

รายงานวิชาการ

ฉบับที่ สอพ. 4/2550

การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ของเปลือกดิน
ชั้นหิน (Acid-Base Accounting : ABA)
เพื่อประเมินศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด

สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

รายงานวิชาการ

ฉบับที่ สอพ. 4/2550

การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ของเปลือกดิน
ชั้นหิน (Acid-Base Accounting : ABA)
เพื่อประเมินศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด

นุชนาท นาคำ

สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

อธิบดีกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

นายอนุสรณ์ เนื่องผลมาก

ผู้อำนวยการสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน

นายสุรพงษ์ เชียงทอง

หัวหน้ากลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐาน 4 นางนันทนา กันยานุวัฒน์

จัดพิมพ์โดย

กลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐาน 4 สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ. 10400

โทรศัพท์ 0 2463 5942

โทรสาร 0 2464 2054

พิมพ์ครั้งที่ 1

ธันวาคม 2550

จำนวน 20 เล่ม

ข้อมูลการลงรายการบรรณานุกรม

นุชนาท นาคำ.

การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ของเปลือกดินชั้นหิน (Acid-Base Accounting : ABA) เพื่อประเมินศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด / โดย นุชนาท นาคำ.--กรุงเทพฯ : กลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐาน 4 สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2550.

26 หน้า : ภาพประกอบ : ตาราง ; 30 ซม.

รายงานวิชาการ ฉบับที่ สอพ. 4/2550.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	VI
คำขอบคุณ	VII
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
น้ำเหมืองเป็นกรด	3
ความหมายของน้ำเหมืองเป็นกรด	3
การเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด	3
เคมีของการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด	5
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำที่ระบายออกจากโครงการเหมืองแร่	7
ปัจจัยปฐมภูมิ	7
ปัจจัยทุติยภูมิ	7
ปัจจัยตติยภูมิ	7
เทคนิคการบำบัดน้ำเหมืองเป็นกรด	8
Active treatment	8
Passive treatment	9
หลักการทั่วไปของการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน	10
ความหมายของการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน	10
ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุดของเปลือกดินชั้นหิน	10
ศักยภาพความเป็นกลางของเปลือกดินชั้นหิน	12
ค่าความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน	13
ศักยภาพความเป็นกลางสุทธิและอัตราส่วนศักยภาพความเป็นกลาง	13
การแปลความข้อมูลจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค ABA	13
การดำเนินการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน	16
การเก็บและเตรียมตัวอย่าง	16
อุปกรณ์และสารเคมี	17
เครื่องมือและอุปกรณ์	17
สารเคมี	17
การตรวจวัดค่าความเป็นกรดต่าง	18
การหาอัตราการฟูกรด	19
การหาอัตราคาร์บอนेट	19

การวิเคราะห์ศักยภาพความเป็นกลางของเปลือกดินชั้นหิน	20
การวิเคราะห์ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุด	21
ศักยภาพความเป็นกลางสุทธิ	22
อัตราส่วนศักยภาพความเป็นกลาง	22
ผลการทดลอง	23
บทสรุป	25
เอกสารอ้างอิง	26

สารบัญรูป

	หน้า
1. ลำธารซึ่งได้รับผลกระทบจากน้ำเหมืองเป็นกรดจากโครงการเหมืองแร่ถ่านหิน โดยพื้นดินใต้น้ำถูกคลุมไปด้วย ferric hydroxide	6
2. ขั้นตอนการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน(ABA)	16

สารบัญตาราง

	หน้า
1. อัตราการฟุกรตและลักษณะความรุนแรงของการเกิดปฏิกิริยา	19
2. อัตราคาร์บอนเนตโดยเปรียบเทียบจากตะกอนที่เหลือ	20
3. ความสัมพันธ์ของอัตราการฟุกรตหรืออัตราคาร์บอนเนตกับปริมาณกรด HCl ที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ NP	20
4. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก บริษัท บ้านปู จำกัด (มหาชน) ด้วยเทคนิค ABA	23

การตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ของเปลือกดินชั้นหิน

(Acid-Base Accounting : ABA)

เพื่อประเมินศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด

โดย นุชนาท นาคำ

บทคัดย่อ

การตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน (Acid Base Accounting : ABA) เป็นวิธีการทดสอบเบื้องต้นที่นิยมใช้เป็นอันดับแรกในการประเมินคุณภาพน้ำหรือศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด โดยมีเทคนิคที่ต้องทำการทดสอบ คือ การหาค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุดของเปลือกดินชั้นหิน (Maximum Potential Acidity : MPA) และ ศักยภาพความเป็นกลางของเปลือกดินชั้นหิน (Neutralization Potential : NP) โดยค่า acid potential และ neutralization potential ที่ตรวจวัดได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะบ่งถึงสภาพความเป็นกรดต่างที่อาจเกิดขึ้นเมื่อบริเวณเปลือกดินชั้นหินในบริเวณต่าง ๆ ถูกทิ้งร้าง

การตรวจสอบด้วยเทคนิค ABA เป็นเพียงการประเมินแนวโน้มการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดภายหลังโครงการเหมืองแร่สิ้นสุดลงแต่ไม่สามารถบ่งถึงอัตราเร็วของการเกิดได้ อีกทั้งการแปลความหมายของข้อมูลมีความจำเพาะในแต่ละพื้นที่และผู้ประเมินจะต้องอาศัยประสบการณ์และข้อมูลด้านต่าง ๆ มาประกอบการประเมิน ถ้าต้องการประเมินศักยภาพของการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดที่ถูกต้องแม่นยำจำเป็นต้องวิเคราะห์จากปัจจัยหลาย ๆ ด้านมาประกอบ เช่น ผลการทดสอบ ABA ข้อมูลทางธรณีวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยา สภาพอากาศ คุณภาพน้ำก่อนการทำเหมืองแร่และระบบการไหลของน้ำใต้ดิน เป็นต้น

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณคุณสุรพงษ์ เชียงทอง ผู้อำนวยการสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน ที่ให้การสนับสนุนในการจัดทำเอกสารวิชาการ คุณนันทนา กัญยานุวัฒน์ หัวหน้ากลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐาน 4 ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการจัดทำเอกสาร และขอขอบคุณข้าราชการเพื่อนร่วมงานในกลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐาน 4 ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

บทนำ

น้ำ เป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตทั้งของมนุษย์ สัตว์ รวมทั้งมีความสำคัญต่อระบบนิเวศน์ทางธรรมชาติ จะเห็นได้ว่าชุมชนส่วนใหญ่อาศัยอยู่ใกล้บริเวณที่มีแหล่งน้ำ มีการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านอุปโภค บริโภค ทางด้านเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม ในปัจจุบันมีการพัฒนาให้มีความเจริญในทุก ๆ ด้านมากมาย บางกิจกรรมก่อให้เกิดปัญหามลพิษมีการปล่อยสารเคมีและของเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการบำบัดก่อน ทำให้แหล่งน้ำเกิดการปนเปื้อน น้ำมีคุณภาพต่ำไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ อีกทั้งยังเป็นผลก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมตามมาอีกมากมายไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมใด ๆ ก็ตามที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมถ้าเรามีความใส่ใจและมีการวางแผนจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี ส่งเสริมให้ความรู้และมีการร่วมมือกันระหว่างภาครัฐและเอกชน อีกทั้งให้ประชาชนได้มีส่วนร่วมในการเฝ้าระวัง ปัญหาที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะไม่เกิดขึ้น

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่มีภาระกิจหลักในการบริหารจัดการอุตสาหกรรมพื้นฐานและอุตสาหกรรมเหมืองแร่ให้เป็นไปอย่างมีคุณภาพ ทั้งทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม การส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้ประกอบการในการดำเนินการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม รวมถึงมีการเฝ้าระวังและติดตามผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการวางแผนจัดการสิ่งแวดล้อมก่อนการทำเหมืองแร่ ผู้ประกอบการจึงควรศึกษาถึงปัญหาการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดในพื้นที่โครงการ เพื่อหาแนวทางและมาตรการที่ดีในการป้องกันแก้ไขต่อไป ทั้งนี้การเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำเป็นกรดแล้วยังช่วยเร่งให้มีการชะล้างเอาโลหะหนักต่าง ๆ ออกมาอีกด้วย ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำ ถึงแม้ว่าในประเทศไทยยังไม่ประสบกับปัญหาดังกล่าวอย่างชัดเจนแต่ในต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา สเปน แคนาดา ได้ประสบกับปัญหาการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดหลังจากที่โครงการเหมืองแร่ได้สิ้นสุดลง ในเอกสารฉบับนี้ผู้เขียนจึงได้ทำการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเพื่อเป็นแนวในการป้องกันและเฝ้าระวังถึงผลกระทบที่จะเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดจากการประกอบการเหมืองแร่ซึ่งเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุ พร้อมทั้งเทคนิคของการบำบัดน้ำเหมืองเป็นกรดซึ่งเป็นเทคนิคของการลดหรือกำจัดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ พร้อมทั้งอธิบายหลักการทั่วไปของการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน และวิธีการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน (acid base accounting) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบเบื้องต้นที่นิยมใช้เป็นอันดับแรก ๆ ในการประเมินคุณภาพน้ำหรือศึกษาการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด อันจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรงหรือผู้ที่สนใจต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ใช้เป็นแนวทางการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน (acid base accounting) เพื่อประเมินศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด
2. เพื่อใช้เป็นแหล่งความรู้แก่บุคคลทั่วไปที่สนใจเรื่องทางการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน (acid base accounting)
3. เพื่อเป็นการส่งเสริมสนับสนุนให้ผู้ประกอบการเหมืองแร่มีความตระหนัก ในการวางแผนจัดการปัญหาการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

น้ำเหมืองเป็นกรด

ปัจจุบันคนในสังคมเริ่มให้ความสำคัญเกี่ยวกับการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมจากการประกอบการเหมืองแร่เพิ่มมากขึ้น ทำให้บริษัทสำรวจแหล่งแร่และผู้ประกอบการเหมืองแร่ส่วนใหญ่จึงต้องจัดทำมาตรการควบคุมและเฝ้าระวังผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทุก ๆ ด้านทั้งในขั้นตอนการสำรวจเหมืองแร่ การทำเหมืองแร่ และการฟื้นฟูพื้นที่โครงการเหมืองแร่ เพื่อให้การประกอบการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด

การเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด (acid mine drainage) เป็นปัญหาหนึ่งที่มีกพบจากการประกอบการเหมืองแร่ โดยเฉพาะเมื่อโครงการเหมืองแร่ได้สิ้นสุดลง เพื่อบรรเทาและป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของน้ำเหมืองเป็นกรดสู่สิ่งแวดล้อม ผู้ประกอบการและภาครัฐจะต้องวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม รวมถึงให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการเฝ้าระวังผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น

1. ความหมายของน้ำเหมืองเป็นกรด

น้ำเหมืองเป็นกรด (acid mine drainage หรือ acid rock drainage) หมายถึง น้ำที่ระบายออกจากบริเวณโครงการเหมืองแร่ที่ถูกทิ้งร้าง ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ต่ำ และยังสามารถประกอบด้วยโลหะหนักต่าง ๆ เช่น อะลูมิเนียม (Al) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) และแมงกานีส (Mn) ละลายอยู่ในปริมาณสูง โดยปกติการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดสามารถเกิดขึ้นได้เองอย่างช้า ๆ เนื่องจากการสักร่อนผุพังตามธรรมชาติของชั้นดินและหิน แต่อัตราการเกิดน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรดนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อชั้นดินและหินซึ่งมีแร่ซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบได้รับการรบกวน (Wikipedia, 2007a)

2. การเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด

น้ำเหมืองเป็นกรดเกิดขึ้นจากแร่ซัลไฟด์ในชั้นดินและหินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแร่ซัลไฟด์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น pyrite (FeS_2), pyrrhotite (Fe_{1-x}S), enargite ($\text{Cu}_3\text{As}_4\text{S}_4$), marcasite (FeS_2), arsenopyrite ($\text{FeS}_2 \cdot \text{FeAs}_2$), tennantite ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) และ orpiment (As_2S_3) เป็นต้น แต่ pyrrhotite, pyrite และ marcasite ซึ่งเรียกรวม ๆ ว่า pyritic mineral เป็นแร่ที่มักพบในถ่านหินและเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดน้ำเหมืองเป็นกรด เมื่อแร่ซัลไฟด์ซึ่งถูกฝังในพื้นที่ที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ถูกขุดขึ้นมาอยู่บนพื้นผิวดินจากการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การทำเหมืองแร่ถ่านหิน แร่ทองแดง แร่ทองคำ แร่เงิน แร่สังกะสี แร่ตะกั่ว และแร่ยูเรเนียม การก่อสร้างทางหลวง กิจกรรมอื่น ๆ ที่ต้องมีการขุดดินปริมาณมากขึ้นมา ทำให้แร่ซัลไฟด์มีโอกาสสัมผัสกับบรรยากาศบนผิวดินซึ่งมีปริมาณออกซิเจนสูง ยิ่งไปกว่านั้นการกองแร่ดังกล่าวบนผิวดินยังทำให้ต้องเผชิญกับน้ำฝนและน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้ผลิตผลเป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ทำให้

น้ำที่ไหลผ่านบริเวณกองแร่ดังกล่าวมีค่าความเป็นกรดสูง และยังสามารถชะล้างเอาโลหะหนักต่าง ๆ รวมถึงซัลเฟตซึ่งเป็นองค์ประกอบในกองดินและหินละลายออกมาด้วย ซึ่งหากไม่เร่งดำเนินการบำบัด ก็อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้ เช่น การปนเปื้อนในน้ำดื่ม การดำรงชีวิตของพืช และสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ และการสึกกร่อนของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ได้แก่ สะพาน ภูเขา และอาคาร บ้านเรือน เป็นต้น (Todd and Reddick, 1997)

ปัญหาการเกิดน้ำเหม็นองเป็นกรดเกิดขึ้นในหลาย ๆ ประเทศ เช่น ในสหรัฐอเมริกา พบว่า 90 % ของการเกิดน้ำเหม็นองเป็นกรดมาจากลำนํ้าซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากเหมืองแร่ที่ถูกทิ้งล้างทิ้ง ที่เป็นเหมืองแร่บนดินและเหมืองแร่ใต้ดินในบริเวณรัฐต่าง ๆ ได้แก่ Pennsylvania, West Virginia, Ohio, Kentucky, Maryland, Indiana, Illinois, Iowa, Missouri, Tennessee, Virginia, Alabama และ Georgia โดยเฉพาะรัฐ Pennsylvania และ Northern West Virginia ซึ่งโครงสร้างของเปลือกดินชั้นหินมีปริมาณหินปูน (limestone; CaCO_3) น้อยมาก

นอกจากนี้ แม่นํ้า Rio Tinto ในประเทศสเปน ซึ่งมีความหมายว่า แม่นํ้าแดง เป็นแหล่งน้ำที่ได้รับผลกระทบจากการประกอบการเหมืองแร่ โดยน้ำในแม่นํ้ามีค่าความเป็นกรดต่างต่ำ และมีสีแดงเข้ม เนื่องจากมีเหล็กละลายอยู่ในน้ำ รวมทั้งมีโลหะหนักต่าง ๆ ละลายอยู่ในปริมาณสูงนำไปสู่ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง (Wikipedia, 2007c)

และในประเทศแคนาดา น้ำในลำห้วย Britannia ตรวจพบว่ามีสารมลพิษในปริมาณสูงเป็นระยะทางกว่า 2 กิโลเมตร แม้ว่าโครงการเหมืองแร่ในบริเวณนั้นจะสิ้นสุดโครงการไปแล้ว แต่ยังคงพบว่าน้ำที่ไหลผ่านเหมืองแร่ร้างนี้เป็นน้ำที่มีความเป็นกรดสูง ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตในลำห้วยไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ อีกทั้งมนุษย์ไม่สามารถนำมาใช้ในการบริโภคหรือการเกษตรได้ (Wikipedia, 2007b)

จะเห็นได้ว่าปัญหาการเกิดน้ำเหม็นองเป็นกรดเป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง ซึ่งอาจต้องใช้เวลาและเสียงบประมาณจำนวนมากในการบำบัด ดังนั้น การศึกษาและวางแผนโครงการก่อนและหลังการทำเหมืองแร่หรือกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดน้ำเหม็นองเป็นกรดจึงน่าจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด

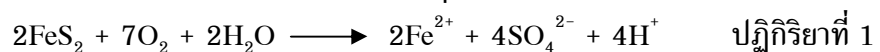
3. เคมีของการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด

เนื่องจากแร่ไพไรต์ (pyrite; FeS_2) จัดเป็นแร่ซัลไฟด์หลักที่ทำให้เกิดปัญหาน้ำเหมืองเป็นกรด ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงปฏิกิริยาเคมีของการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดจึงจะกล่าวถึงเฉพาะแร่ไพไรต์โดยถือเป็นตัวแทนของแร่ซัลไฟด์

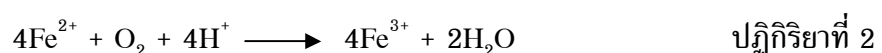
โดยปกติการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดจะเกิดจากการสักร่อนและสลายตัวของแร่ทั้งทางกายภาพและเคมี การสลายตัวทางกายภาพ (physical weathering) เช่น การบดย่อยแร่ มีผลทำให้แร่มีขนาดเล็กลง เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำและอากาศ จากนั้นจะเกิดการสลายตัวทางเคมี (chemical weathering) ซึ่งก็คือ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแร่ไพไรต์นั่นเอง

ปฏิกิริยาเคมีของการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดจากการสลายตัวของแร่ไพไรต์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก (LEO and the SERVIT Group, 2004) ดังนี้

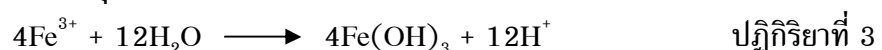
ขั้นตอนแรกจะเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไพไรต์ด้วยออกซิเจน ดังปฏิกิริยาที่ 1 ทำให้ซัลเฟอร์ (S) ถูกออกซิไดส์ กลายเป็นซัลเฟต (SO_4^{2-}) และเหล็ก (II) (Fe^{2+}) ถูกปล่อยให้เป็นอิสระ จากปฏิกิริยาดังกล่าว ไพไรต์ 1 โมล จะทำให้เกิดโมเลกุลของกรด (H^+) จำนวน 2 โมล



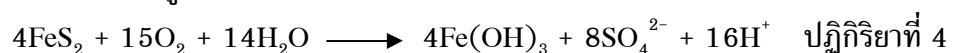
ขั้นที่สองเป็นการเปลี่ยนเหล็ก (II) (Fe^{2+}) เป็นเหล็ก (III) (Fe^{3+}) ดังปฏิกิริยาที่ 2 โดยการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวต้องใช้กรดจำนวน 1 โมล รวมถึงแบคทีเรียบางชนิด เพื่อช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาในการเปลี่ยนเหล็ก (II) เป็นเหล็ก (III) นอกจากนี้อัตราการเกิดปฏิกิริยายังขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่างของระบบ โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (pH 2-3) และปราศจากแบคทีเรีย แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ pH ประมาณ 5 ดังนั้นปฏิกิริยานี้จึงเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราเร็วในการสลายตัวของไพไรต์



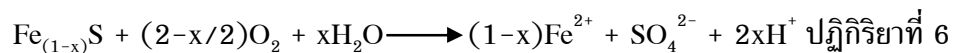
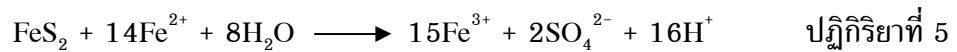
จากนั้นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเหล็กจะเกิดขึ้นเป็นขั้นตอนสุดท้าย ดังปฏิกิริยาที่ 3 โดยโมเลกุลน้ำจะแตกตัว เกิดเป็นตะกอนของ ferric hydroxide ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ซึ่งมีสีส้มเหลือง ที่เรียกว่า yellowboy แต่อย่างไรก็ดี การตกตะกอนของ ferric hydroxide นี้ขึ้นอยู่กับค่า pH โดยตะกอนจะเกิดขึ้นที่ pH สูงกว่า 3.5 แต่ถ้า pH น้อยกว่า 3.5 จะไม่เกิดการตกตะกอน นอกจากนี้ปฏิกิริยานี้ยังทำให้เหล็ก (II) 1 โมล เกิดโมเลกุลกรดจำนวน 3 โมล



ผลรวมของปฏิกิริยาที่ 1 ถึง 3 คือ ปฏิกิริยาที่ 4 จะเห็นได้ว่า เมื่อไพไรต์ถูกออกซิไดส์ จะทำให้เกิดโมเลกุลกรดที่สามารถปนเปื้อนในแหล่งน้ำ อีกทั้งบริเวณพื้นดินในแหล่งน้ำนั้นๆ ยังถูกปกคลุมไปด้วยตะกอนของ yellowboy ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 1 ทำให้สิ่งมีชีวิตต่างๆ ทั้งพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำได้รับผลกระทบและอาจตายได้ในไม่ช้า



อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระบบในธรรมชาติมีความซับซ้อน ดังนั้นปฏิกิริยาเคมีของการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงเป็นเพียงบางส่วนที่เกิดขึ้นจริงเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ไพไรต์สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีเหล็ก (II) เป็นตัวออกซิไดส์แทนออกซิเจน ดังปฏิกิริยาที่ 5 และปฏิกิริยาออกซิเดชันของ pyrrhotite ดังปฏิกิริยาที่ 6 ซึ่งล้วนทำให้เกิดโมเลกุลกรดได้เช่นกัน นอกจากนี้ ซัลไฟด์ของโลหะต่างๆ เช่น ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีในทำนองเดียวกัน และทำให้เกิดการปนเปื้อนของไอออนของโลหะหนักต่างๆ ที่มีพิษ กระจายออกไปกับน้ำทิ้งได้



เมื่อ x มีค่าระหว่าง 0.000 ถึง 0.125



รูปที่ 1 ลำธารซึ่งได้รับผลกระทบจากน้ำเหมืองเป็นกรดจากโครงการเหมืองแร่ถ่านหิน โดยพื้นดินใต้น้ำถูกคลุมไปด้วย ferric hydroxide คัดลอกจาก Wikipedia, 2007a

4. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำที่ระบายออกจากโครงการเหมืองแร่

แร่ซัลไฟด์ในเปลือกดินชั้นหินจัดเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดน้ำเหมืองเป็นกรด แต่การเกิดน้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำจะเกิดขึ้นมากน้อยขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ ด้วย โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพและปริมาณน้ำที่ระบายออกจากบริเวณโครงการเหมืองแร่ (Todd and Reddick, 1997) มีดังนี้

4.1 ปัจจัยปฐมภูมิ

ปัจจัยปฐมภูมิ หมายถึง ปริมาณน้ำหรือความชื้นในบรรยากาศ และออกซิเจนซึ่งอยู่ในรูปของแก๊สออกซิเจนในสิ่งแวดล้อม มีอิทธิพลต่อคุณภาพของน้ำที่ระบายออกจากบริเวณโครงการเหมืองแร่โดยตรง เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแร่ซัลไฟด์จะเกิดขึ้นได้ จะต้องใช้ออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดส์ และมีน้ำทำหน้าที่เป็นทั้งตัวรีดิวซ์ (reductant) ทำให้เกิดน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด นอกจากนี้ น้ำยังเป็นตัวทำละลายที่นำพาสารผลผลิตที่เกิดขึ้นไปยังบริเวณต่าง ๆ

4.2 ปัจจัยทุติยภูมิ

ปัจจัยทุติยภูมิ หมายถึง ความสามารถในการทำให้น้ำที่เป็นกรดมีความเป็นกลางด้วยสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ซึ่งมักหมายถึง ปริมาณแร่คาร์บอเนตในแหล่งแร่นั้น ๆ โดยทั่วไปแร่ที่มีปริมาณซัลไฟด์สูงแต่มีคาร์บอเนตต่ำมักจะทำให้เกิดน้ำที่เป็นกรด ในทางตรงกันข้าม แร่ที่มีปริมาณคาร์บอเนตสูง ๆ และมีซัลไฟด์บางส่วน ก็คาดว่าจะทำให้เกิดน้ำที่มีฤทธิ์เป็นด่าง

4.3 ปัจจัยตติยภูมิ

ปัจจัยตติยภูมิ ประกอบด้วย คุณลักษณะทางกายภาพของของเสียจากการทำเหมืองแร่ ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของของเสีย และระบบอุทกวิทยา

คุณลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ขนาดอนุภาค แนวนอนของการสึกกร่อนผุพังทางกายภาพ และความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) เนื่องจากขนาดอนุภาคมีความสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณพื้นที่ผิว โดยดินและหินที่มีขนาดอนุภาคเล็กก็จะมีปริมาณพื้นที่ผิวมากกว่าหินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ทำให้แร่ซัลไฟด์มีโอกาสสัมผัสกับน้ำและอากาศได้มากขึ้น จึงช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้สูงขึ้น นอกจากนี้การสึกกร่อนทางกายภาพยังเป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวอีกทางหนึ่งด้วย เมื่อพื้นที่ผิว การสึกกร่อนผุพัง และรอยแตกร้าวของหินเพิ่มมากขึ้น ก็จะยิ่งส่งผลให้น้ำและออกซิเจนสามารถแทรกซึมผ่านอนุภาคดินและหินได้ง่ายขึ้น

ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของของเสีย หมายถึง การจัดลำดับการกองของเสีย ซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพน้ำที่ระบายออกจากเหมืองแร่ได้ เช่น การกองแร่คาร์บอเนตบนแร่ไฟโรต์จะช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและกรดได้ เนื่องจากแร่คาร์บอเนตจะทำให้น้ำที่แทรกซึมผ่านกองแร่นั้น ๆ มีฤทธิ์เป็นด่าง

ระบบอุทกวิทยามีอิทธิพลต่อคุณภาพน้ำที่ระบายออกจากเหมืองแร่ เนื่องจากกองดินและหินที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลาจะช่วยลดการขนส่งออกซิเจนจากอากาศสู่น้ำ ทำให้ไม่เกิดน้ำเหมืองเป็นกรด แต่ถ้าปริมาณน้ำเหนือกองแร่มีความแปรปรวน ขึ้น ๆ ลง ๆ ก็อาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแร่ไพไรต์ในระหว่างที่ระดับน้ำลดลงได้

5. เทคนิคการบำบัดน้ำเหมืองเป็นกรด

เทคนิคการลดหรือกำจัดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากโลหะหนักและน้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำ สามารถแบ่งเป็น 2 วิธีหลักๆ ได้แก่ active treatment และ passive treatment (Environmental Protection Agency, 2007)

5.1 Active treatment

Active treatment เป็นการใส่สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เพื่อทำให้น้ำที่เป็นกรดมีความเป็นกลาง แต่อย่างไรก็ดี สารเคมีที่ใช้ การติดตั้งอุปกรณ์ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสำหรับเทคนิคนี้มักมีราคาค่อนข้างแพง โดยวิธีนี้แบ่งย่อยๆ ตามประเภทของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัด ดังนี้

5.1.1 หินปูน (Limestone)

หินปูน (Limestone หรือ calcium carbonate; CaCO_3) ซึ่งประกอบด้วยแคลเซียมในปริมาณสูงเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมวิธีหนึ่ง เนื่องจากหินปูนมีราคาถูก การใช้งานไม่ยุ่งยาก และตะกอนที่ได้จับตัวเป็นก้อนทำให้ง่ายในการกำจัด แต่มีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานและระบบการกำจัดมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากโมเลกุลของหินปูนอาจถูกเคลือบด้วยเปลือกที่เกิดจากการตกตะกอน ทำให้การบำบัดน้ำเหมืองเป็นกรดที่มีปริมาณเหล็กสูงไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงไม่สามารถกำจัดแมงกานีสออกได้

5.1.2 ปูนขาว (Hydrated Lime)

ปูนขาว (Hydrated lime หรือ calcium hydroxide; Ca(OH)_2) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเหมืองเป็นกรด โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ถ่านหิน เพราะมีราคาถูกและการใช้งานง่าย ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ แต่หลังการบำบัดอาจทำให้เกิดตะกอนปริมาณสูงมาก (เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หินปูน) และต้องใช้งบลงทุนเริ่มต้นที่สูง เนื่องจากโรงบำบัดมีขนาดใหญ่

5.1.3 โซดาแอส (Soda Ash)

โซดาแอส (Soda ash หรือ sodium carbonate; Na_2CO_3) มักนิยมใช้บำบัดน้ำเหมืองเป็นกรดที่เป็นลำน้ำสายเล็กๆ ซึ่งอยู่ในพื้นที่ห่างไกล โดยข้อเสียของวิธีนี้คือ สารเคมีที่ใช้มีราคาแพง (เมื่อเทียบกับหินปูน) และตะกอนไม่ค่อยนอนกัน

5.1.4 โซดาไฟ (Caustic soda)

โซดาไฟ (Caustic soda หรือ sodium hydroxide; NaOH) เป็นสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเหมืองเป็นกรดที่มีปริมาณแมงกานีสสูง และกระแสน้ำไหลอย่างช้าๆ แต่การใช้เทคนิคนี้อาจต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงและมีอันตรายในการจัดการสารเคมี

5.1.5 แอมโมเนีย (Ammonia)

แอมโมเนีย (Ammonia; NH_3) เป็นสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเหมืองเป็นกรดที่มีปริมาณเหล็กและแมงกานีสสูง รวมถึงแอมโมเนียมีราคาถูกกว่าโซดาไฟ แต่การใช้แอมโมเนียอาจทำได้ยากและมีอันตราย อีกทั้งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในกระแสน้ำได้ ดังนั้นการใช้แอมโมเนียจึงไม่เป็นที่นิยม แต่ถ้ามีการนำไปใช้จะต้องมีมาตรการเฝ้าระวังที่เหมาะสม

5.2 Passive treatment

Passive treatment เป็นเทคนิคการบำบัดน้ำเหมืองเป็นกรดด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ เพื่อลดความเป็นกรดและไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษามาก โดยเทคนิคที่จัดว่าเป็น passive treatment มีดังนี้

5.2.1 Constructed Wetland

Constructed wetland เป็นประเภทหนึ่งของเทคนิค passive treatment ซึ่งใช้จุลินทรีย์อาศัยในดินและน้ำ พร้อมทั้งพืชที่ขึ้นในบริเวณ wetland ในการกำจัดโลหะที่ละลายในน้ำ โดยวิธีนี้สามารถกำจัดเหล็กได้ดีกว่าแมงกานีส และจะให้ประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้บำบัดกระแสน้ำที่ไหลช้าๆ หรือประมาณ 1-2 แกลลอนต่อนาที แต่จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะขึ้นอยู่กับฤดูกาล เช่น ประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงในฤดูหนาว

5.2.2 Open Limestone channel/Anoxic Limestone Drain

Open limestone channel เป็นเทคนิค passive treatment ที่ไม่ยุ่งยากในการก่อสร้าง โดยการขุดคูแล้วเติมหินปูน การละลายของหินปูนจะช่วยเพิ่มความเป็นด่างและทำให้น้ำมีความเป็นกรดต่ำลง แต่การตกตะกอนของเหล็กและอะลูมิเนียมที่เกิดขึ้นอาจเคลือบหินปูนไว้ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง

5.2.3 Diversion Well

Diversion well เป็นการนำน้ำที่เป็นกรดไปใส่ในบ่อที่บรรจุไปด้วยหินปูนบดหยาบ โดยการเคลือบของเหล็กที่ตกตะกอนจะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากจัดให้มีกระแสน้ำที่เชี่ยวไหลผ่านบ่อตลอดเวลา ทำให้ระบบการบำบัดมีประสิทธิภาพสูง แต่ต้องมีการเติมหินปูนแทนที่อย่างสม่ำเสมอ

หลักการทั่วไปของการตรวจสอบความเป็นกรดต่าง ของเปลือกดินชั้นหิน

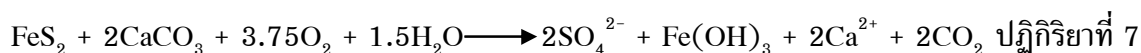
การวางแผนและการออกแบบโปรแกรมการสำรวจ การก่อสร้าง และการทำเหมืองแร่ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด เป็นโปรแกรมหนึ่งที่ผู้ประกอบการเหมืองแร่ให้ความสำคัญ เพื่อวัดศักยภาพการผลิตกรดของดินและหินในบริเวณพื้นที่โครงการเหมืองแร่ซึ่งอาจเกิดขึ้นภายหลังโครงการเหมืองแร่สิ้นสุด ด้วยการทดสอบหลากหลายวิธีในระดับห้องปฏิบัติการ เช่น acid base accounting, humidity cell, soxhlet extraction, leaching test และ field lysimeter test เป็นต้น โดย acid base accounting เป็นวิธีการทดสอบเบื้องต้นที่นิยมใช้เป็นอันดับแรก ๆ ในการประเมินคุณภาพน้ำหรือศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด (Perry, 1998)

1. ความหมายของการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน

การตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน (Acid-Base Accounting; ABA) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เปลือกดินชั้นหิน เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด โดยเทคนิคนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าความเป็นกรดต่าง (Paste pH) ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุดของเปลือกดินชั้นหิน (Maximum Potential Acidity; MPA) และศักยภาพความเป็นกลางของเปลือกดินชั้นหิน (Neutralization Potential; NP) โดยค่า acid potential และ neutralization potential ที่ตรวจวัดได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะบ่งถึงสภาพความเป็นกรดต่างที่อาจขึ้น เมื่อเปลือกดินชั้นหินในบริเวณต่าง ๆ ถูกทิ้งร้าง

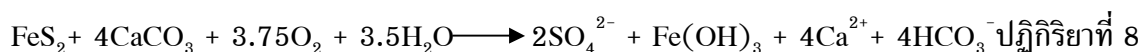
2. ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุดของเปลือกดินชั้นหิน

ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุดของเปลือกดินชั้นหิน (Maximum Potential Acidity; MPA) จะขึ้นอยู่กับปริมาณซัลเฟอร์ในเปลือกดินชั้นหิน ดังนั้นปริมาณร้อยละของซัลเฟอร์ที่ตรวจวัดได้จะถูกนำไปแปลงเป็นค่าศักยภาพความเป็นกรดสูงสุดด้วยการคูณด้วย 31.25 ซึ่งเป็นค่าแฟคเตอร์ที่ได้มาจากสมมูลของปฏิกิริยากรดด้วยเบส ดังปฏิกิริยาที่ 7 โดยศักยภาพความเป็นกรดสูงสุดจะรายงานในหน่วยของเมตริกตันของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ต่อ 1000 เมตริกตันของปริมาณเปลือกดินชั้นหิน (part per thousand; ppt CaCO_3)



จะเห็นได้ว่า 1 โมลของซัลเฟอร์ (molecular weight = 32) จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 โมลของ CaCO_3 (molecular weight = 100) หรือ 1 กรัมของซัลเฟอร์ จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ 3.125 กรัม CaCO_3 ดังนั้น ถ้าปริมาณตัวอย่างดินและหินจำนวน 100 กรัม ซึ่งมีซัลเฟอร์ 1 กรัม หรือ ร้อยละ 1 ของซัลเฟอร์ในดิน จะต้องใช้ 3.125 กรัมของ CaCO_3 ในการทำให้เป็นกลาง ดังนั้น ถ้าคิดปริมาณ

ตัวอย่างดินและหินเป็น 1000 เมตริกตัน ซึ่งมีซัลเฟอร์อยู่ร้อยละ 1 จึงต้องใช้ 31.25 เมตริกตันของ CaCO_3 ดังนั้น ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุดจะแปรผันตามร้อยละของซัลเฟอร์ (%S) ที่ตรวจวัดได้ โดยคูณด้วย 31.25 อย่างไรก็ตาม บางครั้งอาจพบว่าการหาค่า MPA เกิดจากการคูณร้อยละของซัลเฟอร์ ด้วยแฟคเตอร์ 62.5 ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาที่ 8 เนื่องจากสมมติฐานในการประเมินค่า MPA ในระบบปิด ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถหลุดรอดออกไปได้ จึงต้องใช้ CaCO_3 เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้กรดซัลฟูริกและกรดคาร์บอนิกที่เกิดขึ้นเป็นกลาง แต่การคำนวณค่า MPA โดยทั่วไปจะนิยมใช้แฟคเตอร์ 31.25 มากกว่า อาจเพราะโอกาสที่ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในระบบปิดในสภาวะธรรมชาติมีน้อยมาก



โดยทั่วไปซัลเฟอร์ที่อยู่ในเปลือกดินชั้นหินจะปรากฏอยู่ใน 3 รูปแบบ คือ ซัลไฟด์ ซัลเฟต และซัลเฟอร์ในสารอินทรีย์

โลหะซัลไฟด์ ซึ่งส่วนใหญ่คือ ไพไรต์ จัดเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดน้ำเหม็นเป็นกรด โดยเฉพาะการประกอบการเหมืองแร่ถ่านหินที่มักพบไพไรต์ในเปลือกดินชั้นหินในปริมาณสูง นอกจากนี้การประกอบการเหมืองแร่โลหะซัลไฟด์อื่นๆ ที่มักพบร่วมกับไพไรต์ เช่น ทองแดงซัลไฟด์ (chalcopyrite; CuFeS_2) ตะกั่วซัลไฟด์ (galena; PbS) และสังกะสีซัลไฟด์ (sphalerite; ZnS) ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำเหม็นเป็นกรดมากนัก เนื่องจากโลหะซัลไฟด์เหล่านี้มีโครงสร้างเป็นผลึกที่แข็งแรง จึงทำให้มีความเสถียรสูง ประกอบกับผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของโลหะซัลไฟด์เหล่านี้มีความสามารถในการละลายต่ำ จึงช่วยยับยั้งการสีกกร่อนผุพังไม่ให้เกิดขึ้นต่อไป

ซัลเฟอร์ซึ่งอยู่ในรูปของซัลเฟตปรากฏอยู่ในแร่หลายชนิด เช่น ยิปซัม (gypsum; CaSO_4) จาโรไซต์ (jarosite; $\text{KFe}^{3+}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$) และอะลูไนต์ (alunite; $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_6$) โดยแร่ซัลเฟตเหล่านี้จะพบในปริมาณน้อยในบริเวณเขตชั้น แต่จะพบในปริมาณมากในบริเวณพื้นที่ที่แห้งแล้งซึ่งมีขีดจำกัดในการชะล้าง โดยซัลเฟตที่อยู่ในรูปของยิปซัมจะไม่มีศักยภาพในการสังเคราะห์โมเลกุลกรด เนื่องจากซัลเฟตเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไพไรต์ แต่ปฏิกิริยาออกซิเดชันของจาโรไซต์อาจทำให้เกิดโมเลกุลกรดได้ แต่เป็นปริมาณที่น้อยมาก เนื่องจากจาโรไซต์มีความสามารถในการละลายต่ำมาก ดังนั้นปริมาณจาโรไซต์ในเปลือกดินชั้นหินจึงไม่มีนัยสำคัญต่อการตรวจวัดศักยภาพความเป็นกรด แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าในเปลือกดินชั้นหินนั้นๆ ไม่มีไพไรต์หรือมีในปริมาณน้อยมาก ๆ ปริมาณแร่จาโรไซต์ก็จะมีนัยสำคัญในการตรวจวัด MPA

สำหรับซัลเฟอร์ในรูปของอินทรีย์โมเลกุล ซึ่งหมายถึง พีชที่ขึ้นอยู่ตามเปลือกดินชั้นหินต่าง ๆ ซัลเฟอร์ประเภทนี้ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำเหม็นเป็นกรด เนื่องจากไม่ว่ายังเกิดการเกิดปฏิกิริยาและพบในปริมาณน้อยมาก

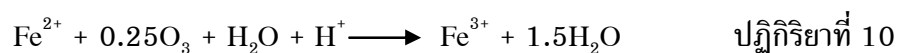
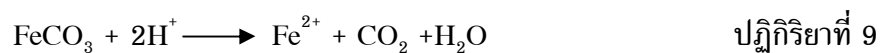
ดังนั้นการหาค่า MPA จากร้อยละของซัลเฟอร์ทั้งหมด เมื่อซัลเฟอร์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไพไรต์ ก็จะได้ผลการตรวจวัดที่เหมาะสม แต่ถ้าในตัวอย่างเปลือกดินชั้นหินมีปริมาณซัลเฟอร์ในรูปของซัลเฟตและสารอินทรีย์อยู่สูง การหาค่า MPA จากร้อยละของซัลเฟอร์ทั้งหมด ก็อาจมีผลทำให้การประเมินศักยภาพความเป็นกรดที่ได้มีค่าสูงเกินความเป็นจริง แต่อย่างไรก็ดี การหาค่า MPA จากร้อยละของซัลเฟอร์ทั้งหมด ยังคงเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด

3. ศักยภาพความเป็นกลางของเปลือกดินชั้นหิน

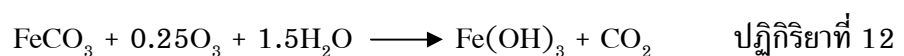
ศักยภาพความเป็นกลางของเปลือกดินชั้นหิน (Neutralization Potential; NP) คือ การตรวจวัดปริมาณแร่คาร์บอเนต (carbonate mineral) เบสที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable base) และแร่ซิลิเกต (silicate mineral) ซึ่งสามารถไปหักล้างกรดที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของซัลไฟด์ แล้วทำให้ความเป็นกรดน้อยลง ซึ่งผลการตรวจวัดที่ได้จะเป็นค่าศักยภาพความเป็นกลางสูงสุดทางทฤษฎีของดินและหินนั้น ๆ โดยไม่ได้แยกประเภทหรือชนิดของแร่ที่ทำให้เกิดคุณสมบัติดังกล่าว โดยการตรวจวัดจะนำดินและหินที่ผ่านการบดละเอียดแล้วมาละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก เพื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอเนต เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุด นำมาไทเทรตกรดที่เหลือด้วยสารละลายต่าง โดยค่า NP จะแสดงในหน่วยของเมตริกตันของ CaCO_3 ต่อ 1000 เมตริกตันของปริมาณเปลือกดินชั้นหิน (part per thousand; ppt CaCO_3)

แร่คาร์บอเนตเป็นแร่ที่มีคุณสมบัติเป็นต่างตามธรรมชาติ เช่น แคลไซต์ (calcite; CaCO_3) โดโลไมต์ (dolomite; $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) คลอไรต์ (chlorite; ClO_2^-) ไบโอไทต์ (biotite; $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$) ซิเดอไรต์ (siderite; FeCO_3) เป็นต้น จึงเป็นแหล่งแร่ที่สำคัญที่สุดในการตรวจวัดศักยภาพความเป็นกลางของเปลือกดินชั้นหิน

โดยโดโลไมต์ซึ่งเป็นแร่คาร์บอเนตที่มีแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก คลอไรต์ และไบโอไทต์ ละลายในน้ำได้ช้าที่ pH เป็นกลาง ทำให้มีคุณสมบัติในการหักล้างกรดต่ำ ส่วนซิเดอไรต์หรือแร่เหล็กคาร์บอเนตที่มักถูกตรวจวัดในการตรวจหา NP แม้จะมีคาร์บอเนตที่มีคุณสมบัติเป็นต่างเป็นองค์ประกอบ แต่ในความเป็นจริงกลับไม่ได้ช่วยในการหักล้างความเป็นกรด ดังปฏิกิริยาที่ 9 ถึง 12



ปฏิกิริยาสุทธิของปฏิกิริยาที่ 9 ถึง 11 คือ ปฏิกิริยาที่ 12

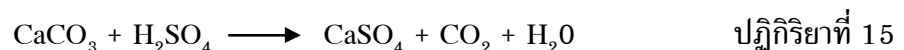
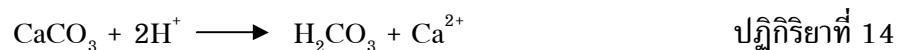
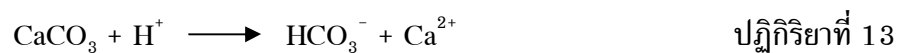


จากปฏิกิริยาที่ 9 และ 10 พบว่า การสลายพันธะของแร่ซิเดอไรต์และปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก (II) ซึ่งมีการบริโภคโมเลกุลกรด ทำให้ดูคล้ายว่าซิเดอไรต์มีคุณสมบัติที่ช่วย

หักล้างความเป็นกรด แต่เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งเป็นปฏิกิริยาต่อมา ในปฏิกิริยาที่ 11 จะพบว่าได้โมเลกุลกรดเป็นผลผลิต ซึ่งมีจำนวนเท่ากับที่ได้ใช้ไปในการสลายพันธะ ดังนั้นการหาค่า NP จึงไม่ควรรวมซิดอร์ไรต์ เพราะจะทำให้เกิดการประเมินศักยภาพความเป็นกลางที่สูงเกินจริง

แร่ซิดิเกตซึ่งเป็นแร่ที่มีซิลิคอนเป็นองค์ประกอบหลักและสลายตัวได้ช้ามากภายใต้สภาวะธรรมชาติ ในระหว่างกระบวนการตรวจวัด NP อาจมีแร่ซิดิเกตบางส่วนถูกสกัดออกมาด้วย และสามารถหักล้างความเป็นกรดได้ แต่จะมีผลเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเป็นแร่ที่มีความเสถียรสูง จึงสลายตัวได้น้อยมาก

ดังนั้นศักยภาพความเป็นกลางจะมากหรือน้อยจึงขึ้นอยู่กับปริมาณแคลไซต์ในเปลือกดินชั้นหินเป็นปัจจัยสำคัญ โดยแคลไซต์สามารถทำปฏิกิริยากับกรดที่เกิดขึ้น ดังปฏิกิริยาที่ 13 ที่ pH สูงกว่า 6.4 และตั้งปฏิกิริยาที่ 14 หรือ 15 เมื่อ pH น้อยกว่า 6.4



4. ค่าความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน

การทดสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน (Paste pH) เป็นเทคนิคที่สามารถดำเนินการได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ใช้ในการประเมินระดับของคาร์บอนेटและซัลเฟตซึ่งพร้อมจะเกิดปฏิกิริยาอยู่เสมอในสภาวะปกติของธรรมชาติ ทำให้ทราบถึงสภาพของเปลือกดินชั้นหินอย่างคร่าว ๆ ในสภาวะปัจจุบัน แต่ไม่อาจระบุปริมาณที่แน่นอนของคาร์บอนेटและซัลเฟตที่เป็นองค์ประกอบในเปลือกดินชั้นหินได้ จึงอาจช่วยชี้บ่งแนวโน้มการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น การตรวจวัดจะดำเนินการโดยนำตัวอย่างหินที่ผ่านการบดละเอียดแล้วมาผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม ให้มีลักษณะที่เรียกว่า paste แล้วนำไปวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วย pH meter

5. ศักยภาพความเป็นกลางสุทธิและอัตราส่วนศักยภาพความเป็นกลาง

ศักยภาพความเป็นกลางสุทธิ (Net Neutralization Potential; NNP) เกิดจากผลต่างของศักยภาพความเป็นกลาง หรือ NP กับ ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุด หรือ MPA (NNP = NP-MPA) และอัตราส่วนศักยภาพความเป็นกลาง (Neutralization Potential Ratio; NPR) เกิดจากผลหารของ NP และ MPA โดยทั้งสองค่านี้จะนำไปใช้ในการพิจารณาการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดด้วยเทคนิค ABA (NPR = NP/MPA)

6. การแปลความหมายข้อมูลจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค ABA

ในความเป็นจริงปฏิกิริยาออกซิเดชันของแร่ซัลไฟด์ซึ่งทำให้เกิดโมเลกุลกรดจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีแบคทีเรียที่ชื่อว่า *Thiobacillus ferrooxidans* เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่การละลายหรือสลายตัวของ CaCO_3 ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า pH และความดันของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ดังนั้นการทดสอบด้วยเทคนิค Acid-base accounting จึงเป็นเพียงการประเมินแนวโน้มการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดภายหลังโครงการเหมืองแร่สิ้นสุดลง แต่ไม่สามารถบ่งถึงอัตราเร็วของการเกิดได้ ดังนั้น ABA จึงเป็นหนึ่งในหลายๆ เทคนิคที่ใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบต่อแหล่งน้ำจากการประกอบการเหมืองแร่ ซึ่งจากประสบการณ์ของหลายๆ ประเทศที่มีอุตสาหกรรมเหมืองแร่ เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา อังกฤษ และออสเตรเลีย พบว่า การประเมินศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดที่ถูกต้องแม่นยำ จำเป็นจะต้องวิเคราะห์จากหลายๆ ปัจจัย ได้แก่ ผลการทดสอบของ ABA ข้อมูลทางธรณีวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยา สภาพอากาศ คุณภาพน้ำก่อนการทำเหมืองแร่ และระบบการไหลของน้ำใต้ดิน เป็นต้น

แม้ว่าเทคนิค ABA เพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถใช้ในการประเมินศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดได้ แต่ในบางประเทศก็ได้จำแนกค่าต่างๆ เช่น %S, paste pH, NNP NPR, NP และ MPA ที่ได้จากการตรวจสอบด้วยเทคนิค ABA และนำมากำหนดเป็นหลักเกณฑ์ในการพิจารณาศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด (Fey, 2003; Perry, 1998) ตัวอย่างเช่น

1) ถ้า NNP มีค่ามากกว่า 20 ppt CaCO_3 หมายถึง เปลือกดินชั้นหินนั้นๆ ไม่มีศักยภาพในการผลิตกรด ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาเปลือกดินชั้นหินจากเหมืองถ่านหินในรัฐ northern Appalachian ของสหรัฐอเมริกา และเศษหินและกากแร่จากเหมืองแร่โลหะมีค่าและโลหะพื้นฐานในประเทศแคนาดา

2) ถ้า NNP มีค่าน้อยกว่า -20 ppt CaCO_3 หมายถึง เปลือกดินชั้นหินนั้นๆ มีศักยภาพในการผลิตกรด ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาเศษหินและกากแร่จากเหมืองแร่โลหะมีค่าและโลหะพื้นฐานในประเทศแคนาดา

3) ถ้า NNP มีค่าอยู่ระหว่าง -20 ถึง 20 ppt CaCO_3 หมายถึง ผลการตรวจสอบ ABA อยู่ในช่วงสีเทา ซึ่งไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่ามีศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดหรือไม่ แต่จำเป็นต้องทำการทดสอบอื่นๆ เช่น humidity cell, soxhlet extraction หรือ leaching test เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประกอบการพิจารณา

4) ถ้า NPR มีค่าน้อยกว่า 1 หมายถึง เปลือกดินชั้นหินนั้นๆ มีศักยภาพในการผลิตกรด ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาเศษหินและกากแร่จากเหมืองแร่โลหะมีค่าและโลหะพื้นฐานในประเทศแคนาดา

5) ถ้า NPR มีค่ามากกว่า 3 หมายถึง เปลือกดินชั้นหินนั้นๆ ไม่มีศักยภาพในการผลิตกรด ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่ใช้ในรัฐ California และ Nevada ของประเทศสหรัฐอเมริกา

6) ถ้า NPR มีค่ามากกว่า 4 หมายถึง เปลือกดินชั้นหินนั้น ๆ ไม่มีศักยภาพในการผลิตกรด ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่ใช้ในรัฐ British Columbia ของประเทศแคนาดา

7) ถ้าเปลือกดินชั้นหินมีค่า paste pH มีค่าน้อยกว่า 4.0 หมายถึง ดินและหินนั้น ๆ มีศักยภาพในการผลิตกรด ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาเปลือกดินชั้นหินจากเหมืองถ่านหินในรัฐ northern Appalachian ของสหรัฐอเมริกา และเศษหินจากเหมืองแร่โลหะมีค่าและโลหะพื้นฐานในประเทศออสเตรเลียและประเทศต่างๆ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

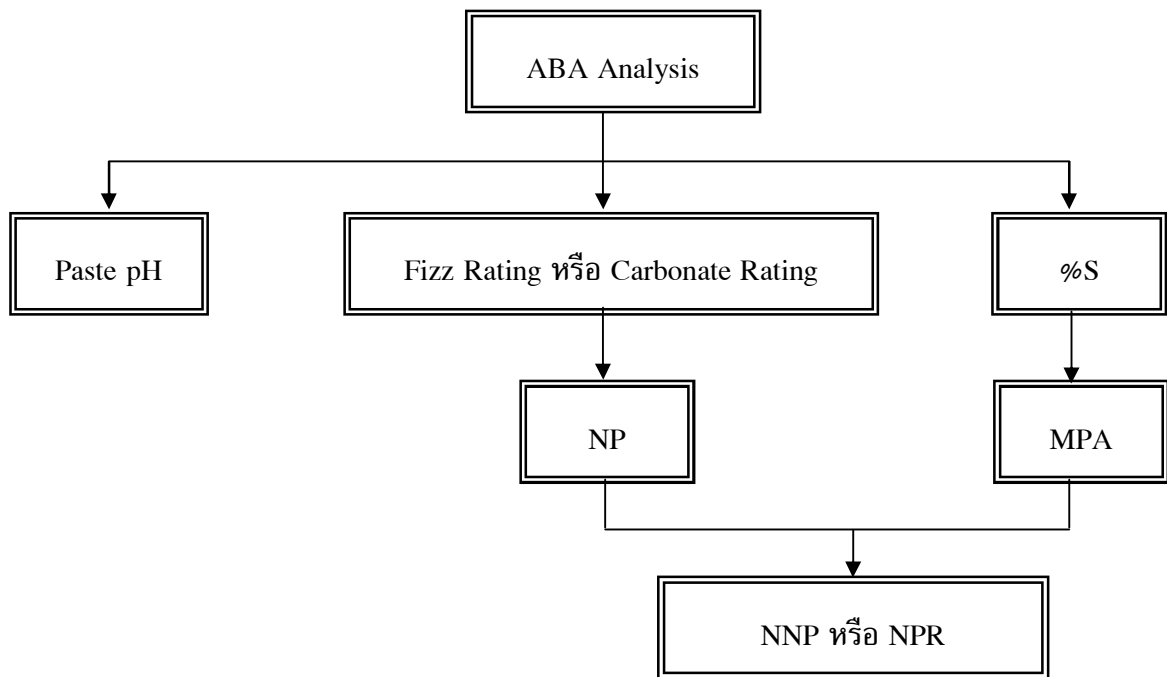
8) ถ้า %S มีค่ามากกว่า 0.5 % หมายถึง เปลือกดินชั้นหินนั้น ๆ อาจก่อให้เกิดน้ำที่มีค่าเป็นกรด ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาเปลือกดินชั้นหินจากเหมืองถ่านหินในรัฐ northern Appalachian ของสหรัฐอเมริกา และเศษหินจากเหมืองแร่โลหะมีค่าและโลหะพื้นฐานในประเทศออสเตรเลียและประเทศต่างๆ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าเทคนิค ABA เป็นเครื่องมือเบื้องต้นที่หลายๆ ประเทศนำมาใช้ในการประเมินศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด แต่การกำหนดหลักเกณฑ์การพิจารณาข้อมูลจากการตรวจสอบเปลือกดินชั้นหินด้วยเทคนิค ABA นั้น จะต้องอาศัยข้อมูลด้านอื่นๆ มาประกอบด้วย เนื่องจากความจำเพาะในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้การคาดการณ์มีความถูกต้อง และนำไปสู่การวางมาตรการป้องกันและเฝ้าระวังที่เหมาะสมต่อไป

การดำเนินการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน

1. การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างเปลือกดินชั้นหินที่กองไว้ในพื้นที่โครงการเหมืองแร่ ต้องใช้อุปกรณ์ที่สะอาดและแห้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อน ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้พลั่วตักตัวอย่างที่ระดับความสูงประมาณ 6 นิ้วนับจากจุดยอดของกองเปลือกดินชั้นหิน ใส่ในภาชนะที่สะอาดและปิดฝามิดชิด นำตัวอย่างไปอบอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิประมาณ 90 °C จากนั้นนำไปบดให้ละเอียด แล้วผ่านตะแกรงร่อน (sieve) เบอร์ 70 mesh เก็บตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมแล้วในโถทำแห้ง (desiccator) (Colorado School of Mine, 2000) โดยขั้นตอนการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน (ABA) แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน (ABA)

2. อุปกรณ์และสารเคมี

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องชั่งไฟฟ้า

2.1.2 pH meter

2.1.3 hotplate

2.1.4 เครื่อง C&S Analyzers

2.1.5 เตาอบ

2.1.6 อุปกรณ์การกรองสุญญากาศ (vacuum filter assembly)

2.1.7 ปีกเกอร์ ขนาด 50 และ 250 มล.

2.1.8 Erlenmeyer flask ขนาด 250 มล.

2.1.9 บิวเรต

2.1.10 กระดาษกรอง 0.45 μm (Whatman เบอร์ 40) และ 0.20 μm

2.1.11 แท่งแก้วคนสาร

2.1.12 กระจกนาฬิกา

2.2 สารเคมี

2.2.1 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 Normality (N)

2.2.2 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N

2.2.3 Bromothymol blue ความเข้มข้น 0.1 %

ชั่ง Bromothymol blue 0.1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มล.

2.2.4 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.18

2.2.5 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 25 %

ตวงน้ำกลั่น 75 มล. ใส่ปีกเกอร์ขนาด 250 มล. เติมกรดไฮโดรคลอริก
เข้มข้น (ข้อ 2.2.4) 25 มล. คนให้เข้ากัน

2.2.6 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.5 N

ตวงน้ำกลั่น 700 มล. ใส่ปีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก
เข้มข้น (ข้อ 2.2.4) 42 มล. คนให้เข้ากัน ทำให้มีปริมาตร 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น นำสารละลายที่ได้ไป
ทำ standardization เพื่อให้ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ดังนี้ ปิเปตสารละลายมาตรฐาน NaOH ความ

เข้มข้น 0.5 N (ข้อ 2.2.1) 20 มล. ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 250 มล. แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลาย HCl ที่เตรียมได้ โดยใช้ bromothymol blue (ข้อ 2.2.3) เป็น indicator ที่จุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง นำมาคำนวณหาความเข้มข้น HCl ดังสมการที่ 1

$$N_1 = (N_2 V_2) / V_1 \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ N_1 = normality ของ HCl ที่ใช้ไทเทรต (N)

V_1 = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ไทเทรต (มล.)

N_2 = normality ของ NaOH (N)

V_2 = ปริมาตรของ NaOH (มล.)

2.2.7 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.1 N

ตวงน้ำกลั่น 600 มล. ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 N (ข้อ 2.2.6) 200 มล. คนให้เข้ากัน ทำให้มีปริมาตร 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น นำสารละลายที่ได้ไปทำ standardization โดยปิเปตสารละลายมาตรฐาน NaOH ความเข้มข้น 0.1 N (ข้อ 2.2.2) 20 มล. ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 250 มล. แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลาย HCl ที่เตรียมได้ โดยใช้ bromothymol blue (ข้อ 2.2.3) เป็น indicator ที่จุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง นำมาคำนวณหาความเข้มข้น HCl ดังสมการที่ 1

2.2.8 สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4.0 และ 7.0

2.2.9 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ความเข้มข้น 30 %

3. การตรวจวัดค่าความเป็นกรดต่าง

การตรวจวัดค่าความเป็นกรดต่าง (Jeffrey and Paul, 1996) มีวิธีดังนี้

- 1) ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มล.
- 2) เติมน้ำกลั่น 10 มล. ลงในบีกเกอร์ พร้อมใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที
- 3) เตรียมอุปกรณ์ pH meter โดย calibrate เครื่อง pH meter ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 7.0 และ 0.4 (ข้อ 2.2.8) ตามลำดับ เมื่อใช้ electrode เสร็จแล้วให้ล้างด้วยน้ำกลั่นทุกครั้ง
- 4) นำสารละลายดินที่เตรียมไว้ไปวัด pH และควรทำ calibrate เครื่อง pH meter ซ้ำทุก ๆ 10 ตัวอย่างที่วัด

4. การหาอัตราการฟู่กรด

การหาอัตราการฟู่กรด (Fizz Rating) เป็นขั้นตอนการประเมินความรุนแรงของกรดที่จะใช้ย่อยตัวอย่าง โดยอัตราการฟู่กรดที่ได้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ศักยภาพความเป็นกลาง (NP) ต่อไป (Jeffrey G. and Paul T.Z., 1996) ทำการทดสอบดังนี้

1) ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มล.

2) หยดสารละลาย HCl ความเข้มข้น 25 % (ข้อ 2.2.5) ประมาณ 2-3 หยด แล้วสังเกตการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดกับตัวอย่าง โดยระดับความรุนแรงของการเกิดปฏิกิริยาแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการฟู่กรดและลักษณะความรุนแรงของการเกิดปฏิกิริยา

Fizz Rating	ลักษณะความรุนแรงของการเกิดปฏิกิริยา	
0	ไม่ฟู่	ไม่เกิดปฏิกิริยา
1	ฟู่เล็กน้อย	เกิดฟองเล็กน้อย ประมาณ 2-3 ฟองต่อวินาที
2	ฟู่ปานกลาง	เกิดฟองพอประมาณ ซึ่งอาจพบเห็นการกระเด็นได้บ้าง
3	ฟู่มาก	เกิดฟองและมีการกระเด็นมาก

โดยทั่วไป ถ้าทำการทดสอบหาอัตราการฟู่กรด แคลไซต์จะเกิดการฟู่อย่างรวดเร็ว โดโลไมต์จะเกิดการฟู่อย่างช้า ๆ และซิเตอร์ไรต์จะไม่เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง แต่อย่างไรก็ดี การทดสอบอัตราการฟู่กรดต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ทดสอบ ดังนั้นหากการประเมินอัตราการฟู่กรดมีความแตกต่างกัน อาจทำให้การวิเคราะห์ NP มีความผิดพลาดได้ ดังนั้น ผู้ทดสอบที่ไม่มีความชำนาญควรใช้วิธีการหาอัตราคาร์บอนเนต (Carbonation Rating) ดังข้อ 5 แทน

5. การหาอัตราคาร์บอนเนต

การหาอัตราคาร์บอนเนต (Carbonate Rating) (Jeffrey and Paul, 1996) สามารถทำได้ดังนี้

1) ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มล.

2) เติมสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 N 20 มล. เขย่าให้เข้ากันจนไม่สังเกตเห็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

3) ชั่งกระดาษกรอง เบอร์ 40 ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C

4) กรองสารละลายตัวอย่างด้วย vacuum suction ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง จนหมดคลอไรด์ โดยสารละลายที่กรองได้จะใส ถ้าไม่ใสให้กรองซ้ำ

5) นำกระดาษกรองที่มีตะกอนไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C (อบข้ามคืน)

6) ชั่งน้ำหนักตะกอนที่เหลือ (อย่าลืมหักน้ำหนักของกระดาษกรองออก)

7) คำนวณร้อยละของตะกอนที่เหลือ (insoluble residue) แล้วนำมาประเมินอัตราคาร์บอเนต ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราคาร์บอเนตโดยเปรียบเทียบจากตะกอนที่เหลือ

Carbonate Rating	% Insoluble residue
0	95-100
1	90-94
2	75-89
3	<75

6. การวิเคราะห์ศักยภาพความเป็นกลางของเปลือกดินชั้นหิน

การวิเคราะห์หาศักยภาพความเป็นกลาง (Neutralization Potential; NP) (Jeffrey and Paul, 1996) สามารถทำได้ดังนี้

1) ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มล. พร้อมทั้งทำ blank ด้วย

2) บีบอัดสารละลาย HCl (ข้อ 2.2.6 หรือ ข้อ 2.2.7) ที่มีความเข้มข้นและปริมาตรตามที่ระบุในตารางที่ 3 ซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบจากอัตราการฟู่กรดหรืออัตราคาร์บอเนต

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของอัตราการฟู่กรดหรืออัตราคาร์บอเนตกับปริมาณกรด HCl ที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ NP

Fizz Rating/Carbonate Rating	ปริมาตรของ HCl (ml)	ความเข้มข้นของ HCl (N)
0	20	0.1
1	40	0.1
2	40	0.5
3	80	0.5

3) เติมน้ำกลั่น 100 มล. ปิดด้วยกระดาษฟิวส์ ตั้งบน hotplate ให้สารละลายเดือดเบาๆ นาน 5 นาที จากนั้นยกลง ทิ้งให้เย็น (สำหรับสารละลาย blank อาจเติม chip เพื่อป้องกันการสูญเสียกรดขณะต้ม)

4) กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มล. ถ้าสารละลายที่ได้ไม่ใส ให้ทำการกรองใหม่ด้วยกระดาษกรอง ขนาด 0.20 μm

5) เติม H_2O_2 (30%) 5 มล. ลงในสารละลาย แล้วนำสารละลายไปต้มให้เดือดเบาๆ นาน 5 นาที ยกออกจากเตา ทิ้งให้เย็น

6) นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH ที่มีความเข้มข้นเดียวกับสารละลาย HCl ที่ใช้ในข้อ 2 โดยใช้ bromothymol blue เป็น indicator ที่จุดยุติ ซึ่งจะอยู่ที่ pH ประมาณ 7 สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน โดยให้สีน้ำเงินคงอยู่นานประมาณ 30 วินาที ขณะการไทเทรต ถ้าสารละลายมีสีเขียวหรือดำให้เติม H_2O_2 (30%) เพิ่มอีก 5 มล. แล้วทำการไทเทรตต่อ

7) การคำนวณ

$$A = [B - (C \times D/E)] \times 25 \times N \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ A = neutralization potential (ppt CaCO_3)

B = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ (มล.)

C = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไทเทรต (มล.)

D = ปริมาตรของ HCl ที่เติมในสารละลาย blank (มล.)

E = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไทเทรตกับสารละลาย blank (มล.)

N = ความเข้มข้นของ HCl ที่ใช้ (N)

7. การวิเคราะห์ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุด

การวิเคราะห์ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุด (Maximum Potential Acidity; MPA) ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตริกตัน CaCO_3 ต่อ 1000 เมตริกตันของเปลือกดินชั้นหิน (ppt CaCO_3) (Jeffrey and Paul, 1996) วิธีการทดสอบสามารถทำได้ดังนี้

1) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ถ้วย แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง C&S Analyzers จะได้ร้อยละของซัลเฟอร์ (% S)

2) นำร้อยละของซัลเฟอร์ที่ได้ ไปคำนวณค่าศักยภาพความเป็นกรดสูงสุด ดังสมการ

ที่ 3

$$\text{MPA} = 31.25 \times (\% \text{ S}) \quad \text{สมการที่ 3}$$

8. ศักยภาพความเป็นกลางสุทธิ

ศักยภาพความเป็นกลางสุทธิ (Net Neutralization Potential; NNP) เกิดจากผลต่างของศักยภาพความเป็นกลาง หรือ NP กับ ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุด หรือ MPA คำนวณได้จากสมการ 4

$$\text{NNP} = \text{NP} - \text{MPA} \quad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ NNP = ศักยภาพความเป็นกลางสุทธิ (ppt CaCO_3)

NP = ศักยภาพความเป็นกลาง (ppt CaCO_3)

MPA = ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุด (ppt CaCO_3)

9. อัตราส่วนศักยภาพความเป็นกลาง

อัตราส่วนศักยภาพความเป็นกลาง (Neutralization Potential Ratio; NPR) เกิดจากผลหารของ NP และ MPA คำนวณได้จากสมการ 5

$$\text{NPR} = \text{NP}/\text{MPA} \quad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ NPR = อัตราส่วนศักยภาพความเป็นกลาง

NP = ศักยภาพความเป็นกลาง (ppt CaCO_3)

MPA = ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุด (ppt CaCO_3)

ผลการทดลอง

ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ABA เป็นตัวอย่างดินจาก บริษัท บ้านปู จำกัด (มหาชน) จำนวน 6 ตัวอย่าง ซึ่งทางสำนักบริหารและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ขอความอนุเคราะห์ กลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐาน 4 สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน ให้ช่วยดำเนินการวิเคราะห์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประกอบการคาดการณ์คุณสมบัติของน้ำจากเหมือง และจะได้ออกแบบการจัดการสิ่งแวดล้อมเหมืองแร่ไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

เมื่อนำตัวอย่างดินมาทำการทดสอบด้วยเทคนิค ABA ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว ได้ผลการตรวจสอบดังนี้

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก บริษัท บ้านปู จำกัด (มหาชน) ด้วยเทคนิค ABA

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6
รายการ						
Paste pH	4.39	4.41	4.82	5.51	6.55	6.39
Fizz rating	0	1	1	0	0	0
NP (ppt CaCO ₃)	3.52	10.56	11.26	7.26	4.21	3.57
%S	0.001	0.16	0.056	0.009	0.006	0.001
MPA (ppt CaCO ₃)	0.03	5.00	17.50	0.28	0.19	0.03
NNP (ppt CaCO ₃)	3.49	5.56	-6.24	6.98	4.02	3.54
NPR	117.3	2.1	0.64	25.9	22.2	119

อย่างไรก็ตาม แม้จะทราบผลการตรวจสอบตัวอย่างดินทั้ง 6 ตัวอย่างแล้ว แต่การแปลความหมายผลวิเคราะห์ที่ได้ว่าตัวอย่างดินเหล่านี้มีศักยภาพในการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดหรือไม่ ยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัด เนื่องจากการแปลความหมายจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากหลายๆ ส่วน เช่น ข้อมูลทางธรณีวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยา สภาพอากาศ คุณภาพน้ำ และระบบการไหลของน้ำใต้ดิน มาประกอบการพิจารณา จึงเป็นที่มาว่า ทำไมเหมืองแร่ในแต่ละรัฐหรือประเทศใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างในหลายๆ ปัจจัย ดังที่ได้กล่าวมา โดยการกำหนดหลักเกณฑ์การพิจารณาอาจใช้ค่า NNP, NPR, NP หรือ MPA มาเป็นตัวกำหนด ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 6 ในเรื่องหลักการทั่วไปของการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน

ดังนั้นเทคนิค ABA จึงเป็นเพียงเทคนิคที่บ่งถึงโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดน้ำเหลืองเป็นกรด แต่ไม่สามารถบอกถึงอัตราเร็วของการเกิดได้ อีกทั้งการแปลความหมายของข้อมูลที่ได้อาจมีความจำเพาะในแต่ละพื้นที่ ซึ่งผู้ประเมินจะต้องอาศัยประสบการณ์ และข้อมูลด้านต่างๆ มาประกอบการประเมิน เมื่อการคาดการณ์น้ำเหลืองเป็นกรดมีความถูกต้อง ก็จะสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนจัดการด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างเหมาะสมต่อไป

บทสรุป

การเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดจากการประกอบเหมืองแร่เป็นอีกปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เราต้องให้ความสนใจและใส่ใจในปัญหาที่จะเกิดขึ้นหรือมีมาตรการแนวทางการป้องกันและพร้อมที่จะแก้ไขเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้น เพราะปัญหาการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดจะเกิดขึ้นเมื่อมีการประกอบเหมืองแร่โดยเฉพาะเมื่อโครงการเหมืองแร่ได้สิ้นสุดลง เพื่อบรรเทาและป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของน้ำเหมืองเป็นกรดสู่สิ่งแวดล้อม ผู้ประกอบการและภาครัฐจะต้องมีการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม รวมทั้งให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการเฝ้าระวังผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

การเกิดน้ำเหมืองเป็นกรด (acid mine drainage หรือ acid rock drainage) เกิดขึ้นโดยน้ำที่ระบายออกจากบริเวณโครงการเหมืองแร่ที่ถูกทิ้งร้าง ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ต่ำ และยังประกอบด้วยโลหะหนักต่างๆ ละลายอยู่ในปริมาณที่สูง โดยปกติการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดสามารถเกิดขึ้นได้เองอย่างช้าๆ เนื่องจากการสึกกร่อนผุพังตามธรรมชาติของชั้นดินและหินแต่อัตราการเกิดน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อชั้นดินและหินมีแร่ซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบได้รับการรบกวนโดยที่แร่ซัลไฟด์ในชั้นดินและหินจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ผลิตผลเป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ทำให้น้ำที่ไหลมีค่าความเป็นกรดสูง และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำที่ระบายออกจากโครงการเหมืองแร่ที่จะทำให้เกิดน้ำเหมืองเป็นกรดนั้นยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือความชื้นในบรรยากาศและออกซิเจน อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับอนุภาคของดินและหินอีกด้วย แต่เพื่อลดหรือกำจัดการปนเปื้อนของน้ำเหมืองเป็นกรดสามารถใช้วิธีการบำบัดด้วยเทคนิค Active treatment หรือ Passive treatment มาช่วยก็ได้ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะประเมินความเป็นไปได้ของการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดได้โดยใช้วิธีการตรวจสอบความเป็นกรดต่างของเปลือกดินชั้นหิน (ABA) ซึ่งจะทำการหาค่าความเป็นกรดต่าง (Paste pH) ศักยภาพความเป็นกรดสูงสุดของเปลือกดินชั้นหิน (Maximum Potential Acidity : MPA) และศักยภาพความเป็นกลางของเปลือกดินชั้นหิน (Neutralization : NP) วิธี ABA นี้เป็นวิธีที่ใช้ทดสอบเบื้องต้นในการประเมินคุณภาพน้ำหรือศักยภาพการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดจากอีกหลายวิธีที่ใช้ในระดับห้องปฏิบัติการที่ใช้ทดสอบ เช่น humidity cell, soxhlet extraction, leaching test และ field lysimeter test เป็นต้น แต่การตรวจสอบด้วยเทคนิค ABA เป็นเพียงการประเมินแนวโน้มการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดภายหลังโครงการเหมืองแร่สิ้นสุดลงแต่ไม่สามารถบ่งถึงอัตราเร็วของการเกิดได้อีกทั้งการแปลความหมายของข้อมูลที่ได้อาจมีความจำเพาะในแต่ละพื้นที่และผู้ประเมินจะต้องอาศัยประสบการณ์และข้อมูลด้านต่างๆ มาประกอบการประเมิน ถ้าต้องการประเมินศักยภาพของการเกิดน้ำเหมืองเป็นกรดที่ถูกต้องแม่นยำจำเป็นต้องวิเคราะห์จากปัจจัยหลายๆ ด้าน เช่น ผลการทดสอบ ABA ข้อมูลทางธรณีวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยา สภาพอากาศ คุณภาพน้ำก่อนการทำเหมืองแร่และระบบการไหลของน้ำใต้ดิน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- Environmental Protection Agency, 2007, *Treatment for Acid Mine Drainage*, viewed 27/11/2007, <http://www.epa.gov/reg3wapd/nps/mining/treatment.htm>, 2 p.
- Fey D.L., 2003, *Acid Base Accounting*, viewed 23/08/2007, http://www.swrcb.ca.gov/academy/courses/acid/supporting_material/usgs_acidbaseacct.pdf, 34 p.
- Jeffrey G. and Paul T.Z., 1996, *Acid Mine Drainage Control and Treatment (2nd): West Virginia University and the National Mine Land Reclamation Center*, p. 21-68.
- LEO and the SERVIT Group at Lehigh University, 2004, *The Science of Acid Mine Drainage*, viewed 23/08/2007, <http://www.leo.lehigh.edu/envirosci/enviroissue/amd/links/science1.html>, 3p.
- Perry E. F., 1998, *Chapter 11 INTERPRETATION OF ACID-BASE ACCOUNTING*, viewed 23/08/2007, <http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/minres/Districts/CMDP/chap11.html>, 24 p.
- Colorado School of Mines, 2000, *Sample Preparation*, viewed 21/07/2007/, http://www.mines.edu/fs_home/jhoran/ch126/samprep.htm, 2 p.
- Todd J. and Reddick K., 1997, *Acid Mine Drainage*, viewed 23/08/2007, <http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/acidmine/acidmine.html>, 4 p.
- Wikipedia, 2007a, *Acid Mine Drainage*, viewed 17/08/2007, http://en.wikipedia.org/wiki/Acid_mine_drainage, 6 p.
- Wikipedia, 2007b, *Britannia Beach, British Columbia*, viewed 17/08/2007, http://en.wikipedia.org/wiki/Britannia_Beach%2C_British_Columbia, 3 p.
- Wikipedia, 2007c, *Rio Tinto (River)*, viewed 17/08/2007, http://en.wikipedia.org/wiki/Tinto_River, 2 p.