การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กในน้ำใต้ดินโดยใช้พืช

ว่าที่ร้อยตรีจักรกฤษณ์ ชัยว่อง

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง เสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
พฤษภาคม 2555
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

อาจารย์ที่ปรึกษาและคณบดีวิทยาลัยการศึกษาต่อเนื่อง มหาวิทยาลัยพะเยาได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง เรื่อง “การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กในน้ำใต้ดินโดยใช้พืช” เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....

(ดร.โสมนัส สมประเสริฐ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รองศาสตราจารย์ดร.สมบัตินพรัก)

คณบดีวิทยาลัยการศึกษาต่อเนื่อง

พฤษภาคม2555

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ ดร.โสมนัส สมประเสริฐอาจารย์ที่ปรึกษาและคณาจารย์จากวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง จนการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองสำเร็จสมบรูณ์ได้ ผู้ศึกษาค้นคว้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณประปาหมู่บ้าน หมู่ที่ 7 ต.ลวงเหนือ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ที่ให้ความร่วมมือในการติดตั้งถังทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กโดยใช้พืชครั้งนี้ให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวของผู้ศึกษา และเพื่อนร่วมชั้นเรียน ที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และให้กำลังใจเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการศึกษาค้นคว้าฉบับนี้ ผู้ศึกษาค้นคว้าขออุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน

ว่าที่ร้อยตรีจักรกฤษณ์ ชัยว่อง

ชื่อเรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กในน้ำใต้ดินโดยใช้พืช
ผู้ศึกษาค้นคว้า ว่าที่ร้อยตรีจักรกฤษณ์ ชัยว่อง
ที่ปรึกษา ดร.โสมนัส สมประเสริฐ
ประเภทสารนิพนธ์ การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองวศ.ม.สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยพะเยา,2555
คำสำคัญ เหล็กน้ำใต้ดินกกราชินี (*Cyperusinvolucratus*Rottb.)กรวดแม่น้ำ

บทคัดย่อ

ระบบผลิตน้ำประปาขนาดเล็กส่วนใหญ่ใช้น้ำใต้ดินเป็นน้ำดิบในการผลิตและมักพบปัญหาการปนเปื้อนของเหล็กละลายน้ำในปริมาณมาก ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำใต้ดินโดยใช้ประโยชน์จากกลไกของพืช การศึกษาใช้แบบจำลองความจุ 150 ลิตร ภายในบรรจุกรวดแม่น้ำและปลูกต้นกกราชินี (*Cyperusinvolucratus*Rottb.*)* และมีแบบจำลองควบคุมที่ไม่ปลูกพืชเพื่อเปรียบเทียบการลดปริมาณเหล็กละลายน้ำ แบบจำลองทั้งสองควบคุมให้น้ำไหลในแนวดิ่งในอัตราการไหล120 ลิตร/ชั่วโมง น้ำใต้ดินที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณเหล็กละลายน้ำเฉลี่ย 57มก./ล. เมื่อผ่านการเติมอากาศด้วยถาดเติมอากาศแล้วค่าเหล็กละลายน้ำลดลงเหลือ47 มก./ล.ประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กละลายน้ำของแบบจำลองที่ปลูกพืชสูงกว่าแบบจำลองที่ไม่ได้ปลูกพืชโดยกำจัดได้ร้อยละ 93 และร้อยละ 87 ตามลำดับ แสดงว่าพืชมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กละลายน้ำได้เป็นอย่างดี เนื่องจากพืชสามารถส่งผ่านออกซิเจนไปยังส่วนรากพืชได้ ทำให้เหล็กที่ละลายน้ำนั้นได้สัมผัสกับออกซิเจนจากรากพืชเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนรูปกลายเป็นตะกอนเหล็ก นอกจากนี้กรวดที่บรรจุในแบบจำลองยังมีส่วนช่วยให้เกิดการดูดติดผิวของเหล็กเพิ่มมากขึ้นและการไหลผ่านชั้นกรวดในแนวดิ่งยังชะลอการไหลของน้ำในระบบเพื่อให้น้ำได้มีเวลาสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น

Title	Enhanced Ferrous Removal Efficiency in Groundwater by Plant
Author	Acting Sub Lt.ChakkritChaiwaong
Advisor	SomanatSomprasert, Ph.D.
Academic Paper	Independent StudyM.EngEnvironmental Engineering,University ofPhayao, 2012
Keywords	FerrousGroundwater*CyperusInvolucratus*Rottb.Gravel

ABSTRACT

Most ofsmall drinking water producing systems mainly use a groundwater as raw water which havelarge amounts of ferrouscontamination. This study aimed to increase the efficiency of ferrous removal in groundwater by utilizing mechanisms of plant. Two150 liters Lab–scale models filled with gravel were used in this study.*Cyperusinvolucratus*Rottb.was planted in the first model whilethe othercontained noplants. Both models controlled sampling water to flow vertically at the rate 120 liters per hour. The groundwater contained 57 mg/L of ferrous residues and decreased to 47 mg/L after aerated in the tray aerator. The study found that model with plants showed higher ferrous removal efficiencycompared to the unplanted model which was 93% and 87%, respectively. The result was confirmed that plants helped increasing ferrous removal efficiency because plants delivered oxygen to their roots increased the ferrous oxidation and transformed soluble ferrous into non–soluble form. Moreover, the gravel in the models also helped increasing adsorptionrate of ferrous and slow down the water speed to have more air exposure.

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1 บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

สมมติฐานของการวิจัย..... 2

ขอบเขตของการวิจัย..... 2

นิยามศัพท์..... 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตน้ำประปาจากน้ำใต้ดิน..... 3

เหล็ก..... 4

กระบวนการผลิตน้ำประปา..... 9

การเพิ่มออกซิเจนจากรากพืช..... 10

ต้นกกราชินี..... 10

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 11

3 วิธีดำเนินการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 13

วิธีการดำเนินการวิจัย..... 13

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา..... 14

น้ำที่ใช้ในการศึกษา..... 16

พืชที่ใช้ในการศึกษา..... 16

การวิเคราะห์ข้อมูล..... 17

แผนการดำเนินงานวิจัย..... 17

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ **หน้า**

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 19

5 บทสรุป

บทสรุป..... 25

ข้อเสนอแนะ..... 26

บรรณานุกรม..... 27

ภาคผนวก..... 29

ประวัติผู้วิจัย..... 41

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

1 ปริมาณสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำจัดเหล็ก..... 9
2 วิเคราะห์คุณภาพน้ำ..... 17
3 ระยะเวลาการศึกษาค้นคว้า..... 18
4 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กละลายน้ำ..... 22

สารบัญภาพ

ภาพ **หน้า**

1	ไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินงาน.....	14
2	กรวดแม่น้ำ.....	15
3	ถังที่ปลูกต้นกกราชินี (*Cyperusinvolucratus*Rottb.).....	15
4	ไดอะแกรมการไหลของน้ำจุดเก็บตัวอย่างน้ำ.....	16
5	การปลูกต้นพืช.....	17
6	ต้นพืชที่เติบโตในระบบแล้ว.....	20
7	การเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กในจุดเก็บน้ำต่าง ๆ	21
8	ปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ผ่านออกจากแบบจำลองที่มีพืชและไม่มีพืช.....	22

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในระบบประปาขนาดเล็กที่ศึกษานั้นน้ำดิบที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำประปาคือน้ำใต้ดิน ซึ่งมักมีปริมาณการปนเปื้อนของเหล็กสูงโดยคุณภาพของน้ำประปาหมู่บ้านที่ทำการศึกษายังมีคุณภาพที่ไม่ดีเท่าที่ควรและยังไม่สามารถนำไปใช้ในการอุปโภคบริโภคได้อย่างปลอดภัยไร้สารปนเปื้อนและตกค้างระบบการผลิตนั้นได้นำเอาน้ำดิบมาผ่านระบบเติมอากาศโดยใช้ถาดกระจายน้ำเพื่อช่วยในการกำจัดเหล็กละลายน้ำเมื่อน้ำสัมผัสกับอากาศจะทำให้เหล็กที่ละลายในน้ำกลายเป็นตะกอนเหล็กเนื่องจากถูกออกซิเจนออกซิไดซ์ แต่ยังคงมีเหล็กส่วนหนึ่งที่ออกซิไดซ์ไม่หมดและอยู่ในรูปที่ละลายน้ำทำให้มีเหล็กปนเปื้อนในน้ำประปา โดยมาตรฐานน้ำประปากำหนดให้มีเหล็กละลายน้ำได้ไม่เกิน 0.5 มก./ล.(กรมควบคุมมลพิษ, 2552) ถ้าน้ำประปามีเหล็กปนเปื้อนมากจะก่อให้เกิดตะกอนสนิมและกลิ่นไม่พึงประสงค์ต่อผู้บริโภคได้จึงเป็นสาเหตุของความน่ารังเกียจที่จะดื่มน้ำนั้น เช่น ทำให้น้ำมีรสขม ทำให้น้ำมีสีแดง น้ำตาลหรือดำ เป็นต้น นอกจากนี้ หากนำน้ำที่มีเหล็กมาใช้ในการซักล้างเสื้อผ้าจะทำให้เกิดรอยด่างบนเสื้อผ้า และเกิดคราบบนเครื่องสุขภัณฑ์และเครื่องใช้ต่างๆ และอาจมีอันตรายต่อสุขภาพถ้าได้รับเหล็กในปริมาณมากซึ่งจะมีผลเสียต่อร่างกาย จากการศึกษาทดลองพบว่าเหล็กในปริมาณที่สูงจะส่งเสริมการเกิดมะเร็งหรือทำให้อัตราการเจริญเติบโตของเนื้อร้ายเกิดเร็วขึ้นการมีเหล็กในร่างกายมากเกินไปจะเพิ่มอัตราเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตับนอกจากนี้เหล็กที่สะสมในร่างกายมากเกินไปจะทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจมีผลต่อการเกิดหลอดเลือดตีบตัน อีกเหตุผลหนึ่งคือการอักเสบซึ่งเกี่ยวข้องกับโรคหัวใจการหาแนวทางในการกำจัดเหล็กที่ละลายในน้ำจึงเป็นส่วนสำคัญในการผลิตน้ำประปาจากน้ำใต้ดิน ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการทดสอบการใช้ประโยชน์จากพืชในการช่วยกำจัดเหล็กละลายน้ำ เนื่องจากพืชมีระบบรากที่สามารถเพิ่มออกซิเจนให้สูงขึ้น นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ปลูกพืชยังช่วยชะลออัตราการไหลของน้ำให้สัมผัสกับอากาศและออกซิเจนที่ได้จากรากพืชให้ได้มากที่สุดและมีส่วนช่วยเพิ่มการกรองตะกอนเหล็กออกจากน้ำก่อนผ่านเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาในขั้นต่อไปได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทราบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กละลายน้ำ โดยใช้ระบบกรวดกรองที่ปลูกต้นกกราชินี

2. เพื่อเป็นแนวทางในการนำพืชไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กละลายน้ำในน้ำใต้ดิน

สมมติฐานของการวิจัย

1. รากพืชสามารถช่วยในการแพร่ออกซิเจนได้

2. เหล็กที่ละลายน้ำเมื่อสัมผัสกับอากาศและใช้เวลาสัมผัสนานนั้นจะช่วยให้เหล็กละลายน้ำการเป็นตะกอนเหล็ก

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กโดยใช้แบบจำลองระบบกรวดกรองที่ปลูกต้นกกราชินี (*Cyperusinvolucratus*Rottb.*)* น้ำที่เข้าสู่แบบจำลองเป็นน้ำใต้ดินที่ผ่านการเติมอากาศด้วยถาดกระจายน้ำแล้ว โดยทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 6เดือน

2. การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดเหล็กละลายน้ำเป็นหลัก

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. กกราชินี(*Cyperusinvolucratus*Rottb.*)*ต้นพืชที่นำมาใช้การศึกษาการเพิ่มออกซิเจนจากรากในน้ำ การดูดซับเหล็ก

2. เหล็กเป็นแร่ธาตุที่ปนเปื้อนมากับน้ำใต้ดิน ซึ่งก่อให้เกิด สี กลิ่น รส ผลกระทบต่อร่างกายเมื่อมีปริมาณการปนเปื้อนที่มากเกินมาตรฐาน

3. น้ำใต้ดิน คือน้ำที่อยู่ใต้ชั้นหินปิด

4. กรวดแม่น้ำคละขนาดตัวกลางที่ใช้ปลูกพืชและชะลอการสัมผัสอากาศของน้ำ

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

ได้แนวทางการนำพืชมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กในน้ำใต้ดิน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต แต่น้ำในธรรมชาติมีคุณภาพไม่เหมาะสมกับการบริโภคโดยตรง จึงจำเป็นต้องมีการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคเพื่อให้ได้น้ำที่สะอาด ปราศจากสิ่งเจือปนที่เป็นอันตราย ในประเทศไทยการผลิตน้ำประปาจากน้ำใต้ดินยังคงพบได้ในหลายพื้นที่ และมักพบปัญหาจากเหล็กที่ละลายปนอยู่ในน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะในเขตภาคเหนือ

การผลิตประปาจากน้ำใต้ดิน

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาทางเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีต่างๆมากขึ้น ทำให้มีมลพิษปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากขึ้นการพิจารณาคุณภาพน้ำจากการใช้ประสาทสัมผัสของคนเราอย่างเดียวย่อมไม่เพียงพอที่จะทำให้เราเกิดความมั่นใจได้เพราะสารบางชนิดปนเปื้อนอยู่ในน้ำโดยที่เราไม่สามารถสังเกตเห็นได้ เช่น ตะกั่วสารหนู และเชื้อโรคต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญในการทำให้เกิดโรคต่างๆ ได้ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นซึ่งมีหน้าที่ในการจัดหาน้ำสะอาดเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคของประชาชนให้ได้มาตรฐานจึงจำเป็นต้องมีการตรวจคุณภาพน้ำโดยการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ ทางกายภาพทางเคมี และทางจุลินทรีย์ โดยทั้งนี้ต้องตรวจคุณภาพน้ำทั้งก่อนที่จะทำประปา คือแหล่งน้ำดิบและน้ำประปาที่ผลิตได้ว่าได้ตามมาตรฐานหรือไม่

การวิเคราะห์คุณภาพแหล่งน้ำซึ่งจะบอกเราได้ว่าแหล่งน้ำดิบนั้นๆ สมควรนำไปทำประปาหรือไม่ในระบบประปาชุมชนที่องค์การบริหารส่วนตำบลจะก่อสร้างนั้นเป็นระบบประปาที่ใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบพื้นฐานสามารถที่จะลดหรือกำจัดสารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำได้เพียงบางอย่างเท่านั้นเช่นสารละลายทั้งหมด เหล็ก และแมงกานีส ได้ในปริมาณหนึ่งแต่ถ้าหากมีมากเกินไปก็จะเป็นปัญหาสำหรับโลหะหนักที่เป็นพิษต่อร่างกายความกระด้างและความเค็มจะต้องใช้เทคโนโลยีที่สูงขึ้นและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงถ้ามีมากเกินมาตรฐานน้ำดื่มควรหลีกเลี่ยงการใช้แหล่งน้ำนั้น ในระบบประปาชุมชนนิยมใช้แหล่งน้ำดิบจากน้ำใต้ดินมากกว่าน้ำผิวดิน น้ำผิวดินในธรรมชาติมีเหล็กละลายอยู่บ้างในปริมาณน้อยแต่มักมีการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์หรือมลสารอื่นๆ ตรงกันข้ามกับในน้ำใต้ดินหรือที่นิยมเรียกว่าน้ำบาดาลมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำแต่มีเหล็กละลายอยู่ปริมาณค่อนข้างสูงโดยที่เหล็กจะอยู่ในรูปของเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต

($Fe(HCO_3)_2$) น้ำใต้ดินจะมีสภาพใสแต่เมื่อวางทิ้งไว้ในบรรยากาศสัมผัสกับอากาศจะขุ่นและเกิดตะกอนสีแดงของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) เหล็กในน้ำจะปรากฏ 2 รูปคือเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) จะไม่ค่อยเสถียร เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนจะถูกออกซิไดซ์เป็นเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+})

ถ้าน้ำที่มีเหล็กสูงเกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตรจะไม่เหมาะสำหรับการบริโภคเพราะมีกลิ่นและรสชาติของเหล็กคือจะมีกลิ่นคาวนอกจากนี้น้ำที่มีเหล็กสูงจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเหล็กทำให้เกิดสนิมด้วยและปริมาณเหล็กในน้ำใช้ต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร(ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม,2552)

เหล็ก

เหล็กคือ ธาตุโลหะมีชื่อละตินว่า "Ferum" มีอักษรย่อ "Fe" เป็นสัญลักษณ์ของธาตุเหล็กประกอบด้วยอะตอมที่มีค่าอะตอมมิกนัมเบอร์เท่ากับ 26 มีวาเลนซีเท่ากับ 2 และ 3 และมีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 66.85

เหล็กมีปรากฏในธรรมชาติในสภาวะอิสระในปริมาณน้อย เหล็กที่มีปรากฏอยู่ในโลกส่วนใหญ่ปรากฏรวมตัวอยู่กับธาตุอื่นเป็นสารประกอบ เช่น ในแร่แมกเนไตท์ (Fe_3O_4)แร่เฮมาไตท์สีแดง (Fe_2O_3) แร่ลิมอนไนท์ ($Fe_2O_33H_2O$) แร่ลิเดอไรท์ ($FeCO_3$) แร่พายไรท์(FeS_2) เป็นต้น สินแร่เหล็ก (Iron Ore) เหล่านี้มีอุดมสมบูรณ์และกระจายกันอยู่ตามที่ต่างๆทั่วโลก เช่น อยู่ตามชั้นหิน และชั้นดินต่างๆ (สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.)

1.การกำเนิดของเหล็กในน้ำ

เหล็กที่ปรากฏอยู่ในธรรมชาติเกือบทั้งหมดที่พบในหินและดิน เหล็กในน้ำบาดาลเกิดจากทางน้ำบาดาลที่ไหลผ่านแหล่งแร่ธาตุที่มีองค์ประกอบของเหล็ก โดยเหล็กสามารถละลายน้ำได้และอยู่ในรูปของเหล็กเฟอร์รัสเนื่องจากในดินมีแบคทีเรีย ที่ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้น กระบวนการนี้จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะได้กรดคาร์บอนิคซึ่งเป็นกรดอ่อน ดังนั้น เมื่อน้ำไหลผ่านชั้นหินหรือชั้นดินที่มีแร่เหล็กอยู่ ก็จะละลายแร่เหล็กนั้น เหล็กที่ถูกละลายจะอยู่ในรูปของเหล็กเฟอร์รัส ดังสมการที่ 1

$$FeCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Fe(HCO_3)_2 \quad \text{.....} \quad (1)$$

ภายในภาวะที่ขาดออกซิเจน แบคทีเรียที่อยู่ในชั้นดินซึ่งมีสารอินทรีย์สามารถเปลี่ยนเหล็กเฟอร์ริคในแร่ธาตุเป็นเหล็กเฟอร์รัสในชั้นแรก ดังแสดงในสมการที่ 2

$$2Fe_2O_3 + \text{Organic Matter} \longrightarrow 4FeO + CO_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

ต่อมาเหล็กเฟอร์รัสนั้น จะถูกละลายน้ำได้ ดังสมการที่ 2

$$FeO + 2H_2O + 2CO_2 \longrightarrow Fe(HCO_3)_2 + H_2O \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

สำหรับน้ำผิวดิน มักเป็นแหล่งกำเนิดของเหล็กอินทรีย์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการระบายน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ลงไปในน้ำหรือเมื่อฝนตกน้ำฝนจะละลายสารอินทรีย์บนผิวดินแล้วไหลลงไปในน้ำเมื่อรวมกับเหล็กในน้ำก็จะกลายเป็นเหล็กอินทรีย์

2.ชนิดของเหล็กที่พบในน้ำ

เหล็กในน้ำแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

ก.เหล็กอนินทรีย์

เหล็กอนินทรีย์เป็นเหล็กที่พบอยู่ในน้ำบาดาลเป็นสวนใหญ่ น้ำที่มีเหล็กอนินทรีย์เมื่อสูบขึ้นมาใหม่ๆ จะมีลักษณะใสมาก แต่เมื่อทิ้งให้สัมผัสอากาศสักครู่น้ำนั้นจะปรากฏความขุ่นให้เห็นเหล็กอนินทรีย์ในน้ำบาดาล มักจะพบในรูปสารประกอบของเหล็กคาร์บอเนตมากที่สุด เช่น เฟอร์รัสไบคาร์บอเนต หรือ $Fe(HCO_3)_2$ รองลงไปอยู่ในรูปของเฟอร์รัสซัลเฟต หรือ $FeSO_4$ และอาจพบอยู่ในรูปสารประกอบของเหล็กคลอไรด์ หรือ $FeCl_2$

ข.เหล็กอินทรีย์

เหล็กที่พบอยู่ในน้ำผิวดินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมักจะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Organic Complex Compounds) เช่น Humic Acid , Fulvic Acid หรือ Tannic Acid เป็นต้น

3.เหล็กในน้ำบาดาลจะมีลักษณะต่างๆ เป็น 3 ลักษณะ คือ

ก. เหล็กในน้ำบาดาลชนิดที่ตกตะกอนได้ทันทีภายหลังการเติมอากาศ

ข. เหล็กในน้ำบาดาลชนิดที่ไม่ยอมตกตะกอนได้ง่ายๆภายหลังการเติมอากาศ ทั้งนี้เพราะน้ำบาดาลนั้นมีสภาพเป็นกรด

ค. เหล็กในน้ำบาดาลชนิดที่บางส่วนตกตะกอนได้ แต่บางส่วนไม่ยอมตกตะกอนเลย ภายหลังการเติมอากาศ เหล็กในน้ำบาดาลชนิดนี้จะพบมากที่สุด

เหล็กในน้ำบาดาลซึ่งเป็นเหล็กอนินทรีย์ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต $Fe(HCO_3)_2$และเฟอร์รัสคาร์บอเนต ($FeCO_3$) สารละลายนี้เกิดจากแร่ธาตุ ในชั้นหินที่เรียกว่า สิเดอร์ไรท์ ซึ่งเป็นแร่ที่มีสภาพการละลาย (Solubility)ประมาณ 65 มก/ล ค่าของสภาพการละลายนี้จะเพิ่มมากขึ้นถ้ามีคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น เฟอร์รัสไบคาร์บอเนตนี้เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจน จะได้เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์หรือ $(FeCOH)_2$ ซึ่งมีสภาพการละลายไม่เกิน 7 มก/ล.ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำเช่นกัน นอกจากนี้เหล็กในน้ำบาดาลที่พบในรูปของ เฟอร์รัสซัลเฟต มักเกิดจากแร่พายไรท์หรือเฟอร์รัสซัลไฟด์ และแร่เฟอร์รัสซัลไฟด์ ซึ่งมีสภาพการละลายไม่เกิน 5 มก./ล.ขณะที่แร่สิเดอร์ไรด์มีสภาพการละลายประมาณ 65 มก./ล. จึงเป็นเหตุผลที่สามารถกล่าวได้ว่าเหล็กในน้ำบาดาลส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปของเฟอร์รัสไบคาร์บอเนตหรือเฟอร์รัสคาร์บอเนตมากกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต(สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.)

4.สถานะต่างๆของเหล็กในน้ำ

สถานะต่างๆของเหล็กที่ปรากฏอยู่ในน้ำตามธรรมชาติ คือเหล็กทั้งหมดในน้ำหรือ Total Iron แบ่งเป็น 2 รูปคือเหล็กในรูป Fe^{+2} เหล็กในรูป Fe^{+3} อาจรวมตัวกับธาตุอื่น เป็นสารประกอบที่อาจจะประกอบด้วยธาตุอื่น ธาตุเดียว เช่น FeS_2 (ที่ไม่ละลายน้ำ) และ $Fe(HCO_3)_2$ ที่ละลายน้ำได้ เป็นต้น หรือธาตุอื่นมากกว่าสองธาตุซึ่งอยู่ในรูปของเชิงซ้อน (Complex form) Mineral Complex และ/หรือ Organic Complexes เป็นต้น ส่วนเหล็ก Fe^{+3} อาจจะรวมตัวกับธาตุอื่นเป็นสารประกอบที่อาจประกอบด้วยธาตุเดียว เช่น Fe (HO_3) (ที่ไม่ละลายน้ำ) เป็นต้น หรือธาตุอื่นมากกว่าสองธาตุซึ่งอยู่ในรูปเชิงซ้อน (Complex Form) เช่นMineral Complexes และ/หรือ Organic Complexes เป็นต้น

5.ปัญหาของเหล็กในน้ำ

การมีเหล็กในน้ำทำให้เกิดปัญหาที่ยุ่งยากหลายอย่าง ได้แก่

- ถ้ามีเหล็กในน้ำจะทำกระบวนการผลิตกระดาษ ผลิตกระดาษแล้วมีสีเหลืองหรืออาจเป็นจุดสีเหลือง หรือสีสนิมเหล็ก
- โรงงานผลิตเสื้อผ้าหรือฟอกหน้า หากมีเหล็กจะทำให้เกิดจุดขึ้นบนเสื้อผ้าหรือหน้าได้
- โรงงานผลิตอาหารหากในน้ำมีเหล็ก จะทำให้อาหารมีรสชาติที่เปลี่ยนแปลงไป
- น้ำที่มีเหล็กก่อให้เกิดความขุ่น ทำให้ไม่เหมาะต่อการอุปโภคบริโภค

- น้ำที่มีเหล็กก่อให้เกิดการอุดตันในระบบท่อจ่ายน้ำประปาได้
- น้ำที่มีเหล็กเวลานำมาซักเสื้อผ้า จะทำให้เสื้อผ้าเป็นสีเหลือง หุงข้าวทำให้ข้าวบูดเร็ว
- น้ำที่มีเหล็กมาก มีโอกาสทำให้หม้อน้ำเกิดตะกรันขึ้นภายในหม้อน้ำได้

6.การออกซิเดชันเหล็ก

กระบวนการออกซิเดชั่นเหล็กจะทำให้เหล็กเฟอร์รัสเปลี่ยนรูปเหล็กเฟอร์ริคจะสามารถตกตะกอนได้ดี หรือกรองได้ด้วยทรายกรอง การออกซิเดชันเหล็กมีหลายวิธีดังนี้ คือ

ก. การเติมอากาศ (Aeration)

การเติมอากาศ หรือ ออกซิเดชั่นโดยตรง จะสามารถเปลี่ยนเหล็กในรูปเหล็กเฟอร์รัสไปเป็นเหล็กเฟอร์ริค ปฏิกิริยาของเหล็กเฟอร์รัสมีรายละเอียดดังนี้

$$4Fe(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 + 8CO_2 \quad \text{..... (4)}$$

การทำปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ดีเพียงใด มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ระดับของ pH ความเป็นด่าง ระยะเวลาทำปฏิกิริยา และปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ การเกิดตะกอนเหล็กหากจะทำให้ตกตะกอนต้องใช้เวลาในการตกตะกอนนานถึง 12–24 ชั่วโมง หรือมากกว่านี้ ด้วยเหตุนี้ระบบกำจัดเหล็กจึงมีการเติมอากาศแล้วกรอง ในทางทฤษฎีพบว่า ออกซิเจน 0.14 มก/ล. สามารถออกซิไดซ์ เหล็กเฟอร์รัสได้ 1 มก./ล.

ข. การใช้คลอรีน, คลอรีนไดออกไซด์ หรือไฮโปคลอไรท์

การทำปฏิกิริยาโดยการใช้ Cl_2ในการออกซิไดซ์เหล็กในน้ำบาดาลเป็นไปตามสมการที่ 5ดังแสดงด้านล่าง

$$2Fe(HCO_3)_2 + Cl_2 + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2Fe(HO)_3 + CaCl_2 + 6\,CO_2 \text{ ..... (5)}$$

ปฏิกิริยาดังกล่าวใช้คลอรีน 1 มก/ล. สามารถออกซิไดซ์เหล็กเฟอร์รัสในน้ำได้ 1.6มก./ล. สามารถออกซิไดซ์ได้ดีที่ pH 7ปฏิกิริยาอาจนานขึ้นถ้าอุณหภูมิของน้ำต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้ Cl_2เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นและรสในน้ำ และอาจทำให้เกิดสารประกอบคาร์ซิโนเจน (Carcinogen) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคมะเร็งได้ จึงไม่นิยมใช้วิธีนี้ในการกำจัดเหล็กในน้ำใต้ดิน

ค. การใช้ด่างทับทิม

การออกซิไดซ์เหล็กด้วยด่างทับทิมหรือโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) สามารถดำเนินการได้ตามสมการที่ 6

$$Fe(HCO_3)_2 + KMnO_4 + 7H_2OCa(HCO_3)_2 \longrightarrow MnO_2 + 3Fe(OH)_3 + KMnO_3 + 5H_2OC_3 \quad ....(6)$$

ในทางทฤษฎีด่างทับทิม 1 มก./ล. สามารถออกซิไดซ์เหล็กได้ 1.06 มก/ล. แต่เนื่องจากมีแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี ดังนั้นในทางปฏิบัติ จึงพบว่าด่างทับทิม 1 มก./ล. สามารถออกซิไดซ์เหล็กเฟอร์รัสได้ถึง 1.66 มก./ล.$KMnO_3$ และ H_2CO_2จะแตกตัวไปกับน้ำ ซึ่ง H_2CO_3 จะแตกตัว (Break Down) เป็นน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามสมการที่7

$$H_2CO_3H_2O + CO_2 \quad ..... (7)$$

ง. การเติมอากาศตามด้วยการเติมปูนขาว

การเติมอากาศแล้วตามด้วยการเติมปูนขาวนี้ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการกำจัดเหล็กตามสมการ 2.10 และ 2.11 ดังนี้

$$Fe(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Fe(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 \quad ..... (8)$$

$$4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \longrightarrow 4Fe(OH)_3 \quad ..... (9)$$

พีเอชที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์อยู่ที่ 8.4 จากการทำปฏิกิริยาดังกล่าว จะทำให้เกิดชั้นตะกอน ในถังตกตะกอนชั้นตะกอนนี้จะทำหน้าที่กำจัดเหล็กได้แล้วยังช่วยกำจัดความกระด้างแบบไบคาร์บอเนตได้อีกด้วย สำหรับค่าสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการกำจัดเหล็ก ดังตาราง 1

ตาราง 1ปริมาณสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการกำจัดเหล็ก

สารเคมี	ปริมาณสารเคมี(mg/L)
Oxygen	0.14
Cl_2	0.64
$Ca(OCl)_2$	0.64
$NaOCl_2$	0.67
$KMnO_4$	0.94
ClO_2	1.21
O_3	0.43

(สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากร, ม.ป.ป.)

กระบวนการผลิตน้ำประปา

ก. การสูบน้ำดิบ จากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือแหล่งน้ำอื่นๆที่จัดหาหรือจัดเตรียมไว้ซึ่งมีการตรวจสอบวิเคราะห์และควบคุมคุณภาพของน้ำดิบอย่างสม่ำเสมอ

ข. การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ โดยการเติมอากาศเพื่อช่วยในการเปลี่ยนรูปของเหล็กละลายน้ำให้อยู่ในรูปของตะกอนเหล็ก และปรับค่าความเป็นกรด–ด่าง ของน้ำดิบ

ค. การตกตะกอน น้ำที่ผ่านการสัมผัสออกซิเจนแล้ว จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อให้ตะกอนที่มีขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ และตกลงสู่ก้นถังจนได้น้ำที่มีความใสสะอาด

ง. การกรอง เพื่อกำจัดตะกอน หรือสิ่งปนเปื้อนขนาดเล็กมากอีกครั้งโดยการกรองด้วยทรายกรองหัวกรองน้ำ เพื่อให้ได้น้ำที่มีความใสสะอาดอย่างแท้จริง

จ. การฆ่าเชื้อโรค น้ำที่ผ่านการกรองแล้ว เติมคลอรีน เพื่อฆ่าเชื้อโรคในอัตราส่วนที่พอเหมาะ แต่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย แล้วนำไปเก็บไว้ในถังน้ำใสเพื่อรอการสูบจ่ายต่อไป

ฉ. การควบคุมคุณภาพน้ำประปา ตรวจสอบและควบคุมคุณภาพน้ำประปาที่ผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่ใส สะอาด ปลอดภัย ตามมาตรฐานน้ำดื่ม

ช. การสูบจ่ายน้ำประปาโดยการปล่อยน้ำจากหอถังสูงหรือสูบอัดเข้าเส้นท่อจ่ายน้ำเพื่อเพิ่มแรงดัน ทำให้ส่งน้ำไปได้ไกล และให้บริการประชาชนได้อย่างเพียงพอทั่วถึง ตลอดเวลา

การเพิ่มออกซิเจนจากรากพืช

การเติมอากาศด้วยถาดกระจายน้ำมักจะยังเหลือเหล็กละลายน้ำตกค้างอยู่จึงมีแนวคิดนำพืชมาใช้ในการเพิ่มการเติมออกซิเจน โดยพืชสามารถเติมออกซิเจนในน้ำได้ ในส่วนของรากพืชสามารถเพิ่มอากาศและสามารถดูดซับเหล็กในน้ำได้มีหลักการทำงานในการเติมออกซิเจนในน้ำได้

ต้นกกราชินี

ชื่อสามัญ Umbrella plant

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cyperusinvolucratus*Rottb.

ชื่อพ้องวิทยาศาสตร์ *Cyperusalternifolius* L. subsp. *flabelliformis* (Rottb.) Kuk.

กกราชินี มีลักษณะคล้ายกับกกร่ม ต่างกันที่กกราชินีมีขนาดเล็กกว่า ใบแผ่ออกเป็นแฉกตรง ไม่ห้อยลู่ลงเหมือนกกร่ม เป็นไม้ริมน้ำ อายุหลายปี ลำต้นใต้ดินเป็นเหง้าแข็ง ลำต้นเหนือดินสร้างช่อดอก แตกเป็นกอ รูปสามเหลี่ยมภายในตันใบเดี่ยว ลดรูปเป็นเกล็ดหรือแผ่นสีน้ำตาล เรียงตัวเป็นกระจุกสามระนาบรอบโคนต้นดอกสีเหลืองอมน้ำตาล ออกเป็นช่อแบบช่อซี่ร่มย่อยที่ปลายกิ่ง ช่อดอกแตกแขนงย่อย 20–25 แขนง กว้าง 12–20 เซนติเมตร มีใบประดับรองรับช่อดอก 4–10 ใบ กว้าง 6–10 มิลลิเมตร ยาว 15–25 เซนติเมตร แต่ละแขนงมีดอกย่อยช่อละ 8–20 ดอก ดอกย่อยมีกาบหุ้ม กว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร ยาว 1–2 มิลลิเมตรผลแห้งรูปรีหรือรูปไข่ กว้าง 0.4–0.5 มิลลิเมตร ยาว 0.9–1 มิลลิเมตร สีน้ำตาล เปลือกแข็ง มีเมล็ดเดียว(บ้านต้นไม้, 2553)

ประโยชน์

ใบตำพอกฆ่าพยาธิบาดแผล ดอกต้มเอาน้ำแก้แผลพุพองในปาก

ดูแลรักษา

ใช้ดินเหนียวปลูกในกระถาง หรือบ่อน้ำ ถ้าปลูกในบ่อน้ำจะโตเร็วกว่าเพราะได้รับน้ำและธาตุอาหารที่มากกว่าชอบแสงแดดเต็มวัน แต่ก็สามารถนำมาประดับไว้ภายในหรือห้องน้ำได้ ซึ่งต้องหมั่นดูแลให้ต้นไม้ได้รับแสงธรรมชาติบ้างถ้าปลูกในกระถางต้องมีน้ำเลี้ยงต้นไม้ตลอดอย่าให้น้ำแห้งต่ำกว่าโคนรากเพราะจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้

ปัญหาปลายใบไหม้ อาจเกิดจากต้นไม้ขาดน้ำ แล้วได้รับแสงแดดที่จัดในหน้าร้อน ทำให้ความสมดุลภายในเซลพืชไม่ดี จึงทำให้เกิดการไหม้ที่ปลายใบ ซึ่งสามารถเกิดได้ทั้งที่ใบอ่อน

และใบแก่ หรือเกิดจากเชื้อโรคเข้าทำลาย หรือเกิดจากการที่ต้นไม้ได้รับปุ๋ยที่เข้มข้นเกินไป หรือดินเค็ม ก็อาจส่งผลทำให้เกิดอาการไหม้ที่ปลายใบได้เหมือนกัน อาการปลายใบไหม้ ก็ใช้กรรไกรตัดส่วนที่ไหม้ออกและดูแลต่อไปได้

นอกจากนี้ควรมีการเปลี่ยนดิน หรือเปลี่ยนกระถางบ้าง หรือแยกต้นปลูกเมื่อต้นไม้แน่นเกินไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

HalemD. van.*et.al.*(2012)ศึกษาการกำจัดเหล็กใต้ดินโดยวิธี Subsurface iron removalเป็นเทคโนโลยีการกำจัดเหล็กละลายน้ำออกจากน้ำบาดาลโดยป้อนน้ำลงในชั้นตัวกลางซึ่ง นอกจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วยังพบว่ามีออกซิเจนเพิ่มขึ้นในกระแสน้ำบาดาลที่ถูกสูบด้วยแรงดันลงสู่ชั้นตัวกลางอีกด้วย ในการศึกษาถังทรงกระบอกบรรจุทรายโดยใช้น้ำบาลสังเคราะห์และน้ำบาดาลธรรมชาติ พบว่าการลดลงของเหล็กสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนที่ลดลงอย่างชัดเจนในสภาวะที่มีประจุของโซเดียมสูง

Catherine V. *et.al.*(1998)ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยวิธีชีวภาพเพื่อผลิตน้ำดื่ม โดยใช้น้ำดิบที่มี pH 5.7 และใช้ค่าการเกิดออกซิเดชัน–รีดักชั่น(Oxidation–reduction Potential, ORP) เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบ พบว่าที่ระดับออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าระดับความต้องการต่ำสุดของปฏิกิริยาไม่มีความสัมพันธ์ของปริมาณเหล็กที่เหลืออยู่และค่า ORP กับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เปลี่ยนแปลง แต่ในสภาวะที่ออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่าความต้องการ ค่า ORP จะสัมพันธ์กับปริมาณเหล็กที่เหลืออยู่ ความสัมพันธ์นี้ใช้ได้กับความเข้มข้น ORP ระหว่าง 300 ถึง 470 mV

Batty L.*et.al.* (2008)ศึกษาแนวทางการใช้ระบบบึงประดิษฐ์ในการบบำบัดน้ำเสียจากเหมืองที่ปนเปื้อนเหล็กและแมงกานีสเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำโดยการเก็บตัวอย่างน้ำทุกชั่วโมงเพื่อวิเคราะห์ผลของการสังเคราะห์แสงของพืชต่อการกำจัดเหล็กและแมงกานีส พบว่าระบบบึงประดิษฐ์สามารถกำจัดเหล็กได้ 98% โดยมีกระบวนการหลักในการกำจัดคือการเกิดออกซิเดชันของเหล็กให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้กลไกการกำจัดเหล็กทางชีวภาพจะเป็นกลไกหลักเมื่อน้ำมีปริมาณเหล็กน้อย

Xu JC. *et.al.* (2009)ศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเหล็กซึ่งเป็นน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการหล่อเย็นในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ตัวกลางเป็นแร่แมงกานีสให้ผลการบำบัดเหล็กและแมงกานีสได้ดีกว่าการใช้กรวดเพียงอย่างเดียว โดยสามารถลดปริมาณเหล็กลงจาก 0.16–2.24 มก./ล. ลงต่ำกว่า 0.05 มก./ล. ได้จากการเก็บกักน้ำ 2–5

วัน และยังให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ความขุ่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่าการใช้กรวดเป็นตัวกลาง อย่างไรก็ตามการใช้แร่แมงกานีสเพียงอย่างเดียวมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากและพบว่าเมื่อลดปริมาณแร่แมงกานีสลงเหลือ 4% ผสมกับกรวดยังให้ประสิทธิภาพในการบำบัดในเกณฑ์ดี

บทที่3

วิธีดำเนินการวิจัย

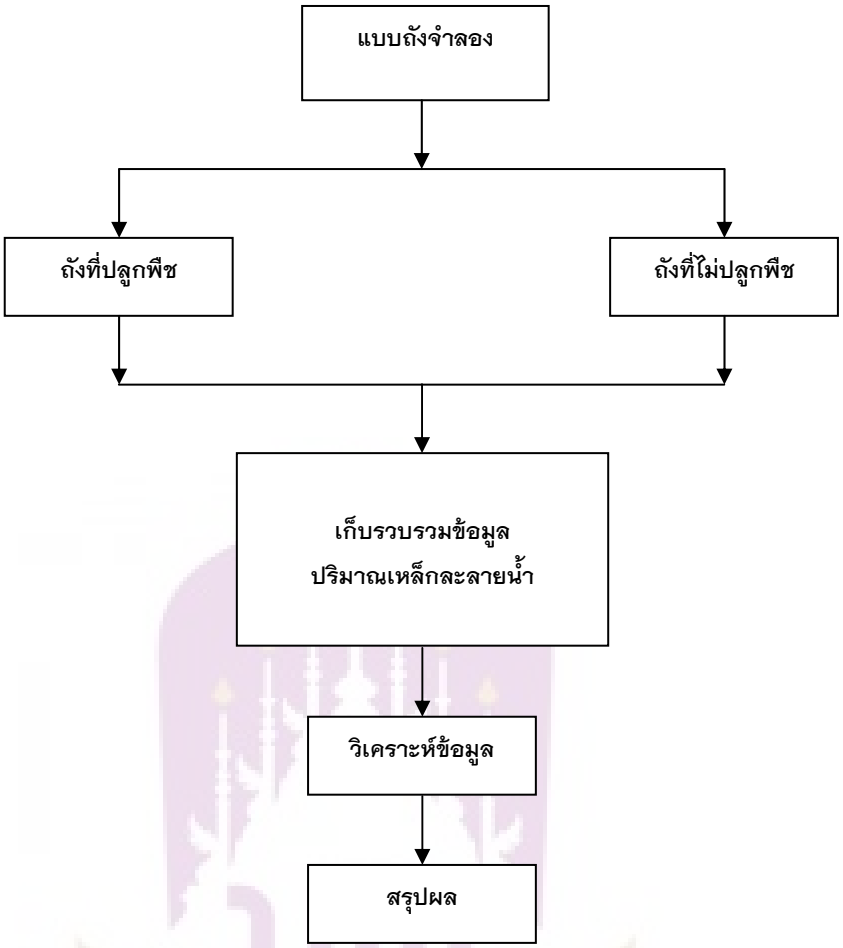
การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาศักยภาพของพืชที่ช่วยในการกำจัดเหล็กละลายน้ำในน้ำใต้ดิน โดยศึกษาจากแบบจำลองระดับ Lab-scale โดยมีรายละเอียดในการดำเนินการศึกษาดังนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ถังไฟเบอร์ใช้ในการปลูกพืชเพื่อนำน้ำมาผ่านกระบวนการวิจัย
2. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ
3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยพะเยา

วิธีดำเนินการวิจัย

สร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กจากน้ำบาดาลโดยใช้พืช ศึกษาโดยเปรียบเทียบแบบจำลองถัง A บรรจุตัวกลางกรวดและปลูกพืชไว้ และถัง B ที่บรรจุตัวกลางที่เป็นกรวดแม่น้ำโดยไม่มีการปลูกพืชเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการปลูกพืชกับปริมาณเหล็กละลายน้ำที่สามารถลดลงได้ โดยมีแนวทางการดำเนินการศึกษาตามกระบวนการดังภาพ 1



ภาพ 1ไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินงาน

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาศักยภาพของพืชที่ช่วยในการกำจัดเหล็กละลายน้ำในน้ำใต้ดิน โดยศึกษาจากแบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ สร้างจากถังไฟเบอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถัง 0.6 เมตรสูง 0.7 เมตร มีความจุ 150ลิตรจำนวน 2 ถัง เจาะและติดตั้งวาล์วปิด – เปิดน้ำบริเวณด้านล่างของถัง ภายในบรรจุกรวดแม่น้ำคละขนาด (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-35มม.) ประมาณ 2 ใน 3 ของความจุถังดังแสดงในภาพ2

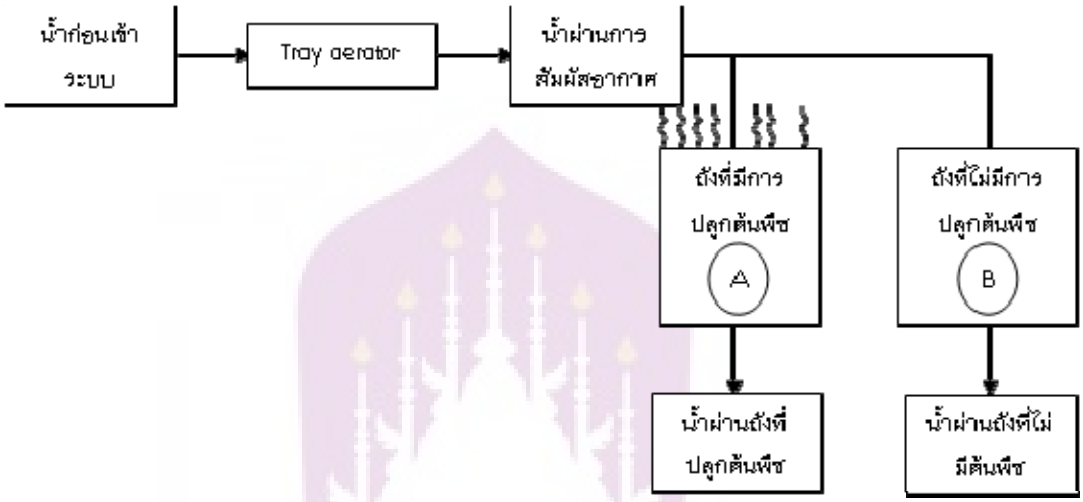
ภาพ 2 กรวดแม่น้ำ

ในถังแรกกำหนดให้เป็นแบบจำลองAทำการปลูกต้นกกราชินี (*Cyperusinvolucratus*Rottb.) ดังภาพที่ 3 เพื่อทดสอบศักยภาพของพืชในการกำจัดเหล็กละลายน้ำ ส่วนในถังที่สองกำหนดให้เป็นแบบจำลองBไม่มีการปลูกพืชเพื่อใช้เป็นระบบเปรียบเทียบผลของพืชต่อปริมาณเหล็กละลายน้ำที่กำจัดได้

ภาพ 3ถังที่ปลูกต้นกกราชินี (*Cyperusinvolucratus*Rottb.)

น้ำที่ใช้ในการศึกษา

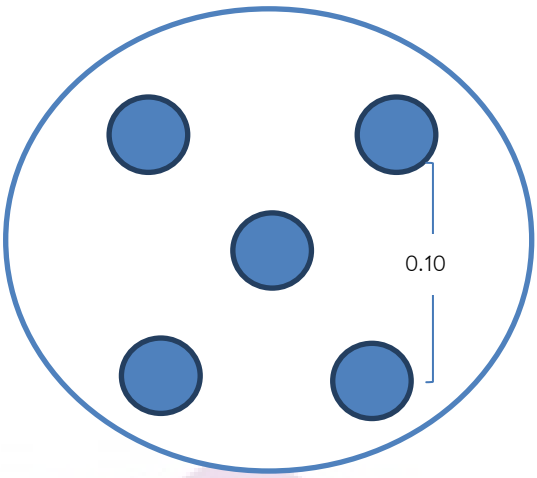
น้ำที่ผ่านเข้าสู่แบบจำลองเป็นน้ำใต้ดินที่สูบขึ้นผ่านการกระจายน้ำบนถาดเติมอากาศ (Tray Aerator) ก่อนแล้วจึงไหลลงสู่แบบจำลองทั้งสองถัง และการควบคุมการไหลของน้ำที่เข้าแบบจำลองที่อัตราการไหล120 ลิตร/ชั่วโมงน้ำตัวอย่างจะถูกเก็บจากจุดเก็บน้ำทั้งหมด 4 จุด ดังภาพ 4 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กละลายน้ำ



ภาพ4 ไดอะแกรมการไหลของน้ำจุดเก็บตัวอย่างน้ำ

พืชที่ใช้ในการศึกษา

ต้นกกราชินี *(Cyperus involucratus* Rottb.) เป็นพืชที่ใช้ปลูกเป็นไม้ประดับ มีลักษณะเป็นต้นเดี่ยวสูงมีใบเล็กเรียวยาวที่ส่วนปลายมีรากยาวเจริญเติบโตเร็วชอบน้ำขัง ในการศึกษาครั้งนี้ทำการปลูกกกราชินีในแบบจำลองโดยปลูกแยกเป็นกอละ 4–5 ต้น แต่ละกอปลูกห่างกันประมาณ 0.10 เมตรเพื่อให้พืชครอบคลุมพื้นที่ถังทั้งหมดดังภาพ 5



ภาพ 5การปลูกต้นพืช

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กละลายน้ำตามวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (APHA, 1995)โดยมีความถี่ในการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 วิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	จุดเก็บน้ำ	ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง	วิธีวิเคราะห์
Fe	1, 2, 3, 4	สัปดาห์ละครั้ง	ฟีแนนโทลีน

แผนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาศักยภาพการกำจัดเหล็กละลายน้ำของต้นกกราชินีจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด8 เดือน ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2554 ถึง พฤษภาคม 2555 โดยมีรายละเอียดระยะเวลาในการศึกษาดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 ระยะเวลาการศึกษาค้นคว้า

กิจกรรม	ระยะเวลา (เดือน)							
	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค
วิเคราะห์ปัญหาและทบทวนวรรณกรรม	⟷							
ออกแบบและสร้างแบบจำลอง		⟷						
ดำเนินการศึกษาแบบจำลองและเก็บข้อมูลวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง			⟷	⟷	⟷	⟷		
วิเคราะห์ผลและสรุป						⟷	⟷	
จัดทำรูปเล่มสาระนิพนธ์							⟷	⟷

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ปัจจุบันระบบประปาในบางพื้นที่ยังจำเป็นต้องนำน้ำใต้ดินมาใช้ในการอุปโภคบริโภค น้ำใต้ดินส่วนใหญ่โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคเหนือเหล็กละลายอยู่ในปริมาณสูง ส่งผลให้น้ำมีกลิ่นคล้ายไข่เน่าและมีสีแดงอมเหลืองเมื่อสัมผัสกับอากาศระยะหนึ่งการได้รับเหล็กที่ละลายน้ำในปริมาณมากต่อเนื่องกันส่งผลต่อสุขภาพทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้ จากรายงานสำนักการแพทย์ทางเลือก(2554)กล่าวว่าเหล็กมีส่วนในการเร่งปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็ง นอกจากนี้เหล็กยังขัดขวางการดูดซึมและขนส่งแร่ธาตุจำเป็นอื่นๆของร่างกายอีกด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดเหล็กที่ปนเปื้อนออกจากน้ำเสียก่อนจะนำมาอุปโภคและบริโภค มาตรฐานน้ำประปากำหนดให้มีปริมาณเหล็กได้ไม่เกิน0.5 มก./ล. (กรมควบคุมมลพิษ,2552) ปัจจุบันวิธีการกำจัดเหล็กที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินทำได้โดยเพิ่มการสัมผัสกับออกซิเจนของน้ำใต้ดินเพื่อให้เหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำทำปฏิกิริยากลายเป็นตะกอนเหล็กจากนั้นจึงทำการตกตะกอนเหล็กแยกออกจากน้ำโดยการเติมอากาศให้แก่น้ำใต้ดินที่นิยมใช้ในระบบประปาขนาดเล็กได้แก่ การเติมอากาศผ่านถาดกระจายน้ำ อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำที่ผ่านการสัมผัสกับออกซิเจนจากการไหลผ่านถาดกระจายน้ำแล้วนั้นยังมีเหล็กละลายน้ำหลงเหลืออยู่ในปริมาณสูงเนื่องจากระยะเวลาในการสัมผัสอากาศค่อนข้างสั้นและยังขึ้นอยู่กับช่องว่างของถาดกระจายน้ำที่เป็นตัวกำหนดขนาดของหยดน้ำอีกด้วยการนำพืชมาใช้ในการเพิ่มการเติมอากาศให้กับน้ำใต้ดินจึงเป็นอีกแนวทางเนื่องจากพืชมีระบบรากที่ช่วยในการเติมอากาศได้และยังช่วยชะลอการไหลของน้ำให้สัมผัสอากาศได้นานยิ่งขึ้นอีกด้วย ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดสอบการใช้ต้นกกราชินีเพื่อเพิ่มการกำจัดเหล็กในน้ำใต้ดินโดยทำการปลูกพืชในถังบรรจุกรวดซึ่งสามารถเกิดการดูดติดผิว (Adsorption) ของเหล็กได้อีกทางหนึ่ง

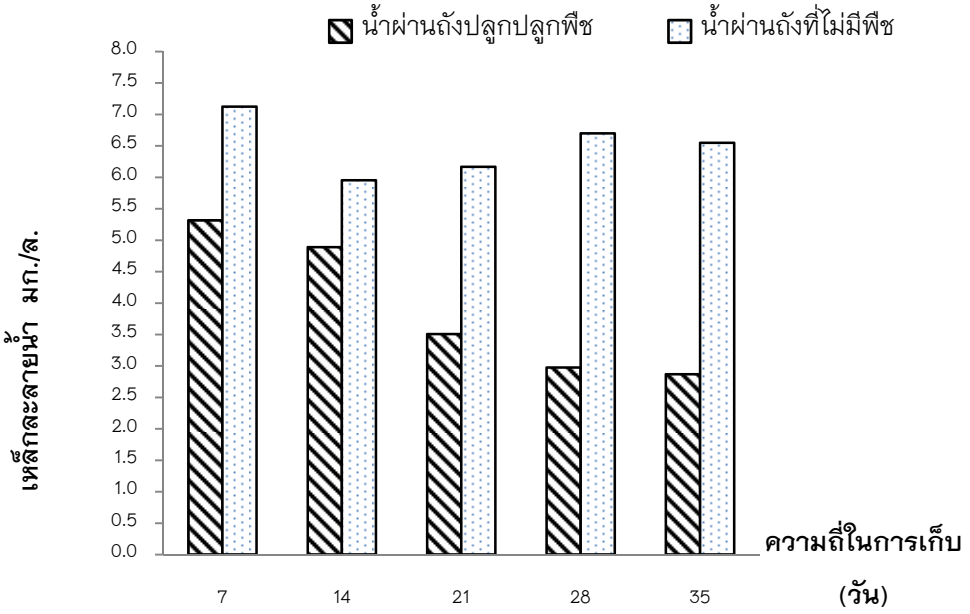
ต้นกกราชินีที่ใช้ในการศึกษาได้คัดต้นที่มีขนาดและความสูงใกล้เคียงกันโดยแยกต้นพืชเป็นกอ ๆ กอละประมาณ 3–5 ต้นปลูกลงบนแบบจำลองที่บรรจุกกรวดให้ต้นพืชกระจายเต็มพื้นที่ของแบบจำลองแต่ละกอห่างกันประมาณ 10 ซม.ในช่วงแรกเป็นช่วงที่พืชต้องปรับตัวในสภาวะใหม่จึงขังน้ำไว้ในแบบจำลองเพื่อให้ต้นพืชมีความชุ่มชื้นตลอดเวลาและเจริญเติบโตได้ไวเมื่อต้นพืชมีอายุประมาณ7 วัน สังเกตพบว่าต้นพืชเริ่มมีการงอกต้นใหม่เพิ่มมากขึ้นและมีความสูงเพิ่มจากเดิมเฉลี่ย 5– 10 ซม. ดังแสดงในภาพ 6

ภาพ 6ต้นพืชที่เติบโตในระบบแล้ว

จึงเริ่มปล่อยน้ำผ่านแบบจำลองโดยน้ำที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำที่ผ่านจากถาดกระจายน้ำแล้วทำให้ลดปริมาณเหล็กจากเดิมเพียงเล็กน้อย โดยลงลงจาก57 มก./ล. ในน้ำใต้ดินที่สูบขึ้นมาเหลือ 47 มก./ล. ดังแสดงในภาพ 7น้ำผ่านถาด น้ำออกจาก A และ B ดังภาพ8คิดเป็นประสิทธิภาพการลดเหล็กละลายน้ำเท่ากับ 17.5 %ซึ่งพบว่ายังคงมีเหล็กละลายน้ำตกค้างอยู่ส่งผลให้น้ำประปาที่ผลิตได้ไม่เหมาะสมกับการอุปโภคบริโภค ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มการเกิดตะกอนออกไซด์ของเหล็กโดยการใช้พืชช่วยส่งผ่านออกซิเจนลงสู่น้ำ รวมถึงการดูดซับเหล็กไว้ในพืชเพื่อลดปริมาณเหล็กละลายน้ำลงให้มากขึ้น

ภาพ7การเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กในจุดเก็บน้ำต่างๆ

เมื่อผ่านถาดกระจายน้ำแล้ว จากนั้นจึงไหลเข้าสู่แบบจำลองที่ศึกษาในอัตรา 2 ลิตรต่อนาทีการศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กละลายน้ำของพืชโดยใช้แบบจำลองA ที่ทำการปลูกพืชไว้ในตัวกลางกรวดแม่น้ำเปรียบเทียบกับแบบจำลองB ที่มีตัวกลางกรวดแม่น้ำแต่ไม่มีการปลูกพืชไว้เมื่อเปิดให้น้ำไหลผ่านแบบจำลองทั้งสองเป็นเวลาประมาณ7 วัน จนต้นพืชสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่ได้รับเพียงน้ำใต้ดินโดยสังเกตจากความสูงของลำต้น จำนวนใบที่เพิ่มมากขึ้น จึงเริ่มทำการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนและหลังจากผ่านแบบจำลองและวิเคราะห์ปริมาณเหล็กละลายน้ำที่กำจัดได้พบว่าระบบที่ไม่มีการปลูกพืชมีเพียงกรวดกรองน้ำ (แบบจำลอง B) สามารถกำจัดเหล็กได้เฉลี่ยร้อยละ 87 เหลือปริมาณเหล็กในน้ำที่ผ่านแบบจำลองออกมา 6 มก./ล. เปรียบเทียบกับแบบจำลอง A ที่มีการปลูกต้นกกราชินีพบว่ามีปริมาณเหล็กละลายน้ำเหลือในน้ำออก 4 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กละลายน้ำได้ร้อยละ 6.5ดังแสดงในภาพ 8และตาราง4



ภาพ 8 ปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ผ่านออกจากแบบจำลองที่มีพืชและไม่มีพืช

ตาราง4สรุปผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กละลายน้ำ

จำนวนวันที่ทำการศึกษา	Fe^{+2} (มก./ล.)	
	น้ำผ่านถังปลูกปลูกพืช	น้ำผ่านถังที่ไม่มีพืช
7	5.315	7.124
14	4.890	5.953
21	3.507	6.166
28	2.975	6.698
35	2.868	6.549
ค่าเฉลี่ย	3.911	6.498

การลดปริมาณเหล็กละลายน้ำในแบบจำลองที่มีการปลูกพืชสูงกว่าแบบจำลองที่ไม่มีการปลูกพืชเนื่องมาจากพืชมีระบบรากที่ช่วยในการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศผ่านทางใบของพืชมายังส่วนของรากที่กระจายอยู่ในชั้นตัวกลาง จากรายงานของ US.EPA (1993) พบว่าพืชตระกูลกก (*Scirpus Spp.*)สามารถส่งผ่านออกซิเจนไปยังส่วนรากพืชได้ 7.5 มก.O_2/ลบ.ม./วัน น้ำใต้ดินที่ไหลผ่านชั้นกรวดจะไหลในลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆเคลื่อนผ่านผิวตัวกลางและชั้นรากพืชทำให้มีพื้นที่ในการสัมผัสกับออกซิเจนมากจึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กสูงกว่าแบบจำลองที่ไม่มีพืช นอกจากนี้พืชยังสามารถนำเหล็กไปใช้ในการเจริญเติบโตและมีการสะสมไว้ในส่วนต่างๆ จากบทความของ วรางคณา วิเศษมณี ลี (2552) กล่าวว่าพืชมีกระบวนการในการดูดซึมโลหะหนักโดยเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของรากซึ่งจะทำหน้าที่ในการดูดซึมโลหะหนัก (Absorption) ผ่านเข้าไปในเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane) ของรากพืชแล้วทำการเก็บโลหะหนักเหล่านั้นไว้ในช่องว่างในเซลล์พืชหรือที่เรียกว่า “Vacuole” เมื่อโลหะหนักมีปริมาณมากพืชจะลำเลียงไปเก็บไว้ที่ท่อลำเลียงน้ำ(Xylem) ในลำต้นของพืช (Stem) นอกจากนี้กระบวนการกำจัดโลหะหนักด้วยจุลินทรีย์ยังเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ช่วยในการลดปริมาณโลหะหนักได้โดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่อาศัยอยู่บริเวณรากพืชเพื่อใช้ออกซิเจนที่แพร่ออกจากรากในการดำรงชีพ กระบวนการต่างๆของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือกระบวนการเมทาบอลิซึม (Metabolism) ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์โดยจุลินทรีย์สามารถใช้โลหะหนักบางประเภทเป็นสารอาหาร (Micronutrients) และกระบวนการดูดซับหรือดูดติดผิว (Adsorption) บริเวณผนังเซลล์ (Cell wall) ของจุลินทรีย์ซึ่งมีความสามารถในการดูดติดผิวด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) ระหว่างผนังเซลล์จุลินทรีย์กับประจุของโลหะหนักแล้วเปลี่ยนโลหะหนักชนิดนั้นๆให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษลดลงด้วยกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์ของจุลินทรีย์Robert H. Kadlec, Scott D. Wallace (1995) พบว่าพืชสามารถดูดซับเหล็กไว้ได้ 780 ไมโครกรัม/กรัม ในส่วนของพืชที่อยู่เหนือผิวดิน และในการศึกษาพบว่าพืชสามารถสะสมเหล็กได้ในส่วนของรากจากภาพ8 พบว่าแบบจำลองที่มีการปลูกต้นกกราชินีมีแนวโน้มในการลดปริมาณเหล็กละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ทำการศึกษาเพิ่มมากขึ้นเทียบกับระบบที่ไม่มีการปลูกพืช ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น มีการเพิ่มจำนวนต้นและมีระบบรากที่สมบูรณ์แผ่ขยายทั่วชั้นตัวกลางของแบบจำลองได้มากขึ้นทำให้มีการแพร่ของออกซิเจนในปริมาณที่มากขึ้นรวมถึงการดูดซับเหล็กที่มากขึ้นตามการเจริญเติบโตของพืชด้วยเช่นกัน ส่วนในแบบจำลองที่ไม่มีการปลูกพืชซึ่งพบว่าสามารถลดเหล็กละลายน้ำได้ร้อยละ87 เนื่องมาจากบริเวณผิวของกรวดที่ใช้เป็นตัวกลางจะมีประจุไฟฟ้าอยู่ทำให้เกิดการดูดติดผิวของเหล็กกับตัวกลางกรวดได้ วรางคณา วิเศษมณี ลี (2552) กล่าวว่ากระบวนการหลักที่สามารถลดปริมาณโลหะหนักในน้ำได้มากกว่า

ร้อยละ 50 คือการกรอง (Filtration) และการดูดซับหรือการดูดติดผิว (Adsorption) โดยกระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นเมื่อโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำไหลผ่านวัสดุปลูกพืชซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกรองและตัวเกาะที่ดีให้กับอนุภาคของโลหะหนักเกาะกับอนุภาคต่างๆของวัสดุปลูกพืช เช่นสารอินทรีย์ (Organic Matter) ในดินสารประกอบคาร์บอเนตเหล็กและแมงกานีสในหินกรวดทรายเป็นต้นส่งผลให้โลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำมีความเสถียรมากขึ้นและละลายน้ำได้น้อยลงจึงตกตะกอน (Sedimentation) อยู่ในวัสดุปลูกพืชกระบวนการดูดติดผิวเป็นกระบวนการที่ถูกจำกัดจากประจุอิสระที่อยู่บนพื้นผิววัสดุตัวกลางจะเห็นว่าความสามารถในการลดเหล็กละลายน้ำของแบบจำลองที่มีเพียงชั้นกรวดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาที่ศึกษาเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในภาพ 4.3 นอกจากนี้การที่น้ำไหลผ่านชั้นกรวดทำให้มีการชะลอความเร็วของน้ำในระบบเพื่อให้น้ำได้สัมผัสกับอากาศได้มากขึ้นอย่างไรก็ตามปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ผ่านชั้นตัวกลางและพืชแล้วยังคงมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานน้ำประปากำหนดไว้ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้เป็นการทดสอบความเป็นไปได้ของแนวทางในการนำพืชมาช่วยกำจัดเหล็กละลายน้ำ ความสูงของชั้นตัวกลางที่ปลูกพืชและปริมาตรของถังจึงอาจจะยังไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ในการนำผลการศึกษาครั้งนี้ไปใช้ประโยชน์จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อออกแบบขนาดของถังปลูกพืชที่เหมาะสมต่อไป นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตน้ำประปายังจำเป็นต้องมีถังตกตะกอนถังกรองและระบบการฆ่าเชื้อโรคในน้ำต่อเนื่องจากการกำจัดเหล็กอีกด้วย

บทที่ 5

บทสรุป

ในระบบน้ำประปาขนาดเล็กส่วนใหญ่มีการนำเอาน้ำใต้ดินมาใช้ในการผลิตน้ำประปา และมักพบปัญหาการปนเปื้อนของเหล็กในปริมาณมาก ในการศึกษาครั้งนี้จึงหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำใต้ดินโดยใช้ประโยชน์จากกลไกของพืช โดยการสร้างแบบจำลองความจุ150 ลิตร ภายในบรรจุกรวดแม่น้ำและทำการปลูกต้นกกราชินี (*Cyperusinvolucratus*Rottb.)และมีแบบจำลองควบคุมที่ไม่ปลูกพืชเพื่อเปรียบเทียบการลดปริมาณเหล็กละลายน้ำ แบบจำลองทั้งสองควบคุมให้น้ำไหลในแนวดิ่งในอัตราการไหล120 ลิตร/ชั่วโมงเมื่อเริ่มปลูกพืชในแบบจำลองแล้วทำการเดินระบบแบบจำลองให้น้ำเข้ามาในระบบทั้งถัง A ที่ทำการปลูกพืชไว้ และถัง B ที่ใส่ตัวกลางที่เป็นกรวดแม่น้ำโดยไม่มีการปลูกพืชไว้เดินระบบทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วันเพื่อให้ต้นพืชเจริญเติบโตสังเกตจากความสูงของลำต้น จำนวนใบที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำการเก็บตัวอย่างที่ผ่านเข้ามาในระบบเพื่อนำน้ำตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ดูผลในห้องปฏิบัติการพบว่าน้ำใต้ดินที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณเหล็กละลายน้ำเฉลี่ย 57มก./ล. และเติมอากาศด้วยถาดเติมอากาศซึ่งจะกระจายน้ำให้เป็นหยดเล็กๆเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสออกซิเจนให้มากขึ้นโดยเมื่อผ่านการกระจายน้ำบนถาดเติมอากาศแล้วค่าเหล็กในน้ำลดลงเหลือ 47 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการลดเหล็กละลายน้ำเท่ากับ 87 % ซึ่งพบว่ายังคงมีเหล็กละลายน้ำตกค้างอยู่ส่งผลให้น้ำประปาที่ผลิตได้ไม่เหมาะสมกับการอุปโภคบริโภค ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มการเกิดตะกอนออกไซด์ของเหล็กโดยการใช้พืชช่วยส่งผ่านออกซิเจนลงสู่น้ำ รวมถึงการดูดซับเหล็กไว้ในพืชเพื่อลดปริมาณเหล็กละลายน้ำลงให้มากขึ้นน้ำที่ผ่านเข้าแบบจำลองเป็นน้ำบาดาลที่ผ่านการเติมอากาศจากถาดกระจายน้ำแล้วพบว่าแบบจำลองที่ปลูกพืชมีปริมาณเหล็กละลายน้ำเหลืออยู่3.9มก./ล. ในน้ำที่ผ่านออกมาคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กละลายน้ำได้ถึงร้อยละ 93 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแบบจำลองที่ไม่ได้ปลูกพืชที่สามารถลดปริมาณเหล็กได้ร้อยละ 87วัดค่าเหล็กละลายน้ำในน้ำออกได้ 6.5 มก./ล.แสดงว่าพืชมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กละลายน้ำได้เป็นอย่างดีเนื่องจากพืชสามารถส่งผ่านออกซิเจนไปยังส่วนรากพืชได้ ทำให้เหล็กที่ละลายน้ำนั้นได้สัมผัสกับออกซิเจนจากรากพืชเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนรูปกลายเป็นตะกอนเหล็ก นอกจากนี้กรวดที่บรรจุในแบบจำลองยังมีส่วนช่วยให้เกิดการดูดติดผิวของเหล็กเพิ่มมากขึ้น และการไหลผ่านชั้นกรวดในแนวดิ่งยังชะลอการไหลของน้ำในระบบเพื่อให้น้ำได้มีเวลาสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

แนวทางในการนำพืชมาช่วยกำจัดเหล็กละลายน้ำ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อออกแบบขนาดของถังปลูกพืชที่เหมาะสมต่อไป นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตน้ำประปายังจำเป็นต้องมีถังตกตะกอน ถังกรองและระบบการฆ่าเชื้อโรคในน้ำต่อเนื่องจากการกำจัดเหล็กอีกด้วยเนื่องจากน้ำที่ผ่านถังปลูกพืชแล้วจะยังมีเหล็กเกินกว่ามาตรฐานน้ำดื่มกำหนดไว้และควรมีการศึกษาการใช้พืชช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กในระยะยาวเพื่อดูวงจรของพืช รวมถึงศึกษาในต้นพืชชนิดอื่นๆด้วย

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2552). **ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ. 2551**.ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนพิเศษ 85 ง ลงวันที่ 21 พฤษภาคม 2552

บ้านต้นไม้. (2553). **ต้นกกราชินี**. สืบค้นเมื่อ 26 เมษายน 2555, จาก http://www.allyouwantshop.com/index.php?lay=show&ac=cat_show_pro_detail&cid=42328&pid=198844

วรางคณา วิเศษมณี ลี.(2552). **การบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียด้วยระบบบึงประดิษฐ์**.วารสารสิ่งแวดล้อม. ปีที่ 13,เล่มที่ 3, หน้า 21–24

สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ. (ม.ป.ป.). หนังสือภูมิปัญญาท้องถิ่นในการบริหารจัดการน้ำอุปโภคบริโภค.**เหล็กในน้ำบาดาลและการกำจัดเหล็ก**. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2555, จากhttp://202.129.59.73/tn/March54/Ferum.htm

สำนักการแพทย์ทางเลือก. (2554). **มาตรฐานการแพทย์ทางเลือก เรื่อง คีเลชั่นบำบัดด้วยสาร อีดีทีเอทางหลอดเลือดดำ.** กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. กรุงเทพฯ

Batty Lesley, Hooley Daniel and Younger Paul.(2008). **Iron and manganese removal in wetland treatment systems: Rates, processes and implications for management.** Science of The Total EnvironmentVolume 394, Issue 1, pp. 1–8

Catherine V. Tremblay, André Beaubien, Philippe Charles and James A. Nicel.(1998). **Control of biological iron removal from drinking water using oxidation–reduction potential**.Water Science and TechnologyVolume 38, Issue 6, pp. 121–128

HalemD. van, MoedD.H., VerberkJ.Q.J.C., Amy G.L. and DijkJ.C. van.(2012). **Cation exchange during subsurface iron removal**.Water ResearchVolume 46, Issue 2, pp 307–315

Robert H. Kadlec, Scott D. Wallace.(1995).**Treatment Wetlands Second Edition**, Boca Raton London New York, CRC Press Taylor & Francis Group.

US. EPA (1993), **Subsurface FlowConstructed Wetlands ForWasteWater Treatment: A Technology Assessment.**Office of water, USA.

Xu JC, Chen G, Huang XF, Li GM, Liu J, Yang N and Gao SN. (2009). **Iron and manganese removal by using manganese ore constructed wetlands in the reclamation of steel** wastewater.J Hazard Mater. 169(1–3):309–17.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ขั้นตอนการเตรียมถังทดลอง

1. เตรียมถังไฟเบอร์ ขนาด 0.6 x 0.7 เมตร จำนวน 2 ถังเจาะใส่วาล์วปิด – เปิดน้ำด้านล่างของถัง ใส่หินกรวดแม่น้ำคละขนาดในปริมาณค่อนถังทั้งสองถัง แล้วทำการปลูกต้นกกราชินีในถังที่ 1 ถังที่ 2 ไม่ต้องปลูกพืช

การเตรียมถังจำลอง

การปลูกต้นกกราชินี(*Cyperusinvolucratus*Rottb.)

2.ทำการต่อระบบน้ำที่ผ่านการเติมอากาศในขั้นตอนถาดเติมอากาศ มายังระบบการวิจัยที่ถังจำลองที่ปลูกต้นกกราชินีและถังที่ไม่ได้ปลูก

ระบบน้ำที่ผ่านการเติมอากาศเข้าสู่ถังจำลอง

3.เดินระบบน้ำให้ได้ตามระบบประปาและการควบคุมการไหลจากการคำนวณตามขนาดของถังจำลองแล้วทำการเก็บตัวอย่างตามระยะเวลาที่กำหนดไว้

เดินระบบน้ำตามระบบประปา

4.การควบคุมอัตราการไหลผ่านระบบดังนี้

$$Q = VA$$

อัตราการไหล = ความเร็ว x พื้นที่การไหล

อัตราการไหล หน่วย ลบ.ม./วินาที

ความเร็ว หน่วย ม./วินาที

พื้นที่ หน่วย ตร.ม.

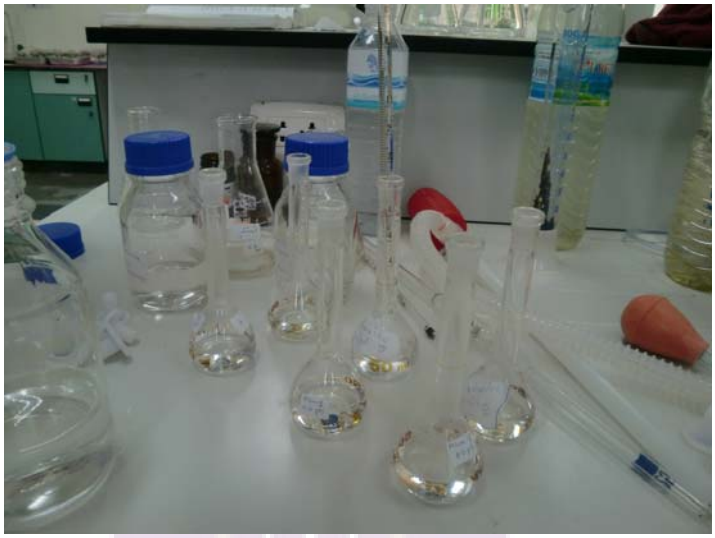
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำ

1. เก็บตัวอย่างน้ำบาดาล ถ้าเก็บจากบ่อบาดาลควรเปิดน้ำทิ้งไปก่อนประมาณ 5 นาที จึงค่อยเก็บหรือเก็บจากก๊อกน้ำต้องล้างหัวก๊อกให้สะอาดก่อน และการจับขวดเก็บน้ำควรจับบริเวณก้นขวด อย่าจับบริเวณปากขวดหรือใกล้คอขวด เปิดน้ำแรงๆทิ้งไว้สัก 2–3 นาที ให้น้ำที่ค้างท่ออยู่ไหลออกให้หมดก่อนบรรจุลงขวด และควรจะเป็นเวลาที่น้ำไหลอย่างสม่ำเสมอ ไม่ใช่ช่วงที่ไหลเบาบ้างแรงบ้าง ค่อยๆ เปิดน้ำให้ไหลจนเต็มขวด ให้น้ำสัมผัสกับอากาศน้อยที่สุด ในกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์น้ำ ณ จุดเก็บตัวอย่างได้ ต้องทำการ เติมกรดไฮโดรคลอริก10 ml/น้ำตัวอย่าง 500 ml. เพื่อรักษาสภาพน้ำตัวอย่าง และปิดจุกให้แน่นแล้วปิดฉลากที่มีรายละเอียดครบถ้วนทันทีด้วยตนเอง เพื่อป้องกันการสับสน

การเก็บตัวอย่างน้ำ

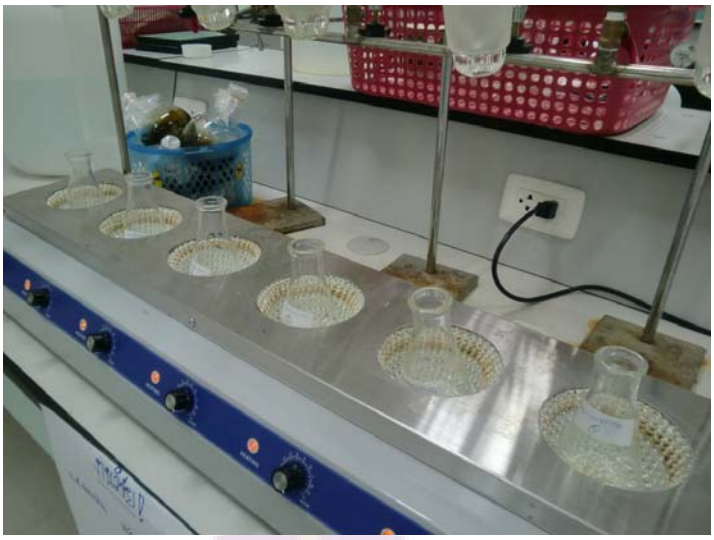
เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพื่อคงสภาพของน้ำ

ภาคผนวก ค การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กละลายน้ำ



อุปกรณ์และสารละลายในการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กละลายน้ำ

ตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กละลายน้ำ

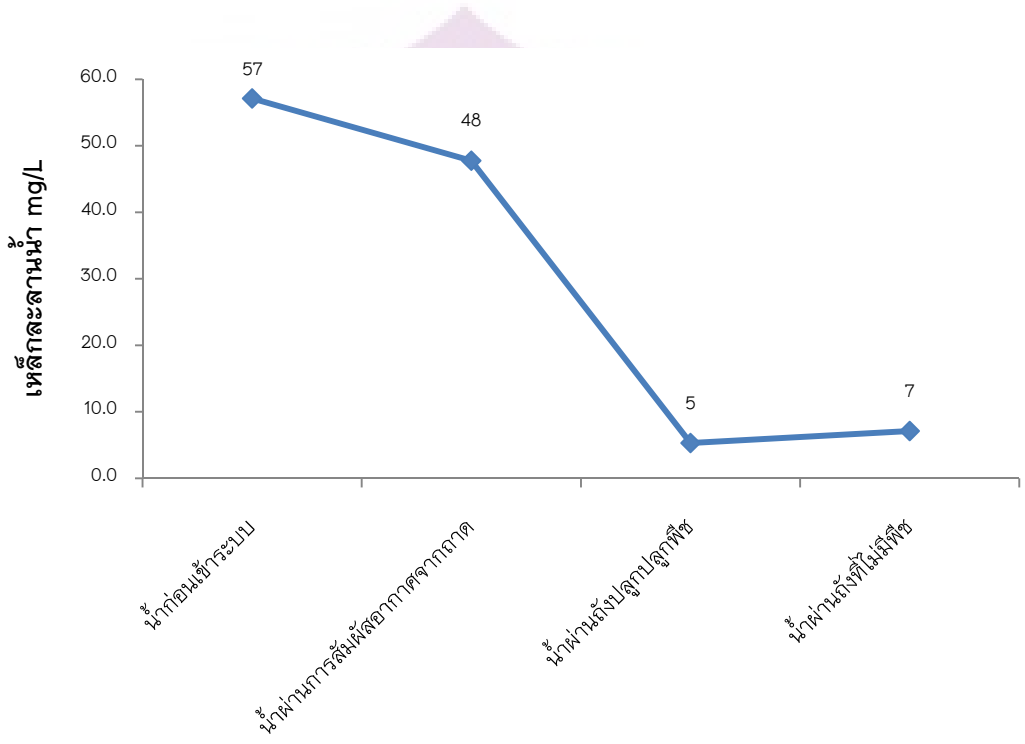


ขั้นตอนการวิเคราะห์เหล็ก

ภาคผนวก ง ผลการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 1 การเปลี่ยนปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ 7 วัน

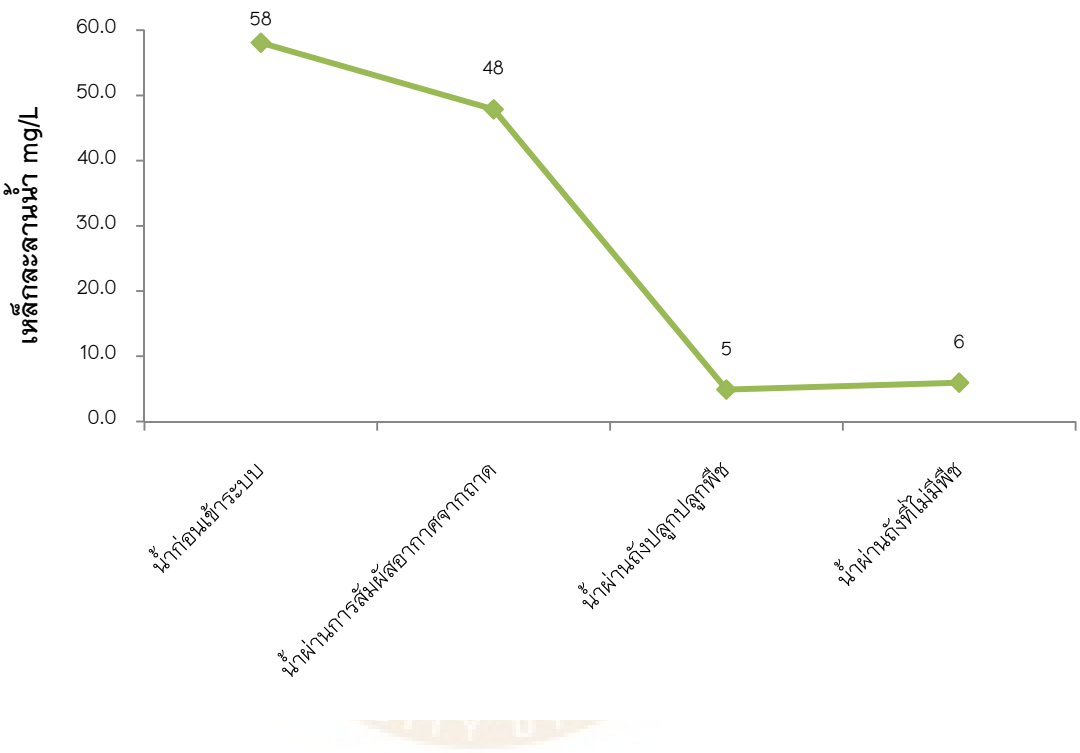
จุดเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้น
น้ำก่อนเข้าระบบ	57
น้ำผ่านการสัมผัสอากาศจากถาด	48
น้ำผ่านถังปลูกปลูกพืช	5
น้ำผ่านถังที่ไม่มีพืช	7



การเปลี่ยนปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ 7 วัน

ตารางภาคผนวกที่ 2 การเปลี่ยนปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ 14 วัน

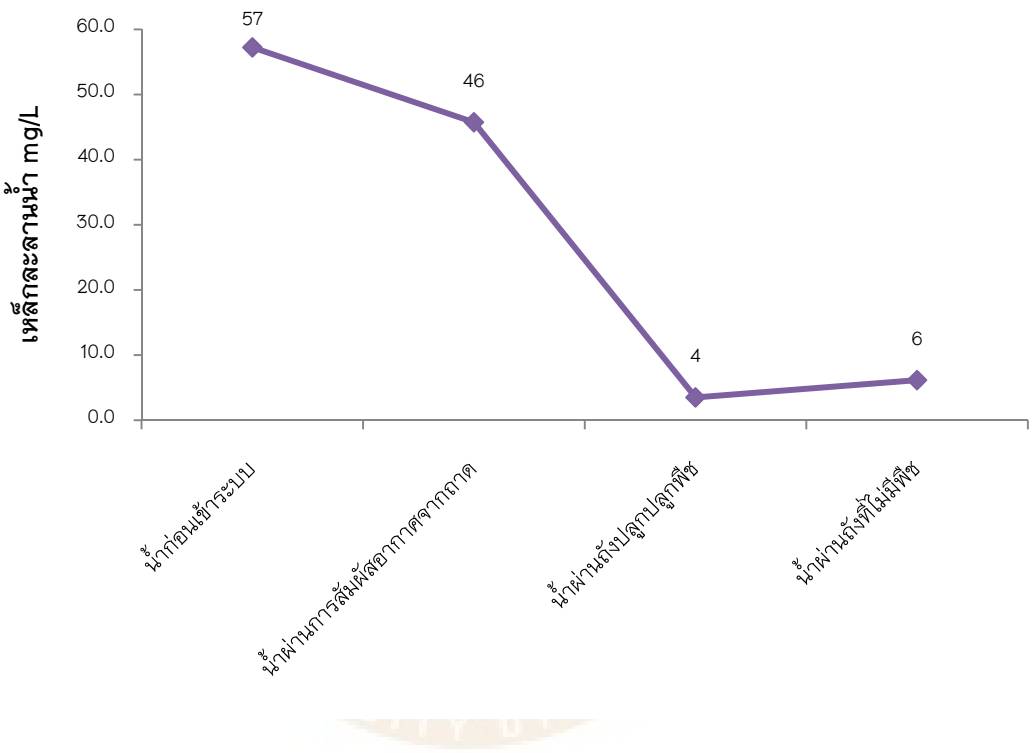
จุดเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้น
น้ำก่อนเข้าระบบ	58
น้ำผ่านการสัมผัสอากาศจากถาด	48
น้ำผ่านถังปลูกปลูกพืช	5
น้ำผ่านถังที่ไม่มีพืช	6



การเปลี่ยนปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ 14 วัน

ตารางภาคผนวกที่ 3 การเปลี่ยนปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ 21 วัน

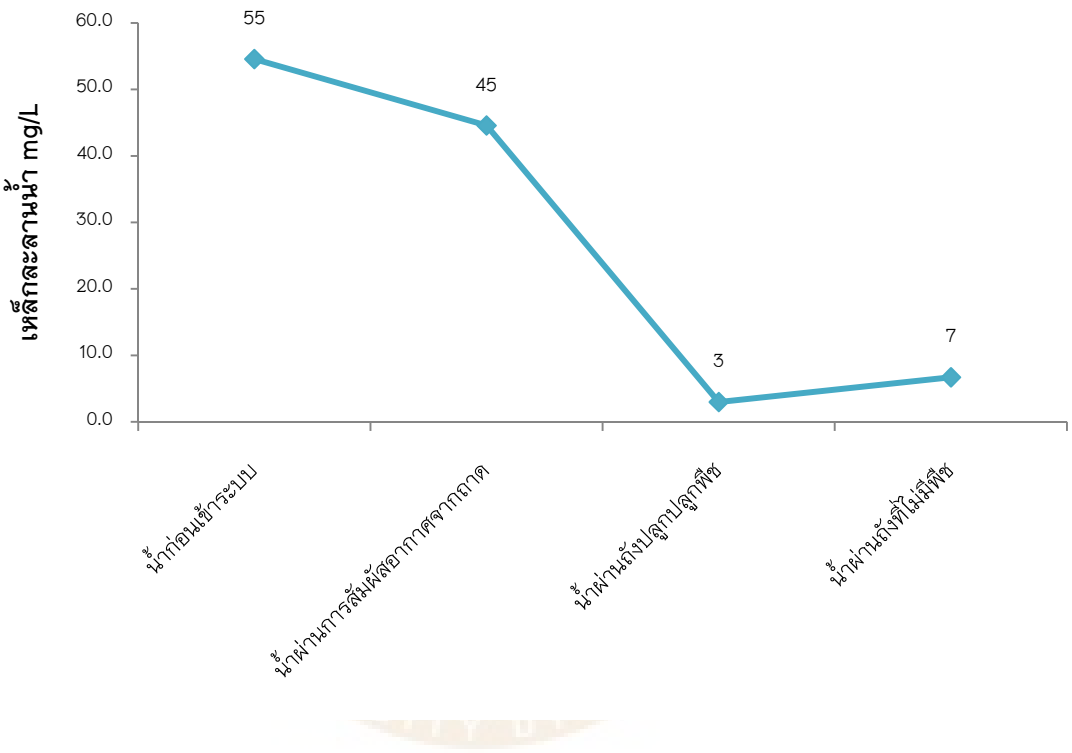
จุดเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้น
น้ำก่อนเข้าระบบ	57
น้ำผ่านการสัมผัสอากาศจากถาด	46
น้ำผ่านถังปลูกปลูกพืช	4
น้ำผ่านถังที่ไม่มีพืช	6



การเปลี่ยนปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ 21 วัน

ตารางภาคผนวกที่ 4 การเปลี่ยนปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ 28 วัน

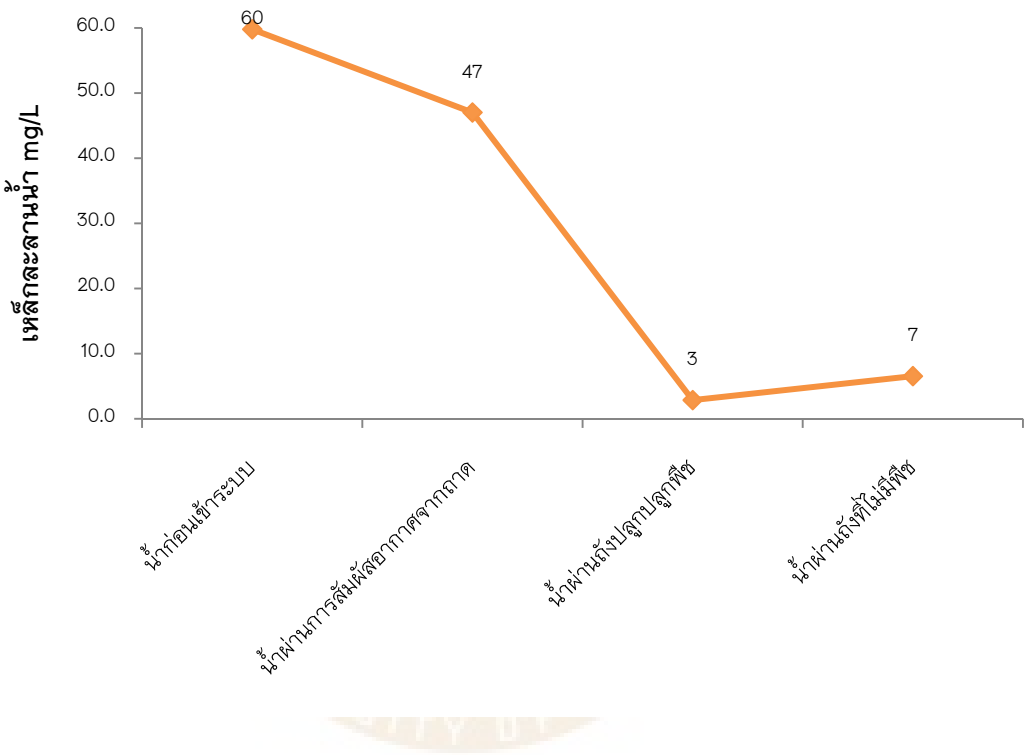
จุดเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้น
น้ำก่อนเข้าระบบ	55
น้ำผ่านการสัมผัสอากาศจากถาด	45
น้ำผ่านถังปลูกปลูกพืช	3
น้ำผ่านถังที่ไม่มีพืช	7



การเปลี่ยนปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ 28 วัน

ตารางภาคผนวกที่ 5 การเปลี่ยนปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ 35 วัน

จุดเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้น
น้ำก่อนเข้าระบบ	60
น้ำผ่านการสัมผัสอากาศจากถาด	47
น้ำผ่านถังปลูกปลูกพืช	3
น้ำผ่านถังที่ไม่มีพืช	7



การเปลี่ยนปริมาณเหล็กละลายน้ำที่ 35 วัน

ประวัติผู้ศึกษาค้นคว้า

ประวัติผู้ศึกษาค้นคว้า

ชื่อ นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีจักรกฤษณ์ ชัยว่อง
วัน เดือน ปี เกิด	15 กุมภาพันธ์ 2525
ที่อยู่ปัจจุบัน	194 หมู่ ตำบลลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220
ที่ทำงานปัจจุบัน	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนแม่กวงอุดมธารา กรมชลประทาน
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	นายช่างโยธา
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2546–ปัจจุบัน	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนแม่กวงอุดมธารา กรมชลประทาน
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2555	วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยพะเยา
พ.ศ. 2549	วท.บ. (เทคโนโลยีก่อสร้าง) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่