



รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัย
และนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ **5**
หัวข้อ

**“สู่วิจัยรับใช้สังคม
ด้วยนวัตกรรมสร้างสรรค์”**

เล่ม
**วิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี**

1

วันที่ 6 – 8 ธันวาคม 2561

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

โดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพายัพ
มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยพิษณุโลก และวิทยาลัยนอร์ทเทิร์น

[ก]



รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5
หัวข้อ “สู่วิจัยรับใช้สังคม ด้วยนวัตกรรมสร้างสรรค์”

เล่ม 1 ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วันที่ 6 – 8 ธันวาคม 2561

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

โดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพายัพ มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
มหาวิทยาลัยพิษณุโลก และวิทยาลัยนอร์ทเทิร์น

เผยแพร่ มกราคม พ.ศ. 2562

การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน Life Cycle Assessment of Power Generation from Renewable Energy

ปาณิสดา อ่อนดอกไม้ และ นัฐพร ไชยญาติ*
Panisa Ondokmai and Nattaporn Chaiyat*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
School of Renewable Energy, Maejo University, 63 M.4 Nong Han Sub-district, San Sai District, Chiang Mai Province 50290
*E-mail address: benz178tii@hotmail.com, +66(0) 882523088

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ และเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น ที่การผลิตไฟฟ้า 1 kWh โดยการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 10 ด้าน จากผลการศึกษา พบว่า การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ มีการปล่อยผลกระทบสูงทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ $8.10E-02$, $3.77E+02$ และ $1.65E+06$ kg CO₂ eq ตามลำดับ การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ $1.29E-02$, $6.97E+02$ และ $5.89E+05$ kg 1,4 DB eq ตามลำดับ การลดลงของเหล็ก $9.25E-03$, $3.58E+02$ และ $1.28E+05$ kg Fe eq ตามลำดับ และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล $1.27E-02$, $1.20E+02$ และ $3.37E+05$ kg oil eq ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้า พบว่า การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำเกิดผลกระทบมากที่สุด รองลงมา คือ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อนใต้พิภพ จากผลการพิจารณาพบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการใช้วัสดุที่มีส่วนประกอบของเหล็กและเชื้อเพลิงฟอสซิลสูง จึงเป็นผลทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการลดลงของสุขภาพมนุษย์สูงตามไปด้วย

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิต การผลิตไฟฟ้า พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ

Abstract

This research studies life cycle assessment (LCA) of power generation from geothermal energy, solar energy and hydropower and compares at generate 1 kWh, which the environmental impact was considered as 10 categories. From the study results, it could be found that the power generation from geothermal energy, solar energy and hydropower were revealed the impacts in terms of climate change $8.10E-02$, $3.77E+02$ and $1.65E+06$ kg CO₂ eq, respectively. Human health toxicology were $1.29E-02$, $6.97E+02$ and $5.89E+05$ kg 1,4 DB eq, respectively. Metal depletion illustrated $9.25E-03$, $3.58E+02$ and $1.28E+05$ kg Fe eq, respectively. In addition the fossil depletion were $1.27E-02$, $1.20E+02$ and $3.37E+05$ kg oil eq, respectively. When comparing the effects of the power generation presented the most LCA impact of the hydropower generation, the minor were solar

energy and geothermal energy. The results showed that the impacts driven by the use of materials from the high amount of iron and fossil fuel and effected on the climate change and human health indicators.

Keywords: Life cycle assessment, Power generation, Geothermal energy, Solar energy, Hydropower

1. บทนำ

เป้าหมายการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย จากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิงตามแผน AEDP2015 มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนในภาพรวมของทั้งประเทศ ที่ร้อยละ 20 ของปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Energy) รวมสุทธิ ซึ่งสอดคล้องตามกรอบการกำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (PDP2015) ที่ระบุว่าจะให้มีส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอยู่ในช่วงร้อยละ 15-20 ภายในปี 2579 อันประกอบไปด้วย พลังงานความร้อนใต้พิภพ ชยะชุมชน ชยะอุตสาหกรรม พลังงานน้ำขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพจากน้ำของเสีย พลังงานลม ก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน และพลังงานแสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) และในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านพลังงานไม่ได้เป็นตัวแปรสำคัญเพียงอย่างเดียว ยังมีด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้ามามีบทบาทต่อการสร้างโรงไฟฟ้าหรือระบบผลิตพลังงานต่าง ๆ อีกด้วย

จากการศึกษางานวิจัยของ Kim et al. (2012) ได้ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง Khaenson et al. (2017) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ Khaenson et al. (2018) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวล Suwanit and Gheewala (2011) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก Uddin and Kumar (2014) ได้วิเคราะห์พลังงาน มลพิษ และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของกังหันลม โดยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต Ozoemena et al. (2017) ได้ทำการเปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานลม Glassbrook et al. (2014) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้า

พลังงานลมขนาดเล็กในประเทศไทย เสาวภา และปราพิธาร์ (2013) ได้ทำการประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน สำหรับการผลิตไฟฟ้า และ Karlsdóttir et al. (2015) ได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไอซ์แลนด์

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวมาในข้างต้น พบว่าโดยส่วนใหญ่ในการสร้างระบบผลิตพลังงาน ต้องมีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วย และวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม คือ หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์

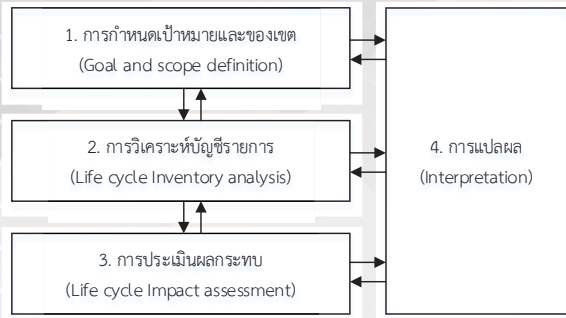
2.1 เพื่อศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ

2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพกับพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment)

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ภายใต้มาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินวัฏจักรชีวิตแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก (เศรษฐ์, 2555) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบการประเมินวัฏจักรชีวิต

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition) คือ การระบุเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงสาเหตุที่ต้องการศึกษา

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life cycle inventory analysis) คือ ขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูล โดยการรวบรวมปริมาณสารเข้าและขาออกที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ

3. การประเมินผลกระทบ (Life cycle Impact assessment) คือ การนำผลจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการมาทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

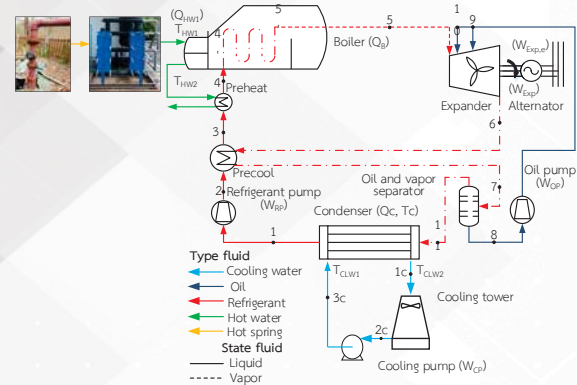
4. การแปลผล (Interpretation) คือ การแปลผลการศึกษา โดยการวิเคราะห์ผลลัพธ์ อภิปรายผล และสรุปผลที่เกิดขึ้น

3.2 การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

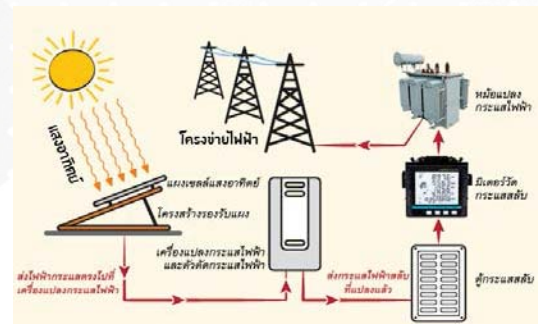
การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยการนำน้ำพุร้อนมาถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำสะอาดผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำน้ำร้อนไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำงานในวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ เพื่อผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ และหม้อแปลงไฟฟ้า โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำการเปลี่ยนแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง แล้วผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับ จากนั้น

กระแสสลับจะผ่านระบบป้องกันและมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า และผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อเพิ่มแรงดันให้เข้ากับระบบสายส่ง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559) ดังแสดงในรูปที่ 3

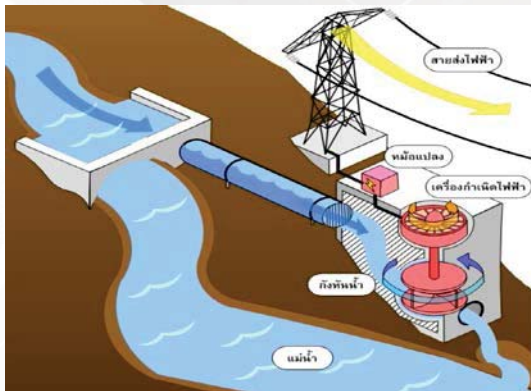


รูปที่ 2 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ



รูปที่ 3 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559)

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบ Run-of-the-river จะทำงานตลอดเวลาตามปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำ เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบนี้ มักสร้างอยู่ในบริเวณพื้นที่ค่อนข้างราบ มีน้ำไหลผ่านตลอดเวลา และมีอาคารสำหรับกั้นน้ำให้สูงขึ้น ด้วยข้อจำกัดด้านภูมิประเทศ ทำให้ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำที่กั้นขึ้นกับระดับที่ปล่อยทางด้านท้ายน้ำมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้น ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะผันแปรตามปริมาณน้ำเป็นสำคัญ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559) ดังแสดงในรูปที่ 4

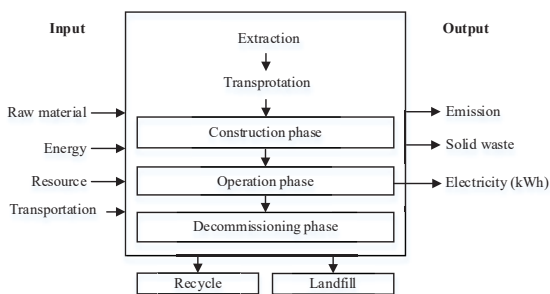


รูปที่ 4 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559)

4. วิธีการศึกษาวิจัย

4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา
เป้าหมายของการศึกษา คือ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนได้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ

ขอบเขตของการศึกษา คือ แบบแครเดิล-ทู-เกรฟ (Cradle-to-grave) ซึ่งพิจารณาตั้งแต่กระบวนการสร้าง กระบวนการใช้งาน และกระบวนการกำจัดซาก โดยมีหน่วยการทำงาน คือ การผลิตไฟฟ้า 1 kWh มีรายละเอียดการศึกษาดังแสดงต่อไปนี้



รูปที่ 5 ขอบเขตการศึกษาของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ

โดยการศึกษาในขั้นตอนนี้ ทำการรวบรวมข้อมูลจากผลการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อนำไปประเมินผลในขั้นต่อไป

4.3 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในงานวิจัยนี้ ทำการประเมินผลโดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชัน 8.5.2 วิธี ReCiPe Midpoint (H) V1.13 (Goedkoop et al. 2016) ซึ่งทำการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชั้นกลางทั้งหมด 10 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและความหมาย

1. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change; CC) หมายถึง การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน
2. การลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion; OD) หมายถึง ผลกระทบเนื่องจากการลดลงของชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศโลก
3. การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Toxicity; HT) หมายถึง ผลกระทบเนื่องจากการเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลต่อมนุษย์
4. การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (Particulate matter formation; PMF) หมายถึง การสะสมของควันและฝุ่นละอองในอากาศ
5. การเกิดภาวะฝนกรดและความเป็นกรดในดิน (Terrestrial acidification; TA) หมายถึง การเกิดฝนที่มีสถานะเป็นกรด
6. การเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำจืดในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication; FE) หมายถึง ผลกระทบต่อระบบนิเวศน้ำจืดเนื่องจากปริมาณฟอสเฟต
7. การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity; TET) หมายถึง การปล่อยมลพิษที่ถูกสะสมอยู่ในดิน
8. การเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำ (Freshwater ecotoxicity; FET) หมายถึง การปล่อยมลพิษที่ถูกสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ
9. การลดลงของเหล็ก (Metal depletion; MD) หมายถึง ศักยภาพที่ทำให้เหล็กลดลง

10. การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil depletion; FD) หมายถึง ศักยภาพที่ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ลดลง

ในการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นเป็นการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการกำหนดบทบาทของผลกระทบนั้น ๆ (Characterization factor) ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากโปรแกรมสำเร็จรูป โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$LCIA_j = \sum(Q_i CF_j)$$

เมื่อ $LCIA_j$ คือ ค่าการเกิดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบ j (kg, กิโลกรัมเทียบเท่าของผลกระทบ j)

Q_i คือ ปริมาณวัตถุดิบ i ที่ใช้ในกระบวนการ (kg ของวัตถุดิบ i)

CF_j คือ ค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ตามการกำหนดบทบาทที่ได้จากโปรแกรม (kg, กิโลกรัมเทียบเท่าของผลกระทบ j ต่อกิโลกรัมของวัตถุดิบ i)

4.4 การแปลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

4.5 เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ มีผลการศึกษาดังแสดงต่อไปนี้

5.1 ผลการศึกษาระเบียบวิธีรายการ

ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูลของผู้วิจัยได้ทำการศึกษาของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ ขนาด 10 kW_e โดยใช้น้ำพุร้อนของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าวัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุประเภทเหล็ก พลาสติก และซีเมนต์ เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จากงานวิจัยของ Wambach (2017) และ Sedpho and

Sampattagul (2015) พบว่า ส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทกระจกที่ใช้ทำแผงเซลล์อาทิตย์ เอสทิลีน ไวนิล อะซิเตท และอะลูมิเนียม เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3 และผลการวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่ยะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ขนาด 1,150 kW_e จากงานวิจัยของ Suwanit and Gheewala (2011) พบว่า วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่ได้แก่ ทราย กรวด ซีเมนต์ และเหล็กต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพต่อ 1 kWh

Descriptions	Quantity	Descriptions	Quantity
Construction phase		Operation and maintenance	
Input		Input	
Steel (kg)	1.16E-02	Hot spring (kg)	1.22E-02
Copper (kg)	8.88E-04	Water (kg)	5.50E-05
Galvanized steel	8.19E-03	Lubricant (kg)	2.20E-05
All plastics (kg)	2.05E-03	All filter (kg)	4.79E-04
Aluminum (kg)	1.07E-04	Refrigerant (R-245fa leak 1 kg/y)	2.20E-05
Stainless steel (kg)	6.05E-04	Galvanized steel (kg)	2.20E-05
Blass (kg)	1.67E-04	Electricity (kWh)	4.64E-03
Refrigerant (kg)	1.54E-04	Output	
Lubricant (kg)	1.30E-04	Electricity (kWh)	9.09E+05
Fiber cement (kg)	4.40E-05	Recycle	
Concrete mix (m ³)	5.86E-03	Steel (kg)	1.36E-02
Oxide primer (kg)	4.18E-05	Brass (kg)	1.15E-04
All filter (kg)	1.82E-04	Aluminum (kg)	2.45E-06
Wood (kg)	1.60E-04	Refrigerant (kg)	5.29E-05
Electricity (kg)	3.85E-04	Copper (kg)	4.49E-04
Diesel (kg)	4.42E-04	Landfill	
Output		Steel	3.85E-03
Wood (kg)	3.85E-04	Concrete mix (m ³)	1.05E-01
Steel (kg)	1.32E-04	Plastics (kg)	1.29E-03
Fiber cement (kg)	1.21E-04	All filter (kg)	3.85E-04
All plastics (kg)	4.40E-05	-	-

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการของโรงไฟฟ้า
พลังงานแสงอาทิตย์ต่อ 1 kWh (Wambach 2017) และ
(Sedpho and Sampattagul 2015)

Descriptions	Quantity	Descriptions	Quantity
Construction phase		Operation and maintenance	
Solar panel		Battery (kg)	2.30E-03
Glass (kg)	5.99E+01	Tap water (kg)	2.80E+00
EVA (kg)	4.50E+00	Distilled water (kg)	1.17E-03
PET (kg)	3.00E+00	Electric wire	
Aluminum (kg)	6.10E+00	Copper (kg)	4.36E+00
Silicon (kg)	3.70E+00	Insulating (kg)	3.00E+00
Silver (kg)	3.20E-02	Holder	
Copper (kg)	5.80E-01	Aluminum (kg)	1.67E+01
Zinc (kg)	5.60E-02	Steel (kg)	3.00E+00
Lead (kg)	3.30E-02	Battery (kg)	2.30E-03
Silicone (kg)	6.70E-01	Recycle	
Inverter		Glass (kg)	4.43E+01
Aluminum (kg)	5.60E-01	Aluminum (kg)	2.34E+00
Styrene, PVC (kg)	8.00E-03	Silicon (kg)	3.33E+00
Plated circuit (kg)	9.00E-02	Steel (kg)	2.70E+00
Transverter (kg)	1.74E-01	Landfill	
Capacitor (kg)	2.48E-01	Solid waste	5.34E+01

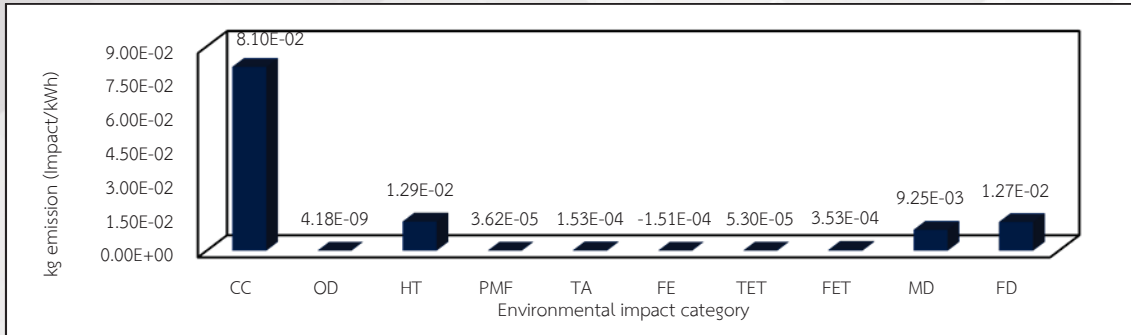
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการของโรงไฟฟ้า
พลังงานน้ำต่อ 1 kWh (Suwanit and Gheewala 2011)

Descriptions	Quantity	Descriptions	Quantity
Construction phase		Sulphuric acid (L)	1.73E+00
Cement (kg)	5.72E+03	Timber (m ³)	3.19E+01
Sand (kg)	1.28E+04	Iron (kg)	1.39E+03
Gravel (kg)	1.76E+04	Bolt (piece)	1.20E+04
Dynamite (kg)	-	Lubricant oil (L)	4.00E+01
All Filter (m ²)	1.09E+01	Welding rod (kg)	3.50E+02
Reinforcement (kg)	8.00E+02	Equipment	
Steel (kg)	4.20E+02	Steel (kg)	1.48E+02
Stainless steel (kg)	1.47E+01	Stainless (kg)	5.44E+00
Copper (kg)	0.00E+01	Copper (kg)	3.64E+01
Metal paint (m ²)	1.18E+01	Iron (kg)	1.47E+00
Metal roof (m ²)	4.60E-01	Aluminum (kg)	1.08E-01
Brick work (m ²)	5.31E-01	Energy used	
Paint (m ²)	1.71E+00	Diesel oil (kg)	5.45E+01

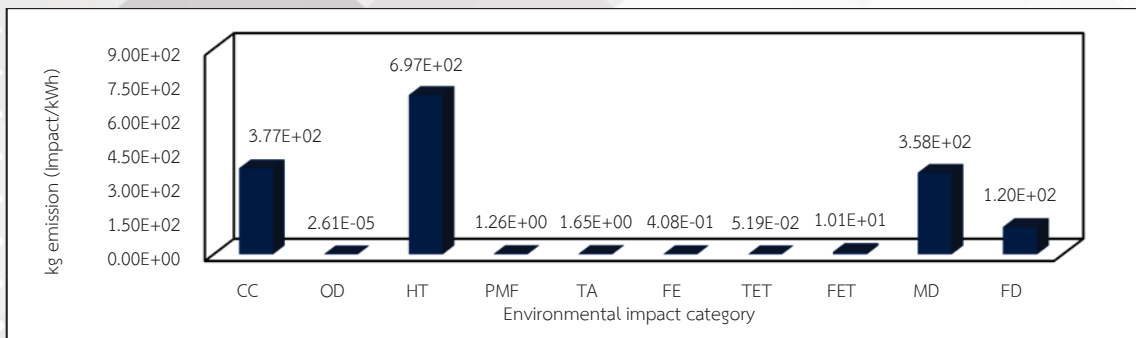
Descriptions	Quantity	Descriptions	Quantity
Battery (cell)	3.68E-01	Electricity (kWh)	1.41E+00
20-t Truck (tkm)	2.97E+03	Recycle	
30-t Truck (tkm)	1.60E+02	Steel (kg)	1.93E+03
Trailer (tkm)	1.72E+03	Stainless (kg)	1.41E+01
Operation and maintenance		Copper (kg)	2.55E+01
Electricity (kWh)	2.39E+03	Aluminum (kg)	7.56E-02
Transportation		Landfill	
Diesel car (tkm)	6.00E+01	Cement (kg)	5.50E+03
10-t Truck (tkm)	5.14E+03	Solid wastes (kg)	1.20E+04

5.2 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

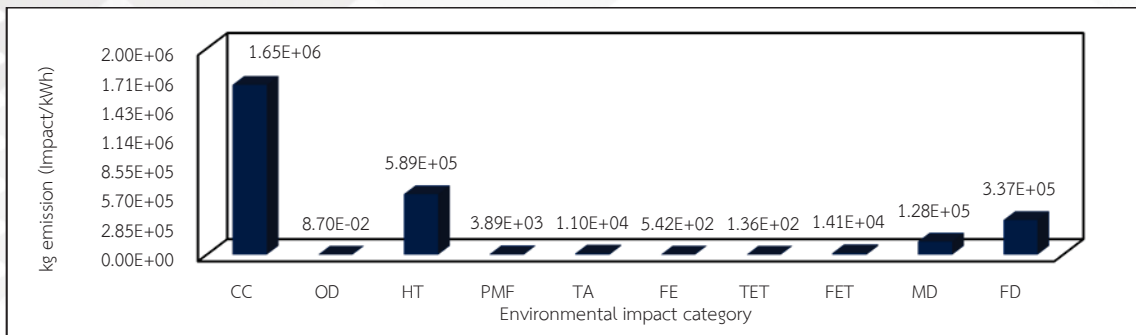
จากการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน พบว่า ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนได้พิภพ 1 kWh ส่วนใหญ่ส่งผลให้เกิดผลกระทบทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 8.10E-02 kg CO₂ eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 1.29E-02 kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก 9.25E-03 kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 1.27E-02 kg oil eq และอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ 1 kWh พบว่า ส่วนใหญ่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 3.77E+02 kg CO₂ eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 6.97E+02 kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก 3.58E+02 kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 1.20E+02 kg oil eq และอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 9 และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำที่ 1 kWh พบว่า ส่วนส่งผลให้เกิดเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 1.65E+06 kg CO₂ eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 5.89E+05 kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก 1.28E+05 kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 3.37E+05 kg oil eq ดังแสดงในรูปที่ 10 และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับค่ามาตรฐานการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยจากข้อมูลในโปรแกรม (Goedkoop et al. 2016) พบว่า โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้พิภพมีค่าน้อยกว่า และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานน้ำมีค่าสูงกว่าหลายเท่าตัว ดังแสดงในรูปที่ 11



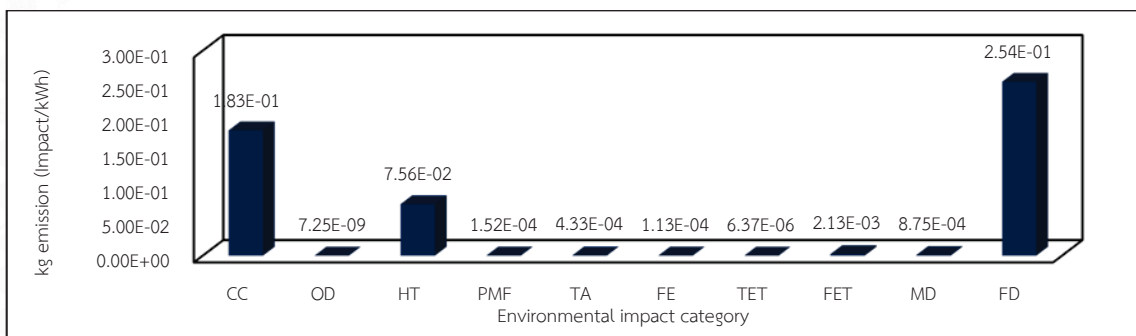
รูปที่ 8 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ



รูปที่ 9 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 10 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ



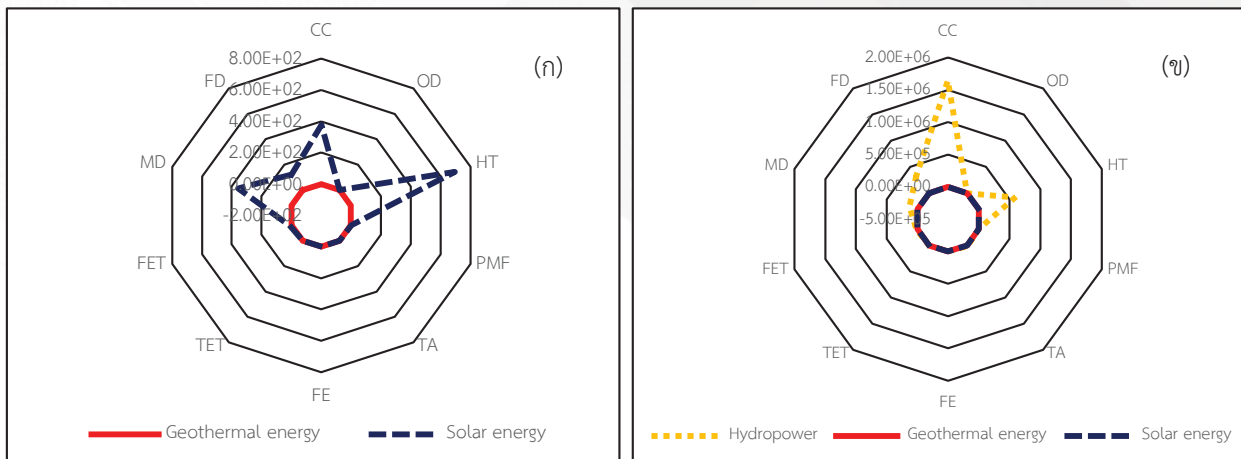
รูปที่ 11 ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย

5.3 ผลการแปลผลกระทบ

จากผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน 3 ประเภทนี้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมไปในแนวทางเดียว แต่ที่มาของผลกระทบต่างกัน คือ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ เป็นผลมาจากการใช้วัสดุประเภทเหล็ก สารทำงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนระบบ การใช้ทองแดง และการใช้คอนกรีตผสมเสร็จ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เกิดจากการใช้สารเคมีในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการใช้ซิลิคอน ทองแดง และกระจก และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำเป็นผลมาจากการใช้ซีเมนต์ คอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กเส้นกลม น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล และอื่น ๆ

5.4 ผลการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

จากผลการประเมินในหัวข้อ 5.2 นำมาแปลผลการศึกษา พบว่า ผลกระทบที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพมีค่าต่ำกว่าพลังงานแสงอาทิตย์ถึง 1.85×10^4 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 11(ก) และมีค่าต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำถึง 3.46×10^7 เท่า และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีค่าต่ำกว่าพลังงานน้ำถึง 2.69×10^3 เท่า เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นของการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ดังแสดงในรูปที่ 11(ข) พบว่า ค่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพและพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจน ถึงแม้ว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำที่เป็นพลังงานสะอาด แต่ในกระบวนการก่อสร้างมีการใช้วัสดุ พลังงาน และการทำลายทรัพยากรทางธรรมชาติ สูงกว่าพลังงานอื่น ๆ ที่เห็นได้อย่างเป็นรูปธรรม



รูปที่ 11 (ก) ผลการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานความร้อนใต้พิภพกับพลังงานแสงอาทิตย์ และ (ข) ผลการเปรียบเทียบระหว่างพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ

6. สรุป

จากผลการศึกษาการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 1 kWh สามารถสรุปได้ดังนี้

6.1 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพปล่อยผลกระทบสูงทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 8.10×10^{-2} kg CO₂ eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อ

สุขภาพมนุษย์ 1.29×10^{-2} kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก 9.25×10^{-3} kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 1.27×10^{-2} kg oil eq

6.2 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ปล่อยผลกระทบสูงทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 3.77×10^2 kg CO₂ eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ 6.97×10^2 kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก

3.58E+02 kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล
1.20E+02 kg oil eq

6.3 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ ปล่อยผลกระทบ
สูงทางด้านเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 1.65E+06
kg CO₂ eq การเกิดภาวะเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์
5.89E+05 kg 1,4 DB eq การลดลงของเหล็ก 1.28E+05
kg Fe eq และการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล 3.37E+05 kg
oil eq

6.4 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก
การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน พบว่า การผลิตไฟฟ้า
จากพลังงานน้ำเกิดผลกระทบมากที่สุด รองลงมา คือ
พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อนใต้พิภพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่
โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิต
ทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับ
นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และโครงการ การผลิตไฟฟ้า
ร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันได จาก
พลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย กองทุนเพื่อ
ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานนโยบายและพลังงาน
ปี 2560 กระทรวงพลังงาน ที่มอบทุนการสนับสนุนสำหรับ
การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวง
พลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานและพลังงานทางเลือก พ.ศ.
2558-2579. ระบบออนไลน์: [http://www.dede.go.th/
download/files/AEDP2015_Final_version.pdf](http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf),
เข้าถึงเมื่อ: 1 ธันวาคม 2560.

Kim, H., Fthenakis, V., Choi, J., and Turney, D. (2012).
Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Thin-
film Photovoltaic Electricity Generation.
Journal of Industrial Ecology 16: 110-121.

Khaenson, W., Maneewan, S., Chindaraksa, S.,
Punlek, C., Rachapradit, N. (2012). Life cycle
assessment of of power generation from solar
energy in Thailand. **Environmental science
and sustainable development** [On-line].
Available: www.worldscientific.com

Khaenson, W., Maneewan, Punlek, C. (2018).
Assessment of the environmental impact of
biomass electricity generation in Thailand.
Journal of Renewable Energy Research 8 (1):
302-312.

Suwanit, W., Gheewala, S. (2011). Life cycle
assessment of mini-hydropower plant in
Thailand. **Journal of Life Cycle Assessment**
16: 849-858.

Uddin Md. and Kumar S. (2013). Energy, emissions
and environmental impact analysis of wind
turbine using life cycle assessment technique.
Journal of Cleaner Production (69): 153-164.

Ozoemena, M., Cheung W., Hasan, R. (2017).
Comparative LCA of technology improvement
opportunities for a 1.5-MW wind turbine in the
context of an onshore wind farm. **Clean
Technologies and Environmental Policy** 20
(1): 173-190.

Glassbrook, K., Carr A., Drosnes, M., Oakley, T.,
Kamens, R., Gheewala, S. (2014). **Energy for
Sustainable Development** 22: 66-73.

เสาวภา ทินปาน และประพิฑริ์ ธารักษ์ (2556). การประเมิน
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์
ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน สำหรับการผลิตไฟฟ้า.
วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร 21 (3): 49-58

Karlsdóttir, M., Pálsson, Ó., Pálsson, H., Maya-
Drysdale L. (2015). Life cycle inventory of a

flash geothermal combined heat and power plant located in Iceland. **Journal of Life Cycle Assessment** 20: 503-519.

ปาณิศา อ่อนดอกไม้, นัฐพร ไชยญาติ, จุฑาภรณ์ ชนະถาวร, วรชมล เลิศจตุรานนท์ และสุรัตน์ เศษโพธิ์ (2561). การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน ตามพระราชดำริ. **การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3.** (หน้า 428-442). ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. (2559). การศึกษาแนวทางการดำเนินการในการบริหารจัดการและกำจัดกากขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์. [ออนไลน์] ได้จาก: <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA11285.pdf>,

เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล (2555). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment of Products). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.researchgate.net/profile/Sate_Sampattagul/publication/303793131_Life_Cycle_Assessment_of_Products_karprameinwadcakrchiwitkhngphlitphanth/links/5752ba5808ae17e65ec3924d/LifeCycleAssesmentofProductskarprameinwadcakrchiwitkhngphlitphanth.pdf

Sedpho, S. and Sampattagul S. (2015). Exergetic Evaluation of renewable electricity generation in Thailand. **Journal of Environmental and Natural Resources** 13 (1): 39-46.

Goedkoop M.J., Heijungs R, Huijbregts M., De Schryver A.;Struijs J., Van Zelm R., (2016). ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment

method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; **First edition (version 1.13)**

Report I: Characterisation, PRé Consultants, Amersfoort, CML University of Leiden, RUN Radboud University Nijmegen, RIVM Bilthoven, Netherlands.