

**ชื่อวิทยานิพนธ์** การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟต  
ในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ

**ผู้วิจัย** นายสุมิตร จำปา **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม)

**อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) รองศาสตราจารย์ปิติ พูนไชยศรี (2) รองศาสตราจารย์ ดร. จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ  
**ปีการศึกษา** 2545

### บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอก  
ในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะและศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำผักตบชวาและจอกไป  
ใช้ในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้งจากแหล่งอื่นก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

น้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย 1,069 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน  
น้ำทิ้งที่หลายประเทศกำหนด จึงได้ทำการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้งโดยการใช้ผักตบชวาและจอก ซึ่งเป็นพืช  
ท้องถิ่น ด้วยการเก็บกักน้ำไว้ในถังขนาด 100 ลิตร จำนวน 6 ถัง ตลอดระยะเวลา 30 วัน ดำเนินการทดลอง  
ซ้ำ 5 ครั้ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกโดยการเปลี่ยนแปลงตัวแปรคือ ผักตบชวาหรือ  
จอก ความลึกของน้ำ การครอบคลุมผิวหน้าของพืชน้ำ และระยะเวลาเก็บกักน้ำ

ผลการวิจัยพบว่าผักตบชวาและจอกในถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ความลึกของน้ำ  
80 เซนติเมตรและถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 58 เซนติเมตร ความลึกของน้ำ 38 เซนติเมตร ในระยะเวลาเก็บกัก  
น้ำ 30 วัน สามารถลดปริมาณซัลเฟตในน้ำได้ดีกว่าถังควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05  
ประสิทธิภาพในการลดปริมาณซัลเฟตของผักตบชวาและจอกไม่แตกต่างกันทางสถิติ ความลึกของน้ำ  
ก็ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณซัลเฟต การครอบคลุมพื้นที่ผิวหน้าของผักตบชวาและจอก  
เต็มพื้นที่ผิวหน้าสามารถลดปริมาณซัลเฟตได้ร้อยละ 28.8 และ 30.2 ตามลำดับ และการครอบคลุมพื้นที่ผิวหน้า  
ของผักตบชวาและจอกร้อยละ 80 สามารถลดปริมาณซัลเฟตได้ร้อยละ 27.6 และ 28.2 ตามลำดับ  
อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการลดปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งขึ้นอยู่กับระยะเวลา  
เก็บกัก โดยผักตบชวาและจอกมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซัลเฟตได้สูงระหว่างระยะเวลาเก็บกักน้ำ  
ทิ้งนาน 5-20 วัน โดยประสิทธิภาพการลดปริมาณซัลเฟตมากที่สุดในวันที่ 5 จะน้อยลงหลังจากวันที่ 10  
และน้อยที่สุดตั้งแต่วันที่ 20

**คำสำคัญ** ผักตบชวา จอก ซัลเฟต น้ำทิ้งเหมืองแม่เมาะ

**Thesis title:** A COMPARATIVE STUDY OF THE EFFICIENCY OF WATER HYACINTH AND

WATER LETTUCE ON SULFATE REDUCTION FROM MAE MOH MINE WASTEWATER

**Researcher:** Mr. Sumit Champa; **Degree:** Master of Public Health (Industrial Environment Management);

**Thesis advisors:** (1) Peeti Bhoonchaisri, Associate Professor; (2) Dr. Jakkris Sivadechathep, Associate Professor; **Academic year:** 2002

## ABSTRACT

The objectives of this experimental study were (1) to compare the efficiency of water hyacinth and water lettuce in treating sulfate from Mae Moh Mine wastewater and (2) to conduct a feasibility study of treating sulfate in wastewater from other sources by using water hyacinth and water lettuce before disposing into natural water resources.

The average sulfate concentration in Mae Moh Mine wastewater was 1,069 mg/l, which was higher than the wastewater standard in many countries. Therefore, water hyacinth and water lettuce, which were local aquatic plants, were selected to reduce sulfate in 6 plastic tanks each 100 liters for a period of 30 days. Each experiment was repeatedly tested 5 times and compared the efficiency of water hyacinth and water lettuce by varying the independent variables including water hyacinth or water lettuce, depth of water, plant water surface area coverage, and hydraulic retention time.

The result of the five experiments found that water hyacinth and water lettuce in 40 cm diameter tanks, 80 cm depth and in 58 cm diameter tanks, 38 cm depth with retention time of 30 days could reduce sulfate level more than the control at the level of statistical significant 0.05. The efficiency of water hyacinth and water lettuce on sulfate reduction was not statistically different. Moreover, the depth of water did not affect the efficiency of sulfate reduction. The 100 percent of water surface area coverage of water hyacinth and water lettuce could reduce sulfate at 28.8 and 30.2 percent respectively, whereas The 80 percent surface area coverage could reduce sulfate at 27.6 and 28.2 percent, respectively. However, the sulfate reduction efficiency of both aquatic plants varied with the retention period. The plants were found to reduce water sulfate levels dramatically most from days 5–20. The highest sulfate reduction efficiency was on the 5<sup>th</sup> day, the reduction efficiency decreased after the 10<sup>th</sup> day and the least was found after the 20<sup>th</sup> day.

**Keywords:** Water hyacinth, Water lettuce, Sulfate, Mae Moh Mine Wastewater

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากรองศาสตราจารย์  
ปิติ พูนไชยศรี และ รองศาสตราจารย์ ดร. จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ  
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ติดตามในการทำวิทยานิพนธ์นี้อย่างใกล้ชิด  
ตั้งแต่เริ่มต้นโครงการวิจัยจนกระทั่งการวิจัยสำเร็จ รวมทั้งแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์  
ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาของท่านทั้งสองเป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคุณอุฎา สุรพันธ์ สำนักงานแพทย์และอนามัย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่ง  
ประเทศไทย ที่ได้ให้คำแนะนำในการวิจัยและช่วยเหลืออนุมัติให้ผู้วิจัยตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ห้อง  
ปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม รองศาสตราจารย์ประสงค์ เต็มเจริญ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัย  
มหิดล กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิด้านสิ่งแวดล้อม สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์  
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้คำแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและมีความ  
สมบูรณ์ยิ่งขึ้น คุณจิราพัชร เครือบุญมา ที่ได้ช่วยเหลือในการวิจัยและเก็บตัวอย่างน้ำ และคุณสินีนาว  
สุนทรหิรัญวงศ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการตรวจวิเคราะห์น้ำ

ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ที่ได้สนับสนุนการศึกษาตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงปัจจุบัน  
และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายขอขอบคุณคุณคุณจรรยาพร จำปา ภรรยา ที่ช่วยเหลือการพิมพ์วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้และ  
ให้กำลังใจ จนสามารถทำการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จด้วยดี

สุมิตร จำปา

สิงหาคม 2545

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....ง	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ	
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ	
สารบัญตาราง.....ฉ	
สารบัญภาพ.....ฎ	
บทที่ 1 บทนำ.....1	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1	
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....4	
กรอบแนวคิดการวิจัย.....5	
สมมติฐานของการวิจัย.....6	
ขอบเขตการวิจัย.....6	
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการวิจัย.....6	
นิยามศัพท์เฉพาะ.....7	
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....8	
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....10	
น้ำทิ้ง.....10	
น้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ.....12	
การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ.....15	
การใช้พืชน้ำบำบัดซัลเฟตในน้ำทิ้ง.....16	
ผักตบชวา.....19	
จอก.....35	
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....39	
รูปแบบการวิจัย.....39	
สถานที่ดำเนินการศึกษา.....39	
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....39	
เครื่องมือวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....39	

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	44
ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....	50
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	53
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
ผลการวิจัย.....	54
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	71
คุณภาพของน้ำทิ้งที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำ.....	72
ประสิทธิภาพในการลดปริมาณซัลเฟต.....	73
คุณภาพของน้ำด้านอื่นๆ.....	83
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	97
สรุปการวิจัย.....	97
อภิปรายผล.....	99
ข้อเสนอแนะ.....	101
บรรณานุกรม.....	103
ภาคผนวก.....	110
ก. ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	111
ข. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA .....	116
ประวัติผู้วิจัย.....	125

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ผลการวิเคราะห์น้ำทิ้งจากเหมืองถ่านหิน 2 แห่ง.....12
ตารางที่ 2.2	แสดงหลักการทำงานของพีชน้ำในการบำบัดน้ำทิ้ง.....16
ตารางที่ 2.3	ประสิทธิภาพในการกำจัดและดูดซับโลหะหนักโดยผักตบชวาในสารละลายโลหะชนิดเดียวกัน.....29
ตารางที่ 2.4	ประสิทธิภาพในการดูดซับสารปนเปื้อนและโลหะหนักของผักตบชวาในถังทดลองระยะเวลา 28 วัน.....30
ตารางที่ 2.5	ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งในบ่อบำบัดน้ำทิ้งชุมชนชั้นที่ 2 โดยใช้ผักตบชวา.....31
ตารางที่ 2.6	ตัวอย่างการกำจัดสารมลพิษในน้ำทิ้งโดยใช้ผักตบชวา.....32
ตารางที่ 2.7	ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำเสียหลังจากใช้ผักตบชวาในระบบบำบัดน้ำเสีย...33
ตารางที่ 3.1	สรุปปัจจัยที่ควบคุมในการวิจัยเชิงทดลองใช้ผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้ง.....42
ตารางที่ 3.2	ค่าคุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์.....45
ตารางที่ 4.1	ผลการตรวจหาปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะก่อนและหลังจากใส่และไม่ใส่พีชน้ำในช่วงระยะเวลาเก็บ 30 วัน.....56
ตารางที่ 4.2	ผลการตรวจหาค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะก่อนและหลังจากใส่และไม่ใส่พีชน้ำในช่วงระยะเวลาเก็บ 30 วัน.....60
ตารางที่ 4.3	ผลการตรวจหาค่าบีโอดีจากน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะขณะดำเนินการทดลอง.....64
ตารางที่ 4.4	ผลการตรวจหาค่าของแข็งแขวนลอยจากน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะก่อนและหลังจากใส่และไม่ใส่พีชน้ำในช่วงระยะเวลาเก็บ 30 วัน.....68
ตารางที่ 4.5	คุณภาพน้ำทิ้งเหมืองแม่เมาะในบ่อพักต่าง ๆ ในเดือนกันยายน 2544....71
ตารางที่ 4.6	แสดงการวิเคราะห์ผลการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งจากเหมืองที่ใช้เลี้ยงพีชน้ำ.72
ตารางที่ 4.7	แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด เฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และประสิทธิภาพการลดปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งจากการทดลอง 5 ครั้งของการทดลองทั้ง 6 แบบของถังทดลอง.....76

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.8	แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด เฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า pH ในน้ำทิ้งจากการทดลอง 5 ครั้งของการทดลองทั้ง 6 แบบของถังทดลอง.....84
ตารางที่ 4.9	แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด เฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และประสิทธิภาพการลดค่า BOD ในน้ำทิ้งในถังทดลองทั้ง 6 แบบจากการทดลอง 5 ครั้ง... 87
ตารางที่ 4.10	แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด เฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และประสิทธิภาพการลดค่า TSS ในถังทดลองทั้ง 6 แบบจากการทดลอง 5 ครั้ง.....92
ตารางที่ 5.1	ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ของผักตบชวาและจอก.....100
ตารางที่ 5.2	ประสิทธิภาพในการลดค่า TSS ของผักตบชวา.....101

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1	กระบวนการทำเหมืองถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ.....	13
ภาพที่ 2.2	สายพานลำเลียงถ่านหินลิกไนต์บริเวณเหมืองแม่เมาะ.....	14
ภาพที่ 2.3	บ่อบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการทำเหมืองถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ (Sump D).....	14
ภาพที่ 2.4	แผนภูมิวัฏจักรซัลเฟอร์.....	17
ภาพที่ 2.5	กระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนซิสเตอีนจากซัลเฟตโดยมีเอนไซม์ ซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในแต่ละขั้นตอนของพีช.....	18
ภาพที่ 2.6	ผักตบชวาเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่.....	21
ภาพที่ 2.7	ขนาดและรูปร่างของใบผักตบชวา.....	22
ภาพที่ 2.8	ขั้นตอนการงอกของผักตบชวาจากเมล็ด.....	23
ภาพที่ 2.9	ผลของอุณหภูมิ (กลางวัน / กลางคืน) และความชื้น ต่อจำนวนของต้น ผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น / สัปดาห์.....	24
ภาพที่ 2.10	ลักษณะต้น และช่อดอกของจอก ( <i>Pistia Stratiotes</i> Linn.).....	37
ภาพที่ 3.1	แสดงความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของถังขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ที่ใช้ในการทดลอง.....	40
ภาพที่ 3.2	ถังที่ใช้ในการทดลองใส่พีชน้ำทั้งหมด 6 ถัง.....	40
ภาพที่ 3.3	ผักตบชวาและจอกที่ใช้ในการทดลอง.....	41
ภาพที่ 3.4	ผักตบชวาและจอกที่ใช้ในการทดลองถูกนำมาวางให้สะเด็ดน้ำ 5 นาที ก่อนชั่งน้ำหนัก.....	51
ภาพที่ 3.5	ชุดการทดลองโดยใช้ผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้ง.....	52
ภาพที่ 4.1	ปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำทิ้งในแต่ละช่วงระยะเวลาที่เก็บ ในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย ของแต่ละแบบการทดลอง.....	79
ภาพที่ 4.2	อัตราการลดปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งของถังทดลองเมื่อใส่พีชน้ำ แบบต่าง ๆ กับถังควบคุมในช่วงระยะเวลาที่เก็บต่าง ๆ กันในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย.....	80



## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

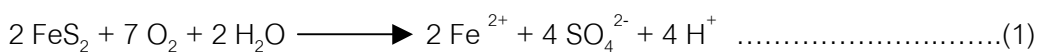
ภาพที่ 4.3	ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณซัลเฟตสะสมในน้ำทิ้งของถังทดลองเมื่อใส่พีชน้ำแบบต่าง ๆ กับถังควบคุมในช่วงระยะเวลาที่เก็บต่าง ๆ กันในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย.....	81
ภาพที่ 4.4	ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณซัลเฟตแต่ละช่วงระยะเวลาที่เก็บในน้ำทิ้งของถังทดลองเมื่อใส่พีชน้ำแบบต่าง ๆ กับถังควบคุมในช่วงระยะเวลาที่เก็บต่าง ๆ กันในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย.....	82
ภาพที่ 4.5	ค่า pH ในน้ำทิ้งในแต่ละช่วงระยะเวลาที่เก็บในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ยของแต่ละแบบการทดลอง.....	85
ภาพที่ 4.6	ค่า BOD ในน้ำทิ้งในแต่ละช่วงระยะเวลาที่เก็บในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ยของแต่ละแบบการทดลอง.....	89
ภาพที่ 4.7	อัตราการลดค่า BOD ในน้ำทิ้งในแต่ละช่วงระยะเวลาที่เก็บในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย ของแต่ละแบบการทดลอง.....	90
ภาพที่ 4.8	ปริมาณ TSS ในน้ำทิ้งในแต่ละช่วงระยะเวลาที่เก็บในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย ของแต่ละแบบการทดลอง.....	94
ภาพที่ 4.9	อัตราการลดค่า TSS ในน้ำทิ้งในแต่ละช่วงระยะเวลาที่เก็บในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย ของแต่ละแบบการทดลอง.....	95

# บทที่ 1

## บทนำ

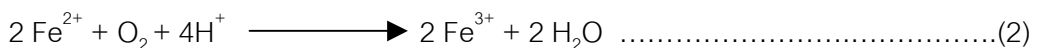
### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เหมืองแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นแหล่งผลิตถ่านหินลิกไนต์ซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่นำถ่านหินลิกไนต์ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะทั้งหมด 13 โรง ทำให้โรงไฟฟ้าแม่เมาะทั้งหมดนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณปีละ 2,625 เมกะวัตต์ อาจกล่าวได้ว่าโรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทย การทำเหมืองถ่านหินลิกไนต์ที่อำเภอแม่เมาะเป็นการทำเหมืองแบบเหมืองเปิดคือใช้เครื่องจักรเปิดหน้าดินออกเป็นชั้น ๆ จนถึงชั้นของถ่านหินลิกไนต์ ซึ่งมีความลึกได้ระดับผิวดินปกติมาก และจะมีน้ำใต้ดินด้วย การทำเหมืองโดยการเปิดหน้าดินทำให้มีพื้นที่รับน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำผิวดินซึ่งเกิดจากน้ำฝนที่ตกลงมาและไหลไปตามทางน้ำบนผิวดินลงสู่บ่อเหมือง อย่างไรก็ตามน้ำที่เกิดจากกระบวนการทำเหมืองเหล่านี้จะเป็นอุปสรรคในการขุดถ่านหินลิกไนต์ขึ้นมา ดังนั้นผู้ทำเหมืองจึงต้องสูบน้ำจากบ่อเหมืองออกทิ้งภายนอกเหมือง น้ำจากกระบวนการทำเหมืองซึ่งเรียกว่าน้ำล้าง หรือน้ำชะเหมืองเหล่านี้ ได้มีรายงานพบว่ามีซัลเฟตปนเปื้อนในปริมาณสูงตั้งแต่ 800 ถึง 2,000 มิลลิกรัม / ลิตร เนื่องจากถ่านหินลิกไนต์ที่เหมืองแม่เมาะมีเหล็กซัลไฟด์ ( $FeS_2$ ) ปนเปื้อนอยู่ประมาณ 3-6 เปอร์เซ็นต์ (ศิริพรรณ สุคนธสิงห์, 2539: 1) ในภาวะที่มีออกซิเจนและความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำที่เป็นกลาง เหล็กซัลไฟด์จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทางเคมี (Chemical Oxidation) ไปเป็นสารประกอบซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$ ) ดังสมการที่ (1)



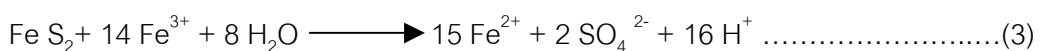
นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียกลุ่มคีโมลิโธโทรฟ (Chemolithotrophs) ซึ่งได้แก่

*Thiobacillus ferroxidans* (Rossi, 1993: 1581-1592) สามารถออกซิไดซ์เฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) ซึ่งอยู่ในรูปเฟอร์รัสซัลเฟต ไปเป็น เฟอร์ริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ดังสมการที่ (2)



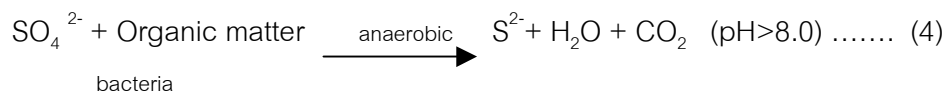
เฟอร์ริกไอออนจะออกซิไดซ์ เหล็กซัลไฟด์ต่อไปได้สารประกอบซัลเฟตเช่นเดียวกัน

ดังสมการที่ (3)



จากข้อมูลดังกล่าวเหล็กซัลไฟด์ถูกออกซิไดซ์ทั้งโดยออกซิเจน และแบคทีเรียจะได้ผลผลิตที่สำคัญ คือ สารประกอบซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

อย่างไรก็ตามปริมาณสารประกอบซัลเฟตในน้ำสูง มีผลทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรดซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ไปเป็นกรดซัลฟูริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ กัดกร่อนท่อระบายน้ำ นอกจากนี้สารประกอบซัลเฟตยังเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับกลิ่น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสารประกอบซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic condition) และถูกออกซิไดซ์ไปเป็นกรดซัลฟูริก (นันทนา คชเสนี, 2539: 34) ดังสมการที่ (4-6)



จากผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้พยายามลดปริมาณสารประกอบซัลเฟตออกจากน้ำทิ้งของเหมืองแม่เมาะให้มีปริมาณสารประกอบซัลเฟตไม่เกิน 400 มิลลิกรัม / ลิตร เพื่อให้สามารถปล่อยน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในขั้นแรก กฟผ. ได้ดำเนินการสูบน้ำทิ้งจากเหมืองมายังบ่อบำบัด โดยได้พยายามสร้างให้ภาวะในบ่อบำบัด แต่ละบ่ออยู่ในสภาวะไร้อากาศ เพื่อให้แบคทีเรีย กลุ่ม Desulfotomaculum ซึ่งได้แก่ *Desulfotomaculum nitrificans*, *D. ruminis* และ *D. orientis* (Holt *et al.*, 1994: 353-358) ใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการสังเคราะห์พลังงาน วิธีการนี้จะมีผลทำให้ซัลเฟตถูกรีดิวซ์ไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นี้ เป็นสารพิษที่ไม่เป็นที่ต้องการของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งสิ่งมีชีวิตชั้นสูง และเป็นสาเหตุทำให้ปลาตายในบริเวณที่มีปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง (วราพร สุรวดี, 2521: 59) นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนบริเวณข้างเคียง มีผลทำให้อากาศเสียอีกด้วย ขณะเดียวกันน้ำที่ออกจากบ่อบำบัดในขั้นตอนสุดท้ายมีปริมาณซัลเฟตในน้ำอยู่ในระดับสูง ถ้าปล่อยน้ำทิ้งเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาโดยรอบ

จากรายงานการศึกษาของศัประกอบของเซลล์พืชได้พบว่า ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์หลายชนิดในเซลล์พืช นอกจากนี้ได้พบว่าซัลเฟอร์กระตุ้นการทำงานของวิตามิน

และเฮนรี่บางชนิด (Gregoire, 1999: 1; Schmidt and Jager, 1992: 325-349; Leep, 2001: 1-3) ขณะเดียวกันพืชสามารถดูดซับซัลเฟตที่อยู่นอกเซลล์ไปสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ คือ กรดอะมิโนซีสเตอีน หลังจากนั้นกรดอะมิโนซีสเตอีนนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะมิโนชนิดอื่นที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบต่อไป (Schmidt and Jager, 1992: 325-349)

จากเหตุผลที่พืชได้รับสารซัลเฟอร์จากการดูดซับสารประกอบซัลเฟตที่มีอยู่จำนวนมากจากสิ่งแวดล้อมโดยผ่านทางรากและนำมาสังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์ ดังนั้นมีนักวิจัยหลายคนได้เสนอแนวคิดในการใช้พืชน้ำกำจัดซัลเฟตที่มากเกินไปและเป็นมลพิษออกจากสิ่งแวดล้อม (Ernst, 1998: 311-318; Schmidt and Jager, 1992: 325-349)

ปัจจุบันวิธีการใช้พืชน้ำ ที่เป็น Aquatic macrophytes ได้แก่พืชน้ำที่ลอยเหนือน้ำ พืชน้ำที่อยู่ใต้น้ำและพืชน้ำที่ไหลเหนือน้ำ สำหรับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ (Aquatic Treatment System) กำลังได้รับความสนใจเนื่องจากค่าลงทุนในการบำบัดน้ำเสียต่ำ ไม่ต้องการพลังงานมากนัก การบำรุงรักษากระทำได้ง่าย และไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ (มุกดา สุขสมาน และคณะ, 2532: 1) การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีการอื่น ๆ ขณะเดียวกันผู้วิจัยจำนวนมากได้ศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสีย (Aquatic Treatment System) พบว่าพืชน้ำสามารถลดค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) สารแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS) สารอาหาร (Nutrients) เช่นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม โลหะหนัก (Heavy metals) เช่นปรอท ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู โบรอน เซเลเนียม จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคหลายชนิด (Pathogens) สีย้อม (Dyes) แอมโมเนีย (Ammonia) ไสยาไนต์ (Cyanides) กรดมด (Formic acid) น้ำมันพืช (Vegetable oil) ฟีนอล (Phenols) ยาฆ่าแมลง (Pesticides) และสารที่ปนเปื้อนกัมมันตรังสี (Radioactive contaminants) อย่างไรก็ตามยังไม่เคยมีผู้ศึกษาโดยใช้พืชน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งเพื่อลดปริมาณของซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำ

จากรายงานและเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำสองชนิดคือ ผักตบชวา (Water Hyacinth) และจอก (Water Lettuce) ที่พบได้ทั่วไปสามารถขยายพันธุ์และเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำธรรมชาติ ในการกำจัดดูดซับซัลเฟตออกจากน้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากกระบวนการทำเหมืองแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชทั้งสองชนิดนี้ในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

### 2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

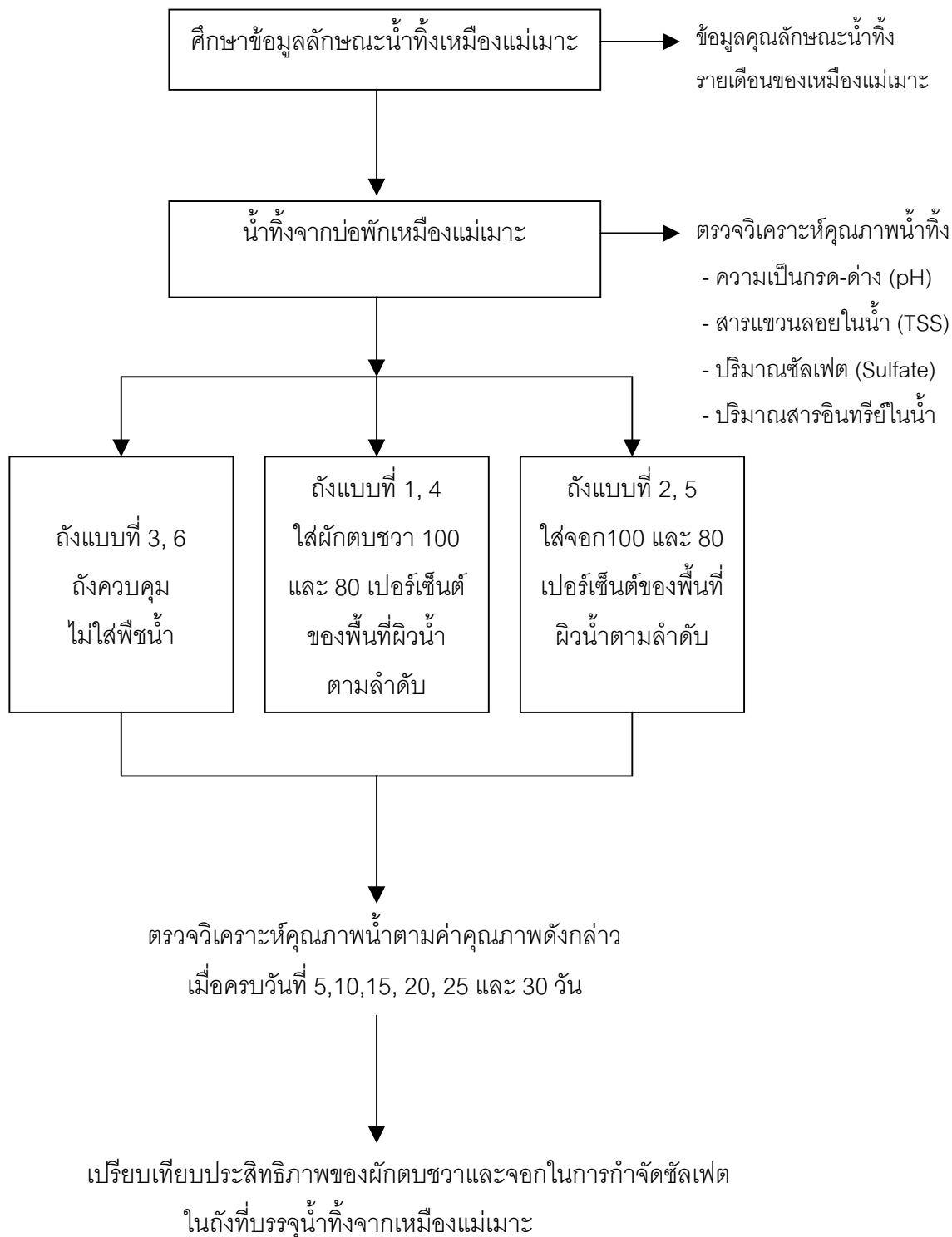
เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ

### 2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

2.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะของน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ

2.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ

### 3. กรอบแนวคิดของการวิจัย



## 4. สมมติฐานการวิจัย

- 4.1 ผักตบชวาและจอกมีประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตสะสมในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ
- 4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตสะสมของผักตบชวาและจอกแตกต่างกัน
- 4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตสะสมของผักตบชวาสูงกว่าจอก

## 5. ขอบเขตการวิจัย

5.1 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาโดยใช้พืชน้ำ 2 ชนิด คือผักตบชวาและจอกในการลดปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ ซึ่งการศึกษาเป็นวิธีแบบทีละชุด (Batch Study) การดำเนินการศึกษาเป็นแบบการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ณ บ้านเลขที่ 969 / 2 ตำบลแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งการศึกษานี้ดำเนินการในสภาพที่ใกล้เคียงธรรมชาติมากที่สุดโดยตั้งที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบชนิดต้นแบบขนาดเล็ก (Pilot study)

5.2 น้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษา เป็นน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจริงจากกระบวนการทำเหมืองแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

5.3 ผักตบชวาและจอกที่นำมาใช้ในการศึกษา ถูกคัดและเลือกเฉพาะในระยะที่มีการเจริญเติบโตสูง โดยเลือกผักตบชวาระยะก่อนออกดอก ก้านใบสีเขียวและปลายใบไม่แหลม สำหรับจอกเลือกระยะก่อนออกดอกและใบสีเขียว นำมาเลี้ยงในน้ำฝนเพื่อปรับสภาพของพืชก่อนนำมาทดลองเป็นระยะเวลา 7 วัน

5.4 ทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพืชน้ำทั้งสองชนิด โดยการวัดหาปริมาณซัลเฟตที่ลดลงโดยใช้เวลาทดลองชุดละ 30 วัน รวมการทดลองทั้งหมด 5 ชุด

5.5 ลักษณะภูมิอากาศในสถานที่ทดลอง เป็นลักษณะที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับธรรมชาติ

## 6. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการวิจัย

### 6.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

ชนิดของพืชน้ำที่ใช้ในการวิจัย (ผักตบชวาและจอก) เปรอร์เซ็นต์การใส่พืชน้ำคลุมพื้นที่ผิวน้ำ (100 และ 80 เปรอร์เซ็นต์) ระดับความลึกของน้ำทิ้งในถังทดลอง (80 และ 38 เซนติเมตร) และระยะเวลาเก็บกักของน้ำ (0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน)

## 6.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

ปริมาณสารประกอบซัลเฟตในน้ำทิ้งที่เหลืออยู่จากการทดลองแต่ละครั้งเมื่อครบระยะเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัม / ลิตร

## 7. นิยามศัพท์เฉพาะ

7.1 **น้ำทิ้ง** หมายถึง น้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจริงจากกระบวนการทำเหมืองแม่เมาะก่อนการบำบัดด้วยพืชน้ำ (ผักตบชวาและจอก) ซึ่งมีสารประกอบซัลเฟตอยู่ในปริมาณสูง

7.2 **การทดลองทีละชุด (Batch study)** หมายถึง การทดลองที่ทำเป็นชุด ๆ ซึ่งแต่ละชุดมีปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะแตกต่างกัน ไม่เกี่ยวเนื่องกัน แต่วิธีการดำเนินการเช่นเดียวกัน

7.3 **สารประกอบซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ )** หมายถึง สารประกอบอนินทรีย์ที่เปลี่ยนรูปมาจากเหล็กซัลไฟด์ ( $\text{FeS}_2$ ) ซึ่งถูกออกซิไดซ์ทั้งโดยออกซิเจนและแบคทีเรีย มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม / ลิตร

7.4 **สารแขวนลอยในน้ำ (Total Suspended Solids, TSS)** หมายถึง ตะกอนแขวนลอยในน้ำทั้งหมดที่สามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรอง Glass Microfibre Filter แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม / ลิตร

7.5 **บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand,  $\text{BOD}_5$ )** หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสในระยะเวลา 5 วัน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม / ลิตร

7.6 **ความเป็นกรด-ด่าง (pH)** คือสภาพความเป็นกรดหรือด่างของน้ำโดยเป็นค่าลบของ logarithm ของความเข้มข้นของ  $\text{H}^+$  [ $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$ ]

$[\text{H}^+]$  มีค่ามากกว่า  $10^{-7}$  หรือ pH ต่ำกว่า 7 มีฤทธิ์เป็นกรด

$[\text{H}^+]$  มีค่าเท่ากับ  $10^{-7}$  หรือ pH เท่ากับ 7 มีฤทธิ์เป็นกลาง

$[\text{H}^+]$  มีค่าน้อยกว่า  $10^{-7}$  หรือ pH สูงกว่า 7 มีฤทธิ์เป็นด่าง

7.7 **ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ )** หมายถึง สารประกอบของซัลเฟอร์ในน้ำเสียที่เกิดจากสารประกอบซัลเฟตในน้ำถูกรีดิวซ์โดยแบคทีเรียในสภาวะที่น้ำมีค่า pH ต่ำ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม / ลิตร

7.8 **ออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO)** หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม / ลิตร



**7.9 ร้อยละของการลดปริมาณซัลเฟตจากวันเริ่มต้น** หมายถึง ปริมาณซัลเฟตที่ลดลงในถังทดลองแต่ละแบบในช่วงระยะกักเก็บต่างกันในน้ำทิ้งที่ทดลองคิดเป็นร้อยละของการลดซัลเฟต ดังนี้

ร้อยละของการลดปริมาณซัลเฟต

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตที่เหลือ}}{\text{ความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตในระยะเริ่มต้น}} \times 100$$

**7.10 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณซัลเฟตสะสม** หมายถึง ความสามารถของผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟตออกจากน้ำทิ้งคิดเป็นร้อยละของการกำจัดซัลเฟตในถังทดลองแบบเดียวกัน ณ ช่วงเวลาเดียวกัน ดังนี้

ร้อยละของการกำจัดปริมาณซัลเฟต

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของซัลเฟตที่เหลืออยู่ในถังควบคุม} - \text{ความเข้มข้นของซัลเฟตที่เหลืออยู่หลังใส่พีชน้ำ}}{\text{ความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตในระยะเริ่มต้น}} \times 100$$

**7.11 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณซัลเฟตแต่ละช่วงเวลากักเก็บ** หมายถึง ความสามารถของผักตบชวาและจอกในการดูดซับปริมาณซัลเฟตออกจากน้ำทิ้งในแต่ละช่วงเวลาคิดเป็นร้อยละของการกำจัดปริมาณซัลเฟต ดังนี้

ร้อยละของการกำจัดปริมาณซัลเฟต

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตที่เหลืออยู่} - \text{ความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตที่เหลืออยู่ในถังควบคุมในช่วงเวลานั้น ๆ}}{\text{ความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตในระยะเริ่มต้น}} \times 100$$

**7.12 น้ำหนักเปียก (Wet Weight)** หมายถึง น้ำหนักของพีชน้ำ (ผักตบชวาและจอก) หลังจากถูกนำขึ้นจากน้ำ และวางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ 5 นาที มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

## 8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษานี้คือ

**8.1 เพื่อทราบประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอก** ในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีปริมาณซัลเฟตสูง และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ผักตบชวาและจอก

8.2 เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้ง  
เหมืองแม่เมาะต่อไปในอนาคต

8.3 เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาการเจริญเติบโตของผักตบชวาและจอก  
ในน้ำดีและน้ำเสียจากแหล่งอื่น ๆ ที่มีปริมาณซัลเฟตสูง

## บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 1. น้ำทิ้ง (Wastewater)

น้ำทิ้งหมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่นการ ชำระร่างกาย การประกอบอาหาร การขับถ่ายของเสีย การล้างวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรม การล้างเครื่องจักร การหล่อเย็นเครื่องจักร เป็นต้น ทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิมเนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ถ่ายเทลงเจือปนอยู่ในน้ำ ปริมาณสิ่งสกปรกในน้ำทิ้งหรือความสกปรกของน้ำทิ้ง จึงมีคุณลักษณะไม่เหมือนกัน (เสริมพล รัตนสุข และชัยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524: 284-285)

น้ำเสียแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ (มันสิน ตันฑกุลเวศน์, 2542: 1/1) คือ น้ำเสียจากชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

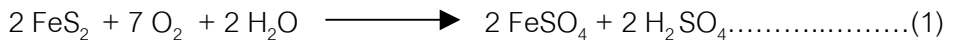
น้ำเสียจากชุมชน หมายถึง น้ำเสียต่าง ๆ ที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน รวมทั้งกิจกรรมที่เป็นอาชีพด้วย ตัวอย่างน้ำเสียจากชุมชน ได้แก่ น้ำเสียของหมู่บ้าน อำเภอ จังหวัด เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าน้ำเสียจากชุมชนเป็นน้ำเสียสาธารณะ ซึ่งหน่วยราชการควรเป็นผู้รับผิดชอบ ในการดำเนินการบำบัดน้ำเสียเหล่านี้ให้กลายเป็นน้ำซึ่งสะอาดพอเพียงที่จะทิ้งลงลำน้ำสาธารณะได้

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท น้ำเสียส่วนใหญ่มักเป็นน้ำล้างจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ เช่น การล้างถังหรือภาชนะที่ใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้น้ำเสียมีสิ่งเจือปนจากวัตถุดิบด้วยเสมอ อาจกล่าวได้ว่าน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีลักษณะที่ดูได้จากวัตถุดิบของโรงงาน ซึ่งอาจเป็นผลผลิตทางเกษตรกรรม ประมง สารอินทรีย์เคมี หรือสารเคมีโลหะหนัก

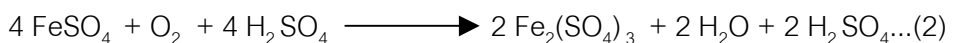
สำหรับการดำเนินอุตสาหกรรมเหมืองถ่านหินนั้นมีน้ำทิ้งที่เกิดจาก 2 กระบวนการ (Nemerow, 1978: 637) คือ น้ำทิ้งจากการเตรียมถ่านหิน (Coal preparation waste) และน้ำทิ้งจากการระบายน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรดออกจากเหมือง (Acid mine drainage) ซึ่งน้ำทิ้งเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและใช้วิธีการบำบัดที่แตกต่างกัน

น้ำทิ้งจากการเตรียมถ่านหินเกิดขึ้นหลังจากเอาถ่านหินขึ้นมา และมีการย่อยถ่านหินให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงจาก  $3 \frac{1}{4}$  นิ้ว เป็น  $\frac{3}{64}$  นิ้ว ขณะเดียวกันมีการคัดขนาด

ถ่านหินและล้างถ่านหินเกิดขึ้น โดยมีน้ำทิ้งจากการดำเนินการดังกล่าวประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือปริมาณถ่านหิน 100 ลูกบาศก์เมตรมีน้ำทิ้งเกิดขึ้น 4 ลูกบาศก์เมตรของปริมาณถ่านหิน น้ำทิ้งจากการระบายน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรดจากเหมือง เกิดขึ้นจากการสูบน้ำจากเหมือง ซึ่งมีเหล็กซัลไฟด์ ขณะเดียวกันเหล็กซัลไฟด์นี้จะถูกออกซิไดซ์ ในสภาวะที่มีอากาศ น้ำ และ แบคทีเรียไปเป็นเฟอรัสซัลเฟตและกรดซัลฟูริก ดังสมการที่ (1)-(4) (Nemerow, 1978:637)



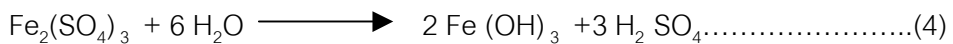
ในสภาวะที่มีออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ดังนี้



จากปฏิกิริยาที่ (1) และ (2) จะได้



และเมื่อกรดซัลฟูริกถูกเจือจาง เฟอริกซัลเฟตจะถูก Hydrolyses เป็น



**1.1 ลักษณะน้ำทิ้งจากเหมืองถ่านหิน (Nemerow, 1978: 637)**

**1.1.1 น้ำทิ้งจากการเตรียมถ่านหิน (Coal preparation waste)** น้ำทิ้งชนิดนี้ส่วนใหญ่

จะประกอบด้วยของแข็งที่เกิดจากการล้างเหมืองซึ่งประกอบด้วย ถ่านหิน หินทราย ดินเหนียว และแร่ธาตุขนาดเล็ก แร่ธาตุเหล่านี้อาจเป็นยิบซั่ม คาโอลิน ไฟไรท์ เป็นต้น รวมทั้งดินเหนียว และหินชนวนต่าง ๆ ซึ่งจะถูกทำให้มีขนาดเล็กลง และละลายอยู่ในน้ำในรูปของกึ่งคอลลอยด์ (Semicolloid) สารต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้น้ำล้างขุ่นและเป็นมลสารหลักซึ่งอยู่ในน้ำทิ้งที่ระบายจากการเตรียมถ่านหิน

**1.1.2 น้ำทิ้งจากการระบายน้ำออกจากเหมืองที่มีฤทธิ์เป็นกรด (Acid mine drainage)**

น้ำทิ้งนี้มีลักษณะค่อนข้างแปรผันในช่วงกว้างโดยมีค่าตั้งแต่ต่ำกว่า 100 จนถึง 50,000 mg/l. เช่นมีปริมาณ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> มีค่าระหว่าง 100-6,000 mg/l. FeSO<sub>4</sub> มีค่าระหว่าง 10-1,500 mg/l. MnSO<sub>4</sub> มีค่าระหว่าง 0-250 mg/l. ซึ่งน้ำทิ้งจากแต่ละแหล่งนี้ไม่สามารถบ่งชี้ได้แน่ชัด ดังตัวอย่าง การศึกษาน้ำทิ้งจากเหมือง 2 แห่งที่อยู่ใกล้ ๆ กัน (Nemerow, 1978: 637) โดยเหมืองแห่งแรก มีซัลเฟอร์ 3 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำทิ้ง 200,000 แกลลอน / วัน และมีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) 170 mg/l. ขณะที่เหมืองอีกแห่งหนึ่งมีซัลเฟอร์ 2.6 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำทิ้ง 130,000 แกลลอน / วัน แต่มีค่าความเป็นกรด (Acidity) 30,000 mg/l.

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์แสดงถึงความแตกต่างของน้ำทิ้งจากเหมืองถ่านหิน 2 แห่ง

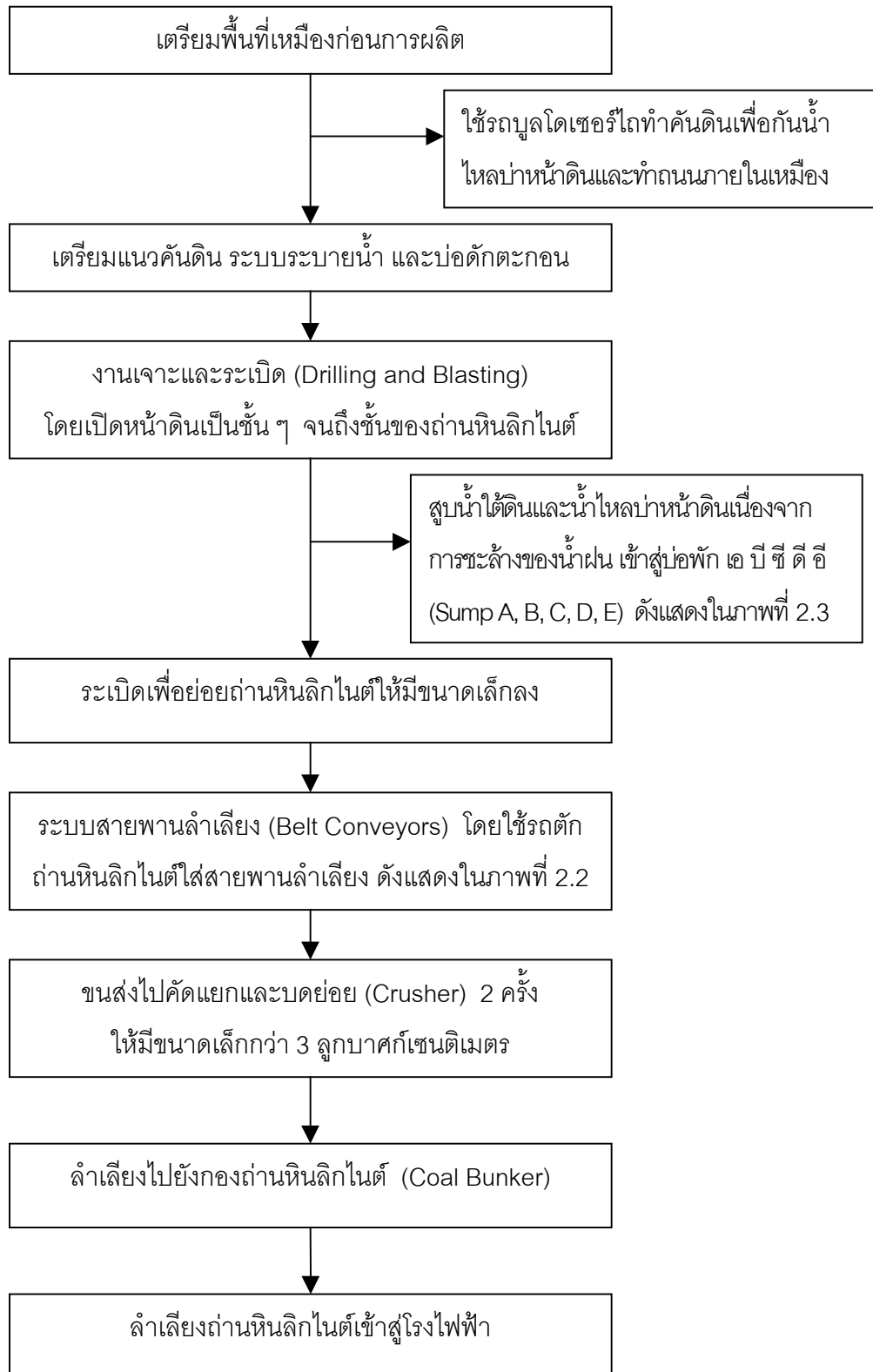
ค่าวิเคราะห์	เหมือง A	เหมือง B
Drainage flow (gpm)	2,500	900
pH	3.7	6.2
Free acid (mg/l.)	124	4
Total acid (mg/l.)	466	13
SiO <sub>2</sub> (mg/l.)	14	9.6
Al (mg/l.)	17	1.9
Fe (mg/l.)	22	0.2
Mn (mg/l.)	10	4.6
Ca (mg/l.)	95	34
Mg (mg/l.)	55	12
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l.)	746	172
Cl (mg/l.)	9	2.4

ที่มา : Nemerow Nelson L. *Industrial Water pollution* Syracuse University, California: Addison-Wesley, 1978: 638.

จากข้อมูลแสดงว่าน้ำทิ้งจากเหมืองนั้นถ้าปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติย่อมมีผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ อย่างไรก็ตามในการบำบัดน้ำทิ้งจากเหมืองได้มีการนำวิธีการหลาย ๆ วิธี มาใช้เพื่อจะลดของแข็ง (Solids) และสารอื่น ๆ มิให้ลงสู่แหล่งน้ำ เช่น สร้างบ่อตกตะกอน (Settling ponds) การทำให้แข็งเป็นก้อน (Coagulation) การทำให้ลอย (Flotation) การปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) การกรอง (Filtration) การฝัง (Burial) การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านั้นสามารถลดปริมาณซัลเฟตได้ค่อนข้างน้อย

### 1.2 น้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ

การทำเหมืองถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปางมีน้ำทิ้งเกิดขึ้นในขั้นตอนการเปิดหน้าดิน ซึ่งจะดำเนินการเปิดหน้าดินออกเป็นชั้น ๆ จนถึงชั้นของถ่านหินลิกไนต์ ในดินชั้นล่างจะมีน้ำใต้ดินขังอยู่จึงต้องดำเนินการสูบน้ำใต้ดินเหล่านั้นลงสู่บ่อพักรอบบริเวณเหมือง ได้แก่ บ่อพักเอ บ่อพักบี บ่อพักซี และบ่อพักดี (Sumps A, B, C, D) ดังแสดงในแผนภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการทำเหมืองถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง



ภาพที่ 2.2 สายพานลำเลียงถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะ ไปยังกองถ่านหิน



ภาพที่ 2.3 บ่อพักน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำเหมืองถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ (Sump D)

น้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำเหมืองแม่เมาะได้รับการตรวจและพบว่ามีความเข้มข้นของซัลเฟตปนเปื้อนในปริมาณสูง 800 ถึง 2,000 มิลลิกรัม / ลิตร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องลดปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะไม่ให้สูงเกินกว่า 500 มิลลิกรัม / ลิตร เพื่อให้สามารถปล่อยน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ (สินีนากู สายบาง, 2543: 7-8)

การกำจัดน้ำทิ้งมี 2 วิธี คือ การกำจัดโดยไม่มีการบำบัด (Disposal without treatment) เช่น การกำจัดโดยการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลอง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียขึ้นในภายหลัง สำหรับวิธีที่สองคือการกำจัดโดยมีการบำบัด (Disposal with treatment) ซึ่งอาศัยวิธีการทางกายภาพ ชีววิทยา และเคมี อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำทิ้งแบบที่นิยมใช้กันทั่วไปในประเทศไทย ได้แก่ บ่อผึ่ง (Oxidation pond) บ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetlands) เป็นต้น และการกำจัดน้ำทิ้งโดยกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological treatment) ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้มีผู้ศึกษาจำนวนมาก โดยใช้พืชน้ำชนิดต่าง ๆ

### 1.3 การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้พืชน้ำ

การบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้พืชน้ำ วิธีการนี้อาศัยปัจจัยหลักที่สำคัญคือการเจริญเติบโตของพืชน้ำ และจุลินทรีย์ซึ่งอาศัยอยู่ที่บริเวณรากของพืชน้ำ ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะย่อยสลายอาหาร เช่นไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ นอกจากนี้วิธีนี้ยังอาศัยหลักการตกตะกอนของน้ำทิ้งด้วย ซึ่งถ้าพิจารณาข้อดีของวิธีบำบัดน้ำทิ้งโดยพืชน้ำอาจกล่าวได้ดังนี้ (อภิชาติ เขียวศิริกุล, 2533: 8-11)

- 1) โดยทั่วไปสภาพภูมิประเทศของประเทศไทย เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชน้ำ
- 2) ระบบบำบัดน้ำทิ้งโดยพืชน้ำไม่ต้องใช้พลังงานจากแหล่งใด ๆ นอกจากพลังงานจากดวงอาทิตย์
- 3) การควบคุมการทำงานของระบบไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องมีผู้ดูแลที่มีความรู้มาก
- 4) พืชน้ำที่เก็บเกี่ยวได้สามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่าง ๆ ได้เช่นทำปุ๋ยหมักผลิตก๊าซมีเทน หรือทำผลิตภัณฑ์หัตถกรรม เป็นต้น ซึ่งหลักการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำทิ้งมีดังนี้



ตารางที่ 2.2 แสดงหลักการทำงานของพืชน้ำในการบำบัดน้ำทิ้ง

ส่วนประกอบของพืช	หลักการทำงานของพืช
รากและ / หรือ ก้าน หรือ ลำต้น ที่อยู่ใต้น้ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ดูดซับ (Up take) สารพิษและสารอาหาร</li> <li>- เป็นพืชน้ำ ให้จุลินทรีย์อาศัยและเจริญเติบโต</li> <li>- เป็นตัวกลางในการกรอง (Filtration) และดูดซับ (Absorption) ตะกอนและของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ</li> <li>- ป้องกันการเจริญเติบโตของสาหร่ายในน้ำ</li> </ul>
ก้าน ลำต้น และ / หรือ ใบ ที่อยู่เหนือน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ลดผลกระทบของลมที่มีต่อน้ำ เช่น การทำให้ตะกอนที่จมอยู่ขุ่นขึ้นมา</li> <li>- ทำให้การส่งผ่าน (Transfer) ของก๊าซและความร้อนระหว่างบรรยากาศและน้ำลดลง</li> </ul>

ที่มา : Stowell R.R.; Ludwig J. G. and Tchobanoglous G. "Concepts in Aquatic Treatment System Design" *Journal of Environmental Engineering Division, Society of Civil Engineer*, (Fall1981): 919-940.

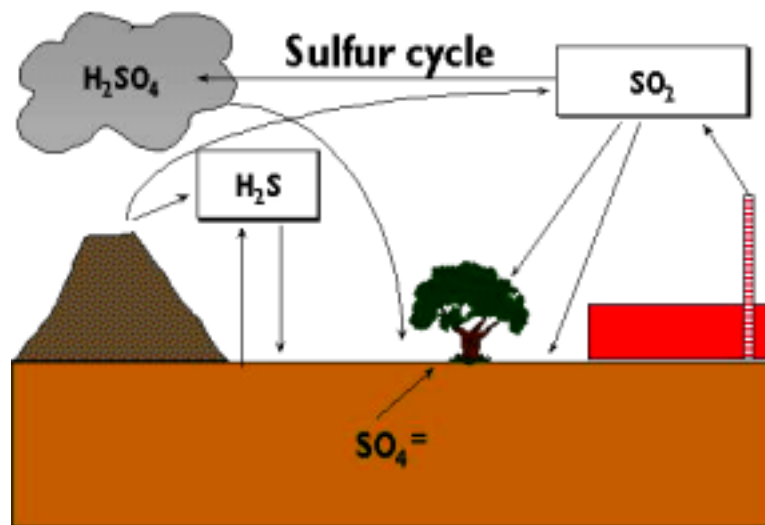
พืชน้ำแบ่งได้เป็นหลายประเภท เช่น พืชใต้น้ำ พืชไหล่เหนือน้ำ พืชลอยน้ำ พืชชายน้ำ (สุชาติ ศรีเพ็ญ, 2530: 102) พืชน้ำเหล่านี้มีคุณสมบัติในการดูดซึมแร่ธาตุและโลหะบางอย่างที่ละลายอยู่ในน้ำ ขณะเดียวกันพืชน้ำสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ซึ่งมีผลให้แหล่งน้ำนั้นสะอาดและช่วยแปรสภาพน้ำให้มีคุณภาพดีขึ้นได้

#### 1.4 การใช้พืชน้ำบำบัดซัลเฟตในน้ำทิ้ง

ซัลเฟอร์ (S) เป็นธาตุชนิดหนึ่งใน 16 ธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช แม้ว่าธาตุซัลเฟอร์จะถูกกำหนดให้เป็นสารอาหารขั้นสอง (Secondary nutrient) หรือบางครั้งอาจเรียกซัลเฟอร์ว่าสารอาหารหลักชนิดที่สี่ (The fourth major nutrient) ที่ได้ถูกจัดอยู่ในลำดับรองจากไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม (Lamond, 2001: 1-4)

ซัลเฟอร์เป็นธาตุที่จำเป็นธาตุหนึ่งในการเจริญเติบโตและเมตาโบลิซึมของสิ่งมีชีวิต

ชีวิตทั้งพืชและสัตว์เช่นช่วยเป็นตัวเชื่อมโยงภายในโมเลกุลของโปรตีน และเป็นองค์ประกอบของสารหลายชนิด แหล่งซัลเฟอร์ที่สำคัญคือสารประกอบอนินทรีย์ซัลเฟต (วราพร สุรวดี, 2521: 57) โดยสารประกอบซัลเฟตที่พืชสามารถนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตนั้นสามารถเปลี่ยนรูปมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และกรดซัลฟูริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แผนภูมิวัฏจักรซัลเฟอร์

ที่มา : Corbin K. "The Sulfur Cycle : Steps in the Cycle" (Online), November 2001.

Available : [http://www.bis.vt.edu/changedor/biol\\_4684/Cycles/Scycle.html](http://www.bis.vt.edu/changedor/biol_4684/Cycles/Scycle.html).

[Accessed November 12, 2001]: 2.

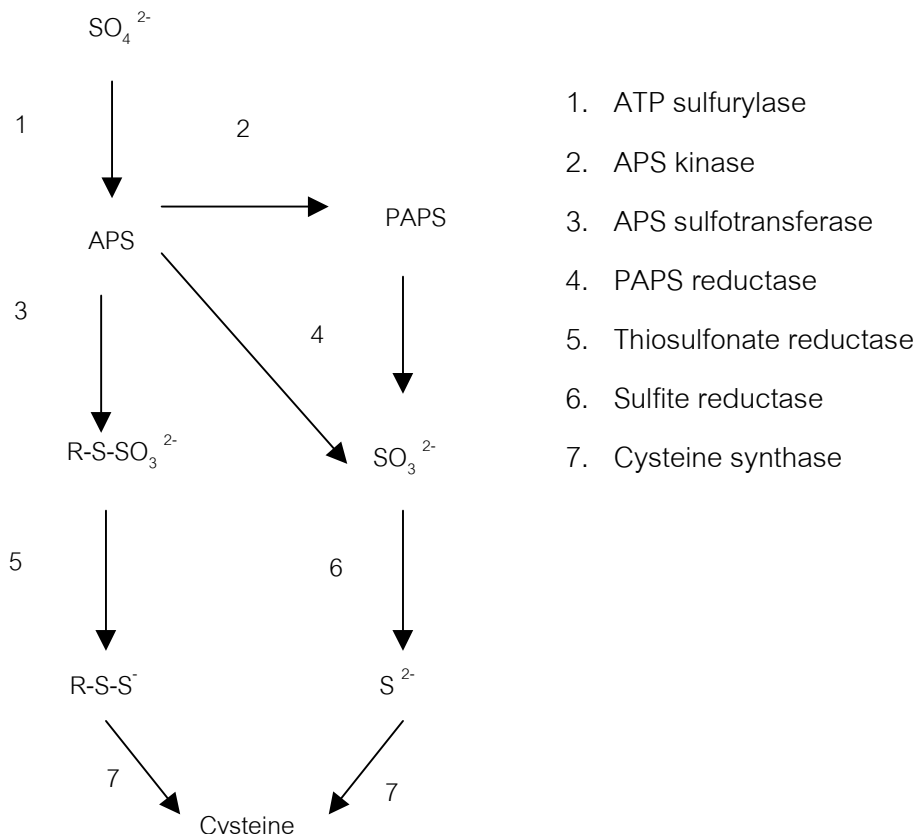
พืชได้รับธาตุซัลเฟอร์ส่วนใหญ่จากการดูดซับสารประกอบซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ได้เพียงชนิดเดียวที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยอัตราการกำจัดหรือดูดซับ (Removal rate) นี้ขึ้นอยู่กับปริมาณซัลเฟตที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมแต่ละพื้นที่ ซัลเฟอร์ที่ถูกพืชกำจัดหรือดูดซับไปใช้นั้น จะเป็นส่วนประกอบของกรดอะมิโนหลายชนิด โดยซัลเฟอร์เป็นสารเริ่มต้นชนิดหนึ่งในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน นอกจากนี้ซัลเฟอร์ยังเป็นส่วนประกอบของวิตามินบางชนิดและเอนไซม์หลายชนิด โดยเนื้อเยื่อพืชสามารถสะสมซัลเฟตได้ (Gregoire, 1999: 1)

พืชสามารถนำซัลเฟตจากภายนอกเซลล์มาสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนชนิดอื่น หลังจากนั้นกรดอะมิโนชนิดอื่นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะมิโนชนิดอื่นที่มีซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบ คือ

สารเมตาโบไลต์ทั้งชนิดปฐมภูมิและทุติยภูมิ (Primary and secondary metabolite) ที่มีซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบต่อไป ซัลเฟตที่ถูกดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นอะดีโนซีน 5-ฟอสโฟซัลเฟต หรือเอพีเอส (adenosine 5' phosphosulfate, APS) โดยเอนไซม์เอทีพีซัลฟูไรเลส(ATP sulfurylase) ต่อจากนั้นเอพีเอสสามารถเปลี่ยนไปเป็นกรดอะมิโนซีสเตอีนได้ 2 กระบวนการคือ

กระบวนการแรกเอพีเอสจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพีเอพีเอส (PAPS; 3-phosphoadenosine-5-phosphosulfate) ซัลไฟต์ (sulfite) ซัลไฟด์ (sulfide) และซีสเตอีนในที่สุด โดยเอนไซม์เอพีเอสไคเนส (APS kinase) เอนไซม์พีเอพีเอสรีดักเตส (PAPS reductase) เอนไซม์ซัลไฟไตรดักเตส (sulfite reductase) และเอนไซม์ซีสเตอีนซินเทส (cysteine synthase) ตามลำดับ

กระบวนการที่ 2 เอพีเอสเปลี่ยนไปเป็นอาเอสซัลไฟต์ ( $R-S-SO_3^{2-}$ ) อาเอสเอส ( $R-S-S$ ) และกรดอะมิโนซีสเตอีน โดยเอนไซม์เอพีเอสซัลโฟทรานสเฟอเรส (APS sulfotransferase) เอนไซม์ไธโอซัลโฟเนตรีดักเตส (Thiosulfonate reductase) และเอนไซม์ซีสเตอีนซินเทส (Cysteine synthase) ตามลำดับ (Schmidt and Jager, 1992: 325-349) ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 กระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนซีสเตอีนจากซัลเฟตในแต่ละขั้นตอนของพืช

ที่มา : Schmidt A. and Jager K. "Open Question about Sulfur Metabolism in Plant" *Annual Review of Plant Physiological and Plant Molecular Biological*, 43 (Fall 1992): 325-349.

ความต้องการซัลเฟอร์ของพืชจะสัมพันธ์กับความต้องการไนโตรเจนของพืช เนื่องจากสารทั้งสองชนิดนี้เป็นส่วนประกอบของโปรตีนและสัมพันธ์กับโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ ซัลเฟอร์มีส่วนสำคัญในการทำงานของเอนไซม์รีดักทีส (reductase) โดยพืชสามารถเปลี่ยนสารไนเตรทไปเป็นกรดอะมิโน อย่างไรก็ตามถ้าเอนไซม์ชนิดนี้ขาดสารซัลเฟอร์ จะทำให้เอนไซม์มีประสิทธิภาพต่ำ ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนในเนื้อเยื่อพืชต่ำด้วย (Ray, 2001: 1-4) ดังนั้นพืชจึงจำเป็นต้องได้รับสารซัลเฟอร์ให้เพียงพอสำหรับขบวนการเมตาบอลิซึมของไนโตรเจน

โดยทั่วไปอัตราส่วนของไนโตรเจนต่อซัลเฟอร์ในเนื้อเยื่อพืชมีค่าประมาณ 10 : 1 (Leep, 2001: 1-3) ถ้าพืชขาดสารซัลเฟอร์ พืชจะมีอาการคล้ายกับขาดสารอาหารไนโตรเจนคือมีลำต้นแคระแกรนการแตกยอดใหม่น้อยลง ใบอ่อนจะมีสีเหลือง (<http://www.planetrice.net/premldr/products>, 2001: 1-2)

จากรายงานและผลการศึกษานี้ (Schmidt and Jager, 1992: 325-349; Ernst, 1998: 311-318) ได้พบว่าที่สารซัลเฟอร์เป็นสารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชสำหรับสร้างกรดอะมิโน กระบวนการทำงานของวิตามินและเอนไซม์บางชนิด พืชได้รับสารซัลเฟอร์จากการดูดซับสารประกอบซัลเฟตในสิ่งแวดล้อมผ่านทางราก ดังนั้นการใช้พืชน้ำ (Aquatic plants) กำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้งจึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถลดปริมาณซัลเฟตในน้ำให้อยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากรายงานและข้อมูลดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยสนใจทดลองและศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้พืชน้ำเพื่อการบำบัดซัลเฟตในน้ำทิ้งเหมืองแม่เมาะ โดยเลือกศึกษาประสิทธิภาพของพืชลอยน้ำ 2 ชนิด คือ ผักตบชวา และจอก

## 2. ผักตบชวา

ผักตบชวา เป็นพืชในวงศ์ Pontederiaceae มีชื่อสามัญว่า Water hyacinth และชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms สำหรับชื่อไทยมีหลายชื่อ เช่น ผักตบชวา สะวะ ผักตบปอง ผักปอง ผักบ่ง (สุชาติดา ศรีเพ็ญ, 2530: 96; สุรัชย์ มัจฉาชีพ, 2538: 89; กรมประมง, 2538: 79) ผักตบชวาเป็นพืชที่ลอยผิวน้ำ แพร่กระจายทั่วไปในเขตร้อนและเขตอบอุ่น มีถิ่นกำเนิดในประเทศบราซิลและขยายไปสู่ประเทศต่าง ๆ ในอเมริกาใต้และอเมริกากลาง ปัจจุบันได้แพร่กระจายไปทั่วโลก สำหรับประเทศไทยผักตบชวาถูกนำเข้ามาเมื่อ พ.ศ. 2444 และได้ปรากฏในหนังสือบันทึกความจำซึ่งเรียบเรียงโดย นาวาตรีหลวงรักษาราชทรัพย์ว่า

ในคราวพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 5 เสด็จประพาสชวาครั้งที่ 3 สมเด็จพระศรี-  
 พชรินทราบรมราชินีนาถ ทรงขอพันธุ์ผักตบชวามาปลูก ด้วยเห็นว่ามียอดดอกสวยงาม โดยสั่งให้  
 เรือโทโตด หย่องมณี นายทหารเรือประจำเรือพระที่นั่งมหาจักรี เป็นผู้นำมาปลูก ผักตบชวา  
 จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “ผักตามเสด็จ” (วิศิษฐ์ ศิลปสุวรรณชัย, 2544: 53) ผักตบชวาเป็นพืชที่ลอยน้ำ  
 เป็นกลุ่ม สามารถเจริญเติบโตในน้ำนิ่ง หรือน้ำไหลถ่ายเทกลับไปกลับมาอย่างช้า ๆ ได้ มีรากเป็น  
 ฝอยเล็กละเอียดแตกออกคล้ายขนนก ใบกว้างออกเป็นกระจุกลอยเหนือน้ำ ใบมีรูปร่างคล้ายลิ้ม  
 ออบน้ำและซ้อนเกยกันอยู่บนแกนที่เป็นส่วนของต้นสั้น ๆ มีไหล (stolon) ยื่นออกไปงอกเป็นต้นใหม่  
 หรือแตกใหม่เป็นส่วนของต้นอ่อนตามซอกใบ (กรมประมง, 2538: 79) แต่ละต้นจะมีใบประมาณ  
 5-10 ใบ ออกดอกเรียงซ้อนกันเป็นวงรอบเหง้า ดอกจะมีสีม่วงอมน้ำเงิน มีกลีบดอก 5-6 กลีบ  
 ดอกจะบานวันเดียวแล้วโรยกลายเป็นผล ซึ่งพร้อมกันนั้นช่อดอกจะอ่อนโค้งลง แต่ไม่หลุดจน  
 กระทั่งผลแก่ ถ้าผลไม่โตช่อดอกก็จะเน่าไปในที่สุด เมล็ดของผักตบชวาลึกมาก มีขนาดยาว  
 1.3-1.6 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร ทิวทั้งต้นของผักตบชวามีสีเขียวของ  
 คลอโรฟิลล์เป็นจำนวนมากแสดงว่าต้นผักตบชวามีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงมาก และถ้าจะ  
 เปรียบเทียบผักตบชวากับพืชน้ำอื่น ๆ แล้ว พบว่าในพื้นที่เท่ากันอัตราการสังเคราะห์แสงของ  
 ผักตบชวาจะสูงกว่าพืชน้ำชนิดอื่น ๆ (จิตติมา วสุสิน, 2539: 14) ดังแสดงในภาพที่ 2.6 และ 2.7

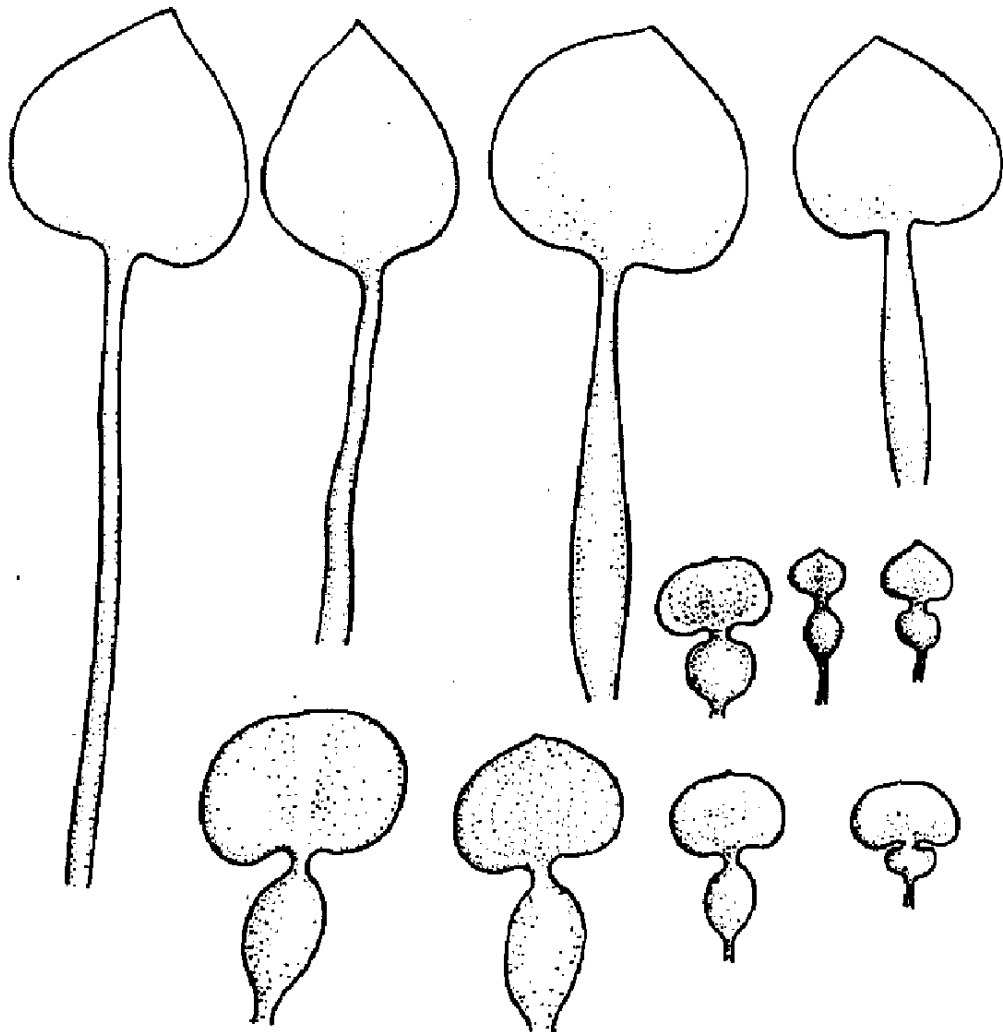
ผักตบชวามีการแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วได้ 2 วิธี (วิศิษฐ์ ศิลปสุวรรณชัย, 2544: 53) คือ

1. สืบพันธุ์โดยไม่อาศัยเพศหรือการแตกหน่อแต่อาศัยไหลที่แตกมาจากลำต้นแม่  
 ทำให้ได้ต้นใหม่จำนวนมาก ผักตบชวา 10 ต้นสามารถแตกไหลได้ถึง 600,000 ต้น ภายในเวลา  
 6 เดือน
2. สืบพันธุ์โดยอาศัยเพศหรือการขยายพันธุ์โดยเมล็ดเมื่อดอกตัวเมียถูกผสมเกสรและ  
 เกิดเมล็ด เมล็ดหลุดออกจากกระเปาะและลอยไปตามกระแสน้ำ หรือจมอยู่ในโคลนตมใต้น้ำ  
 ผักตบชวา 1 ต้นจะให้เมล็ดถึง 5,000 เมล็ด ประมาณว่าเนื้อที่ 1 ไร่ สามารถมีเมล็ดพันธุ์ตกใน  
 โคลนตมพื้นน้ำได้ถึง 18 ล้านเมล็ด และมีชีวิตอยู่ได้นานถึง 15 ปี หากอยู่ในสภาพแวดล้อม  
 เหมาะสมจะงอกงามขึ้นได้ทันที ดังแสดงในภาพที่ 2.8



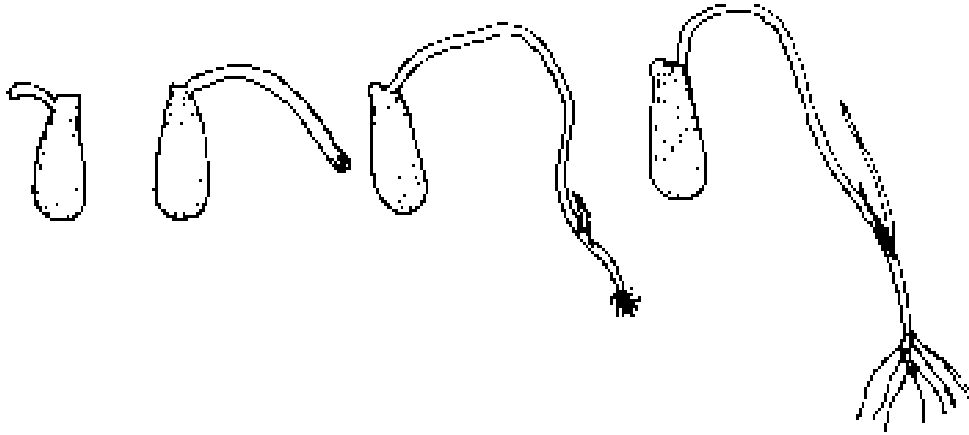
ภาพที่ 2.6 ผักตบชวาเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่

ที่มา : Gopal B. *Aquatic Plant Studies 1: Water Hyacinth* Elsevier Science Publisher B.V. 1987.



ภาพที่ 2.7 ขนาดและรูปร่างของใบผักตบชวา

ที่มา : Gopal B. *Aquatic Plant Studies 1: Water Hyacinth* Elsevier Science Publisher B.V. 1987.



ภาพที่ 2.8 ขั้นตอนการงอกของผักตบชวาจากเมล็ด

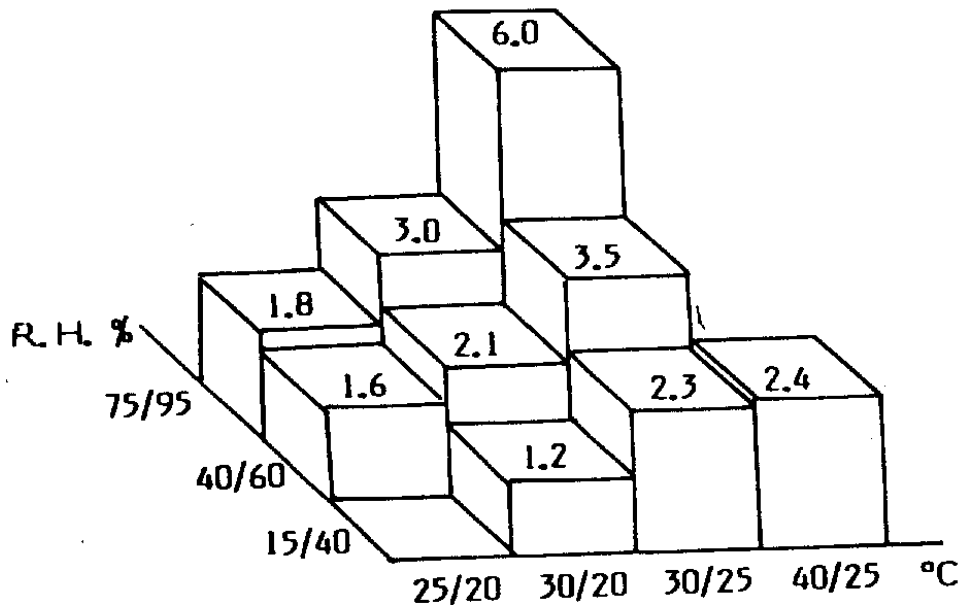
ที่มา : Gopal B. *Aquatic Plant Studies 1: Water Hyacinth* Elsevier Science Publisher B.V. 1987.

สภาพแวดล้อมที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของผักตบชวา (Gopal, 1987: 133-143; Gupta, 1980: 80-82) คือ

1. แสงสว่าง ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีความเข้มของแสงสูง คือ ที่ความเข้มของแสง 240,000 ลักซ์-ชั่วโมงเหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญเติบโต และมีการเจริญเติบโตต่ำสุดที่ความเข้มของแสง 24,000 ลักซ์-ชั่วโมง ซึ่งจะเห็นได้ว่าผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตในสภาวะช่วงความเข้มของแสงกว้าง อย่างไรก็ตามการเจริญเติบโตจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่มีแสงสว่างด้วยโดยได้พบว่าผักตบชวามีการเจริญเติบโตได้ดีในช่วงเวลากลางวันที่มีแสงนานตั้งแต่ 6-16 ชั่วโมง

2. อุณหภูมิ ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้ดีถ้าอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส แต่จะหยุดการเจริญเติบโตถ้ามีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส และเมื่อมีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสจะทำให้ผักตบชวาตาย โดยอุณหภูมิของน้ำจะสัมพันธ์กับระยะที่มีแสงสว่าง ความเข้มแสง และความชื้นด้วย โดยจำนวนต้นผักตบชวาจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิระหว่าง 25/20 ถึง 40/25 องศาเซลเซียส (กลางวัน / กลางคืน) และมีความชื้นระหว่าง 15/40 ถึง 75/95 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 2.9





ภาพที่ 2.9 ผลของอุณหภูมิ (กลางวัน / กลางคืน) และความชื้นต่อจำนวนของต้นผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น / สัปดาห์

ที่มา : Gopal B. *Aquatic Plant Studies 1 : Water Hyacinth* Elsevier Science Publisher B.V. 1987.

3. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ของผักตบชวา โดยพบว่าผักตบชวามีการเจริญเติบโตได้ในช่วง pH 4-10 แต่ค่า pH ที่เหมาะสมคือ 6-8 ซึ่งผลตบชวามีการเจริญเติบโตสูงสุดที่ค่า pH เท่ากับ 7 และมักไม่พบผักตบชวาในน้ำที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4

4. ความลึกของน้ำและการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ผักตบชวาสามารถเจริญได้ทั้งที่ระดับน้ำลึก น้ำตื้นจนถึงดินโคลน การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามฤดูกาล จะไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวามากนัก แต่จะมีผลต่อรูปร่างของผักตบชวา โดยที่ระดับน้ำลึกผักตบชวาจะมีรากยาว มีการสร้างท่อนลอยและมีพื้นที่ใบต่อต้นมาก

5. ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำ ถ้าในน้ำมีความเข้มข้นของสารอาหารสูง ผักตบชวาจะสามารถเจริญได้อย่างรวดเร็ว และพบว่าผักตบชวาเจริญเติบโตในน้ำเสียได้ดีกว่า

น้ำธรรมชาติ สารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวา คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม และเหล็ก ผักตบชวาเจริญได้ในสภาพที่มีสารอาหารน้อยไปถึงสภาพที่มีสารอาหารมาก

6. สารมีพิษ สารที่มีพิษต่อผักตบชวาได้แก่ สารฆ่าวัชพืช ความเข้มข้นของเกลือมากกว่า 0.25 เปอร์เซ็นต์ ถ้าความเข้มข้นของเกลือสูงถึง 0.08 เปอร์เซ็นต์ผักตบชวาจะหยุดการเจริญเติบโต

7. ศัตรูธรรมชาติของผักตบชวา เช่น ตัวงวงลายจุด ตัวงวงลายบัง ตั๊กแตน

8. ฮอริโมน ฮอริโมนกิบเบอเรลลินส์ (Gibberellins) ที่พบในรากของผักตบชวา เป็นสารที่ทำให้ผักตบชวามีการเจริญเติบโตได้ดีและทำให้เกิดการแพร่พันธุ์เป็นต้นใหม่ ๆ

นักวิจัยได้นำผักตบชวาไปใช้ประโยชน์ในด้านการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากการเจริญเติบโตได้รวดเร็วถึงแม้ว่าแหล่งน้ำนั้นจะไม่มีออกซิเจนละลายอยู่เลยก็ตาม นอกจากนี้สามารถนำผักตบชวาชั้นจากแหล่งน้ำได้ง่ายซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดและได้ผลดี ผักตบชวาสามารถดูดเอาสิ่งสกปรก รวมทั้งโลหะหนักต่าง ๆ จากน้ำเสียไปสะสมไว้ที่ราก ลำต้น ใบ ดอก ทำให้ลด

สารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โลหะหนัก และสารพิษในน้ำได้ (Gupta, 1980: 80-82; สร้อยดาว ยวดยง, 2534: 2 ) การศึกษาถึงประสิทธิภาพของผักตบชวาเพื่อลดมลสารต่าง ๆ ในน้ำทิ้งได้มีมาเป็นเวลานานกว่า 40 ปี ผลการศึกษาที่ได้มีรายงานไว้บางส่วนมีดังนี้ ศานิต ชัชวาลย์ (2521: 93) ได้ทดลองนำผักตบชวามาใช้ช่วยในการกำจัดน้ำเสีย

โดยใช้บ่อหมัก 6 บ่อที่ 3 ระดับความเข้มข้น โดยบ่อหมักที่มีผักตบชวาปกคลุมสามารถลดค่าซีไอดี บีไอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ได้ดีกว่าบ่อหมักที่ไม่มีผักตบชวาปกคลุมทุก ๆ ความเข้มข้น กิตติ เอกอำพล และสำออง หอมชื่น (2530: 14-31) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษโดยใช้กกกลม และผักตบชวาที่ปลูกในน้ำเสียของโรงงานเป็นเวลา 1 เดือน พบว่าผักตบชวาสามารถลดค่าบีไอดี (BOD) ซีไอดี (COD) ของแข็งแขวนลอยรวม และฟอสเฟตได้เฉพาะภายในช่วง 20 วัน นับจากเริ่มปลูก และมีประสิทธิภาพในการลดค่าดังกล่าวของผักตบชวาสูงกว่าตัวควบคุม (น้ำเสียที่ไม่ได้ปลูกผักตบชวามีค่าบีไอดี, ซีไอดี, ของแข็งแขวนลอย และฟอสเฟต 14.3, 18.3, 187.5 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ระยะเวลา 20 วัน) และยังมีคุณสมบัติในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียให้มีค่าคงที่อยู่ที่ระดับ pH ใกล้เคียง 7 ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง

ศักดิ์สิทธิ์ ตรีเดช และคณะ (2530: 1-13) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนักจำพวกแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว จากโรงงานชุบโลหะทั้งในห้องปฏิบัติการและในน้ำเสีย และหาความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักแต่ละชนิดทั้งแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว ที่ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักได้ในเวลา 3 สัปดาห์ พบว่ามีความเป็นไปได้มากที่จะนำผักตบชวามาใช้ในระบบกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย ประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนัก

ในห้องปฏิบัติการพบว่าผักตบชวาที่มีชีวมวล (Biomass) มากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้สูงกว่า และเมื่อเปรียบเทียบโดยใช้ผักตบชวาที่มีชีวมวลเท่ากัน พบว่ากลุ่มที่มีขนาดน้ำหนักต่อต้นมากกว่าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากลุ่มที่มีขนาดน้ำหนักต่อต้นน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทั้งสองกรณีในระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

คณะทำงานกลุ่มวิชาการ / ศึกษาวิจัย โครงการปรับปรุงบึงมักกะสัน (2532: 1-2) ได้วิเคราะห์สมรรถนะการดูดโลหะหนักในส่วนต่าง ๆ ของผักตบชวาพบว่ารากของผักตบชวาสามารถดูดซับโลหะหนักได้มากกว่าลำต้น ความสามารถในการดูดซับอาหารและมลสารต่าง ๆ ของผักตบชวาเพิ่มขึ้นตามอายุหรือการเจริญเติบโตของผักตบชวา แต่การดูดซับอาหารและมลสารต่าง ๆ นี้จะลดลงเมื่อผักตบชวามีอายุเกินกว่า 17 สัปดาห์ หรือประมาณ 4 เดือน สมรรถภาพของผักตบชวาในช่วงอายุ 8 สัปดาห์ที่ได้ดูดซับไนโตรเจนมากกว่าเมื่ออายุได้ 16 สัปดาห์ ถึงเกือบหนึ่งเท่า สำหรับฟอสฟอรัสและโปตัสเซียมให้ผลเช่นเดียวกับไนโตรเจน สำหรับแมกนีเซียมและโลหะอื่น ๆ นั้น ถูกดูดซึมได้ไม่แน่นอน ยกเว้นแมงกานีส ที่ถูกดูดซึมได้ดีในผักตบชวาช่วงอายุ 8 สัปดาห์แรก

ข้าวทิพย์ เจริญกิจ และ พิมล เรียงวัฒนา (2533: 49-70) ได้ทดลองใช้ผักตบชวาลดปริมาณโลหะหนักของน้ำเสียที่ออกจากหน่วยผลิตวงจรไฟฟ้าของบริษัทธานินทร์อุตสาหกรรม จำกัด โดยหาปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและเนื้อเยื่อของผักตบชวา พบว่าการดูดกลืนโลหะหนักในเนื้อเยื่อผักตบชวาจะมีค่าสูงในช่วง 3 วันแรก และลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนถึง 10 วัน โดยแนวโน้มของการลดลงเป็นไปอย่างรวดเร็ว และเมื่อเปรียบเทียบขนาดของต้นผักตบชวากับการลดปริมาณของโลหะหนัก พบว่าผักตบชวาขนาดกลางมีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักมากกว่าขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยพบว่าโลหะหนักจะไปสะสมที่ใบ 11.5-11.8 มิลลิกรัม / น้ำหนักแห้ง 1 กรัม ซึ่งมากกว่าการสะสมที่ก้านใบ (6.3-6.9 มิลลิกรัม / น้ำหนักแห้ง 1 กรัม) และลำดับความทนทานของผักตบชวาต่อพิษของโลหะหนักเป็นดังนี้คือโครเมียมและสังกะสี < นิกเกิล, ทองแดง < ตะกั่ว, แคดเมียม ประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะหนักตามสภาวะที่ใช้ในการทดลองของผักตบชวาขนาดกลาง พบว่ามีค่าดังนี้คือโครเมียมและสังกะสีมีค่า 89.86 และ 91.05 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ นิกเกิลและทองแดงมีค่า 65.88 และ 91.05 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ นิกเกิลและทองแดงมีค่า 65.88 และ 60.85 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ตะกั่วและแคดเมียมได้ 100 เปอร์เซนต์ สำหรับผักตบชวาขนาดเล็กและขนาดใหญ่นั้นมีประสิทธิภาพในการลดโลหะหนักได้น้อยกว่าขนาดกลาง 2-6 เปอร์เซนต์

ปรีดา แยมเจริญวงศ์ (2533: 222-231) ได้ทดลองใช้ผักตบชวา ไล่ลงในสระบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองขอนแก่น โดยครอบคลุมพื้นที่ 3.8 เปอร์เซนต์ ของพื้นที่สระ เป็นเวลานาน

6 สัปดาห์ พบว่าสามารถลดค่าบีโอดี และของแข็งแขวนลอยได้ 50.14 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ถ้าไม่ใส่ผักตบชวา ค่าบีโอดีลดลงได้เพียง 31.54 เปอร์เซ็นต์ แต่ของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น 0.28 เปอร์เซ็นต์

สร้อยดาว ยวดยง (2534: 3) ได้อ้างถึงผลการศึกษาของ Furman และ Gilcreas ซึ่งได้ศึกษาถึงความสามารถในการดูดสารอาหาร (Nutrient) ของผักตบชวา ในบ่อฝิ่ง (Oxidation Pond) ที่ปลูกผักตบชวาเต็มพื้นที่บ่อ จนทำให้บ่อบำบัดมีสภาวะไร้ออกซิเจน และมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 5 วัน ได้พบว่าในบ่อบำบัดดังกล่าว ปริมาณไนเตรตได้ลดลง เนื่องจากไนเตรตมีการเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน อินทรีย์ไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจน ผลการศึกษาได้พบว่าไนเตรตจะลดลง 75 เปอร์เซ็นต์ ในเดือนที่มีอากาศร้อน และ 35 เปอร์เซ็นต์ในเดือนที่มีอากาศหนาว

เลธิวาน อัน (2539: 1) ได้ทดลองใช้ผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะในเมืองเชียงใหม่ โดยผสมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรกับโลหะหนักจำพวกโครเมียมและนิกเกิล ที่ความเข้มข้น 10 และ 20 mg/l. ตามลำดับ พบว่าที่ความเข้มข้น 10 mg/l. ผักตบชวาสามารถกำจัดโครเมียมและนิกเกิลได้ถึง 95.37 และ 94.37 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และที่ความเข้มข้น 20 mg/l. ผักตบชวาสามารถกำจัดโครเมียมและนิกเกิลได้ถึง 90.43 และ 88.95 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สรรเพชญ อังกิติตระกูล (2541: 1) ได้ทดลองใช้ผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยใช้ผักตบชวาที่ความหนาแน่น 4 กิโลกรัมเปียก / ตารางเมตร ผลการทดลองพบว่าในสัปดาห์ที่ 1 ผักตบชวาสามารถลดค่า บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสเฟต ของแข็งละลายน้ำ และของแข็งแขวนลอยได้เฉลี่ย 29.50, 25.83, 24.14, 18.90, 27.32 และ 24.86 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลการทดลองในสัปดาห์ที่ 2 พบว่าผักตบชวาสามารถลดค่า บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสเฟต ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอยได้เฉลี่ย 37.28, 37.43, 41.77, 23.55, 34.64 และ 39.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Bagnall et al. (1974: 1-3) ได้ทดลองปลูกผักตบชวาปกคลุมบ่อเป็นเวลานานมากกว่า 10 ชั่วโมง พบว่าค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ และถ้าเพิ่มระยะเวลาเป็น 5 วัน จะสามารถลดค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ได้ถึง 80 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Wolverton et al. (1975: 1-7) ได้ศึกษาพืชน้ำ 2 ชนิด คือ ผักตบชวา และพืชน้ำชนิดหนึ่ง (alligator weeds) ในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานสารเคมี และน้ำเสียที่มีไนเตรตและฟอสเฟตจากน้ำทิ้งชุมชน พบว่าผักตบชวาสามารถดูดซับโลหะหนักได้หลายชนิด เช่น แคดเมียม ตะกั่ว นิกเกิล ปรอทเงิน โคบอล สตรอนเทียม และฟีนอล นอกจากนี้ผักตบชวา

ยังสามารถลดค่า TKN, ฟอสฟอรัส, ของแข็งแขวนลอย (TSS), BOD<sub>5</sub> และสามารถเพิ่มค่า pH ของน้ำด้วย

Wolverton (1975: 3) ได้ศึกษาผักตบชวาในการกำจัดแคดเมียมและนิกเกิล จากน้ำทิ้ง (Polluted waters) ในระบบน้ำนิ่งพบว่าผักตบชวาสามารถกำจัดนิกเกิลและแคดเมียมสูงสุด 0.5 และ 0.67 มิลลิกรัม ต่อกกรัมของน้ำหนักแห้งของพืชตามลำดับในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

Cornwell (1977: 1-4) ได้ทดลองโดยใช้ผักตบชวาดูดสารอาหารจาก secondary effluents ในรัฐแคลิฟอร์เนีย พบว่า ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเหมือนอยู่ในสภาพธรรมชาติ ในบ่อทดลองขนาดความลึก 0.34 เมตร ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง ผักตบชวาสามารถดูดซึมไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ได้ประมาณ 80 และ 40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่สำหรับบ่อทดลองที่มีความลึกมากกว่าและใช้เวลาน้อยกว่าได้ผลไม่เป็นที่พอใจ (not satisfactory) นอกจากนี้ได้พบว่า อัตราการดูดสารหรือเคลื่อนย้ายไนโตรเจนนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิว

Dinges (1978: 842-844) ได้ใช้ผักตบชวาในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อผันสภาพ (Stabilization Pond) และพบว่าผักตบชวาจะใช้ไนโตรเจนเพื่อการเจริญเติบโตและบางส่วนจะตกตะกอนอยู่ก้นบ่อ แต่ถ้าบ่อมีรูปร่างแคบจะช่วยลดปริมาณของสาหร่ายและสารแขวนลอยต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ได้พบว่าน้ำทิ้งภายหลังจากบำบัดด้วยผักตบชวาแล้ว จะมีค่า pH เป็นกลาง และสามารถลดสารแขวนลอยได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และบีโอดี ได้ 97 เปอร์เซ็นต์ ขณะเดียวกันค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 5 มิลลิกรัม / ลิตร และค่าเฉลี่ยของ บีโอดี และสารแขวนลอยน้อยกว่า 10 มิลลิกรัม / ลิตร

Suttipong (1980: 77-78) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัด (remove) โลหะหนักพบว่าเมื่อปริมาณน้ำ ความเข้มข้นของโลหะหนักและจำนวนผักตบชวาเท่ากัน ผักตบชวาขนาดใหญ่สามารถกำจัดโลหะหนักได้มากกว่าผักตบชวาขนาดเล็กในช่วงเวลาเก็บกัก (Detention time) เท่ากัน แต่ในผักตบชวาแห้ง ผักตบชวาขนาดเล็กสามารถดูดซับ (absorb) โลหะหนักได้มากกว่าผักตบชวาขนาดใหญ่ เมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักและปริมาณน้ำเท่ากัน

จากผลการศึกษาดังกล่าว ผู้ศึกษาวิจัยได้เสนอความเห็นสนับสนุนให้ใช้ ผักตบชวาขนาดเล็กมากกว่าผักตบชวาขนาดใหญ่ในการกำจัดโลหะหนัก เนื่องจากผักตบชวาขนาดเล็กมีความไวต่อสารพิษน้อยกว่าผักตบชวาขนาดใหญ่ และสามารถดูดซับโลหะหนักได้มากกว่า โดยเฉพาะ น้ำเสียที่ความเข้มข้นของโลหะหนักไม่มากเกินไป หรือไม่เป็นพิษต่อผักตบชวาเอง นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซับของผักตบชวาจะลดลง เมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้น โดยสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีในสัปดาห์แรกสูงกว่าสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดและดูดซับโลหะหนักโดยผักตบชวาในสารละลายโลหะชนิดเดียวกัน

Removal of absorption	Size of plants		
	Small *	Medium *	Large *
1. Removal efficiency (%)			
a. Cr	46.25	59.30	71.25
b. Cu	86.51	93.97	99.65
c. Ni	81.23	93.37	94.65
2. Absorption ability (mg.of metal absorption per g. dry plant material)			
a. Cr	3.36	2.93	2.78
b. Cu	0.46	0.36	0.23
c. Ni	0.43	0.36	0.24

\*Small plants were 50 -100 g. (wet weight)

\*Medium plants were 100 -150 g. (wet weight)

\*Large plants were > 150 g. (wet weight)

ที่มา : Suttipong V. "Removal of Heavy Metals by Water Hyacinth (*E. crassipes*)"

Thesis for the degree of Master of Science Asian Institute of Technology, 1980.

Tridech (1980: 1) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของโลหะหนักของพืชน้ำต่าง ๆ หลายชนิด และได้สรุปว่า ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดโลหะหนัก เมื่อเปรียบเทียบพืชประเภทที่ลอยน้ำด้วยกัน ผลการศึกษาที่ละเอียด (Bach study) โดยการออกแบบถังสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 45.7 x 71.1 x 30.5 เซนติเมตร ภายในถังมีแผ่นปะทะ (Baffle) กั้นเป็นช่วง ๆ และมีปั๊มให้น้ำไหลวนเวียนภายในถังตลอดระยะเวลา 28 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองได้ทำการวิเคราะห์โลหะหนักปรากฏผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ประสิทธิภาพในการดูดซับสารปนเปื้อนและโลหะหนักของผักตบชวาในถังทดลอง  
ระยะเวลา 28 วัน

Contaminants in waste water	Relative uptake efficiency		
	0 day (ppm.)	% removal	Concentration of contaminants in water at completion of experiment (ppm.)
Arsenic	1.176	12.50	1.03
Boron	4.912	12.46	4.30
Cadmium	1.375	68.60	0.43
Mercury	0.764	70.16	0.23
Selenium	1.440	8.19	1.32
Penal Method of Determination Is not sufficiently sensitive	0.537	100.00	0.00
Polychlorinated Biphenyls (PCB)			
Total nitrogen (TKN, NO <sub>3</sub> -N and NO <sub>2</sub> -N)	0.007	100.00	0.00
Phosphate	18.3	50.82	9.0
	5.6	13.30	4.93

ที่มา : Tridech S. "Trace Contaminant Removal from Secondary Domestic effluent by  
Vascular Aquatic Plants", Ph.D. Thesis Department of Environmental Health  
Science School of Public Health and Tropical Medicine, 1980.

Lee and Mckim (1981: 26-30) ได้ใช้ระบบบ่อผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสีย  
ที่ Walt Disney World ผลจากการศึกษาได้พบว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบได้มาตรฐานของการ  
บำบัดขั้นทุติยภูมิซึ่งบ่อผักตบชวามีประสิทธิภาพในการลด บีโอดี (BOD) และของแข็งแขวนลอย  
(TSS) ได้เฉลี่ยประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ลดไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสได้เฉลี่ยประมาณ  
30-50 และ 20-40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Reddy and Sutton (1984: 1-8) ได้ศึกษาอัตราการดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยผักตบชวาในน้ำเสียและพบว่า ที่ความหนาแน่นเฉลี่ย 20 กิโลกรัม/น้ำหนักเปียกต่อตารางเมตร และที่อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้งเท่ากับ 20 จะมีชีวมวล (Biomass) 30 ตัน น้ำหนักแห้ง / เฮกตาร์ / ปี และที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ 37 และ 9.4 กรัม / กิโลกรัม อัตราการดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส คิดเป็น 110 และ 282 กิโลกรัม / เฮกตาร์ / ปี ตามลำดับ

Gopal (1987: 293) ได้อ้างถึงผลการศึกษาของ McDonald and Wolverson (1980) ซึ่งได้ศึกษาคุณลักษณะของน้ำเข้าและน้ำออกจากบ่อบำบัดน้ำทิ้งที่มีผักตบชวา ดังแสดงใน ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งในบ่อบำบัดน้ำทิ้งชุมชนชั้นที่ 2 โดยใช้ผักตบชวา ของ McDonald and Wolverson (1980: 101-110)

Parameters	First year 100% cover*			Second year 33% cover *		
	Influent	Effluent	% Reduction	Influent	Effluent	% Reduction
BOD, mg/l.	161	23	86	121	25	79
TSS, mg/l.	125	6	95	85	57	33
TKN, mg/l.	30.3	14.4	52	26.2	14.8	43
TP, mg/l.	8.5	7.9	7	7.8	8.2	-5
TOC, mg/l.	93	40	57	73	60	18
DO, mg/l.	1.5	0.6	60	2.2	0.8	64
pH	7.3	7.0	-	7.1	7.1	-

\* ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยข้อมูล 5 เดือน

Gopal (1987: 280) ได้แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษต่าง ๆ ในน้ำทิ้ง โดยใช้ผักตบชวา ดังแสดงในตารางที่ 2.6



ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างการกำจัดสารมลพิษในน้ำทิ้งโดยผักตบชวา

Effluents	Pollutants removed
Secondary sewage effluents	Nutrients, TSS, BOD, COD, N, Pathogens
Drainage wastewater	Nutrients
Wastewater	Nutrients, Ammonia
Livestock wastes	Nutrients
Industrial effluents	Nutrients
Electroplating wastes	Cyanides, Heavy metals
Dairy wastes	BOD, Nutrients
Sugar factory wastes	BOD, Nutrients
Tannery wastes	BOD, Nutrients
Paper mills	Mercury
Palm oil mills	BOD, Nutrients
Block Rubber factory	BOD, nitrogen

ที่มา : Gopal B. *Aquatic Plant Studies 1 : Water Hyacinth* Elsevier Science Publisher B.V. 1987.

Orth and Sapkota (1987: 1503-1511) ได้ทดลองออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และบ้านเรือนในแถบอุตสาหกรรม ได้พบว่าค่า BOD และ COD ลดลงเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนี้ค่าไนโตรเจนลดลง โดยคาดว่าอาจจะเกิดจากขบวนการดูดซับที่บริเวณรากของผักตบชวา จากการทดลองนี้ ได้แสดงถึงความสามารถของผักตบชวาในการบำบัดน้ำเสีย ดังได้แสดงผลการทดลองไว้ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำเสียหลังจากที่ใช้ผักตบชวาในระบบบำบัดน้ำเสีย

Parameters	Influent	Activated sludge plant	Effluent
pH	7.7	-	7.9
Total suspended solids	209 mg / l.	-	39 mg / l.
Volatile suspended solids	59 mg / l.	-	68 mg / l.
COD	294 mg / l.	-	70 mg / l.
FCOD	140 mg / l.	-	42 mg / l.
BOD <sub>5</sub>	126 mg / l.	-	25 mg / l.
NH <sub>4</sub> -N	11.1 mg / l.	-	10.0 mg / l.
Organic N	9.0 mg / l.	-	4.3 mg / l.
Mixed liquor suspended solids	-	1.5 mg / l.	-
Dissolved oxygen	-	1.3 mg / l.	-
F : M ratio	-	0.03 Kg / kg.d	-

ที่มา : Orth H.M. and Sapkota D.P. "Upgrading a Facultative Pond by Implanting Water Hyacinth" *Journal of Water Research* 22 (Fall 1988): 1503-1511.

Viet (1987: 33) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาในการกำจัดน้ำมันพืชที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง พบว่าผักตบชวาสามารถกำจัดน้ำมันพืชในน้ำทิ้งได้ แต่ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของผักตบชวา ปริมาณน้ำมันพืชที่อยู่ในน้ำทิ้ง และระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (Hydraulic retention time) แต่ถ้ามีน้ำมันพืชในน้ำทิ้งสูงเกินไป จะมีผลให้ผักตบชวาตายได้

Orth and Sapkota (1988: 353-358) ได้ใช้ผักตบชวาในการปรับปรุงคุณภาพน้ำใน Facultative pond ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย พบว่าน้ำทิ้งจากบ่อ Facultative pond มีค่าของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัส เป็น 55, 95, 6.4 และ 1.4 มิลลิกรัม / ลิตร ตามลำดับ แต่เมื่อมีผักตบชวา น้ำทิ้งจากบ่อดังกล่าวมีค่าของแข็งแขวนลอย ซีโอดี ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัส เป็น 12, 26, 2.5 และ 0.4 มิลลิกรัม / ลิตร ตามลำดับ

<http://y.extream-dm.com/s/?tag=wet1999> (1999: 1-3) ได้กล่าวถึงผลการวิจัยของบุญรอด สวัสดิ์พานิช ซึ่งได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากระบบพีชน้ำ 3 ชนิด คือ ผักตบชวา บัวสาย และธูปฤาษี โดยใช้พีชน้ำชนิดเดียว และชนิดผสมในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่พักอาศัยและมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพีชแต่ละชนิดในการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time, HRT) เพื่อการบำบัดน้ำเสียของพีชน้ำแต่ละวิธี เป็นระยะเวลา 10, 15 และ 20 วัน ผลการศึกษาได้ข้อสรุปว่า ประสิทธิภาพของพีชน้ำในการทดลองแต่ละวิธี เมื่อให้ HRT ต่างกันตามที่กำหนด ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ได้แตกต่างกัน กล่าวคือที่ HRT 10 วัน ระบบชนิดใช้ผักตบชวาชนิดเดียวให้ประสิทธิภาพในการลดค่าของแข็งแขวนลอย (TSS) สูงสุดมีค่าเท่ากับ 94.95 เปอร์เซ็นต์ ที่ HRT 20 วัน ลดค่าบีโอดี (BOD) สูงสุดมีค่าเท่ากับ 89.42 เปอร์เซ็นต์ ที่ HRT 15 และ 20 วัน และลดค่าฟอสเฟตทั้งหมด (TP) ได้ไม่แตกต่างกันคือเท่ากับ 97.93 และ 97.94 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ HRT 15

ระบบใช้บัวสายชนิดเดียวให้ประสิทธิภาพในการลดค่า TSS สูงสุดมีค่าเท่ากับ 86.85 เปอร์เซ็นต์ ที่ HRT 20 วันลดค่า BOD และค่า TP สูงสุดมีค่าเท่ากับ 81.75 และ 97.25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ที่ HRT 10 วัน

ระบบใช้ธูปฤาษีชนิดเดียวให้ประสิทธิภาพในการลดค่า TSS และค่า BOD สูงสุดมีค่าเท่ากับ 91.25 และ 89.81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และที่ HRT 20 วัน ให้ประสิทธิภาพในการลดค่า TP สูงสุดมีค่าเท่ากับ 98.71 เปอร์เซ็นต์

สำหรับระบบชนิดใช้พีชน้ำผสมที่ HRT 10 และ 15 วันให้ประสิทธิภาพในการลดค่า TSS สูงสุดมีค่าไม่แตกต่างกันคือมีค่าเท่ากับ 93.38 และ 92.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ HRT 10 วัน ให้ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD สูงสุดมีค่าเท่ากับ 81.56 เปอร์เซ็นต์และที่ HRT 20 วัน ให้ประสิทธิภาพในการลดค่า TP สูงสุดมีค่าเท่ากับ 97.31 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพของพีชน้ำตาม HRT ที่กำหนดให้ คือ 10 วัน ประสิทธิภาพในการลดค่า TSS และ TP สูงสุด คือ ระบบใช้ผักตบชวาชนิดเดียวมีค่าเท่ากับ 94.95 และ 93.96 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD สูงสุด คือ ระบบใช้ธูปฤาษีชนิดเดียวมีค่าเท่ากับ 89.81 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ HRT มีค่าเท่ากับ 15 วัน

ประสิทธิภาพในการลดค่า TSS สูงสุดคือระบบใช้ผักตบชวาชนิดเดียวและพืชน้ำผสม มีค่าไม่แตกต่างกัน คือมีค่าเท่ากับ 92.14 และ 92.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำทั้ง 4 วิธี ให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันโดยมีค่าระหว่าง 78.00 - 79.81 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพในการลดค่า TP สูงสุดคือเมื่อใช้ผักตบชวาชนิดเดียวมีค่าเท่ากับ 97.93 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ HRT มีค่าเท่ากับ 20 วัน

ประสิทธิภาพในการลดค่า TSS สูงสุดคือระบบที่ใช้ผักตบชวาชนิดเดียวมีค่าเท่ากับ 93.56 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD สูงสุดคือระบบที่ใช้ผักตบชวาชนิดเดียวและรูปฤาษีชนิดเดียวให้ประสิทธิภาพสูงสุดไม่แตกต่างกันคือมีค่าเท่ากับ 97.94 และ 98.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการลดค่า TKN พบว่าทุกระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พืชน้ำและทุก HRT ที่กำหนดให้ประสิทธิภาพเข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากช่วงความเข้มข้นของ influent มีค่า TKN ไม่สูงมากนัก คืออยู่ระหว่าง 0.24-4.34 mg / l. ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบค่า TKN ของ effluent ซึ่งมีค่าน้อยมากได้

เมื่อได้ศึกษาถึงศักยภาพของการขยายผลการทดลองลงสู่พื้นที่จริงพบว่า ระบบใช้ผักตบชวาชนิดเดียวให้ประสิทธิภาพในการลดค่า TSS สูงสุดมีค่าอยู่ระหว่าง 92.14 ถึง 94.95 เปอร์เซ็นต์ ระบบใช้รูปฤาษีชนิดเดียวให้ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD สูงสุด มีค่าอยู่ระหว่าง 79.81 ถึง 89.81 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการลดค่า TP นั้นพบว่าทุกระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำให้ประสิทธิภาพสูงในระดับที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 88.48 ถึง 97.94 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของ TKN อยู่ในช่วง 0.24-4.34 mg / l. เมื่อใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พืชน้ำให้ประสิทธิภาพในการลดค่า TKN เข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์

### 3. จอก

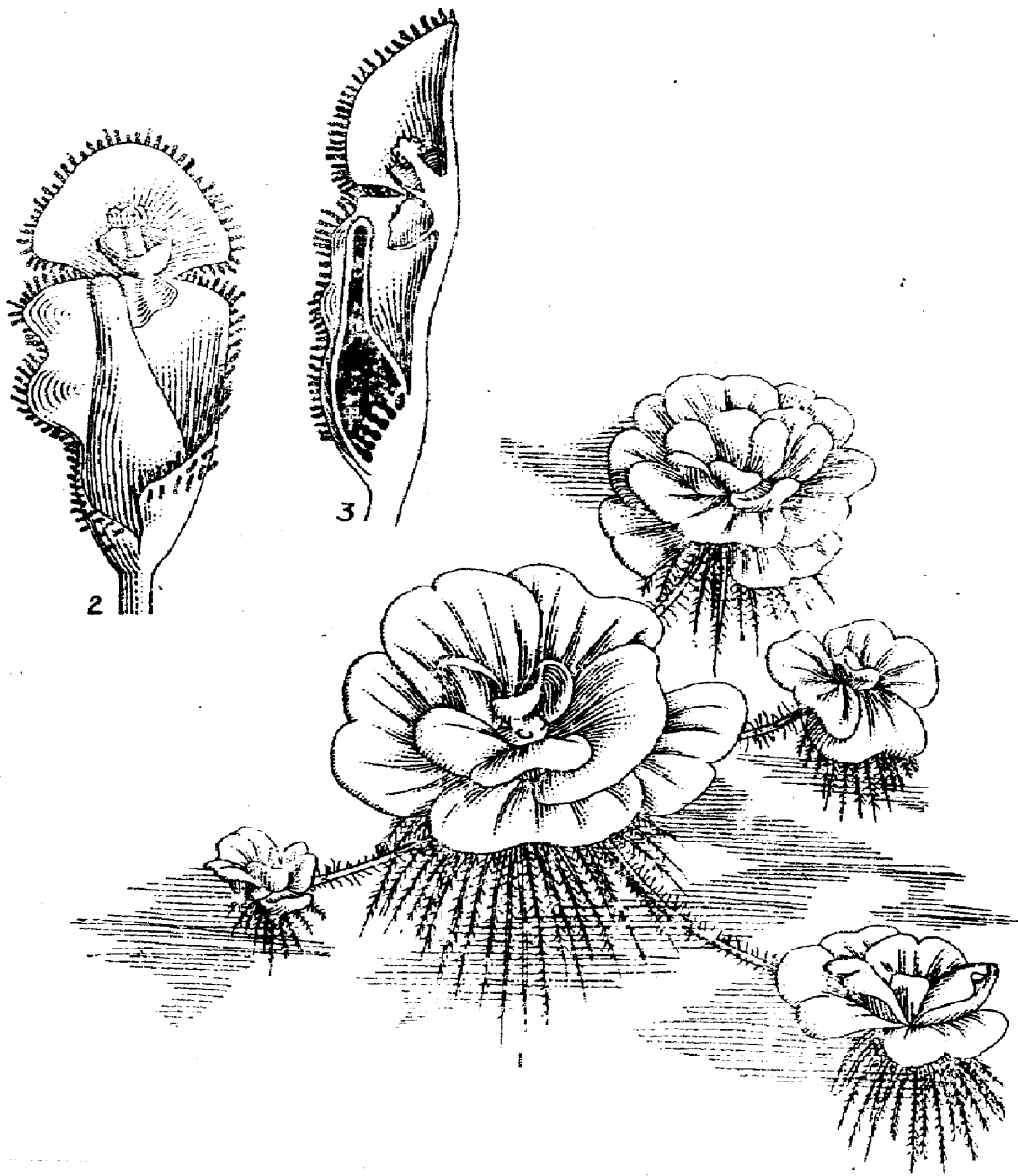
จอกเป็นพืชในวงศ์ Araceae มีชื่อสามัญว่า Water Lettuce และชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pistia stratiotes* Linn. สำหรับชื่อไทยมีหลายชื่อ เช่น กาแหน ผักกอก ก้ากอก (เหนือ) (กรมประมง, 2538: 29; สุรชัย มัจฉาชีพ, 2538: 43) เป็นพืชที่ลอยเหนือน้ำ ไม่ทราบแหล่งกำเนิดแน่ชัด แต่ได้ถูกพบในแหล่งน้ำต่าง ๆ ทั่วประเทศ และได้ถูกศึกษามาโดยละเอียดในประเทศ

ออกสเตรเลียในปี ค.ศ.1946-1947 มีผู้เชี่ยวชาญบางคนเชื่อว่าจอกมีต้นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา (Ramey, 2001: 1) จอกพบได้ทั่วโลกโดยถูกพบในแม่น้ำ สระ หรือทะเลสาบที่มีอุณหภูมิเหมาะสม จอกไม่สามารถทนทานต่ออากาศเย็นมาก อุณหภูมิที่ต่ำสุดที่จอกสามารถเจริญเติบโตได้คือ 15 องศาเซลเซียส (59 องศาฟาเรนไฮต์) แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต อยู่ระหว่าง 22-30 องศาเซลเซียส (72-86 องศาฟาเรนไฮต์) และจอกจะเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ สูงสุด 35 องศาเซลเซียส (95 องศาฟาเรนไฮต์) (Ramey, 2001: 1) แต่ปัจจุบันจอกได้เป็นที่รู้จัก กันดีในภูมิภาคแถบร้อนของโลก ลำต้นจอกทอดขนานไปกับผิวน้ำ มีระบบรากแก้วอยู่บนผิวน้ำ ลำต้นมีไหล (stolon) ต้นใหม่เกิดจากโคนต้นและเกิดบนไหล ใบเป็นใบเดี่ยว เกิดบริเวณโคน ของลำต้นเรียงซ้อนกันหลายชั้น ไม่มีก้านใบ รูปวงใบไม่แน่นอน บางครั้งรูปรี แต่ส่วนมากเป็นรูป สามเหลี่ยมปลายกลีบหยักลอนเป็นคลื่น รูปร่างใบมนรอบและแคบ ขอบใบเรียบสีแดง มีขนขึ้น ปกคลุมแผ่นใบทั้งสองด้าน บริเวณฐานใบของจอกมีลักษณะอ่อนนุ่มคล้ายฟองน้ำทำให้ลอยน้ำได้ (สุรชัย มัจฉาชีพ, 2538: 43)

จอกสามารถขยายพันธุ์ได้ทั้ง 2 แบบ คือ อาศัยเพศ (sexual reproduction) และแบบ ไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเป็นการผสมระหว่างเกสร เพศผู้และเกสรเพศเมียซึ่งอยู่แยกจากกันคนละดอก ดอกเพศผู้และเพศเมียจะมารวมกันเป็น ช่อดอกขนาดเล็ก เกิดแทรกอยู่ตามโคนชอกใบ โดยดอกเพศผู้จะอยู่ด้านบนของดอกเพศเมียมาก การขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ เกิดขึ้นโดยการแตกไหลออกไปรอบ ๆ ต้นแม่แล้วงอกราก และลำต้นขึ้นมาใหม่ ดังนี้เรื่อยไป (จิตติมา วสุสิน, 2539: 29)

จอกถึงแม้ว่าจะเป็นพืชที่พบมากในเขตร้อน แต่การปลูกในสภาพจำลองหรือในห้อง ทดลองไม่สามารถดำเนินการได้ง่ายนัก เพราะค่อนข้างที่จะมีความจำเพาะกับสภาพแวดล้อม การปลูกต้องมีอุณหภูมิอย่างน้อย 72 องศาฟาเรนไฮต์ และต้องได้รับแสงจัด

น้ำที่หยดลงบนผิวใบ จะทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลและทำลายเยื่อใบในที่สุด จอกจะเจริญ เติบโตได้ไม่ดีนักสำหรับการเลี้ยงในอ่าง (aquarium) ที่เป็นระบบปิด แต่จะเจริญเติบโตได้ดีใน อ่างเลี้ยงปลานอกบ้านที่มีแสงสว่างพอเพียง จอกชอบน้ำอ่อน (Soft water) โดยเฉพาะน้ำฝนที่เป็น กรดอ่อน ๆ ถึงเป็นกลาง (pH 6.5-7.0) และชอบน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์ (organic waste) อยู่ด้วย



ภาพที่ 2.10 ลักษณะต้นและช่อดอกของจอก (*Pistia stratiotes* Linn.)

(1. ลักษณะต้น 2. ช่อดอก 3. ช่อดอกตัดตามยาว)

ที่มา : สุชาดา ศรีเพ็ญ **พรรณไม้น้ำ** กรุงเทพมหานคร ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2530

ในเขตร้อน ชาวพื้นเมืองนำพืชชนิดนี้มาปรุงเป็นอาหาร หรืออาจใช้ผสมในอาหารสัตว์ เช่น เบ็ด หรือ หมู ปลาบางชนิดมักจะทำรังในรากที่หนาแน่นของมัน

จิตติมา วสุสิน (2539: ก) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำ 3 ชนิด คือ ผักกระเฉด จอกและผักตบชวา ในการบำบัดน้ำเสียซึ่งยังไม่ผ่านการบำบัดใด ๆ จากแหล่งชุมชนและที่พักอาศัย โดยใช้อย่างต้นแบบขนาดเล็ก ให้มีระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 15 วัน ดำเนินการปลูกพืชทั้ง 3 ชนิด ให้เต็มพื้นผิวน้ำตลอดระยะเวลาที่ศึกษาและมีการเก็บเกี่ยวพืชน้ำออกเป็นระยะ ๆ เพื่อมิให้พืชน้ำเหล่านี้หนาแน่นเกินไป ผลการศึกษาพบว่า น้ำเสียที่ออกจากบ่อเมื่อมี ผักกระเฉด จอก และ ผักตบชวา มีค่า pH เฉลี่ย 8.43, 7.78 และ 7.66 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลด BOD เท่ากับ 40.70, 56.17 และ 76.74 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลด COD เท่ากับ 83.47, 56.17 และ 62.56 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลด TP เท่ากับ 61.78, 56.41 และ 44.19 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และจากการศึกษามวลชีวภาพของพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่าพืชน้ำแต่ละชนิด มีอัตราการเจริญเติบโตดังนี้คือผักกระเฉด จอก และผักตบชวา มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.18, 0.34 และ 0.17 กิโลกรัม/น้ำหนักเปียกต่อตารางเมตรต่อสัปดาห์ นอกจากนี้ผักตบชวา มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนและที่พักอาศัยได้ดีที่สุด ในขณะที่เดียวกันเมื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียชุมชน ผักกระเฉดและจอกมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียเช่นเดียวกับผักตบชวา

[www.web.pak.net](http://www.web.pak.net) (2001: 1) ได้กล่าวถึงพืชน้ำจำพวกจอก ว่าสามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วและสามารถใช้ในตรรก ฟอสเฟตในน้ำได้เร็วกว่าสาหร่าย นอกจากนี้ยังเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ และถ้าใช้พืชน้ำปกคลุมพื้นที่ผิวน้ำอย่างน้อย 50-70 เปอร์เซ็นต์จะสามารถควบคุมมิให้เกิดสาหร่ายในสระได้

<http://bc4weeds> (2001: 1) ในปี 1998 ได้มีการทดลองโดยใช้จอกในการบำบัดน้ำเสียจากตลาดผักผลไม้ในพื้นที่รอบนอกของเมือง Daker ประเทศเซเนกัล เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดเกี่ยวกับ จำนวนเชื้อโรค โลหะหนัก และสารพิษอื่น ๆ ในน้ำเสีย โดยใช้การทดลองชนิดต้นแบบขนาดเล็กเพื่อเป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสีย และใช้พืชน้ำซึ่งมีต้นทุนในการดำเนินการต่ำ

จะเห็นได้ว่าจากผลการศึกษาที่ผ่านมาได้พบว่า ผักตบชวาและจอก มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยผักตบชวาสามารถลดค่า บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม และโลหะหนักชนิดต่าง ๆ สำหรับจอกสามารถลดค่าบีโอดี ซีโอดี ฟอสเฟต ไนโตรเจนได้ แต่ไม่เคยมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการลดปริมาณของซัลเฟตในน้ำเสีย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) ภายใต้สภาวะธรรมชาติ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ

#### 2. สถานที่ดำเนินการศึกษาทดลอง

2.1 บ้านเลขที่ 969/2 ตำบลแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง สำหรับการศึกษาทดลองโดยตั้งต้นแบบขนาดเล็ก (prototype)

2.2 ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักงานแพทย์และอนามัย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จังหวัดนนทบุรี สำหรับการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

#### 3. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษานี้ใช้

3.1 น้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจริง จากเหมืองแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

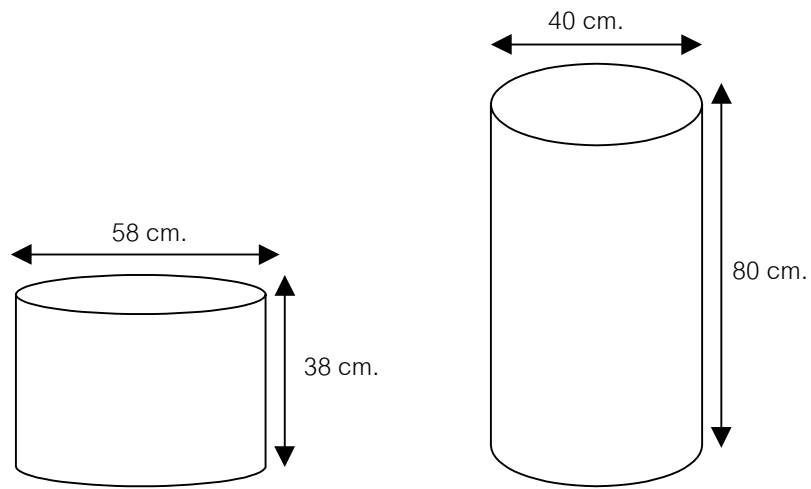
3.2 ผักตบชวาและจอกที่เก็บจากแหล่งน้ำธรรมชาติ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

#### 4. เครื่องมือวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

##### 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกพืชน้ำ

4.1.1 ถังทดลอง ถังทรงกลมที่ใช้ในการทดลองมี 2 ขนาด คือ ขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร และขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลาง 58 เซนติเมตร สูง 38 เซนติเมตร โดยใช้ขนาดละ 3 ถัง รวมทั้งหมด 6 ถัง ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และ 3.2





ภาพที่ 3.1 แสดงความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของถังขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.2 ถังที่ใช้ในการทดลองใส่พืชน้ำทั้งหมด 6 ถัง

4.1.2 **เครื่องชั่ง** เป็นเครื่องชั่งสองแขนยี่ห้อ OHAUS หมายเลขเครื่อง AF 20367 ขนาด 2 กิโลกรัม ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของพืชน้ำก่อนจะนำไปใส่ในถังทดลองซึ่งได้รับการปรับเทียบ (Calibrated) โดยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (Standard weight) 100 กรัม

## 4.2 พืชน้ำที่ใช้ในการวิจัย

**4.2.1 ผักตบชวา** เก็บจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ในเขตอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยเลือกกระยะที่มีการเจริญเติบโตสูง มีอายุระหว่าง 1-4 สัปดาห์ และยังไม่มีการออก กาบใบสีเขียว มีใบประมาณ 5-10 ใบ โดยเลือกต้นขนาดเล็ก (ขนาด 50-100 กรัม / ต้น) และถูกนำมาเลี้ยงในน้ำฝนเพื่อปรับสภาพก่อนการวิจัยประมาณ 7 ถึง 10 วัน ดังแสดงในภาพที่ 3.3 และตารางที่ 3.1

**4.2.2 จอก** เก็บจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ในเขตอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และอำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี โดยเลือกกระยะที่มีการเจริญเติบโตสูง คือระยะที่ยังไม่มีดอก ต้นขนาดกลาง (ขนาด 50-100 กรัม / ต้น) มีใบประมาณ 10-20 ใบ และนำมาเลี้ยงในน้ำฝนเพื่อปรับสภาพก่อนการวิจัยประมาณ 7 ถึง 10 วัน ดังแสดงในภาพที่ 3.3 และตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.3 ผักตบชวาและจอกที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ตารางที่ 3.1 สรุปปัจจัยที่ควบคุมในการวิจัยเชิงทดลองใช้ผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟต  
ในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ

ปัจจัยที่ควบคุม	ค่าที่กำหนด สำหรับการทดลอง	ค่าที่แนะนำ
1. ความหนาแน่นของพืช		
- ผักตบชวา	- คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100 และ 80 % - ปริมาณ 10 และ 20 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	- คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 80-100% (Read, 1988: 128-147) - คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 90% (McDonald and Wolverson, 1980: 309-310) - ปริมาณ 10-25 กิโลกรัม (น้ำหนัก เปียก) / ตารางเมตร (Read, 1988: 128-147) - ปริมาณ 8 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร (อภิชัย เตียรศิริกุล, 2533:1) - ปริมาณ 6.7 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร (Sato and Kondo, 1981: 257-268)
- จอก	- คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100 และ 80 % - ปริมาณ 10 และ 20 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	- ไม่มีข้อมูล  - ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ปัจจัยที่ควบคุม	ค่าที่กำหนด สำหรับการทดลอง	ค่าที่แนะนำ
2. ปริมาตร / ถัง (ปริมาณน้ำ)	- ขนาดถึง ๆ ละ 100 ลิตร เท่ากัน	- 5 ลิตร (Suttipong, 1980: 18) - 90 ลิตร (Tridech et al.1989: 521) - 100 ลิตร (ศิริวรรณ คิดประเสริฐ, 2538: 17) - 300 ลิตร (Reddy and Tucker, 1983: 237-274)
3. ความลึกของระดับน้ำ	- 0.38 และ 0.80 เมตร	- < 0.9 เมตร (Read, 1990: 187-208)
4. ระยะเวลาที่เก็บ	- 30 วัน	- 6-7 วัน (Wolverton,1979: 2-9) - 6-8 วัน (Read,1990: 187-208) - 10 วัน (อภิชัย เขียวศิริกุล, 2533: 1) - 12 วัน (Orth and Sapkota,1988: 1503-1511) - 14 วัน (Sauze et al. 1983) - 15 วัน (จิตติมา วสุสิน, 2539: ก) - 8 สัปดาห์ (มุกดา สุขสมาน และคณะ, 2532: 57)
5. อายุของพืช		
- ผักตบชวา	- ระยะก่อนออกดอก	- ระยะก่อนออกดอก ก้านใบเขียวไม่มี สีน้ำตาลหรือแดง ปลายใบไม่แหลม (คณะอนุกรรมการประสานงาน วิจัยพืชน้ำ, 2520: 1-7)
- จอก	- ระยะก่อนออกดอก	- ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ปัจจัยที่ควบคุม	ค่าที่กำหนด สำหรับการทดลอง	ค่าที่แนะนำ
6. ขนาดของพืช		
- ผักตบชวา	- ขนาดเล็ก (50-100 กรัม) (น้ำหนักเปียก/ต้น)	- ดูดซับและกำจัดโลหะหนักได้ปริมาณ มากกว่าขนาดกลางและใหญ่เมื่อ เปรียบเทียบต่อน้ำหนักแห้ง  (Suttipong, 1980: 77)
- จอก	- ขนาดกลาง	- ไม่มีข้อมูล

### 4.3 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ

**4.3.1 เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำ (Water sampler)** ชนิด Kemmerrer แบบ กระแทกปิดมีปริมาตรความจุ 1 ลิตร สามารถเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ กันได้

**4.3.2 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ** เป็นขวดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนขนาดความจุ 1 ลิตร และ 250 มิลลิลิตร และขวดแก้วขนาด 300 มิลลิลิตร มีฝาจุกเป็น ground joint

**4.3.3 กระตักน้ำแข็ง** สำหรับแช่ตัวอย่างน้ำมีขนาดความจุประมาณ 40 ลิตร

**4.3.4 ตู้เย็นยี่ห้อ Toshiba** รุ่น GR-A 1651 ความจุ 164.8 ลูกบาศก์ เดซิเมตร สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส

**4.3.5 เครื่องสูบน้ำชนิดจุ่ม (Submersible pump)** ยี่ห้อ Azuma รุ่น SM-1 ระยะดูด 4 เมตร อัตราการสูบ 40 ลิตร / นาที ขนาดท่อดูด 1 นิ้ว สำหรับสูบน้ำจากบ่อพักดี (Sump D) มาทดลอง

**4.3.6 ถังขนาดใหญ่สำหรับใส่ตัวอย่างน้ำ** ที่ใช้ในการทดลอง จากบ่อพัก (Sump D) มายังบริเวณที่ทำการทดลอง มีขนาดความจุถึงละ 200 ลิตร มีฝาปิดมิดชิด รวมทั้งหมด 4 ถัง

**4.3.7 อุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมีและวิธีการวิเคราะห์ค่าคุณภาพน้ำ**  
วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำดำเนินการตามวิธีการมาตรฐาน (Standard Method of Water and Wastewater, 19<sup>th</sup> edition, 1995; มั่นสิน ต้นซูลเวสตัน, 2538)

ดังแสดงในตารางที่ 3.2

### ตารางที่ 3.2 ค่าคุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์

ค่าคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
pH	pH meter
DO	Azide Modification
Total Suspended Solids (TSS)	Dried at 103 °C
BOD <sub>5</sub>	Azide Modification
H <sub>2</sub> S	Iodometric
Sulfate	Turbidimetric

#### 4.3.8 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

##### 1) เครื่องมือและสารเคมี

- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) ยี่ห้อ Orion รุ่น 210A
- เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)
- บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4, 7 และ 10
- น้ำกลั่นคุณภาพดี

##### 2) วิธีการวิเคราะห์

- เปิดเครื่องวัดและปล่อยให้เครื่องร้อน 15 นาที ก่อนใช้งาน
- ปรับเทียบ (Standardization) เครื่องโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์

มาตรฐานที่ทราบค่าพีเอชแน่นอน การเทียบมาตรฐานพีเอชเป็นแบบ 2 จุด โดยจุ่มอิเล็กโทรดลงไปในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานพีเอช 7 ปรับค่าให้ได้เท่ากับค่าของสารละลายบัฟเฟอร์ ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น ซับด้วยกระดาษนุ่ม ๆ เบา ๆ แล้วจุ่มลงในสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานพีเอช 4 หรือ 10 ถ้าอ่านค่าได้ไม่ตรงให้ปรับปุ่ม Slope Control เพื่อให้อ่านค่าให้ตรงกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้

- ตั้งตัวอย่างน้ำที่จะวัดไว้ให้อุณหภูมิคงที่ เขย่าตัวอย่างให้เข้ากันดี เทใส่บีกเกอร์ วางบีกเกอร์บนเครื่องกวนแม่เหล็ก จุ่มอิเล็กโทรดแล้วเปิดเครื่องกวนแม่เหล็ก ให้นำตัวอย่างน้ำ จนวนตัวเลขแสดงค่าพีเอชหยุดนิ่ง อ่านค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำ

- เมื่อวัดตัวอย่างต่อไปให้ฉีดล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น ชั้บด้วยกระดาษนุ่ม ๆ แล้ววัดตัวอย่างต่อไป

#### 4.3.9 ค่าซัลเฟต (Sulfate)

##### 1) เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้

- Spectrophotometer ยี่ห้อ HACH รุ่น DR 100 สามารถปรับความยาวคลื่นที่ 420 นาโนเมตรได้ ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)
- ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
- แบเรียม คลอไรด์ ( $BaCl_2$ ) ความเข้มข้นมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์
- เอทานอล (Ethanol) ความเข้มข้น 95%
- สารละลายคอนดิชันนิ่ง รีเอเจนต์ (Conditioning reagent) (ผสมกลีเซอรอล 50 มิลลิลิตรกับสารละลายที่ประกอบด้วยกรดเกลือเข้มข้น 30 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร เอทานอล 100 มิลลิลิตร และโซเดียมคลอไรด์ 75 กรัม)
- สารละลายมาตรฐานซัลเฟต (Standard sulfate solution) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร (ละลายโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ 147.9 มิลลิกรัมในน้ำกลั่น 1 ลิตร)

##### 2) วิธีการวิเคราะห์

- นำตัวอย่างน้ำใส่ขวดรูปกรวย เจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร เติม Conditioning agent 5 มิลลิลิตร ผสมและกวนโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็ก ในขณะเดียวกันเติมผลึกแบเรียมคลอไรด์ 1 ช้อน (1 กรัม) เริ่มจับเวลาทันที
- เมื่อตั้งกวนไว้ครบ 1 นาที หยุดกวน นำไปวัดค่าความขุ่น ภายใน 10 นาที (โดยจับเวลาเจาะจงให้คงที่เท่ากันทุกครั้งทั้งการวิเคราะห์ตัวอย่าง และเตรียมกราฟมาตรฐาน) นำไปอ่านค่าปริมาณซัลเฟตจากกราฟมาตรฐาน
- การเตรียมกราฟมาตรฐาน ดูดสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม / ลิตร มา 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 มิลลิลิตรตามลำดับใส่ในขวดรูปกรวยแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรในแต่ละขวด แล้วดำเนินการเหมือนการวิเคราะห์ตัวอย่าง นำค่าความขุ่นที่ได้แต่ละความเข้มข้นมาเขียนกราฟมาตรฐาน

#### 4.3.10 ค่าสารแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS)

##### 1) เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้

- โถทำแห้ง (Dessicator) พร้อมสารดูดความชื้น (Silica gel)
- ตู้อบยี่ห้อ Memmert สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103-105

องศาเซลเซียส ผลิตในประเทศเยอรมัน ปรับเทียบ (Calibrated) โดยเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ยี่ห้อ TESTO รุ่น 926 ซึ่งได้รับการปรับเทียบจากมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี อุณหภูมิมาตรฐาน ที่ 103.65 องศาเซลเซียส ค่า Uncertainty of Measurement ของการวัดเท่ากับ  $\pm 0.13$  องศาเซลเซียส

- เครื่องชั่งละเอียดตศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS

ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา ปรับเทียบโดยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (Standard weight) น้ำหนัก 1 กรัม Uncertainty  $\pm 0.016$  มิลลิกรัม น้ำหนัก 50 กรัม Uncertainty  $\pm 0.08$  มิลลิกรัม น้ำหนัก 100 กรัม Uncertainty  $\pm 0.15$  มิลลิกรัม ซึ่งได้รับการปรับเทียบจากศูนย์ปรับเทียบเครื่องมือ บริษัทปูนซีเมนต์ไทย (มหาชน) จำกัด

- กระดาษกรอง GF / C
- ชุดกรอง
- Gast Air pump รุ่น 0211-V45M-G230CX
- ปากคืบ

##### 2) วิธีการวิเคราะห์

- นำกระดาษกรอง GF / C ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง

- ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง GF / C วางบนอลูมิเนียมฟอยด์ ได้น้ำหนักเท่ากับ A กรัม

- ต่อบชุดกรองแล้วใช้ปากคืบหยิบกระดาษกรอง GF / C วางบน กรวยบุคเนอร์ (Buchner funnel) เปิดเครื่องดูดอากาศ ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้งติดต่อกันโดยใช้ครั้งละ 20 มิลลิลิตร เปิดเครื่องดูดสูญญากาศให้ดูต้นน้ำจนแห้ง

- เลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำที่จะใช้โดยพิจารณาจากลักษณะน้ำ ถ้าน้ำขุ่นมีของแข็งแขวนลอยมากควรใช้ตัวอย่างปริมาณน้อย ๆ แต่ถ้าน้ำใสควรใช้ตัวอย่าง ปริมาณมาก เขย่าตัวอย่างให้เข้ากันอย่างดี เทตัวอย่างที่ทราบปริมาตรลงกรองโดยค่อย ๆ



เททีละน้อยอย่างต่อเนื่องจนหมดใช้น้ำกลั่นฉีดล้างภาชนะที่ใช้ดวงตัวอย่าง เเทงกรองและฉีดน้ำกลั่นที่ด้านข้างของกรวยบูกเนอร์ รวมทั้งกระดาดากรอง GF / C ปล่อยให้เครื่องดูดสุญญากาศดูดน้ำจนแห้ง ปิดเครื่อง

- ใช้ปากคีบหนีบขอบกระดาดากรองขึ้นวางบนอคูมิเนี่ยมฟอยล์นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนัก ได้น้ำหนักเท่ากับ B

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัม / ลิตร)} = \frac{(B - A) \times 10^6}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ}}$$

#### 4.3.11 ค่าออกซิเจนละลาย (DO) และค่า บีโอดี (BOD)

##### 1) เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้

- ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (BOD Incubator) ยี่ห้อ Analis รุ่น Freez I ผลิตในประเทศเบลเยียม ปรับเทียบ (Calibrated) โดยเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ยี่ห้อ TESTO รุ่น 926 ซึ่งได้รับการปรับเทียบจากมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี อุณหภูมิมาตรฐานที่ 20.21 องศาเซลเซียส ค่า Uncertainty of Measurement ของการวัดเท่ากับ  $\pm 0.62$  องศาเซลเซียส

- โถทำแห้ง (Desiccator) พร้อมสารดูดความชื้น (Silica gel)
- เครื่องจ่ายลม
- ขวดบีโอดี (BOD) ขนาด 300 มิลลิลิตรพร้อมจุกแก้ว
- กระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร
- ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
- บิวเรตต์ (Digital Burette) ยี่ห้อ Bibby ขนาด 25 มิลลิลิตร
- สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (Manganous sulfate solution) (ละลาย  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  480 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร)
- สารละลายอัลคาไล-ไอโอดด์-เอไซด์ (Alkali-Iodide-Azide reagent) (ละลาย NaOH 500 กรัม NaI 135 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร)
- น้ำแป้ง (ละลายแป้งมันสำปะหลัง 5 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร ต้มให้เดือด)
- สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต (Standard

sodiumthiosulfate) ความเข้มข้น 0.025 โมล (ละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  6.205 กรัม ในน้ำกลั่น  
เติม NaOH 0.4 กรัม เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร)

- น้ำกลั่นคุณภาพดี

### 2) วิธีการวิเคราะห์ ค่า DO

- เติมห่วงอย่างน้ำลงในขวดบีโอดีให้เต็มโดยวิธีการกลักน้ำช้า ๆ และปล่อยให้ล้นคอขวด ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ
- เติมน้ำละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไล-ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร โดยให้ปิเปตจุ่มอยู่ใต้ผิวน้ำของตัวอย่างน้ำ ในขวดบีโอดี
- ปิดจุกขวด ระวังอย่าให้มีฟอง เขย่ากลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง ปล่อยให้ตกตะกอน
- เปิดจุกขวดออกแล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงไป ตามข้าง ๆ คอขวด ปิดจุกเขย่าให้เข้ากันจนตะกอนละลายหมด
- ตวงสารละลายที่ได้มา 201 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 โมล จนกระทั่งสีเหลืองเริ่มจาง เติมน้ำแบ่ง 1 มิลลิลิตร จะได้สีน้ำเงิน ไตเตรทต่อไป จนสีน้ำเงินหายไป

- ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้คือปริมาณ DO

มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม / ลิตร

### 3) วิธีการวิเคราะห์ ค่า BOD

- ปรับอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างให้อยู่ที่ประมาณ 20 องศาเซลเซียส
  - เติมหอกซิเจนลงในน้ำตัวอย่างโดยการพ่นอากาศลงไป
- นาน 1 ชั่วโมง
- เติมน้ำตัวอย่างนั้นลงในขวด BOD 2 ขวดให้เต็ม
  - นำขวด BOD ที่ 1 มาหาค่า DO ของจุดเริ่มต้นหรือ DO วันที่ศูนย์ จดค่าไว้ นำขวด BOD ขวดที่ 2 ไปใส่ในตู้บัพที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันแล้วนำมาหาค่า DO ของวันที่ 5

$$\text{BOD}_5 = \text{DO}_0 - \text{DO}_5$$

#### 4.3.12 ค่าซัลไฟด์ (Sulfide)

##### 1) เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้

- ขวด BOD ขนาด 300 มิลลิลิตร
- Gast Air pump
- ชุดกรอง
- กระจกกรอง GF / C
- สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.025 นอร์มัล (ละลาย KI 20-25 กรัม ในน้ำกลั่นเล็กน้อย เติมไอโอดีน 3.2 กรัม เขย่าให้ละลาย เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร)
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 นอร์มัล (ละลาย NaOH 240 กรัมในน้ำกลั่น 1 ลิตร)
- สารละลายสังกะสีอะซีเตตเข้มข้น 2 นอร์มัล (ละลาย  $Zn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$  220 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร)

##### 2) วิธีการวิเคราะห์

- ใส่ตัวอย่างน้ำลงในขวด BOD ขนาด 300 มิลลิลิตร ให้เต็มขวด เติมสารละลายสังกะสีอะซีเตต 0.45 มิลลิลิตร หยดและเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 นอร์มัล ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ให้สังกะสีซัลไฟด์ (ZnS) ตกผลึก
- กรองตะกอนด้วยกระจกกรอง GF / C เอากระจก GF/C ที่มีผลึกใสในขวดรูปกรวยและตวงน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตรใส่ลงไปเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 นอร์มัล ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้ผลึกละลายจนหมด เติมสารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.025 นอร์มัล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
- ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 โมล จนกระทั่งสีเหลืองเริ่มจาง เติมน้ำแบ่ง 1 มิลลิลิตร จะได้สีน้ำเงิน ไตเตรทต่อไป จนสีน้ำเงินหายไป

## 5. ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

### 5.1 ศึกษาข้อมูลลักษณะน้ำทิ้งเหมืองแม่เมาะ

ศึกษาข้อมูลลักษณะน้ำทิ้งจากบ่อพักต่าง ๆ ของเหมืองแม่เมาะทั้ง 5 บ่อ เพื่อเลือกน้ำทิ้งจากบ่อพักที่มีปริมาณซัลเฟตไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัม / ลิตร และมีปริมาณน้ำทิ้งใกล้เคียงกันตลอดทั้งปี

### 5.2 การเตรียมพืชน้ำสำหรับใช้ในการทดลอง

เลือกพืชทั้งสองชนิดที่ได้นำมาเลี้ยงปรับสภาพและอยู่ในระยะที่ยังไม่มีดอก

โดยมีขนาดน้ำหนักของต้นประมาณ 50-100 กรัม / ต้น และนำมาวางลงบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ 5 นาที ดังแสดงในภาพที่ 3.4 หลังจากนั้นนำมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักเริ่มต้นที่จะใช้ทดลอง



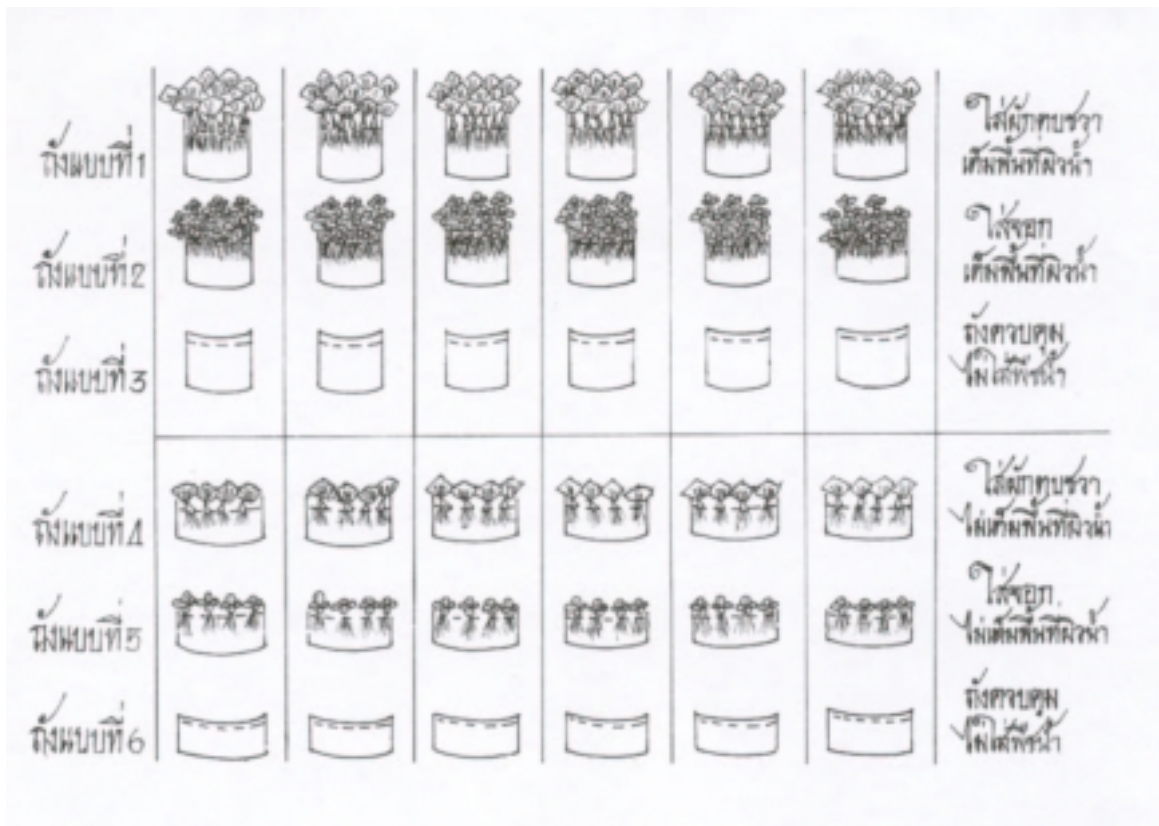
ภาพที่ 3.4 ผักตบชวาและจอกที่ใช่ในการทดลองถูกนำมาวางให้สะเด็ดน้ำ 5 นาทีก่อนชั่งน้ำหนัก

### 5.3 การเตรียมน้ำทิ้งสำหรับใช้ทดลอง

สูบน้ำทิ้งจากบ่อพักเหมืองแม่เกาะ ใส่อัตราขนาดใหญ่มีฝาปิด นำมายังบริเวณสถานที่ศึกษาทดลอง ตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากเหมืองโดยตรวจหา Sulfate, TSS, BOD, DO, H<sub>2</sub>S และ pH หลังจากนั้นแบ่งน้ำทิ้งที่เหลือจากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำใส่อัตราทดลองถึงละ 100 ลิตรรวม 6 ถัง โดยถังที่ 1, 2 และ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความลึกของระดับน้ำ 40 และ 80 เซนติเมตรตามลำดับ ถังที่ 4, 5 และ 6 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความลึกของระดับน้ำ 58 และ 38 เซนติเมตรตามลำดับ และดำเนินการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเริ่มต้นในถังทดลองทั้ง 6 ถัง โดยตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งหมด 6 Parameters เช่นเดียวกับการตรวจครั้งแรก

### 5.4 การใส่พืชน้ำในถังทดลอง

นำพืชน้ำทั้งสองชนิดที่ได้ชั่งน้ำหนักแล้ว ใส่ในถังทดลองโดยถังที่ 1 และ 2 ใส่ผักตบชวาและจอกให้คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือปริมาณ 20 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร ตามลำดับ ถังที่ 4 และ 5 ใส่ผักตบชวาและจอกให้คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ หรือปริมาณ 10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร ตามลำดับ โดยถังที่ใส่พืชน้ำทั้ง 4 ถังจะมีน้ำหนักของพืชน้ำ (ผักตบชวาและจอก) เริ่มต้นเท่ากันคือ ถึงละ 2.6 กิโลกรัม ส่วนถังที่ 3 และ 6 เป็นถังควบคุม (Control) ไม่ใส่พืชน้ำทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ชุดการทดลองโดยใช้ผักกบชวาและจุลินทรีย์ในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้ง

### 5.5 การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง

การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อพักเหมืองแม่เกาะเพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ โดยตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำครั้งแรกก่อนนำน้ำทิ้งใส่ในถังทดลอง และเริ่มเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง หลังจากเริ่มการทดลองทุก ๆ 3 วัน โดยเก็บในวันที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 น้ำทิ้งตัวอย่างจะถูกเก็บจากตรงกลางถึงที่ความลึกกึ่งกลางของถัง ในเวลา 9.00 น. ทุกครั้ง และตรวจหาค่า pH, H<sub>2</sub>S และค่า DO ทันทีที่เก็บน้ำทิ้งตัวอย่าง สำหรับการตรวจหาค่า Sulfate, BOD และค่า TSS ดำเนินการโดยเก็บน้ำทิ้งตัวอย่างใส่ขวดโพลีเอธิลีนขนาด 1 ลิตร แล้วนำน้ำทิ้งตัวอย่างนี้ไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพตามค่าคุณภาพที่กำหนดในห้วงปฏิบัติการต่อไป เป็นการทดลองนำร่องเมื่อครบ 15 วัน จะดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าคุณลักษณะของน้ำทิ้งทั้ง 6 พารามิเตอร์ คือ การลดลงของปริมาณซัลเฟต ค่าบีโอดี และสารแขวนลอยในน้ำและเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลายและไฮโดรเจนซัลไฟด์ ถ้าถึงที่ใส่พีชน้ำมีแนวโน้มลดปริมาณซัลเฟตได้ ก็จะดำเนินการทดลองจริง โดยเก็บตัวอย่างน้ำหลังจากเริ่มทดลองทุก ๆ 5 วัน โดยเริ่มเก็บในวันที่ 0, 5, 10, 15, 20 และดำเนินการเหมือนการทดลองนำร่อง โดยตรวจหาค่าซัลเฟตและค่าคุณลักษณะของน้ำอื่น ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงมากในชุดการทดลองนำร่อง

ดำเนินการวิจัยเชิงทดลองเช่นนี้ทั้งหมด 5 ครั้ง โดยเริ่มดำเนินการตั้งแต่วันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2544 ถึงวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2545

## 6. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 **สถิติเชิงพรรณนา** เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าสูงสุด (Maximum) ค่าต่ำสุด (Minimum) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของคุณภาพน้ำ รวมถึงการพรรณนาข้อมูลที่ได้จากการทดลองเช่น ลักษณะของน้ำเสีย ซึ่งนำเสนอข้อมูลด้วยตารางและกราฟ

6.2 **สถิติเชิงวิเคราะห์** ผลการศึกษาทดลองความแตกต่างของประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้ง จะถูกนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way Analysis of Variance) หรือ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเชิงทดลองที่ระบุได้ดำเนินการตั้งแต่วันที่ 15 ตุลาคม 2544 ถึงวันที่ 20 เมษายน 2545 โดยขั้นแรกนำน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะมาตรวจคุณภาพน้ำ หลังจากนั้นนำน้ำทิ้งนี้ใส่ในถังทดลองจำนวนถังละ 100 ลิตรรวม 6 ถัง โดยถังแบบที่ 1, 2 และ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและระดับความลึกของระดับน้ำ 40 และ 80 เซนติเมตรตามลำดับ และถังแบบที่ 4, 5 และ 6 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและระดับความลึกของระดับน้ำ 58 และ 38 เซนติเมตรตามลำดับ ใช้พีชน้ำ 2 ชนิด คือ ผักตบชวาและจอก โดยใส่พีชน้ำแต่ละชนิดลงในถังแบบที่ 1 และ 2 คลุมเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ และในถังแบบที่ 4 และ 5 ให้คลุมเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับถังแบบที่ 3 และ 6 เป็นถังควบคุม (ไม่ใส่พีชน้ำ) หลังจากนั้นในแต่ละช่วงระยะเวลาเก็บกักในการทดลองตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน นำน้ำทิ้งที่อยู่ในแต่ละถังมาตรวจหาคุณภาพน้ำ การทดลองนี้ได้ดำเนินการรวมทั้งหมด 5 ครั้ง

#### 1. ผลการทดลอง

##### 1.1 ปริมาณซัลเฟต

ผลการตรวจหาปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะที่ใช้เลี้ยงพีชน้ำ (ผักตบชวาและจอก) ในการวิจัยเชิงทดลอง 5 ครั้ง พบว่าปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งตัวอย่างและในระยะเวลาเริ่มต้น (วันที่ 0) มีค่าระหว่าง 849.1 - 1,204.0 มิลลิกรัม / ลิตร (เฉลี่ย  $(X \pm SD)$   $1,069.4 \pm 132.8$  มิลลิกรัม / ลิตร) และในช่วงระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน หลังใส่พีชน้ำปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งจะมีลักษณะดังนี้

ถังแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ย  $968.2 \pm 142.5$ ,  $882.9 \pm 132.7$ ,  $828.2 \pm 127.2$ ,  $786.4 \pm 121.9$ ,  $774.2 \pm 121.7$ , และ  $761.4 \pm 112.8$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบ ที่ 2 น้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ย  $964.0 \pm 124.6$ ,  $872.9 \pm 127.4$ ,  $806.2 \pm 123.1$ ,  $768.9 \pm 118.3$ ,  $753.9 \pm 114.8$  และ  $746.5 \pm 112.6$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ย  $1,044.6 \pm 113.6$ ,  $1,024.2 \pm 133.8$ ,  $1,006.9 \pm 128.9$ ,  
 $993.6 \pm 114.2$ ,  $982.2 \pm 127.3$  และ  $971.1 \pm 124.7$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ย  $988.8 \pm 148.8$ ,  $875.0 \pm 136.2$ ,  $843.9 \pm 124.8$ ,  
 $807.0 \pm 118.9$ ,  $785.4 \pm 113.5$  และ  $774.2 \pm 107.6$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 5 มีค่าเฉลี่ย  $975.4 \pm 139.9$ ,  $892.5 \pm 131.1$ ,  $834.5 \pm 122.9$ ,  
 $795.7 \pm 113.0$ ,  $777.2 \pm 110.6$  และ  $767.6 \pm 107.4$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

และถังแบบที่ 6 มีค่าเฉลี่ย  $1,049.7 \pm 133.5$ ,  $1,046.9 \pm 139.3$ ,  
 $1,017.7 \pm 127.4$ ,  $1,002.6 \pm 123.1$ ,  $900.0$  และ  $990.0 \pm 119.1$ ,  $980.7 \pm 114.3$  มิลลิกรัม/ลิตร  
ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดผลการตรวจหาปริมาณซัลเฟต ในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะใน  
ระยะเริ่มต้นและหลังจากใส่พีชน้ำ (ผักตบชวาและจอก) และถังควบคุมหลังจากการเก็บกักน้ำทิ้ง  
ในระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน ของการทดลอง 5 ครั้ง ในตารางที่ 4.1



ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจหาปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะจากถังทดลอง ก่อนและหลังจากใส่พีชน้ำและถังควบคุมในช่วง  
ระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ปริมาณซัลเฟต (mg/l.)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ผิวน้ำ	0	849.1	1,073.2	1,095.1	1,125.8	1,204.0	1,069.4
	5	739.5	940.9	990.8	1,021.5	1,078.5	968.2
	10	680.5	840.5	896.2	929.8	995.4	882.9
	15	634.4	795.2	828.7	860.1	931.8	827.6
	20	593.6	770.1	786.9	803.4	883.1	785.8
	25	584.2	765.5	765.5	774.3	885.4	774.2
	30	580.1	762.0	755.6	760.9	839.6	761.6
2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ	0	849.1	1,073.2	1,095.1	1,125.8	1,204.0	1,069.4
	5	734.5	962.1	973.1	1,004.1	1,066.1	964.0
	10	664.3	871.5	876.4	907.8	960.7	872.9
	15	610.1	788.9	811.3	837.5	895.3	806.2
	20	579.8	759.2	769.8	779.4	848.2	768.9
	25	572.5	743.2	749.3	749.5	822.1	753.9
	30	567.6	740.5	739.2	735.2	807.9	746.5

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ปริมาณซัลเฟต (mg/l.)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
3 ถังควบคุม (ไม่ใส่พีชน้ำ)	0	849.1	1,073.2	1,095.1	1,125.8	1,204.0	1,069.4
	5	820.2	1,055.0	1,074.5	1,097.5	1,176.0	1,044.6
	10	800.1	1,036.0	1,054.8	1,071.6	1,148.5	1,024.2
	15	791.5	1,017.5	1,037.3	1,051.4	1,127.8	1,006.9
	20	780.1	998.7	1,021.5	1,033.5	1,109.4	993.6
	25	771.6	980.5	1,005.1	1,015.3	1,091.5	982.2
	30	765.3	965.8	991.1	999.1	1,076.4	971.1
4 ใส่ผักตบชวา 10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	0	849.1	1,073.2	1,095.1	1,125.8	1,204.0	1,069.4
	5	746.3	981.2	998.9	1,028.5	1,089.1	988.8
	10	683.5	900.6	910.2	943.7	1,006.8	891.8
	15	638.6	848.8	844.5	879.5	939.9	843.9
	20	612.1	810.5	806.4	834.3	893.8	807.0
	25	598.9	790.0	786.5	812.7	869.7	785.4
	30	595.3	783.4	776.6	797.1	853.0	774.2

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ปริมาณซัลเฟต (mg/l.)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
5 ใส่จอก 10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	0	849.1	1,073.2	1,095.1	1,125.8	1,204.0	1,069.4
	5	744.9	965.4	994.8	1,024.2	1,077.5	975.4
	10	682.5	873.5	904.1	934.5	995.7	892.5
	15	639.1	818.4	839.3	869.7	931.8	834.5
	20	614.8	786.9	800.8	813.8	886.3	795.7
	25	598.5	776.1	780.5	789.4	863.7	777.2
	30	593.2	769.9	770.1	776.3	848.3	767.6
6 ถังควบคุม(ไม่ใส่พืชน้ำ)	0	849.1	1,073.2	1,095.1	1,125.8	1,204.0	1,069.4
	5	825.3	1,060.5	1,076.7	1,107.1	1,179.1	1,049.7
	10	811.5	1,049.1	1,058.1	1,088.7	1,156.2	1,032.7
	15	801.1	1,037.2	1,041.5	1,072.1	1,136.5	1,017.7
	20	793.2	1,024.1	1,024.1	1,054.2	1,117.4	1,002.6
	25	787.7	1,012.3	1,009.2	1,038.9	1,101.9	900.0
	30	785.3	998.1	1,012.0	1,022.0	1,086.2	980.7

## 1.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการตรวจหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำ(ผักตบชวาและจอก) ในการวิจัยเชิงทดลอง 5 ครั้ง พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำทิ้งตัวอย่างและในระยะเริ่มต้น (วันที่ 0) จากถังทดลองมีค่าระหว่าง 6.15 - 6.81 (เฉลี่ย  $6.47 \pm 0.24$ ) ในช่วงระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน หลังจากใส่พืชน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีลักษณะดังนี้

ถังแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ย  $6.51 \pm 0.37$ ,  $6.45 \pm 0.23$ ,  $6.55 \pm 0.28$ ,  $6.57 \pm 0.34$ ,  $6.38 \pm 0.50$  และ  $6.48 \pm 0.40$  ตามลำดับ

ถังแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ย  $6.49 \pm 0.29$ ,  $6.46 \pm 0.20$ ,  $6.31 \pm 0.25$ ,  $6.44 \pm 0.25$ ,  $6.51 \pm 0.35$  และ  $6.52 \pm 0.41$  ตามลำดับ

ถังแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ย  $6.51 \pm 0.35$ ,  $6.38 \pm 0.17$ ,  $6.45 \pm 0.25$ ,  $6.47 \pm 0.41$ ,  $6.53 \pm 0.56$  และ  $6.45 \pm 0.53$  ตามลำดับ

ถังแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ย  $6.54 \pm 0.33$ ,  $6.53 \pm 0.28$ ,  $6.42 \pm 0.33$ ,  $6.47 \pm 0.39$ ,  $6.42 \pm 0.55$  และ  $6.45 \pm 0.53$  ตามลำดับ

ถังแบบที่ 5 มีค่าเฉลี่ย  $6.46 \pm 0.17$ ,  $6.23 \pm 0.35$ ,  $6.39 \pm 0.40$ ,  $6.35 \pm 0.39$  และ  $6.38 \pm 0.38$  ตามลำดับ

และถังที่ 6 มีค่าเฉลี่ย  $6.44 \pm 0.20$ ,  $6.42 \pm 0.28$ ,  $6.33 \pm 0.15$ ,  $6.64 \pm 0.53$ ,  $6.44 \pm 0.39$  และ  $6.48 \pm 0.26$  ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะจากถังทดลอง ก่อนและหลังจากใส่พีชีน้ำ และถังควบคุมในช่วงระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ผลการทดลอง					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ผิวน้ำ	0	6.41	6.15	6.81	6.48	6.52	6.47
	5	6.25	6.25	7.12	6.35	6.58	6.51
	10	6.29	6.24	6.81	6.42	6.51	6.45
	15	6.15	6.36	6.78	6.71	6.73	6.55
	20	6.32	6.14	6.60	6.89	6.89	6.57
	25	6.16	5.75	6.25	6.78	6.98	6.38
	30	6.19	6.37	6.05	6.81	6.97	6.48
ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ	0	6.41	6.15	6.81	6.48	6.52	6.47
	5	6.26	6.28	6.98	6.51	6.42	6.49
	10	6.32	6.27	6.75	6.39	6.58	6.46
	15	6.10	6.00	6.59	6.41	6.45	6.31
	20	6.29	6.09	6.47	6.73	6.61	6.44
	25	6.11	6.22	6.97	6.69	6.57	6.51
	30	6.14	6.04	6.98	6.78	6.65	6.52

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ผลการทดลอง					เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
3 ถังควบคุม (ไม่ใส่พีชน้ำ)	0	6.41	6.15	6.81	6.48	6.52	6.47
	5	6.27	6.27	7.10	6.34	6.58	6.51
	10	6.32	6.27	6.63	6.21	6.47	6.38
	15	6.11	6.43	6.81	6.52	6.39	6.45
	20	6.32	6.15	7.47	6.08	6.42	6.49
	25	6.13	6.27	7.50	6.25	6.52	6.53
	30	6.16	6.02	7.37	6.31	6.41	6.45
4 ใส่ผักตบชวา 10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	0	6.41	6.15	6.81	6.48	6.52	6.47
	5	6.25	6.26	7.05	6.65	6.49	6.54
	10	6.31	6.26	6.80	6.87	6.42	6.53
	15	6.12	6.01	6.73	6.61	6.64	6.42
	20	6.34	5.78	6.69	6.97	6.81	6.52
	25	6.18	5.84	6.07	7.09	6.90	6.42
	30	6.21	5.83	6.20	7.01	6.99	6.45

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ผลการทดลอง					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
5 ใส่จอก 10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	0	6.41	6.15	6.81	6.48	6.52	6.47
	5	6.26	6.25	6.93	6.45	6.41	6.46
	10	6.31	6.28	6.51	6.70	6.52	6.46
	15	6.12	5.86	5.98	6.64	6.57	6.23
	20	6.31	5.74	6.45	6.75	6.68	6.39
	25	6.16	5.82	6.41	6.87	6.51	6.35
	30	6.17	2.92	6.37	6.93	6.53	6.38
6 ถังควบคุม(ไม่ใส่พีชน้ำ)	0	6.41	6.15	6.81	6.48	6.52	6.47
	5	6.25	6.37	6.78	6.40	6.39	6.44
	10	6.31	6.28	6.92	6.35	6.24	6.42
	15	6.11	6.38	6.45	6.26	6.45	6.33
	20	6.31	6.51	7.56	6.29	6.51	6.64
	25	6.15	6.13	7.09	6.35	6.47	6.44
	30	6.23	6.31	6.90	6.49	6.48	6.48

#### 4.1.3 ค่า BOD

ผลการตรวจหาค่า BOD ในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำ ในการวิจัยเชิงทดลองวิจัย 5 ครั้งพบว่าค่า BOD ในน้ำทิ้งตัวอย่างและในระยะเวลาเริ่มต้น (วันที่ 0) จากถังทดลองมีค่าระหว่าง 4.4-5.8 มิลลิกรัม/ลิตร (เฉลี่ย  $5.0 \pm 0.5$  มิลลิกรัม/ลิตร) ในช่วงระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน หลังจากใส่พืชน้ำ ค่า BOD มีลักษณะดังนี้

ถังแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ย  $3.2 \pm 0.5$ ,  $2.5 \pm 0.3$ ,  $1.7 \pm 0.1$ ,  $1.2 \pm 0.2$ ,  $1.0 \pm 0.2$  และ  $0.9 \pm 0.2$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ย  $3.5 \pm 0.5$ ,  $2.6 \pm 0.4$ ,  $1.8 \pm 0.2$ ,  $1.4 \pm 0.2$ ,  $1.1 \pm 0.2$  และ  $1.2 \pm 0.2$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ย  $4.0 \pm 0.5$ ,  $2.9 \pm 0.3$ ,  $2.6 \pm 0.2$ ,  $2.2 \pm 0.1$ ,  $2.2 \pm 0.1$  และ  $2.2 \pm 0.1$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ย  $3.2 \pm 0.5$ ,  $2.3 \pm 0.4$ ,  $1.3 \pm 0.3$ ,  $1.0 \pm 0.3$ ,  $0.8 \pm 0.2$  และ  $0.8 \pm 0.2$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 5 มีค่าเฉลี่ย  $3.3 \pm 0.5$ ,  $2.4 \pm 0.4$ ,  $1.6 \pm 0.2$ ,  $1.2 \pm 0.2$ ,  $1.1 \pm 0.1$  และ  $1.2 \pm 0.3$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 6 มีค่าเฉลี่ย  $3.9 \pm 0.5$ ,  $2.8 \pm 0.2$ ,  $2.5 \pm 0.1$ ,  $2.3 \pm 0.1$ ,  $2.0 \pm 0.1$  และ  $2.0 \pm 0.1$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

รายละเอียดผลการตรวจค่า BOD ในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะในระยะเวลาเริ่มต้นหลังจากใส่พืชน้ำ (ผักตบชวาและจอก) และถังควบคุมหลังจากเก็บกักน้ำในช่วงระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน ของการทดลอง 5 ครั้ง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3



ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจหาค่า BOD ในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะจากถังทดลอง ก่อนและหลังจากใส่พืชน้ำ และถังควบคุม ในช่วงระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ผลการทดลอง (mg/l.)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ ผิวน้ำ	0	5.8	4.9	5.1	5.0	4.4	5.0
	5	3.9	3.7	3.1	3.1	2.8	3.3
	10	2.8	2.8	2.4	2.3	2.1	2.5
	15	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.7
	20	1.3	1.5	1.2	1.0	1.0	1.2
	25	0.9	1.2	0.8	0.7	0.6	1.0
	30	0.9	1.0	0.6	0.5	0.5	0.9
2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ	0	5.8	4.9	5.1	5.0	4.4	5.0
	5	4.1	3.8	3.2	3.3	2.9	3.5
	10	3.1	2.9	2.6	2.3	2.2	2.6
	15	2.1	1.8	1.7	1.7	1.7	1.8
	20	1.7	1.5	1.3	1.3	1.2	1.4
	25	1.2	1.3	1.0	1.0	0.9	1.1
	30	1.1	1.2	1.0	1.0	0.9	1.2

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ผลการทดลอง (mg/l.)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
3 ถังควบคุม (ไม่ใส่พีชน้ำ)	0	5.8	4.9	5.1	5.0	4.4	5.0
	5	4.5	4.0	4.3	4.2	3.1	4.0
	10	3.2	3.2	2.5	3.0	2.7	2.9
	15	2.8	2.5	2.4	2.6	2.5	2.6
	20	2.6	2.3	2.1	2.5	2.3	2.4
	25	2.4	2.2	2.1	2.3	2.2	2.2
	30	2.3	2.2	2.1	2.3	2.1	2.2
4 ใส่ผักตบชวา 10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	0	5.8	4.9	5.1	5.0	4.4	5.0
	5	3.8	3.6	2.9	3.0	2.7	3.2
	10	2.6	2.7	2.1	2.0	1.9	2.3
	15	1.5	1.7	1.4	1.2	0.9	1.3
	20	1.4	1.2	1.1	0.9	0.5	1.0
	25	1.0	0.9	0.9	0.6	0.3	0.8
	30	1.0	0.7	0.7	0.4	0.3	0.8

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ผลการทดลอง (mg/l.)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
5 ใส่จอก 10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	0	5.8	4.9	5.1	5.0	4.4	5.0
	5	4.0	3.6	3.0	3.2	2.7	3.3
	10	2.9	2.8	2.3	2.1	2.1	2.5
	15	1.6	1.9	1.6	1.3	1.4	1.6
	20	1.1	1.3	1.4	0.9	1.0	1.2
	25	1.1	0.9	1.1	0.8	0.7	1.1
	30	1.2	0.8	1.0	0.9	0.7	1.2
6 ถังควบคุม (ไม่ใส่พีชน้ำ)	0	5.8	4.9	5.1	5.0	4.4	5.0
	5	4.4	3.9	4.1	3.9	3.1	3.9
	10	3.0	3.0	2.6	2.9	2.6	2.8
	15	2.6	2.5	2.5	2.6	2.5	2.5
	20	2.3	2.2	2.4	2.3	2.3	2.3
	25	2.1	2.0	2.0	2.1	2.1	2.0
	30	2.1	1.9	2.0	2.2	2.0	2.0

#### 1.4 ค่าของแข็งแขวนลอย (TSS)

ผลการตรวจหาค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS) ในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะที่ใช้เลี้ยงพืชน้ำในการวิจัยเชิงทดลอง 5 ครั้ง พบว่าค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งตัวอย่างและในระยะเริ่มต้น (วันที่ 0) จากถังทดลองมีค่าระหว่าง 63-81 มิลลิกรัม / ลิตร (เฉลี่ย  $72.8 \pm 7.4$  มิลลิกรัม/ลิตร) ในระยะช่วงระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน หลังจากใส่พืชน้ำ ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยมีลักษณะดังนี้

ถังแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ย  $34.8 \pm 3.3$ ,  $22.4 \pm 3.1$ ,  $18.0 \pm 2.2$ ,  $15.0 \pm 2.2$ ,  $13.8 \pm 2.8$  และ  $14.8 \pm 5.4$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ย  $36.0 \pm 3.5$ ,  $23.6 \pm 3.2$ ,  $17.8 \pm 2.7$ ,  $16.0 \pm 1.6$ ,  $16.8 \pm 3.1$  และ  $19.8 \pm 6.6$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ย  $52.6 \pm 1.8$ ,  $44.6 \pm 1.1$ ,  $41.2 \pm 2.6$ ,  $39.6 \pm 2.1$ ,  $37.6 \pm 2.1$  และ  $36.6 \pm 1.8$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ย  $35.6 \pm 1.8$ ,  $21.8 \pm 1.5$ ,  $17.4 \pm 1.9$ ,  $13.6 \pm 1.7$ ,  $13.2 \pm 2.3$  และ  $15.2 \pm 4.8$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 5 มีค่าเฉลี่ย  $36.0 \pm 2.8$ ,  $23.0 \pm 2.6$ ,  $18.4 \pm 2.1$ ,  $16.2 \pm 3.4$ ,  $17.4 \pm 5.0$  และ  $20.2 \pm 7.3$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

ถังแบบที่ 6 มีค่าเฉลี่ย  $53.4 \pm 2.3$ ,  $44.6 \pm 3.3$ ,  $41.4 \pm 3.9$ ,  $39.8 \pm 4.1$ ,  $39.2 \pm 4.1$  และ  $38.0 \pm 4.3$  มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจหาค่าปริมาณ TSS ในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะจากถังทดลอง ก่อนและหลังจากใส่พีชน้ำ และถังควบคุม ในช่วงระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ผลการทดลอง (mg/l.)					เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ ผิวน้ำ	0	81	69	72	63	79	72.8
	5	31	32	37	35	39	34.8
	10	19	19	25	24	25	22.4
	15	19	14	19	19	19	18.0
	20	18	12	15	16	14	15.0
	25	15	10	12	14	12	13.8
	30	13	9	11	13	12	14.8
2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ	0	81	69	72	63	79	72.8
	5	32	34	38	35	41	36.0
	10	20	20	26	26	26	23.6
	15	15	15	19	19	21	17.8
	20	15	14	16	16	16	16.0
	25	16	14	14	15	14	16.8
	30	16	15	14	15	14	19.8

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ผลการทดลอง (mg/l.)					เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
3 ถังควบคุม (ไม่ได้พืชน้ำ)	0	81	69	72	63	79	72.8
	5	55	51	54	52	51	52.6
	10	45	44	46	45	43	44.6
	15	40	39	44	44	39	41.2
	20	41	38	40	42	37	39.6
	25	40	36	38	39	35	37.6
	30	39	35	36	38	35	36.6
4 ปลุกผักตบชวา 10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	0	81	69	72	63	79	72.8
	5	34	35	37	34	38	35.6
	10	20	22	24	21	22	21.8
	15	15	16	20	18	18	11.2
	20	14	12	16	14	12	13.6
	25	14	10	14	13	9	13.2
	30	14	9	13	11	9	16.4

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	ผลการทดลอง (mg/l.)					เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
5 ใส่จอก 10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	0	81	69	72	63	79	72.8
	5	34	34	38	34	40	36.0
	10	21	20	26	25	23	23.0
	15	19	15	18	20	20	18.4
	20	16	11	16	16	18	16.2
	25	16	11	15	14	14	17.4
	30	17	13	15	13	14	20.2
6 ถังควบคุม(ไม่ใส่พีชน้ำ)	0	81	69	72	63	79	72.8
	5	55	50	55	55	52	53.4
	10	44	44	44	50	41	44.6
	15	45	39	40	46	37	41.4
	20	45	38	38	43	35	39.8
	25	44	38	38	42	34	38.0
	30	44	35	36	41	34	38.0

## 2. การวิเคราะห์ข้อมูลของผลการวิจัยเชิงทดลอง

จากการศึกษาข้อมูลลักษณะน้ำทิ้งเหมืองแม่เมาะในบ่อพักน้ำทิ้ง 5 บ่อ เมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2544 พบว่าลักษณะน้ำทิ้งในบ่อพักต่าง ๆ แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 คุณภาพน้ำทิ้งเหมืองแม่เมาะในบ่อพักต่าง ๆ ในเดือนกันยายน 2544

Parameter	Sump				
	A	B	C	D	E
pH	6.4	6.7	6.4	6.7	6.6
Conductivity (uS/cm)	1,947	3,040	2,520	2,550	1,755
Turbidity (NTU)	1.2	1.7	1.8	1.1	1.0
Alkalinity (mg/l. as CaCO <sub>3</sub> )	108	140	186	132	132
Hardness (mg/l. as CaCO <sub>3</sub> )	1,040	1,610	1,060	1,010	690
TS (mg/l.)	1,637	2,886	2,251	2,335	1,268
TDS (mg/l.)	1,925	2,790	2,115	1,655	1,240
TSS (mg/l.)	112	96	36	80	28
Sulfate (mg/l.)	950.3	1,213.4	1,005.8	895.0	689.0
Iron (mg/l.)	0.11	0.14	0.08	0.05	0.14
Phosphate (mg/l.)	0.08	0.04	0.01	0.02	0.07

ปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งทั้ง 5 บ่อมีค่าระหว่าง 689.0-1,213.4 มิลลิกรัม / ลิตร โดยบ่อพักดีมีปริมาณซัลเฟตต่ำสุด คือ 689.0 มิลลิกรัม / ลิตร และมีปริมาณน้ำทิ้งคงที่เกือบตลอดปี จึงได้สูบน้ำทิ้งจากบ่อพักดีไปใช้ในการวิจัย

เมื่อนำน้ำจากบ่อพักดี (Sump D) เหมืองแม่เมาะมาใส่ในถังทดลองจำนวนทั้งหมด 6 ถัง ๆ ละ 100 ลิตร โดยกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางถังทดลองมีขนาด 58 และ 40 เซนติเมตร และระดับความลึกของน้ำทิ้งสองระดับ คือ 38 และ 80 เซนติเมตรตามลำดับ และใช้พีชน้ำสองชนิด คือ ผักตบชวา และจอก คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ถึงที่ใส่พีชน้ำคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง 40 เซนติเมตรและมีระดับความลึกของระดับน้ำ 80 เซนติเมตร



ขณะที่ถังที่ใส่พีชน้ำคลุมพื้นที่ผิว 80 เปอร์เซ็นต์มีเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง 58 เซนติเมตรและ ความลึกของน้ำที่ 38 เซนติเมตร นอกจากนี้แต่ละถังเส้นผ่านศูนย์กลางของถังและระดับความลึก ของน้ำที่ถังจะมีถังควบคุมที่เส้นผ่านศูนย์กลางและระดับความลึกละหนึ่งถัง รวมถึงทดลองทั้งหมด 6 ถัง โดยทดลองนำร่องก่อน 1 ชุดการทดลอง กำหนดระยะเวลาเก็บกักน้ำที่แปรผันตั้งแต่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 วัน เมื่อครบ 15 วัน พบว่าถังที่ใส่พีชน้ำมีแนวโน้มว่าสามารถลดปริมาณซัลเฟต ค่าบีโอดี และสารแขวนลอยในน้ำได้ดีกว่าถังควบคุม แต่ปริมาณออกซิเจนละลายและไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในแต่ละถังไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 ภาคผนวก ก ดังนั้นในการดำเนินการทดลองต่อ มาทั้ง 5 ชุด จึงไม่ตรวจวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายและไฮโดรเจนซัลไฟด์ และในการทดลอง ทั้ง 5 ชุดได้กำหนดระยะเวลาเก็บกักน้ำที่แปรผันตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน ผลการ ทดลองที่ได้ทั้งหมดนำมาหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

## 2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพของน้ำที่ใส่เลี้ยงพีชน้ำ

ผลการตรวจคุณภาพน้ำที่จากเหมืองแม่เมาะที่นำมาวิจัยเชิงทดลองทั้ง 5 ครั้ง พบมีค่าเฉลี่ยดังนี้ คือความเป็น กรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.47 ปริมาณซัลเฟต (Sulfate) ปริมาณ ของแข็งแขวนลอย (TSS) และค่าบีโอดี (BOD) เท่ากับ 1,069.4, 72.8 และ 5.0 มิลลิกรัม / ลิตร ตามลำดับ รายละเอียดการวิเคราะห์ผลการตรวจคุณภาพน้ำดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการวิเคราะห์ผลการตรวจคุณภาพน้ำในน้ำที่จากเหมืองแม่เมาะที่ใส่เลี้ยงพีชน้ำ

ค่าสถิติ (n = 5)	Sulfate (mg / l.)	pH	BOD (mg / l.)	TSS (mg / l.)
ค่าต่ำสุด	849.1	6.15	4.4	63
ค่าสูงสุด	1,204.0	6.81	5.8	81
ค่าเฉลี่ย (X)	1,069.4	6.47	5.0	72.8
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	132.8	0.24	0.5	7.4

## 2.2 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณซัลเฟต

การศึกษาประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะที่ใช้ในการศึกษาทดลอง 5 ครั้ง พบว่าในระยะเริ่มต้นมีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย 1,069.4 มิลลิกรัม / ลิตร

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟตในถังทดลองหลังจากใส่ผักตบชวา จอกและถังควบคุม (ไม่ใส่พืชน้ำ) ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน มีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.1 และ 4.2

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณซัลเฟตที่มีอยู่ในถังที่ใส่ผักตบชวาและจอก กลุ่มพื้นที่ผิวน้ำ 100 และ 80 เปอร์เซ็นต์ และถังควบคุมพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาคผนวก ข แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างถังที่ใส่พืชน้ำ 4 ถัง คือ ถังแบบที่ 1 และ 2 ที่ใส่ผักตบชวาและจอกกลุ่มพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ ถังแบบที่ 4 และ 5 ที่ใส่ผักตบชวาและจอกกลุ่มพื้นที่ผิวน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาคผนวก ข.

ร้อยละของการลดลงของปริมาณซัลเฟต โดยเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟตในถังทดลองที่ลดลงหลังจากใส่พืชน้ำกลุ่มพื้นที่ผิวน้ำ 100 และ 80 เปอร์เซ็นต์กับถังควบคุมของแต่ละกลุ่มทั้ง 6 ถังในระยะเวลา 30 วัน พบว่า ถังที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและระดับความลึกของน้ำ 40 และ 80 เซนติเมตร เมื่อใส่ผักตบชวาและจอกกลุ่มพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณซัลเฟตลงได้ 28.8 และ 30.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ถังที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและระดับความลึกของน้ำ 58 และ 38 เซนติเมตรเมื่อใส่ผักตบชวาและจอกกลุ่มพื้นที่ผิวน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์สามารถลดปริมาณซัลเฟตลงได้ 27.6 และ 28.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับถังควบคุมที่ไม่ใส่พืชน้ำดังกล่าวที่ระดับความลึกของน้ำ 80 และ 38 เซนติเมตร พบว่าปริมาณซัลเฟตลดลงจากเดิม 9.2 และ 8.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณซัลเฟตสะสมโดยเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟตในถังทดลองที่ลดลงจากถังควบคุมหลังจากใส่พืชน้ำกลุ่มพื้นที่ผิวน้ำ 100 และ 80 เซนติเมตร พบว่า ถังที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและระดับความลึกของน้ำ 40 และ 80 เปอร์เซ็นต์เมื่อใส่ผักตบชวาและจอกกลุ่มพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณซัลเฟตสะสมได้ 19.59 และ 21.50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ถังที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและระดับความลึกของน้ำ 58 และ 38 เซนติเมตรเมื่อใส่ผักตบชวาและจอกกลุ่มพื้นที่ผิวน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณซัลเฟตสะสมได้ 19.30 และ 19.93 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณซัลเฟตแต่ละช่วงเวลาเก็บกักโดยเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟตในถังทดลองที่ลดลงจากถังควบคุมหลังจากใส่พีชน้ำคลุมพื้นที่ผิว 100 และ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ผักตบชวาและจอกสามารถลดปริมาณซัลเฟตได้สูงสุดในช่วงระยะเวลาเก็บกัก 0-10 วัน หลังจากวันที่ 10 19.59 และ 21.50 ปริมาณซัลเฟตลดลงน้อยและหลังจากวันที่ 20 ปริมาณซัลเฟตลดลงน้อยมาก

รายละเอียดเกี่ยวกับร้อยละและประสิทธิภาพในการลดลงของปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งในถังทดลองทั้ง 6 ถังในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กันของการทดลอง 5 ครั้งดังแสดงในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 สำหรับถังที่ใส่พีชน้ำคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ ถังที่ใส่จอกสามารถกำจัดซัลเฟตได้มากกว่าถังที่ใส่ผักตบชวาและถังควบคุม 1.4 และ 21 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ขณะที่ถังที่ใส่พีชน้ำคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ ถังที่ใส่จอกสามารถกำจัดซัลเฟตได้มากกว่าถังที่ใส่ผักตบชวาและถังควบคุม 0.6 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด เฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

และประสิทธิภาพ การลดลงของปริมาณซัลเฟต ในน้ำทิ้งจากการทดลอง 5 ครั้ง ของถังการทดลองทั้ง 6 แบบ

ค่าสถิติ	ถังการทดลองแบบที่ 1							ถังการทดลองแบบที่ 2						
	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)							ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)						
	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30
ค่าปริมาณซัลเฟตต่ำสุด (mg/l.)	849.1	739.5	680.5	634.4	593.6	584.2	580.1	849.1	734.5	664.3	610.1	579.8	572.5	567.6
ค่าปริมาณซัลเฟตสูงสุด (mg/l.)	1,204.0	1,098.5	1,017.4	955.8	909.1	905.4	869.6	1,204.0	1,086.1	982.7	919.3	884.2	865.1	857.9
ค่าปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย (mg/l.)	1,069.4	968.2	882.9	828.2	786.4	774.2	761.6	1,069.4	964.0	872.9	806.2	768.9	753.9	746.5
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	132.8	142.5	132.7	127.2	121.9	121.7	112.8	132.8	124.6	127.4	123.1	118.3	114.8	112.6
ร้อยละของการลดซัลเฟต														
จากวันเริ่มต้น	0	9.5	17.4	22.6	26.5	27.6	28.8	0	9.6	18.4	24.6	28.1	29.5	30.2
ปริมาณซัลเฟตที่ลดลงสะสม (mg/l.)	0	76.4	140.3	178.7	207.2	208.0	209.5	0	80.6	151.3	200.7	224.7	228.3	224.6
ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตสะสม (%)	0	7.14	13.21	16.71	19.38	19.45	19.59	0	7.54	14.15	18.77	21.01	21.35	21.50
ปริมาณซัลเฟตที่ลดลง														
แต่ละช่วงเวลาเก็บกัก (mg/l.)	0	76.4	64.9	37.4	28.5	0.8	1.5	0	80.6	70.7	49.4	24.0	3.6	-3.7
ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟต														
แต่ละช่วงเวลาเก็บกัก (%)	0	7.14	6.07	3.50	2.67	0.07	0.14	0	7.54	6.61	4.62	2.24	0.34	-0.35

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

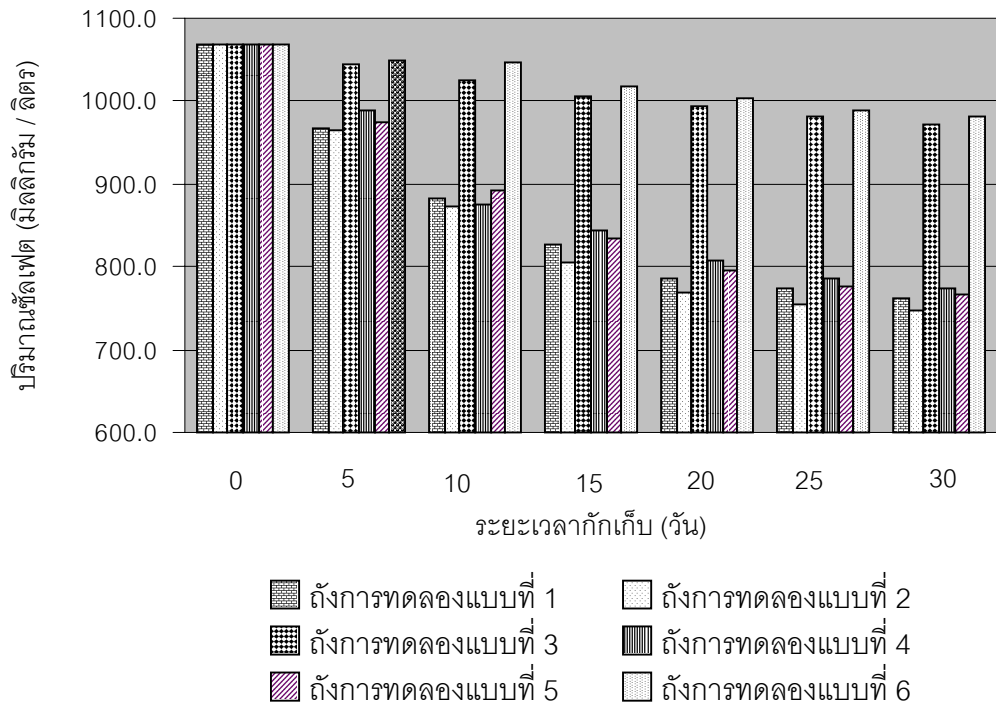
ค่าสถิติ	ถึงการทดลองแบบที่ 3						ถึงการทดลองแบบที่ 4							
	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)						ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)							
	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30
ค่าปริมาณซัลเฟตต่ำสุด (mg/l.)	849.1	820.2	800.1	791.5	780.1	771.6	765.3	849.1	746.3	683.5	638.6	612.1	598.9	595.3
ค่าปริมาณซัลเฟตสูงสุด (mg/l.)	1,204.0	1,176.0	1,158.5	1,137.8	1,119.4	1,108.5	1,089.4	1,204.0	1,129.1	1,005.7	953.5	910.3	890.7	867.1
ค่าปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย (mg / l)	1,069.4	1,044.6	1,024.2	1,006.9	993.6	982.2	971.1	1,069.4	988.8	875.0	843.9	807.0	785.4	774.2
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	132.8	133.6	133.8	128.9	114.2	127.3	124.7	132.8	148.8	136.2	124.8	118.9	113.5	107.6
ร้อยละของการลดซัลเฟตจากวัน														
เริ่มต้น	0	2.3	4.2	5.8	7.1	8.2	9.2	0	7.5	18.2	21.1	24.5	26.6	27.6
ปริมาณซัลเฟตที่ลดลงสะสม (mg/l.)	0	0	0	0	0	0	0	0	60.9	171.9	173.8	195.6	204.6	206.5
ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตสะสม (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	5.69	16.07	16.25	18.29	19.13	19.30
ปริมาณซัลเฟตที่ลดลงแต่ละช่วงเวลา														
เก็บกัก (mg/l.)	0	0	0	0	0	0	0	0	60.9	111.0	1.9	21.8	8.7	1.9
ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแต่ละ														
ช่วงเวลาเก็บกัก (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	5.69	10.37	0.18	2.04	0.81	0.18

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ค่าสถิติ	ถึงการทดลองแบบที่ 5							ถึงการทดลองแบบที่ 6						
	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)							ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)						
	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30
ค่าปริมาณซัลเฟตต่ำสุด (mg/l.)	849.1	744.9	682.5	639.1	614.8	598.5	593.2	849.1	825.3	811.5	801.1	793.2	787.7	785.3
ค่าปริมาณซัลเฟตสูงสุด (mg/l.)	1,204.0	1,097.5	1,017.7	955.8	912.3	891.7	878.3	1,204.0	1,179.0	1,156.2	1,136.5	1,117.4	1,101.9	1,086.2
ค่าปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย (mg/l.)	1,069.4	975.4	892.5	834.5	795.7	777.2	767.6	1,069.4	1,049.7	1,046.9	1,017.7	1,002.6	990.0	980.7
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	132.8	139.9	131.1	122.9	113.0	110.6	107.4	132.8	133.5	139.3	127.4	123.1	119.1	114.3
ร้อยละของการลดซัลเฟต														
จากวันเริ่มต้น	0	8.8	16.5	22.0	25.6	27.3	28.2	0	1.8	2.1	4.8	6.2	7.4	8.2
ปริมาณซัลเฟตที่ลดลงสะสม (mg/l.)	0	74.3	254.4	183.2	206.9	212.8	213.1	0	0	0	0	0	0	0
ประสิทธิภาพการลดซัลเฟตสะสม (%)	0	6.95	14.44	17.13	19.35	19.90	19.93	0	0	0	0	0	0	0
ปริมาณซัลเฟตที่ลดลงแต่ละช่วง														
เวลาเก็บกัก (mg/l.)	74.3	80.1	28.8	23.7	5.9	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0
ประสิทธิภาพการกำจัดซัลเฟตแต่														
ละช่วงเวลาเก็บกัก (%)	0	6.95	7.49	2.69	2.22	0.55	0.03	0	0	0	0	0	0	0

เมื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการลดซัลเฟตในน้ำทิ้งจากการใส่ผักตบชวาและจอก เมื่อใช้ความหนาแน่นของพีชน้ำทั้งสองชนิด คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์และ 80 เปอร์เซ็นต์ และถังที่ไม่ใส่พีชน้ำ เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งหลังจาก ใส่และไม่ใส่พีชน้ำในระยะเวลาเก็บกักต่าง ๆ กัน พบว่าทุกระยะเวลาเก็บกัก 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน จอกสามารถลดปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟตได้ดีกว่าผักตบชวาทั้งสองระดับความ หนาแน่น นั่นคือน้ำทิ้งที่ใส่พีชน้ำเต็มพื้นที่ผิวน้ำสามารถลดปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งได้ดีกว่าน้ำทิ้ง ที่ใส่พีชไม่เต็มพื้นที่ผิวน้ำ

สำหรับประสิทธิภาพในการลดปริมาณซัลเฟตในแต่ละช่วงเวลาเก็บกักตั้งแต่วันเริ่มต้น ดำเนินการทดลองจนถึงวันที่ 30 พบว่าถังที่ใส่ผักตบชวาและจอกมีประสิทธิภาพในการกำจัด ปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งได้ดีในช่วงระยะเวลาเก็บกัก 15 วันแรก โดยเฉพาะช่วง 0-10 วันแรก มีประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งสูง แต่หลังจากวันที่ 15 ประสิทธิภาพ ในการกำจัดปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งต่ำมาก ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.3, 4.4



ภาพที่ 4.1 ปริมาณความเข้มข้นของซีลเฟตในน้ำทิ้งในแต่ละช่วงระยะเวลาเก็บกัก ในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย ของแต่ละแบบการทดลอง

ถึงแบบที่ 1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %

ถึงแบบที่ 2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %

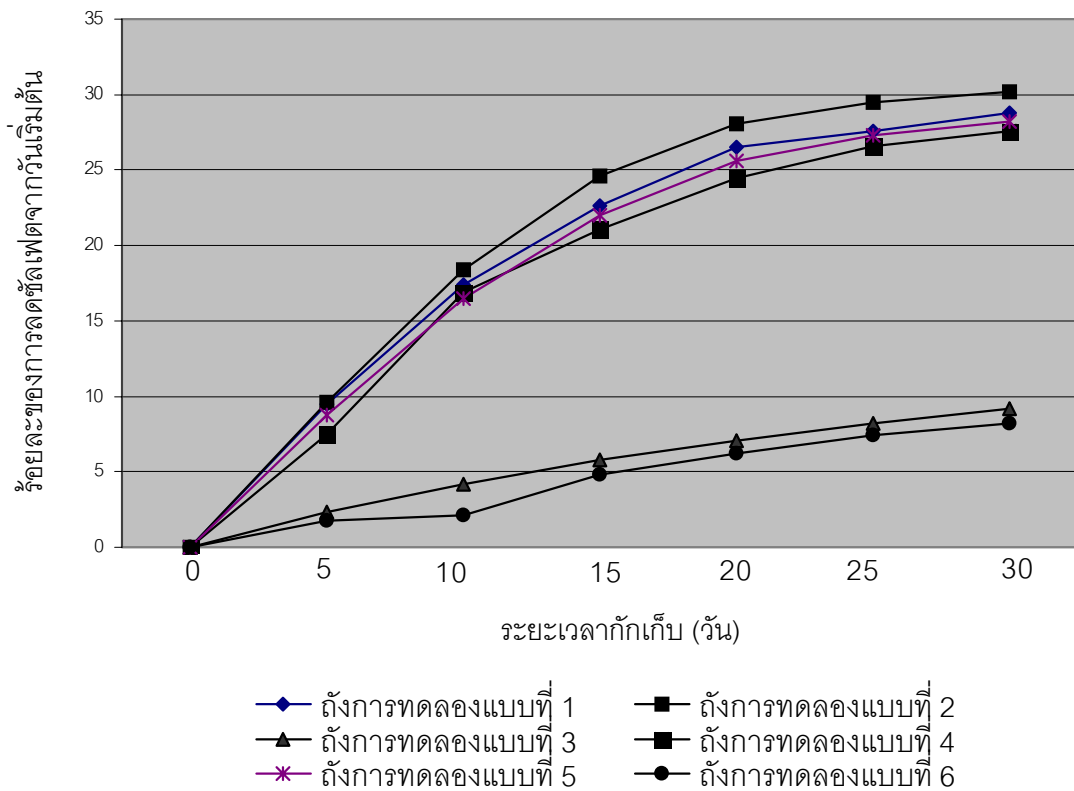
ถึงแบบที่ 3 ถึงควบคุมที่ระดับน้ำลึก 80 เซนติเมตร

ถึงแบบที่ 4 ใส่ผักตบชวา 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ

ถึงแบบที่ 5 ใส่จอก 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ

ถึงแบบที่ 6 ถึงควบคุมที่ระดับน้ำลึก 38 เซนติเมตร





ภาพที่ 4.2 ร้อยละของการลดปริมาณซัลเฟตในน้ำทิ้งของถังทดลองเมื่อใส่พีชีน้ำแบบต่าง ๆ

กับถังควบคุมในช่วงระยะเวลาเก็บกักต่างๆกันในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย

ถังแบบที่ 1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %

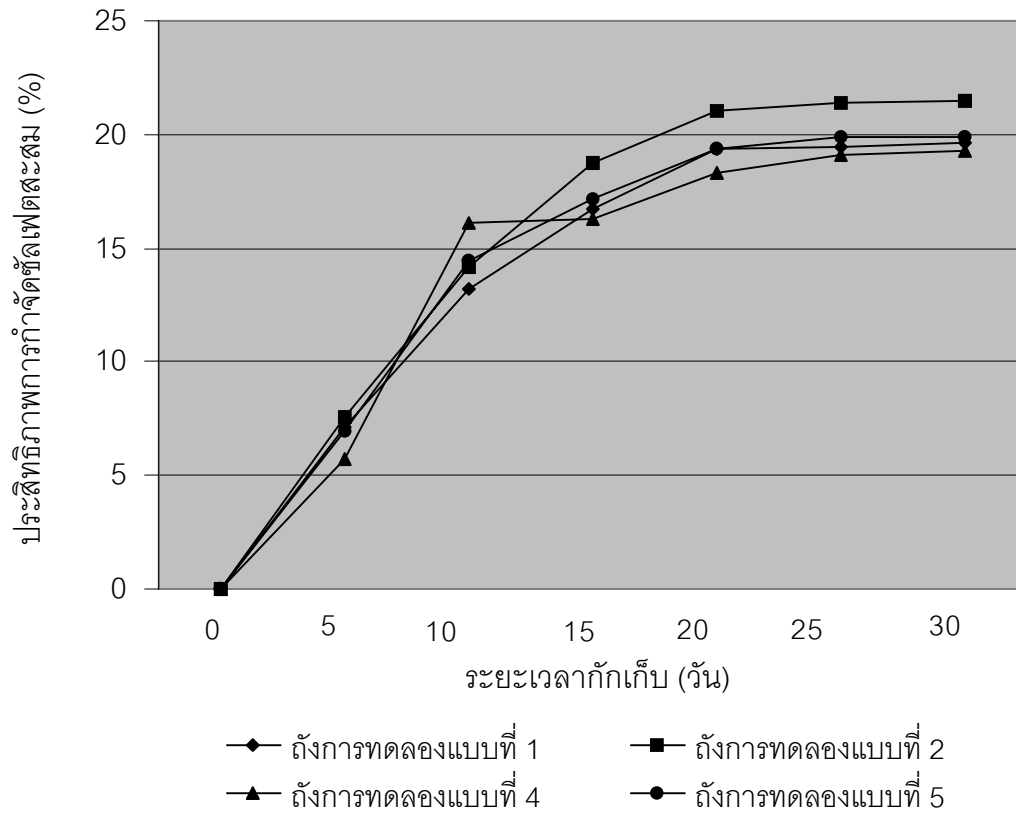
ถังแบบที่ 2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %

ถังแบบที่ 3 ถังควบคุมที่ระดับน้ำลึก 80 เซนติเมตร

ถังแบบที่ 4 ใส่ผักตบชวา 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ

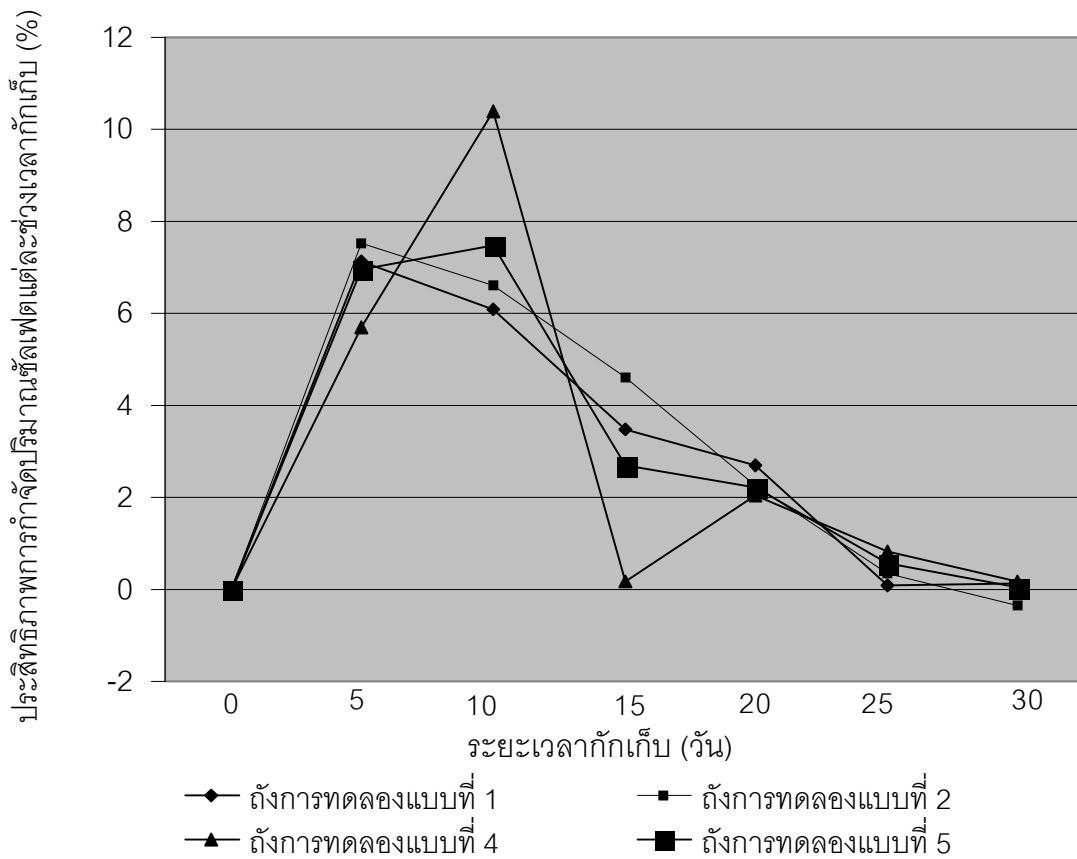
ถังแบบที่ 5 ใส่จอก 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ

ถังแบบที่ 6 ถังควบคุมที่ระดับน้ำลึก 38 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณซัลเฟตสะสมในน้ำทิ้งของถังทดลองเมื่อใส่พีชีน้ำแบบต่าง ๆ ในระยะเวลาเก็บกักต่าง ๆ ในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย

- ถังแบบที่ 1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100%
- ถังแบบที่ 2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100%
- ถังแบบที่ 4 ใส่ผักตบชวา 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ
- ถังแบบที่ 5 ใส่จอก 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ



ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณคลอโรฟิลล์แต่ละช่วงเวลาเก็บกักในน้ำทิ้งของถังทดลอง เมื่อใส่พืชน้ำแบบต่าง ๆ ในระยะเวลาเก็บกักต่าง ๆ ในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย

ถังแบบที่ 1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100%

ถังแบบที่ 2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100%

ถังแบบที่ 4 ใส่ผักตบชวา 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ

ถังแบบที่ 5 ใส่จอก 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ

## 2.3 ค่าคุณภาพน้ำอื่น

### 2.3.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

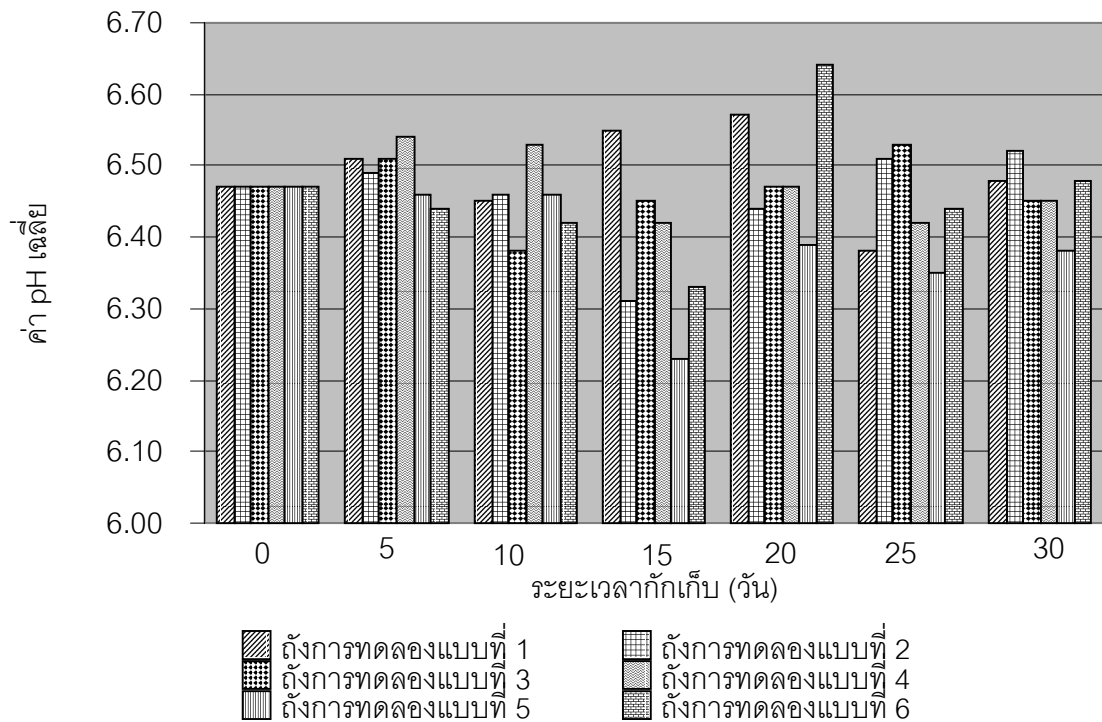
จากการตรวจหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะที่ใช้ในการวิจัยพบว่าน้ำทิ้งดังกล่าวในระยะแรก (วันที่ 0) มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 6.47 และเมื่อเปรียบเทียบค่า pH ในถังทดลองทั้ง 6 ถัง ที่ใส่ผักตบชวา ใส่จอกและถังควบคุม ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน พบว่าหลังการใส่พืชน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำทิ้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.5 ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH ในน้ำทิ้งในถังทดลองทั้ง 6 ถัง ซึ่งใส่พืชน้ำและถังควบคุมพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด เฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
ของค่า pH ในน้ำทิ้งจากถังทดลองทั้ง 6 แบบจากการทดลอง 5 ครั้ง

ค่าสถิติ	ถังการทดลองแบบที่ 1						ถังการทดลองแบบที่ 2						ถังการทดลองแบบที่ 3								
	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)						ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)						ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)								
	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30
ค่า pH ต่ำสุด	6.15	6.25	6.24	6.15	6.14	5.75	6.05	6.15	6.26	6.27	6.00	6.09	6.11	6.04	6.15	6.27	6.21	6.11	6.08	6.13	6.02
ค่า pH สูงสุด	6.81	7.12	6.81	6.78	6.89	6.98	6.97	6.81	6.98	6.75	6.59	6.73	6.97	6.98	6.81	7.10	6.63	6.81	7.47	7.50	7.37
ค่า pH เฉลี่ย	6.47	6.51	6.45	6.55	6.57	6.38	6.48	6.47	6.49	6.46	6.31	6.44	6.51	6.52	6.47	6.51	6.38	6.45	6.47	6.53	6.45
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.24	0.37	0.23	0.28	0.34	0.50	0.40	0.24	0.29	0.20	0.25	0.25	0.35	0.41	0.24	0.35	0.17	0.25	0.41	0.56	0.53

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ค่าสถิติ	ถังการทดลองแบบที่ 4						ถังการทดลองแบบที่ 5						ถังการทดลองแบบที่ 6								
	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)						ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)						ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)								
	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30
ค่า pH ต่ำสุด	6.15	6.25	6.26	6.01	5.78	5.84	5.83	6.15	6.25	6.28	5.86	5.74	5.82	5.92	6.15	6.25	6.24	6.11	6.31	6.13	6.23
ค่า pH สูงสุด	6.81	7.05	6.87	6.73	6.97	7.09	7.01	6.81	6.93	6.70	6.64	6.75	6.87	6.93	6.81	6.78	6.92	6.45	7.56	7.09	6.90
ค่า pH เฉลี่ย	6.47	6.54	6.53	6.42	6.47	6.42	6.45	6.47	6.46	6.46	6.23	6.39	6.35	6.38	6.47	6.44	6.42	6.33	6.64	6.44	6.48
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.24	0.33	0.28	0.33	0.39	0.55	0.53	0.24	0.28	0.17	0.35	0.40	0.39	0.38	0.24	0.20	0.28	0.15	0.53	0.39	0.26



ภาพที่ 4.5 ค่า pH ในน้ำทิ้งจากถังทดลองแบบต่าง ๆ แต่ละช่วงระยะเวลาเก็บกัก ในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย ของแต่ละแบบการทดลอง

- ถังแบบที่ 1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %
- ถังแบบที่ 2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %
- ถังแบบที่ 3 ถังควบคุมที่ระดับน้ำลึก 80 เซนติเมตร
- ถังแบบที่ 4 ใส่ผักตบชวา 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ
- ถังแบบที่ 5 ใส่จอก 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ
- ถังแบบที่ 6 ถังควบคุมที่ระดับน้ำลึก 38 เซนติเมตรค่า pH เฉลี่ย

### 2.3.2 ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

จากการตรวจค่าบีโอดีในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะที่ใช้ในการทดลองพบว่าน้ำทิ้งในระยะเริ่มการทดลองมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 5.0 มิลลิกรัม / ลิตร เมื่อเปรียบเทียบค่าบีโอดี และการลดลงของค่าบีโอดีในน้ำทิ้งในถังทดลองทั้ง 6 ถังเฉลี่ย ดังแสดงในตาราง ที่ 4.9 และภาพที่ 4.6 พบว่าในระยะเวลาดำเนินการ 30 วัน ถังที่ใส่ผักตบชวาและจอกคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่าบีโอดีได้ 82 และ 76 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ถังที่ใส่ผักตบชวาและจอกคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่าบีโอดีได้ 84 และ 76 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับถังควบคุม (ไม่ใส่พืชน้ำทั้งสองชนิด) ที่ระดับความลึกของน้ำน้ำทิ้ง 80 และ 38 เซนติเมตร ค่าบีโอดีลดลง 56 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.7 แต่เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าบีโอดีในถังทดลองทั้งหมดที่ปลูกพืช และถังควบคุมพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาคผนวก ข

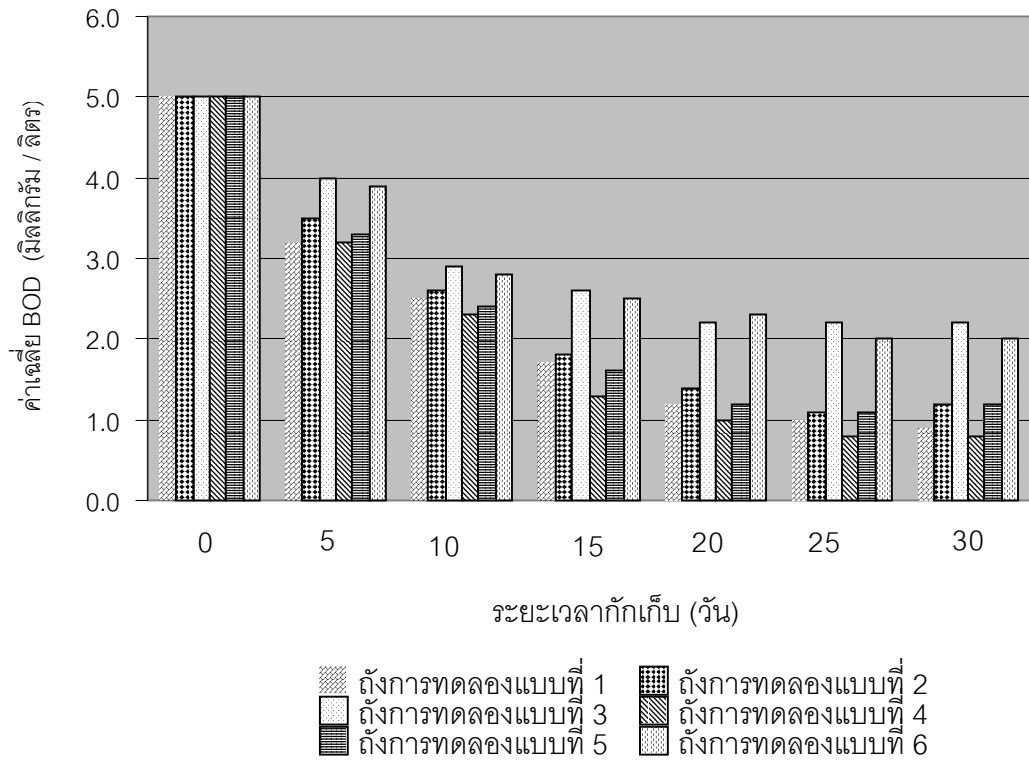
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด เฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ในน้ำทิ้งในถังทดลองทั้ง 6 แบบจากการทดลอง 5 ครั้ง

ค่าสถิติ	ถังการทดลองแบบที่ 1							ถังการทดลองแบบที่ 2							ถังการทดลองแบบที่ 3						
	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)							ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)							ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)						
	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30
ค่า BOD ต่ำสุด (mg/l.)	4.4	2.8	2.1	1.5	1.0	0.8	0.6	4.4	2.9	2.2	1.7	1.2	0.9	1.0	4.4	3.1	2.7	2.4	2.1	2.1	2.1
ค่า BOD สูงสุด (mg/l.)	5.8	3.9	2.8	1.8	1.5	1.2	1.2	5.8	4.1	3.1	2.1	1.7	1.3	1.5	5.8	4.5	3.2	2.8	2.6	2.4	2.3
ค่า BOD เฉลี่ย (mg/l.)	5.0	3.2	2.5	1.7	1.2	1.0	0.9	5.0	3.5	2.6	1.8	1.4	1.1	1.2	5.0	4.0	2.9	2.6	2.2	2.2	2.2
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
ร้อยละของการลดค่า																					
BOD จากวันเริ่มต้น	0	36	50	66	76	88	82	0	30	48	64	72	78	76	0	20	42	48	56	56	56
ประสิทธิภาพการลดค่า																					
BOD (จากถังควบคุม) (%)	0	16	8	18	20	24	26	0	10	6	16	16	22	20	0	0	0	0	0	0	0



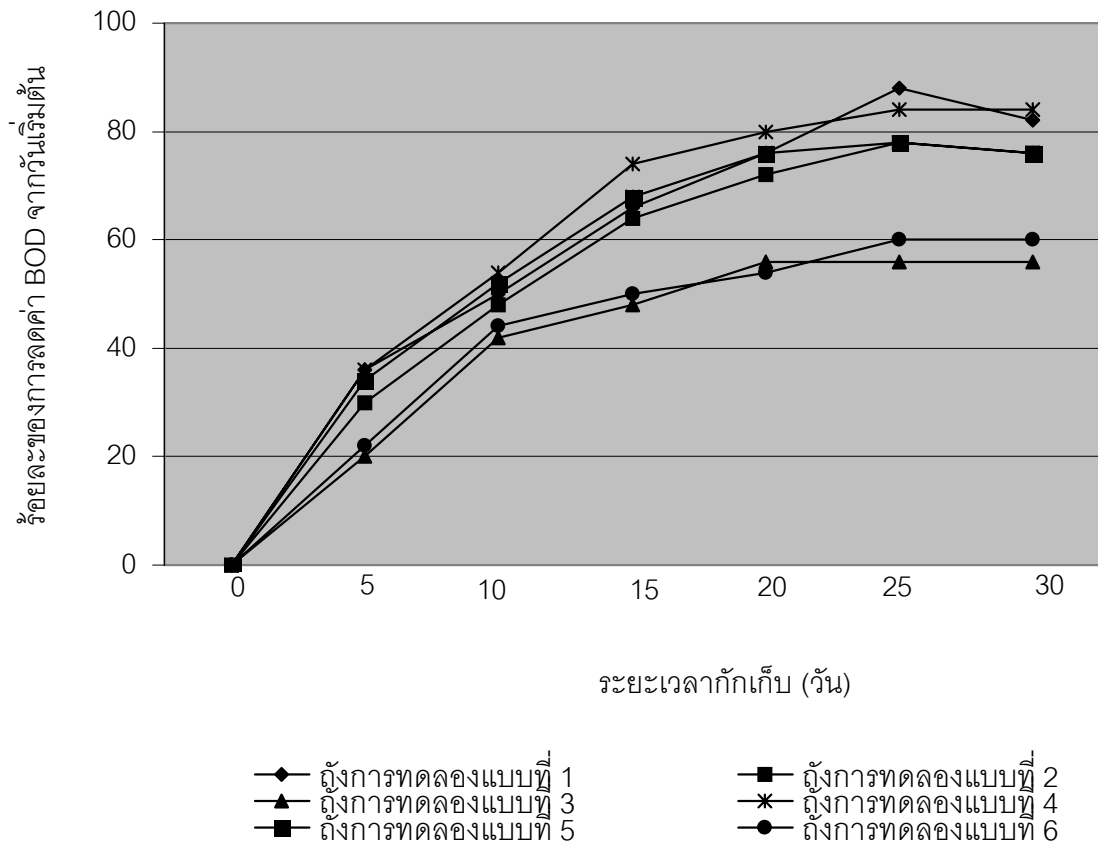
ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

ค่าสถิติ	ถังการทดลองแบบที่ 4							ถังการทดลองแบบที่ 5							ถังการทดลองแบบที่ 6						
	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)							ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)							ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)						
	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30
ค่า BOD ต่ำสุด (mg/l.)	4.4	2.7	1.9	0.9	0.5	0.5	0.6	4.4	2.7	2.1	1.3	0.9	0.9	0.8	4.4	3.1	2.6	2.5	2.2	2.0	1.9
ค่า BOD สูงสุด (mg/l.)	5.8	3.8	2.7	1.7	1.4	1.0	1.0	5.8	4.0	2.9	1.9	1.4	1.2	1.5	5.8	4.4	3.0	2.6	2.4	2.1	2.2
ค่า BOD เฉลี่ย (mg/l.)	5.0	3.2	2.3	1.3	1.0	0.8	0.8	5.0	3.3	2.4	1.6	1.2	1.1	1.2	5.0	3.9	2.8	2.5	2.3	2.0	2.0
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.5	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	0.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
ร้อยละของการลดค่า BOD																					
จากวันเริ่มต้น	0	36	54	74	80	84	84	0	34	52	68	76	78	76	0	22	44	50	54	60	60
ประสิทธิภาพการลดค่า BOD																					
(จากถังควบคุม) (%)	0	14	10	24	26	24	24	0	12	8	18	22	18	16	0	0	0	0	0	0	0



ภาพที่ 4.6 ค่า BOD ในน้ำทิ้งจากถังทดลองแบบต่าง ๆ แต่ละช่วงระยะเวลาเก็บกัก ในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย ของแต่ละแบบการทดลอง

- ถังแบบที่ 1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %
- ถังแบบที่ 2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %
- ถังแบบที่ 3 ถังควบคุมที่ระดับน้ำลึก 80 เซนติเมตร
- ถังแบบที่ 4 ใส่ผักตบชวา 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ
- ถังแบบที่ 5 ใส่จอก 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ
- ถังแบบที่ 6 ถังควบคุมที่ระดับน้ำลึก 38 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.7 ร้อยละของการลดค่า BOD ในน้ำทิ้งจากถังทดลองแบบต่างๆกับถังควบคุมในแต่ละช่วงระยะเวลาเก็บกัก ในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย ของแต่ละแบบการทดลอง

- ถังแบบที่ 1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %
- ถังแบบที่ 2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %
- ถังแบบที่ 3 ถังควบคุมที่ระดับน้ำลึก 80 เซนติเมตร
- ถังแบบที่ 4 ใส่ผักตบชวา 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ
- ถังแบบที่ 5 ใส่จอก 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ
- ถังแบบที่ 6 ถังควบคุมที่ระดับน้ำลึก 38 เซนติเมตร

### 2.3.3 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ (Total Suspended Solids: TSS)

จากผลการตรวจหาค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะที่ใช้ในการวิจัยเชิงทดลอง 5 ครั้งพบว่าน้ำทิ้งในระยะเริ่มแรก มีค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 72.8 มิลลิกรัม / ลิตร และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำในถังทดลองที่ใส่ผักตบชวา ใ้จอกและถังควบคุมในระยะเวลาด่าง ๆ ตั้งแต่วันเริ่มการทดลอง (วันที่ 0) และหลังการใส่พีชน้ำ ผักตบชวาและจอก (5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน) จากผลการทดลองทั้ง 5 ครั้ง มีค่า TSS เฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.8 สำหรับการลดลงของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งในถังทดลองทั้ง 6 แบบ พบว่าในระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน ถังที่ใส่ผักตบชวาและจอกคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ 79.7 และ 72.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ถังที่ใส่ผักตบชวาและจอกคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ 79.1 และ 72.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับถังควบคุมพบว่าที่ระดับความลึกของน้ำทั้ง 80 และ 38 เซนติเมตร ปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลง 49.7 และ 47.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.9

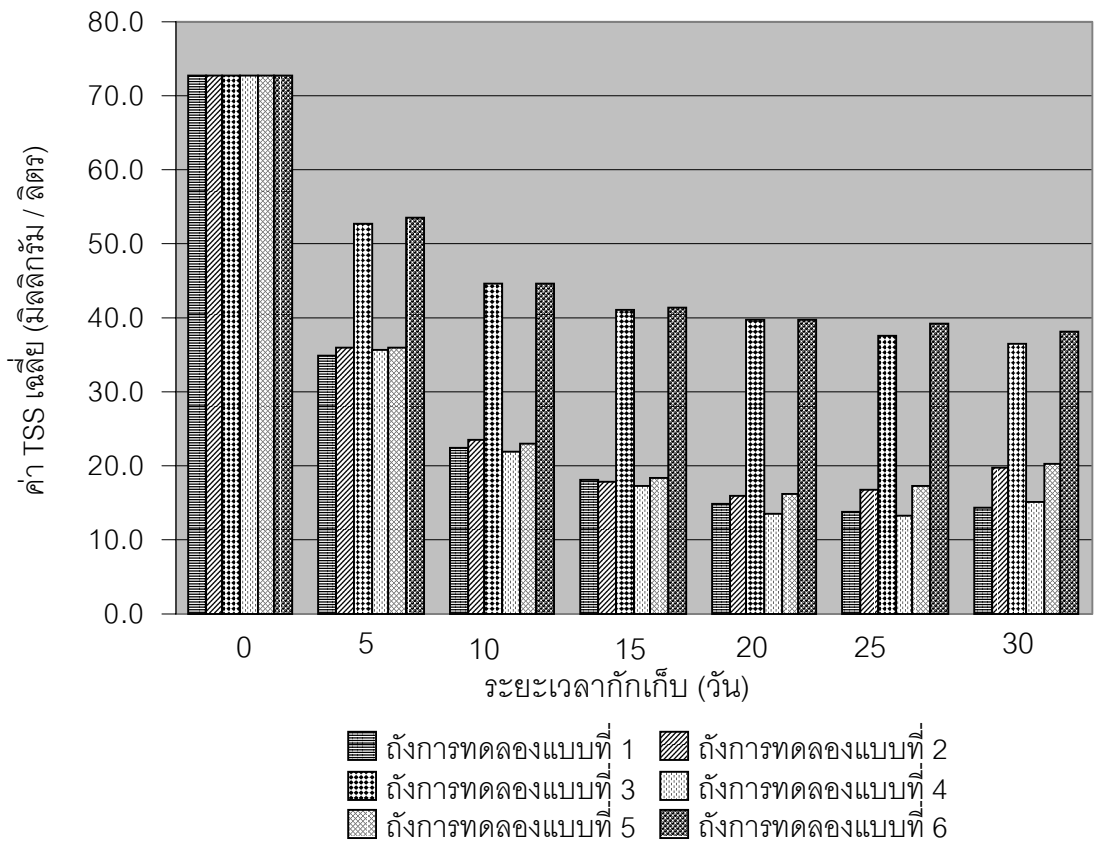
เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า TSS ในถังทดลองทั้ง 6 ถัง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด เฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และประสิทธิภาพในการลดปริมาณ TSS ในถังทดลองทั้ง 6 แบบ ของการทดลอง 5 ครั้ง

ค่าสถิติ	ถังการทดลองแบบที่ 1							ถังการทดลองแบบที่ 2							ถังการทดลองแบบที่ 3						
	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)																				
	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30
ค่า TSS ต่ำสุด (mg/l.)	63	31	19	14	12	10	9	63	32	20	15	14	14	14	63	51	43	39	37	35	35
ค่า TSS สูงสุด (mg/l.)	81	39	25	19	18	17	21	81	41	26	21	18	21	28	81	55	46	44	42	40	39
ค่า TSS เฉลี่ย (mg/l.)	72.8	34.8	22.4	18	15	13.8	14.8	72.8	36	23.6	17.8	16	16.8	19.8	72.8	52.6	44.6	41.2	39.6	37.6	36.6
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.4	3.3	3.1	2.2	2.2	2.8	5.4	7.4	3.5	3.2	2.7	1.6	3.1	6.6	7.4	1.8	1.1	2.6	2.1	2.1	1.8
ร้อยละของการลดค่า																					
TSS จากวันเริ่มต้น	0	52.2	69.2	75.3	79.4	87.0	79.7	0	50.5	67.6	75.5	78.0	76.9	72.8	0	27.7	38.7	43.4	45.6	48.4	49.7
ประสิทธิภาพในการลดปริมาณ TSS																					
(จากถังควบคุม) (%)	0	24.5	30.5	31.9	33.8	32.7	29.9	0	22.8	28.8	32.1	32.4	28.6	23.1	0	0	0	0	0	0	0

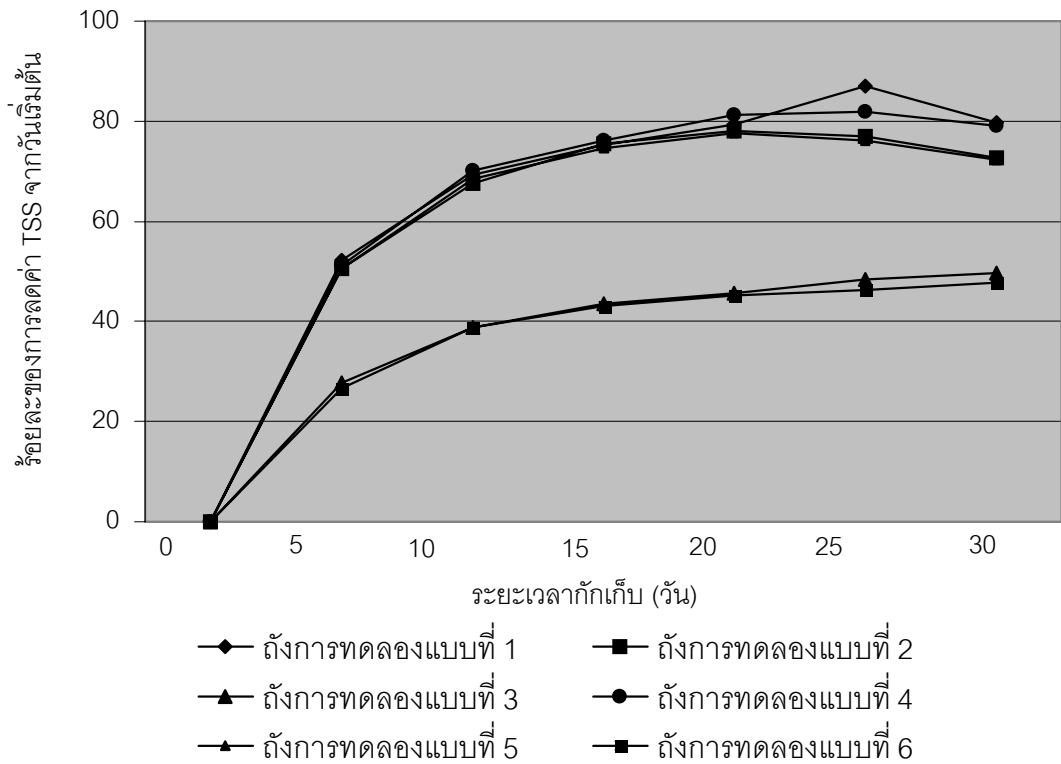
ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

ค่าสถิติ	ถึงการทดลองแบบที่ 4							ถึงการทดลองแบบที่ 5							ถึงการทดลองแบบที่ 6						
	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)																				
	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30
ค่า TSS ต่ำสุด (mg/l.)	63	34	20	15	14	10	9	63	34	20	15	11	11	13	63	50	41	37	35	34	34
ค่า TSS สูงสุด (mg/l.)	81	37	24	20	16	16	21	81	38	26	20	20	23	29	81	55	50	46	45	44	44
ค่า TSS เฉลี่ย (mg/l.)	72.8	35.6	21.8	17.4	13.6	13.2	15.2	72.8	36	23	18.4	16.2	17.4	20.2	72.8	53.4	44.6	41.4	39.8	39.2	38
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.4	1.8	1.5	1.9	1.7	2.3	4.8	7.4	2.8	2.6	2.1	3.4	5.0	7.3	7.4	2.3	3.3	3.9	4.1	3.9	4.3
ร้อยละของการลดค่า																					
TSS จากวันเริ่มต้น	0	51.1	70.1	76.1	81.3	81.9	79.1	0	50.5	68.4	74.7	77.7	76.1	72.3	0	26.6	38.7	43.1	45.3	46.2	47.8
ประสิทธิภาพในการลด																					
ปริมาณ TSS																					
(จากถึงควบคุม) (%)	0	24.5	31.3	33.0	36.0	35.7	31.3	0	23.9	20.1	31.6	32.4	29.9	24.5	0	0	0	0	0	0	0



ภาพที่ 4.8 ปริมาณ TSS ในน้ำทิ้งจากถังทดลองแบบต่างๆแต่ละช่วงระยะเวลาเก็บกัก ในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย ของแต่ละแบบการทดลอง

- ถึงแบบที่ 1 ใส่ฝักตบชวาเต็มพื้นที่ผิวหน้า 100 %
- ถึงแบบที่ 2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวหน้า 100 %
- ถึงแบบที่ 3 ถึงควบคุมที่ระดับน้ำลึก 80 เซนติเมตร
- ถึงแบบที่ 4 ใส่ฝักตบชวา 80 % ของพื้นที่ผิวหน้า
- ถึงแบบที่ 5 ใส่จอก 80 % ของพื้นที่ผิวหน้า
- ถึงแบบที่ 6 ถึงควบคุมที่ระดับน้ำลึก 38 เซนติเมตร



ภาพที่ 4.9 ร้อยละของการลดปริมาณ TSS ในน้ำทิ้งจากถึงทดลองแบบต่าง ๆ แต่ในช่วงระยะเวลา

เก็บกัก ในการทดลอง 5 ครั้งเฉลี่ย ของแต่ละแบบการทดลอง

ถึงแบบที่ 1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %

ถึงแบบที่ 2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ 100 %

ถึงแบบที่ 3 ถึงควบคุมที่ระดับน้ำลึก 80 เซนติเมตร

ถึงแบบที่ 4 ใส่ผักตบชวา 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ

ถึงแบบที่ 5 ใส่จอก 80 % ของพื้นที่ผิวน้ำ

ถึงแบบที่ 6 ถึงควบคุมที่ระดับน้ำลึก 38 เซนติเมตร



#### 2.3.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen : DO)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในการทดลองนำร่องในแต่ละแบบของการทดลองพบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในถังที่ใส่ผักตบชวา จอก และถังควบคุม เมื่อระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือระยะเวลาเริ่มต้น (วันที่ 0) และหลังการปลูกพืช 3, 6, 9, 12 และ 15 วัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2 ภาคผนวก ก.

#### 2.3.5 ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ )

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากการออกซิไดซ์ซัลเฟตในน้ำและเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในถังทดลองทั้ง 6 ถัง พบว่าในถังที่ปลูกผักตบชวา ปลูกจอก และถังควบคุม ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2 ภาคผนวก ก.

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 1. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองที่ละชุดในสภาพธรรมชาติเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ ผักตบชวาและจอกในการกำจัดซัลเฟตในน้ำที่มาจากเหมืองแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ได้ดำเนินการที่ละชุด ตั้งแต่วันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2544 ถึงวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2545 โดยใช้ น้ำที่มาจากเหมืองแม่เมาะ ซึ่งได้รับการตรวจคุณภาพน้ำและนำไปบรรจุในถังทดลอง ถึงละ 100 ลิตร จำนวนทั้งหมด 6 ถัง โดยถังที่ 1, 2 และ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร และระดับน้ำลึก 80 เซนติเมตร และถังที่ 4, 5 และ 6 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 58 เซนติเมตร และระดับน้ำลึก 38 เซนติเมตร หลังจากนั้นใส่ผักตบชวาในถังที่ 1 และ 4 ให้ครอบคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100 และ 80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ใส่จอกในถังที่ 2 และ 5 ให้ครอบคลุมพื้นที่ผิวน้ำทั้ง 100 และ 80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับถังที่ 3 และ 6 เป็นถังควบคุมซึ่งไม่ใส่พืชน้ำ หลังจากนั้นนำน้ำทิ้ง จากกึ่งกลางถังทดลองทุกถังตรวจคุณภาพในช่วงระยะเวลาวันที่ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ดำเนินการ ทดลองรวมทั้งหมด 5 ครั้ง นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ข้อมูลของผลที่ได้ จากความแตกต่าง ของประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการบำบัดซัลเฟตด้วยกราฟและตรวจสอบทางสถิติด้วย One way analysis of variance ที่ระดับความเชื่อมั่น 95เปอร์เซ็นต์ พบว่า

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณซัลเฟตในถังที่ใส่ผักตบชวา จอก และถังควบคุมทั้ง 6 ถัง ในระยะเวลา 30 วัน ผักตบชวาและจอกลดปริมาณซัลเฟตในน้ำที่ จากเหมืองแม่เมาะได้ดีกว่าถังควบคุม และมีประสิทธิภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณซัลเฟตระหว่าง ถังที่ใส่ผักตบชวาและจอกทั้ง 4 ถัง พบว่าพืชทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณซัลเฟต ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยถังที่ใส่ผักตบชวาและจอก 100 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ผิวน้ำสามารถลดปริมาณซัลเฟตได้ 28.8 และ 30.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับถังที่ใส่ ผักตบชวาและจอก 80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวน้ำสามารถลดปริมาณซัลเฟตได้ 27.6 และ 28.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ขณะที่ถังควบคุมปริมาณซัลเฟตลดลงจากวันเริ่มต้น 9.2 และ 8.2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับประสิทธิภาพของผักตบชวาและจอกในการลดปริมาณซัลเฟตในน้ำที่ ขึ้นกับระยะเวลาที่เก็บ ผลปรากฏว่า ที่ระยะเวลาที่เก็บ 5-10 วัน ผักตบชวาและจอกสามารถลด

ปริมาณซัลเฟตได้มาก โดยมากที่สุดในวันที่ 5 แต่หลังจากวันที่ 10 การลดปริมาณซัลเฟตจะน้อยลงมากและน้อยที่สุดตั้งแต่วันที่ 20 เป็นต้นไป

นอกจากนี้เมื่อใส่ผักตบชวาและจอกคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 25 ของการทดลองสามารถลดค่าบีโอดีได้สูงสุด 88 และ 78 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่ที่ระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีค่าบีโอดีสูงขึ้น การลดค่าบีโอดีลดลงเหลือ 82 และ 76 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ส่วนแบบการทดลองที่ใส่ผักตบชวาและจอกคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 25 สามารถลดค่าบีโอดีได้สูงสุด 84 และ 78 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่ที่ระยะเวลากักเก็บ 30 วัน ในแบบทดลองที่ใส่ผักตบชวา การลดค่าบีโอดีเท่าเดิม คือ 84 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบการทดลองที่ใส่จอก พบว่ามีประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากพบว่ามีค่าบีโอดีสูงกว่าวันที่ 25 ส่วนถึงควบคุมที่ไม่ใส่พืชน้ำทั้งสองถึงพบว่าประสิทธิภาพในการลดของค่าบีโอดีเท่ากับ 56 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลค่าบีโอดีจากการวิจัยที่ได้ทั้ง 6 แบบการทดลองมาทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

และในแบบการทดลองที่ใส่ผักตบชวาและจอกคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 25 สามารถลดค่าสารแขวนลอย ได้สูงสุด 87 และ 76.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่ที่ระยะเวลากักเก็บ 30 วัน พบว่าการลดลงของสารแขวนลอยเหลือ 79.7 และ 72.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนแบบการทดลองที่ใส่ผักตบชวาและจอกคลุมพื้นที่ผิวน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 25 สามารถลดค่าสารแขวนลอยได้สูงสุด 81.9 และ 77.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และที่ระยะเวลากักเก็บ 30 วัน จะพบว่ามีค่าสารแขวนลอยสูงกว่าเดิม การลดค่าสารแขวนลอยลดลงเหลือ 79.1 และ 72.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถึงควบคุมที่ไม่ปลูกพืชน้ำทั้งสองถึงพบว่าการลดค่าสารแขวนลอยสูงสุดที่ระยะเวลากักเก็บ 30 วัน 49.7 และ 47.8 ตามลำดับ แต่เมื่อนำข้อมูลค่าสารแขวนลอยที่ได้จากการวิจัยทั้ง 6 แบบการทดลองมาทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

สำหรับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำทิ้งในถึงการทดลองทั้ง 6 แบบ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

## 2. อภิปรายผล

ถึงแม้ว่าได้มีรายงานผลการศึกษาทดลองใช้ผักตบชวาและจอกในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ (Walverton, 1975; Lee and Mckin, 1981; มุกดา สุขสมาน, 2532; อภิชัย เขียวศิริกุล, 2533; สร้อยดาว ยวดยง, 2534; จิตติมา วสุสิน, 2539; บุญรอด สวัสดิ์พานิช, 2541; สรรเพชญ อังกิติตระกูล, 2541) ก็ตาม แต่ไม่มีรายงานการศึกษาทดลองใช้ผักตบชวาและจอกในการบำบัดซัลเฟตจากน้ำเสียต่าง ๆ ดังกล่าว ซึ่งจากผลการวิจัยเชิงทดลองโดยใช้ผักตบชวาและจอกในการบำบัดซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะในระยะเวลา 30 วัน ได้พบว่าเมื่อใช้ผักตบชวาและจอกใส่ในถังทดลองปกคลุม 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ 100 ลิตร สามารถลดปริมาณซัลเฟตสะสมลงได้ 27.6 ถึง 28.8 และ 28.2 ถึง 30.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพสูงในช่วงระยะเวลากักเก็บในช่วงมากกว่า 0-10 วัน

นอกจากนี้ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้พบว่าผักตบชวาและจอกสามารถลดค่าบีโอดีและปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะได้ด้วย โดยลดค่าบีโอดีสะสมได้ 84.0 ถึง 28.0 และ 76.0 ถึง 78.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และสามารถลดปริมาณค่าสารแขวนลอยสะสมได้ 81.9 ถึง 87.0 และ 77.7 ถึง 78.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยสามารถลดค่าบีโอดีได้สูง 50.0 ถึง 54.0 และ 48 ถึง 52 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในระยะเวลากักเก็บในช่วงมากกว่า 0-10 วัน และมีประสิทธิภาพลดค่าสารแขวนลอยได้สูง 69.0 ถึง 70.1 และ 67.6 ถึง 68.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในระยะเวลากักเก็บมากกว่า 0 -10 วัน

ซึ่งผลการศึกษาทดลองโดยใช้ผักตบชวาและจอกในการลดค่าบีโอดีในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะนี้ได้ผลสอดคล้องกับการวิจัยใช้ผักตบชวาในการลดค่าบีโอดีในการกำจัดมลสารในระบบชีวภาพ (McDonale and Wolverton, 1980) ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 (สร้อยดาว ยวดยง, 2534) การบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยและชุมชน (ปรีดา แยมเจริญวงศ์, 2533; จิตติมา วสุสิน, 2539; บุญรอด สวัสดิ์พานิช, 2541; Lee and Mckim, 1981) และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (สรรเพชญ อังกิติตระกูล, 2541) ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีของผักตบชวาและจอก

ชนิดของ พืชน้ำ	นักวิจัย	ปริมาณพืชน้ำที่ใช้	ระยะเวลา เก็บกัก	ร้อยละของการ ลดค่าบีโอดี
ผักตบชวา	สุมิตร จำปา, 2545	10 และ 20 kg/m <sup>2</sup>	30 วัน	84.0-88.0
	สรรเพชร อังคีติตระกูล, 2541	4 kg/m <sup>2</sup>	1 สัปดาห์	29.5
			2 สัปดาห์	37.3
	ปรีดา แยมเจริญวงศ์, 2533	คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 3.8%	6 สัปดาห์	50.1
	จิตติมา วสุสิน, 2539	คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100%	15 วัน	76.7
	McDonale and Wolverton, 1980	คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 33 และ 100%	5 เดือน	79-86
	บุญรอด สวัสดิ์พานิช, 2540	-	20 วัน	89.4
	สร้อยดาว ยวดยง, 2534	4, 8, 12, 16 kg/m <sup>2</sup>	10 วัน	76.4-94.4
จอก	สุมิตร จำปา, 2545	10 และ 20 kg/m <sup>2</sup>	30 วัน	76.0-78.0
	จิตติมา วสุสิน, 2539	คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 100%	15 วัน	56.2

สำหรับความสามารถของผักตบชวาในการลดค่าสารแขวนลอยนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาใช้ผักตบชวาในการลดค่าสารแขวนลอยในการกำจัดสารมลพิษในระบบชีวภาพ (McDonale and Wolverton et al. 1980) ในระบบน้ำที่ทิ้งจากที่พักอาศัยและชุมชน (ปรีดา แยมเจริญวงศ์, 2533; บุญรอด สวัสดิ์พานิช, 2541; Lee and Mckim, 1981) และน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (สรรเพชร อังคีติตระกูล, 2541) ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพในการลดค่าสารแขวนลอยของผักตบชวา

นักวิจัย	ปริมาณผักตบชวา ที่ใช้	ระยะเวลา เก็บกัก	ร้อยละของการ ลดค่าสารแขวนลอย
สุมิตร จำปา, 2545	10 และ 20 kg/m <sup>2</sup>	30 วัน	76.0-78.0
สรรเพชร อังกิติติตระกูล, 2541	4 kg/m <sup>2</sup>	1 สัปดาห์	24.9
		2 สัปดาห์	39.1
McDonale and Wolverton, 1980	คลุมพื้นที่ผิวน้ำ 33 และ 100%	5 เดือน	33.0-95.0
สร้อยดาว ยวดยง, 2534	4, 8, 12, 16 kg/m <sup>2</sup>	10 วัน	73.8-91.9
บุญรอด สวัสดิ์พานิช, 2540	-	10 วัน	95.0

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาเก็บกักเกินนานขึ้น (มากกว่า 25 วัน) ประสิทธิภาพในการลดค่าสารแขวนลอยของผักตบชวาและจอกลดลง โดยค่าสารแขวนลอยในน้ำที่สูงขึ้น ซึ่งจากการศึกษาของมุกดา สุขสมาน และคณะ (2532) โดยใช้ผักตบชวาและการบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน ทอผ้าได้พบว่าค่าสารแขวนลอยในระยะแรกลดลงเล็กน้อย แต่ต่อมามีค่าสารแขวนลอยได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการที่ค่าสารแขวนลอยเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเน่าของพีชน้ำที่มีใบแก่ และเศษรากของพีชน้ำที่หลุดออกมา

สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อย ยกเว้นเมื่อศึกษา ระยะเวลาสั้นจะมีการตายของพีชน้ำ ทำให้เกิดขบวนการย่อยสลายให้กรดอินทรีย์ออกมา ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (มุกดา สุขสมานและคณะ, 2532)

### 3. ข้อเสนอแนะ

#### 3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

จากผลการศึกษานี้เมื่อนำผักตบชวาและจอกไปใช้ในการกำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้งเหมือนแม่เมาะพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซัลเฟตสูงในช่วง 10 วันแรก หลังจากนั้นที่ 10 ไปแล้ว

การลดปริมาณซัลเฟตลดลงมากถ้านำผักตบชวาและจอกไปใช้บำบัดน้ำทิ้งในบ่อพักของ  
เหมืองแม่เมาะ ควรเปลี่ยนผักตบชวาและจอกชุดใหม่แทนชุดเดิมเพื่อให้ประสิทธิภาพในการกำจัด  
ซัลเฟตสูงต่อเนื่องตลอดเวลา โดยอาจดำเนินการเปลี่ยนผักตบชวาและจอกหลายชุดให้ปริมาณ  
ซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะลดลงอยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเหมืองแม่เมาะ  
สามารถดำเนินการได้ เนื่องจากในหน่วยงานของเหมืองแม่เมาะมีศักยภาพสูงทั้งกำลังคนและ  
เครื่องจักร ประกอบกับในแหล่งน้ำธรรมชาติในเขตอำเภอแม่เมาะ มีผักตบชวาและจอกจำนวนมาก  
ที่สามารถนำมาใช้บำบัดซัลเฟตได้ ฉะนั้นจึงสามารถดำเนินการเปลี่ยนพีชน้ำ หรือเก็บเกี่ยวพีชน้ำ  
ชุดเดิมขึ้น นำพีชน้ำชุดใหม่ไปใส่แทน นอกจากนี้ผักตบชวาและจอกที่ใช้บำบัดซัลเฟตในน้ำทิ้งแล้ว  
เมื่อเก็บเกี่ยวขึ้นมายังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่นทำปุ๋ยหมัก ผลิตก๊าซมีเทน หรือทำผลิตภัณฑ์  
หัตถกรรม

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเบื้องต้นในการใช้ระบบชีวภาพโดยใช้พีชน้ำในการ  
กำจัดซัลเฟตในน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะ โดยทดลองในถังซึ่งมีปริมาณน้ำทิ้งและปริมาณซัลเฟต  
คงที่ไม่มีการเพิ่มเข้ามาหรือถ่ายเทออกไปหลังการทดลอง แต่ในสถานที่จริงมีการไหลของน้ำทิ้งตลอด  
เวลาจึงควรขยายการวิจัยไปบำบัดน้ำทิ้งในสถานที่จริง ซึ่งจะให้ผลที่เด่นชัดขึ้น นอกจากนี้พีชที่ใช้  
ทดลองมีปัจจัยในการเจริญเติบโต อายุของพีชและระยะเวลาการเจริญเติบโตไม่เหมือนกัน  
อาจมีผลต่อการบำบัดได้ต่างกัน จึงควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเริ่มต้น  
ความหนาแน่นสุดท้าย ระยะเวลาที่ควรเก็บเกี่ยวผักตบชวาและจอกออกจากบ่อบำบัด

### 3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาเปรียบเทียบโดยเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำทิ้งให้ยาวขึ้น
2. การศึกษาระยะเวลา ความถี่ และปริมาณที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวพีชน้ำ  
ออกเป็นระยะเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 1 แสดงวัน เดือน ปี ที่ดำเนินการวิจัย และคุณภาพน้ำทิ้งที่นำมาวิจัย

การทดลองครั้งที่	วัน เดือน ปี ที่ดำเนินการวิจัย	คุณภาพน้ำทิ้งจากเหมืองแม่เมาะวันที่เริ่มดำเนินการวิจัย			
		Sulfate (mg / l)	pH	BOD (mg / l)	TSS (mg / l)
1. (ทดลองนำร่อง)	15 ตุลาคม 2544 -30 ตุลาคม 2544	611.3	6.15	5.6	94
2.	3 พฤศจิกายน 2544 - 3 ธันวาคม 2544	849.1	6.41	5.8	81
3.	3 ธันวาคม 2544 - 3 มกราคม 2545	1,073.2	6.15	4.9	69
4.	3 มกราคม 2545 - 2 กุมภาพันธ์ 2545	1,095.1	6.81	5.1	72
5.	2 กุมภาพันธ์ 2545 - 4 มีนาคม 2545	1,125.8	6.48	5.0	63
6.	10 มีนาคม 2545 - 20 เมษายน 2545	1,204.0	6.52	4.4	79



ตารางที่ 2 ผลการตรวจหาปริมาณมลสารต่างๆ ในการทดลองน้ำร่อง

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บ (วัน)	Sulfate (mg/l)	pH	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	DO (mg/l)
1 ใส่ผักตบชวาเต็มพื้นที่ ผิวน้ำ	0	611.3	6.15	5.6	94	0.0	5.3
	3	606.6	6.08	4	48	0.0	4.2
	6	592.6	6.31	3.1	26	0.1	4.2
	9	583.3	6.26	2.5	18	0.1	4.2
	12	555.3	6.41	1.9	15	0.1	4.2
	15	536.6	6.38	1.8	17	0.1	4.2
	2 ใส่จอกเต็มพื้นที่ผิวน้ำ	0	611.3	6.15	5.6	94	0.0
3		593.9	6.1	4.2	49	0.0	4.2
6		559.9	6.25	3.3	26	0.1	4.1
9		527.3	6.26	2.7	19	0.1	4.1
12		513.3	6.36	2.1	20	0.1	4.2
15		508.6	6.31	2	22	0.1	4.2

หมายเหตุ ช่วงเวลาดำเนินการทดลองมีฝนตกชุก เมื่อครบ 15 วัน น้ำทิ้งในถังทดลองมีปริมาณมากกว่าวันเริ่มต้นทดลอง

ตารางที่ 2 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บ (วัน)	Sulfate (mg/l)	pH	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	DO (mg/l)
3 ถังควบคุมไม่ใส่พีชน้ำ	0	611.3	6.15	5.6	94	0.0	5.3
	3	597.3	6.13	4.8	53	0.0	4.6
	6	587.9	6.24	4.4	31	0.1	4.6
	9	578.6	6.28	4.2	22	0.0	4.3
	12	559.9	6.33	3.9	16	0.0	4.4
	15	559.9	6.3	3.9	15	0.0	4.4
4 ใส่ผักตบชวา 10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	0	611.3	6.15	5.6	94	0.0	5.3
	3	573.9	6.13	3.8	50	0.0	5
	6	564.6	6.22	2.4	27	0.0	4.9
	9	555.3	6.28	1.5	18	0.0	4.9
	12	550.6	6.34	1	16	0.1	4.9
	15	527.3	6.32	0.8	18	0.1	4.9

หมายเหตุ ช่วงเวลาดำเนินการทดลองมีฝนตกชุก เมื่อครบ 15 วัน น้ำทิ้งในถังทดลองมีปริมาณมากกว่าวันเริ่มต้นทดลอง

ตารางที่ 2 (ต่อ)

แบบการทดลอง	ระยะเวลาเก็บ (วัน)	Sulfate (mg/l)	pH	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	DO (mg/l)
5 ใส่จอก 10 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) / ตารางเมตร	0	611.3	6.15	5.6	94	0.0	5.3
	3	587.9	6.15	3.9	51	0.0	5
	6	559.9	6.22	2.9	26	0.0	4.9
	9	536.6	6.27	2.1	19	0.0	4.9
	12	503.9	6.3	1.5	20	0.1	4.9
	15	489.9	6.33	1.2	23	0.1	4.8
6 ถังควบคุมไม่ใส่พีชน้ำ	0	611.3	6.15	5.6	94	0.0	5.3
	3	606.6	6.17	4.3	54	0.0	4.8
	6	597.3	6.25	3.8	30	0.0	4.7
	9	587.9	6.28	3.6	19	0.0	4.8
	12	578.6	6.29	3.5	15	0.0	4.9
	15	578.6	6.31	3.4	15	0.0	4.8

หมายเหตุ ช่วงเวลาดำเนินการทดลองมีฝนตกชุก เมื่อครบ 15 วัน น้ำทิ้งในถังทดลองมีปริมาณมากกว่าวันเริ่มต้นทดลอง

## Descriptives

Sulfate removal

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	35	20.409	10.797	1.825	16.700	24.117	.0	32.4
2	35	22.131	11.474	1.940	18.190	26.073	.0	34.7
3	35	5.671	3.493	.590	4.472	6.871	.0	11.3
4	35	18.789	10.230	1.729	15.274	22.303	.0	29.9
5	35	19.614	10.421	1.761	16.035	23.194	.0	31.0
6	35	4.583	2.915	.493	3.582	5.584	.0	9.8
Total	210	15.200	11.425	.788	13.645	16.754	.0	34.7

## Test of Homogeneity of Variances

Sulfate removal

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
16.694	5	204	.061

## ANOVA

Sulfate removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10886.928	5	2177.386	27.094	.000
Within Groups	16394.222	204	80.364		
Total	27281.150	209			

Multiple Comparisons (Sulfate removal)

(I) Tank	(J) Tank	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-1.723	2.143	.986	-8.924	5.478
	3	14.737*	2.143	.000	7.536	21.938
	4	1.620	2.143	.989	-5.581	8.821
	5	.794	2.143	1.000	-6.407	7.995
	6	15.826*	2.143	.000	8.625	23.027
2	1	1.723	2.143	.986	-5.478	8.924
	3	16.460*	2.143	.000	9.259	23.661
	4	3.343	2.143	.786	-3.858	10.544
	5	2.517	2.143	.926	-4.684	9.718
	6	17.549*	2.143	.000	10.348	24.750
3	1	-14.737*	2.143	.000	-21.938	-7.536
	2	-16.460*	2.143	.000	-23.661	-9.259
	4	-13.117*	2.143	.000	-20.318	-5.916
	5	-13.943*	2.143	.000	-21.144	-6.742
	6	1.089	2.143	.998	-6.112	8.290
4	1	-1.620	2.143	.989	-8.821	5.581
	2	-3.343	2.143	.786	-10.544	3.858
	3	13.117*	2.143	.000	5.916	20.318
	5	-.826	2.143	1.000	-8.027	6.375
	6	14.206*	2.143	.000	7.005	21.407
5	1	-.794	2.143	1.000	-7.995	6.407
	2	-2.517	2.143	.926	-9.718	4.684
	3	13.943*	2.143	.000	6.742	21.144
	4	.826	2.143	1.000	-6.375	8.027
	6	15.031*	2.143	.000	7.830	22.232
6	1	-15.826*	2.143	.000	-23.027	-8.625
	2	-17.579*	2.143	.000	-24.750	-10.348
	3	-1.089	2.143	.998	-8.290	6.112
	4	-14.206*	2.143	.000	-21.407	-7.005
	5	-15.031*	2.143	.000	-22.232	-7.830

### Descriptives

ค่า pH

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for		Minimum	Maximum
					Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
1	35	6.4877	.3186	5.385E-02	6.3783	6.5971	5.75	7.12
2	35	6.4577	.2736	4.625E-02	6.3637	6.5517	6.00	6.98
3	35	6.4706	.3768	6.368E-02	6.3412	6.6000	6.02	7.50
4	35	6.4786	.3720	6.287E-02	6.3508	6.6063	5.78	7.09
5	35	6.3937	.3070	5.189E-02	6.2883	6.4992	5.74	6.93
6	35	6.4597	.2988	5.050E-02	6.3571	6.5623	6.11	7.56
Total	210	6.4580	.3242	2.237E-02	6.4139	6.5021	5.74	7.56

### Test of Homogeneity of Variances

ค่า pH

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.366	5	204	.238

### ANOVA

ค่า pH

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.196	5	3.920E-02	.367	.871
Within Groups	21.765	204	.107		
Total	21.961	209			

Multiple Comparisons (ค่า pH)

(I) Tank	(J) Tank	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	3.000E-02	7.808E-02	1.000	-.2324	.2924
	3	1.714E-02	7.808E-02	1.000	-.2452	.2795
	4	9.143E-03	7.808E-02	1.000	-.2532	.2715
	5	9.400E-02	7.808E-02	.918	-.1684	.3564
	6	2.800E-02	7.808E-02	1.000	-.2344	.2904
2	1	-3.0000E-02	7.808E-02	1.000	-.2924	.2324
	3	-1.2857E-02	7.808E-02	1.000	-.2752	.2495
	4	-2.0857E-02	7.808E-02	1.000	-.2832	.2415
	5	6.400E-02	7.808E-02	.984	-.1984	.3264
	6	-2.0000E-03	7.808E-02	1.000	-.2644	.2604
3	1	-1.7143E-02	7.808E-02	1.000	-.2795	.2452
	2	1.286E-02	7.808E-02	1.000	-.2495	.2752
	4	-8.0000E-03	7.808E-02	1.000	-.2704	.2544
	5	7.686E-02	7.808E-02	.965	-.1855	.3392
	6	1.086E-02	7.808E-02	1.000	-.2515	.2732
4	1	-9.1429E-03	7.808E-02	1.000	-.2715	.2532
	2	2.086E-02	7.808E-02	1.000	-.2415	.2832
	3	8.000E-03	7.808E-02	1.000	-.2544	.2704
	5	8.486E-02	7.808E-02	.946	-.1775	.3472
	6	1.886E-02	7.808E-02	1.000	-.2435	.2812
5	1	-9.4000E-02	7.808E-02	.918	-.3564	.1684
	2	-6.4000E-02	7.808E-02	.984	-.3264	.1984
	3	-7.6857E-02	7.808E-02	.965	-.3392	.1855
	4	-8.4857E-02	7.808E-02	.946	-.3472	.1775
	6	-6.6000E-02	7.808E-02	.982	-.3284	.1964
6	1	-2.8000E-02	7.808E-02	1.000	-.2904	.2344
	2	2.000E-03	7.808E-02	1.000	-.2604	.2644
	3	-1.0857E-02	7.808E-02	1.000	-.2732	.2515
	4	-1.8857E-02	7.808E-02	1.000	-.2812	.2435
	5	6.600E-02	7.808E-02	.982	-.1964	.3284

### Descriptives

BOD removal

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	35	56.297	30.950	5.232	45.665	66.929	.0	90.1
2	35	55.151	28.654	4.843	45.308	64.994	.0	87.0
3	35	38.049	19.857	3.356	31.228	44.870	.0	60.0
4	35	64.363	29.689	5.018	54.164	74.561	.0	93.2
5	35	56.660	28.917	4.888	46.727	66.593	.0	84.1
6	35	39.966	20.435	3.454	32.946	46.985	.0	63.8
Total	210	51.748	28.137	1.942	47.920	55.757	.0	93.2

### Test of Homogeneity of Variances

BOD removal

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.139	5	204	.09

### ANOVA

BOD removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18971.295	5	3794.259	5.284	.00
Within Groups	146488.329	204	718.080		
Total	165459.624	209			



Multiple Comparisons (BOD removal)

(I) Tank	(J) Tank	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	1.146	6.406	1.000	-20.379	22.671
	3	18.249	6.406	.155	-3.277	39.774
	4	-8.066	6.406	.902	-29.591	13.459
	5	-.363	6.406	1.000	-21.888	21.162
	6	16.331	6.406	.265	-5.194	37.857
2	1	-1.146	6.406	1.000	-22.671	20.379
	3	17.103	6.406	.216	-4.422	38.628
	4	-9.211	6.406	.839	-30.737	12.314
	5	-1.509	6.406	1.000	-23.034	20.017
	6	15.186	6.406	.349	-6.339	36.711
3	1	-18.249	6.406	.155	-39.774	3.277
	2	-17.103	6.406	.216	-38.628	4.422
	4	-26.314*	6.406	.006	-47.839	-4.789
	5	-18.611	6.406	.139	-40.137	2.914
	6	-1.917	6.406	1.000	-23.442	19.608
4	1	8.066	6.406	.902	-13.459	29.591
	2	9.211	6.406	.839	-12.314	30.737
	3	26.314*	6.406	.006	4.789	47.839
	5	7.703	6.406	.919	-13.822	29.228
	6	24.397*	6.406	.015	2.872	45.922
5	1	.363	6.406	1.000	-21.162	21.888
	2	1.509	6.406	1.000	-20.017	23.034
	3	18.611	6.406	.139	-2.914	40.137
	4	-7.703	6.406	.919	-29.228	13.822
	6	16.694	6.406	.241	-4.831	38.219
6	1	-16.331	6.406	.265	-37.857	5.194
	2	-15.186	6.406	.349	-36.711	6.339
	3	1.917	6.406	1.000	-19.608	23.442

4	-24.397*	6.406	.015	-45.922	-2.872
5	-16.694	6.406	.241	-38.219	4.831

### Descriptives

TSS removal

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					1	35		
2	35	61.51	27.60	4.67	52.02	70.99	0	82
3	35	36.12	18.08	3.06	29.91	42.33	0	68
4	35	63.81	28.80	4.87	53.91	73.70	0	89
5	35	61.74	27.67	4.68	52.24	71.25	0	84
6	35	34.26	17.69	2.99	28.18	40.33	0	56
Total	210	53.42	28.03	1.93	49.61	57.23	0	89

### Test of Homogeneity of Variances

TSS removal

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.941	5	204	.089

### ANOVA

TSS removal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	35083.714	5	7016.743	11.081	.000
Within Groups	129178.010	204	633.226		

Total	164261.724	209
-------	------------	-----

Multiple Comparisons (TSS removal)

(I) Tank	(J) Tank	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	1.57	6.02	1.000	-18.64	21.79
	3	26.96*	6.02	.002	6.75	47.17
	4	-.73	6.02	1.000	-20.94	19.48
	5	1.34	6.02	1.000	-18.88	21.55
	6	28.82*	6.02	.001	8.61	49.04
2	1	-1.57	6.02	1.000	-21.79	18.64
	3	25.39*	6.02	.004	5.17	45.60
	4	-2.30	6.02	.001	-22.52	17.91
	5	-.24	6.02	.004	-20.45	19.98
	6	27.25*	6.02	1.000	7.04	47.46
3	1	-26.96*	6.02	.002	-47.17	-6.75
	2	-25.39*	6.02	.004	-45.60	-5.17
	4	-27.69*	6.02	.001	-47.90	-7.48
	5	-25.62*	6.02	.004	-45.84	-5.41
	6	1.86	6.02	1.000	-18.35	22.08
4	1	.73	6.02	1.000	-19.48	20.94
	2	2.30	6.02	1.000	-17.91	22.52
	3	27.69*	6.02	.001	7.48	47.90
	5	2.07	6.02	1.000	-18.15	22.28
	6	29.55*	6.02	.000	9.34	49.76
5	1	-1.34	6.02	1.000	-21.55	18.88
	2	.24	6.02	1.000	-19.98	20.45
	3	25.62*	6.02	.004	5.41	45.84
	4	-2.07	6.02	1.000	-22.28	18.15
	6	27.49*	6.02	.001	7.27	47.70

---

6	1	-28.82*	6.02	.001	-49.04	-8.61
	2	-27.25*	6.02	.001	-47.46	-7.04
	3	-1.86	6.02	1.000	-22.08	18.35
	4	-29.55*	6.02	.000	-49.76	-9.34
	5	-27.49*	6.02	.001	-47.70	-7.27

---

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายสุमितร์ จำปา
วัน เดือน ปี เกิด	2 สิงหาคม 2510
สถานที่เกิด	อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง
ประวัติการศึกษา	- วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2533 - นิติศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พ.ศ. 2541 - สาธารณสุขศาสตรบัณฑิต (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พ.ศ. 2543
สถานที่ทำงาน	สำนักงานแพทย์และอนามัย การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี
ตำแหน่ง	นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ระดับ 7
ทุนการศึกษาวิจัยที่ได้รับ	ได้รับทุนการศึกษาวิจัยในการศึกษาระดับปริญญาโทจาก มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช