การวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิตและแนวทางการลดพลังงานในกระบวนการผลิตหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

Analysis of Specific Energy Consumption and Energy Reduction Approach for Limestone Production in Mae Moh Power Plant

ประกอบ ปะระมะ*
Prakob Parama
พุทธดี อุบลศุข**
Putthadee Ubolsook
ธนวรกฤต โอฬารธนพร***
Tanaworakit Orantanaporn
สุรัตน์ เศษโพธิ์****
Surat Sedpho

Received : March 10, 2022
Revised : August 26, 2022
Accepted : February 17, 2023

บทคัดย่อ

โรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง มีการผลิตหินปูนเพื่อใช้สำหรับการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหิน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ทำให้มีปริมาณการใช้หินปูนกว่าปีละ 1,296,941 ton โดยกระบวนการผลิตหินปูนทำในพื้นที่เหมืองหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ซึ่งจะใช้เครื่องจักรที่มีการใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซลและไฟฟ้าเป็นหลัก ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption; SEC) ของกระบวนการผลิตหินปูน ประกอบด้วย การใช้พลังงานทางตรง

*นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและเทคโนโลยีสมาร์ตกริด คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา
Doctor of Philosophy Program in Energy Management and Smart Grid Technology, School of Energy and Environment, University of Phayao e-mail: prakob.parama@gmail.com
**อาจารย์ประจำสาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
Lecture in Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhut University
***อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
Lecture in Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University
****อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการพลังงานและเทคโนโลยีสมาร์ตกริด คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา
Lecture in Energy Management and Smart Grid Technology, School of Energy and Environment, University of Phayao

และการใช้พลังงานทางอ้อมจากการขนส่งทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิต พบว่า การผลิตหินปูน 1 ton มีค่า SEC เท่ากับ 78.31 MJ แบ่งเป็นการใช้พลังงานทางตรง 76.52 MJ และพลังงานทางอ้อม 1.79 MJ มาจาก 4 กระบวนการ คือ กระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน ใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรหนักมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 48.01 ของพลังงานทั้งหมด กระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน กระบวนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ และกระบวนการขนส่งหินปูนเข้าโรงไฟฟ้า มีการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 34.83, 12.05 และ 5.11 ของการใช้พลังงานทั้งหมดตามลำดับ สำหรับมาตรการการลดพลังงานที่สามารถทำได้ ณ ปัจจุบันของเหมืองหินปูน คือ การลดอัตราหินป้อนย้อนกลับในกระบวนการบดย่อยและการลดเวลาการจอดรอของรถขนส่งจะสามารถลดค่า SEC ลงได้ 5.51 MJ ต่อ 1 ton-หินปูน หรือคิดเป็นร้อยละ 7.03 ของกระบวนการผลิตทั้งหมด

คำสำคัญ : การวิเคราะห์พลังงาน / การผลิตหินปูน / ประสิทธิภาพพลังงาน / พลังงานต่อหน่วยการผลิต

ABSTRACT

Mae Moh Coal Power Plant, Mae Moh District, Lampang Province produces and use limestone to remove sulfur dioxide (SO_2) from coal combustion, 1,296,941 tons of limestone are used yearly. In the production process, machines are used energy mainly from diesel and electricity. Specific Energy Consumption (SEC) is used to analysis energy consumption in limestone production process including direct energy consumption and indirect energy consumption from the transportation of resources used in the production process. It was found that the production of 1 ton of limestone has an SEC value of 78.31 MJ, divided into direct energy consumption of 76.52 MJ and indirect energy of 1.79 MJ. The open-pit mining and quarrying processes consumed the most energy from the diesel use of the heavy machinery accounting for 48.01 percent of the total energy consumption entire the limestone production. Limestone crushing, dumping and transportation to power plant have a proportion of SEC accounted for 34.83, 12.05 and 5.11 percent of total energy consumption, respectively. Current energy-saving implementations for limestone quarry are including decrease stone feedback in the crushing process and reduce waiting time of transport vehicles. It was found that both implementations can reduce the SEC by 5.51 MJ or 7.03 percent of the total energy consumption entire process.

Keywords : Energy Analysis / Limestone Production / Energy Efficiency / Specific Energy Consumption

บทนำ

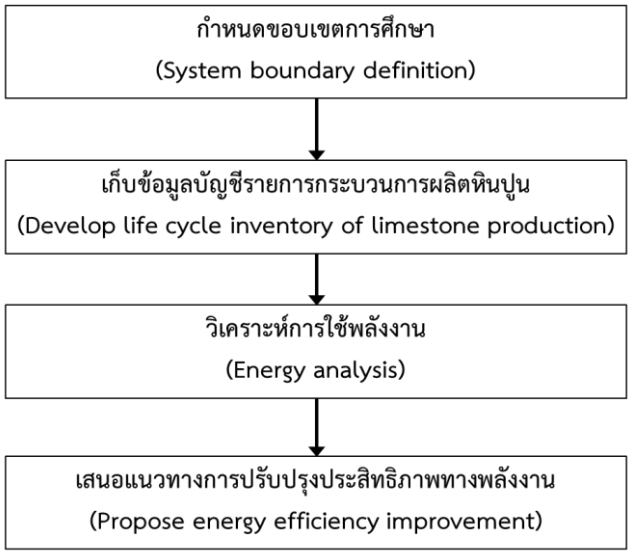
ไฟฟ้าจัดเป็นระบบสาธารณูปโภคที่สำคัญในการดำเนินชีวิตและการขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่มีความต้องการใช้งานมากขึ้น ควบคู่ไปกับการพัฒนาประเทศ ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยส่วนใหญ่ยังคงใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากกว่าร้อยละ 70 (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2562) โดยเป็นเชื้อเพลิงจากถ่านหินมีสัดส่วนราวร้อยละ 22 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2564) การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ล้วนแต่ก่อให้เกิดมลพิษต่างๆ ทั้ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (NO_2) รวมถึง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งเกิดมาจากการเผาไหม้ถ่านหินโดยโรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินลิกไนต์ ภายในพื้นที่ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ปัจจุบันมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 2,400 MW ใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงปีละประมาณ 16 M-ton ซึ่งการเผาไหม้ถ่านหินที่ปราศจากการลด กำจัดหรือผ่านกระบวนการเคมีจะมีการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ออกสู่บรรยากาศและเมื่อรวมตัวกับไอน้ำจะทำให้เกิดเป็นฝนกรด ส่งผลกับประชาชนรอบโรงไฟฟ้า ดังนั้นโรงไฟฟ้าแม่เมาะจึงได้ทำการติดตั้ง ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization; FGD) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกัมมะถันปนอยู่ โดยระบบ FGD นี้จะใช้หินปูน (Calcium Carbonate, $CaCO_3$) เป็นตัวดูดซับ (Absorbent) และจะได้ยิบซั่ม (Gypsum) เป็นผลผลิตตามมา ในแต่ละปีระบบ FGD มีความต้องการใช้หินปูนจำนวนมาก ซึ่งโรงไฟฟ้าแม่เมาะได้มีพื้นที่ผลิตหินปูนที่เพียงพอให้ใช้ในระบบ FGD เนื่องจากหินปูนเป็นวัสดุที่หาง่ายและมีราคาถูก (สุดารัตน์ และคนอื่นๆ, 2557) ทำให้มีการใช้หินปูนทั้งในอุตสาหกรรมต่าง ๆ รวมถึงมีการใช้ในกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ในแต่ละปีโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีการใช้หินปูนราว 1,320,000 ton (Department of Primary Industries and Mines, 2018) ซึ่งเป็นการผลิตภายในพื้นที่ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยในกระบวนการผลิตหินปูน ประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ 1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน 2) การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ 3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน และ 4) การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า กระบวนการผลิตหินปูนแบบเปิดหน้าเหมืองนั้นจะมีการใช้เครื่องจักรหนักในการทำงาน เช่น รถเจาะ แบคโฮ เป็นต้น จากนั้นมีการขนส่งเข้าโรงแต่งแร่ด้วยรถบรรทุกซึ่งล้วนแล้วแต่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก และในการบดย่อยให้ได้ขนาดตามความต้องการจะมีการใช้พลังงานจากไฟฟ้า ซึ่งการใช้พลังงานเหล่านี้ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Kittipongvises, S. & Polprasert, C., 2016; Attavanich, W., et al., 2019) นอกจากนี้ยังมีของเหลือทิ้งที่มาจากการผลิต มลภาวะต่างๆ ซึ่งผลกระทบเหล่านี้ไม่ได้เกิดเฉพาะในส่วนที่นำมาใช้งานเท่านั้น แต่ยังมาจากส่วนของการขุดเจาะ ขนส่ง เพื่อนำแร่ธาตุต่างๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ หรือ หินปูน (Niyomthai, S. & Wattanawan, A., 2014) เหล่านี้มาใช้งาน ส่งผลให้สูญเสียทรัพยากรมากขึ้นไปอีกด้วยเช่นกัน

งานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดในการประเมินการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูน ซึ่งเป็นทรัพยากรหลักในกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตและเสนอแนวทางในการปรับเปลี่ยนกระบวนการเพื่อลดในการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูน ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัด

ลำปาง โดยวิเคราะห์ในรูปแบบการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption: SEC) จากการใช้พลังงานของทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ประกอบด้วย การใช้พลังงานทางตรง (Direct Energy Consumption) จากการใช้น้ำมันและไฟฟ้า และการใช้พลังงานทางอ้อม (Indirect Energy Consumption) จากการขนส่งทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิต แยกแต่ละกระบวนการย่อยเพื่อชี้จุดที่มีการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญพร้อมทั้งเสนอแนวทางในการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตโดยใช้ค่า SEC เป็นเกณฑ์มาตรฐาน (Benchmark) ในการลดการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูนซึ่งจะนำไปสู่การผลิตหินปูนที่มีประสิทธิภาพและลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

กรอบแนวคิดสำหรับการวิจัยเพื่อประเมินการใช้พลังงานต่อหน่วยของกระบวนการผลิตหินปูนสำหรับเป็นข้อมูลสำคัญในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐาน (Benchmark) ในการลดการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูนในอนาคต โดยการศึกษาการวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิต ของการผลิตหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง สำหรับใช้ในระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization; FGD) มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การกำหนดขอบเขตการวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต ในกระบวนการผลิตหินปูน 1 ton โดยใช้ข้อมูลในรอบการผลิตหินปูน ปี พ.ศ. 2561 ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง การเก็บข้อมูลบัญชีรายการกระบวนการผลิตหินปูน โดยสารขาเข้าในกระบวนการผลิตประกอบด้วย ทรัพยากร พลังงาน สารขาออกประกอบด้วยหินปูนขนาดไม่เกิน 10 mm ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ใช้ป้อนในระบบ FGD ที่เกิดจากการผลิตหินปูน 4 กระบวนการ ดังนี้

1. การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน เจาะหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว เพื่อบรรจุวัตถุระเบิดและจึงระเบิดหินปูนหน้างาน หินปูนที่ได้จากการระเบิดจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 80 cm หากเกินกว่านี้จะใช้รถแบคโฮติดเบลกเกอร์ (Hydraulic Breaker) ทุบย่อยหินปูนให้มีขนาดเหมาะสมตามกำหนด

2. กระบวนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่หินปูนที่ได้จากการระเบิดและทุบย่อยจากกระบวนการข้อที่ 1 จะถูกขุดและตักใส่รถบรรทุก 10 ล้อ โดยรถแบคโฮ และขนส่งจากหน้าเหมืองไปยังโรงแต่งแร่

3. กระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน เมื่อหินปูนจากหน้าเหมืองมายังโรงแต่งแร่ ขนาดกำลังการผลิต 360 ton/hr./station หินปูนจะถูกลำเลียงโดยสายพานเพื่อเข้าเครื่องบดย่อยหินปูนขั้นที่ 1 ซึ่งหินปูนที่ได้จะมีขนาดไม่เกิน 150 mm หลังจากนั้นจะส่งเข้าเครื่อง Vibrating Grizzly Feeder เพื่อบดย่อยให้มีขนาดเล็กกว่า 25 mm และบดย่อยขั้นสุดท้ายให้มีขนาดเล็กกว่า 10 mm สำหรับเศษหินปูนที่ไม่เป็นไปตามกำหนดจะถูกส่งไปกองรวมกันที่อุโมงค์รับหินใหญ่เพื่อรอกำจัดต่อไป

4. กระบวนการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า หินปูนที่มีขนาดเล็กกว่า 10 mm จะถูกลำเลียงโดยสายพานเข้าสู่เครื่องโปรยแร่ (Stacker) ทำกองเพื่อเตรียมการลำเลียงโดยสายพานป้อนเข้าสู่ไซโลรอการบรรจุลงรถบรรทุกเพื่อขนส่งไปใช้ในระบบ FGD ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะต่อไป

การวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption; SEC) เป็นค่าที่สะท้อนถึงการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพทางพลังงานของกระบวนการผลิต โดยทั่วไปค่า SEC สามารถคำนวณได้จากปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่อหน่วยการผลิต โดยประเมินการใช้ทรัพยากรที่เป็นพลังงานโดยตรง (Direct Energy Consumption; ED) เช่น ไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น (Srimod, P. & Promwattanapakdee, T., 2015) (วิจิตร และคนอื่นๆ, 2562) แต่ไม่ได้รวมถึงพลังงานทางอ้อม (Indirect Energy Consumption; EI) จากการขนส่ง แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการการวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิตจาก 2 ส่วน คือ การใช้พลังงานทางตรงและทางอ้อม โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (1) (พศวีร์ และธนภัทร, 2558)

$$SEC = \sum_{i} \left(ED_i + EI_i \right) \quad (1)$$

โดยที่

SEC คือ ค่าพลังงานการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของทรัพยากร i (MJ/Unit)
ED_i คือ ค่าพลังงานทางตรงที่ใช้ในการผลิตของทรัพยากร i (MJ/Unit)
EI_i คือ ค่าพลังงานทางอ้อมที่ใช้ในการผลิตของทรัพยากร i (MJ/Unit)

ค่าพลังงานทางตรงสามารถหาได้จากปริมาณพลังงานของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตคูณกับค่าพลังงานจำเพาะของทรัพยากรนั้น ๆ ส่วนพลังงานทางอ้อมสามารถหาได้จากการนำปริมาณของทรัพยากรที่ใช้คูณกับค่าพลังงานในการขนส่งทรัพยากรนั้น ๆ เช่นกัน ซึ่งพลังงานดังกล่าวได้จากฐานข้อมูล Ecoinvent ในโปรแกรม

สำเร็จรูป SimaPro 9.0 (Ecoinvent, 2014) และวิเคราะห์หาจุดที่มีการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญและหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

ผลการศึกษา

การวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรและพลังงานต่อหน่วย

ข้อมูลการผลิตหินปูนของเหมืองหินปูนภายในพื้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะในปี พ.ศ. 2561 จาก 4 กระบวนการ มีผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สารขาเข้า-สารขาออกในกระบวนการผลิตหินปูนปี พ.ศ. 2561

สารขาเข้า			กระบวนการ	สารขาออก		
รายการ	**ปริมาณ**	**หน่วย**		**รายการ**	**ปริมาณ**	**หน่วย**
พื้นที่เปิดหน้าเหมือง	150,579.56	m^2	**1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน**	เศษหินจากการเปิดหน้าเหมือง	694,271.778	ton
วัตถุระเบิดแรงสูง	11,620.00	kg		หิน (เข้าโรงแต่งแร่)	1,929,532.95	ton
แอมโมเนียมไนเตรต	194,970.00	kg				
แก๊บไฟฟ้า (ทองแดง)	43,480.65	kg				
น้ำมันดีเซล (ผสมระเบิด)	10,561.00	l				
น้ำมันดีเซล (เครื่องจักร)	722,002.00	l				
น้ำมันหล่อลื่น	11,195.45	l				
			2) การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่			
น้ำรดถนน	150,579.56	m^3		เศษหิน รากไม้	498,432.95	ton
น้ำมันดีเซล	292,409.00	l		หินปูนขนาด 60-80 mm.	1,431,100.00	ton
น้ำมันหล่อลื่น	11,195.45	l				
หิน (เข้าโรงแต่งแร่)	1,929,532.95	ton				
			3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน			
น้ำใช้ในโรงโม่	62,266.00	m^3		หิน Waste	122,881.60	ton
ไฟฟ้า	3,312,160.00	kWh		หิน Reject	11,277.30	ton
จารบี	1,961.00	kg		หินปูนขนาด 10 mm.	1,296,941.10	ton
หินปูนขนาด 60-80 mm.	1,431,100.00	ton				
			4) การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า			
น้ำมันดีเซล	123,978.00	l		หินปูน 10 mm. (เก็บในไซโล)	122,761.53	ton
จารบี	1,922.42	kg				
หินปูนขนาด 10 mm.	1,296,941.10	ton		หินปูน 10 mm. (ส่ง FGD)	1,174,179.57	ton

ในปี พ.ศ. 2561 เหมืองผลิตหินปูนต้องใช้หินปูน 1,929,532.95 ton เพื่อผลิตหินปูนขนาด 10 mm ให้ได้ 1,296,941.10 ton โดยจากการวิเคราะห์แยกรายกระบวนการ พบว่า กระบวนการ 1) เป็นกระบวนการหลักที่มีการใช้ทรัพยากรจากน้ำมันดีเซลมากที่สุดถึง 732,563 l คิดเป็นร้อยละ 63.75 ของการใช้น้ำมันดีเซล

ทั้งหมด ลำดับถัดมาคือกระบวนการ 2) และ 4) มีการใช้น้ำมันดีเซลร้อยละ 25.46 และ 10.79 ตามลำดับ สำหรับการใช้ไฟฟ้าจะใช้ในกระบวนการ 3) เพียงกระบวนการเดียว โดยมีปริมาณ มากถึง 3,312,160 kWh หรือคิดเป็นอัตราการใช้ไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตเป็น 2.55 kWh/tonหินปูน ซึ่งเป็นการใช้ในเครื่องบดย่อยหินปูน นอกจากนี้จะมีการใช้ทรัพยากรอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น วัตถุระเบิดแรงสูง แอมโมเนียมไนเตรต แก๊บไฟฟ้า น้ำ น้ำมันหล่อลื่น และจารบี

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางพลังงานด้วย SEC จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาจุดที่มีค่าการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญที่จะนำไปสู่การการแสดงผลการใช้พลังงานอย่างในแต่ละกระบวนการ ซึ่งค่าพลังงานในการผลิตหินปูนขนาด 10 mm ปริมาณ 1 ton แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพลังงานจากการใช้ทรัพยากรในการผลิตหินปูน 1 ton ของรอบการผลิตปี พ.ศ. 2561

กระบวนการผลิต	รายการ	พลังงานทางตรง		พลังงานทางอ้อม		SEC	
		LCI*		LCI*			
		(Unit/ton)	(MJ)	(Unit/ton)	(MJ)	(MJ)	%
1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	วัตถุระเบิดแรงสูง	8.96E-03	0.57	1.00E-05	0.03	0.60	0.77
	แอมโนเนียมไนเตรต	0.15	9.72	1.50E-04	0.29	10.01	12.78
	แก๊บไฟฟ้า (ทองแดง)	0.03	3.25	3.00E-05	0.10	3.35	4.28
	น้ำมันดีเซล (สำหรับผสมระเบิด)	8.14E-03	0.32	1.00E-05	0.01	0.33	0.42
	น้ำมันดีเซล (เครื่องจักร)	0.56	21.72	4.50E-04	0.85	22.57	28.82
	น้ำมันหล่อลื่น	8.63E-03	0.72	1.00E-05	0.01	0.74	0.94
	ผลรวมพลังงานกระบวนการ 1		**36.30**		**1.29**	**37.59**	**48.01**
2) การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	น้ำมันดีเซล	0.23	8.80	1.00E-05	0.34	9.14	11.67
	น้ำมันหล่อลื่น	3.50E-03	0.29	1.50E-04	0.01	0.30	0.38
	ผลรวมพลังงานกระบวนการ 2		**9.09**		**0.35**	**9.44**	**12.05**
3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	ไฟฟ้า	2.55	27.15	2.55382	-	27.15	34.67
	จารบี	1.51E-03	0.13	1.40E-06	2.60E-03	0.13	0.17
	ผลรวมพลังงานกระบวนการ 3		**27.27**		**2.60E-03**	**27.28**	**34.84**
4) การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	น้ำมันดีเซล	0.10	3.73	8.00E-05	0.15	3.88	4.95
	จารบี	1.48E-03	0.12	1.30E-06	2.55E-03	0.13	0.16
	ผลรวมพลังงานกระบวนการ 4		**3.85**		**0.15**	**4.00**	**5.11**
ผลรวมพลังงาน			**76.52**		**1.79**	**78.31**	**100.00**

หมายเหตุ: *LCI (Life Cycle Inventory) คือ ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ต่อการผลิตหินปูน 1 ton

ค่า SEC ของกระบวนการผลิตหินปูน 1 ton มีค่าเท่ากับ 78.31 MJ โดยพบว่ามาจากการใช้พลังงานทางตรงเท่ากับ 76.52 MJ คิดเป็นร้อยละ 97.71 และมาจากพลังงานทางอ้อมเท่ากับ 1.79 MJ คิดเป็นร้อยละ 2.29 จะเห็นได้ว่ามีการใช้พลังงานจากทางตรงเป็นหลัก กระบวนการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด คือ การเปิด

พื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหินมีการใช้พลังงาน 37.59 MJ รองลงมาคือการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน ใช้พลังงาน 27.28 MJ การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้าใช้พลังงาน 9.44 MJ และการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ใช้พลังงาน 4.00 MJ เมื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานแยกรายทรัพยากร พบว่า พลังงานในการใช้ไฟฟ้าของกระบวนการ 3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน 27.15 MJ มีค่ามากที่สุด ลำดับถัดมาคือ พลังงานจากการใช้น้ำมันดีเซล (เครื่องจักร) ในกระบวนการ 1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน 21.72 MJ และลำดับที่ 3 คือ พลังงานจากการใช้แอมโมเนียมไนเตรต 9.72 MJ ในกระบวนการ 1) เช่นเดียวกัน

แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตหินปูน

ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานโดย SEC พบว่า กิจกรรมที่ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานและเหมืองผลิตหินปูนสามารถดำเนินการลดการใช้พลังงาน ได้แก่ การใช้ไฟฟ้าในกระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน การใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องจักรในกระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน และการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า โดยแนวทางในการลดการใช้พลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3 และผลของการดำเนินกิจกรรมการลดการใช้พลังงานแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แนวทางการลดการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูน

กระบวนการ	กิจกรรม	ปัญหาและแนวทางการแก้ไข
การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	การใช้น้ำมันดีเซล	ในการขนหินขนาด 10 mm. จากไซโลไปยังระบบ FGD ต้องใช้รถบรรทุกโดยมีขนาด 25 ton (อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 12 l) ซึ่งรถบรรทุกต้องมีการจอดรอเฉลี่ย 30 นาที ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง แนวทางการลดการจอดรอของรถขนหินให้เหลือไม่เกิน 10 นาที โดยการจัดการคิวรถให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ประมาณ 7,600 l/yr.
การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	การใช้น้ำมันดีเซล	การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่จะใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ขนาด 25 ton (น้ำหนักบรรทุกหินจริง 22.5 ton) ในการขนหินที่ขุดเจาะได้เข้าโรงแต่ง พบว่า ในปี 2561 มีการขนหินทั้งหมดปริมาณกว่า 1,929,532 ton และมีจำนวนการขนหินมากกว่า 85,758 เที่ยว โดยรถขนหินนั้นจะต้องมีการจอดรอเฉลี่ย 20 นาที ซึ่งเหมืองได้มีการบริหารจัดการการเดินรถขนหินและมีเป้าหมายในการลดเวลารอให้เหลือไม่เกิน 10 นาที โดยการจัดการคิวรถให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ประมาณ 85,758 l/yr.
การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	การใช้ไฟฟ้า	อัตราหินที่ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ (ขนาดใหญ่กว่า 10 mm.) ของรอบการผลิตปี 2561 มีอัตราหินป้อนย้อนกลับ (Return) ร้อยละ 30 -40 เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของค้อนบดย่อยลดลงเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการบำรุงรักษาค้อนบดย่อยอย่างสม่ำเสมอ ควบคุมการอัตราหินป้อนย้อนกลับ ให้อยู่ในระดับร้อยละ 20 – 25 จะทำให้สามารถลดการใช้ไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิต จาก 2.55 kWh/ton เหลือเพียง 2.30 kWh/ton

ตารางที่ 4 ค่า SEC ของกระบวนการผลิตหินปูนก่อนและหลังลดการใช้พลังงาน

กระบวนการ	SEC		
	ก่อน ลดการใช้พลังงาน (MJ)	หลัง ลดการใช้พลังงาน (MJ)	อัตราการลด* (%)
1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	37.59	37.59	-
2) การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	9.44	6.86	27.33%
3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	27.28	24.58	9.89%
4) การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	4.00	3.77	5.75%
รวม	**78.31**	**72.80**	**7.03%**

*เป็นอัตราการลดเทียบกับค่าเดิมของกระบวนการนั้นๆ

เมื่อมีการปรับปรุงการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูนทั้ง 3 กระบวนการ พบว่า กระบวนการผลิตหินปูนมีค่า SEC ลดลงจาก 78.31 MJ เหลือ 72.80 MJ คิดเป็นร้อยละ 7.03 โดยในกระบวนการ 2) เมื่อลดการจอดรอของรถขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่จาก 20 นาที ให้เหลือระยะเวลาจอดรอไม่เกิน 10 นาที สามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 27.33 เช่นเดียวกันกับกระบวนการ 4) หากบริหารเวลาสำหรับการขนส่งหินปูนเข้าโรงไฟฟ้าให้ลดการจอดรอจาก 30 นาที ให้ไม่เกิน 10 นาที สามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 5.75 สำหรับกระบวนการ 3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน ควรมีการบำรุงรักษาค้อนบดย่อยให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพจะทำให้ลดอัตราหินป้อนย้อนกลับและสามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 9.89

อภิปรายผล

การวิเคราะห์การผลิตหินปูนของเหมืองหินปูนด้วยการวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption; SEC) พบว่า ค่า SEC ของกระบวนการผลิตหินปูน 1 ton มีค่าเท่ากับ 78.31 MJ มีการใช้พลังงานทางตรงมากถึงร้อยละ 97.71 ส่วนพลังงานทางอ้อมร้อยละ 2.29 โดยค่าพลังงานรวมของของการศึกษานี้เมื่อมีค่าใกล้เคียงกับการวิจัยของ (Kittipongvises, S., 2017) ที่ทำการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการระเบิดหินปูนในประเทศไทย ในปริมาณ 1 ton ต้องการใช้พลังงาน 79.60 MJ โดยกระบวนการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด คือ การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน มีการใช้พลังงานร้อยละ 48.01 การบดย่อย การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ และการขนส่งหินปูนเข้าโรงไฟฟ้า มีการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 34.84, 12.05 และ 5.11 ตามลำดับ ส่วนทรัพยากรที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดอยู่ในกระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน คือ การใช้ไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 34.67 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ (Liu, F., et al., 2015) ที่ศึกษาการใช้พลังงานในการผลิตหินปูนพบว่าไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ใช้ในกระบวนการมากที่สุด เช่นกัน

มาตรการการลดการใช้พลังงานที่ตรงประเด็น คือ การลดการใช้พลังงานในกระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน แต่เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถควบคุมการทำงานได้ยากและกิจกรรมต่างๆ ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่เป็นหลัก ดังนั้น มาตรการการลดการใช้พลังงานที่เหมาะสม คือ การลดหินป้อนกลับในกระบวนการบดย่อยเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าและการลดเวลาการรอของรถขนส่งเพื่อลดการใช้น้ำมันดีเซล พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานของกระบวนการได้มากถึงร้อยละ 7.03 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการในอนาคตผู้ผลิตหินปูนสามารถใช้ค่า SEC ตั้งเป็นเกณฑ์เป้าหมาย (Benchmark) สำหรับลดการใช้พลังงานในกระบวนการย่อยต่างๆ รวมถึงตลอดกระบวนการผลิตได้ เพื่อให้การผลิตหินปูนมีประสิทธิภาพทางพลังงานสูงขึ้น ลดต้นทุน และส่งผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อยลง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำวิจัย ขอขอบพระคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) แม่เมาะ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. **สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2564**. [Online]. Available : http://www.gat.co.th/index.php. [2564, สิงหาคม 15].

นโยบายและแผนพลังงาน, สำนัก. (2558). **รายงานสถิติการใช้พลังงานของประเทศไทย 2558**. กรุงเทพฯ : กระทรวงพลังงาน.

พศวีร์ ศรีโหมด และธนภัทร พรมวัฒนภักดี. (2558). การวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานในอาคารเรียนของมหาวิทยาลัยศรีปทุม. ใน**การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีประทุม ครั้งที่ 10. วันที่ 22 ธันวาคม 2558**(หน้า 1137-1145). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีประทุม.

วิจิตร ไสยาศรี, พงศกร คชาพงศ์กุล และชานนท์ บุญมีพิพธ. (2562). ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานเพื่อบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานผลิตผ้าเบรก. ใน **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ครั้งที่ 4 และการประชุมระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1. วันที่ 26-28 มิถุนายน 2562**(หน้า 1-12). กรุงเทพฯ : โรงแรมรอยัลริเวอร์.

สุดารัตน์ ผาสุกโก นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. (2557). การบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบด้วยการลดความเป็นกรดโดยใช้หินปูนและการบำบัดแบบธรรมชาติ ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 14**(3), 12-23.

Attavanich, W., Chantarat, S., Chenphuengpawn, J., Mahasuweerachai, P., & Thampanishvong, K. (2019). Farms, Farmers and Farming: a Perspective through Data and Behavioral Insights. [Online]. Available : https://www.pier.or.th/wp-content/uploads/2019/09/ paper2_paper_Sommarat-Jirath-Phumsit-Witsanu-Kannika.pdf [2021, August 15].

Department of Primary Industries and Mines. (2019). **Mineral Statistics of Thailand 2014-2018**. [Online]. Available : http://www1.dpim.go.th/dt/pper/000001567147580.pdf [2021, August 15].

Ecoinvent. (2014). **Ecoinvent V 3.1 Database. Swiss Centre for Life Cycle Inventories**, Dübendorf, Switzerland.

Kittipongvises, S. & Polprasert, C. (2016). **GHGs Emissions and Sustainable Solid Waste Management**. [Online]. Available : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-0150-5_3 [2021, August 15].

Kittipongvises, S. (2017). Assessment of Environmental Impacts of Limestone Quarrying Operations in Thailand. **Environmental and Climate Technologies, 20**(20), 67-83.

Liu, F., Cai, Q., Chen, S. & Zhou, W. (2015). A comparison of the energy consumption and carbon emissions for different modes of transportation in open-cut coal mines. **International Journal of Mining Science and Technology, 25**(2), 261-266.

Niyomthai, S. & Wattanawan, A. (2014). Sustainable Mining in Thailand : Paradigm Shift in Environmental Management. **Applied Environmental Research, 36**(1), 55-63.

Pasukko, S., Tungkananuruk, N. & Tungkananuruk, K. (2014). Wastewater Treatment of Khaew Kaeb Factory by Deacidification Using Limestone and The Natural Treatment of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project. **KKU Research Journal, 14**(3), 12-23.

Srimod, P. & Promwattanapakdee, T. (2015). Specific Energy Consumption Analysis in Lecture Building Sripatum University. In **10th International and National Sripatum University**. **22 December 2015**(pp.1137-1145). Bangkok : Sripatum University.