การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ โดยการประเมินวัฏจักรชีวิต

อาจารย์ ดร.สุทธิรัตน์ กิตติพงษ์วิเศษ *
ดร.ภุมรินทร์ คำเดชศักดิ์ *

บทนำ

เมื่อพิจารณาถึงความเจริญทางด้านเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแล้ว อาจกล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมเหมืองแร่เป็นภาคส่วนที่มีความสำคัญเป็นอันดับต้นของประเทศในฐานะอุตสาหกรรมต้นน้ำ หรือภาคการผลิตขั้นต้นก่อนส่งวัตถุดิบต่อไปยังอุตสาหกรรมปลายน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการพื้นฐานของผู้บริโภคในลำดับต่อไป อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าผลผลิตของอุตสาหกรรมเหมืองแร่จะมีมูลค่าทางเศรษฐกิจและมีบทบาทสำคัญในเชิงพาณิชย์ หากแต่กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้โดยปัญหาที่พบส่วนใหญ่ได้แก่ มลพิษทางน้ำ อากาศและดินรวมถึงปัญหาสุขภาพอนามัยและความเสี่ยงของประชาชนในพื้นที่ที่ต้องสัมผัสกับโลหะหนัก จำพวก สารหนู ตะกั่วซึ่งอาจรั่วไหลมาจากน้ำเสีย กากของเสียและส่วนที่เหลือจากกระบวนการผลิตแร่ การแต่งแร่และการประกอบโลหะกรรม เป็นต้น นอกจากปัญหาการปนเปื้อนทางสิ่งแวดล้อมแล้ว กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมดังกล่าวมีแนวโน้มการใช้ทรัพยากรและพลังงานที่สิ้นเปลืองซึ่งเกิดจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ในกระบวนการขนส่งแร่ รวมถึงกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักรกลในกระบวนการผลิต เป็นต้น โดยกิจกรรมดังกล่าวข้างต้นนับเป็นสาเหตุหนึ่งของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ หรือตัวการสำคัญของปัญหาโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นอีกด้วยด้วยเหตุนี้ การพัฒนาฐานข้อมูลและศึกษาถึงแนวทางการใช้เครื่องมือเพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม จึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการเตรียมความพร้อมให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรม นักวิเคราะห์นโยบายและแผน รวมทั้งผู้มีส่วนได้เสียได้ใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจวิเคราะห์แนวทางเลือกในการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมและดำเนินการบริหารทรัพยากรสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเหมืองแร่โลหะหนักที่เหมาะสมต่อไป บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอถึงแนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมเหมืองแร่โดยอาศัยการประเมิน

วัฏจักรชีวิต ของกระบวนการผลิตทั้งในและต่างประเทศ ตลอดจนอภิปรายถึงอุปสรรคและความท้าทายของการดำเนินงานอันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาองค์ความรู้สำหรับการศึกษาวิจัยครอบคลุมประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

* สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
* ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA)

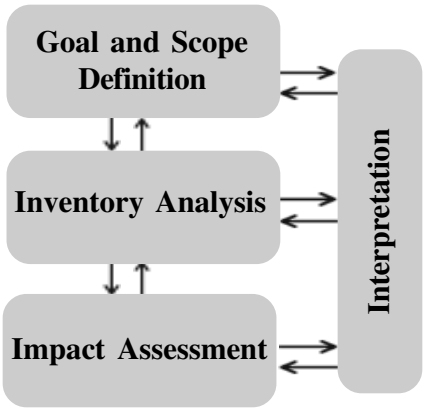
การประเมินวัฏจักรชีวิตหมายถึงกระบวนการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบ (เชิงปริมาณ) ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งพิจารณาตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการตั้งแต่เกิดจนตาย โดยครอบคลุมกระบวนการผลิตและกิจกรรมที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน (จันทิมา, 2559) ทั้งนี้ โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme; UNEP, 2016) ได้แบ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็น 4 ขั้นตอน (รูปที่ 1) ดังนี้

(1) ***การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา*** **:** เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์หรือบริการ โดยการระบุวัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาได้แก่การระบุหน่วยการศึกษาหรือหน่วยหน้าที่ ขอบเขตของระบบที่พิจารณา ตลอดจน สมมติฐานและข้อจำกัดของการศึกษา เป็นต้น

(2) ***การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม*** :เป็นการรวบรวมและจัดทำบัญชีรายการหรือข้อมูลที่แสดงชนิดและปริมาณสารขาเข้า ได้แก่ วัตถุดิบ ทรัพยากรและพลังงาน สารขาออก ได้แก่ผลิตภัณฑ์และผลิตผลผลพลอยได้ ตลอดจน มลสารที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมทั้งอากาศ น้ำหรือของเสียที่อยู่ในรูปของแข็ง เป็นต้น

(3) ***การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม:*** เป็นการประเมินผลกระทบด้าน สิ่งแวดล้อม อาศัยข้อมูลที่ได้จากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมทั้งจากสารขาเข้าและสารขาออกรวมถึงมลพิษที่เกิดขึ้น โดยการจำแนกประเภท การกำหนดบทบาท และการให้น้ำหนักและความสำคัญของผลกระทบแต่ละประเภท เป็นต้น

(4) ***การแปลผลการศึกษา:***เป็นการนำผลศึกษาที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิตมาวิเคราะห์เพื่อสรุปผลและให้ข้อเสนอแนะที่มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่ตั้งไว้ในขั้นตอนแรก



รูปที่ 1 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต (UNEP, 2016)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเหมืองแร่

(1) **กรณีศึกษาในประเทศไทย**จากข้อมูลบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2543 พบว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์ผลิตแร่ได้แก่ อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นกลุ่มที่มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด (ร้อยละ 98) รองลงมา ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมเคมี (ร้อยละ 2) และกลุ่มการผลิตโลหะ (ร้อยละ 0.1) ตามลำดับ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) ด้วยเหตุนี้ หน่วยงานภาครัฐ ภาคการศึกษาและเอกชนที่เกี่ยวข้องจึงได้ทำการศึกษาพัฒนาองค์ความรู้และสร้างแนวปฏิบัติที่ดีในการบรรเทาผลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเหมืองแร่ของประเทศไทย อาศัยหลักการประเมินวัฏจักร

ชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในการพัฒนาเครื่องหมายฉลากคาร์บอน การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการดำเนินโครงการการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism: CDM) ดังต่อไปนี้

การพัฒนาเครื่องหมายฉลากคาร์บอน

ฉลากคาร์บอนคือเครื่องหมายที่แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นๆ ได้ผ่านการประเมินคาร์บอนฟุตปรินท์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่กระบวนการผลิตเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด (รูปที่ 2 ก) และสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (รูปที่ 2 ข) โดยประเมินจากการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตปรินท์ในปีปัจจุบันกับปีฐาน ทั้งนี้ ประเทศไทยนับเป็นประเทศแรกในกลุ่ม ASEAN ที่ส่งเสริมการติดฉลากคาร์บอนบนผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ได้รับฉลากลดคาร์บอน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการอนุมัติให้ใช้เครื่องหมายคาร์บอนฟุตปรินท์มีจำนวนทั้งหมด 458 ผลิตภัณฑ์ จาก 100 บริษัท (สืบค้นข้อมูล ณ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2555; อบก., 2555) ในจำนวนนี้ มีบริษัทที่เกี่ยวข้องกับการนำวัตถุดิบจากภาคอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งสิ้น 23 ผลิตภัณฑ์ (ได้แก่ผลิตภัณฑ์กระเบื้องเซรามิค ผลิตภัณฑ์กระเบื้องแกรนิต ผลิตภัณฑ์แก้วเซรามิค ผลิตภัณฑ์แผ่นเหล็กรีดร้อน ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และผลิตภัณฑ์ยิปซัมทนไฟ เป็นต้น) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 5 ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้รับการรับรองฉลากลดคาร์บอน (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2557)

(ก) (ข)

รูปที่ 2 เครื่องหมายฉลากคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ (ก) และ ฉลากลดคาร์บอนฟุตปรินท์ (ข)
ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2557)

การประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมเหมืองแร่

การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร/ผลิตภัณฑ์หรือคาร์บอนฟุตปรินท์ในประเทศไทยนั้นอ้างอิงจากมาตรฐาน ISO 14064-1 (2006) และ ISO 14025 (2006) ซึ่งพัฒนาโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก อาศัยหลักการ ก) กำหนดขอบเขตขององค์กร ข) กำหนดขอบเขตการดำเนินงาน โดยระบุกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก ค) คำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทั้งนี้ สำนักบริหารสิ่งแวดล้อม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ร่วมกับสถาบันการศึกษาที่เกี่ยวข้อง ได้ทำการศึกษาถึงแนวทางบริหารจัดการทรัพยากรสิ่งแวดล้อมเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ในประเทศไทยโดยครอบคลุมการประเมินวัฏจักรชีวิตและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมแร่ต่างๆ ดังนี้

- อุตสาหกรรมเหมืองแร่ทองคำ
- อุตสาหกรรมเหมืองหินปูน
- อุตสาหกรรมเหมืองถ่านหิน
- อุตสาหกรรมเหมืองแร่โดโลไมต์
- อุตสาหกรรมเหมืองแร่ทรายแก้ว

- อุตสาหกรรมประเภทโลหกรรมเหล็ก
- อุตสาหกรรมประเภทโรงโม่ บดและย่อยหิน
- อุตสาหกรรมหินเพื่อการก่อสร้าง

จากการศึกษาดังกล่าว ยังนำไปสู่การวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ในการนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตมาประมวลศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งพบว่าอุตสาหกรรมเหมืองแร่บางชนิดเช่นอุตสาหกรรมเหมืองลิกไนต์ เหมืองทองคำและเหมืองหินปูน เป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพและความเป็นไปได้ในการดำเนินโครงการ **CDM** ขนาดเล็ก (น้อยกว่า 60,000 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) หากแต่ผู้ประกอบการควรพิจารณาถึงจุดคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ ความยั่งยืนของโครงการ ขั้นตอนการตรวจสอบ/การขึ้นทะเบียน รวมถึงความคุ้มค่าในการขายคาร์บอนเครดิตที่ได้จากโครงการควบคู่ไปด้วย (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553; กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2555) นอกจากนี้ Nekapreecha (2011) ยังได้ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2551 ซึ่งได้กำหนดขอบเขตการประเมินออกเป็น 2 ขอบเขตได้แก่ กิจกรรมการใช้พลังงานประกอบด้วยการใช้เชื้อเพลิง ไฟฟ้าและพลังงานไอน้ำและกระบวนการผลิตได้แก่กิจกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิง ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีค่าเท่ากับ 11 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าและค่าความเข้มข้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกมีค่าเท่ากับ 0.63 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันการผลิต

(2) กรณีศึกษาในต่างประเทศ

(ก) <u>ประเทศสหรัฐอเมริกา</u>

ศูนย์ศึกษาข้อมูลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการเปลี่ยนแปลงของโลก (Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสถานการณ์และแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงการดำเนินงานเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศจากกิจกรรมในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ โดยเสนอแนวทางเลือกแก่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเหมืองแร่และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปปฏิบัติ เพื่อบรรเทาปัญหาสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง (Idso and Wootten, 2003) โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์หรือคาร์บอนฟุตปรินท์จากกระบวนการผลิต รวมถึงการสะสมหรือกักเก็บคาร์บอน (Carbon sequestration) หรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศมากักเก็บไว้ในแหล่งกักเก็บที่เหมาะสม ได้แก่การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในบริเวณโครงการ เป็นต้น นอกจากนี้ Sterling (2009) ศึกษาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการเหมืองแร่และกระบวนการผลิตในเหมืองถ่านหิน เหมืองแร่ และเหมืองโลหะ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งกระบวนการเหมืองแร่สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วน คือ การสกัด ได้แก่ กระบวนการขุด/เจาะ กระบวนการระเบิด และกระบวนการชะล้าง อีกส่วน คือ การขนส่งวัตถุดิบได้แก่ การใช้เชื้อเพลิงชนิดดีเซล และการใช้ไฟฟ้า สำหรับกระบวนการผลิตประกอบด้วย กระบวนการบด กระบวนการบดละเอียด และกระบวนการคัดแยก ผลการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานสำหรับกระบวนการบดละเอียดของเหมืองถ่านหินและเหมืองโลหะ มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่สูงสุดขณะที่กระบวนการระเบิดมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงน้อยที่สุดตามลำดับ

(ข) <u>ประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป</u>

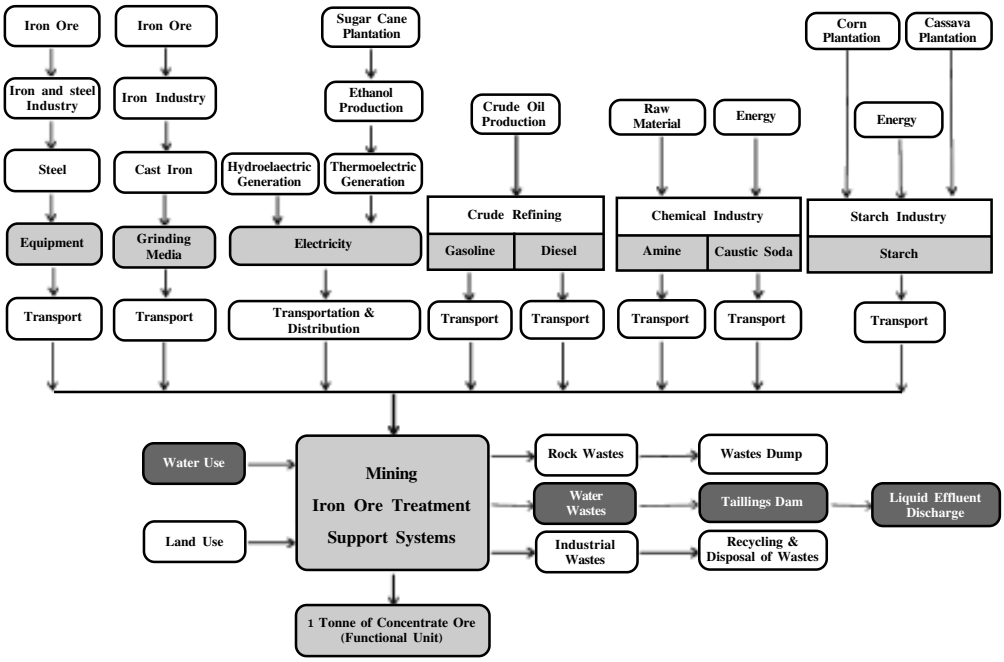
คณะกรรมาธิการยุโรปได้มีการวางกรอบการทำงานและแผนงานเพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน โดยได้ศึกษาและเสนอแนวทางปฏิบัติที่ดีสำหรับการดำเนินงานลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกสำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่ (Adey et al., 2011) ได้แก่ การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ตลอดขั้นตอนการผลิต อาทิเช่นการประเมินวัฏจักรชีวิตกระบวนการผลิตโลหะ

ทองแดงทั้งจากแหล่งปฐมภูมิและทุติยภูมิการถลุงแร่ประเภทซัลไฟด์ ตะกั่ว สังกะสี ทองคำ การผลิตแร่อลูมิเนียม และยูเรเนียมเป็นต้นการใช้พลังงานสะอาดในอุตสาหกรรมและกระบวนการผลิตแร่ เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งในรูปพลังงานไฟฟ้า (Photovoltaic ;PV) และ พลังงานความร้อน (Concentrating Solar Power ;CSP) พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวลและไบโอดีเซล การใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมและกระบวนการผลิตแร่เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Organic Rankine Cycle หรือ ORC (เป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้หลักการเดียวกับเครื่องกังหันไอน้ำ หรือ steam turbine แต่ต่างกันตรงที่ใช้สารอินทรีย์เหลวที่มีจุดเดือดต่ำแต่มีความดันไอสูงแทนการใช้น้ำ)

นอกจากนี้ Worrell และคณะ (2001) ได้ทำการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ทั่วโลกในปี พ.ศ. 2537 อันเกิดจากกระบวนการผลิตได้แก่ กระบวนการบดหินปูน (Calcination) กระบวนการเผาไหม้ และการใช้ไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ทั่วโลกมีค่าเท่ากับ 307 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าโดยกระบวนการบดหินปูนและการเผาไหม้เป็นกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เมื่อเทียบกับกิจกรรมอื่น นอกจากนี้ Norgate และ Haque (2010) ยังได้ทำการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการทำเหมืองแร่และกระบวนการผลิตแร่เหล็ก แร่บ็อกไซด์และแร่ทองแดงในประเทศออสเตรเลียด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยผลการประเมินพบว่ากระบวนการขนส่ง (Loading and hauling) เป็นกระบวนการผลิตที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศมากกว่ากระบวนการผลิตอื่น

การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากระบบการผลิตของอุตสาหกรรมเหมืองแร่

อุตสาหกรรมเหมืองแร่มีความจำเป็นต้องใช้น้ำในหลายกระบวนการเพื่อแปลงกองหินให้กลายเป็นแร่ที่มีมูลค่า กระบวนการเหล่านั้นอาจ ได้แก่ การใช้น้ำเพื่อบดตัด คัดแยก ล้าง หรือลอยแร่ การใช้น้ำเพื่อกระบวนการทางเคมี เช่น การสกัดโลหะ การชะละลาย เป็นต้น รูปที่ 3 แสดงระบบการผลิตทั้งหมดของการสกัดแร่เหล็กในเหมืองผิวดินที่ใช้การพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงานจนถึงกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้หัวแร่ 1 ตัน (Ferreira และ Leite, 2015) จะเห็นได้ว่านอกจากจะมีการใช้ที่ดิน ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแร่เหล็กแล้ว ยังมีการใช้น้ำ เป็นทรัพยากรที่สำคัญในระบบการผลิตแร่เหล็กด้วย



รูปที่ 3 ระบบการผลิตแร่เหล็ก (Ferreira และLeite, 2015)

องค์การสำรวจทางธรณีวิทยาสหรัฐอเมริกา (The United States Geological Survey; USGS) รายงานการใช้น้ำในระบบการผลิตแร่ของเหมืองทั้งหมดในสหรัฐอเมริกาในปี พ.ศ. 2548 มีการใช้น้ำประมาณ 15,255 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งแบ่งตามประเภทและแหล่งน้ำดังแสดงในตารางที่ 1 (USGS, 2016) ปริมาณการใช้น้ำดังกล่าวนับเป็นร้อยละ 1 เมื่อเทียบกับการใช้น้ำในทุกกิจกรรมทั่วประเทศ อย่างไรก็ตามน้ำที่ผ่านการใช้ในระบบการผลิตแร่ท้ายที่สุดจะกลายเป็นน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอันตรายที่จำเป็นต้องมีการจัดการที่ดีเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภายหลัง

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำในระบบการผลิตแร่ของประเทศสหรัฐอเมริกาในปี พ.ศ. 2548 (USGS, 2016)

แหล่งน้ำ	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ล้านลิตรต่อวัน)		
	น้ำจืด	น้ำเค็ม	รวม
น้ำผิวดิน	4,921	719	5,640
น้ำใต้ดิน	3,861	5,754	9,615
รวม	8,782	6,473	15,255

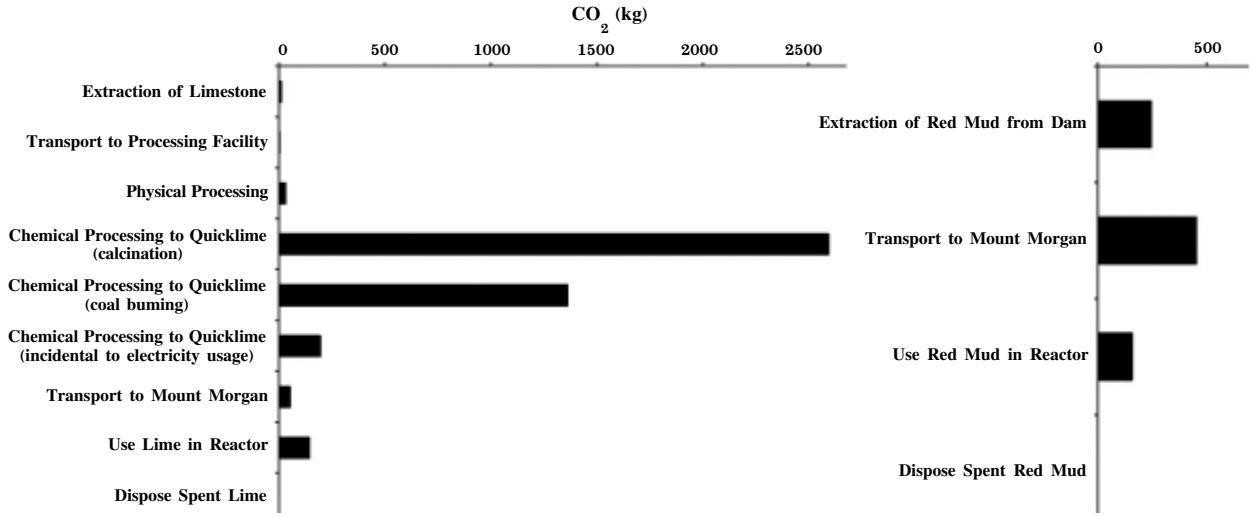
รูปที่ 4 เขื่อนกั้นน้ำหางแร่ของเหมืองมาร์ธา ประเทศนิวซีแลนด์ (Joy, 2010)

น้ำที่ผ่านการใช้งานและกลายเป็นน้ำเสียมักถูกนำมากักเก็บในเขื่อนที่สร้างขึ้นเพื่อให้หางแร่ เศษหิน และของเสียอื่นๆ เกิดการตกตะกอนก่อนที่จะนำมาบำบัด เนื่องจากน้ำเสียจากเหมืองโดยทั่วไปจะมีกำมะถันปริมาณสูงและสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดความเป็นกรด ดังนั้นการกักเก็บน้ำเสียที่มีกำมะถันเจือปน จึงเป็นการช่วยลดการสัมผัสกับอากาศและสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้น้ำเสียยังมีสินแร่ที่มีค่าเจือปนอยู่และสามารถนำกลับเข้ากระบวนการได้โดยอาศัยเทคโนโลยีการทำให้เข้มข้นขึ้น รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างการสร้างเขื่อนกั้นน้ำหางแร่เพื่อป้องกันไม่ให้มีการปลดปล่อยกรดกำมะถันออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบของเหมืองมาร์ธาประเทศนิวซีแลนด์ (Joy, 2010)

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากระบบการผลิตของอุตสาหกรรมเหมืองแร่ได้ดำเนินการ เพื่อวางแผนการจัดการและบำบัดน้ำเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดและให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงขึ้น ในปี พ.ศ. 2551 Tuazon และ Corder ได้ศึกษาเปรียบเทียบการบำบัดน้ำทิ้งฤทธิ์กรด (Acid mine drainage; AMD) โดยใช้โคลนแดง ที่ปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยน้ำทะเลกับการใช้ปูนขาวซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป โดยติดตามการใช้พลังงานเชื้อเพลิง และระดับการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งฤทธิ์กรดทั้งสองวิธี การศึกษานี้ทำขึ้นที่เหมืองเมาท์มอร์แกน ในควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย โดยขอบเขตการศึกษาได้แก่ขั้นตอนการเตรียมโคลนแดงและปูนขาวมาใช้ ซึ่งอยู่ห่างออกไปจากแหล่งบำบัด 150 กิโลเมตร ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ณ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งฤทธิ์กรดที่เท่ากัน ปูนขาวถูกใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าโคลนแดง แต่การใช้ปูนขาวกลับส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่ามาก ซึ่งมาจากขั้นตอนการเผาปูนในกระบวนผลิตปูนขาวเป็นหลัก ส่วนการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากโคลนแดงมาจากการขนส่งเป็นหลัก ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 5 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการศึกษานี้ระบุว่าการใช้โคลนแดงในการบำบัดน้ำทิ้งฤทธิ์กรดปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 20 และใช้ไฟฟ้า ร้อยละ 44 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปูนขาวตลอดทั้งกระบวนการ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการนำของเสียอย่างโคลนแดงมาใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่ง

ตารางที่ 2 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งฤทธิ์กรดของเหมืองเมาท์มอร์แกน ในควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย (โคลนแดง 1 ตัน เท่ากับการใช้ปูนขาว 0.2 ตัน) (Tuazon และ Corder, 2008)

แผนการบำบัด	ปริมาณที่ใช้ (kg)	บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต		
		คาร์บอนไดออกไซด์ (kg)	ไฟฟ้า (kWh)	เชื้อเพลิง (L)
ขอบเขต : โคลนแดงจากเขื่อนกักเก็บ				
ปูนขาว	3,300	4,378	377	16
โคลนแดง	22,297	853	164	190
ขอบเขต : โคลนแดงจากเหมืองแร่อะลูมิเนียม				
ปูนขาว	3,300	4,378	377	16
โคลนแดง	22,927	1,088	173	195



รูปที่ 5 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตของปูนขาว (ซ้าย) และโคลนแดง (ขวา) (Tuazon และ Corder, 2008)

บทสรุป: อุปสรรคและความท้าทาย

สืบเนื่องจากผลกระทบของปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น ส่งผลให้ทุกภาคส่วนในสังคมเริ่มตระหนักถึงความสำคัญของการแสวงหามาตรการหรือแนวทางในการบรรเทาและแก้ไขปัญหาอย่างเต็มกำลังทั้งในระดับชาติและสากล สำหรับประเทศไทยเองยังได้แสดงเจตจำนงและให้ความสำคัญในการดำเนินงานลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามความเหมาะสมของแต่ละประเทศโดยมุ่งเน้นความสมัครใจในลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้ ภาคอุตสาหกรรมเองก็นับเป็นภาคส่วนที่สำคัญของประเทศที่สามารถให้ความร่วมมือในการลดก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องได้ปัจจุบัน การดำเนินงานภายใต้ความร่วมมือระหว่างภาครัฐ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเหมืองแร่ได้ประยุกต์ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือจัดการเพื่อทำให้ทราบถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่างๆ รวมถึงปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การพัฒนาเครื่องหมายฉลากคาร์บอนหรือกลไก

ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมผ่านการแสดงเจตนารมณ์รับผิดชอบต่อสังคมในรูปแบบของการให้ข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ชัดเจนประกอบการตัดสินใจของผู้บริโภค การประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการดำเนินโครงการกลไกพัฒนาที่สะอาดจากกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมเหมืองแร่ อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ยังมีอุปสรรคและความท้าทายในหลายประเด็น ดังนี้

● ขาดฐานข้อมูลและข้อจำกัดทางองค์ความรู้เกี่ยวกับหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์และบริการของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเหมืองแร่

● ขาดแคลนบุคลากรผู้มีความรู้ ความเชี่ยวชาญ และมีประสบการณ์คอยให้คำปรึกษาเชิงเทคนิคแก่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเหมืองแร่ รวมถึงบุคลากรที่มีความชำนาญในการประเมินโครงการลดก๊าซเรือนกระจกในลักษณะที่ตรวจสอบได้ รายงานได้และทวนสอบได้ (MRVs)

● ความตระหนักและการรับรู้ในหลักการดำเนินงานลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผู้ประกอบการยังมีอยู่อย่างจำกัด

● ขาดความชัดเจนเกี่ยวกับกลไกตลาดคาร์บอนหรือระบบการซื้อ–ขายคาร์บอนเครดิต ทั้งในประเทศและต่างประเทศ รวมทั้งการขาดแรงจูงจากผู้ประกอบการอุตสาหกรรมในการดำเนินโครงการฯ

● ขาดความเชื่อมโยงและองค์ความรู้เกี่ยวกับการนำเครื่องมือที่เหมาะสมมาใช้ในการบริหารจัดการและบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อม (ทั้งปัญหามลพิษทางน้ำและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิต) รวมถึงขาดการบูรณาการแผนงานและถ่ายทอดสู่แนวทางปฏิบัติอย่างเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยภายใต้โปรแกรมวิจัย เรื่อง การจัดการสารพิษในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ พร้อมทั้งขอขอบคุณ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม และศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อำนวยความสะดวกและสนับสนุนในด้านเครื่องมือวิทยาศาสตร์และองค์ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อความสำเร็จของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Adey, E., Wall, F., Shail, R., Keech, J., Neal, W., Limprasert, R., Roba, C., and Delmore, C. 2011. Best Practice for Reducing the Carbon Footprint of the Mining Industry. Budapest: Geonardo Ltd., 103 pp.

Ferreira, H. and Leite, M.G.P. 2015.A Life cycle assessment study of iron ore mining.*Journal of Cleaner Production*. 108, 1081–1091.

Idso, C., and Wootten, J. 2003. Greenhouse gas reductions in the mining sector: Historic trends and future option, Second Annual Conference on Carbon Sequestration. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/03/carbon-seq/pdfs/103.pdf

Joy, M. 2010. An acid trip for NZ rivers. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://blog.forestandbird.org.nz/ an-acid-trip-for-nz-rivers/[8 มิถุนายน 2559]

Nekapreecha, N. Carbon emissions management of the Petrochamical Industries in Thailand.Master's Thesis, Department of Earth Science, Durham University, 2012.

Norgate, T. and Haque, N. 2010. Energy and greenhouse gas impacts of mining and mineral processing operations. Journal of Cleaner Production, 18:266-274.

Sterling, D. 2009. Identifying opportunities to reduce the consumption of energy across mining and processing plants.Schneider-Electric.Ferreira, H. and Leite, M.G.P. 2015.A Life cycle assessment study of iron ore mining.*Journal of Cleaner Production*. 108, 1081-1091.

Tuazon, D. andCorder, G.D. 2008. Life cycle assessment of seawater neutralised red mud for treatment of acid mine drainage. *Resources, Conservation and Recycling*. 52, 1307-1314.

United Nations Environment Program (2016) Life Cycle Assessment.[ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.unep.org/resourceefficiency/Consumption/StandardsandLabels/MeasuringSustainability/LifeCycleAssessment/tabid/101348/Default.aspx

USGS. 2016. Mining water use. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://water.usgs.gov/edu/wumi.html [8 มิถุนายน 2559]

Worrel, E., Price, L. Martin, N., Hendriks, C. and Meida, L.O. 2001. Carbon dioxide emissions from global cement industry. *Annual review of environmental and resources*, 26: 303-329.

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (กพร.). 2555. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาอุตสาหกรรมเหมืองแร่สู่โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM) (ปีงบประมาณ 2555). กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2553. รายงานโครงการกำหนดแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมเหมืองแร่สู่กลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM). กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.

จันทิมา อุทะกะ. 2559. ศูนย์เฉพาะทางด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www2.mtec.or.th/website/doc_sys/upload/5_basic_LCA.pdf

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.2553.รายงานฉบับสมบูรณ์การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย. กรุงเทพฯ. 143 หน้า.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2557. ฉลากคาร์บอนและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/carbonfootprint/