคราะห์ 50
ภาคผนวก ช วิธีการทำน้ำบาดาลสังเคราะห์และการคำนวณประสิทธิภาพ 52
ภาคผนวก ค วิธีการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ 54
ภาคผนวก ง ชุดทดสอบเหล็กภาคสนาม (Iron Field Test Kit) 56
ประวัติย่อผู้วิจัย 58

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 2.1	มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค	10
ตาราง 2.2	ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำ	24
ตาราง 4.1	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อใช้วัสดุกรองที่แตกต่างกัน	36
ตาราง 4.2	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของทรายแม่น้ำและทรายบก	37
ตาราง 4.3	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของเถ้าแกลบดำคัดขนาดและเถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด	37
ตาราง 4.4	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของถ่านไม้ยูคาลิปตัสและถ่านไม้ไผ่	37
ตาราง 4.5	ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อผสมวัสดุกรองในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	38
ตาราง 4.6	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของวัสดุกรองมาผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	39
ตาราง 4.7	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของวัสดุกรองเมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	39
ดาราง 4.8	ระยะเวลาที่น้ำผ่านระบบจนถึงมีค่าปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	40

สารบัญภาพประกอบ

			หน้า
ภาพประกอบ	2.1	สถานะต่างๆ ของเหล็กที่มีอยู่ในน้ำ	13
ภาพประกอบ	2.2	บ่อบาดาลในครัวเรือนของประชาชนในเขตเทศบาลตำบลโพนทราย	22
ภาพประกอบ	2.3	กรอบแนวคิดการวิจัย	27
ภาพประกอบ	3.1	การบรรจุวัสดุกรองในคอลัมน์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ	30
ภาพประกอบ	3.2	การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำสังเคราะห์แบบต่อเนื่องของวัสดุกรองแต่ละชนิด	31
ภาพประกอบ	3.3	การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำสังเคราะห์ เมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	32
ภาพประกอบ	3.4	การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อนำวัสดุกรองผสมคลุกรวมกัน	33
ภาพประกอบ	3.5	การศึกษาระยะเวลาในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อนำวัสดุกรองผสมคลุกรวมกัน	34
ภาพประกอบ	3.6	การศึกษาประสิทธิภาพของกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อใช้น้ำจากบ่อบาดาลจริง	35

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ น้ำถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค แต่การที่มีน้ำที่สะอาดเหมาะสมเพียงพอที่จะนำมาใช้ ยังเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศ โดยเฉพาะในขนบทมักประสบกับปัญหาฝนแล้ง แม่น้ำ ลำคลองแห้งขอด หรือปัญหาคุณภาพน้ำผิวดินซึ่งปัจจุบันพบว่าอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมกว่าร้อยละ 30 (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) รวมถึงยังไม่มีการจัดการในเรื่องน้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคที่เหมาะสมและเพียงพอ โดย เฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ทำให้เกิดผลกระทบหลายด้าน ทั้งในด้านการขาดแคลนน้ำในการอุปโภคบริโภค หรือการเกษตรและอุตสาหกรรม

แหล่งน้ำธรรมชาติของประเทศไทยนอกจากแหล่งน้ำบนผิวดินที่มีการนำมาใช้ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึงต่างๆ ยังมีแหล่งน้ำที่เป็นบ่อบาดาลซึ่งเป็นแหล่งน้ำสะอาดที่ประชาชนนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย จากการดำเนินงานของหน่วยงานที่มีภารกิจด้านน้ำบาดาล ได้แก่ กรมทรัพยากรธรณี กรมโยธาธิการ กรมอนามัย และสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท ได้มีการดำเนินการเจาะน้ำบาดาลไว้ทั่วประเทศกว่า 232,868 บ่อ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2552) น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำที่มีความสำคัญ เพราะสามารถนำน้ำขึ้นมาใช้ได้ตลอดทั้งปี โดยปกติแล้วคุณภาพของน้ำจะอยู่ในเกณฑ์ดี เช่น มีความใส ปราศจากตะกอนความขุ่น ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากถูกกรองด้วยชั้นของดิน แต่มักจะมีแร่ธาตุและสารเคมีปะปนอยู่ในน้ำด้วย แตกต่างกันไปตามพื้นที่ต่างๆ แร่ธาตุและสารเคมีเหล่านี้จะผลต่อคุณภาพและการใช้ประโยชน์ของน้ำ ทำให้บางพื้นที่ถึงแม้จะพบว่ามีปริมาณน้ำบาดาลมาก แต่เมื่อตรวจสอบคุณภาพแล้วพบว่าไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ หรือบางพื้นที่เหมาะสมสำหรับการอุปโภคเท่านั้น ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคตามมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2552) ซึ่งการจะนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของน้ำก่อนเพื่อความปลอดภัยในการใช้ แต่ในความเป็นจริงแล้วพบว่าส่วนใหญ่จะไม่มีการตรวจสอบคุณภาพ ทำให้มีโอกาสได้รับอันตรายจากการใช้น้ำ

ในการขุดเจาะน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ ปัญหาที่พบคือน้ำบาดาลเหล่านั้นมีแร่ธาตุเจือปนอยู่ในระดับที่เกินมาตรฐาน เช่น มีคลอไรด์และมีความกระด้าง ทำให้น้ำมีรสฝาด กร่อย เค็มและขุ่น นอกจากนี้ยังพบเหล็กและแมงกานีสในปริมาณที่สูงในหลายพื้นที่ของประเทศไทย (สุมงคล กัลยาณี, 2545) แต่จากปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในครัวเรือน โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงต้องมีการเจาะน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เป็นจำนวนมาก จากข้อมูลพื้นฐานระดับหมู่บ้านพบว่า จำนวนบ่อบาดาลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ แต่มีอัตราการเพิ่มที่ลดลง โดยถึงปี พ.ศ. 2550 จังหวัดในพื้นที่รับผิดชอบของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 12 ซึ่งประกอบไปด้วยจังหวัดอุบลราชธานี อำนาจเจริญ มุกดาหาร ยโสธร และร้อยเอ็ด มีจำนวนบ่อบาดาลกว่า 22,297 บ่อ โดยจังหวัดร้อยเอ็ดมีจำนวนบ่อมากที่สุด จำนวน 7,100 บ่อ (รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2550)

ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในการบริโภคได้มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับเหล็กในน้ำไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร อนุโลมได้สูงสุดที่ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2552) การที่มีเหล็กที่ละลายปนอยู่ในน้ำในปริมาณที่เกินมาตรฐาน จะส่งผลกระทบต่อการอุปโภคและบริโภค น้ำที่มีเหล็กมากทำให้จำนวนแบคทีเรียเหล็ก (Iron Bacteria) ซึ่งมีลักษณะเป็นวุ้นเละๆ สีแดงเข้ม ไปอุดตันตามท่อกรองของบ่อบาดาล ทำให้อุดตันในระบบจ่ายน้ำ ลดประสิทธิภาพการจ่ายน้ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2542) และน้ำที่มีเหล็กมากจะมีสีเหลืองหรือสีแดง และมีกลิ่นเหม็นที่น่ารังเกียจต่อการใช้สำหรับดื่ม ถ้านำไปใช้ในการซักล้างเหล็กก็จะไปจับตามภาชนะหรือผ้าที่ซัก ทำให้มีสีเหลืองหรือสีแดง โดยเฉพาะเมื่อไปจับตามสุขภัณฑ์ในห้องน้ำทำให้เกิดคราบสีเหลืองหรือสีแดงไม่น่าดู ด้านผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย โดยปกติเหล็กไม่จัดว่าเป็นสารพิษในร่างกายแต่ถ้าร่างกายได้รับเหล็กมากจนเกินไป จะทำให้เกิดสภาพที่เรียกว่า Haemochoromatosis การสะสมของเหล็กทำให้เกิดการทำลายของเนื้อเยื่อ (Tissue Damage) การสะสมธาตุเหล็กในตับ ม้าม ก่อให้เกิดอาการของโรคตับแข็ง และระบบการสร้างเม็ดเลือดในรูป Haemosiderin และการตกตะกอนธาตุเหล็กในร่างกาย (Siderosis) นอกจากนี้อาจเกิดอาการของโรคลักปิดลักเปิด (กาญจนารัตน์ ช่อรักษ์, 2548) และยังส่งผลกระทบอื่นๆ เช่น การทำให้หม้อน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมเกิดตะกรัน หรือทำให้เนื้อผ้าและหนังเป็นจุดในโรงงานทอผ้า (สุมงคล กัลยาณี, 2545) เป็นต้น

อำเภอโพนทราย จังหวัดร้อยเอ็ด เป็นพื้นที่ที่ประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำสะอาดสำหรับใช้ในการอุปโภคบริโภค เช่น เทศบาลตำบลโพนทราย เนื่องจากระบบประปาที่ไม่ครอบคลุม และจากรายงานการจัดส่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคเทศบาลตำบลโพนทราย (2555) พบว่าแหล่งน้ำที่จะนำมาผลิตน้ำประปาไม่เพียงพอ มีการแก้ปัญหาด้วยการใช้รถบรรทุกน้ำจัดส่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ที่มาจากการสูบบ่อบาดาลสาธารณะแจกจ่ายให้กับประชาชนใช้ตลอดทั้ง แต่ยังประสบกับปัญหาความไม่เพียงพอต่อความต้องการ ประชาชนส่วนใหญ่จึงต้องมีการขุดเจาะน้ำบาดาลขึ้นมาใช้แทน นอกจากนี้ข้อมูลของ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ที่ได้ทำการสำรวจบ่อบาดาลในเขตตำบลโพนทราย ยางคำ และศรีสว่าง จำนวน 24 บ่อ พบว่ามีเหล็กปนเปื้อนเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด 1 มิลลิกรัมต่อลิตร) กว่าร้อยละ 83.33 (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)

การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลมีได้หลายวิธี เช่น วิธีออกซิเดชั่นและการกรอง การกำจัดพร้อมกับการกำจัดความกระด้างคาร์บอเนต ได้แก่ การใช้คลอรีน การใช้ด่างทับทิม การเติมอากาศตามด้วยการเติมด้วยปูนขาว และการกำจัดด้วยสารพิเศษ ได้แก่ การกำจัดเหล็กด้วยสารแลกเปลี่ยนไอออน (Iron Exchange Resin) การกำจัดด้วยทรายเขียว (Green Sand) การใช้แอคติเวตเต็ดคาร์บอน (Activated Carbon) การควบคุมเหล็กด้วยสารคีแลนท์ (Chelant) แต่วิธีที่ง่ายและเหมาะสมกับสภาพท้องถิ่นมักใช้วิธีการกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลด้วยการกรอง (ผ่องพรรณ สุ่มมาตย์, 2547) ได้มีผู้ทำการวิจัยเพื่อหาวัสดุในการกรองเหล็กออกจากน้ำบาดาลโดยเฉพาะวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่น เช่น ธนากร อุทัยดา (2552) ใช้ขี้เลื่อยไม้จามจุรี กะลามะพร้าว และซังข้าวโพด ในการดูดซับเหล็ก จักรกฤษณ์ ภัทรวรานนท์ (2553) ใช้ถ่านกระดูกสุกรและถ่านกระดูกโคซึ่งพบว่าสามารถกำจัดเหล็กในน้ำได้ดี หรือผ่องพรรณ สุ่มมาตย์ (2547) ใช้ทรายไม่คัดขนาดและขี้เถ้าแกลบกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาล ซึ่งพบว่าสามารถใช้ได้ดี ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงมีความสนใจที่จะใช้วัสดุในท้องถิ่นในเขตอำเภอโพนทราย จังหวัดร้อยเอ็ด มาทำการทดลองเพื่อมากำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ออกจากน้ำบาดาล โดยการนำทราย ขี้เถ้าแกลบดำ และถ่านไม้ ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาถูก มา

ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกรองเพื่อกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ออกจากน้ำบาดาล โดยใช้กระบวนการกรองไหลลงแบบต่อเนื่องผ่านวัสดุกรอง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในครัวเรือนได้

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

1.2.1 ความมุ่งหมายของการวิจัยทั่วไป

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำโดยใช้ทราย เถ้าแกลบดำและถ่านไม้

1.2.2 ความมุ่งหมายของการวิจัยเฉพาะ

1.2.2.1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทรายบก ทรายแม่น้ำ เถ้าแกลบดำคัดขนาด เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ถ่านไม้ยูคาลิปตัส และถ่านไม้ไผ่ ในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ

1.2.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ เมื่อนำวัสดุกรองมาคลุกรวมกัน ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

1.2.2.3 ศึกษาอายุการใช้งานของชุดตัวกรองในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ออกจากน้ำบาดาลบ่อจริง

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) แตกต่างกันเมื่อใช้วัสดุกรองแตกต่างกัน

1.3.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) แตกต่างกันเมื่อนำวัสดุกรองมาคลุกรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 วัสดุที่ใช้คือ ทรายบก ทรายแม่น้ำ เถ้าแกลบดำคัดขนาด เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ถ่านไม้ไผ่ และถ่านยูคาลิปตัส

1.4.2 กระบวนการไหลของน้ำในการทดลองใช้แบบไหลลงอย่างต่อเนื่อง (Downflow Filter)

1.4.3 ในการทดลองนี้ไม่มีการล้างย้อน และใช้วัสดุกรองใหม่ทุกครั้ง เก็บตัวอย่างน้ำหลังจากผ่านระบบทุก 1 ชั่วโมง

1.4.4 วิธีการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กทำโดยวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำที่เหลือจากการกรองด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) และ ชุดทดสอบเหล็ก (Fe^{2+}) ภาคสนาม (iron Field Test Kit)

1.4.5 น้ำที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำปนเปื้อนเหล็ก (Fe^{2+}) สังเคราะห์ที่ได้จากเกลือเฟอร์รัสซัลเฟต ที่มีความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำปนเปื้อนเหล็ก (Fe^{2+}) จากบ่อน้ำบาดาลจริง ในเขตพื้นที่เทศบาลตำบลโพนทราย โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling)

1.4.6 ตัวแปรที่ศึกษา

1.4.6.1 ตัวแปรอิสระ

1) ชนิดของวัสดุกรอง ได้แก่ ทรายบก, ทรายแม่น้ำ, เถ้าแกลบดำคัดขนาด, เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด, ถ่านไม้ไผ่ และถ่านไม้ยูคาลิปตัส

2) อัตราส่วนของวัสดุกรองที่คลุกรวมกัน 4 อัตราส่วน

3) ระยะเวลาที่น้ำปนเปื้อนผ่านชุดกรอง

1.4.6.2 ตัวแปรตาม

1) ประสิทธิภาพของวัสดุกรอง

2) ประสิทธิภาพของอัตราส่วนของวัสดุกรอง

3) ระยะเวลาการใช้งานของชุดกรอง

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 น้ำบาดาลระดับตื้น หมายถึง น้ำที่อยู่ในชั้นกรวดทราย หรือรอยแตกในชั้นหิน ที่มีความลึกไม่เกิน 30 เมตร ในที่นี้คือน้ำบาดาลที่นำมาจากบ่อบาดาลในเขตเทศบาลตำบลโพนทราย อำเภอโพนทราย จังหวัดร้อยเอ็ด

1.5.2 น้ำบาดาล ในที่นี้หมายถึง น้ำบาดาลในเขตตำบลโพนทราย อำเภอโพนทราย จังหวัดร้อยเอ็ด

1.5.3 ทราย หมายถึง ทรายบกที่พบอยู่ในพื้นที่ตำบลโพนทราย อำเภอโพนทราย จังหวัดร้อยเอ็ด และทรายจากแม่น้ำเสียว ในเขตอำเภอโพนทรายจังหวัดร้อยเอ็ด ใช้ในการก่อสร้างต่าง ๆ โดยทั่วไปเรียกทรายก่อสร้าง

1.5.4 ถ่านไม้ หมายถึง ผลผลิตที่ได้จากการนำไม้มาเผาในอากาศที่จำกัด เพื่อไล่ความชื้นและส่วนประกอบบางอย่างออก ถ่านเป็นของแข็งที่ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ในที่นี้หมายถึง ถ่านไม้ไผ่ และถ่านไม้ยูคาลิปตัส

1.5.5 เถ้าแกลบดำ หมายถึง แกลบที่เหลือทิ้งจากการสีข้าวของโรงสี และนำมาเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตไฟฟ้าในอำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

การวิจัยเรื่อง การกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลโดยใช้ทราย เถ้าแกลบดำ และถ่านไม้ ได้รวบรวมเนื้อหาที่เกี่ยวข้องและสาระสำคัญ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำบาดาล

2.2 ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำบาดาลกับการใช้ประโยชน์ (Groundwater quality and uses)

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กในน้ำบาดาล

2.4 ปัญหาของเหล็กในน้ำ

2.5 วิธีกำจัดเหล็กในน้ำ

2.6 การกรอง

2.7 การใช้น้ำในเขตเทศบาลตำบลโพนทราย

2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9 กรอบแนวคิดการวิจัย

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำบาดาล

2.1.1 ความหมายของน้ำบาดาล

น้ำบาดาล หมายถึง ส่วนของน้ำใต้ผิวดินที่อยู่ในเขตอิ่มน้ำ รวมถึงธารน้ำใต้ดิน โดยทั่วไปหมายถึง น้ำใต้ผิวดินทั้งหมด ยกเว้นน้ำภายในโลก ซึ่งเป็นน้ำอยู่ใต้ระดับเขตอิ่มน้ำ (พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา, 2530)

น้ำบาดาล ตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 กำหนดไว้ว่า น้ำบาดาล หมายความว่า น้ำใต้ดินที่เกิดอยู่ในชั้นดิน กรวด ทราย หรือหิน ที่อยู่ลึกจากผิวดินเกินความลึกที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่จะกำหนดความลึก น้อยกว่า 10 เมตร มิได้

พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2544 ได้กำหนดความหมายของคำว่า " น้ำบาดาล" ได้สองนัย ดังนี้

1. น้ำที่เกิดอยู่ใต้ดินในช่องว่างที่ต่อเนื่องกันในเขตอิ่มน้ำ (Zone of saturation) รวมถึง ธารน้ำใต้ดิน (Underground stream) ด้วย

2. น้ำที่มีสภาพเป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊สในธรณีภาค น้ำดังกล่าว รวมถึงน้ำทั้งหมด ใต้ผิวแผ่นดิน ยกเว้นน้ำภายในโลก (internal Water) ซึ่งเป็นน้ำที่อยู่ใต้ระดับเขตอิ่มน้ำ

2.1.2 การกำเนิดของน้ำบาดาล

แหล่งน้ำธรรมชาติ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ น้ำในบรรยากาศ (Meteoric atmospheric water) น้ำผิวดิน (Surface water) และน้ำใต้ดิน (Subsurface water) ความสัมพันธ์ของน้ำ เรียกว่า วัฏจักรของน้ำ (Hydrologic cycle) ซึ่งหมายถึง ความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันตามธรรมชาติของน้ำ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของของเหลว ไอน้ำ หรือของแข็ง ไม่ว่าจะอยู่ใต้ผิวดิน บนดิน หรือเหนือผิวดิน

ขึ้นไป วัฏจักรของน้ำเริ่มต้นจากน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอจากทะเล มหาสมุทร แม่น้ำ ลำธารเข้าสู่บรรยากาศ เมื่อกระทบกับความเย็นเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำและตกลงสู่ผิวโลก ส่วนหนึ่งจะถูกดูดเอาไปใช้โดยต้นไม้ พืชพันธุ์ต่างๆ บางส่วนก็จะไหลตามผิวหน้าดินลงสู่ แม่น้ำ ลำธาร หรือมหาสมุทร บางส่วนซึมลงไปในดินและหิน กักเก็บเป็นน้ำบาดาล

ในการหมุนเวียนตามวัฏจักรน้ำ จะพบความสัมพันธ์ของปริมาณ น้ำไหลเข้า (Inflow) และน้ำไหลออก (Outflow) ในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง สำหรับช่วงเวลาหนึ่งๆ ซึ่งอาจเขียนความสัมพันธ์นี้ออกมาในรูปสมการที่เรียกว่า สมการรวมดุลของน้ำ (Water balance equation) หรือสมการวัฏจักรของน้ำ (Hydrologic equation) ดังนี้

ปริมาณน้ำไหลเข้า = ปริมาณน้ำไหลออก ± การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกักเก็บ

2.1.3 ประเภทของน้ำบาดาล

น้ำบาดาลแบ่งออกตามลักษณะการไหลและการวางตัวของชั้นน้ำ เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1.3.1 ประเภทที่ไหลเพราะแรงโน้มถ่วงของโลก น้ำบาดาลประเภทนี้อยู่ในชั้นอิ่มน้ำ (Zone of saturation) ซึ่งมีระดับน้ำเรียกว่าระดับน้ำบาดาล (Water table) และเรียกชั้นน้ำว่าชั้นน้ำปกติ หรือชั้นน้ำไร้แรงดัน (Unconfined aquifer) มีการต่อเนื่องกับชั้นน้ำสัมผัสอากาศ (Zone of aeration) การไหลของน้ำประเภทนี้ เนื่องมาจากแรงถ่วงโลกอย่างเดียว มีทิศทางการไหลไปในแนวเดียวกับความลาดชันของระดับน้ำบาดาล ความลึกระดับน้ำบาดาล วัดได้โดยตรงจากระดับน้ำในบ่อที่เจาะหรือขุดลงไปถึงชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำ

2.1.3.2 ประเภทที่ไหลเพราะอิทธิพลจากความดัน ได้แก่ น้ำที่มีชั้นน้ำซึ่งมีหินเนื้อแน่นหรือหินกั้นน้ำ (confining bed) กดทับอยู่ข้างบนและรองรับอยู่ด้านล่าง น้ำชนิดนี้จะอยู่ภายใต้ความกดดันเนื่องจากน้ำหนักของหินที่กดทับ และน้ำหนักของน้ำในชั้นหินเดียวกัน เรียกชั้นน้ำว่าชั้นน้ำภายใต้แรงดัน (Confined aquifer) ถ้าบ่อที่แรงดันน้ำมีค่าสูงกว่าระดับผิวดิน จะให้น้ำพุบาดาล ถ้าบ่อที่แรงดันน้ำมีค่าน้อยกว่าระดับผิวดิน จะทำให้น้ำที่เรียกว่า น้ำบาดาลมีแรงดัน (Artesian water)

2.1.4 คุณภาพของน้ำบาดาล (Groundwater Quality)

ในการพัฒนาน้ำบาดาลขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์นั้น คุณภาพของน้ำมีความสำคัญเท่ากับปริมาณของน้ำ คุณลักษณะทางเคมี และคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำบาดาล จะเป็นตัวสำคัญที่จะบอกให้ทราบว่า น้ำนั้นมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการอุปโภค บริโภค อุตสาหกรรม และเกษตรกรรมเพียงใด นอกจากนี้แล้ว การศึกษาถึงคุณภาพของน้ำบาดาล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เกลือแร่ต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาล จะช่วยบอกให้ทราบถึงประวัติของการเกิด การเคลื่อนที่ของน้ำบาดาลได้

โดยทั่วไปน้ำบาดาลจะมีเกลือแร่ละลายอยู่เสมอ ปริมาณเกลือแร่อาจมีตั้งแต่ 25 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำพุธรรมชาติไปจนถึง 300,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเค็ม (Brine) ชนิดของเกลือแร่และปริมาณของเกลือแร่จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม การเคลื่อนที่และต้นกำเนิดของน้ำบาดาลเอง ปกติปริมาณของเกลือแร่ที่พบในน้ำบาดาลจะมีมากกว่าน้ำผิวดินในแม่น้ำลำธาร เพราะน้ำบาดาลมีโอกาสที่จะสัมผัสกับแร่ธาตุต่างๆ ในหินที่น้ำบาดาลกักเก็บอยู่ เกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาลจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแร่ที่เป็นส่วนประกอบของชั้นหินอุ้มน้ำว่าเป็นแร่ที่ละลายน้ำได้ยากหรือง่ายแค่ไหน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่น้ำบาดาลมีโอกาสกักเก็บ หรือสัมผัสกับเกลือแร่เหล่านี้ว่านานมากน้อยแค่ไหน ซึ่งจะทำให้น้ำบาดาลที่มีการเคลื่อนที่น้อย อยู่กับที่หรือไหลช้า มักเป็นน้ำที่มีปริมาณเกลือแร่สูง ดังนั้นปริมาณเกลือแร่ของน้ำบาดาลจึงเพิ่มมากขึ้นไปกับความลึก ปกติน้ำบาดาลที่อยู่ใกล้กับผิว

ดินหรืออยู่ในระดับตื้น มักมีปริมาณของไบคาร์บอเนตสูง .เนื่องมาจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้มาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดิน เมื่อลึกลงไปจากผิวดิน น้ำบาดาลจะมีปริมาณเกลือแร่มากขึ้น โดยเฉพาะปริมาณของคลอไรด์ ซึ่งเพิ่มสูงมากขึ้นตามความลึก

2.1.5 คุณสมบัติของน้ำบาดาล

ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์ (2546) ได้อธิบายรายละเอียดคุณสมบัติของน้ำบาดาลไว้ดังนี้

2.1.5.1 คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของน้ำบาดาล ได้แก่

1) อุณหภูมิ (Temperature) มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาเคมีในน้ำบาดาลอุณหภูมิของน้ำบาดาลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในประเทศไทย น้ำในเวลากลางวันมักมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศ แต่มีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศในเวลากลางคืน

2) การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) น้ำบาดาลเป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ยิ่งน้ำมีสารผสมอยู่มาก น้ำจะยิ่งนำไฟฟ้าได้มาก การนำไฟฟ้าจึงแปรผันตรงกับความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

3) สี (Color) เกิดจากสีของเกลือแร่ต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาลหรือสารแขวนลอยในน้ำ

4) กลิ่นและรส (Order, Teste) มาจากสารอินทรีย์ในน้ำ เช่นฟีนอลและแก๊สไข่เน่า

5) ความขุ่น (Turbidity) เกิดจากสารแขวนลอย น้ำบาดาลส่วนใหญ่จะใส

6) ความหนาแน่น (Density) น้ำที่ดีควรมีความหนาแน่นเท่ากับ 1g/cm^3 ส่วนใหญ่ถ้าน้ำคุณภาพไม่ดี เช่น น้ำเค็ม ค่าความหนาแน่นจะมากกว่า 1g/cm^3 แสดงว่าในน้ำมีสิ่งเจือปนมาก

2.1.5.2 คุณสมบัติทางเคมี ส่วนประกอบของน้ำบาดาลในกรณีน้ำจืด น้ำบาดาลจะมีส่วนประกอบทางเคมีต่ำต่างกับน้ำบาดาลเค็ม ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีสูง เนื่องจากน้ำบาดาลไหลผ่านตัวกลางที่มีรูพรุน ได้แก่ ขั้นหินอุ้มน้ำ มีตั้งแต่หินร่วนไปจนถึงหินแข็งมากมายหลายขนิด จึงทำให้น้ำบาดาลมีโอกาสที่จะละลายเกลือแร่ธาตุต่างๆ ให้มาอยู่ในรูปสารละลาย ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีของน้ำบาดาลที่สำคัญประกอบด้วย โซเดียม แคลเซียม คาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต ซัลเฟต แมกนีเซียม โพแทสเซียม ไนเตรตและคลอไรด์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโลหะหนักบางขนิด เช่น เหล็ก แมงกานีส อาร์เซนิก แบเรียม แคดเมียม ทองแดง ตะกั่วและสังกะสี เป็นต้น

1) ความเป็นกรด-เบส (pH) มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีในน้ำบาดาล น้ำบาดาลที่มี pH น้อยกว่า 7 จะทำให้บ่อผุกร่อนได้ง่าย

2) โซเดียม (Na^+) น้ำบาดาลส่วนใหญ่จะมีโซเดียมอยู่ระหว่าง 1-20 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้มาจากแร่แพกจิโอเคลส เฮไลต์ และแร่ดินเหนียวบางชนิด ทำให้เป็นโรคหัวใจ ไต และลำไส้ อีกทั้งโรคความดันโลหิตสูงกำเริบ จัดเป็นไอออนหลักอย่างหนึ่ง

3) โพแทสเซียม (K^+) พบโพแทสเซียมน้อยมาก แม้ว่าการตรวจวิเคราะห์พบโพแทสเซียมไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่นักวิชาการส่วนใหญ่ยังจัดเป็นไอออนหลัก ได้มาจากแร่ซิลไวต์ ออร์โทเคลส ไมโครไคลน์ และไบโอไทต์

4) แคลเซียม (Ca^{2+}) น้ำบาดาลส่วนใหญ่จะมีแคลเซียมระหว่าง 10-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้มาจากแร่แคลไวด์ อาราโกไนต์ โดโลไมต์ แอนไฮไดรต์ ยิปซัม อะพาไทต์ เฟลด์สปาร์ แอมพิโบล และไพรอกซีน ยังไม่พบโทษต่อร่างกาย จัดเป็นไอออนหลักอย่างหนึ่ง

5) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) มักพบน้อยกว่าแคลเซียม น้ำบาดาลส่วนใหญ่มีแมกนีเซียมระหว่าง 1-40 มิลลิลิตรต่อลิตร ได้มาจากแร่โดโลไมต์ ไบโอไทต์ ฮอร์นเบลนด์ ออไรต์ เซอร์เพนทีน ทัลก์ และไดออปไซด์ จัดเป็นไอออนหลักอย่างหนึ่ง

6) ความกระด้าง (Hardness) ความกระด้างในน้ำบาดาลเกิดจากไอออนที่มีประจุบวก 2 ได้แก่ Ca^{2+} , Mg^{2+} รองลงมาคือ Fe^{2+} , Mn^{2+}, Sr^{2+} และไอออนลบที่สำคัญคือ HCO_3^- รองลงมาได้แก่ $SO4_2^-$ และ NO_3^- ความกระด้างมี 2 ประเภทคือ ความกระด้างชั่วคราว และความกระด้างถาวร

7) สภาพด่าง (Alkalinity) เป็นการบอกปริมาณคาร์บอเนต ($CO^2{}_3$) และไบคาร์บอเนต ($HCO^-{}_3$) ที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาล โดยพบคาร์บอเนตเมื่อน้ำบาดาลมี pH มากกว่า 8.2 ดังนั้น น้ำบาดาลในธรรมชาติส่วนใหญ่ที่มี pH ระหว่าง 6-8 จะพบว่าไบคาร์บอเนตเป็นไอออนหลักสภาพด่างส่วนใหญ่จึงเป็นไบคาร์บอเนต

8) คลอไรด์ (Cl) น้ำบาดาลส่วนใหญ่มีคลอไรด์น้อยกว่า 50 มิลลิลิตรต่อลิตร ได้มาจากไอเกลือของทะเล และจากแร่เฮไลต์ มีเสถียรภาพสูง ถูกดูดซับด้วยดินเหนียวได้ยาก ใช้เป็นตัวชี้วัดการเคลื่อนที่ของมวลสารออกจากกองขยะและจุดที่เกิดการปนเปื้อนของตัวทำละลายที่มีคลอไรด์จัดเป็นไอออนหลักอย่างหนึ่ง

9) ซัลเฟต ($SO^{2-}{}_4$) ทำให้น้ำบาดาลมีรสชม ได้มาจากแร่ยิปซัม แอนไฮไดรต์ มาร์คาไซด์ และไพไรต์ จุลินทรีย์ในน้ำบาดาลสามารถนำซัลเฟตไปใช้และทำให้เกิดก๊าซไข่เน่า (H_2S) ที่มีกลิ่นเหม็น จัดเป็นไอออนหลักอย่างหนึ่ง

10) ไนเตรต ($NO^-{}_3$) ได้มาจากสารอินทรีย์ที่ผุพัง เมื่อน้ำฝนซึมผ่านผิวดินลงไปสู่ชั้นน้ำ น้ำบาดาลส่วนใหญ่มีไนเตรตระหว่าง 0.1-10 มิลลิลิตรต่อลิตร เด็กเล็กที่บริโภคไนเตรตมากเกินไปจะเกิดโรค Blue baby คือผิวหนังจะคล้ำเป็นจ้ำสีม่วงคล้ำ ใช้เป็นตัวชี้วัดการปนเปื้อนของปุ๋ยอย่างหนึ่ง

11) ฟลูออไรด์ (F^-) พบไม่เกิน 1 มิลลิลิตรต่อลิตร ได้มาจากแร่ฟลูออไรด์ พิษที่เกิดขึ้นคือโรคฟันผุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็ก แต่ถ้าไม่เกิน 0.7 มิลลิลิตรต่อลิตร จะช่วยป้องกันฟันผุได้

12) เหล็ก (Fe^{+2}) น้ำบาดาลที่มีเหล็กมาก เมื่อเวลาผ่านไปเหล็กที่ละลายในน้ำบาดาลคือเหล็ก เฟอร์รัส (Fe^{+2}) จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับก๊าซออกซิเจนในอากาศ เหล็กเฟอร์รัสจะกลายเป็นออกซิไฮดรอกไซด์ (Fe-oxyhydroxides) เหล็กนี้คือเหล็กเฟอริก (Fe III) โดยเริ่มเป็นฝ้าลอยบนผิวน้ำและต่อมาจะตกตะกอนลงกลายเป็นสนิมเหล็กสีแดง สีนี้จะติดอยู่ตามเสื้อผ้าและเครื่องสุขภัณฑ์ ทรายกรอง และภายในเครื่องสูบน้ำ สนิมเหล็กในบางแห่งเกิดจากการพอกหนาจนกระทั่งอุดตันในที่สุด ในน้ำบาดาลมีส่วนหนึ่งเป็นคอลลอยด์ของเหล็กเฟอริก เหล็กมาจากแร่ไพรอกซิน แอมฟิโบล แมกนีไทต์ ไบโอไทต์ และการ์เนต

13) แมงกานีส (Mn^{2+}) น้ำบาดาลในธรรมชาติมีแมงกานีสน้อยกว่า 1 มิลลิลิตรต่อลิตร แมงกานีสจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นคล้ายคลึงกับเหล็ก แต่จะตกตะกอนช้ากว่ามาก เกิดเป็นสนิมสีดำในเครื่องสุขภัณฑ์ เนื่องจากแมงกานีสเป็นโลหะหนัก จึงเป็นอันตรายมากกว่าเหล็ก

14) ซิลิกา (SiO_2) น้ำบาดาลส่วนใหญ่ที่พบในชั้นกรวดทรายมีความเข้มข้นของซิลิกามาก ระหว่าง 5-40 มิลลิลิตรต่อลิตร แต่ไม่จัดเป็นไอออนหลัก เพราะซิลิกาไม่มีประจุจึงไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ซิลิกาได้มาจากแร่กลุ่มซิลิเกต โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ควอตซ์ ซึ่งเป็นแร่ที่มีมากที่สุดในเปลือกโลก แร่ควอตซ์ละลายน้ำได้น้อยมาก ซิลิกาเป็นเหตุของการเกิดตะกรันในหม้อต้มน้ำ

15) โลหะหนักอื่นๆ น้ำบาดาลที่มีอยู่ในธรรมชาติพบโลหะหนักน้อยมาก การตรวจวิเคราะห์โลหะหนักจึงต้องมีเหตุจูงใจให้ดำเนินการ เช่น มีพื้นที่เสี่ยงมลพิษและการเกิดโรค

2.1.5.3 คุณสมบัติทางชีวภาพ น้ำบาดาลในธรรมชาติจะปลอดจากแบคทีเรีย และเชื้อ microorganism เมื่อมีการพัฒนาแอ่งน้ำบาดาล การเจาะ การสร้างบ่อ การพัฒนาบ่อ การสูบน้ำจากบ่อ สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ทำให้สิ่งปนเปื้อนต่างๆ มีโอกาสติดเข้าไปในชั้นน้ำบาดาล ยิ่งเมื่อใช้บ่อน้ำบาดาลไปนานๆ การรั่วซึมของบ่อจากบริเวณข้างๆ ก็จะมีส่วนทำให้สิ่งปนเปื้อนและจุลินทรีย์ไหลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล การวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลเกี่ยวกับจุลินทรีย์ ส่วนใหญ่จะทำเพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนจากน้ำผิวดินและแหล่งน้ำบาดาลข้างเคียง ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บน้ำเสียที่อัดลงสู่ชั้นน้ำ โดย injection well สิ่งที่จะต้องวิเคราะห์ได้แก่ coliform group ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่พบในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ ถ้ามีก็แสดงว่าชั้นน้ำบาดาลนั้นมีการปนเปื้อนจากข้างบน ปริมาณ coliform นี้จะวัดออกมาเป็น most probable number (MPN) ต่อหน่วยปริมาตรของน้ำ นอกจาก coliform group แล้ว ในน้ำบาดาลยังมีโอกาสปนเปื้อนจากจุลินทรีย์อื่นๆ อีก เช่น pathogenic microoganism และ enteric viruses

ดังนั้นก่อนที่จะนำน้ำบาดาลไปใช้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบว่า คุณภาพน้ำบาดาลนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งปัญหาคุณภาพน้ำบาดาลส่วนใหญ่เกิดจากการมีปริมาณเหล็ก คลอไรด์ ซัลเฟต ฟลูออไรด์ และไนเทรต ความกระด้างทั้งหมด และปริมาณสารละลายได้สูงเกินกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ก่อนที่จะนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น บริโภค การเกษตร และอุตสาหกรรม

2.2 ความสัมพันธ์ของคุณภาพของน้ำบาดาลกับการใช้ประโยชน์ (Groundwater quality and uses)

ในการพิจารณานำน้ำบาดาลไปใช้เพื่อกิจการต่างๆ คุณภาพของน้ำจะมีความสำคัญอย่างยิ่งซึ่งสามารถแยกพิจารณาเป็น 3 กรณี กล่าวคือ ใช้เพื่อเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และ บริโภค

2.2.1 ใช้เพื่อเกษตรกรรม (Agricultural uses)

โดยพิจารณาจากปริมาณของ Na เป็นสำคัญ ทั้งนี้ เพราะ Na จะมีผลต่อคุณสมบัติในการระบายน้ำของดิน กล่าวคือ ในดินซึ่งมีแร่ดินเหนียวอยู่เป็นจำนวนมาก พวกแร่ดินเหนียวนี้สามารถดึงเอาอิออนบวกบางตัวให้อยู่ติดกับมันได้ (Absorption by electrical charge) และสามารถแลกเปลี่ยนกับอิออนบวกบางตัวที่ละลายมากับน้ำได้ ซึ่งเรียกว่า Base (cation) exchange เช่น Na, Caและ Mg ดังนั้น ถ้าบริเวณที่มีการใช้น้ำที่มีปริมาณ Na ละลายอยู่สูงเพื่อการเกษตรกรรมแล้ว แร่ดินเหนียวจะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนอิออนกับน้ำกล่าวคือจะปล่อย Mg และ Caออกมา และดึงเอา Na เข้าไปแทนที่ ส่งผลให้โมเลกุลของแร่ดินเหนียวนี้เกิดการพองตัว ซึ่งจะลดจำนวนช่องว่าง ความพรุน และความซึมได้ของดินในบริเวณนั้น ทำให้คุณสมบัติในการระบายน้ำของดินลดลงและเป็นผลเสีย วิธีการแก้ก็โดยใช้น้ำที่มี Ca สูง อาจจะโดยเติมหรือละลายเกลือจืด (ยิปซัม, $CaSO_4.2H_2O$) เข้ากับน้ำทำให้ปริมาณ Ca เพิ่มมากขึ้น และเข้าไปแลกกับ Na จากแร่ดินเหนียว ทำให้คุณสมบัติในการระบายน้ำดีขึ้น

2.2.2 ใช้ในการอุตสาหกรรม (Industrial uses)

การพิจารณาคุณภาพของน้ำบาดาลเพื่อการอุตสาหกรรม จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้ และกรรมวิธีของการอุตสาหกรรมนั้น ๆ เช่น ถ้าจะนำน้ำเพื่อไปใช้ในหม้อต้มความดันสูง (High pressure boiler) คุณภาพของน้ำต้องแน่นอนคงที่ ในขณะที่การนำน้ำบาดาลไปใช้ในระบบถ่ายเทความร้อน (Cooling system) คุณภาพอาจไม่สำคัญมากนัก คุณภาพของน้ำบาดาลในการอุตสาหกรรม จึงมีความหลากหลายและขึ้นอยู่กับประเภทและวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำบาดาลในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ซึ่งไม่สามารถกำหนดเป็นหลักเกณฑ์ตายตัว

2.2.3 ใช้ในการอุปโภค-บริโภค (Domestic uses)

พิจารณาได้จากมาตรฐาน น้ำเพื่อการบริโภคประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค

มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค				
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
ทางกายภาพ	สี (Colour)	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)	มา./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.ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total disslved solids)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 600	1,200

ตาราง 2.1 (ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค				
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
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.ซิลิเนียม (Se)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.01
ทางบักเตรี	21.บักเตรีที่ตรวจพบโดยวิธี Standard plate count	โคโลนีต่อ ลบ. ซม.	ไม่เกินกว่า 500	-
	22.บักเตรีที่ตรวจพบโดยวิธี Most Probable Number (MPN)	เอ็ม พี.เอ็น ต่อ 100 ลบ. ซม.	น้อยกว่า 2.2	-
	23.อี.โคไล (E.coli)	-	ต้องไม่มีเลย	-

ที่มา: ราชกิจจานุเบกษา (2552)

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กในน้ำบาดาล

2.3.1 แหล่งกำเนิดของเหล็กในน้ำ

เหล็กที่ปรากฏอยู่ตามธรรมชาติในชั้นหินและชั้นดิน มักเป็นแหล่งกำเนิดของเหล็กในน้ำ ในชั้นหินพบว่ามีแร่เหล็กประมาณ 5% เหล็กทั้งหมดที่พบในหินและดินส่วนใหญ่ปรากฏรวมตัวอยู่กับธาตุอื่น เป็นสารประกอบเหล็กออกไซด์ เหล็กซัลไฟด์ และเหล็กคาร์บอเนต เหล็กออกไซด์มักเกิดจากแร่ 3 ชนิด คือ แร่เฮมาไนต์ (Red hematite) แร่แมกกาไตท์ (Magcatite) แร่ลิมอนไนท์ แร่เฮมาไตท์สีน้ำตาล (Brown hematite) แร่ซัลไฟด์เกิดจากแร่ไพไรท์ (Pyrite) ส่วนเหล็กคาร์บอเนตเกิดจากแร่สิเดอร์ไรท์ (Siderites)

2.3.2 ชนิดของเหล็กที่พบในน้ำ

Walker (1978) ได้แบ่งชนิดของเหล็กที่พบในน้ำเป็น 2 ชนิด คือ

1) เหล็กอินทรีย์ เป็นเหล็กที่พบในน้ำบาดาลเป็นส่วนใหญ่ น้ำที่มีเหล็กอนินทรีย์นี้เมื่อสูบขึ้นมาใหม่ๆ จะมีลักษณะใสมาก แต่เมื่อทิ้งไว้สัมผัสกับอากาศสักครู่น้ำนั้นก็ขุ่น จะปรากฏคาร์บอเนต เช่น เฟอร์รัสไบคาร์บอเนต หรือ $Fe(HCO_3)_2$ รองลงมาอยู่ในรูปของเฟอร์รัสซัลเฟต $FeSO_4$ และอาจจะพบอยู่ในรูปสารประกอบของเหล็กคลอไรด์ $FeCl_2$

2) เหล็กอินทรีย์ พบอยู่ในน้ำผิวดินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมักจะพบอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Organic Complex Compound) เช่น Humic acid, Fulvic acid, Tannic acid เป็นต้น

สำหรับ Hauer (1950) ได้แบ่งชนิดของเหล็กในน้ำไว้ 3 ชนิด คือ

1) เหล็กในน้ำบาดาลชนิดที่ตกตะกอนได้ทันทีภายหลังการเติมอากาศ

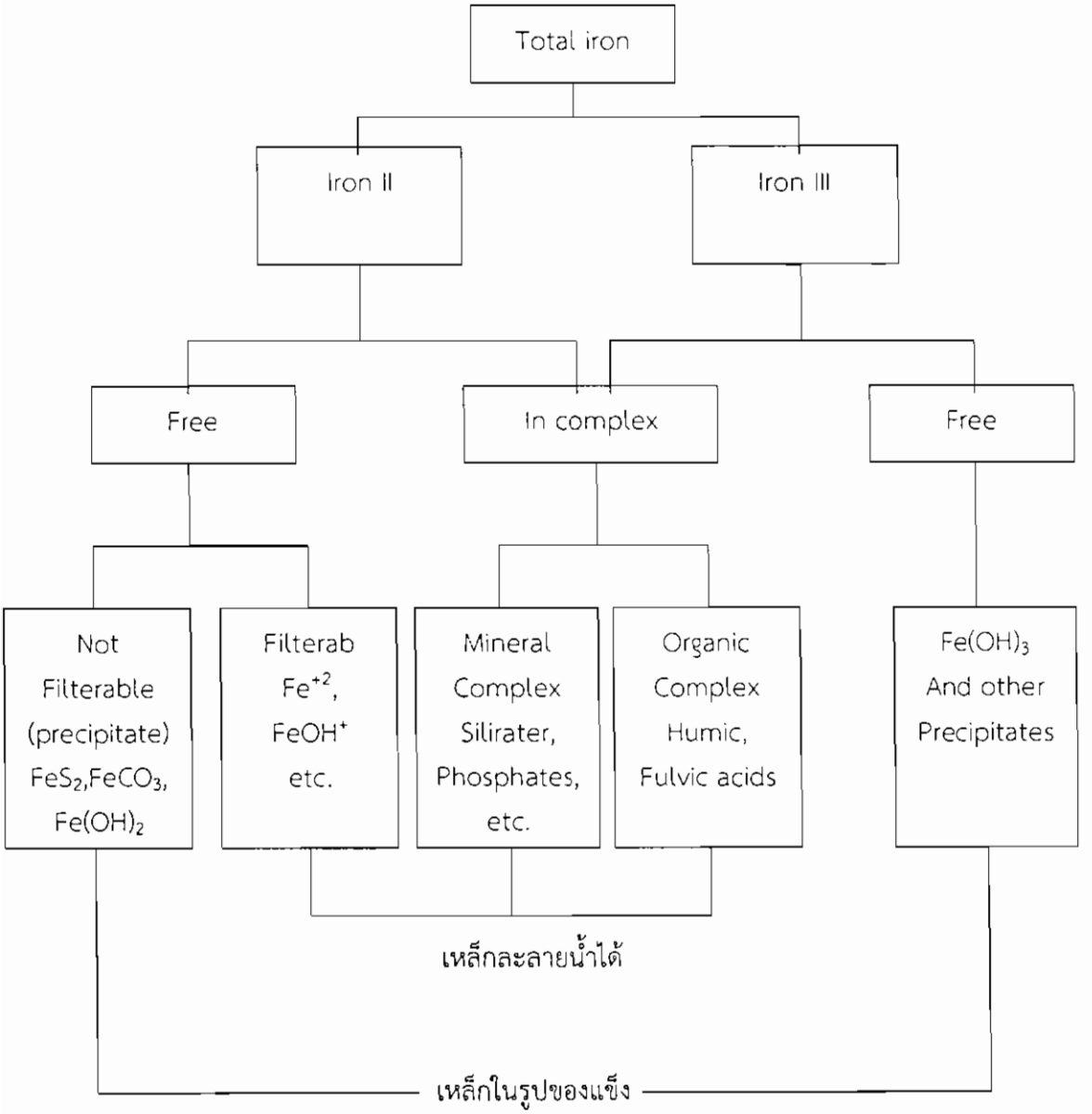
2) เหล็กในน้ำบาดาลที่ไม่ยอมตกตะกอนได้ง่ายๆ ภายหลังการเติมอากาศ ทั้งนี้เพราะน้ำบาดาลนั้นมีสภาพเป็นกรด

3) เหล็กในน้ำบาดาลชนิดที่บางส่วนตกตะกอนได้ แต่บางส่วนไม่ยอมตกตะกอนเลยภายหลังเติมอากาศ เหล็กในน้ำบาดาลชนิดนี้จะพบมากที่สุด

ซึ่ง Hauer ได้กล่าวว่าเหล็กในน้ำบาดาลซึ่งเป็นเหล็กอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต ($Fe(HCO_3)_2$) และเฟอรัสคาร์บอเนต ($FeCO_3$) สารละลายนี้เกิดจากแร่ธาตุในชั้นหินที่เรียกว่า สิเดอร์ไรท์ ซึ่งเป็นแร่ที่มีสภาพการละลาย (Solution) ประมาณ 65 มิลลิกรัม/ลิตร (ในที่นี้หมายถึงน้ำ 1 ลิตร สามารถละลายแร่สิเดอร์ไรท์ได้ 65 มิลลิกรัม) ค่าของสภาพการละลายน้ำจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อกรดคาร์บอนิคมากขึ้นหรือมีคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น เฟอรัสไบคาร์บอเนตนี้เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจน จะได้เฟอรัสไฮดรอกไซด์หรือ $Fe(HO)_2$ ซึ่งมีสภาพการละลายไม่เกิน 7 มิลลิกรัม/ลิตร เฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ หรือ $Fe(HO)_3$ ซึ่งไม่ละลายน้ำและเฟอร์ริคออกไซด์ หรือ Fe_2O_3 ซึ่งไม่ละลายน้ำเช่นกัน เหล็กในน้ำบาดาลในรูปเฟอร์รัสซัลเฟต มักเกิดจากแร่พายไรท์ หรือแร่เฟอร์รัสซัลไฟด์มักมีสภาพการละลายไม่เกิน 6 มิลลิกรัม/ลิตร ขณะที่แร่สิเดอร์ไรด์มีสภาพการละลายประมาณ 65 มิลลิกรัม/ลิตร จึงเป็นเหตุผลที่สามารถกล่าวได้ว่า เหล็กในน้ำบาดาลส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปของ เฟอร์รัสไบคาร์บอเนตมากกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต

2.3.3 สถานะต่าง ๆ ของเหล็กในธรรมชาติ

เหล็กทั้งหมดในน้ำ หรือ Total Iron แบ่งเป็น 2 รูปคือ เหล็กในรูป Iron II (Fe^{+2}) กับเหล็กในรูป Iron III (Fe^{+3}) เหล็กในรูป Iron II (Fe^{+2}) อาจจะรวมตัวกับธาตุอื่นเป็นสารประกอบที่อาจประกอบด้วยธาตุอื่นธาตุเดียว เช่น FeS_2 ที่ไม่ละลายน้ำ และ $Fe(HCO_3)_2$ ที่สามารถละลายน้ำได้ เป็นต้น หรือมากกว่าสองธาตุอยู่ในรูปเชิงซ้อน (Complex form) เช่น Mireral complex และ/หรือ Organic complex เป็นต้น ส่วนเหล็กในรูป Iron III (Fe^{+3}) อาจจะรวมตัวกับธาตุอื่นเป็นสารประกอบที่อาจประกอบด้วยธาตุอื่นธาตุเดียว เช่น $Fe(HO)_3$ ไม่ละลายน้ำ เป็นต้น หรือธาตุอื่นมากกว่าสองธาตุซึ่งอยู่ในรูปเชิงซ้อน (Complex form) เช่น Mineral complex และ/หรือ Organic complex เป็นต้น



ภาพประกอบ 2.1 สถานะต่าง ๆ ของเหล็กที่มีอยู่ในน้ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2538)

2.3.4 ความสามารถในการละลายน้ำตามธรรมชาติของเหล็ก

เหล็กในน้ำบาดาลส่วนใหญ่ซึ่งมี pH เป็นกลางหรือ pH ต่ำ ปริมาณเหล็กละลายน้ำขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายน้ำของเฟอร์รัสคาร์บอเนต ($FeCO_3$) และจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายน้ำของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) ถ้าน้ำมี pH สูง

สมการเคมีที่แสดงถึงการละลายของ $FeCO_3$ และ $Fe(OH)_2$ มีดังนี้

$$FeCO_3 \rightleftharpoons Fe^{+2} + CO_3^{\ 2} \quad \text{.....(1)}$$

$$Fe(OH)_2 \rightleftharpoons Fe^{+2} + 2OH^- \quad \text{.....(2)}$$

น้ำธรรมชาติมีเกลือแร่อยู่ในระดับปกติ และมีอุณหภูมิ 25^0C จะมีค่า Solubility Product (K_{sp}) ของ $FeCO_3$ และ $Fe(OH)_2$ ดังนี้

$K_{sp}\,(FeCO_3)$	ประมาณ $10^{-10.7}$	$(\text{โมล/ลิตร})^2$
$K_{sp}\,(Fe(OH)_2)$	ประมาณ $10^{-14.7}$	$(\text{โมล/ลิตร})^3$

ค่า K_{sp} ของสารประกอบทั้งสองไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากหน่วยไม่เหมือนกัน ดังนั้นจากค่า K_{sp} จึงไม่สามารถบอกได้ว่า $Fe(OH)_2$ ละลายน้ำได้น้อยกว่า $FeCO_3$ ด้วยเหตุที่ว่า มีค่าน้อยกว่า K_{sp} ในน้ำธรรมชาติทั่วไป

สมการ (1) และ (2) ยังไม่สามารถบอกระดับการละลายน้ำของเหล็กได้ถูกต้อง ทั้งนี้เพราะเหล็กเฟอร์รัส (Fe^{2+}) สามารถรวมกับ OH^- สร้างคอมเพล็กซ์รูปต่างๆ ได้ดังนี้

$$Fe^{+2} + OH^- \rightleftharpoons FeOH^+ \qquad K_1 = 10^{5.56} \quad \text{.....(3)}$$

$$Fe^{+2} + 3OH^- \rightleftharpoons Fe(OH^-)_3 \qquad K_1 = 10^{9.67} \quad \text{.....(4)}$$

ดังนั้น เหล็กเฟอร์รัสที่ละลายน้ำได้มี 3 ชนิด คือ รูปอิสระ (Fe^{2+}), $FeOH^-$, และ $Fe^{+2}(OH^-)_3$ หรืออาจเขียนได้ดังนี้

$$Fe(II) = Fe^{+2} + Fe(OH)^+ + Fe(OH)^-_3 \quad \text{.....(5)}$$

ในเมื่อ Fe(II) หมายถึงเหล็กที่มีประจุ +2 ทุกชนิด

2.4 ปัญหาของเหล็กในน้ำ

การจัดหาน้ำสะอาดในขนบท นอกจากปัญหาการจัดหาน้ำให้มีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของประชาชนแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปัญหาในเรื่องคุณภาพน้ำด้วย แหล่งน้ำที่มีความสำคัญในขนบทคือ แหล่งน้ำบาดาล เนื่องจากน้ำบาดาลในพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีปริมาณเหล็กสูง ทำให้มีปัญหาสนิมเหล็กเกิดขึ้นเมื่อมีการนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในการอุปโภคและบริโภค ซึ่งส่งผลกระทบในด้านต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1 ผลกระทบของเหล็กในน้ำต่อการอุปโภคและบริโภค

2.4.1.1 การจ่ายน้ำบาดาลไปตามท่อ น้ำบาดาลที่มีเหล็กมากทำให้จำนวนแบคทีเรียเหล็ก (Iron Bacteria) ซึ่งมีลักษณะเป็นวุ้นเละๆ สีแดงเข้ม เมื่อจำนวนมากจะไปอุดตันตามท่อกรองน้ำบาดาล ทำให้น้ำบาดาลไหลเข้าบ่อบาดาลไม่สะดวก ทำให้เกิดการอุดตันท่อในระบบจ่ายน้ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2542)

2.4.1.2 น้ำที่มีเหล็กมากจะมีสีเหลืองหรือสีแดง และมีกลิ่นสนิมเหล็กซึ่งเป็นสิ่งที่น่ารังเกียจต่อการใช้ดื่ม ถ้าไปใช้ในการซักล้าง เหล็กจะไปจับตามภาชนะหรือผ้าที่ซัก ทำให้มีสีเหลืองหรือสีแดง โดยเฉพาะอย่างยิ่งไปจับตามสุขภัณฑ์ในห้องน้ำทำให้มีคราบสีเหลืองหรือสีแดงไม่น่าดู ถ้านำไปหุงข้าวจะทำให้ข้าวบูดเร็ว นอกจากนี้ในการทดลองในสหรัฐอเมริกา โดยนำเอาน้ำที่มีเหล็กเกิน 10 มิลลิกรัม/ลิตร ไปล้างไข่ปรากฏว่าทำให้ไข่เน่าเร็วยิ่งขึ้น (Sawyer, 1967)

2.4.2 ผลกระทบด้านสุขภาพอนามัย

เหล็กเป็นธาตุที่จำเป็นในอาหารของมนุษย์ เนื่องจากเหล็กเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบิน ไมโอโกลบิน (ซึ่งเป็นสารที่ทำหน้าที่นำเอาออกซิเจนไปเลี้ยงยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย) ไซโตโครม เอ็นไซม์ และโปรตีนต่างๆ หลายชนิด เมื่อขาดธาตุเหล็กจะทำให้เกิดการสังเคราะห์ฮีโมโกลบินลดลง ซึ่งทำให้เกิดโรคโลหิตจาง (Anemia) โดยปกติเหล็กไม่จัดว่าเป็นสารพิษต่อร่างกาย แต่ถ้าร่างกายดูดซึมเข้าไปมากเกินควร (Gale,1969) จะทำให้เกิดสภาพที่เรียกว่า Haemochromatosis การสะสมของเหล็กทำให้เกิดการทำลายของเนื้อเยื่อ (Tissue damage) การสะสมของธาตุเหล็กในตับม้าม ก่อให้เกิดอาการของโรคตับแข็งและระบบการสร้างเม็ดเลือดในรูป Haemosiderin และการตกตะกอนของธาตุเหล็กในร่างกาย (Siderosis) นอกจากนี้อาจมีอาการของโรคลักปิดลักเปิด ถ้าบริโภคเกลือที่มีธาตุเหล็กมากๆ จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อกระเพาะอาหาร อาจทำให้เกิดเป็นแผลและการอักเสบของกระเพาะอาหาร

2.4.3 ผลกระทบด้านอื่น ๆ

2.4.3.1 เป็นแหล่งอาหารช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Iron bacteria) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นและรสในน้ำ

2.4.3.2 ทำให้น้ำประปามีความขุ่นสูง และมีสีแดงน่ารังเกียจ

2.4.3.3 เกิดการเกาะติดในท่อประปา ประตูน้ำ มาตรวัดน้ำ ทำให้เกิดการอุดตันของท่อน้ำและลดอัตราการไหลของน้ำในท่อ

2.4.4 เกิดปัญหาแก่กิจการอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

1) น้ำที่มีเหล็กมาก มีโอกาสทำให้หม้อน้ำที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเกิดตระกรันภายในหม้อน้ำได้

2) น้ำที่มีเหล็กมากกว่า 0.05 กรัม/ลูกบาศก์เมตร เมื่อใช้ในโรงงานทอผ้าและฟอกหนังจะทำให้เนื้อผ้าและหนังเป็นจุด หรือเปื้อนสนิมเหล็กได้

3) ในโรงงานผลิตกระดาษ น้ำที่ใช้ผลิตจะต้องมีปริมาณของเหล็กน้อยกว่า 0.1 กรัม/ลูกบาศก์เมตร ไม่เช่นนั้นจะทำให้เกิดจุดสีเหลืองหรือคราบสนิมเหล็กในน้ำที่ทำการผลิต (Hauer,1950)

4) น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ต้องมีปริมาณเหล็กไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร ถ้าเกินน้ำบริโภคจะไม่มีคุณภาพและไม่ได้มาตรฐาน ตามประกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) นอกจากนี้โรงน้ำแข็งที่นำน้ำมาผลิตต้องมีคุณภาพและมาตรฐาน ตามมาตรฐานน้ำสะอาด ซึ่งต้องมีเหล็กไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมอนามัย, 2538)

จากปัญหาเหล็กในน้ำดังกล่าว องค์การอนามัยโลก (WHO)จึงกำหนดมาตรฐานสำหรับปริมาณเหล็กในน้ำดื่มไว้ไม่เกิน 0.30 มิลลิกรัม/ลิตร และยอมให้มีเหล็กสูงสุดได้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม ได้กำหนดมาตรฐานปริมาณเหล็กในน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคไว้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร และยอมให้มีปริมาณสูงสุดได้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร ข้อกำหนดทางด้านสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม กองสุขาภิบาล กระทรวงสาธารณสุข เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคในชนบทกำหนดให้มีเหล็กไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนการประปานครหลวงยอมให้มีเหล็กได้สูงสุดไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อเป็นเกณฑ์พิจารณามาตรฐานน้ำดื่ม

2.5 วิธีกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล

ระบบการกำจัดสนิมเหล็กถูกสร้างขึ้นครั้งแรกที่เมือง Charlottenberg ในประเทศเยอรมันในปี ค.ศ. 1874 ส่วนระบบการกำจัดสนิมเหล็กในสหรัฐอเมริกาถูกสร้างขึ้นครั้งแรกที่เมือง Atlantic Highland ในมลรัฐนิวเจอร์ซี ในปี ค.ศ.1983 ระบบการกำจัดสนิมเหล็กในสมัยต้นๆ ประกอบด้วยหน่วยเติมอากาศและหน่วยกรอง บางครั้งมีการเติมปูนขาวเพื่อปรับปรุงสภาพน้ำด้วย ระบบดังกล่าวยังคงใช้มาจนถึงทุกวันนี้

วิธีการในการกำจัดสนิมเหล็กในน้ำบาดาล

2.5.1 การกำจัดเหล็กโดยวิธีออกซิเดชั่นและการกรอง

วิธีนี้อาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ในการเปลี่ยนเหล็กเฟอร์รัสที่ละลายน้ำให้กลายเป็นเหล็กเฟอร์ริกที่ตกตะกอนได้ง่ายกว่า จากนั้นจึงทำการกรองตะกอนออกจากน้ำ จะทำการตกตะกอนหรือไม่ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ การกำจัดเหล็กโดยวิธีนี้แบ่งออกได้หลายวิธีตามวิธีการออกซิเดชั่น ดังนี้

2.5.1.1 การเติมอากาศ

การให้ออกซิเจนในอากาศเพื่อให้เข้าไปออกซิไดส์เหล็กในน้ำบาดาล ที่ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต [$Fe(HCO_3)_2$] ที่สามารถละลายน้ำได้ดีและไม่มีสีให้เป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ [$Fe(OH)_2$] เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ [$Fe(OH)_3$] และสามารถตกตะกอนในถังตกตะกอน ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเหล็กเฟอร์รัส มีดังนี้

$$\underset{\text{เฟอร์รัสไบคาร์บอเนต}}{[Fe(HCO_3)_2]} \longrightarrow \underset{\text{เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์}}{[Fe(OH)_2]} + CO_2 \quad .....(6)$$

เมื่อเติมอากาศต่อไปปฏิกิริยาจะเป็นดังนี้

$4\ Fe(OH)_2 + O_2 + 2HO_2 \longrightarrow 4\ Fe(OH)_3$ (ตกตะกอน) .....(7)

เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์

2.5.1.2 การใช้คลอรีน คลอรีนไดออกไซด์ หรือไฮโปรคลอไรด์

การใช้คลอรีนหรือคลอรีนไฮดรอกไซด์ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้คลอรีนไปออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบ โดยอาศัยแคลเซียมไบคาร์บาเมตเข้าทำปฏิกิริยาด้วย ดังสมการ

$2\ Fe(HCO_3)_2 + Cl_2 + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2\ Fe(OH)_3 + CaCl_2 + 6\ CO_2$ .....(8)

2.5.1.3 การใช้โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต

เนื่องจากโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรง เหล็กเฟอร์รัสในน้ำดิบจะถูกออกซิไดส์และตกตะกอนในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ $Fe(OH)_3$ ดังสมการ

$3\ Fe(HCO_3)_2 + KMnO4 + 7H2O \longrightarrow MnO_2 + 3Fe(OH)_3 + KHCO_3 + 5H_2CO_3$.(9)

สำหรับแมงกานีสไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยปกติการกำจัดเหล็กโดยใช้โปแตสเซียมเปอร์แมงการเนตนี้นิยมใช้กับถังกรองที่ใช้ความดัน ในทางทฤษฎีพบว่าด่างทับทิม 1 มิลลิกรัม สามารถออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสได้ 1.06 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เนื่องจากแมงกานีสออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ดี ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงพบว่าโปแตสเซียมเปอร์แมงการเนต 1 มิลลิกรัม สามารออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสได้ถึง 1.66 มิลลิกรัม

2.5.1.4 การเติมอากาศและการใช้สารแคลเซียมไฮดรอกไซด์

มักนิยมใช้เครื่องเติมอากาศตามด้วยถังตกตะกอน ปฏิกิริยาการกำจัดเหล็กมีดังนี้

$Fe(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Fe(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2$ .....(10)

$4\ Fe(OH)_2 + O_2 + 2HO_2 \longrightarrow 4Fe(OH)_3$ .....(11)

ได้กำหนด pH ของน้ำเพื่อให้ปฏิกิริยาข้างต้นนี้เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ จะเกิดชั้นตะกอนในถังตกตะกอน ชั้นตะกอนนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกำจัดเหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีนี้นอกจากสามารถกำจัดเหล็กได้แล้ว ยังช่วยกำจัดความกระด้างแบบไบคาร์บอเนตด้วย

2.5.2 การใช้สารพิเศษ

2.5.2.1 การใช้สารแลกเปลี่ยนอิออน (Ion Exchange Resin)

สารแลกเปลี่ยนอิออนที่ชะอยู่ในรูปของโซเดียม หรือในรูปของไฮโดรเจน ซึ่งสามารถจับกับเหล็กได้ วิธีการคือผ่านน้ำที่มีเหล็กไปยังที่ทำน้ำอ่อน ที่ภายในมีสารแลกเปลี่ยนประจุจับ

ได้ทั้งเหล็กและความกระด้าง การใช้สารแลกเปลี่ยนประจุในการกำจัดเหล็กสามารถทำได้เฉพาะในกรณีที่น้ำมีเหล็กละลายอยู่ในระดับที่ไม่สูงมาก มิฉะนั้นอาจเกิดการปัญหาการอุดตันและการเสื่อมสภาพของการแลกเปลี่ยนอิออนได้

2.5.2.2 การกำจัดด้วยทรายเขียว

ซีโอไลท์หรือกรีนแซนด์ เป็นสารแลกเปลี่ยนอิออนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อให้น้ำมีแมงกานีสผ่านเข้าไปในซีโอไลท์ แมงกานีสจะเกาะจับผิวเคลือบของซีโอไลท์ ในรูปของแมงกานีสไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลึก แมงกานีสไดออกไซด์จะช่วยในการออกซิเดชั่นเหล็กเฟอร์รัสให้เป็นตะกอน ซึ่งสามารถตกอยู่ในขั้นกรอง ในขณะเดียวกันแมงกานีสไดออกไซด์ซึ่งสามารถทำให้กลับสู่รูปเดิมได้โดยใช้สารละลายด่างทับทิมหรือโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ในกรณีที่น้ำดิบที่ผ่านการเติมอากาศมาก่อน แมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบอยู่ที่สารตัวกรองสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของเหล็กกับออกซิเจนได้โดยไม่มีปฏิกิริยาใดๆ เกิดขึ้นกับแมงกานีสไดออกไซด์ ทำให้ไม่ต้องมีการกลับคืนสู่รูปเดิมด้วยสารละลายด่างทับทิมอีก

2.5.2.3 การควบคุมด้วยสารคีแลนท์

วิธีนี้เหมาะสำหรับกรณีที่น้ำมีเหล็กละลายอยู่ในปริมาณที่น้อยจนไม่เหมาะสมที่จะกำจัดด้วยการใช้สารแลกเปลี่ยนอิออน การกำจัดด้วยทรายเขียว วิธีนี้เป็นการใช้สารเคมีที่เรียกว่า คีแลนท์ เช่น โซเดียมเฮกซาเมททาฟอสเฟต เมื่อเติมสารนี้ในปริมาณที่เหมาะสม และเติมก่อนปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของเหล็ก สารดังกล่าวจะจับกับเหล็กได้สารประกอบที่ละลายน้ำ และไม่ตกตะกอนทำให้ไม่เกิดปัญหาอีกต่อไป

2.6 การกรอง

การกรองเป็นวิธีการแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำโดยการให้น้ำไหลผ่านตัวกรอง ซึ่งตัวกรองอาจจะเป็นทราย แอนทราไซท์ ผงไดอะตอม หรืออื่นๆ

2.6.1 กลไกการทำงานของตัวกรอง ในการแยกสารแขวนลอยออกจากน้ำ แบ่งได้หลายวิธีดังนี้

2.6.1.1 การดักสารแขวนลอยโดยตรง (Direct Sieving หรือ Straining)

เกิดขึ้นในกรณีที่สารแขวนลอยมีขนาดโตกว่าช่องว่างระหว่างตัวกรอง ทำให้ไม่สามารถลอดผ่านช่องว่างระหว่างตัวกรองไปได้จึงถูกดักเอาไว้ สมการของความเป็นไปได้ในการกำจัดสารแขวนลอยโดยการดักโดยตรงมีดังนี้

$$P_s \alpha \frac{D}{d}$$

เมื่อ P_s = ค่าความเป็นไปได้ในการกำจัดสารแขวนลอย

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของสารแขวนลอย

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกรอง

2.6.1.2 การสัมผัสกับผิวของตัวกรอง (Chance Control)

เป็นกรณีที่สารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่าช่องว่างระหว่างตัวกรองที่มีโอกาสที่จะสัมผัสกับผิวของตัวกรองในระหว่างที่น้ำไหลผ่านตัวกรอง ทำให้สารแขวนลอยนั้นถูกแยกออก ค่าความเป็นไปได้ในการกำจัดสารแขวนลอยวิธีนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ากำลังที่สองของเส้นผ่านศูนย์กลางของสารแขวนลอย และเป็นสัดส่วนผกผันกับค่ากำลังสามของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกรอง ดังนี้

$$P_s \ \alpha \ \frac{D^2}{d^3}$$

เมื่อ Ps = ค่าความเป็นไปได้ในการกำจัดสารแขวนลอย
D = เส้นผ่านศูนย์กลางของสารแขวนลอย
d = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกรอง

2.6.1.3 การตกตะกอน (Sedimentation)

คือการที่สารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กกว่าช่องว่างระหว่างตัวกรองสามารถลอดผ่านช่องว่างระหว่างตัวกรองมาตกตะกอนบนผิวของตัวกรองในระดับลึกลงไป การตกตะกอนของสารแขวนลอยบนผิวของตัวกรองเกิดขึ้นตลอดช่วงความสูงของชั้นตัวกรอง ประสิทธิภาพของการตกตะกอนขึ้นอยู่กับอัตราการกรองและความเร็วของการตกตะกอนของสารแขวนลอย พื้นที่ผิวตัวกรองซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับการตกตะกอนคำนวณได้ ดังสมการ

$$\text{พื้นที่ผิวตัวกรอง} = \frac{6\,(1-p)}{D} \ \text{ม.}^2/\text{ม.}^3$$

เมื่อ p = ความพรุนของตัวกรอง
d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกรอง

2.6.1.4 การกระทบเนื่องจากแรงเฉื่อย (Inertial Impaction)

เกิดขึ้นเมื่อน้ำไหลผ่านไปตามผิวตัวกรองและเกิดการไหลเปลี่ยนทิศทาง สารแขวนลอยซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจะเบี่ยงเบนตามทิศทางการไหลไม่ทัน จึงยังคงพยายามวิ่งไปตามทิศทางเดิมเนื่องจากแรงเฉื่อย ทำให้เกิดการกระทบและเกาะติดอยู่บนผิวของตัวกรอง ประสิทธิภาพของการกระทบเนื่องจากแรงเฉื่อยนี้จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของสารแขวนลอยกับของน้ำ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านตัวกรอง มุมตกกระทบ และตำแหน่งของสารแขวนลอย

2.6.1.5 อิทธิพลจากประจุไฟฟ้า

เนื่องจากอนุภาคแขวนลอยที่กระจายอยู่ในน้ำสามารถรับเอาประจุไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าไว้ที่บนผิวของมัน การรับประจุไฟฟ้าที่บนผิวของอนุภาคแขวนลอยอาจเกิดจากการดูดซับ (Adsorption) หรือการแตกตัวเป็นอิออน (Ionization) จากหลักที่ว่าประจุไฟฟ้าที่ต่างกันจะดูดกัน ประจุไฟฟ้าที่เหมือนกันจะผลักกัน การที่อนุภาคแขวนลอยในน้ำสามารถมีความขุ่นคงตัวหรือฟุ้งกระจาย

อยู่ในน้ำก็เป็นเพราะแรงผลักกันของประจุไฟฟ้าระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่เหมือนกัน หากจะกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำให้ได้นั้น ประจุไฟฟ้าที่บนผิวอนุภาคแขวนลอยกับประจุไฟฟ้าที่บนผิวของตัวกรองจะต้องต่างกัน ดังนั้นประจุไฟฟ้าจึงเป็นกลไกส่วนหนึ่งที่สำคัญในการกาจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำ

2.6.1.6 แรงแวน เดอร์ วาลส์ (Van der waals Force)

ในจำนวนแรงทั้งหมดที่เป็นแรงดึงดูดและแรงผลักกันของโมเลกุล จะมีแรงอยู่พวกหนึ่งที่มีกำลังมากที่สุดเรียกแรงนั้นว่าแรงแวน เดอร์ วาลส์ แรงนี้เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของอนุภาคแขวนลอยชนิดเดียวกัน ซึ่งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อสารแขวนลอยต่างเคลื่อนเข้ามาใกล้กัน แต่ในทางตรงกันข้ามแรงเหล้านี้จะลดลงอย่างรวดเร็วจนเป็นศูนย์เมื่อสารแขวนลอยต่างเคลื่อนออกจากกันหรืออยู่ห่างกันออกไป ดังนั้นแรงแวน เดอร์ วาลส์ จึงไม่เป็นกลไกส่วนสำคัญในการกำจัดสารแขวนลอย แต่จะเป็นแรงสำคัญในการทำลายความคงตัว (Destrabilized sol) ทั้งยังควบคุมสารแขวนลอยต่างๆ ไม่ให้แตกตัวออกจากกันได้ง่าย

2.6.1.7 การเคลื่อนที่แบบราวเนียน (Brownian Movement)

การเคลื่อนที่แบบไม่มีทิศทางของอนุภาคแขวนลอยเรียกว่าการเคลื่อนที่แบบราวเนียน การเคลื่อนที่แบบนี้อาจทำให้อนุภาคแขวนลอยเกิดการเบี่ยงเบนออกไปจากแนวการไหลของน้ำ ทำให้มีโอกาสที่จะสัมผัสกับผิวของตัวกรองแล้วถูกแยกออกไป การคำนวณการเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอยที่มีลักษณะกลม คำนวณได้จากสมการ

$$X = \frac{2KTt}{3\,fD}^{1/2}$$

เมื่อ X = ค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอย
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคแขวนลอย
T = เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่
K = ค่าคงที่โบลทซ์มานน์
T = อุณหภูมิสัมบูรณ์
f = ความหนืดของการไหล

2.6.1.8 การสมานอนุภาคแขวนลอย (Flocculation)

เกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคแขวนลอยขนาดใหญ่สัมผัสกับอนุภาคขนาดเล็ก แล้วรวมกันเป็นอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิม ซึ่งจะถูกกำจัดต่อไปโดยการดักโดยตรง การตกตะกอน การสัมผัสผิวของตัวกรอง หรือการตกกระทบด้วยแรงเฉื่อย

2.6.2 ความฝืดของตัวกรอง

การไหลของน้ำผ่านตัวกรองที่มีผลทำให้น้ำสูญเสียความดันไปบางส่วน ความดันของน้ำที่สูญเสียไปเรียกว่า ความฝืดของตัวกรองซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของความพรุนตัวกรอง (e), ความหนาของตัวกรอง (L), เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกรอง (d), ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านตัวกรอง (v), ความหนืดของน้ำ (μ) ความหนาแน่นของน้ำ (ρ) และความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (g) ดังสมการ

$H_t = F(e, L, d, v, \mu, \rho, g)$

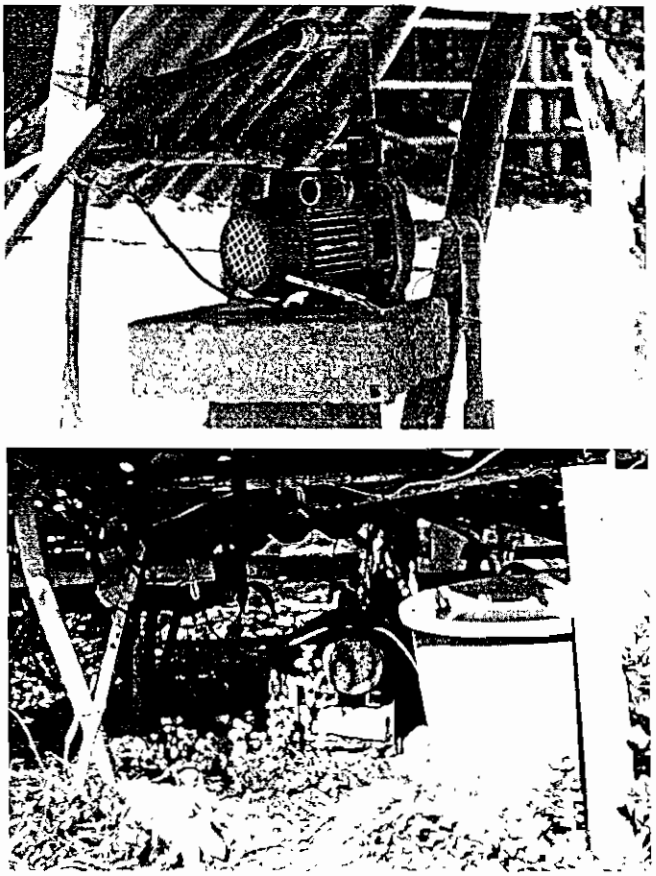
เมื่อ H_t = ความฝืดของตัวกรอง

2.7 การใช้น้ำในเขตเทศบาลตำบลโพนทราย

ตำบลโพนทราย ตั้งอยู่ในเขตอำเภอโพนทราย จังหวัดร้อยเอ็ด ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่ม บริเวณทิศเหนือของตำบลเป็นที่ราบลุ่มริมฝั่งลำน้ำเสียวที่มีน้ำท่วมถึงเป็นเวลานาน โดยเฉพาะฤดูน้ำหลากและทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากเป็นประจำ สภาพภูมิประเทศบริเวณนี้เป็นแนวทางเดินของลำน้ำเก่าที่มีการโค้งตวัดของลำน้ำทำให้เกิดทะเลสาบรูปแอก (กุด) เกิดขึ้น แหล่งน้ำที่สำคัญตามธรรมชาติคือ ลำเสียว ไหลผ่านทางทิศเหนือของตำบล กั้นระหว่างตำบลดูกอึ่ง ตำบลสาวแห ของอำเภอหนองฮี นอกจากนี้ยังมีหนองน้ำที่สำคัญคือ หนองบัว ความสูงของพื้นที่เฉลี่ยประมาณ 120 เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง)

ลักษณะของดินที่พบส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มดินเหนียว กลุ่มดินเค็ม และกลุ่มดินทราย ตามลำดับ โดยเฉพาะกลุ่มดินทรายซึ่งมีเนื้อที่กว่า 5,329 ไร่ หรือร้อยละ 17.69 ของพื้นที่ ลักษณะเนื้อดินเป็นทรายปนดินร่วน เนื้อหยาบเกิดจากตะกอนลำน้ำ มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและมีความสามารถในการอุ้มน้ำน้อย ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ประชาขนส่วนใหญ่ทำการเกษตรกรรมเป็นหลักโดยมีพืชเศรษฐกิจที่สำคัญคือ ข้าวและยูคาลิปตัส

แหล่งน้ำที่นำมาใช้ในเขตเทศบาลตำบลโพนทราย ส่วนใหญ่จะใช้น้ำบาดาลที่มีการขุดเจาะขึ้นมาใช้เองในครัวเรือน ซึ่งใช้สำหรับทั้งเพื่อการอุปโภคและบริโภค เนื่องจากระบบประปาที่ยังไม่ครอบคลุมในพื้นที่ที่มีขนาดกว้างกว่า 11.2 ตารางกิโลเมตร และลำน้ำเสียวที่เป็นแหล่งน้ำหลักสำหรับผลิตน้ำประปาอยู่ห่างไกล ทำให้มีปัญหาสำหรับการผลิตน้ำประปา ประชาขนส่วนใหญ่จึงนิยมใช้น้ำบาดาล



ภาพประกอบ 2.2 บ่อบาดาลในครัวเรือนของประชาชนในเขตเทศบาลตำบลโพนทราย
อภิวัฒน์ บุญรอง (2555)

ทราย (Sand)

ทรายเป็นหินแข็งที่แตกแยกออกมาจากหินก้อนใหญ่ หรือเรียกว่าเป็นหินเม็ดเล็กก็ได้ เกิดการแยกตัวขึ้นได้เองตามธรรมชาติ สำหรับประเทศไทย ทรายมีเพียงพอสำหรับการใช้งาน ปัจจุบันมีเรือขุดหรือเรือดูดจากลำน้ำ นำทรายขึ้นมารวดเร็วและเป็นจำนวนมาก ทรายมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 1/12 ถึง 2 มิลลิเมตร ถ้าเล็กไปกว่านี้เรียก ตม (Silt) ถ้าโตกว่าขนาดดังกล่าวเรียกกรวด (Gravel) แร่ธาตุที่ประกอบเป็นทรายส่วนมากเป็นควอร์ตหรือไมก้า

1. แหล่งกำเนิดของทราย

ทรายมีแหล่งกำเนิด 2 ลักษณะ ดังนี้

1.1 ทรายบกหรือทรายบ่อ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินทรายที่ถูกทับถมฝังอยู่ใต้ดิน หรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ คือ แม่น้ำเกิดแห้งขอดแปรสภาพเป็นพื้นดิน การนำทรายบกมาใช้ต้องทำการเปิดหน้าดินก่อนลึกประมาณ 2-10 เมตร เนื่องจากบริเวณหน้าดินจะมีซากพืช ซากสัตว์ที่ตายทับถมอยู่ ทำให้ทรายไม่สะอาด เม็ดทรายไม่กลมมนเรียบร้อยนัก

1.2 ทรายแม่น้ำ เป็นทรายที่เกิดจากการกัดเซาะของกระแสน้ำพัดพาไปตามแหล่งน้ำ โดยทรายยังมีขนาดใหญ่จะยังตกตะกอนอยู่บริเวณต้นน้ำ ส่วนทรายที่เม็ดเล็กจะถูกพัดพาไป

ตกบริเวณท้ายน้ำ ทรายแม่น้ำเป็นทรายที่สะอาด เนื่องจากมีการขัดสีไปตลอดทาง รูปร่างของทรายจะมีลักษณะค่อนข้างกลมไม่มีเหลี่ยมคม

2. ประสิทธิภาพการใช้ทรายเป็นวัสดุตัวกรอง

ทรายที่นิยมใช้ในการกรองคือ ทรายซิลิกา หรือมักเรียกโดยทั่วไปว่า ทรายแม่น้ำ ทรายที่มีคุณภาพดีต้องไม่มีหินปูน (Lime Stone) ซึ่งมีเนื้ออ่อนและละลายน้ำได้ดีปะปน อาจทดสอบได้โดยการแช่กรดเกลือความเข้มข้น 24 ชั่วโมง ถ้าน้ำหนักทรายหายไปเกิน 5% ถือว่าใช้ไม่ได้ ประสิทธิภาพการใช้ทรายเป็นตัวกรองขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดทรายและความหนาของชั้นทราย (ผ่อง พรรณ สุ่มมาตย์, 2547: 14-15)

เถ้าแกลบดำ (rice husk ash)

ในการสีข้าวจะได้แกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้ง ปริมาณของแกลบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณข้าวเปลือก และถ้าเผาแกลบเหล่านี้จะได้เป็นเถ้าแกลบ ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้ในปริมาณมาก ทำให้ในแต่ละปีมีเถ้าแกลบเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก แกลบส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงสี ส่วนที่เหลือจะถูกเผาทิ้งไป ดังนั้นจะมีเถ้าแกลบปริมาณมากที่ถูกทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์

ประเภทของเถ้าแกลบ

การเผาแกลบที่อุณหภูมิต่างๆ กันจะได้เถ้าแกลบที่มีสีและคุณลมบัติต่างกัน เถ้าแกลบขาวได้จากการค่อยๆ เผาที่อุณหภูมิต่ำโดยมีความชื้นพอประมาณ หรือได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิต่ำจนได้สีเทาแล้วค่อยๆ เผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส จนเปลี่ยนเป็นสีขาว ส่วนเถ้าแกลบสีเทาได้จากได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส และเถ้าแกลบดำได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงแต่ไม่เกิน 1,200 องศาเซลเซียส เช่น ได้จากการเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงสีข้าว

คุณสมบัติทั่วไปของเถ้าแกลบดำ

เถ้าแกลบดำประกอบด้วยซิลิกาประมาณ 70-95% และมีคาร์บอนประมาณ 5-30% ที่เหลือเป็น CaO, MgO, NaO_2, K_2O, Al_2O_3, Fe_2O_3 และ Sulp0hates โครงสร้างของซิลิกาเป็นโพรงซึ่งทำหน้าที่ในการกรองได้ดี การมีด่านปนอยู่ด้วยจะช่วยในการฟอกสีและดูดกลิ่นได้ด้วย (ผ่องพรรณ สุ่มมาตย์, 2547 : 14) โดยแสดงส่วนประกอบของเถ้าแกลบดำ ดังตาราง 2

ตาราง 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำ

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
1. Silicon dioxide, SiO_2	91.16
2. Alluminium oxide, Al_2O_3	0.51
3. Ferric oxide, Fe_2O_3	0.86
4. Calcium oxide, CaO	0.57
5. Magnesium oxide, MgO	0.24
6. Sulphur oxide, SO_2	Trace
7. Sodium oxide, Na_2O_3	0.07
8. Potassium oxide, K_2O	2.88
9. Loss of ignition	0.24

ที่มา : อดิศักดิ์ อัญชลิสังกาศ (2546: 21-22)

2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 งานวิจัยในประเทศ

สุมงคล กัลยาณี (2545) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลโดยใช้ทรายไม่คัดขนาดและถ่านเป็นตัวกรอง แบ่งเป็น 3 ชุด ชุดที่ 1 ทรายไม่คัดขนาดสูง 30 เซนติเมตร ถ่านสูง 50 เซนติเมตร ชุดที่ 2 ทรายไม่คัดขนาดสูง 40 เซนติเมตร ถ่านสูง 40 เซนติเมตร ชุดที่ 3 ทรายไม่คัดขนาดสูง 50 เซนติเมตร ถ่านสูง 30 เซนติเมตร น้ำตัวอย่างเป็นน้ำบาดาลสังเคราะห์มีความเข้มข้นของเหล็ก 3,7 และ 12 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการกรอง 1 และ 2 แกลลอน/นาที/ตารางฟุต พบว่า ตัวกรองชุดที่ 3 และชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพมากกว่าตัวกรองชุดที่ 1 และอัตรากรอง 1 แกลลอน/นาที/ตารางฟุต มีประสิทธิภาพมากกว่าอัตรากรอง 2 แกลลอน/นาที/ตารางฟุต อายุการใช้งานของตัวกรองชุดที่ 1 นานกว่าชุดที่ 2 และตัวกรองชุดที่ 3 ตามลำดับ และอัตรากรอง 1 แกลลอน/นาที/ตารางฟุต มีอายุการใช้งานนานกว่าอัตรากรอง 2 แกลลอน/นาที/ตารางฟุต

วรชาติ พวงเงิน (2547) ได้ศึกษาการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลบ่อตื้นโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากการทำนา จำนวน 2 บ่อ บ่อที่ 1 มีเหล็กน้อยกว่า 10 มก./ล. ทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กของแกลบและฟางข้าว และใช้ทรายกรองและหินเกล็ดเป็นสารกรองอ้างอิง และบ่อที่ 2 มีเหล็กมากกว่า 10 มก./ล. ทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กของแกลบที่มีความหนา 20, 30, 40 และ 50 ซม. และผลของการเติมอากาศและการดูดซับโดยแกลบ พบว่า ในน้ำบาดาลที่มีเหล็กน้อยกว่า 10 มก./ล. แกลบสามารถกรองเหล็กได้ดีกว่าฟางข้าว ประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กเฉลี่ยร้อยละ 59.25 ใกล้เคียงกับทรายกรองและหินเกล็ด ในขณะที่ฟางข้าวสามารถกรองเหล็กได้เพียงร้อยละ 19.00 ส่วนในน้ำบาดาลที่มีเหล็กมากกว่า 10 มก./ล. ความหนาของแกลบไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดเหล็ก การเติมอากาศ, การดูดซับโดยแกลบ และการกรองทำให้ปริมาณทำให้ปริมาณเหล็กลดลงเฉลี่ยร้อยละ 10, 15 และ 45 ตามลำดับ

จิรโรจน์ แดงวัง และโสภณ ดีมาก (2549) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณสนิมเหล็กในน้ำบาดาลโดยใช้แกลบดำที่ความหนา 30 เซนติเมตร และความหนา 50 เซนติเมตร เป็นส่วนประกอบในวัสดุกรองน้ำ และเปรียบเทียบคุณภาพในการใช้แกลบดำกับการใช้กรวด ทราย และถ่านในการกรองสนิมเหล็ก พบว่า แกลบดำที่มีความหนา 30 เซนติเมตร สามารถลดปริมาณเหล็กได้ดีกว่าที่ความหนา 50 เซนติเมตรเล็กน้อย และผลการเปรียบเทียบการใช้แกลบดำที่ความหนา 30 เซนติเมตร และ 50 เซนติเมตรเป็นวัสดุกรองร่วมกับกรวด ทรายและถ่าน พบว่า การใช้แกลบดำที่ความหนา 30 เซนติเมตร ดีกว่าความหนาที่ 50 เซนติเมตรเล็กน้อย

พัชรินทร์ ตังติเวชกุล (2549) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ Fe(III) และ Mn (II) ในสารสารละลายโดยใช้ถ่านที่เตรียมจากไมยราบยักษ์ แกลบดำ และไคโตซานจากกระดองปูนา จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับตัวดูดซับมาตรฐาน นั่นคือ ไคโตซานมาตรฐาน และActivated charcoal พบว่า ไคโตซานมีประสิทธิภาพในการดูดซับ Fe(III) ได้สูงที่สุด และแกลบดำมีประสิทธิภาพการดูดซับ Fe(III)ได้น้อยที่สุด และสำหรับ Mn (II) พบว่า Activated charcoal มีประสิทธิภาพการดูดซับ Mn (II) ดีที่สุด แกลบดำมีประสิทธิภาพการดูดซับ Mn (II) ได้น้อยที่สุด

ธนากร อุทัยดา (2552) ได้ศึกษาการพัฒนาตัวดูดซับโลหะหนักจากวัสดุท้องถิ่น โดยใช้ขี้เลื่อยไม้จามจุรี กะลามะพร้าวและซังข้าวโพด ในการกำจัดโลหะหนักเหล็กและตะกั่วด้วยการดูดซับแบบคอลัมน์ พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักเหล็กร่วมกับการตกตะกอนของตัวดูดซับจากขี้เลื่อยไม้จามจุรี กะลามะพร้าวและซังข้าวโพด มีประสิทธิภาพในการดูดซับคิดเป็นร้อยละ 99.63, 99.82 และ 99.77 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักตะกั่วของตัวดูดซับจากขี้เลื่อยไม้จามจุรี กะลามะพร้าวและซังข้าวโพด มีประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 99.07, 98.54 และ99.19 ตามลำดับประสิทธิภาพของตัวดูดซับแบบผสมในการดูดซับโลหะหนักเหล็กและตะกั่ว พบว่า การดูดซับเหล็กร่วมกับการตกตะกอนของตัวดูดซับแบบผสม คิดเป็นร้อยละ 99.85 ส่วนประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักตะกั่ว คิดเป็นร้อยละ 99.39

จักรกฤษณ์ ภัทรวรานนท์ (2553) ศึกษาการกำจัดเหล็กและความขุ่นในแหล่งน้ำผิวดินโดยใช้ถ่านกระดูกสุกรและถ่านกระดูกโค โดยศึกษาเปรียบเทียบผลของเวลาสัมผัส ปริมาณถ่านกระดูก และพีเอช ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด ใช้การทดลองแบบคอลัมน์ พบว่า เวลาสัมผัสและปริมาณถ่านกระดูกมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กและความขุ่น โดยสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็กด้วยถ่านกระดูกสุกรและกระดูกโคคือ ที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 135 และ 150 นาที ปริมาณถ่านกระดูกเท่ากันคือ 1.0 กรัม และพีเอช 7 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่นด้วยถ่านกระดูกสุกรและกระดูกโคคือ เท่ากันทุกสภาวะที่เวลาสัมผัสเท่ากับ 48 ชั่วโมง ปริมาณถ่านกระดูก 1.0 กรัม และพีเอช 7 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดกับน้ำผิวดินของสำนักงานประปาสีคิ้วผ่านคอลัมน์เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร อัตราการไหล 600 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กได้ 94.87% และ 95.56% ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้ ร้อยละ 59.46 และ ร้อยละ 57.64 ตามลำดับ

อนันต์ ตันติจรูญโรจน์ (2553) ศึกษาการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำโดยใช้เปลือกไข่ถ่านกัมมันต์และเถ้าแกลบดำ โดยกระบวนการดูดติดผิวใช้การทดลองแบบต่อเนื่องด้วยถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์ ความสูง 60 เซนติเมตร พบว่า วัสดุดูดติดผิวทุกชนิดมีประสิทธิภาพการลดปริมาณฟลูออไรด์มากกว่า ร้อยละ 40 โดยเปลือกไข่มีประสิทธิภาพสูงสุด ร้อยละ61.8 รองลงมาคือถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 53.4 และเถ้าแกลบดำ ร้อยละ 42.5 เมื่อนำวัสดุดูดติดผิวทั้ง 3 ชนิดมาเรียงตัวกันในรูปแบบที่

แตกต่างกันพบว่าประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์ไม่แตกต่างกัน และเมื่อนำวัสดุดูดติดผิวมาคลุกรวมกัน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์ ร้อยละ 62

2.8.2 งานวิจัยต่างประเทศ

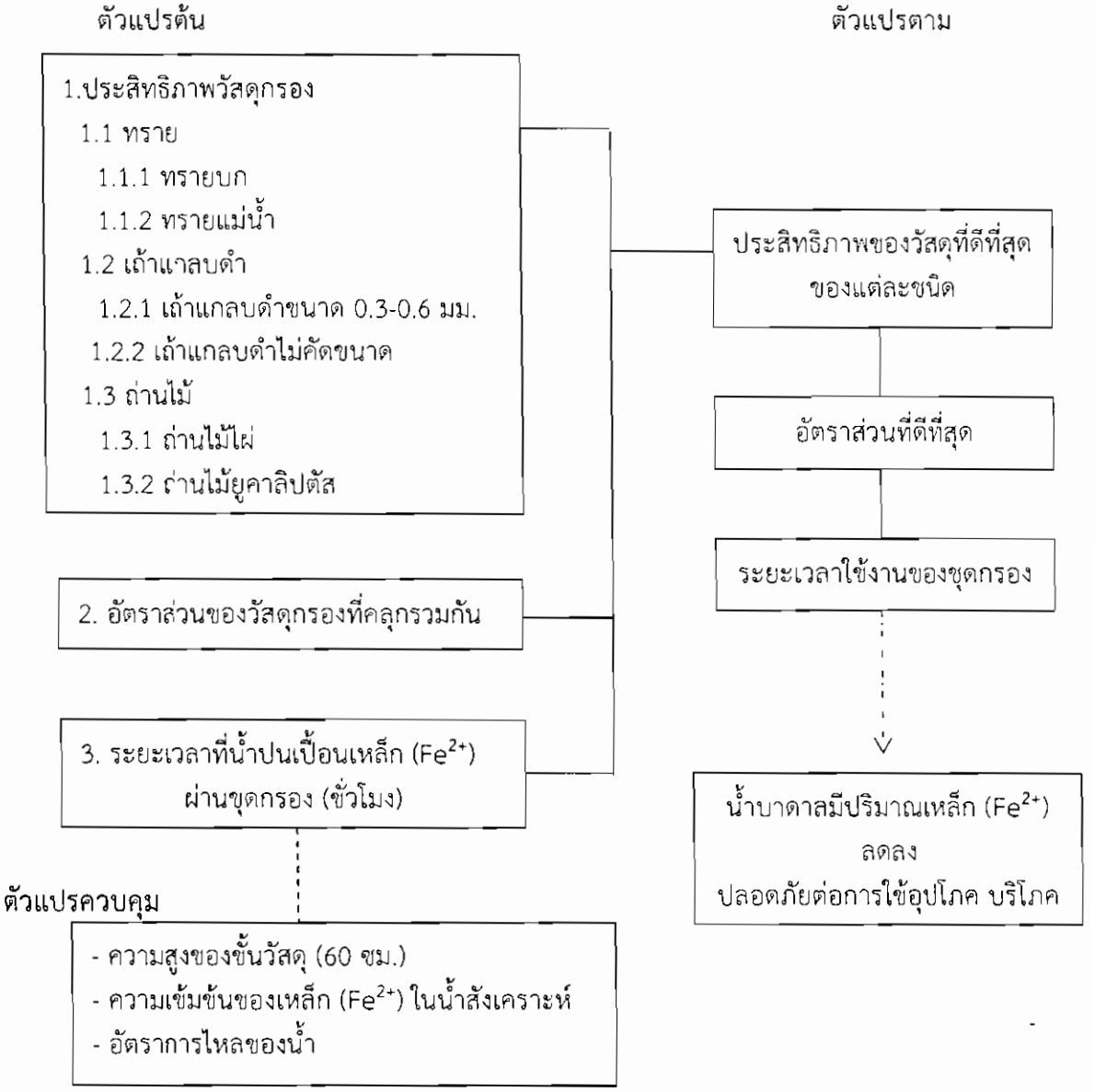
Juan et al. (2010) ศึกษาการกำจัด แมงกานีส (Mn^{2+}) เหล็ก (Fe^{2+}) นิกเกิล (Ni^{2+}) และทองแดง (Cu^{2+}) ออกจากน้ำเสียโดยใช้การดูดซับด้วยถ่านกระดูกวัว พบว่า ถ่านกระดูกวัวมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในระดับความเข้มข้นที่ศึกษา โดยดูดซับทองแดงได้มากที่สุด รองลงมาคือนิกเกิล เหล็กและแมงกานีส ตามลำดับไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับ ไอโซเทอมของ Langmuir

Ezlina et al. (2010) ศึกษาความเหมาะสมของทรายซึ่งเป็นตัวดูดซับที่มีราคาถูกในการกำจัด แอมโมเนียของไนโตรเจน เหล็กและสังกะสี ในน้ำชะมูลฝอยจากบ่อฝังกลบ Palau landfill site (PBLS) เมืองปีนัง ประเทศมาเลเซีย พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด แอมโมเนียของไนโตรเจน เหล็กและสังกะสี เท่ากับ ร้อยละ 51, 44.4 และ 39.2 ตามลำดับ ที่เวลาในการเขย่า 90 นาที และปริมาณของทราย 60 กรัม (0.5 กิโลกรัม/ลิตร)

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีการศึกษาในประเทศและต่างประเทศอย่างกว้างขวาง เกี่ยวกับการนำวัสดุต่างๆ มาใช้ในการกำจัดเหล็ก และโลหะหนักอื่นๆ ในน้ำ โดยเฉพาะในน้ำดื่มที่ปัจจุบันพบว่ามีการปนเปื้อนจนอยู่ในระดับที่เป็นอันตราย แต่จากปัญหาการขาดแคลนน้ำทำให้จำเป็นต้องใช้น้ำดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาความสามารถของ ทรายบก ทรายแม่น้ำ เถ้าแกลบดำคัดขนาด เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ถ่านไม้ไผ่ และถ่านไม้ยูคาลิปตัส มาใช้ในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาล ให้ได้ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับการบริโภคตามมาตรฐานของกรมอนามัย ที่ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร

2.9 กรอบแนวคิดการวิจัย

ได้กำหนดกรอบแนวคิดและตัวแปรในการวิจัยเพื่อลดปริมาณเหล็กในน้ำบาดาล โดยใช้ทราย เถ้าแกลบดำและถ่านไม้ ดังนี้



ภาพประกอบ 2.3 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ออกจากน้ำ ของทรายบก ทรายแม่น้ำ เถ้าแกลบดำคัดขนาด เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ถ่านไม้ยูคาลิปตัส และถ่านไม้ไผ่ ผู้ศึกษาได้กำหนดขั้นตอนวิธีการศึกษาตามลำดับ ดังนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2 วิธีการทดลอง

3.3 ศึกษาอายุการใช้งานของชุดกรองในการลดบริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำเมื่อใช้น้ำจากบ่อบาดาลจริง

3.4 ระยะเวลาในการวิจัย

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าอย่างละเอียด (Analytical Balance) ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.2 นาฬิกาสำหรับจับเวลา

3.1.3 ขวดพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ ความจุ 1 ลิตร

3.1.4 สารเคมีที่ใช้ได้แก่ เฟอร์รัสซัลเฟต [$Fe_2(SO_4)$] ของบริษัท Ajax Finechem Pty Ltd. Lot No.1201359

3.1.5 ทราย ได้แก่ ทรายบก และทรายแม่น้ำ

3.1.6 เถ้าแกลบดำ ได้แก่ เถ้าแกลบดำคัดขนาด(0.3-0.6 มม.) และเถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด

3.1.7 ถ่าน ได้แก่ ถ่านไม้ไผ่ และถ่านไม้ยูคาลิปตัส

3.1.8 ถังกรองทรงกระบอกสูง ทำด้วยพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 1 เมตร

3.1.9 เครื่องบด

3.1.10 ตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 30 และ 50

3.1.11 เครื่องตรวจวิเคราะห์โลหะหนัก Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ศูนย์อีพีซี (Environment Protection Center) ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3.1.12 น้ำกลั่นปราศจากไอออน

3.1.13 กรวด

3.1.14 กระบอกฉีดยาปริมาตร 50 มล.

3.1.15 สายยางพลาสติก

3.1.16 ชุดทดสอบเหล็ก (Fe^{2+}) ภาคสนาม (Iron Field Test Kit) บริษัท ไฮเออร์ .อ็นท์เตอร์-ไพรส์ จำกัด

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 เตรียมตัวอย่างน้ำปนเปื้อนเหล็กสังเคราะห์ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.2 การเตรียมวัสดุกรอง

3.2.2.1 การเตรียมทราย ใช้ทรายบกในพื้นที่ตำบลโพนทรายและทรายแม่น้ำจากแม่น้ำเสียว อำเภอโพนทราย คัดสิ่งปนเปื้อนออก

3.2.2.2 การเตรียมถ้าแกลบดำ ใช้ถ้าแกรบดำจากโรงงานผลิตไฟฟ้าอำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ต นำมาบด จากนั้นแบ่งเป็นถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด และคัดให้มีขนาด 0.3-0.6 มิลลิเมตร โดยร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 และค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 50

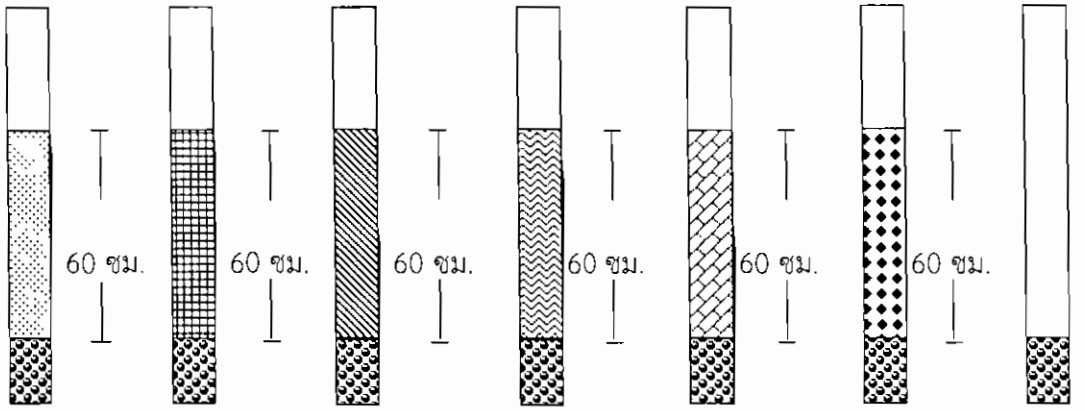
3.2.2.3 การเตรียมถ่านไม้ นำถ่านไม้ไผ่และถ่านไม้ยูคาลิปตัสมาบด ให้มีขนาดประมาณ 1-5 เซนติเมตร

3.2.3 วิธีการทดลอง

3.2.3.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทราย ถ้าแกลบดำ และถ่านไม้ ในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ

1) เตรียมน้ำที่มีเหล็ก (Fe^{2+}) สังเคราะห์ ความเข้มข้นเท่ากับ 40 มก./ล นำน้ำเหล็ก (Fe^{2+}) สังเคราะห์ ลงในคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุกรอง สูง 60 เซนติเมตร ในคอลัมน์ทรงกระบอกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 1 เมตร ที่ภายในบรรจุกรวดสูง 10 เซนติเมตร โดยไม่ต้องกระทุ้งวัสดุตัวกรอง จำนวน 7 คอลัมน์ ดังนี้

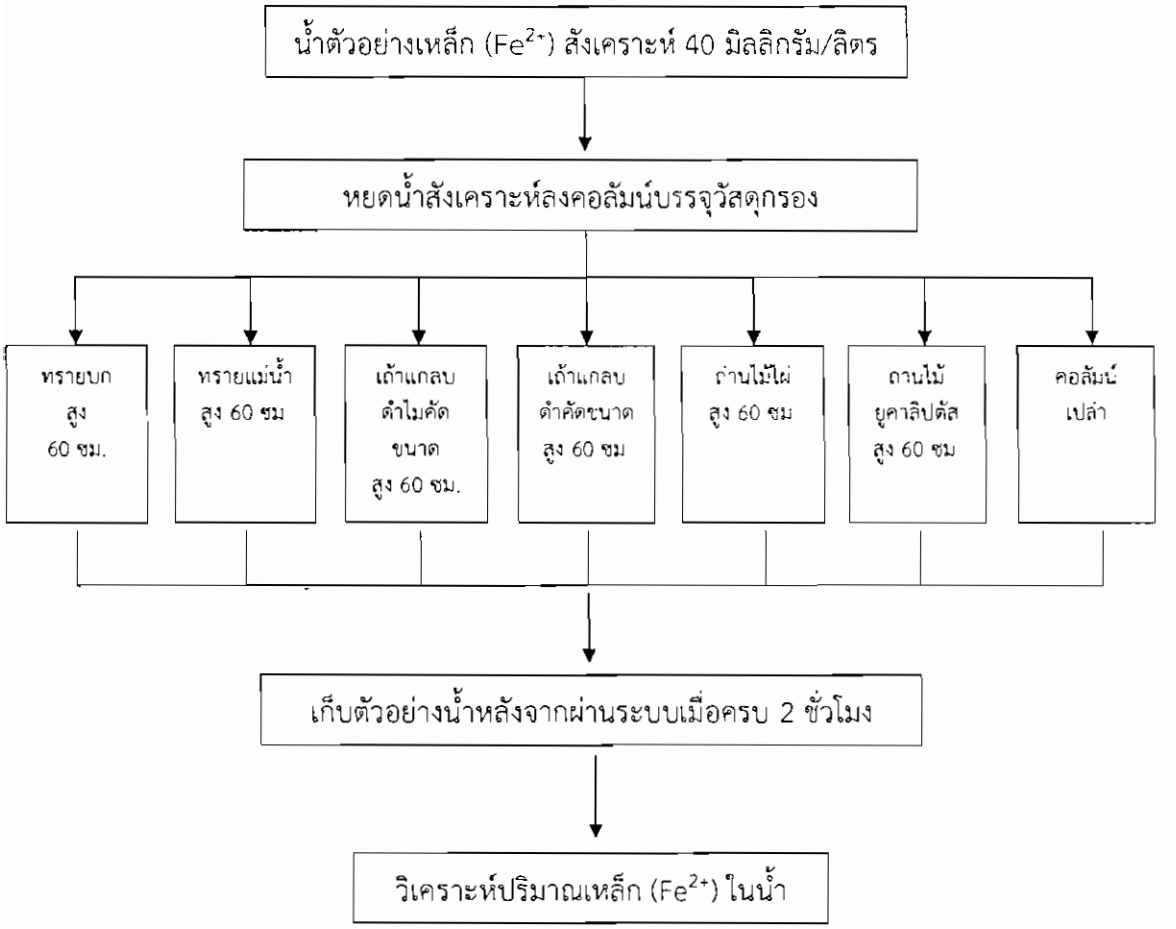
คอลัมน์ที่ 1 บรรจุทรายบกสูง	60 เซนติเมตร
คอลัมน์ที่ 2 บรรจุทรายแม่น้ำสูง	60 เซนติเมตร
คอลัมน์ที่ 3 บรรจุถ้าแกลบดำขนาด 0.3-0.6 มม. สูง	60 เซนติเมตร
คอลัมน์ที่ 4 บรรจุถ้าแกลบดำไม่คัดขนาดสูง	60 เซนติเมตร
คอลัมน์ที่ 5 บรรจุถ่านไม้ไผ่สูง	60 เซนติเมตร
คอลัมน์ที่ 6 บรรจุถ่านไม้ยูคาลิปตัสสูง	60 เซนติเมตร
คอลัมน์ที่ 7 ไม่มีวัสดุกรอง	(กลุ่มควบคุม)



ภาพประกอบ 3.1 แสดงการบรรจุวัสดุกรองในคอลัมน์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ

2) เดินน้ำผ่านระบบแบบไหลลงอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตรต่อชั่วโมง และเก็บตัวอย่างน้ำหลังจากผ่านระบบเมื่อครบ 2 ชั่วโมง

3) วิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยเปลี่ยนวัสดุกรองชุดใหม่ทุกครั้ง วิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัสดุกรองแต่ละชนิด เพื่อหาวัสดุกรองที่ดีที่สุดของแต่ละชนิด (ทราย, เถ้าแกลบดำ,ถ่านไม้)



ภาพประกอบ 3.2 แสดงการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำสังเคราะห์แบบต่อเนื่องของวัสดุกรองแต่ละชนิด

3.2.3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำเมื่อใช้วัสดุกรองที่คลุกรวมกัน

1) เตรียมน้ำเหล็ก (Fe^{2+}) สังเคราะห์ 40 มก./ล นำน้ำเหล็ก (Fe^{2+}) สังเคราะห์ ลงในคอลัมน์ที่บรรจุสารกรองที่ดีที่สุดของแต่ละชนิด (ทราย, เถ้าแกลบดำ, ถ่านไม้) ที่ได้จากการทดลองที่ 3.1 มาคลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยอัตราส่วนของปริมาณ ทราย : เถ้าแกลบดำ : ถ่าน คือ 1:1:1 , 2:1:1 , 1:2:1 และ 1:1:2 จากนั้นใส่ลงในคอลัมน์กระบอกสูง 1 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ที่ภายในบรรจุกรวดสูง 10 เซนติเมตร โดยไม่ต้องกระทุ้งวัสดุตัวกรอง ความสูงของวัสดุกรอง 60 เซนติเมตร (ทราย+เถ้าแกลบดำ+ถ่านไม้) จำนวน 5 คอลัมน์ ดังนี้

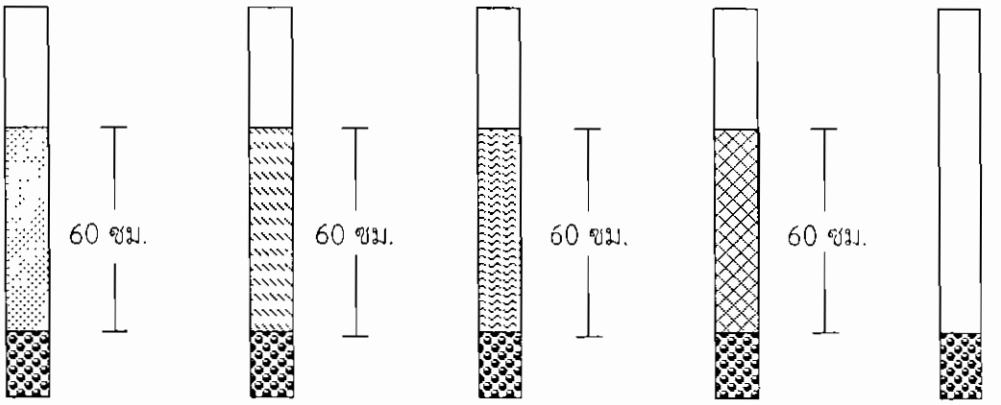
คอลัมน์ที่ 1 ใช้ทรายสูง 20 เซนติเมตร , เถ้าแกลบดำสูง 20 เซนติเมตร และถ่านสูง 20 เซนติเมตร

คอลัมน์ที่ 2 ใช้ทรายสูง 30 เซนติเมตร , เถ้าแกลบดำสูง 15 เซนติเมตร และถ่านสูง 15 เซนติเมตร

คอลัมน์ที่ 3 ใช้ทรายสูง 15 เซนติเมตร, เถ้าแกลบดำสูง 30 เซนติเมตร และถ่านสูง 15 เซนติเมตร

คอลัมน์ที่ 4 ใช้ทรายสูง 15 เซนติเมตร , เถ้าแกลบสูง 15 เซนติเมตร และถ่านสูง 30 เซนติเมตร

คอลัมน์ที่ 5 กลุ่มควบคุม (คอลัมน์เปล่า)

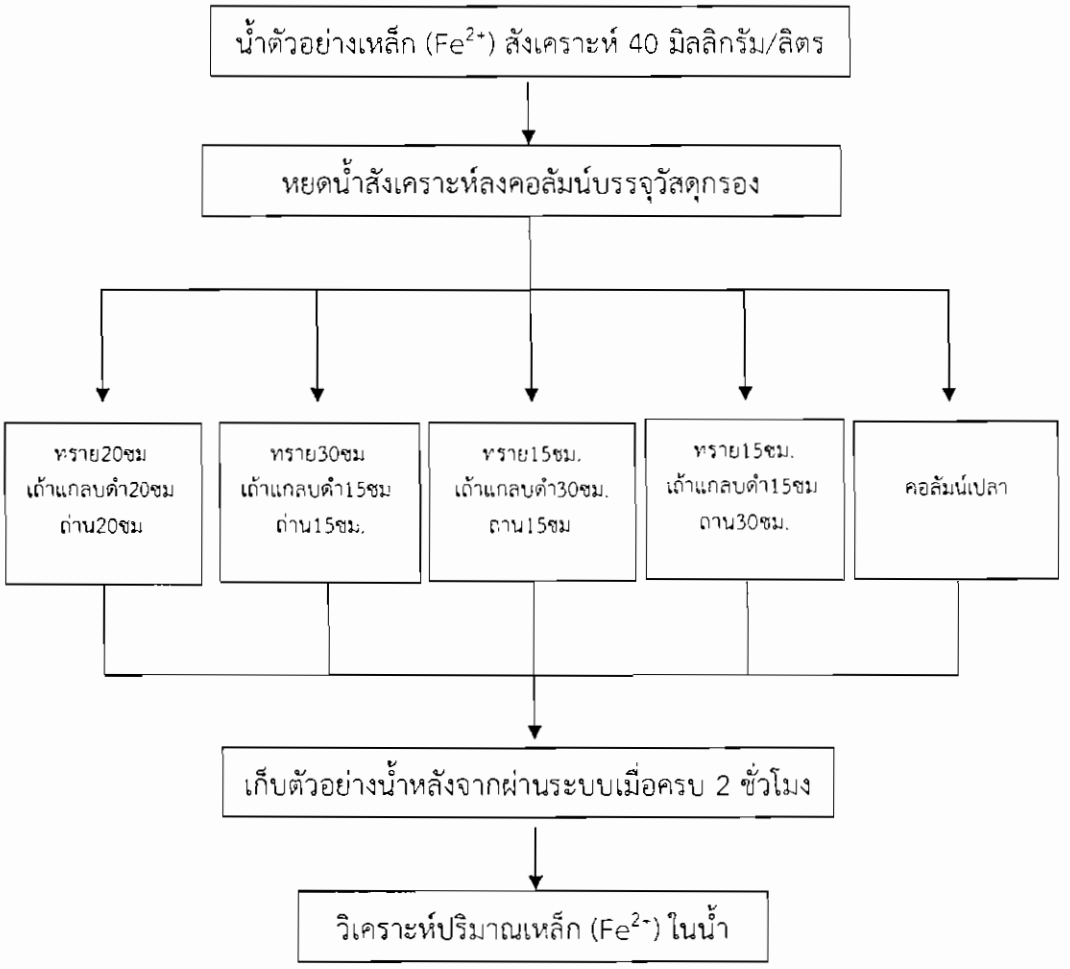


คอลัมน์ที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 คอลัมน์ที่ 3 คอลัมน์ที่ 4 คอลัมน์ที่ 5

ภาพประกอบ 3.3 แสดงการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำสังเคราะห์แบบต่อเนื่องของวัสดุกรอง เมื่อนำมาผสมกัน ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

2) เดินน้ำผ่านระบบแบบไหลลงอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตรต่อชั่วโมง และเก็บตัวอย่างน้ำหลังจากผ่านระบบเมื่อครบ 2 ชั่วโมง

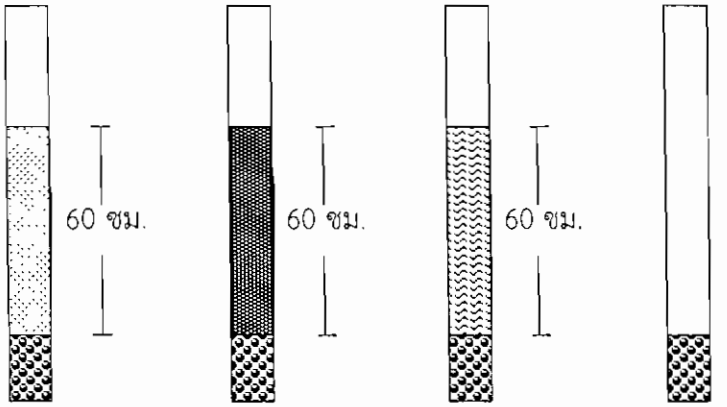
3.2.3.3 วิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยเปลี่ยนวัสดุกรองชุดใหม่ทุกครั้ง ประเมินประสิทธิภาพของวัสดุกรองเมื่อใช้วัสดุที่ผสมรวมกัน



ภาพประกอบ 3.4 แสดงการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อนำเอาวัสดุกรองผสมคลุกรวมกัน

3.3 ศึกษาอายุการใช้งานของชุดกรองในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำเมื่อใช้น้ำจากบ่อบาดาลจริง

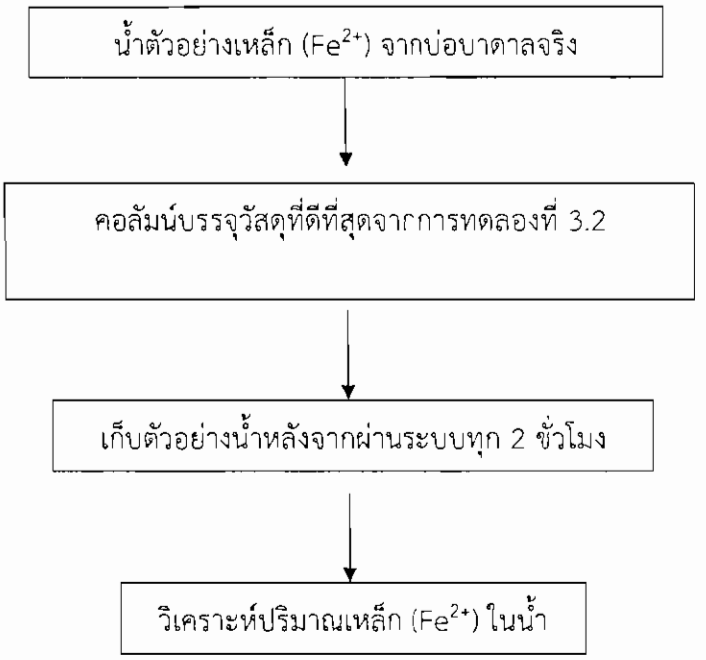
3.3.1 นำน้ำจากบ่อบาดาลจริง จำนวน 1 ตัวอย่าง วัดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ปนเปื้อน ลงในคอลัมน์ทรงกระบอกสูง 1 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ที่ภายในบรรจุกรวดสูง 10 เซนติเมตร โดยไม่ต้องกระทุ้งวัสดุตัวกรอง ความสูงของวัสดุกรอง 60 เซนติเมตรจำนวน 4 คอลัมน์



ภาพประกอบ 3.5 แสดงการศึกษาระยะเวลาในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อนำเอาวัสดุกรองผสมคลุกรวมกัน

3.3.2 เดินน้ำผ่านระบบแบบไหลลงอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตรต่อชั่วโมง และเก็บตัวอย่างน้ำหลังจากผ่านระบบทุก 2 ชั่วโมง

3.3.3 วิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ ด้วยชุดทดสอบเหล็ก (Fe^{2+}) ภาคสนาม (Iron Field Test Kit) จนกว่าปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่วัดได้มีค่าเกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในการบริโภคได้มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับเหล็กในน้ำไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยเปลี่ยนวัสดุกรองชุดใหม่ทุกครั้ง ประเมินอายุการใช้งานของชุดตัวกรอง



ภาพประกอบ 3.6 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำเมื่อใช้น้ำจากบ่อบาดาลบ่อจริง

3.4 ระยะเวลาในการวิจัย

ระยะที่ใช้ในการศึกษาตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2555 – เดือนตุลาคม 2556

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละ

3.5.2 สถิติทดสอบสมมติฐานใช้ Independent Samples t-test และ F-test (One-Way analysis of Varience)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาวิจัยเรื่อง การกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลโดยใช้ทราย เถ้าแกลบดำ และถ่านไม้ ผลการศึกษาแสดงตามหัวข้อดังนี้

4.1การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ เมื่อใช้วัสดุกรองที่แตกต่างกัน

4.2การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ เมื่อนำวัสดุกรองมาคลุกรวมกัน ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

4.3การศึกษาอายุการใช้งานของชุดตัวกรองในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ออกจากน้ำบาดาลบ่อจริง

4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ เมื่อใช้วัสดุกรองที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) โดยใช้น้ำเหล็กสังเคราะห์ ความเข้มข้นเท่ากับ 40 มก./ล. ปริมาตรเท่ากับ 2,000 มล. ใช้วัสดุกรองได้แก่ ทรายบก ทรายแม่น้ำ เถ้าแกสบดำคัดขนาด เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ถ่านไม้ไผ่ และถ่านไม้ยูคาลิปตัส

ผลการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของ ถ่านไม้ยูคาลิปตัสเท่ากับ 0.010มก./ล ถ่านไม้ไผ่ 0.096 มก./ล. ทรายแม่น้ำ 0.276มก./ล. เถ้าแกลบดำคัดขนาด 0.451 มก./ล. เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด 0.564 มก./ล. และ ทรายบก 1.326 มก./ล. ดังแสดงในตาราง

ตาราง 4.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก เมื่อใช้วัสดุกรองที่แตกต่างกัน

ชนิดวัสดุกรอง	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ
	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มก./ล)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มก./ล)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มก./ล)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มก./ล)	ในการกำจัด (%)
ทรายแม่น้ำ	0.555	0.139	0.136	0.276	99.31
ทรายบก	1.104	2.605	0.271	1.326	96.69
เถ้าแกลบดำคัดขนาด	0.645	0.368	0.342	0.451	98.86
เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด	0.408	0.444	0.842	0.564	98.59
ถ่านไม้ยูคาลิปตัส	0.029	0.001	0.001	0.010	99.98
ถ่านไม้ไผ่	0.117	0.050	0.121	0.096	99.76

จากตาราง 4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก(Fe^{2+}) โดยใช้วัสดุทั้ง 6 ชนิด พบว่า วัสดุทุกชนิดมีประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยที่ถ่านไม้ยูคาลิปตัสมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ร้อยละ 99.98 รองลงมาคือ ถ่านไม้ไผ่ ร้อยละ 99.76 ทรายแม่น้ำ ร้อยละ 99.31 เถ้าแกลบดำคัดขนาด ร้อยละ 98.86 เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ร้อยละ 98.59 ส่านทรายบกมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 96.69

ตาราง 4.2 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของทรายแม่น้ำและทรายบก

ชนิดสารกรอง	n	$\bar{X}$(mg/l)	S.D.	t	df	P
ทรายแม่น้ำ	3	0.276	0.242	-1.509	4	0.206
ทรายบก	3	1.326	1.182			

จากตาราง 4.2 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือจากการใช้วัสดุกรองแตกต่างกัน คือ ทรายแม่น้ำ (0.275 มก./ล.) และทรายบก (1.326 มก./ล.) พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ของวัสดุกรองทั้งสองชนิด ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p=0.206)

ตาราง 4.3 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็กที่เหลือของเถ้าแกลบดำคัดขนาดและเถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด

ชนิดสารกรอง	n	$\bar{X}$(mg/l)	S.D.	t	df	P
เถ้าแกลบดำคัดขนาด	3	0.451	0.167	-0.667	4	0.542
เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด	3	0.564	0.240			

จากตาราง 4.3 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือจากการใช้วัสดุกรองแตกต่างกัน คือ เถ้าแกลบดำคัดขนาด (0.451 มก./ล.) และเถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด (0.564 มก./ล.) พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ของวัสดุกรองทั้งสองชนิด ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p=0.542)

ตาราง 4.4 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของถ่านไม้ยูคาลิปตัสและถ่านไม้ไผ่

ชนิดสารกรอง	n	$\bar{X}$(mg/l)	S.D.	t	df	P
ถ่านไม้ยูคาลิปตัส	3	0.010	0.161	-3.448	4	0.026*
ถ่านไม้ไผ่	3	0.096	0.398			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 4.4 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือจากการใช้วัสดุกรองแตกต่างกัน คือ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส (0.010 มก./ล.) และถ่านไม้ไผ่ (0.096 มก./ล.) พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ของวัสดุกรองทั้งสองชนิดแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p=0.026)

4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ เมื่อนำวัสดุกรองมาผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ โดยใช้น้ำสังเคราะห์ความเข้มข้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรเท่ากับ 2,000 มล. ใช้วัสดุกรองได้แก่ ทรายแม่น้ำ ถ่านแกลบดำคัดขนาด (0.3-0.6 มม.) และ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส มาผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกันจำนวน 4 อัตราส่วน ได้แก่ อัตราส่วนที่ 1 (ทรายแม่น้ำ 20 ซม. ถ่านแกลบดำคัดขนาด 20 ซม. ถ่านไม้ยูคาลิปตัส 20 ซม.) อัตราส่วนที่ 2 (ทรายแม่น้ำ 30 ซม.ถ่านแกลบดำคัดขนาด 15 ซม. ถ่านไม้ยูคาลิปตัส 15 ซ.ม.) อัตราส่วนที่ 3 (ทรายแม่น้ำ 15 ซม. ถ่านแกลบดำคัดขนาด 30 ซ.ม.ถ่านไม้ยูคาลิปตัส 15 ซม.) และ อัตราส่วนที่ 4 (ทรายแม่น้ำ 15 ซม. ถ่านแกลบดำคัดขนาด 15 ซม. ถ่านไม้ยูคาลิปตัส 30 ซม.) เก็บตัวอย่างน้ำเมื่อน้ำผ่านระบบครบ 2 ชั่วโมง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+})

ตาราง 4.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก(Fe^{2+}) เมื่อผสมวัสดุกรองในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

คอลัมน์บรรจุสารกรอง	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ประสิทธิภาพ
	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มก./ล)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มก./ล)	ปริมาณเหล็กทีเหลือ (มก./ล)	ปริมาณเหล็กที่เหลือ (มก./ล)	ในการกำจัด (%)
อัตราส่วนที่ 1	0.213	0.221	0.056	0.163	99.58
อัตราส่วนที่ 2	0.179	0.158	0.332	0.223	99.44
อัตราส่วนที่ 3	0.062	0.053	0.192	0.102	99.74
อัตราส่วนที่ 4	2.230	1.740	2.400	2.123	94.69

จากตาราง 4.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อผสมวัสดุในอัตราส่วนที่แตกต่างกันจำนวน 4 คอลัมน์ พบว่า ทุกคอลัมน์มีประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ได้มากกว่า ร้อยละ 90 โดยที่อัตราส่วนที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ร้อยละ 99.74 รองลงมาคือ อัตราส่วนที่ 1 ร้อยละ 99.58 อัตราส่วนที่ 2 ร้อยละ 99.44 ส่วนอัตราส่วนที่ 4 มีประสิทธิภาพต่ำสุด คือ ร้อยละ 94.69

ตาราง 4.6 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือจากการใช้วัสดุกรองมาผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

ชนิดอัตราส่วน	อัตราส่วน 1	อัตราส่วน 2	อัตราส่วน 3	อัตราส่วน 4	F-test	p
ปริมาณเหล็ก(Fe^{2+}) ที่เหลือ	0.163	0.223	0.102	2.123	81.886	0.001*

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตาราง 4.6 ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือจากการใช้วัสดุกรองมาผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน คือ อัตราส่วน 1 (0.163 มก./ล.) อัตราส่วน 2 (0.223 มก./ล.) อัตราส่วน 3 (0.102 มก./ล.) อัตราส่วน 4 (2.12 มก./ล.) พบว่า ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อใช้วัสดุกรองมาผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

A= อัตราส่วนที่ 1 (ทรายแม่น้ำสูง 20 ซม.+เถ้าแกลบดำคัดขนาดสูง 20 ซม.+ถ่านไม้ยูคาลิปตัสสูง 20 ซม.)

B= อัตราส่วนที่ 2 (ทรายแม่น้ำสูง 30 ซม.+เถ้าแกลบดำคัดขนาดสูง 15 ซม.+ถ่านไม้ยูคาลิปตัสสูง 15 ซ.ม).

C= อัตราส่วนที่ 3 (ทรายแม่น้ำสูง 15 ซม.+เถ้าแกลบดำคัดขนาดสูง 30 ซ.ม.+ถ่านไม้ยูคาลิปตัสสูง 15 ซม.)

D= อัดราส่วนที่ 4 (ทรายแม่น้ำสูง 15 ซม.+เถ้าแกสบดำคัดขนาดสูง 15 ซม.+ถ่านไม้ยูคาลิปตัสสูง 30 ซม.)

ตาราง 4.7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของวัสดุกรองเมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ก่อนบรรจุลงคอลัมน์ในอัตราส่วนดังต่อไปนี้

อัตราส่วน	ปริมาณเหล็ก (mg/l)
	-
A	0.163±0.093[a]
B	0.223±0.094[a]
C	0.102±0.077[a]
D	2.123±0.902[b]

[1/] Mean with the different letters are significantly different at $p<0.05$, Scheffe

จากตาราง 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของวัสดุกรองเมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังนี้

ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของอัตราส่วนที่ 1 ไม่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 2 และ 3 แต่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของอัตราส่วนที่ 2 ไม่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 1 และ 3 แต่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของอัตราส่วนที่ 3 ไม่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 1 และ 2 แต่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของอัตราส่วนที่ 4 แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 1,2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.3 การศึกษาระยะเวลาการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำจากบ่อบาดาลจริง เมื่อใช้วัสดุกรองมาผสมรวมกัน

จากการศึกษาระยะเวลาในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำโดยใช้น้ำจากบ่อน้ำบาดาลของโรงเรียนบ้านหนองยาง อำเภอโพนทราย จังหวัดร้อยเอ็ด ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 4 มก./ล. ด้วยวัสดุกรองที่นำมาผสมรวมกันประกอบด้วย ทรายแม่น้ำ 15 ซม. ถ้านแกลบดำคัดขนาด 30 ถ่านไม้ยูคาลิปตัส 15 ซม. เก็บตัวอย่างน้ำเมื่อผ่านระบบทุก 2 ชั่วโมง วิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบเหล็ก (Fe^{2-}) ภาคสนาม (Iron Field Test Kit) เพื่อศึกษาระยะเวลาในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ดังแสดงในภาคผนวก

ตาราง 4 8 ระยะเวลาที่น้ำผ่านระบบจนถึงมีค่าปริมาณเหล็ก เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

คอลัมน์บรรจุสารกรอง	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เวลา (ชั่วโมง)	144	150	148	147.33

จากตาราง 4.8 ผลการศึกษาระยะเวลาในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำจากบ่อบาดาลจริง เมื่อใช้วัสดุกรองมาผสมรวมกันที่อัตราการกรอง 1 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่า ชุดที่ 1 สามารถใช้ในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำได้นาน 144 ชั่วโมง ชุดที่ 2 สามารถใช้ในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำได้นาน 150 ชั่วโมง และชุดที่ 3 สามารถใช้ในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำได้นาน 148 ชั่วโมง ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาเมื่อนำสารกรองมาผสมรวมกัน คือ 147.33 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยเรื่อง การกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ออกจากน้ำบาดาลโดยใช้ทราย เถ้าแกลบดำ และถ่านไม้ครั้งนี้ มีลำดับขั้นตอนและผลการวิจัยดังนี้

5.1 สรุปผล

5.2 อภิปรายผล

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำโดยใช้ทราย ได้แก่ ทรายแม่น้ำ และทรายบก เถ้าแกลบดำ ได้แก่ เถ้าแกลบดำคัดขนาด และเถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ถ่านไม้ ได้แก่ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส และถ่านไม้ไผ่ สรุปผลการทดลองได้ว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของทรายแม่น้ำ เท่ากับ 0.276มก./ล. ทรายบก 1.326 มก./ล. เถ้าแกลบดำคัดขนาด 0.451 มก./ล. เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด 0.564 มก./ล. ถ่านไม้ยูคาลิปตัส 0.010 มก./ล และถ่านไม้ไผ่ 0.096 มก./ล. วัสดุกรองทุกชนิดมีประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ได้มากกว่า ร้อยละ 90 โดยที่ถ่านไม้ยูคาลิปตัสมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ร้อยละ 99.98 รองลงมาคือ ถ่านไม้ไผ่ ร้อยละ 99.76 ทรายแม่น้ำ ร้อยละ 99.31 เถ้าแกลบดำคัดขนาด ร้อยละ 98.86 เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ร้อยละ 98.59 ส่วนทรายบกมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 96.69 เนื่องจากในกระบวนการที่ให้น้ำผ่านระบบการกรองในคอลัมน์ ใช้วิธีการเลียนแบบการหยดของน้ำเกลือ ทำให้น้ำสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนเหล็ก(Fe^{2+})ได้มีการสัมผัสกับอากาศในระหว่างที่หยดจากสายน้ำเกลือลงมาสู่ระบบกรอง และเปลี่ยนจากจากเหล็กเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต [$Fe(HCO_3)_2$] ที่สามารถละลายน้ำได้ดีและไม่มีสีให้เป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ [$Fe(OH)_2$] เพิ่มโอกาสในการเกิดตะกอนของเหล็กซึ่งส่งผลดีต่อการใช้ทรายในการกรอง ในส่วนของถ่านซึ่งมีส่วนประกอบของคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก มีรูเล็กๆ จำนวนมาก ทำให้มีพื้นที่ผิวมากส่งผลต่อการดูดซับสารต่างๆได้ดี ส่วนเถ้าแกลบดำมีซิลิกา (silica) เป็นส่วนประกอบหลักร้อยละ 95 มีความพรุน (porosity) มาก มีพื้นที่ผิวมาก ทำให้ดูดซับความชื้นและสารเคมีได้ดี การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) พบว่า ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือระหว่างทรายแม่น้ำและทรายบกไม่แตกต่างกัน ($p=0.206$) ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือระหว่างเถ้าแกลบดำคัดขนาด และเถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ไม่แตกต่างกัน ($p=0.542$) ส่วนผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือระหว่างถ่านไม้ยูคาลิปตัส และถ่านไม้ไผ่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5.1.2. การศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อนำวัสดุกรองมาผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อนำวัสดุกรองมาผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จำนวน 4 คอลัมน์ โดยการคัดเลือกวัสดุกรองที่ดีที่สุดซึ่งได้แก่ ทรายแม่น้ำ เถ้าแกลบดำคัดขนาด และถ่านไม้ยูคาลิปตัส นำมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 4 อัตราส่วนตามขนาดความสูงของสารกรองเท่ากับ 60 ซม. คือ 1:1:1 , 2:1:1 , 1:2:1 และ 1:1:2 ก่อนบรรจุลงในคอลัมน์ขนาดความสูง 1 เมตร สรุปผลการทดลองได้ว่า ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือจากการใช้วัสดุกรองมาคลุกเคล้าในอัตราส่วนที่แตกต่างกันคือ อัตราส่วนที่ 1 (0.163 มก./ล.) อัตราส่วนที่ 2 (0.223 มก./ล.) อัตราส่วนที่ 3 (0.102 มก./ล.) อัตราส่วนที่ 4 (2.12 มก./ล.) ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อใช้วัสดุกรองคลุกรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าทุกอัตราส่วนมีประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยที่ อัตราส่วนที่ 1 ร้อยละ 99.58 อัตราส่วนที่ 2 ร้อยละ 99.44 อัตราส่วนที่ 3 ร้อยละ99.74 และอัตราส่วนที่ 4 ร้อยละ 94.69 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือจากการใช้วัสดุกรองมาผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สรุปดังนี้

ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของอัตราส่วนที่ 1 ไม่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 2 และ 3 แต่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของอัตราส่วนที่ 2 ไม่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 1 และ 3 แต่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของอัตราส่วนที่ 3 ไม่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 1 และ 2 แต่แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ค่าเฉลี่ยของปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของอัตราส่วนที่ 4 แตกต่างกับอัตราส่วนที่ 1,2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5.1.3 การศึกษาระยะเวลาของระบบ เมื่อใช้น้ำปนเปื้อนเหล็ก (Fe^{2+}) จากบ่อบาดาลจริง

จากการศึกษาระยะเวลาของระบบกรอง เมื่อใช้คอลัมน์ขนาดความสูง 1 เมตร ที่บรรจุสารกรองในอัตราส่วน ทรายแม่น้ำ : เถ้าแกลบดำคัดขนาด : ถ่านไม้ยูคาลิปตัส เท่ากับ 1:2:1 (ทรายแม่น้ำสูง 15 ซม. ,เถ้าแกลบดำคัดขนาดสูง 30 ซม. ,ถ่านไม้ยูคาลิปตัสสูง 15 ซม.) นำมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยใช้น้ำปนเปื้อนเหล็ก (Fe^{2+}) จากบ่อบาดาลจริงที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 4 มก./ล. เก็บตัวอย่างน้ำเมื่อผ่านวัสดุกรอง วิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบเหล็กภาคสนาม (Iron Field Test Kit) จนกว่าจะมีปริมาณของเหล็ก (Fe^{2+}) มากกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สรุปผลการทดลองได้ว่า ชุดที่ 1 สามารถใช้ในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ได้นาน 144 ชั่วโมง ชุดที่ 2 สามารถใช้ในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ได้นาน 150 ชั่วโมง และชุดที่ 3 สามารถใช้ในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ได้นาน 148 ชั่วโมง ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่สามารถใช้ในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อนำสารกรองมาผสมรวมกัน คือ 147.33 ชั่วโมง

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+})

การศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำโดยใช้ทราย ได้แก่ ทรายแม่น้ำ และทรายบก เถ้าแกลบดำ ได้แก่ เถ้าแกลบดำคัดขนาด เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด ถ่านไม้ ได้แก่ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านไม้ไผ่ ค่าเฉลี่ยปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ที่เหลือของทรายแม่น้ำ เท่ากับ 0.276มก./ล. ทรายบก 1.326 มก./ล. เถ้าแกลบดำคัดขนาด 0.451 มก./ล. เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด 0.564 มก./ล. ถ่านไม้ ยูคาลิปตัส 0.009 มก./ล. และถ่านไม้ไผ่ 0.096 มก./ล. วัสดุกรองทุกชนิดมีประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ได้มากกว่า ร้อยละ 90 ดังนั้นน้ำที่มีความเข้มข้นของเหล็ก (Fe^{2+}) สูงจะช่วยให้ตัวกรองเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้น อาจเนื่องจากเหล็ก (Fe^{2+}) ถูกตัวกรองดักโดยตรงที่ผิวของตัวกรอง และตามช่องว่างของตัวกรองเกิดการอุดตัน จึงทำให้เหล็ก (Fe^{2+}) ตกค้างในชั้นตัวกรองในปริมาณมาก จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงนั่นเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนากร อุทัยดา (2552) ที่ได้ทำการศึกษาการพัฒนาตัวดูดซับโลหะหนักจากวัสดุท้องถิ่น โดยใช้ขี้เลื่อย ไม้จามจุรี กะลามะพร้าวและซังข้าวโพด ในการกำจัดโลหะหนักเหล็กและตะกั่ว ด้วยการดูดซับแบบคอลัมน์ พบว่าประสิทธิภาพโลหะหนักเหล็กร่วมกับการตกตะกอนของตัวดูดซับจากขี้เลื่อยไม้จามจุรี กะลามะพร้าวและซังข้าวโพด มีประสิทธิภาพในการดูดซับคิดเป็นร้อยละ 99.63, 99.82 และ 99.77 ตามลำดับ และนริศรา โพธิ์มูล (2545) ทำการศึกษาการลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียโรงงานแบตเตอรี่โดยใช้เถ้าแกลบดำ พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณตะกั่วโดยเฉลี่ยมากกว่า ร้อยละ 99.85

5.2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำ เมื่อนำวัสดุกรองมาผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

การศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อนำวัสดุกรองมาคลุกรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกันความแตกต่าง ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) เมื่อใช้วัสดุกรองผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าทุกอัตราส่วนมีประสิทธิภาพการลดปริมาณเหล็กได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยที่อัตราส่วนที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ร้อยละ 99.74 รองลงมาคือ อัตราส่วนที่ 1 ร้อยละ 99.58 อัตราส่วนที่ 2 ร้อยละ 99.44 และอัตราส่วนที่ 4 ร้อยละ94.69 เมื่อพิจารณาจากส่วนผสมของอัตราส่วนที่ 4 ที่มีถ่านไม้ยูคาลิปตัสซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าวัสดุกรองอื่นๆ ผสมอยู่ในปริมาณที่มากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ กลับมีประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 94.69 อาจเนื่องมาจากอัตราส่วนการผสมของวัสดุกรองที่มีอัตราส่วนของ ทรายแม่น้ำ : เถ้าแกลบดำคัดขนาด : ถ่านไม้ยูคาลิปตัส เท่ากับ 1:1:2 ซึ่งจากขนาดของถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่มีขนาด 1-5 เซนติเมตร ดังนั้นเมื่อนำมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันกับทรายแม่น้ำและเถ้าแกลบดำคัดขนาดที่มีขนาดเล็กกว่า แล้วบรรจุลงในแท่งอะคริลิกใสขนาดความสูง 1 เมตร จึงเกิดช่องว่างระหว่างถ่านไม้ยูคาลิปตัสแต่ละก้อน ที่ทรายแม่น้ำและเถ้าแกลบดำคัดขนาดที่มีขนาดเล็กกว่าสามารถแทรกเข้าไปอยู่ตามช่องว่างดังกล่าว ทำให้ความสูงของวัสดุกรองหลังจากคลุกรวมกันแล้วมีความสูงที่น้อยกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ทำให้ระยะเวลาที่น้ำสัมผัสกับวัสดุกรองลดน้อยลงไปด้วย ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ของวัสดุกรอง ด้านคุณสมบัติด้านกายภาพโดยเฉพาะความใสของน้ำเมื่อไหลผ่านระบบพบว่า คอลัมน์ที่ 1 และ2 น้ำที่ไหลออกมามีลักษณะค่อนข้างใส ไม่มีตะกอน เนื่องจากมีส่วนประกอบของทรายค่อนข้างมาก ช่วยในการกรองเถ้าแกลบดำ

และถ่านที่ปะปนออกมากับน้ำ ส่วนในคอลัมน์ที่ 3 และ 4 น้ำที่ไหลออกมามีสีดำ เนื่องจากมีส่วนผสมของเถ้าแกลบดำและถ่านไหลปนออกมาด้วย

5.2.3 การศึกษาระยะเวลาของระบบ เมื่อใช้น้ำปนเปื้อนเหล็กจากบ่อบาดาลจริง

การศึกษาระยะเวลาของระบบ เมื่อใช้น้ำปนเปื้อนเหล็ก (Fe^{2+}) จากบ่อบาดาลจริงที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 4 มก./ล. วิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบเหล็กภาคสนาม (Iron Field Test Kit) จนกว่าจนกว่าจะมีปริมาณของเหล็ก (Fe^{2+}) มากกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าเฉลี่ยของระยะเวลาของระบบเมื่อนำสารกรองมาคลุกรวมกัน คือ 147.33 ชั่วโมง เนื่องจากในกระบวนการทดลองใช้วิธีการหยดน้ำที่มีการปนเปื้อนเหล็กในอัตรา 1 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งค่อนข้างน้อยทำให้ระบบไม่ได้รับน้ำในปริมาณที่มากจนเกินไป ทำให้ระบบมีอายุการใช้งานได้นาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้

5.3.1.1 การศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกรองน้ำบาดาลได้ จากชนิดของตัวกรองที่เป็นทราย เถ้าแกลบดำ และถ่านไม้ ที่สามารถหาได้ง่ายและมีราคาถูก ไม่ยุ่งยากเหมาะสมสำหรับใช้ในพื้นที่ที่ขาดแคลน

5.3.2.2 ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบจำลอง โดยใช้ท่อพลาสติกอะคริลิกใส การนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันจริงๆ ควรคำนึงถึงปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ วัสดุที่ใช้เป็นถังกรอง และอัตราการไหลที่เหมาะสมของน้ำ เพื่อให้สามารถได้น้ำในปริมาณที่ต้องการ

5.3.2.3 จากการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุกรอง ซึ่งได้แก่ ทราย (ทรายแม่น้ำ, ทรายบก) เถ้าแกลบดำ (เถ้าแกลบดำคัดขนาด,เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด) และ ถ่าน (ถ่านไม้ยูคาลิปตัส,ถ่านไม้ไผ่) พบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 90 และไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงสามารถใช้ทดแทนกันได้ เช่น ใช้ทรายบกแทนทรายแม่น้ำ หรือใช้ถ่านไม้ไผ่แทนถ่านไม้ยูคาลิปตัส เป็นต้น

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.3.2.1. ศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำอื่นๆ ที่เข้าสู่ระบบที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน

5.3.2.2 ในการศึกษาครั้งนี้ ถึงแม้ว่าจะสามารถกำจัดเหล็ก (Fe^{2+}) ให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมได้แต่ควรศึกษาด้านจุลชีววิทยาในน้ำที่ได้ เพื่อความปลอดภัยในการบริโภค

5.3.2.3 ควรศึกษาวิธีการกำจัดถ่านหรือเถ้าแกลบดำที่ปนเปื้อนออกมากับน้ำ ที่ส่งผลให้น้ำที่ผ่านการกรองมีสีดำ เพื่อให้ได้น้ำที่สะอาดมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2555). *ข้อมูลน้ำบาดาล*. (ออนไลน์). ได้จาก: http://www.dgr.go.th. [สืบค้น.มื่อ กันยายน 2555].

กรมอนามัย. (2538). *ข้อกำหนดทางด้านสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

———. (2552). *เครื่องกรองน้ำครัวเรือนระบบทรายกรองช้า*. ลำปาง: ลำปางบรรณกิจ พริ้นติ้ง.

กัลยา ชวนคิด. (2544). *ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กและแมงกานีสของสารกรอง ในเครื่องกรองน้ำแบบง่าย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการสอนเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จักรกฤษณ์ ชัยว่อง. (2555). *การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กโดยใช้พีช*. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา.

จักรกฤษณ์ ภัทรวรานนท์. (2553). *การกำจัดเหล็กและความขุ่นในแหล่งน้ำผิวดินโดยใช้ถ่านกระดูกสัตว์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

จิณณ์ ก่อวุฒิพงศ์ และสุนทรี สุทธศิลป์. (2551). *เปรียบเทียบการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยสารโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตกับสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์*. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

จิรโรจน์ แดงวัง และโสภณ ดีมาก. (2549). *การใช้แกลบดำปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลที่มีเหล็กเกินมาตรฐานในพื้นที่ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก*. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

จุฑารัตน์ อรรคธรรม. (2546). *ประสิทธิภาพการกำจัดสีจากการย้อมไหมโดยใช้ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้เป็นวัสดุดูดซับ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

จุรีพร วงศ์จันดา. (2554). *การกำจัดโครเมียม(VI)ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยเถ้าแกลบดำและเถ้าแกลบดำที่ปรับสภาพ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

เฉลิมชัย พาวัฒนา. (2540). การพัฒนาถังกรองจากวัสดุราคาถูกเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการกรองสนิมเหล็กออกจากน้ำบาดาล. *วิศวกรรมสาร ม.ข.*, 5(2), 21-26.

ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์. (2546). *น้ำบาดาล*. เชียงใหม่: ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธนากร อุทัยดา. (2552). *การพัฒนาตัวดูดซับโลหะหนักจากวัสดุท้องถิ่น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

นริศรา โพธิ์มูล. (2545). *การลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียโรงงานผลิตแบตเตอรี่โดยใช้เถ้าแกลบดำ.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. (2538). *วิศวกรรมการประปา เล่ม 2.* กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. (2551). *คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551. *ราชกิจจานุเบกษา.* เล่มที่ 125 ตอนพิเศษ. 21 พฤษภาคม 2552. หน้า 85.

ผ่องพรรณ สุ่มมาตย์. (2547). *ประสิทธิภาพทรายไม่คัดขนาดและขี้เถ้าแกลบในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาล.* วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

พัชรินทร์ ตังควิเวชกุล. (2549). *การดูดซับเหล็กและแมงกานีสด้วยถ่านที่เตรียมจากไมยราบยักษ์ แกลบดำและไคโตซานจากกระดองปูนา.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ฟองสวาท สุวคนธ์ สิหราชวราพันธ์. (2548). *น้ำบาดาล การเกิดและการพัฒนาที่ยั่งยืน.* เชียงใหม่: ศูนย์บริการเทคโนโลยีน้ำบาดาล ภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วรชาติ พวงเงิน. (2547). *การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลบ่อตื้นโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากการทำนา.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สามารถ ตวยกระโทก. (2552). *การกำจัดสารอินทรีย์จากน้ำเสียโรงเชือดไก่ดดยใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นวัสดุดูดซับ.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

สามารถ ริมใหม่. (2550). *ความต้องการใช้น้ำบาดาลของประชาชนในเขตอำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย.* การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.

สุมงคล กัลยาณี. (2545). *การกำจัดเหล็กออกจากน้ำบาดาลโดยใช้ทรายไม่คัดขนาดและถ่านกรอง.* วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

แสนสุรีย์ เชื้อคำวัง. (2552). *การศึกษาประสิทธิภาพของถ่านแกลบในการดูดซับโลหะหนัก.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

อติศักดิ์ อัญชลิสังกาศ. (2546). *การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยการกรองด้วยทรายและการดูดซับด้วยเถ้าแกลบดำ.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนันต์ ตันติจรูญโรจน์. (2553). *การกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำ โดยใช้เปลือกไข่ ถ่านกัมมันต์ และเถ้าแกลบดำ.* วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม เวิทยาลัยมหาสารคาม.

Gale W.K.V. (1996). *Iron and steel*. Chatham: W&J Mackay.

Moreno J.C., Gómez R. and Giraldo L. (2010). Removal of Mn, Ni and Cu Ions from Wastewater Using Cow Born Charcoal. *Materials Journal*, 3(1), 452-466.

Othman E., Yusoff M.S., Aziz H.A., Adlan M.N., Bashir M.J.K. and Hung Y.T. (2010) The Effective of Silica Sand in Semi-Aerobic Stabilized Landfill Leachate Treatment. *Water Journal*, 2(4), 904-915.

Sawyer C.N. and McCarty P.L. (1967). *Chemistry for Sanitary Engineers*. 2nd ed. New York: MGraw-Hill.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการตรวจวิเคราะห์

ตารางแสดงผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำตัวอย่างที่ใช้วัสดุกรองแตกต่างกัน

วัสดุกรอง	ซ้ำที่ 1 (mg/l)	ซ้ำที่ 2 (mg/l)	ซ้ำที่ 3 (mg/l)	หมายเหตุ
ทรายแม่น้ำ	0.555	0.139	0.136	
ทรายบก	1.104	2.605	0.271	
เถ้าแกลบดำคัดขนาด	0.645	0.368	0.342	
เถ้าแกลบดำไม่คัดขนาด	0.408	0.444	0.842	
ถ่านไม้ยูคาลิปตัส	0.029	0.001	0.001	
ถ่านไม้ไผ่	0.117	0.050	0.121	
กลุ่มควบคุม	29.490	31.725	29.940	

ตารางแสดงผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) ในน้ำตัวอย่างที่ใช้วัสดุกรองผสมรวมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

วัสดุกรอง	ซ้ำที่ 1 (mg/l)	ซ้ำที่ 2 (mg/l)	ซ้ำที่ 3 (mg/l)	หมายเหตุ
คอลัมน์ที่ 1	0.213	0.221	0.056	
คอลัมน์ที่ 2	0.179	0.158	0.332	
คอลัมน์ที่ 3	0.062	0.053	0.192	
คอลัมน์ที่ 4	2.230	1.740	2.400	
กลุ่มควบคุม	33.120	33.200	32.300	

ภาคผนวก ข
วิธีการทำน้ำบาดาลสังเคราะห์และการคำนวณประสิทธิภาพ

วิธีการทำน้ำบาดาลสังเคราะห์

วิธีการทำน้ำบาดาลสังเคราะห์ 40 มิลลิกรัม/ลิตร

เหล็ก 55.8 กรัม ได้จากเกลือเฟอร์รัสซัลเฟต = 278 กรัม

เหล็ก 40/1,000 กรัม ได้จากเกลือเฟอร์รัสซัลเฟต = $\frac{278 \times 40}{55.8 \times 1,000}$ กรัม

= 0.199 กรัม

ต้องใช้เกลือเฟอร์รัสซัลเฟต 0.199 กรัม มาละลายน้ำ 1 ลิตร จึงจะได้สารละลายเหล็กที่มีความเข้มข้น 40 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ในการทดลองเตรียมสารละลายประมาณ 50 ลิตร

1) ชั่งเกลือเฟอร์รัสซัลเฟต หนัก 9.95 กรัม

2) ตวงน้ำมา 50 ลิตร

3) เอาเกลือเฟอร์รัสซัลเฟตที่ชั่งมาละลายน้ำ โดยใช้เครื่องกวนเพื่อให้สารละลายหมด จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 40 มิลลิกรัม/ลิตร จำนวน 50 ลิตร

การคำนวณประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์) ของการกำจัดเหล็ก (Fe^{2+})

สูตรการคำนวณ

$$= \frac{(\text{ความเข้มข้นของเหล็กเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นของเหล็กที่เหลือ}) \times 100}{\text{ความเข้มข้นของเหล็กเริ่มต้น}}$$

ภาคผนวก ค
วิธีการคำนวณการไหลของน้ำ

การคำนวณการไหลของน้ำ

การคำนวณการไหลของงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้การคำนวณการไหลของสารละลายที่ใช้สำหรับผู้ป่วย โดยมีการคำนวณตามสูตรด้านล่างและแสดงการคำนวณหยดของน้ำ ดังแสดงตามตาราง

$$\text{จำนวนหยด/ 1 นาที} = \frac{\text{จำนวนน้ำที่ใช้ X จำนวนหยดใน 1 มิลลิลิตร}}{\text{ระยะเวลาที่ต้องใช้}}$$

ตาราง การคำนวณหยดน้ำ

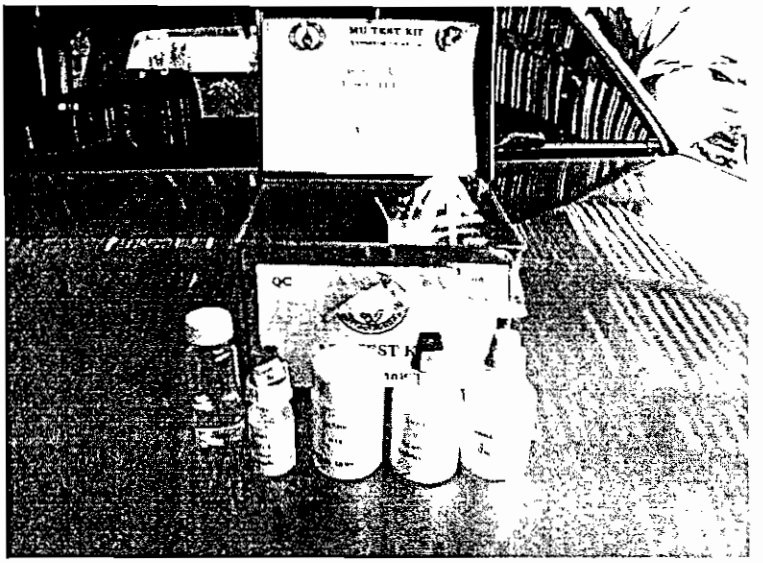
จำนวนน้ำที่ใช้	Regular (15 หยด/ 1 มิลลิลิตร) จำนวนหยดใน 1 นาที	Micro drip (60 หยด/ 1 มิลลิลิตร) จำนวนหยดใน 1 นาที	Micro drip (10 หยด/ 1 มิลลิลิตร) จำนวนหยดใน 1 นาที
40 มิลลิลิตร/1 ชั่วโมง	10	40	7
50 มิลลิลิตร/1 ชั่วโมง	12	50	8
60 มิลลิลิตร/1 ชั่วโมง	15	60	10
80 มิลลิลิตร/ 1 ชั่วโมง	20	80	13
100 มิลลิลิตร/1 ชั่วโมง	25	100	16
125 มิลลิลิตร/1 ชั่วโมง	30	125	20
150 มิลลิลิตร/1 ชั่วโมง	35	150	25

ตาราง การคำนวณปริมาตรน้ำที่ให้ใน 24 ชั่วโมง และใน 1 ชั่วโมง

จำนวน มิลลิลิตร ใน 24 ชั่วโมง	จำนวน มิลลิลิตร ใน 1 ชั่วโมง
1000	40
1500	60
2000	80
2500	100
3000	125
3500	145

ภาคผนวก ง
ชุดทดสอบเหล็กภาคสนาม (Iron Field Test Kit)

ชุดทดสอบเหล็กภาคสนาม (Iron Field Test Kit)



ภาพประกอบ ชุดทดสอบเหล็กภาคสนาม (Iron Field Test Kit) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ช่วงที่ทดสอบได้ 0 ppm - 4.0 ppm

ขั้นตอนการใช้ชุดทดสอบเหล็ก

ขั้นที่ 1 เติมน้ำตัวอย่างลงในขวดจนถึงขีดที่กำหนด
ขั้นที่ 2 หยดน้ำยา Fe1 จำนวน 2 หยด ลงในขวดทำปฏิกิริยา เขย่าเพื่อให้สารละลายเข้ากัน
ขั้นที่ 3 ตักผงสาร Fe2 จำนวน 1 ช้อน โดยเกลี่ยให้เรียบ ใส่ลงในขวดทำปฏิกิริยา เขย่าจนผงสาร Fe2 ละลายหมด แล้วตั้งทิ้งไว้ 5 นาที
ขั้นที่ 4 หยดน้ำยา Fe3 จำนวน 5 หยด และน้ำยา Fe4 จำนวน 5 หยด ลงในขวดทำปฏิกิริยา
ขั้นที่ 5 ปิดฝาขวดทำปฏิกิริยา เขย่าเพื่อให้สารละลายเข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 5 นาที
ขั้นที่ 6 เปรียบเทียบสีสารละลายกับแถบสีมาตรฐาน โดยเปิดฝาขวดทำปฏิกิริยา แล้ววางขวดที่ตำแหน่งตรงกลางของแถบสีมาตรฐาน โดยให้สีของแถบสีมาตรฐานและสีของสารละลายใกล้เคียงกันมากที่สุด

ประวัติย่อผู้วิจัย

-

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายอภิวัฒน์ บุญรอง
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2525
จังหวัด และประเทศที่เกิด	จังหวัดศรีสะเกษ ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2543	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ
พ.ศ. 2545	ประกาศนียบัตรสาธารณสุขศาสตร์ (ป.สศ.) วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี
พ.ศ. 2548	ปริญญาสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต (ส.บ.) สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ. 2557	ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (ส.ม.) สาขาวิชาสารธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัมหาสารคาม
ดำแหน่ง สถานที่ทำงาน	นักวิชาการสุขาภิบาล เทศบาลตำบลโพนทราย อำเภอโพนทราย จังหวัดร้อยเอ็ด 45240
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	บ้านเลขที่ 104/10 หมู่ 9 ตำบลโพนทราย อำเภอโพนทราย จังหวัดร้อยเอ็ด 45240