รหัสโครงการ SUT7-719-57-12-40

รายงานการวิจัย

แผนแม่บทสำหรับการจัดการความเป็นกรดของน้ำในเหมืองแร่ถ่านหิน

(Master Plan for managing Acid Mine Drainage of Coal Mines)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-719-57-12-40

รายงานการวิจัย

แผนแม่บทสำหรับการจัดการความเป็นกรดของน้ำในเหมืองแร่ถ่านหิน

(Master Plan for managing Acid Mine Drainage of Coal Mines)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ศาสตราจารย์ ดร.กิตติเทพ เฟื่องขจร

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2557

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ซึ่งงานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีก็ด้วยความช่วยเหลือจากทีมงานหน่วยวิจัยกลศาสตร์ธรณีในการทดสอบและ นางสาวกัลญา พับโพธิ์ ในการพิมพ์รายงานการวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

สิงหาคม 2557

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

วิธีการแก้ไขปัญหาความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองภายหลังสิ้นสุดกิจกรรมการทำเหมืองที่ใช้กันในปัจจุบันนั้นมีค่าใช้จ่ายสูงและใช้ระยะเวลานาน โดยมักจะมีการสูบน้ำที่มีสภาพเป็นกรดออกจากเหมืองเพื่อเก็บไว้ในบ่อบำบัดและบ่อพักที่ต้องสร้างขึ้นบนผิวดิน วิธีการนี้ต้องหมั่นตรวจสอบดูแลไม่ให้เกิดการรั่วไหลของน้ำกรดสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมใกล้เคียงจนกว่าการบำบัดจะแล้วเสร็จ การศึกษานี้ได้เสนอวิธีการแก้ไขปัญหาแบบใหม่เพื่อเป็นทางเลือกในการบำบัดความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง ซึ่งช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน วิธีการดังกล่าวสามารถบำบัดน้ำได้โดยไม่จำเป็นต้องสูบน้ำออกจากบ่อเหมือง ส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ลดระยะเวลา และลดความเสี่ยงต่อการรั่วไหลของน้ำกรดสู่ภายนอก การสำรวจภาคสนามเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรปฏิบัติเพื่อหาสาเหตุและที่มาของความเป็นกรดที่เกิดขึ้นกับน้ำในบ่อเหมือง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ในภาคสนามมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อกำหนดชนิดและปริมาณของสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดความเป็นกรด การบำบัดน้ำในภาคสนามต้องสังเกตการเปลี่ยนแปลงและการกระจายตัวของความเป็นกรดเพื่อยืนยันว่าสารเคมีสามารถแพร่กระจายได้อย่างทั่วถึงทั้งพื้นที่บ่อทุกระดับความลึก เฝ้าสังเกตประสิทธิภาพของกระบวนการบำบัดน้ำด้วยการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในบ่อเหมืองกับมาตรฐานน้ำที่กฎหมายกำหนด วิธีการบำบัดที่นำเสนอนี้ได้ผ่านการทดสอบกับเหมืองจริงแล้ว และได้นำเสนอขั้นตอนการปฏิบัติงานในรูปของแผนแม่บทในรายงานนี้ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับเหมืองแร่อื่นๆ ที่ประสบปัญหาในลักษณะเดียวกันนี้ได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

The current method and equipment used to remedial the acid mine drainage in coal mine pits after decommissioning are time-consuming and expensive. The conventional practice normally involves pumping the acidic water out of the pit to a series of man-made storage and sedimentation ponds on the surface. Care has to be taken to ensure that no leakage of the acid water to the nearby farmlands, rivers and streams has occurred during the remediation process. This study proposes a new alternative method of acid mine drainage remediation to reduce the cost and time as compared to the conventional method. The neutralization of the acidic water is made in the pit without removing or transferring the water, and hence significantly reducing the cost, time and the risk of contamination and leakage to the nearby area. Detailed field site investigation is recommended to determine the sources and concentration of the acidity in the water. Appropriate amount and type of the neutralizing agents are then determined and tested in the laboratory. The in-situ remediation activity takes into consideration the variation and distribution of the acidity to ensure that the neutralization process has covered both areal and depth of the pit. Monitoring program of the effectiveness of the neutralization is derived by using the standard water quality as an index. The effectiveness of the proposed method has been demonstrated by using an actual coal mine pit. The new method is presented in the form of master plan in the report so that it can be applied to other mine site where similar situation and requirements are encountered.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูปภาพ ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 1
1.3 ขอบเขตของโครงการการวิจัย 2
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย 3
1.5 ประเด็นยุทธศาสตร์ 3
1.6 เป้าหมายและตัวชี้วัด 4
1.7 วิธีดำเนินการวิจัย 4
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7
1.9 ผลกระทบและความเสี่ยงที่สำคัญ 7

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
2.1 สาเหตุการเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง 9
2.2 แนวทางวิธีการบำบัดความเป็นกรดของน้ำ 10
2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน 11
2.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหลงน้ำใต้ดิน 16

บทที่ 3 กลยุทธ์และแนวทางการดำเนินการ 21
3.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลสำคัญในภาคสนาม 21
3.2 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การทดสอบการบำบัดน้ำแบบย่อส่วน 23
3.4 การบำบัดน้ำในบ่อเหมืองจริง 24
3.5 การป้องกันความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง 24

บทที่ 4 ตัวอย่างการปฏิบัติงานในเหมืองถ่านหิน จ.ลำพูน 27
4.1 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา 27
4.2 กลยุทธ์และขั้นตอนการดำเนินงาน 27

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัย 41

บรรณานุกรม 43

ประวัตินักวิจัย 45

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ระดับและพิกัดของจุดเก็บตัวอย่างดินในบ่อเหมือง 31
4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำในห้องปฏิบัติการ 32
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีในห้องปฏิบัติการของดิน 32
4.4 ผลการคำนวณปริมาณกรดซัลฟูริกที่มีอยู่ในน้ำ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการบำบัดความเป็นกรด 33
4.5 อัตราส่วนของสารเคมีต่อน้ำในบ่อเหมือง 37

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ **หน้า**

1.1 แนวคิดเบื้องต้นในการออกแบบบนพื้นฐานของการบำบัดน้ำในบ่อเหมือง โดยไม่มีการสูบน้ำออกจากบ่อ 3

1.2 การออกแบบระบบและอุปกรณ์บำบัดน้ำเป็นกรด โดยแสดงการทดลองบำบัดขนาดย่อส่วน 3

4.1 ลักษณะบ่อเหมืองลิ้เดือนมีนาคม 2554 (มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้) 28

4.2 ส่วนประกอบของชุดกระบอกเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเหมือง 29

4.3 การเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเหมืองด้วยชุดกระบอกเก็บตัวอย่าง 30

4.4 การนำตัวอย่างน้ำจากบ่อเหมืองมาจำลองการบำบัด 35

4.5 รูปแบบจำลองการบำบัดความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง 35

4.6 การวัดค่า pH ของน้ำหลังการจำลองการบำบัดในภาคสนาม 36

4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ขณะที่ทำการจำลองการบำบัด 36

4.8 วิธีการบำบัดความเป็นกรดในบ่อเหมือง 38

4.9 ความลาดชันที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลที่มีกรวดหินปูนหนา 3–4 เซนติเมตร ปูอยู่บนผิวของเบนช์ 40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

กิจการทำเหมืองแร่ เป็นกิจการที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อทรัพยากรป่าไม้อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่เนื่องจากความจำเป็นในการใช้ทรัพยากรแร่เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาสาธารณูปโภคพื้นฐาน พลังงาน เกษตรกรรม ฯลฯ ขณะเดียวกันกิจการทำเหมืองแร่ที่ผ่านมา ไม่มีการฟื้นฟูสภาพพื้นที่ที่ผ่านการทำเหมืองไปแล้วอย่างจริงจัง มักถูกปล่อยให้เป็นพื้นที่ว่างเปล่า จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของชุมชนในบริเวณใกล้เคียงตามมา

ทรัพยากรแร่จัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ผลิตขึ้นมาใช้แล้วหมดไปจากแหล่งกำเนิด ซึ่งปัจจุบันการสำรวจและผลิตแร่มีความซับซ้อนและต้องใช้องค์ความรู้ด้านวิชาการเพิ่มมากขึ้นกว่าในอดีต เนื่องจากความต้องการของภาคอุตสาหกรรมที่มากขึ้น ทำให้การลงทุนทำเหมืองแร่เกิดการขยายตัวเป็นอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่เพื่อให้คุ้มค่าต่อการลงทุน ในขณะเดียวกันขั้นตอนการผลิตอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็น ป่าไม้ ดิน น้ำ และอากาศ โดยเฉพาะแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือแหล่งน้ำที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำเหมือง มักตรวจพบสารปนเปื้อนจากการทำเหมืองในปริมาณมากกว่าแหล่งทรัพยากรชนิดอื่นๆ ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียที่นอกจากจะไม่สามารถนำน้ำในบ่อเหมืองมาใช้ประโยชน์ได้แล้ว ยังเป็นแหล่งน้ำที่อันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในบริเวณโดยรอบ หนึ่งในปัญหาน้ำในบ่อเหมืองที่สำคัญคือ ปัญหาสภาพความเป็นกรดของน้ำ อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมีของแร่ที่เกิดจากการผลิต หรือชั้นแร่ที่สัมผัสกับแหล่งน้ำ กระบวนการดังกล่าวมีผลทำให้น้ำในบ่อเหมืองมีสมบัติเป็นกรด ดังนั้น การฟื้นฟูสภาพบ่อเหมืองภายหลังการทำเหมืองเสร็จสิ้นจึงเป็นภารกิจที่ผู้ประกอบการเหมืองแร่ต้องปฏิบัติ เพื่อให้ถูกต้องตามกฎหมาย เพื่อความปลอดภัยของชุมชน และเพื่อเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมให้มีความสมดุลในระยะยาวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1) เพื่อร่างแผนแม่บทสำหรับการบำบัดความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองรวมไปถึงวิธีการ ขั้นตอนการปฏิบัติ ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ และข้อควรระวัง
2) เพื่อส่งเสริมให้วิธีการบำบัดความเป็นกรดในบ่อเหมืองเป็นวิธีมาตรฐานที่สามารถใช้ได้ในวงกว้างอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นรูปธรรม

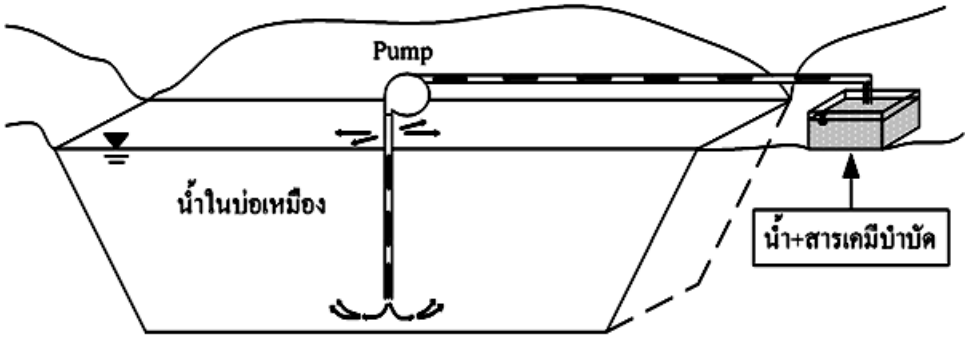
3) เพื่อศึกษาและออกแบบแนวทางและกรรมวิธีการบำบัดความเป็นกรด จำลองการบำบัดความเป็นกรดของน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวอย่างของน้ำที่มีความเป็นกรดจากตัวอย่างจริงจากเหมืองแร่ถ่านหิน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

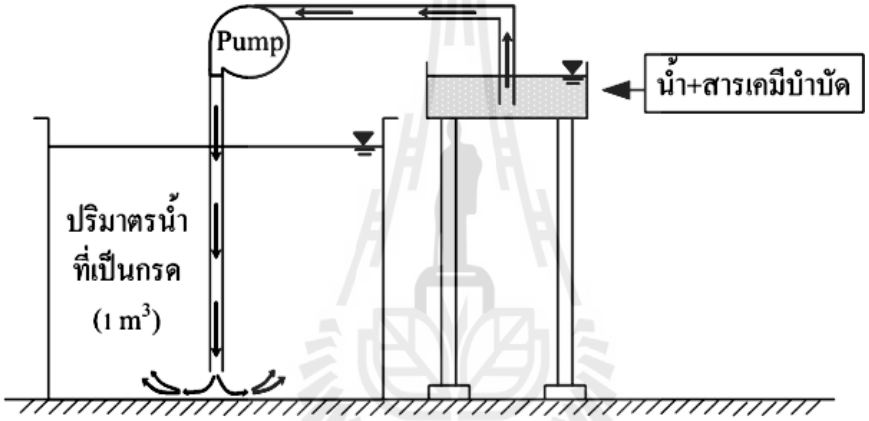
1) ศึกษาและสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งที่มีความเป็นกรดในบ่อเหมืองเพื่อใช้เป็นต้นแบบการบำบัด
2) ทดสอบคุณสมบัติน้ำที่ได้จากบ่อเหมืองเพื่อหาความเป็นกรด ค่า pH และสารประกอบในน้ำที่ทำให้เกิดความเป็นกรด
3) ออกแบบระบบการบำบัด กำหนดสารเคมีที่ใช้ รูปแบบ และขนาดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
4) เขียนแผนแม่บทสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำแบบใหม่ที่ได้จากการศึกษาเพื่อสร้างบรรทัดฐานในการบำบัดความเป็นกรดในบ่อเหมือง
5) สรุปผลและเขียนรายงาน

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

แนวคิดของการออกแบบจะอยู่บนพื้นฐานของการบำบัดน้ำในบ่อเหมืองโดยไม่มีการสูบน้ำออกจากบ่อ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างบ่อพักนอกบ่อเหมือง ป้องกันการแพร่กระจายของพื้นที่ใกล้เคียง และประหยัดเวลาในการบำบัดดังแสดงในรูปที่ 1.1 ทั้งนี้ผลที่ได้จากการออกแบบจะมุ่งเน้นไปที่คุณภาพของน้ำเพื่อความปลอดภัยต่อชุมชนโดยรอบ การศึกษายังรวมไปถึงการออกแบบระบบและอุปกรณ์การบำบัดน้ำโดยใช้ระบบการบำบัดแบบย่อส่วนซึ่งจะนำน้ำที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการมาทำการทดลองบำบัดในขนาดย่อส่วนจากขนาดจริงของบ่อเหมืองดังแสดงในรูปที่ 1.2 เพื่อหาอัตราส่วนการใช้สารเคมีและรูปแบบวิธีการบำบัดในการบำบัดกับบ่อเหมืองขนาดใหญ่เนื่องจากการคำนวณปริมาณสารเคมีและการทดสอบปฏิกิริยาเคมีในห้องปฏิบัติการจะมีความแตกต่างกับการบำบัดและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนามหลายด้าน ซึ่งปัจจัยหลักคือ ขนาดและการหมุนเวียนของน้ำที่ถูกบำบัด ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีการจำลองการบำบัดน้ำที่ได้จากบ่อเหมืองแบบย่อส่วน โดยมีการสังเกตการณ์และวิเคราะห์ผลเชิงเคมีของน้ำที่บำบัดแล้ว เพื่อยืนยันผลการคำนวณปริมาณสารเคมีที่ได้จากห้องปฏิบัติการว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ ทั้งนี้ได้มีการคำนวณการใช้สารเคมีทั้งปริมาณและคุณภาพ ขนาดของปั๊มน้ำสำหรับเติมสารเคมีในบ่อเหมือง เป็นต้น อนึ่งข้อแนะนำในขั้นตอนนี้จะอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดการออกแบบการบำบัดในที่ กล่าวคือ ขบวนการบำบัดจะเกิดขึ้นในบ่อเหมืองโดยไม่มีการสูบน้ำออกมาบำบัดนอกบ่อเหมือง



รูปที่ 1.1 แนวคิดเบื้องต้นในการออกแบบบนพื้นฐานของการบำบัดน้ำในบ่อเหมืองโดยไม่มีการสูบน้ำออกจากบ่อ



รูปที่ 1.2 การออกแบบระบบและอุปกรณ์บำบัดน้ำเป็นกรด โดยแสดงการทดลองบำบัดขนาดย่อส่วน

1.5 ประเด็นยุทธศาสตร์

1) ยุทธศาสตร์ที่ 1: การตรวจสอบและวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยและสาเหตุความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง
2) ยุทธศาสตร์ที่ 2: การบำบัดความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองให้กลับมามีสภาพตามที่กฎหมายกำหนดไว้
3) ยุทธศาสตร์ที่ 3: กำหนดมาตรการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองในอนาคต

1.6 เป้าหมายและตัวชี้วัด

เป้าหมาย

- แผนแม่บทนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับเหมืองที่ประสบปัญหาความเป็นกรดในบ่อเหมือง โดยเฉพาะเหมืองถ่านหิน
- ปัญหาความเป็นกรดภายในบ่อเหมืองลดน้อยลงจนไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือส่งผลกระทบน้อยมาก (อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้) ตามที่กฎหมายกำหนด
- ปัญหาความเป็นกรดในบ่อเหมืองจะไม่เกิดขึ้นอีกภายหลังปฏิบัติตามแผนแม่บทนี้ทุกขั้นตอนอย่างเคร่งครัด

ตัวชี้วัดความสำเร็จ

- เหมืองแร่ต่างๆ มีแผนการปรับปรุงและแก้ไขเกี่ยวกับปัญหาความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง
- มีการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเหมืองอย่างเป็นรูปธรรม
- ความเสียหายและอันตรายจากการปนเปื้อนของน้ำในบ่อเหมืองสู่ชุมชน ได้รับการแก้ไข
- คุณภาพของน้ำในบ่อเหมือง และแหล่งน้ำในชุมชนโดยรอบดีขึ้นจนถึงระดับปลอดภัยต่อสุขภาวะของประชาชน ตามมาตรฐานน้ำประเภทที่ 3

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็น 9 ขั้นตอน รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตเกี่ยวกับวิธีการลดความเป็นกรดหรือการบำบัดน้ำเสียที่มีสภาวะเป็นกรดอ่อนในบ่อเหมืองเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงกระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในการลดความเป็นกรดของน้ำในห้องปฏิบัติการ และความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อเหมือง โดยเน้นที่กระบวนการหรือวิธีการบำบัดที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อนำมาพัฒนาวิธีการใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ขั้นตอนที่ 2 การจัดเตรียมตัวอย่างน้ำที่มีความเป็นกรด

การจัดเตรียมตัวอย่างน้ำที่มีความเป็นกรดได้นำตัวอย่างจริงจากภาคสนามของเหมืองแร่ถ่านหินมาทดสอบคุณสมบัติด้านองค์ประกอบทางเคมีและใช้เป็นตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับการจำลองการบำบัด นอกจากนี้ได้มีการจำลองตัวอย่างน้ำกรดที่มีค่า pH

3 ระดับ ได้แก่ 1, 3, และ 5 เพื่อให้ได้ช่วงของการทดสอบที่กว้าง ซึ่งจะส่งผลให้ผลจากการทดสอบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลายสำหรับการบำบัดน้ำเสียหรือน้ำที่มีสภาวะเป็นกรดอ่อนในบ่อเหมือง

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติเคมีของตัวอย่างน้ำ

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำที่มีความเป็นกรดจากภาคสนามในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับจำลองการบำบัดน้ำในบ่อจำลองขนาด 1,000 ลิตร เพื่อยืนยันผลที่ได้จากการศึกษานี้ว่าสามารถนำไปใช้ได้จริงในการบำบัดความเป็นกรดในบ่อเหมือง

ขั้นตอนที่ 4 คัดสรรและออกแบบสารเคมีที่ใช้บำบัดความเป็นกรด

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้คือ เพื่ออธิบายคุณสมบัติของสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับใช้บำบัดความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง รวมไปถึงการคำนวณปริมาณและอัตราส่วนที่ใช้ อนึ่งข้อแนะนำในการศึกษานี้จะอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดการออกแบบการบำบัดในที่ กล่าวคือขบวนการบำบัดจะเกิดขึ้นในบ่อเหมืองโดยไม่มีการสูบน้ำออกมาบำบัดนอกบ่อ ในการบำบัดความเป็นกรดของน้ำ โดยทั่วไปจะใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นเบส ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; NaOH) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate; Na_2CO_3) แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide; CaO) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide; $Ca(OH)_2$) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารประกอบที่ก่อให้เกิดความเป็นกรดในน้ำตัวอย่าง และความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์

ขั้นตอนที่ 5 การทดสอบระบบบำบัดแบบย่อส่วนในห้องปฏิบัติการ

โครงการวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบโดยใช้ระบบการบำบัดขนาดย่อส่วนในห้องปฏิบัติการ โดยนำน้ำที่ได้จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการมาทำการทดลองบำบัดในขนาดย่อส่วนจากขนาดจริงของบ่อเหมืองเพื่อหาอัตราส่วนการใช้สารเคมีและรูปแบบวิธีการบำบัดในบ่อเหมืองขนาดใหญ่ เนื่องจากการคำนวณปริมาณสารเคมีและการทดสอบปฏิกิริยาเคมีในห้องปฏิบัติการจะมีความแตกต่างกับการบำบัดและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนามหลายด้าน ซึ่งปัจจัยหลักคือขนาดและการหมุนเวียนของน้ำที่ถูกบำบัด ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีการจำลองการบำบัดน้ำที่ได้จากบ่อเหมืองแบบย่อส่วน โดยมีการสังเกตการณ์และวิเคราะห์ผลเชิงเคมีของน้ำที่บำบัดแล้ว เพื่อนำผลมายืนยันผลการคำนวณปริมาณสารเคมีที่ได้จากห้องปฏิบัติการว่าเหมาะสมหรือไม่ และเพื่อนำผลที่ได้จากการจำลองแบบย่อส่วนมาออกแบบการบำบัดน้ำในบ่อเหมืองจริง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขั้นตอนที่ 6 การออกแบบระบบและอุปกรณ์ในการบำบัด

วัตถุประสงค์ในขั้นตอนนี้คือ การออกแบบระบบการบำบัดที่นำไปประยุกต์ใช้ได้กับบ่อเหมืองจริงโดยใช้คุณสมบัติของสารเคมีที่เหมาะสมเพื่อใช้บำบัดความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง รวมไปถึงการคำนวณการใช้สารเคมีทั้งปริมาณและคุณภาพ ขนาดของปั๊มน้ำสำหรับเติมสารเคมีในบ่อเหมือง เป็นต้น อนึ่งข้อแนะนำในขั้นตอนนี้จะอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดการออกแบบการบำบัดในที่ กล่าวคือ ขบวนการบำบัดจะเกิดขึ้นในบ่อเหมืองโดยไม่มีการสูบน้ำออกมาบำบัดนอกบ่อเหมือง

ขั้นตอนที่ 7 การร่างแผนแม่บท

การร่างแผนแม่บทสำหรับแนวการบำบัดความเป็นกรดของน้ำที่มาจากกิจกรรมการทำเหมือง มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแนวทางการบำบัดความเป็นกรดของน้ำด้วยวิธีใหม่ที่มีขั้นตอนการบำบัดไม่ซับซ้อน มีการใช้แรงงานและทรัพยากรน้อยลง และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อยู่บริเวณใกล้เคียง

ขั้นตอนที่ 8 การสรุปผลและเขียนรายงาน

แนวคิดและขั้นตอนโดยละเอียด รวมถึงการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการศึกษาทั้งหมดและข้อสรุปจะนำเสนอโดยละเอียดในรายงานฉบับสมบูรณ์ เพื่อที่จะส่งมอบเมื่อเสร็จโครงการ

ขั้นตอนที่ 9 การถ่ายทอดเทคโนโลยี

แผนการการถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้คือ การนำข้อมูลไปเผยแพร่ในเว็บไซต์ของหน่วยวิจัยกลศาสตร์ธรณีเพื่อให้ผู้ที่สนใจทั่วไปสามารถสืบค้นได้ และนำผลงานวิจัยชิ้นนี้ลงตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อเผยแพร่ความรู้ในวงกว้างต่อไป

สถานที่ทำการทดลอง / เก็บข้อมูล

สถานที่ทำการทดลอง: ห้องปฏิบัติการกลศาสตร์ธรณี อาคารเครื่องมือ 4
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

สถานที่เก็บตัวอย่าง: หน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่มีพื้นที่ดำเนินกิจการเหมืองแร่ถ่านหินในประเทศไทย

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) น้ำในบ่อเหมืองมีสภาพความเป็นกรดอยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด
2) ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อยู่บริเวณบ่อเหมือง ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตและทรัพยากรทางธรรมชาติดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างเป็นปกติ
3) ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัด
4) เหมืองแร่อื่นๆ ได้ใช้แผนแม่บทนี้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง
5) เป็นส่วนผลักดันให้เกิดความร่วมมือระหว่างภาครัฐและภาคเอกชนในการนำเทคโนโลยีการบำบัดความเป็นกรดไปใช้ได้จริงอย่างเป็นรูปธรรม
6) เกิดการบริหารและจัดการน้ำอย่างบูรณาการตามนโยบายของรัฐบาล

1.9 ผลกระทบและความเสี่ยงที่สำคัญ

ไม่มีผลกระทบในทางลบ แต่อาจมีความเสี่ยงด้านความเข้าใจของชุมชนที่อยู่รอบๆ พื้นที่เหมือง อาจมีความวิตกเกี่ยวกับอันตรายที่เกิดจากน้ำในบ่อเหมือง ซึ่งต้องมีการทำความเข้าใจและขอความร่วมมือ รวมทั้งการมีส่วนร่วมในเชิงสร้างสรรค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สาเหตุการเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง

โดยทั่วไปแล้วน้ำตามธรรมชาติจะมีค่า pH ที่เป็นกลางหรือเบสอ่อนๆ ในขณะที่น้ำที่ได้จากกิจกรรมทางอุตสาหกรรมเหมืองแร่นั้นจะมีค่า pH อยู่ในช่วงของความเป็นกรด ตัวการที่ทำให้น้ำเป็นกรดก็คือตะกอนของแร่ภายในเหมืองนั่นเอง ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำจะได้สารประกอบที่มีฤทธิ์เป็นกรด ส่วนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนและอัตราการเกิดปฏิกิริยา การทราบสาเหตุและที่มาของตัวการที่ก่อให้เกิดความเป็นกรดจะส่งผลให้สามารถแก้ปัญหาความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองได้ถูกจุด ซึ่งมีสาเหตุหลักดังต่อไปนี้

สาเหตุที่ 1: เศษแร่รอบบ่อเหมือง

ในการทำเหมืองนั้นพื้นที่ในบริเวณที่มีการขุดเจาะมักมีเศษแร่ร่วงหล่น กระจายรอบๆ บริเวณ หากไม่มีการถมวัสดุปิดทับหรือปรับหน้าดิน เมื่อฝนตกจะชะล้างเศษแร่เหล่านั้นและนำพาตะกอนไหลลงสู่ที่ต่ำรวมถึงบ่อเหมือง

สาเหตุที่ 2: ชั้นแร่ที่หน้าความลาดชันของบ่อเหมือง

ในการสร้างบ่อน้ำภายในเหมืองเพื่อนำน้ำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ จะมีการขุดเจาะและเปิดหน้าดินในปริมาณมาก การขุดเจาะนี้มีโอกาสตัดผ่านชั้นแร่ที่พาดผ่านขอบเขตของบ่อ ส่งผลให้มีชั้นแร่โผล่ออกมาสัมผัสกับอากาศภายนอกที่บริเวณความลาดชั้นของบ่อ หากออกแบบความลาดชันไม่เหมาะสมอาจเกิดการพังทลายของหน้าดิน ส่งผลให้เศษแร่บางส่วนไหลลงไปภายในบ่อเหมือง ส่วนชั้นแร่ที่เหลือจะถูกน้ำชะล้างและไหลลงสู่บ่อในเวลาต่อมา

สาเหตุที่ 3: ชั้นแร่ที่ก้นบ่อเหมือง

นอกจากการขุดบ่อเหมืองจะทำให้มีชั้นแร่โผล่บริเวณความลาดชันของบ่อแล้ว ที่บริเวณก้นบ่อก็อาจมีชั้นแร่โผล่ขึ้นมาสัมผัสกับน้ำในบ่อโดยตรง ซึ่งแน่นอนว่าชั้นแร่นี้จะเป็นแหล่งสร้างตะกอนที่เมื่อทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำแล้วจะก่อให้เกิดกรดตามมา

สาเหตุที่ 4: กระบวนการแต่งแร่

แร่ที่ได้จากการขุดเจาะขึ้นมาจะถูกนำไปคัดแยกและทำความสะอาด ซึ่งในขั้นตอนนี้เองจะเกิดน้ำเสียที่มีตะกอนของแร่ต่างๆ ที่สามารถทำให้น้ำเกิดความเป็นกรดได้ หากน้ำจากกระบวนการนี้ไหลลงสู่บ่อเหมืองไม่ว่าจะด้วยวิธีใดก็ตาม จะเป็นสาเหตุทำให้น้ำในบ่อเหมืองมีค่าความเป็นกรดได้ นอกจากนี้หากมีการนำหางแร่ที่เหลือภายหลังการแต่งแร่ไปถมหน้าดิน หางแร่เหล่านี้ก็จะเป็นแหล่งของตะกอนที่อาจไหลลงสู่บ่อเหมืองได้เมื่อมีการชะล้างจากน้ำฝน

2.2 แนวทางวิธีการบำบัดความเป็นกรดของน้ำ

แนวทางวิธีการบำบัดความเป็นกรดของน้ำได้มีผู้ศึกษาวิจัยมากมายตามความสอดคล้องในแต่ละพื้นที่ ซึ่งผู้ศึกษาวิจัยส่วนใหญ่ได้กล่าวไว้ว่า “ความเป็นกรดของน้ำที่มาจากเหมืองนั้นมาจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างถ่านหินกับอากาศหรือน้ำนั่นเอง”
Colmer และ Hinkle (1947) กล่าวว่า การวิเคราะห์ความเป็นกรดของน้ำเหมืองจะต้องพิจารณาแหล่งที่มาที่แตกต่างกันของชั้นถ่านหินที่มีขนาดหนาหรือบาง เช่นบางแห่งน้ำมีค่า pH 2.9 ความเป็นกรด 75 ppm ซัลเฟต 3560 ppm และเหล็ก 460 ppm ถ้าเปรียบเทียบกับอีกแห่งที่น้ำมีค่า pH 1.4 ความเป็นกรด 47,800 ppm ซัลเฟต 41,700 ppm และเหล็ก 12,270 ppm ซึ่งมีความแตกต่างกัน วิธีที่จะลดความเป็นกรดต้องลดออกซิเจนไม่ให้สัมผัสกับถ่านหินเพื่อลดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

Watten et al. (2005) ได้ทดลองสร้างแบบจำลองการบำบัดความเป็นกรดของน้ำในภาคสนาม 3 แหล่ง ด้วยการใช้ CO_2 เพื่อเร่งการละลายของหินปูน ซึ่งการให้ CO_2 เพิ่มขึ้นทำให้น้ำมีค่า pH ดีขึ้น ส่งผลให้โลหะหนักมีการจับตัวและตกตะกอน จากการวิจัยดังกล่าวทำให้ทราบว่าค่า CO_2 จะลดลงเมื่อนำน้ำที่ใช้ในระบบการบำบัดแล้วมาใช้อีก

Rios et al. (2008) กล่าวว่า ปัญหาความเป็นกรดของน้ำที่มาจากกิจกรรมการทำเหมืองหรือเหมืองร้างที่ปิดตัวลงแล้วเป็นปัญหาที่มีผลกระทบมาก ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำและอากาศกับแร่โลหะและมีวิธีการแก้ไขหลากหลาย โดยวิธีที่มีต้นทุนต่ำคือใช้เถ้าลอยของถ่านหิน ปูนเม็ดธรรมชาติและสารสังเคราะห์ซีโอไลท์ เพื่อทำให้การบำบัดความเป็นกรดดีขึ้น โดยสารดังกล่าวจะจับตัวกับแร่โลหะต่างๆ และทำให้ค่า pH ดีขึ้น (อยู่ที่ 7.7–9.3) โดยเฉพาะการใช้ปูนเม็ดธรรมชาติ

LEI (2010) กล่าวว่า ปัญหาการระบายน้ำที่มีความเป็นกรดจากเหมือง (AMD) และการปนเปื้อนของซัลไฟล์จากเหมืองโลหะหนักในเขตพื้นที่แห้งแล้งต้องมีการสำรวจและต้องศึกษาความเป็นกรด การกระจายของโลหะหนัก และน้ำใต้ดินของเหมือง โดยมีการเก็บตัวอย่างของน้ำในพื้นที่ต่างๆ ในบริเวณเหมือง ทุกๆ 4 เดือน มาทดสอบหาค่าความเป็นกรด ซึ่งทำให้ทราบถึง

ความเป็นกรดของน้ำในเหมืองมีค่าเฉลี่ย pH ประมาณ 5 และค่าความเป็นกรดสูงสุดอยู่ที่ pH 3 บริเวณพื้นที่เก็บกากแร่มีค่าความเป็นสูงสุดทำให้ต้องมีการใช้กรดด่างเพื่อบำบัด และมีการควบคุมกากแร่ การระบายน้ำที่มีความเป็นกรด และการปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดิน

2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ตามประกาศจากคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ได้ระบุโดยอาศัยอำนาจตามความในมาตรา 32 (1) แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ว่าด้วยเรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

หมวด 1 บททั่วไป

ข้อ 1 ในประกาศนี้

“แหล่งน้ำผิวดิน” หมายถึงแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และแหล่งน้ำสาธารณะอื่นๆ ที่อยู่ภายในผืนแผ่นดิน ซึ่งหมายความรวมถึงแหล่งน้ำสาธารณะที่อยู่ในผืนแผ่นดินบนเกาะด้วย แต่ไม่รวมถึงน้ำบาดาล และในกรณีที่แหล่งน้ำนั้นอยู่ติดกับทะเลให้หมายความถึงแหล่งน้ำที่อยู่ภายในปากแม่น้ำหรือปากทะเลสาบ ปากแม่น้ำและปากทะเลสาบได้ถือแนวเขตตามกรมเจ้าท่ากำหนด

หมวด 2 ประเภทและมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ข้อ 2 ให้แบ่งแหล่งน้ำผิวดินออกเป็น 5 ประเภท ประกอบด้วย

(1) แหล่งน้ำประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคบริโภคโดยไม่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

(ข) การขยายพันธ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตพื้นฐาน

(ค) การอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

(2) แหล่งน้ำประเภทที่ 2 ได้แก่แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(ข) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ

(ค) การประมง

(ง) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

(3) แหล่งน้ำประเภทที่ 3 ได้แก่แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(ข) การเกษตร

(4) แหล่งน้ำประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

(ข) การอุตสาหกรรม

(5) แหล่งน้ำประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถใช้เป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ข้อ 3 คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ต้องมีสภาพตามธรรมชาติ และสามารถใช้ประโยชน์ได้ตามข้อ 2 (1)

ข้อ 4 คุณภาพของแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ต้องมีมาตรฐานดังต่อไปนี้

(1) ไม่มีวัตถุหรือสิ่งของที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ซึ่งจะทำให้ สี กลิ่น และรสของน้ำเปลี่ยนไปตามธรรมชาติ

(2) อุณหภูมิไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

(3) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าระหว่าง 5.0 – 9.0

(4) ออกซิเจนละลาย (DO) มีค่าไม่น้อยกว่า 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) บีโอดี (BOD) มีค่าไม่เกินกว่า 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria) มีค่าไม่เกินกว่า 5,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร

(7) แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria) มีค่าไม่เกินกว่า 1,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร

(8) ไนเตรต (NO_3) ในหน่วยไนโตรเจน มีค่าไม่เกินกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจน มีค่าไม่เกินกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

(10) ฟีนอล (Phenols) มีค่าไม่เกินกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

(11) ทองแดง (Cu) มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(12) นิคเกิล (Ni) มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(13) แมงกานีส (Mn) มีค่าไม่เกินกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(14) สังกะสี (Zn) มีค่าไม่เกินกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) แคดเมียม (Cd) ในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าไม่เกินกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Cr Hexavalent) มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ตะกั่ว (Pb) มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(18) ปรอททั้งหมด (Total Hg) มีค่าไม่เกินกว่า 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร

(19) สารหนู (As) มีค่าไม่เกินกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

(20) ไซยาไนด์ (Cyanide) มีค่าไม่เกินกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

(21) กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) มีค่ารังสีแอลฟา (Alpha) ไม่เกินกว่า 0.1 เบคเคอเรลต่อลิตร และรังสีเบตา (Beta) ไม่เกินกว่า 1.0 เบคเคอเรลต่อลิตร

(22) สารค่าสัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Orgnochlorine Pesticides) มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(23) ดีดีที (DDT) มีค่าไม่เกินกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(24) บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha–BHC) มีค่าไม่เกินกว่า 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร

(25) ดิลดริน (Dieldrin) มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร

(26) อัลดริน (Aldrin) มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร

(27) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor) และเฮปตาคลอร์อีปอกไซด์ (Heptachlorepoxide) มีค่าไม่เกินกว่า 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร

(28) เอนดริน (Endrin) ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด

ข้อ 5 คุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 3 ต้องมีมาตรฐานตาม ข้อ 4 เว้นแต่

(1) ออกซิเจนละลาย มีค่าไม่น้อยกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) บีโอดี มีค่าไม่เกินกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด มีค่าไม่เกินกว่า 20,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร

(4) แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์มทั้งหมด มีค่าไม่เกินกว่า 4,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร

ข้อ 6 คุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 4 ต้องมีมาตรฐานตาม ข้อ 4 (1) ถึง (5) และ (8) ถึง (28) เว้นแต่

(1) ออกซิเจนละลาย มีค่าไม่น้อยกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) บีโอดี มีค่าไม่เกินกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 7 คุณภาพน้ำมันแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ต้องมีมาตรฐานต่ำกว่าคุณภาพน้ำ ในแหล่งน้ำประเภทที่ 4

ข้อ 8 การกำหนดให้แหล่งน้ำผิวดินแหล่งใดแหล่งหนึ่งเป็นประเภทใดก็ตามในข้อ 2 ให้เป็นไปตามกรมควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

หมวดที่ 3 วิธีการเก็บตัวอย่างและตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ข้อ 9 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพตามข้อ 3 ถึง 7 ให้ใช้วิธีการดังต่อไปนี้

(1) แหล่งน้ำไหล ซึ่งได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง เป็นต้น ให้เก็บที่จุดกึ่งกลางความกว้างของแหล่งน้ำที่ระดับกึ่งกลางความลึก ณ จุดตรวจสอบ เว้นแต่แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม ให้เก็บที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ณ จุดตรวจสอบ

(2) แหล่งน้ำนิ่ง ซึ่งได้แก่ ทะเลสาบ หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ให้เก็บที่ระดับความลึก 1 เมตร ณ จุดตรวจสอบสำหรับแหล่งน้ำที่มีความลึกเกินกว่า 2 เมตร และให้เก็บที่จุดกึ่งกลางความลึก ณ จุดตรวจสอบสำหรับแหล่งน้ำที่มีความลึกไม่เกิน 2 เมตร เว้นแต่แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม ให้เก็บที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ณ จุดตรวจสอบ

จุดตรวจสอบตาม (1) และ (2) ของแหล่งน้ำที่กำหนดตามข้อ 8 ให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด

ข้อ 10 การตรวจสอบคุณภาพน้ำตามข้อ 3 ถึงข้อ 7 ให้มีวิธีการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบอุณหภูมิให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง

(2) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่าง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH meter) ตามวิธีการหาค่าแบบอีเล็กโตรเมตตริก (Electrometric)

(3) การตรวจสอบค่าออกซิเจนละลาย ให้ใช้วิธีอะไซด์โมดิฟิเคชั่น (Azide Modifacation)

(4) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์โมดิฟิเคชั่น (Azide Modifacation) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน

(5) การตรวจสอบค่าแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและค่าแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม ให้ใช้วิธีมัลติเพิ้ล ทิ้วบ์ เฟอร์เมนเตชั่น เทคนิค (Multiple Tube Fermentation Technique)

(6) การตรวจสอบค่าไนเตรตในหน่วยไนโตเจน ให้ใช้วิธีแคดเมี่ยมรีดัคชั่น (Cadmium Reduction)

(7) การตรวจสอบค่าแอมโมเนียในหน่วยไนโตรเจน ให้ใช้วิธีดิสทิลเลชั่นเนสสเลอร์ไรเซชั่น (Distillation Nesslerization)

(8) การตรวจสอบค่าฟีนอล ให้ใช้วิธีดิสทิลเลชั่น 4-อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, 4-Amino antipyrene)

(9) การตรวจสอบค่าทองแดง นิคเกิล แมงกานิส สังกะสี แคดเมียม โครเมียม ชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ และตะกั่ว ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอพชั่น ไดเร็ค แอสไพเรชั่น (Atomic Absorption-Direct Aspiration)

(10) การตรวจสอบค่าปรอททั้งหมด ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอพชั่น โคลด์ เวเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption-Cold Vapour Technique)

(11) การทดสอบค่าสารหนู ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอพชั่น แก๊สซัส ไฮโรด์ (Atomic Absorption-Gaseous Hydride)

(12) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีไพริดีน บาร์บิทูริค แอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(13) การตรวจสอบค่ากัมมันตภาพรังสี ให้ใช้วิธีโลว์ แบ็คกราวด์ พร็อพพอร์ชั่นนอล เคาน์เตอร์ (Low Background Proportional Counter)

(14) การตรวจสอบค่าสารศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด ดีดีที บีเอชซีชนิดแอลฟา ดิลดริน อัลดริน เฮปตาคลอร์อีปอกไซด์ และเองดริน ให้ใช้วิธีก๊าซ–โครมาโตกราฟี่ (Gas–Chomatography)

ข้อ 11 การตรวจสอบค่าออกซิเจนละลายให้ใช้ค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 20 (20th Percentile Value) ส่วนการตรวจสอบค่าบีโอดี แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม ให้ใช้ค่าเปอร์เซนไทล์ที่ 80 โดยจำนวนและระยะเวลาสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำดังกล่าว ให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด

ข้อ 12 การเก็บตัวอย่างน้ำตามข้อ 9 และการตรวจสอบคุณภาพน้ำตามข้อ 10 จะต้องเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (Standard Method for Examination of Water and Wastewater) ซึ่ง American Public Health Association และ American Water Works Association กับ Water Pollution Control Federation ของสหรัฐอเมริการ่วมกำหนดไว้ด้วย

2.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำใต้ดิน

ตามประกาศจากคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ได้ระบุโดยอาศัยอำนาจตามความในมาตรา 32 (6) แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห้งชาติ พ.ศ. 2535 คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติออกประกาศกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้

“น้ำใต้ดิน” หมายความว่า น้ำที่อยู่ใต้ดิน และให้หมายความรวมถึงน้ำบาดาลตามกฎหมายว่าด้วยน้ำบาดาล

“มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน” หมายความว่า ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำใต้ดิน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายและผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เมื่อนำน้ำใต้ดินมาใช้บริโภค

ข้อ 2 คุณภาพน้ำใต้ดินต้องมีมาตรฐานดังต่อไปนี้

2.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds)

(1) เบนซีน (Benzene) ต้องไม่เกิน 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

(2) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) ต้องไม่เกิน 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

(3) 1, 2–ไดคลอโรอีเทน (1, 2–Dichloroethane) ต้องไม่เกิน 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

(4) 1, 1–ไดคลอโรเอทธิลีน (1, 1–Dicholoethylene) ต้องไม่เกิน 7.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

(5) ซิส–1, 2–ไดคลอโรเอทธิลีน (cis–1, 2–Dichloethylene) ต้องไม่เกิน 70 ไมโครกรัมต่อลิตร

(6) ทรานส์–1, 2–ไดคลอโรเอทธิลีน (trans–1, 2–Dichloroethylene) ต้องไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลิตร

(7) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ต้องไม่เกิน 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

(8) เอทธิลเบนซีน (Ethylbenzene) ต้องไม่เกิน 700 ไมโครกรัมต่อลิตร

(9) สไตรีน (Styrene) ต้องไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลิตร

(10) เตตระคลอโรเอทธิลีน (Tetrachloroethylene) ต้องไม่เกิน 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

(11) โทลูอีน (Toluene) ต้องไม่เกิน 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตร

(12) ไตรคลอโรเอทธิลีน (trichoroethylene) ต้องไม่เกิน 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

(13) 1, 1, 1–ไตรคลอโรอีเทน (1, 1, 1–Trichloroethane) ต้องไม่เกิน 200 ไมโครกรัมต่อลิตร

(14) 1, 1, 2–ไตรคลอโรอีเทน (1, 1, 2–Trichloroethane) ต้องไม่เกิน 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

(15) ไซบีนทั้งหมด (Total Xylenes) ต้องไม่เกิน 10,000 ไมโครกรัมต่อลิตร

2.2 โลหะหนัก (Heavy Metals)

(1) แคดเมียม (Cadmium) ต้องไม่เกิน 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Hexavalent Chromium) ต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) ทองแดง (Copper) ต้องไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) ตะกั่ว (Lead) ต้องไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) แมงกานีส (Manganese) ต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) นิกเกิล (Nickel) ต้องไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(7) สังกะสี (Zinc) ต้องไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(8) สารหนู (Arsenic) ต้องไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) ซีลีเนียม (Selenium) ต้องไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

(10) ปรอท (Mercury) ต้องไม่เกิน 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3 สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticides)

(1) คลอเดน (Chlodane) ต้องไม่เกิน 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร

(2) ดิลดริน (Dieldrin) ต้องไม่เกิน 0.03 ไมโครกรัมต่อลิตร

(3) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor) ต้องไม่เกิน 0.4 ไมโครกรัมต่อลิตร

(4) เฮปตาคลอร์ อีพ็อกไซด์ (Heptachlor Epoxide) ต้องไม่เกิน 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร

(5) ดีดีที ต้องไม่เกิน 2.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

(6) 2, 4–ดี (2, 4–D) ต้องไม่เกิน 30 ไม่โครกรัมต่อลิตร

(7) อะทราซีน (Atrazine) ต้องไม่เกิน 3.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

(8) ลินเดน (Lindane) ต้องไม่เกิน 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร

(9) เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol) ต้องไม่เกิน 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

2.4 สารพิษอื่นๆ

(1) เบนโซ (เอ) ไพรีน (Benzo (a) pyrene) ต้องไม่เกิน 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร

(2) ไซยาไนด์ (Cyanide) ต้องไม่เกิน 200 ไมโครกรัมต่อลิตร

(3) พีซีบี (PCBs) ต้องไม่เกิน 0.5 ไมโครกรัมต่อลิตร

(4) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyi Chloride) ต้องไม่เกิน 2.0 ไมโครกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2 ให้ใช้วิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (Standard Method for Examination of Water and Wastewater) ซึ่ง American Public Health Association และ American Water Works Association กับ Water Pollution Control Federation ของสหรัฐอเมริการ่วมกำหนดหรือตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.1 (1) ถึง (15) ให้ใช้วิธี Purge and Trap Gas Chromotography หรือ วิธี Purge and Trap Gas Chromotography/Mass Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(2) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.2 (1) ถึง (7) ให้ใช้วิธี Direct Aspiration/Atomic Absorption Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(3) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.2 (8) ถึง (9) ให้ใช้วิธี Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(4) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.2 (10) ให้ใช้วิธี Cold–Vapor Atomic Absorption Spectrometry/ Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(5) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.3 (1) ถึง (5) ให้ใช้วิธี Liquid–Liquid Extraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธี Liquid–Liquid Extraction Gas Chromatography (Method I) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(6) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.3 (6) ถึง (7) ให้ใช้วิธี Liquid–Liquid Extraction Gas Chromatography หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(7) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.3 (8) ให้ใช้วิธี Liquid–Liquid Extraction Gas Chromatography (Method I) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(8) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.3 (9) ให้ใช้วิธี Liquid–Liquid Extraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธี Liquid–Liquid Extraction Gas Chromatography หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(9) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.4 (1) ให้ใช้วิธี Liquid–Liquid Extraction Gas Chromatography หรือ Liquid–Liquid Extraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(10) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.4 (2) ให้ใช้วิธี Pyridine Barbituric Acid หรือวิธี Colorimetry หรือ Ion Chromatography หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(11) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.4 (3) ให้ใช้วิธี Liquid–Liquid Extraction Gas Chromatography (Method II) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

(12) การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินตามข้อ 2.4 (4) ให้ใช้วิธี Purge and Trap Gas Chromatography หรือวิธี Purge and Trap Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธีอื่นๆที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

ข้อ 4 วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำใต้ดินให้เป็นไปตามกรมควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
กลยุทธ์และแนวทางการดำเนินการ

ข้อมูลและหลักการที่ใช้ประกอบในการร่างแผนแม่บทฉบับนี้ ได้มาจากการนำผลการทดสอบทั้งในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการของการบำบัดความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองจากตัวอย่างจริง ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4 กลยุทธ์และแนวทางที่เสนอในบทนี้ เป็นข้อปฏิบัติหลักที่ไม่เจาะจงเกี่ยวกับปริมาณเชิงตัวเลข เพื่อให้เหมืองแร่อื่นๆ สามารถปรับใช้ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งประกอบด้วย 5 กลยุทธ์สำคัญ ได้แก่

3.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลสำคัญในภาคสนาม

แนวทางและหลักการ

- สำรวจและเก็บข้อมูลทางกายภาพภายในพื้นที่เหมืองโดยเฉพาะบริเวณรอบๆ บ่อเหมือง เพื่อหาสาเหตุการปนเปื้อนของน้ำภายในบ่อ
- เก็บตัวอย่างน้ำที่อยู่ในบ่อเหมือง ตัวอย่างน้ำใต้ดินบริเวณเหมือง และตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำรอบๆ บ่อเหมือง เพื่อเป็นข้อมูลไว้สำหรับตรวจสอบและเปรียบเทียบในห้องปฏิบัติการ
- เก็บตัวอย่างดินบริเวณบ่อเหมือง และตัวอย่างดินบริเวณใกล้เคียง เพื่อนำไปตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ

การปฏิบัติงาน

- สำรวจพื้นที่เหมืองและบริเวณโดยรอบ เพื่อหาแหล่งน้ำใต้ดิน แหล่งน้ำทางธรรมชาติ หรือแหล่งน้ำผิวดินอื่นๆ
- หาบริเวณ หรือจุดที่เป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำในบ่อเหมืองสามารถเกิดความเป็นกรดได้ เช่น บริเวณขอบบ่อเหมืองที่มีการกัดเซาะจากน้ำ ชั้นแร่ที่ถูกเปิดออกบริเวณความลาดชันของบ่อเหมือง ชั้นแร่ที่อยู่ใต้บ่อเหมือง หรือจุดที่น้ำในบ่อเหมืองมีโอกาสสัมผัสกับชั้นแร่ได้ บันทึกข้อมูลและลักษณะทางกายภาพโดยละเอียด
- ทำการเก็บตัวอย่างน้ำภายในบ่อเหมือง และน้ำจากแหล่งน้ำอื่นๆ ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง เพื่อนำไปทดสอบและวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบทางเคมีใน

ห้องปฏิบัติการ เพื่อหาสารประกอบหรือสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองในขั้นตอนต่อไป

- การเก็บตัวอย่างน้ำควรเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึกต่างๆ กันไป และต้องมีความรอบคอบและระมัดระวังไม่ให้น้ำในระดับความลึกอื่นเข้ามาปะปนกับน้ำในระดับความลึกที่กำลังเก็บตัวอย่าง ซึ่งอาจต้องมีการใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมและรัดกุมในการเก็บตัวอย่าง
- เก็บตัวอย่างดินบริเวณบ่อเหมือง โดยเฉพาะดินในบริเวณที่อาจมีน้ำไหลผ่านลงสู่บ่อเหมือง เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำ เพื่อใช้ประกอบในการออกแบบการบำบัดในขั้นตอนต่อไป
- การเก็บตัวอย่างทั้งตัวอย่างน้ำและตัวอย่างดินควรใส่ในภาชนะที่ปิดมิดชิดและระบุตำแหน่งของตัวอย่างที่เก็บอย่างชัดเจน

3.2 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

แนวทางและหลักการ

- ทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำที่เก็บจากการสำรวจในภาคสนามเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมี
- วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินที่เก็บได้จากภาคสนามเพื่อตรวจสอบแร่ประกอบในดินที่เป็นสาเหตุให้เกิดความเป็นกรด
- กำหนดชนิดของสารเคมีและปริมาณที่ต้องใช้ในการบำบัด ซึ่งจะสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำและดินในห้องปฏิบัติการ

การปฏิบัติงาน

- นำน้ำที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในการสำรวจภาคสนามมาวิเคราะห์องค์ประกอบตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 พ.ศ. 2537) และคุณภาพน้ำใต้ดิน (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543)
- วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี เพื่อจะนำผลที่ได้ไปใช้ในการคัดสรรสารเคมีที่จะใช้ในการบำบัดความเป็นกรด เช่น

- การวิเคราะห์ความเป็นกรด–ด่าง ; pH
- การวิเคราะห์ความเป็นกรด ; Acidity
- การวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟต ; Sulfate
- การวิเคราะห์หาความกระด้างรวม ; Total Hardness และ
- การวิเคราะห์หาปริมาณแมกนีเซียม ; Magnesium Hardness เป็นต้น

- ทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมีของตัวอย่างดินที่เก็บมาจากภาคสนาม เพื่อหาแหล่งที่มาของความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง และเพื่อร่างมาตรการป้องกันความเป็นกรดในอนาคต
- กำหนดชนิดของสารเคมีและคำนวณอัตราส่วนของสารเคมีที่ต้องใช้ในการบำบัด

3.3 การทดสอบการบำบัดน้ำแบบย่อส่วน

แนวทางและหลักการ

- สร้างแบบจำลองย่อส่วนเพื่อจำลองการบำบัดน้ำที่นำมาจากบ่อเหมืองจริง เพื่อเป็นการทดสอบความเหมาะสมของปริมาณสารเคมีที่ได้จากการคำนวณในห้องปฏิบัติการกับสภาวะจริงในภาคสนาม ก่อนทำการบำบัดในบ่อเหมืองจริง
- เติมสารเคมีที่ได้จากห้องปฏิบัติการในปริมาณตามที่คำนวณไว้ และตรวจวัดค่า pH เป็นระยะจนกว่าค่าจะคงที่

การปฏิบัติงาน

- กำหนดตำแหน่งของการติดตั้งแบบจำลองให้เหมาะสม ซึ่งอาจอยู่ใกล้ๆ กับบ่อเหมือง เพื่อความสะดวกในการนำน้ำจากบ่อเหมืองมาทดสอบการบำบัดในแบบจำลอง
- ภาชนะที่ใช้ใส่น้ำในแบบจำลองต้องไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกับน้ำ
- เติมสารเคมีที่กำหนดตามอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้แล้ว โดยระวังไม่ให้เกิดการรบกวนการหมุนเวียนของน้ำในแบบจำลอง
- การเติมสารเคมีลงไปในแบบจำลองควรมีหลักการในการเติม โดยมีเป้าหมายคือสารเคมีจะต้องแพร่กระจายไปในน้ำเท่าๆ กันให้มากที่สุด โดยไม่มีการกวน หรือทำให้ระบบการไหลเวียนของน้ำเปลี่ยนแปลงไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- สังเกตการเปลี่ยนแปลง ควรตรวจวัดค่า pH และระยะเวลาของการทำปฏิกิริยาของน้ำภายในแบบจำลองจนกว่าปฏิกิริยาจะคงที่ เพื่อใช้ในการคาดคะเนการบำบัดในบ่อเหมืองจริง
- หากค่า pH ของน้ำในแบบจำลองยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ควรปรับปรุงชนิดหรืออัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัด เพื่อให้สามารถใช้ได้จริงในบ่อเหมืองที่มีขนาดใหญ่ต่อไป

3.4 การบำบัดน้ำในบ่อเหมืองจริง

แนวทางและหลักการ

- ออกแบบรูปแบบการบำบัดให้เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของบ่อเหมือง ซึ่งจะต้องเป็นไปอย่างรัดกุม และปลอดภัยในการปฏิบัติงาน
- บำบัดน้ำในบ่อเหมืองด้วยการเติมสารเคมีในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับบ่อเหมืองขนาดจริง ซึ่งได้จากการทดสอบในแบบจำลองที่ผ่านมา

การปฏิบัติงาน

- เติมสารเคมีตามจุดต่างๆ ของบ่อเหมืองตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของบ่อและระดับความลึกของน้ำในบ่อ
- สารเคมีที่เติมจะต้องแพร่กระจายไปได้ทั่วบ่อ ซึ่งอาจมีอุปกรณ์ช่วยให้การเติมสารเคมีมีประสิทธิภาพ และสามารถเติมสารเคมีลงไปที่ระดับความลึกต่างๆ ได้ตามต้องการ
- เมื่อเติมสารเคมีแล้วเสร็จ ควรมีการตรวจวัดค่า pH ของน้ำในบ่อเหมืองเป็นระยะ ซึ่งมากน้อยต่างกันตามขนาดของบ่อเหมือง การหมุนเวียนของน้ำในบ่อ และอุณหภูมิ

3.5 การป้องกันความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง

แนวทางและหลักการ

- ออกแบบระบบป้องกันไม่ให้เกิดภาวการณ์เป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองอย่างยั่งยืน

- กำหนดมาตรการในการตรวจวัดความเป็นกรดของบ่อเหมืองเป็นระยะ เพื่อให้สามารถแก้ไขได้ทันทีหากเกิดความผิดปกติของน้ำในบ่อเหมือง

การปฏิบัติงาน

- ตรวจสอบรอบบ่อเหมืองว่ามีการพัดพาตะกอนของแร่ที่จุดใดบ้าง เพื่อหามาตรการแก้ไขไม่ให้มีแร่โลหะหนักซึ่งเป็นสาเหตุของความเป็นกรดไหลลงสู่บ่อเหมือง
- ปรับภูมิประเทศรอบขอบบ่อเหมืองเพื่อไม่ให้น้ำจากแหล่งอื่นไหลผ่านสู่บ่อเหมืองได้ และเป็นการป้องกันไม่ให้น้ำในบ่อเหมืองไหลออกสู่ภายนอกอีกทางหนึ่ง
- ในกรณีที่ความลาดชันของบ่อเหมืองมีชั้นแร่โผล่ขึ้นมา ต้องทำการปรับแต่งหน้าความลาดชันให้เหมาะสม และปิดทับชั้นแร่ไม่ให้สัมผัสกับน้ำในบ่อได้
- หาวิธีแก้ไขป้องกันชั้นแร่ที่อาจอยู่ก้นบ่อไม่ให้สัมผัสกับน้ำ ซึ่งเป็นอีกสาเหตุของการเป็นกรดในน้ำ
- ตรวจสอบและป้องกันการรั่วซึมของน้ำในบ่อเหมือง ในกรณีที่มีการรั่วซึมเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล อาจมีการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์รอบบ่อเหมืองสำหรับตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ตัวอย่างการปฏิบัติงานในเหมืองถ่านหิน จ.ลำพูน

4.1 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นเหมืองแร่ถ่านหิน อยู่ที่ตำบลลี้ อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน ซึ่งประสบปัญหาความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง จึงได้มอบหมายให้หน่วยวิจัยกลศาสตร์ธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทำหน้าที่ศึกษาและออกแบบระบบและอุปกรณ์บำบัดความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง เพื่อใช้ในการฟื้นฟูพื้นที่เหมืองหลังจากกิจกรรมการทำเหมืองสิ้นสุดลง บ่อเหมืองมีความสูงของขอบบ่อ 470 เมตร น้ำในบ่อสูง 440 เมตร ระดับพื้นบ่อสูง 390 เมตร จากระดับน้ำทะเลตามลำดับ และมีน้ำขังในบ่ออยู่ประมาณ 1 ล้านลูกบาศก์เมตร ข้อมูลนี้มีความจำเป็นสำหรับใช้ประกอบการคำนวณปริมาณสารเคมีที่จะใช้บำบัดความเป็นกรดของบ่อเหมือง รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายของบ่อเหมือง

4.2 กลยุทธ์และขั้นตอนการดำเนินงาน

การแก้ปัญหาความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองจำเป็นต้องมีการศึกษาพื้นที่เหมือง เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางภูมิศาสตร์ ข้อมูลที่ได้จากการออกภาคสนามจะนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อคำนวณหาปริมาณสารเคมี ออกแบบระบบการบำบัด และนำไปสู่การบำบัดจริงในภาคสนาม ซึ่งสามารถปฏิบัติตามกลยุทธ์ที่ได้กำหนดไว้ดังนี้

กลยุทธ์ที่ 1 การสำรวจภาคสนาม

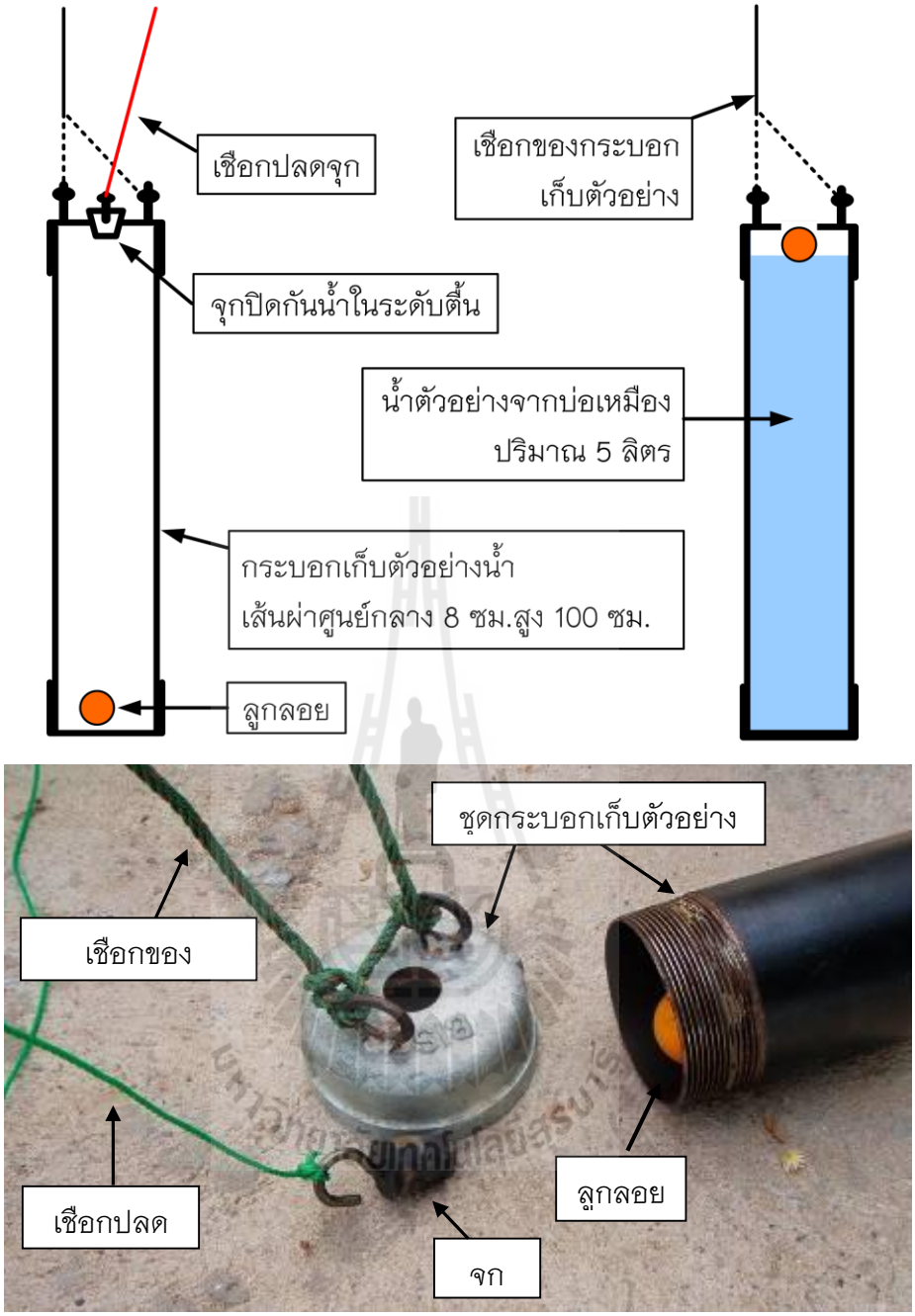
การสำรวจภาคสนามมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสภาพจริงของบ่อเหมือง และเก็บตัวอย่างของน้ำและดิน ในการนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการมีขั้นตอนดังนี้

1) **การศึกษาพื้นที่บ่อเหมือง** วัตถุประสงค์ของการศึกษาพื้นที่บ่อเหมืองเพื่อหาสาเหตุการปนเปื้อนของน้ำในบ่อเหมืองว่าอยู่ที่บริเวณใดบ้าง สำรวจลักษณะทางกายภาพของบ่อเหมือง เช่น ขนาด รูปร่าง ระดับน้ำในบ่อเหมือง ความสูงและความชันของขอบบ่อ และตำแหน่งที่ตั้ง เป็นต้น ข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้อาจมีความจำเป็นเพื่อใช้ประกอบในขั้นตอนต่อๆ ไป ดังนั้นจึงควรเก็บข้อมูลและลักษณะทางกายภาพของบ่อเหมืองให้ครอบคลุม เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามแผนที่วางไว้

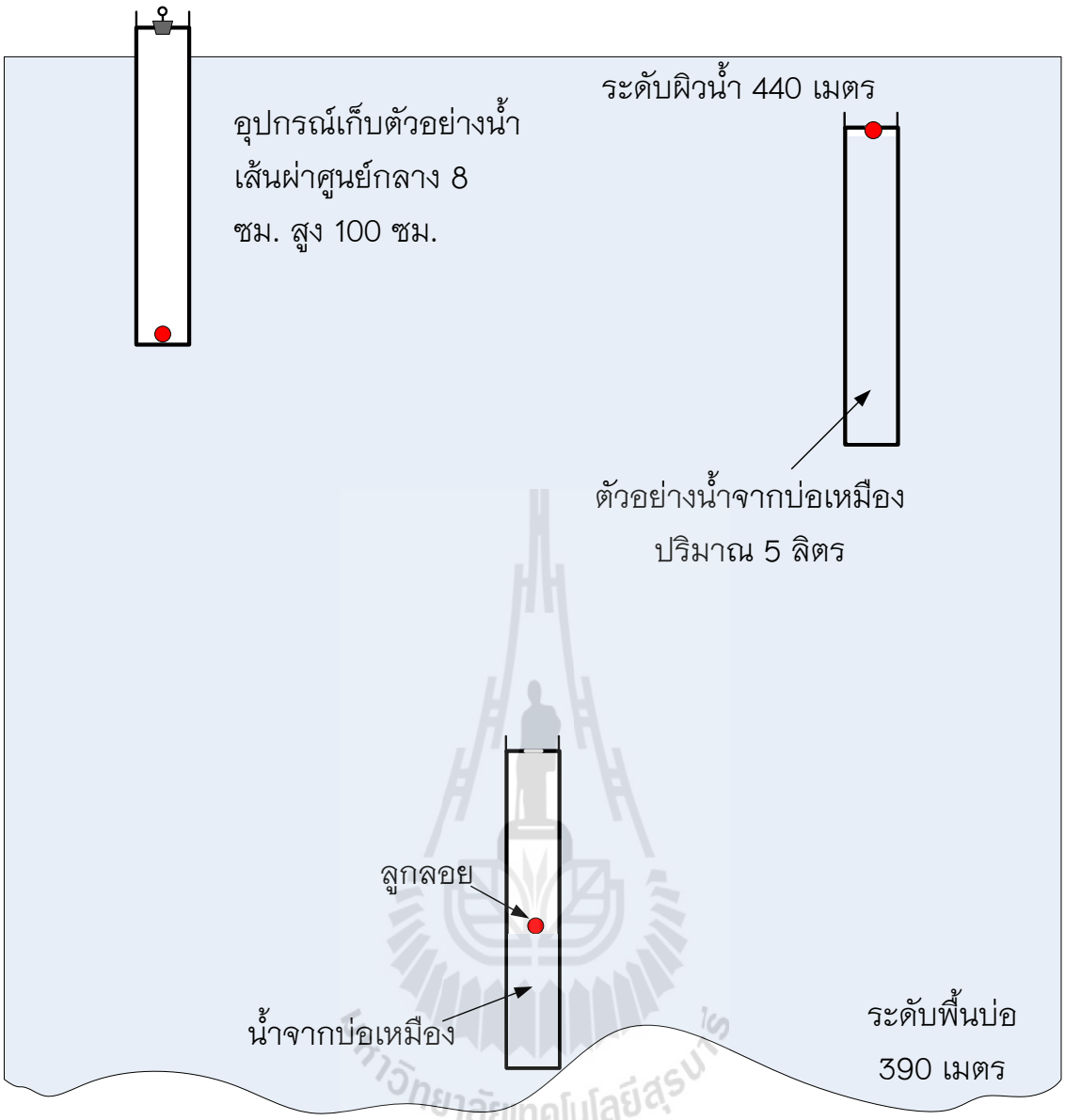
รูปที่ 4.1 ลักษณะบ่อเหมืองลี้เดือนมีนาคม 2554 (มองไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้)

2) **การเก็บตัวอย่างน้ำ** การเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเหมืองมีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำในบ่อเหมืองที่มีความเป็นกรดมาทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและหาค่า pH รวมทั้งคุณสมบัติทางเคมีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องจากลักษณะทางกายภาพของบ่อเหมืองที่ได้ศึกษาในการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการจึงต้องเก็บตัวอย่างน้ำที่มีแนวโน้มความเป็นกรดสูง (ตัวอย่างน้ำที่อยู่ในระดับลึก) ทางผู้ศึกษาได้ใช้ชุดกระบอกเก็บตัวอย่างน้ำ (รูปที่ 4.2) โดยชุดกระบอกเก็บตัวอย่างน้ำได้ดัดแปลงให้มีจุกปิดไม่ให้น้ำในระดับตื้นไหลเข้ากระบอก และมีเชือกส่งกระบอกลงสู่บ่อในระดับความลึกที่ต้องการ เมื่อถึงระดับความลึกที่ต้องการจุกปิดกันน้ำที่มีเชือกผูกติดอยู่จะถูกดึงออก ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างน้ำไหลเข้าสู่ชุดกระบอกเก็บตัวอย่างโดยมีลูกลอยอยู่ในกระบอกเก็บตัวอย่างเพื่อเป็นตัวปิดกั้นรูของจุกที่ถูกดึงออก เมื่อน้ำในบ่อเหมืองไหลเข้าสู่กระบอกเก็บตัวอย่างจนเต็มก็จะดึงเชือกที่ผูกไว้บริเวณปลายชุดกระบอกเก็บตัวอย่างขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 4.3

3) **การเก็บตัวอย่างดิน** เมื่อฝนตกลงมาในพื้นที่เหมือง น้ำจะไหลผ่านหน้าดินและชะล้างแร่และสารประกอบต่างๆ ให้ไหลลงสู่บ่อเหมือง โดยเฉพาะบริเวณความลาดชันของบ่อเหมือง เนื่องจากบริเวณนี้เกิดจากการขุดเจาะที่มักจะตัดผ่านชั้นแร่ เมื่อชั้นแร่ถูกชะล้างจากน้ำฝนและไหลลงสู่บ่อเหมือง ก็จะส่งผลให้ความเป็นกรดของน้ำมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบของชุดกระบอกเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเหมือง



รูปที่ 4.3 การเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเหมืองด้วยชุดกระบอกเก็บตัวอย่าง

จากการสำรวจบริเวณรอบเหมืองอย่างถี่ถ้วน พบว่าดินบริเวณความลาดชันทิศเหนือของบ่อเหมืองมีการปะปนของถ่านหินในปริมาณที่เห็นได้ชัดเจน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้น้ำที่ไหลผ่านลงสู่บ่อเหมืองมีความเป็นกรดสูง จึงได้เก็บตัวอย่างดินบริเวณดังกล่าวมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาสารประกอบที่อยู่ในดินที่อาจทำให้น้ำในบ่อเหมืองมีความเป็นกรด ตารางที่ 4.1 แสดงพิกัดและระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลของตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดินบริเวณทิศเหนือของบ่อเหมืองทั้ง 3 ตำแหน่ง คือ S11, S12 และ S13

ตารางที่ 4.1 ระดับและพิกัดของจุดเก็บตัวอย่างดินในบ่อเหมือง

ตัวอย่าง	ความสูงจากระดับน้ำทะเล (เมตร)	ตำแหน่งพิกัด
S11	441	47Q 0501150 UTM 1966560
S12	455	47Q 0501070 UTM 1966575
S13	444	47Q 0501080 UTM 1966560

กลยุทธ์ที่ 2 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

วัตถุประสงค์ของการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีในห้องปฏิบัติการเพื่อระบุชนิดของธาตุและสารประกอบที่อยู่ในน้ำภายในบ่อเหมือง โดยเฉพาะธาตุที่เป็นตัวการทำให้เกิดความเป็นกรด ผลที่ได้จะสามารถนำมาระบุสารเคมีและวิธีการที่จะบำบัดความเป็นกรดของน้ำ นอกจากนี้ยังนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของน้ำใต้ดินและน้ำผิวดินเพื่อศึกษาว่าการปนเปื้อนของน้ำในบ่อเหมืองมีผลกระทบรุนแรงมากน้อยเพียงใด

1) **ผลการทดสอบทางเคมีของน้ำ** ตัวอย่างน้ำในบ่อเหมืองที่ตำแหน่งและระดับความลึกต่างๆ ได้นำมาทดสอบทางเคมี ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำ พบว่าในตำแหน่งและความลึกที่ต่างกันในบ่อเหมืองจะให้คุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน

2) **ผลการทดสอบทางเคมีของดิน** ตัวอย่างดิน 3 จุด ที่เก็บมาจากบริเวณตอนเหนือของบ่อเหมืองได้ถูกทดสอบคุณสมบัติเชิงเคมีเพื่อหาแหล่งที่มาของความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง และเพื่อร่างมาตรการป้องกันความเป็นกรดในอนาคต ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดิน จะเห็นได้ว่าดินที่ขอบบ่อเหมืองทางด้านเหนือมีความเป็นกรดสูง เกิดขึ้นเนื่องจากเศษถ่านหินที่ทับถมอยู่ในบริเวณปากบ่อและขอบบ่อในขณะดำเนินการทำเหมือง ซึ่งเชื่อว่าเศษถ่านหินเหล่านี้เป็นแหล่งที่มาประการหนึ่งของความเป็นกรดในบ่อเหมือง กล่าวคือ อาจเกิดจากการชะล้างของน้ำฝนหรือการซึมของน้ำบาดาลที่ไหลเข้ามาในเหมือง

3) **สารเคมีที่ใช้ในการบำบัด** ในการบำบัดความเป็นกรดของน้ำ โดยทั่วไปจะใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นเบส ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; NaOH) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate; Na_2CO_3) แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide; CaO) หรือแคลเซียมโฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide; $Ca(OH)_2$) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารประกอบที่ก่อให้เกิดความเป็นกรดในน้ำ และความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่าง หมายเลขที่	รายการทดสอบ				
	pH	Acidity mg/l as $CaCO_3$	Sulfate mg/l	Total Hardness mg/l	Magnesium mg/l
W1	6.4	12.0	7	784.1	194.8
W3	6.5	7.5	9	769.1	172.3
W4	6.5	4.0	15	789.1	194.8
W6	6.5	4.0	18	764.1	184.8
W7	6.5	6.0	15	789.1	199.8
W8	6.5	8.0	16	764.1	172.3
W10	6.5	6.0	16	759.1	162.3
ค่าเฉลี่ย	**6.49**	**6.79**	**13.71**	**591.09**	**183.01**

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีในห้องปฏิบัติการของดิน

ตัวอย่าง หมายเลขที่	รายการทดสอบ				
	pH	Acidity mg/l as $CaCO_3$	Sulfate mg/l	Total Hardness mg/l	Magnesium mg/l
S11	2.9	172.6	1200	1083.7	294.6
S12	3.5	8.60	1000	1028.8	234.8
S13	3.4	46.0	350	264.7	81.9
ค่าเฉลี่ย	**3.27**	**75.73**	**850.00**	**792.40**	**203.77**

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีในห้องปฏิบัติการ ความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองเกิดจากกำมะถันในรูปของกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ซึ่งสามารถบำบัดได้ด้วยการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ซึ่งเป็นสารเคมีที่หาซื้อได้ง่ายในประเทศไทย มีความเป็นพิษน้อย ราคาไม่แพง และมีความไวในการทำปฏิกิริยาค่อนข้างสูง ผลของการทำปฏิกิริยาจะได้เกลือในรูปแคลเซียมซัลเฟตและน้ำ ดังสมการ

$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca\ SO_4 + 2H_2O$

ปริมาณซัลเฟตทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างน้ำในบ่อเหมือง จะถูกตั้งสมมุติฐานให้อยู่ในรูปของกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ซึ่งสามารถบำบัดได้ด้วยการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่าง ผลของการทำปฏิกิริยาจะได้เกลือในรูปแคลเซียมซัลเฟตและน้ำ ดังสมการข้างต้น

ปริมาณที่สอดคล้องกับการบำบัดความเป็นกรดของน้ำได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 แต่เนื่องจากบ่อเก็บน้ำมีขนาดใหญ่และลึก (มีความจุประมาณ 1 ล้านลูกบาศก์เมตร ลึกประมาณ 40–50 เมตร) การบำบัดจะใช้วิธีเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าไปทำปฏิกิริยาในบ่อเก็บน้ำ ส่วนบริเวณก้นบ่อและด้านข้างการเติมสารเคมีและการกวนอาจจะไม่ทั่วถึง ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการบำบัดจึงต้องใช้วิธีการเติมเกินกว่าที่คำนวณไว้ในสมการ เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการคำนวณปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในรูปผงต่อปริมาตรของน้ำจากบ่อเหมือง การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัดความเป็นกรดของน้ำอาจใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ แต่เนื่องจากบ่อเหมืองมีขนาดใหญ่และลึกควรเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 1 ชั่วโมง และควรตรวจสอบความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของน้ำเหมืองเป็นระยะๆ เช่น ทุก 1 วัน และ 1 สัปดาห์ จนกว่าค่าที่วัดได้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณปริมาณกรดซัลฟูริกที่มีอยู่ในน้ำ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการบำบัดความเป็นกรด

	อัตราส่วนของสารเคมี	**ผลการวิเคราะห์**
ปริมาณกรดในบ่อเหมือง	กรดซัลฟูริก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	13.99
ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการบำบัด	1) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.228
	2) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	0.004
	3) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเหมือง (ตันต่อล้านลูกบาศก์เมตร)	4.228
	4) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเหมือง (ตันต่อล้านลูกบาศก์เมตร excess 20%)	5.074

กลยุทธ์ที่ 3 การทดสอบการบำบัดน้ำแบบย่อส่วน

การจำลองการบำบัดน้ำในบ่อเหมืองแบบย่อส่วนได้ดำเนินการในพื้นที่เหมืองบริเวณขอบบ่อทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ การจัดเตรียมอุปกรณ์และปัจจัยหลักในการทดสอบประกอบด้วย ถังน้ำขนาดความจุ 1 ลูกบาศก์เมตร เพื่อใช้ในการจำลองบ่อเหมือง โดยถังมีความสูง 1 เมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาบำบัดในถังจำลองถูกสูบขึ้นมาจากจุดกึ่งกลางของบ่อเหมืองที่ระดับความลึก 30 เมตร (สูง 410 เมตร จากระดับน้ำทะเล) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จากนั้นจะทิ้งไว้ให้นิ่งโดยไม่มีการรบกวน

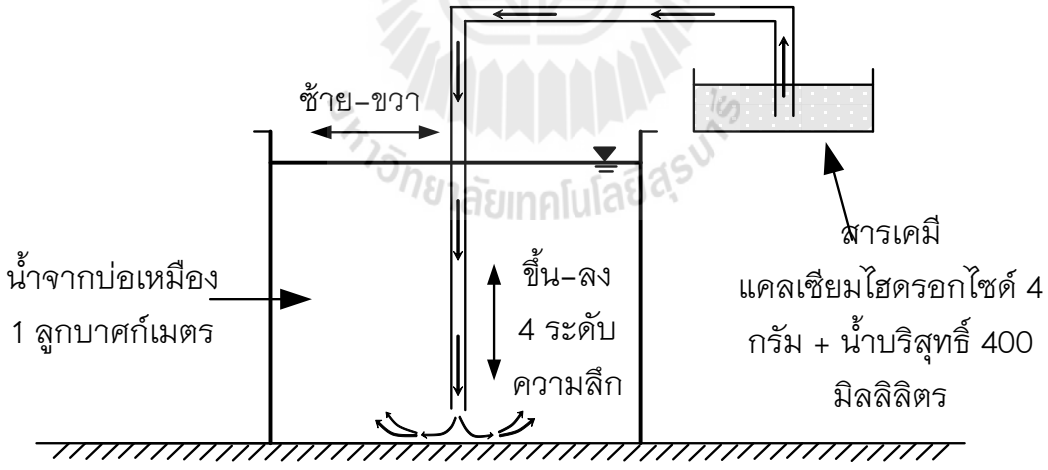
ปัจจัยหลักที่สำคัญในการจำลองนี้คือ ผงแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่สามารถจัดซื้อได้จากร้านค้าที่จำหน่ายสารเคมีทั่วไป นำมาผสมกับน้ำบริสุทธิ์ในอัตราส่วนผงแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัมต่อน้ำบริสุทธิ์ 400 มิลลิลิตร (หรือ 1:100 โดยน้ำหนัก) ซึ่งส่วนผสมจะมีความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) เท่ากับ 1.10 หรือมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.100 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รูปที่ 4.5 แสดงแผนภูมิภาพตัดขวางในการปล่อยสารเคมีที่ใช้บำบัด (ผงแคลเซียมไฮดรอก–ไซด์+น้ำบริสุทธิ์) ซึ่งจะมีการปล่อยสารเคมีดังกล่าวโดยใช้สายยางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 เซนติเมตร โดยจะมีการปล่อยสารเคมีทั้งหมด 10 จุด กระจายทั่วพื้นที่หน้าตัดของถัง ในแต่ละตำแหน่งของการปล่อยสารเคมีปลายของสายยางจะอยู่ที่ระดับความลึก 20, 40, 60 และ 80 เซนติเมตร จากระดับผิวน้ำ แต่ละระดับความลึกจะปล่อยสารเคมีออกมา 10 มิลลิลิตร ซึ่งปริมาตรของการปล่อยนี้สามารถควบคุมได้โดยใช้หลอดทดสอบที่มีมาตรวัดปริมาตรอย่างละเอียด ในขณะที่ทำการปล่อยสารเคมีผู้ทดสอบได้ระวังมิให้เกิดการกวนหรือหมุนเวียนของน้ำในถัง โดยที่น้ำในถังจะอยู่นิ่งตลอดเวลา ดังนั้นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะไม่ถูกช่วยเหลือโดยการไหลเวียนของน้ำ ซึ่งจะสอดคล้องกับสภาวะจริงที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำในบ่อเหมือง ซึ่งเป็นแนวคิดที่เสนอไว้ในการศึกษานี้

หลังจากปล่อยสารเคมีทั้งหมด 400 มิลลิลิตร ลงในถังจำลองหมดเรียบร้อยแล้ว ได้มีการนำตัวอย่างน้ำในถังจำลองมาตรวจวัดค่า pH ทุกครึ่งชั่วโมง และเมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 3 ถึงชั่วโมงที่ 18.5 ค่า pH มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงที่ 6.7 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำที่ได้จำลองการบำบัดแล้วกลับมาทดสอบทางเคมีในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่าความเป็นกรด ผลจากการตรวจวัดค่า pH ได้นำมาลงจุดเชิงเวลาในรูปที่ 4.7

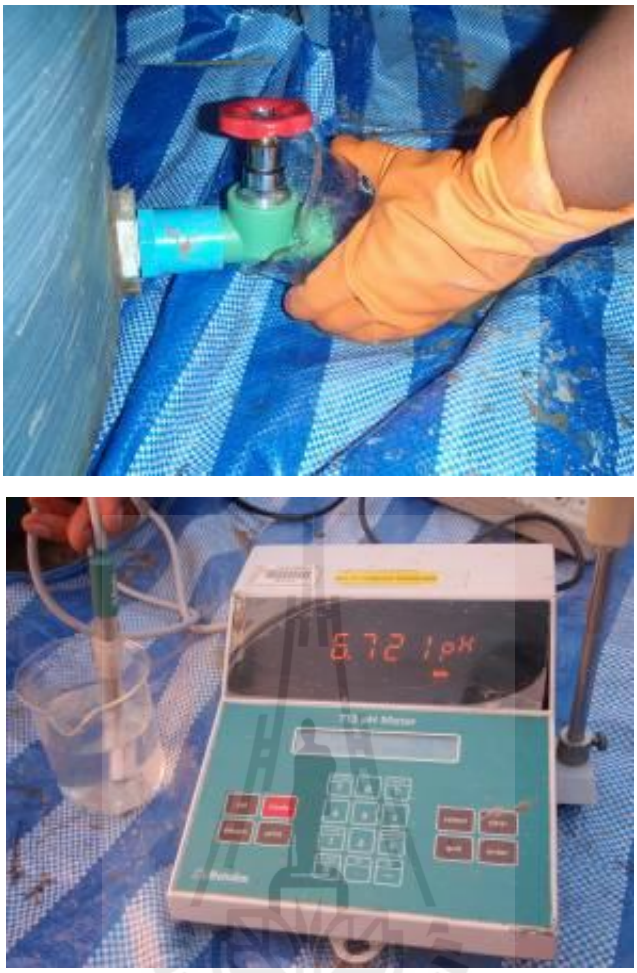
กลยุทธ์ที่ 4 การบำบัดน้ำในพื้นที่บ่อเหมืองจริง

ผลจากการศึกษาระบุว่าสารเคมีที่เหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดคือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยการคำนวณอัตราส่วนได้ให้ไว้ในตารางที่ 4.4 ดังนั้น เพื่อให้การบำบัดสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวกจึงได้กำหนดอัตราส่วนปริมาณสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำบริสุทธิ์และต่อปริมาณน้ำในบ่อเหมืองดังรายละเอียดในตารางที่ 4.5

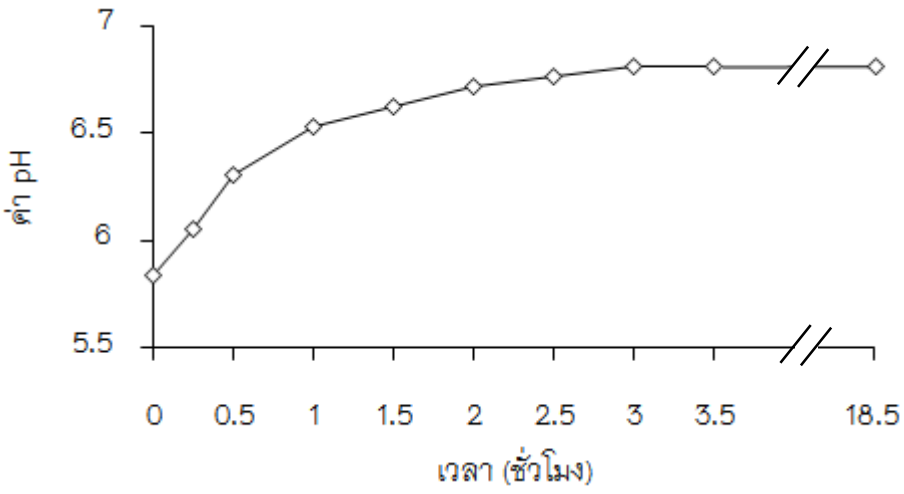
รูปที่ 4.4 การนำตัวอย่างน้ำจากบ่อเหมืองมาจำลองการบำบัด



รูปที่ 4.5 รูปแบบจำลองการบำบัดความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง



รูปที่ 4.6 การวัดค่า pH ของน้ำหลังการจำลองการบำบัดในภาคสนาม



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ขณะที่ทำการจำลองการบำบัด

ตารางที่ 4.5 อัตราส่วนของสารเคมีต่อน้ำในบ่อเหมือง

ปริมาณน้ำในบ่อเหมือง	ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์	น้ำบริสุทธิ์ที่จะนำมาผสม
1 ลูกบาศก์เมตร	5 กรัม	500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
1 ล้านลูกบาศก์เมตร	5 ตัน	500 ลูกบาศก์เมตร สามารถลดปริมาณเป็น 50 ลูกบาศก์เมตร

ในการบำบัดจะใช้น้ำบริสุทธิ์ปริมาณ 500 ลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกต่อผู้ประกอบการ ปริมาณสารเคมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 5 ตัน สามารถละลายในน้ำบริสุทธิ์ 50 ลูกบาศก์เมตร ได้เช่นกันโดยอาจจำเป็นต้องกวนอย่างต่อเนื่อง

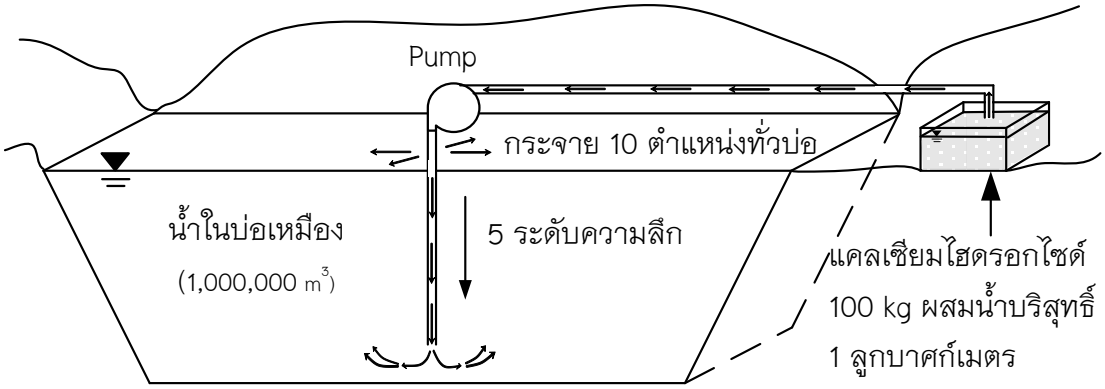
อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการบำบัดประกอบด้วย

1) ปั้มน้ำ
2) น้ำบริสุทธิ์ 50 ลูกบาศก์เมตร
3) สารแคลเซียมไฮดรอกไซด์แบบผง 5 ตัน
4) ท่อน้ำยาวประมาณ 150 เมตร
5) มาตรวัดระดับความลึก
6) ถังน้ำขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร
7) เรือหรือทุ่นลอย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขั้นตอนการบำบัดประกอบด้วย

1) นำน้ำบริสุทธิ์ใส่ถังผสมที่มีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร
2) นำสารเคมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 100 กิโลกรัม ผสมกับน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร ในถังผสมที่วางตำแหน่งไว้บริเวณปากบ่อเหมืองดังแสดงในรูปที่ 4.8
3) ต่อท่อน้ำผ่านปั้มไปยังจุดในบ่อเหมือง จุดดังกล่าวสามารถอ้างอิงได้จากพิกัด ซึ่งจะมีทั้งหมด 10 จุด แต่ละจุดจะมีจุดปล่อยสารเคมี 5 ระดับความลึกคือ 1, 5, 10, 15 และ 20 เมตร (เนื่องจากส่วนผสมมีความหนาแน่น 1.10 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าน้ำในบ่อเหมือง จึงแนะนำให้ปล่อยสารบำบัดในระดับใกล้ผิวน้ำถึงระดับครึ่งหนึ่งของความลึกสูงสุด เพื่อให้สารบำบัดทำปฏิกิริยากับน้ำในบ่อเหมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ)
4) เลือกตำแหน่งจุดปล่อยสารเคมีและความลึกที่กำหนด



รูปที่ 4.8 วิธีการบำบัดความเป็นกรดในบ่อเหมือง

5) ปั้มสารเคมีที่ผสมกับน้ำบริสุทธิ์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ลงไปยังความลึกที่ต้องการจนหมด
6) ผสมสารเคมีกับน้ำบริสุทธิ์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นจึงสูบสารเคมีลงไปที่ระดับความลึกต่อไปจนหมด
7) ทำการบำบัดซ้ำโดยใช้ปริมาตรน้ำบริสุทธิ์ผสมสารเคมี 5 ลูกบาศก์เมตร ต่อ 1 จุด ซึ่งจะมีทั้งหมด 10 จุด ในพื้นที่บ่อเหมือง ดังนั้นจะใช้ปริมาณน้ำบริสุทธิ์ผสมสารบำบัดทั้งสิ้น 50 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งขบวนการทั้งหมดสามารถดำเนินการเสร็จสิ้นภายใน 1 วัน

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอาจใช้เวลาระยะหนึ่งซึ่งขึ้นกับการหมุนเวียนและอุณหภูมิของน้ำ คณะผู้ศึกษาแนะนำว่าควรมีการตรวจสอบค่า pH ของน้ำในบ่อเหมืองเป็นระยะ เช่น หลังจากการบำบัด 1 วัน 1 สัปดาห์ 2 สัปดาห์ และ 1 เดือน

กลยุทธ์ที่ 5 การป้องกันความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง

ผลจากการศึกษาคุณภาพดินและน้ำของบ่อเหมืองระบุว่า ความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองในอนาคตอาจเกิดจากการชะล้างและความซึมผ่านของเศษถ่านหินที่อยู่ทางด้านเหนือของบ่อเหมือง ซึ่งคาดว่าจะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ค่า pH ของน้ำในบ่อเหมืองลดต่ำลงจากค่ากลาง

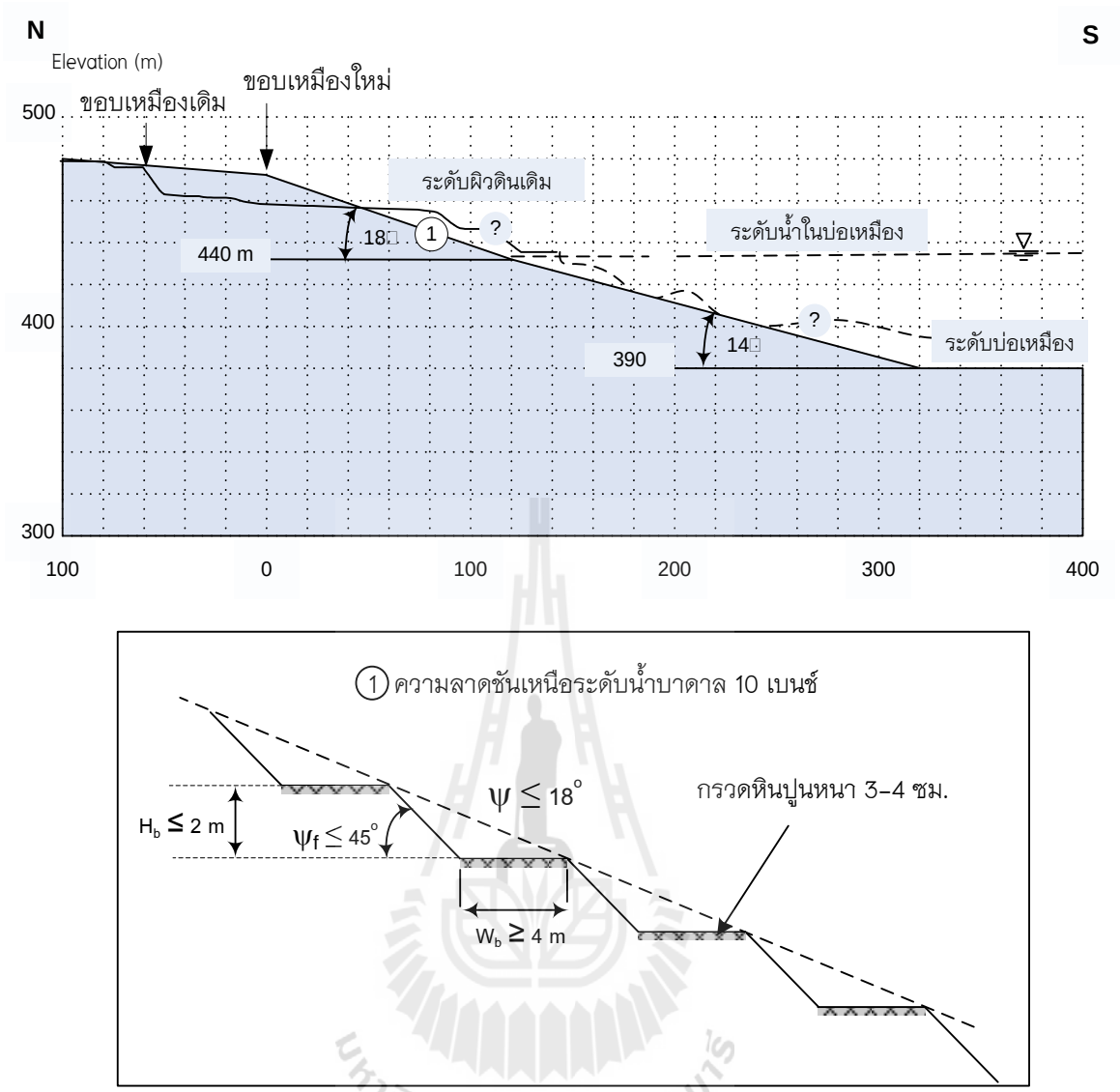
ผลจากการตรวจวัดค่า pH ของน้ำในบ่อเหมืองที่ตำแหน่งและระดับความลึกต่างกัน ระบุว่า ชั้นถ่านหินที่อยู่ทางด้านทิศตะวันตกและทางด้านทิศใต้ของบ่อเหมืองจะมีผลกระทบน้อยมากต่อความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง เพราะค่า pH ของน้ำที่ความลึกใกล้เคียงกับชั้นถ่านหิน

ไม่แตกต่างกับค่า pH ของน้ำที่ตำแหน่งและความลึกอื่นของบ่อ ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากการพังทลายและการตกตะกอนของชั้นหินปิดทับ จึงทำให้ชั้นถ่านหินไม่สัมผัสกับน้ำในบ่อเหมืองโดยตรง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การป้องกันความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมืองในอนาคตจึงเน้นไปที่ด้านเหนือของบ่อเหมืองซึ่งเป็นบริเวณที่มีเศษถ่านหินทับถมอยู่

จากการศึกษาพบว่าความลาดชันของดินถมกลับที่อยู่เหนือระดับน้ำในบ่อเหมือง (440 เมตร) ควรมีความชันโดยรวมเท่ากับหรือน้อยกว่า 18 องศา โดยสามารถแยกเป็นเบนช์ที่มีความสูง 2 เมตร กว้าง 4 เมตร และชัน 45 องศา ซึ่งจะส่งผลให้มีเสถียรภาพเชิงกลศาสตร์ในระยะยาว เพื่อคงไว้ซึ่งการออกแบบในลักษณะเดิม การป้องกันการส่งผ่านความเป็นกรดของเศษถ่านหินบนความลาดชันนี้สามารถทำได้ด้วยการ นำกรวดหินปูนบดขนาด 1–2 นิ้ว มาโรยไว้บนหน้าของเบนช์ ซึ่งการปูหน้าเบนช์ด้วยหินปูนนี้จะไม่ส่งผลทางด้านลบต่อเสถียรภาพความลาดชันที่ออกแบบไว้ การปูหน้าเบนช์ด้วยหินปูนจะดำเนินการสำหรับเบนช์ที่อยู่เหนือระดับน้ำของบ่อเหมืองเท่านั้น จากภูมิประเทศของขอบบ่อเหมืองแสดงความยาวของความลาดชันที่มีชั้นของเศษถ่านหินประมาณ 100 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.9 ความลาดชันที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลที่มีกรวดหินปูนหนา 3–4 เซนติเมตร ปูอยู่บนผิวของเบนช์

บทที่ 5
สรุปแนวทางแผนแม่บท

แผนแม่บทฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานสำหรับบำบัดน้ำในบ่อเหมืองแร่ถ่านหินที่ประสบปัญหาความเป็นกรด ตามประเด็นยุทธศาสตร์ที่ได้กำหนดไว้ในตอนต้น 3 ประการคือ การตรวจสอบสาเหตุความเป็นกรด การบำบัดความเป็นกรด และการกำหนดมาตรการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาขึ้นอีกในอนาคต ซึ่งผู้ประกอบการเหมืองสามารถนำไปใช้ได้จริง สอดคล้องกับประกาศจากคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ว่าด้วยเรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และประกาศจากคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ว่าด้วยเรื่องมาตรฐานและคุณภาพน้ำใต้ดิน

ภารกิจหลักที่แผนแม่บทฉบับนี้เสนอคือการสำรวจและตรวจสอบเพื่อหาปัจจัยและสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาความเป็นกรดของน้ำในบ่อเหมือง ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นประการแรกที่ผู้ประกอบการเหมืองควรทราบ เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ เมื่อทราบถึงปัญหาแล้วจึงทำการทดสอบและวิเคราะห์เพื่อสร้างรูปแบบการบำบัดให้เหมาะสมกับลักษณะเหมืองนั้นๆ เมื่อบำบัดน้ำในบ่อจนมั่นใจแล้วว่าสภาพความเป็นกรดของน้ำอยู่ในสภาวะปกติตามที่กฎหมายกำหนด ในขั้นตอนสุดท้ายควรมีมาตรการป้องกันเพื่อไม่ให้ปัญหาความเป็นกรดเกิดขึ้นได้อีกตามที่แผนแม่บทได้เสนอไว้

ก่อนที่จะมีการจัดทำแผนแม่บทฉบับนี้ ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบจริงจากตัวอย่างน้ำในบ่อเหมืองที่กำลังประสบปัญหาความเป็นกรด เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสม ไม่ซับซ้อน และประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัด เพื่อเป็นการสร้างแรงกระตุ้นให้ผู้ประกอบการเหมืองเห็นความสำคัญของปัญหานี้ ผู้ประกอบการเหมืองที่นำแผนแม่บทนี้ไปใช้เป็นแนวทางควรตระหนักถึงรายละเอียดในการปฏิบัติงานจริงในเหมืองของตน ซึ่งจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในบางส่วนให้เหมาะสมกับสภาพเหมืองนั้นๆ เช่น ชนิดของสารเคมีที่ใช้บำบัด ปริมาณและอัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้บำบัด รูปแบบความลาดเอียงของขอบบ่อที่อาจต้องมีการออกแบบใหม่ เป็นต้น นอกจากนี้ในการปฏิบัติงานทุกครั้งควรอยู่ภายใต้มาตรฐานความปลอดภัยในทุกขั้นตอน ควรมีการวางแผนเพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปอย่างถูกต้อง เช่น การเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกที่ต้องการโดยไม่ให้น้ำในระดับความลึกอื่นเข้ามาปะปน เป็นต้น หากทุกๆ เหมืองร่วมมือกันแก้ไขปัญหาอย่างจริงจัง จะเป็นการลดปัญหาทรัพยากรน้ำได้อย่างเป็นรูปธรรม

บรรณานุกรม

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน

Batten, B., J., Sibrell, P., L. and Schwartz, M., F. 2005. Acid neutralization within limestone sand reactors receiving coalminedrainage. Environmental Pollution. 137(2): 295–304

Colmer, A., R. and Hinkle, M., E., 1947. The Role of Microorganisms in Acid Mine Drainage Preliminary Report. Science. 106:253–256

Liang–qi, L., Ci–an, S., Xiang–li, X., Yan–hong, L. and Fei, W., 2010. Acid mine drainage and heavy metal contamination in groundwater of metal sulfide mine at arid territoty (BS mine, Western Australia). National Natural Science Foundation of China; Project (0991024). pp. 1488–1493

Rios, C., A., Williams, C., D., and Roberts, C. L. 2008. Removal of heavy metals from acidminedrainage (AMD) using caol fly ash, natural clinker and synthetic zeolites. Journal of Hazardous Materials.156(1–3): 23–35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัตินักวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. กิตติเทพ เฟื่องขจร เกิดเมื่อวันที่ 16 กันยายน 2500 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาปริญญาเอกจาก University of Arizona ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา สาขาวิชา Geological Engineering ในปี ค.ศ. 1988 และสำเร็จ Post-doctoral Fellows ในปี ค.ศ. 1990 ที่ University of Arizona ปัจจุบันมีตำแหน่งเป็นประธานกรรมการบริษัท Rock Engineering International ประเทศสหรัฐอเมริกา และดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำอยู่ที่สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา มีความชำนาญพิเศษทางด้านกลศาสตร์ของหินในเชิงการทดลอง การออกแบบและการวิเคราะห์โดยใช้คอมพิวเตอร์ ได้เคยทำการวิจัยเป็นหัวหน้าโครงการที่สำเร็จมาแล้วมากกว่า 10 โครงการทั้งในสหรัฐอเมริกาและประเทศไทย มีสิ่งตีพิมพ์นานาชาติมากกว่า 50 บทความ ทั้งวารสาร นิตยสาร รายงานรัฐบาล และบทความการประชุมนานาชาติ เป็นผู้แต่งตำรา “Sealing of Boreholes and Underground Excavations in Rock” ที่ใช้อยู่ในหลายมหาวิทยาลัยในสหรัฐอเมริกา ดำรงตำแหน่งเป็นที่ปรึกษาทางวิชาการขององค์กรรัฐบาลและหลายบริษัทในประเทศสหรัฐอเมริกา และแคนาดา เช่น U.S. Nuclear Regulatory Commission, U.S. Department of Energy, Dow Chemical Co., Southwest Research Institute, UNOCAL, Phelp Dodge Co. และ Amoco Oil Co. เป็นวิศวกรที่ปรึกษาของ UNISEARCH จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นคณะกรรมการในการคัดเลือกข้อเสนอโครงการของ U.S. National Science Foundation และ Idaho State Board of Education และเป็นคณะกรรมการในการคัดเลือกบทความทางวิชาการของสำนักพิมพ์ Chapman & Hall ในประเทศอังกฤษ และ Elsevier Sciences Publishing Co. ในประเทศเนเธอร์แลนด์