การประเมินการคืนสภาพทางพลังงาน: กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 4.9 MW

Energy Resilience Assessment: Case Study of a 4.9-MW Biomass Power Plant

กัมปนาท ทับมณี[1] ภูมิอานันท์ นิยมนา[1] พิสิษฏ์ มณีโชติ[2] นุวงศ์ ชลคุป[1] และกัมปนาท ซิลวา[1*]

Kampanat Thapmanee[1] Phumanan Niyomna[1] Pisit Maneechot[2] Nuwong Chollacoop[1] and Kampanart Silva[1*]

[1] ทีมวิจัยพลังงานทดแทนและประสิทธิภาพพลังงาน ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี 12120

[2] วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

[1]Renewable Energy and Energy Efficiency Research Team, National Energy Technology Center (ENTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Pathumthani 12120

[2]School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University, Phitsanulok 65000

Received: 22 September 2020, Revised: 7 May 2021, Accepted: 30 May 2021, Published online: 23 August 2021

Abstract

Energy Resilience is a modern concept that can help power plants cope with various threats. The purpose of this study was to assess energy resilience capacity of biomass power plants against disasters or other incidents that could result in production interruptions or power outages, and propose resilience measures. A community power plant using 4.9 MW of biomass was selected as a case study to be in line with the BCG Model, a new concept introduced in Thailand to contribute to economic development. According to the plant survey, most natural disasters do not affect the power plant, except for the prolonged rainy season, which leads to a lack of logging and consequently insufficient fuel to generate electricity. The power plants tackle this threat by reserving fuel during the dry season. However, there was no record of fuel reserve, which made it difficult to determine the appropriate reserve volume. An energy resilience measure to record and compile fuel reserve statistics and use the information to ensure adequate fuel reserve for continuous power generation was proposed to avoid unnecessary expense on fuel reserve.

Keywords: BCG Model, energy resilience, threats, biomass power plant, community power plants

[*] Corresponding author: Tel.: 087 812 0502. E-mail address: kampanart.sil@entec.or.th

บทคัดย่อ

การคืนสภาพทางพลังงานเป็นแนวคิดใหม่ที่สามารถใช้ในการรับมือกับภัยคุกคามต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับโรงไฟฟ้า การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการประเมินการคืนสภาพทางพลังงานของโรงไฟฟ้าชีวมวลจากภัยพิบัติหรือเหตุการณ์อื่นๆ ที่ส่งผลให้เกิดการหยุดผลิตหรือหยุดจ่ายไฟฟ้า และนำเสนอมาตรการที่จะช่วยเสริมสร้างศักยภาพการคืนสภาพทางพลังงาน โดยเลือกประเมินศักยภาพของโรงไฟฟ้าชุมชนที่ใช้ชีวมวลขนาด 4.9 MW เพื่อให้สอดรับกับ BCG Model ซึ่งเป็นโมเดลการพัฒนาเศรษฐกิจใหม่ที่สำคัญของประเทศไทย จากการลงพื้นที่พบว่าภัยธรรมชาติส่วนใหญ่ไม่ส่งผลกระทบกับโรงไฟฟ้า ยกเว้นฤดูฝนที่ยาวนานขึ้นซึ่งจะทำให้ไม่สามารถเข้าไปตัดไม้ได้ และอาจทำให้มีเชื้อเพลิงไม่เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้า โรงไฟฟ้ารับมือภัยคุกคามนี้โดยสำรองเชื้อเพลิงในช่วงฤดูแล้งเพื่อไว้ใช้ในฤดูฝน อย่างไรก็ดี เนื่องจากยังไม่มีการบันทึกข้อมูลการสำรองเชื้อเพลิง จึงทำให้ไม่ทราบปริมาณเชื้อเพลิงสำรองที่เหมาะสม โดยได้เสนอมาตรการเสริมสร้างศักยภาพการคืนสภาพทางพลังงานของโรงไฟฟ้า ให้มีการจัดทำการบันทึกและรวบรวมสถิติการสำรองเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการจัดเก็บสำรองเชื้อเพลิงให้เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง โดยที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการสำรองเชื้อเพลิงเกินจำเป็น

คำสำคัญ: BCG Model การคืนสภาพทางพลังงาน ภัยคุกคาม โรงไฟฟ้าชีวมวล โรงไฟฟ้าชุมชน

บทนำ

ในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยริเริ่มปรับเปลี่ยนรูปแบบการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทยไปสู่รูปแบบใหม่ที่เรียกว่า BCG Model ซึ่งเป็นการบูรณาการการพัฒนาเศรษฐกิจ 3 มิติ คือ เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) ไปพร้อมกัน โดยนำองค์ความรู้ทุกแขนงมาต่อยอดฐานความเข้มแข็งภายในของประเทศไทย คือ ความหลากหลายทางชีวภาพและผลผลิตทางการเกษตรที่อุดมสมบูรณ์ เพื่อปรับเปลี่ยนระบบการผลิตไปสู่การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และรักษาความมั่นคงทางวัตถุดิบและสมดุลของสิ่งแวดล้อม [1]

การนำเชื้อเพลิงชีวภาพมาใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่ช่วยเสริมในการขับเคลื่อน BCG Model ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น ไม้ หรือ ของเหลือจากการเกษตรจากชุมชนโดยรอบ มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบวิสาหกิจชุมชนหรือวิสาหกิจที่ชุมชนมีส่วนร่วมโดยสมบูรณ์ ซึ่งการรับมือความเสี่ยงจากภัยคุกคามต่าง ๆ ในโรงไฟฟ้าเหล่านี้ จะตกเป็นหน้าที่ความรับผิดชอบของเจ้าของโรงไฟฟ้าและชาวบ้านในชุมชนโดยรอบที่เข้ามามีส่วนร่วม ซึ่งในการรับมือจากภัยคุกคามต่าง ๆ นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ภัยธรรมชาติ ภัยคุกคามทางเทคโนโลยี และภัยคุกคามโดยมนุษย์

การคืนสภาพทางพลังงาน (energy resilience) [2] เป็นแนวคิดหนึ่งในการรับมือกับภัยคุกคามที่อาจเกิดขึ้นกับโรงไฟฟ้า การคืนสภาพทางพลังงานยังไม่มีนิยามที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วกัน แต่มักจะหมายถึงการเตรียมตัว (prepare) ของระบบผลิตพลังงานเพื่อรับมือเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น ออกแบบระบบให้สามารถดูดกลืน (absorb) การรบกวนการพัฒนาศักยภาพในการฟื้นตัว (recover) และปรับตัว (adapt) ให้สามารถรับมือการรบกวนที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยไม่ได้หมายถึงศักยภาพของตัวระบบเองเท่านั้น แต่ยังหมายรวมถึงการตอบสนองของสิ่งแวดล้อมรอบข้างด้วย

เนื่องจากการประเมินการคืนสภาพพลังงานนสามารถช่วยเสริมศักยภาพในการรับมือภัยคุกคามให้โรงไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ได้ ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาวิจัยแนวทางการประเมินการคืนสภาพทาง

† Corresponding author: Tel.: 08-78120502. E-mail address: kampanart.sil@entec.or.th

พลังงานในโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละประเภท ทั้งนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับ BCG Model ซึ่งจะช่วยการพัฒนาโรงไฟฟ้าชุมชนในประเทศไทย การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการประเมินศักยภาพในการคืนสภาพทางพลังงานของโรงไฟฟ้าชุมชนพลังงานสะอาด จำกัด ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 4.9 MW และนำผลการประเมินที่ได้มาพิจารณามาตรการเสริมสร้างศักยภาพดังกล่าวให้โรงไฟฟ้าสามารถรับมือภัยคุกคามต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้มีขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้ได้มาซึ่งผลการประเมินการคืนสภาพทางพลังงานของโรงไฟฟ้าชุมชนพลังงานสะอาด จำกัด รวมทั้งมาตรการเสริมสร้างศักยภาพในการคืนสภาพทางพลังงานของโรงไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดแนวทางและขอบเขตการประเมิน ซึ่งในการประเมินในครั้งนี้เลือกโรงไฟฟ้าชุมชนพลังงานสะอาด จำกัด ในกลุ่ม ศแบง (Sbang Group) ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 4.9 MW ที่ใช้ไม้สับเป็นเชื้อเพลิง ตั้งอยู่ที่ 243 หมู่ที่ 5 ต.ดงประคำ อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก โดยจะหารือกับผู้มีส่วนได้เสียทั้งตัวแทนจากโรงไฟฟ้าและตัวแทนจากชุมชนโดยรอบ การประเมินนี้จะเน้นการประเมินเชิงคุณภาพเป็นหลัก เพื่อให้ผู้มีส่วนได้เสียสามารถทำความเข้าใจได้โดยง่าย

2. รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่จำเป็นต่อการประเมินการคืนสภาพทางพลังงานของโรงไฟฟ้า ดังนี้

2.1 ข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับโรงไฟฟ้า เช่น กำลังการผลิต เชื้อเพลิงหลักที่ใช้ รัศมีเส้นทางขนส่งวัตถุดิบในการผลิตกระแสไฟฟ้า

2.2 สถิติข้อมูลการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น พายุ น้ำท่วม แผ่นดินไหว ภัยแล้ง ไฟป่า ในบริเวณรอบโรงไฟฟ้า และบริเวณที่ใช้ในการรวบรวมวัตถุดิบ

2.3 สถิติข้อมูลการเกิดภัยคุกคามจากเทคโนโลยี เช่น การรั่วไหลของสารเคมี เขื่อนแตก

2.4 สถิติข้อมูลการเกิดภัยคุกคามจากมนุษย์ เช่น อุบัติเหตุ การก่อการร้าย การโจมตีทางไซเบอร์ การเปลี่ยนแปลงทางการเมือง

2.5 ข้อมูลเชื้อเพลิงที่ใช้ เช่น ระยะเวลาการเจริญเติบโตของไม้ โรคต้นไม้ที่อาจจะส่งผลทำให้ต้นไม้เจริญเติบโตช้าหรือตาย

2.6 ข้อมูลอื่น ๆ เกี่ยวกับเหตุการณ์ที่อาจส่งผลให้เกิดการหยุดผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น การต่อต้านจากชุมชนโดยรอบ

3. สรุปข้อมูล และนำข้อมูลทุติยภูมิที่ได้มาประเมินการคืนสภาพทางพลังงานเบื้องต้น ตามขั้นตอนต่อไปนี้ [3]

3.1 ระบุหรือคาดการณ์ภัยคุกคามทางธรรมชาติ ทางเทคโนโลยีและโดยมนุษย์ที่อาจเกิดขึ้น และประเมินคะแนนโอกาสในการเกิดภัยคุกคามเหล่านั้น

3.2 คาดการณ์ผลกระทบของภัยคุกคามดังกล่าวต่อการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า

3.3 ระบุความเปราะบางในโรงไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็นการขาดอุปกรณ์ในการป้องกันหรือบรรเทาผลกระทบจากภัยคุกคาม หรือเป็นการขาดมาตรการในการบริหารจัดการที่เหมาะสมก็ได้ แล้วจึงประเมินคะแนนความรุนแรงของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีความเปราะบางดังกล่าว

3.4 ประเมินคะแนนความเสี่ยงโดยการคูณคะแนนภัยคุกคามกับคะแนนความเปราะบาง และเลือกความเสี่ยงที่สำคัญจากคะแนนความเสี่ยงที่ได้

3.5 กำหนดมาตรการในการคืนสภาพทางพลังงานที่สามารถใช้ในการป้องกันและบรรเทาความเสี่ยงในข้อ 3.4

4. สัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้เสียเพื่อเก็บข้อมูลปฐมภูมิ และเพื่อพิจารณาความเหมาะสมของผลการประเมินจากข้อมูลทุติยภูมิที่ได้ในข้อ 3 โดยสัมภาษณ์ตัวแทนจากบริษัทที่รับไม้จากชุมชนมาแปรรูปเป็นไม้สับเพื่อส่งให้กับโรงไฟฟ้าเพื่อ

รับทราบถึงปัญหาและความเสี่ยงที่จะส่งผลให้ขาดวัตถุดิบหลักเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า (ภาพที่ 1) และสัมภาษณ์ตัวแทนจากโรงไฟฟ้า (ภาพที่ 2) เพื่อรับทราบถึงปัญหาและความเสี่ยงที่จะส่งผลให้มีการหยุดการผลิตไฟฟ้า แล้วทำการปรับปรุงผลการประเมินในข้อ 3 ให้สอดคล้องกับข้อมูลปฐมภูมิและความเห็นของผู้มีส่วนได้เสีย

5. เลือกมาตรการที่เหมาะสมและนำเสนอมาตรการที่เลือกให้ผู้มีส่วนได้เสียพิจารณา

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการประเมินการคืนสภาพทางพลังงานของโรงไฟฟ้าชุมชนพลังงานสะอาด จำกัด ตามหัวข้อการประเมินในข้อ 3 ของวิธีการวิจัย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ภัยธรรมชาติ เช่น พายุ ภัยแล้ง และไฟป่า มีโอกาสเกิดขึ้นบ้างแต่ไม่บ่อย ในขณะที่น้ำท่วม และแผ่นดินไหว แทบจะไม่มีโอกาสเกิดขึ้นเลย ในส่วนของการต่อต้านชุมชนโดยรอบ เนื่องจากโรงไฟฟ้าจ้างงานคนในชุมชน และมีการ

ภาพที่ 1 บรรยากาศการสัมภาษณ์ตัวแทนบริษัท บีบี กรีน เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด ซึ่งเป็นวิสาหกิจชุมชนที่แปรรูปไม้สับ

ภาพที่ 2 โรงไฟฟ้าชีวมวล บริษัท ชุมชนพลังงานสะอาด จำกัด ผู้จัดการโรงไฟฟ้า และตัวแทนคณะผู้วิจัย

แบ่งปันผลประโยชน์ให้ชุมชนในรูปของกองทุน จึงทำให้การต่อต้านเกิดขึ้นได้ยากมาก นอกจากนี้ พบว่าฤดูฝนที่ยาวนานก็เป็นภัยคุกคามที่สามารถทำให้โรงไฟฟ้าหยุดกระบวนการผลิตไฟฟ้าได้

2. พายุสามารถทำให้เชื้อเพลิงเปียกขึ้นหรือสูญหายได้ ซึ่งอาจจะลดประสิทธิภาพของการผลิต และไฟป่าสามารถทำลายเชื้อเพลิงได้ ในขณะที่ภัยแล้งจะไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อโรงไฟฟ้า ส่วนฤดูฝนที่ยาวนานจะส่งผลให้ไม่สามารถเข้าไปตัดไม้ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า และอาจทำให้เชื้อเพลิงไม่เพียงพอจนต้องลดกำลังการผลิตหรือหยุดการผลิตไฟฟ้า

3. จากข้อ 2 จะเห็นได้ว่าผลกระทบส่วนใหญ่เกิดกับเชื้อเพลิงเป็นหลัก ความเปราะบางที่คณะผู้วิจัยสนใจจึงเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิง โดยในส่วนของไฟป่า ทางโรงไฟฟ้าได้ทำแนวกันไฟไว้รอบโรงไฟฟ้าแล้ว และมี SOP (Standard Operating Procedure) สำหรับการรับมือเหตุเพลิงไหม้ จึงไม่มีความเปราะบางที่น่าเป็นห่วง ในส่วนของปัญหาเชื้อเพลิงที่เปียกชื้น หรือการไม่สามารถจัดหาเชื้อเพลิงได้ โรงไฟฟ้าได้สำรองเชื้อเพลิงในช่วงหน้าแล้งเทียบเท่ากับกำลังการผลิต 25 วัน อย่างไรก็ดี ในวันที่เข้าสัมภาษณ์ ซึ่งอยู่กลางฤดูฝน (เดือนสิงหาคม) ไม้ที่สำรองไว้เหลือเทียบเท่ากำลังการผลิตเพียง 6-7 วันเท่านั้น นอกจากนี้ โรงไฟฟ้ายังไม่มีการจัดทำข้อมูลสถิติการเก็บสำรองไม้สับและการใช้ไม้สับสำรองในอดีต จึงทำให้ไม่ทราบว่าการสำรองไม้สับปริมาณเท่าใดจึงจะเหมาะสม

4. จากภัยคุกคามรวมกับความเปราะบางข้างต้นสรุปได้ว่าความเสี่ยงที่สำคัญ คือ หากทางโรงไฟฟ้ามีการสำรองเชื้อเพลิงในปริมาณน้อยเกินไป อาจส่งผลให้เชื้อเพลิงที่ทำการสำรองไว้หมดลงก่อนที่จะผ่านช่วงฤดูฝน ซึ่งในกรณีนี้ ทางโรงไฟฟ้าอาจต้องชะลอการผลิต หรือในกรณีร้ายแรง อาจทำให้โรงไฟฟ้าต้องถึงขั้นหยุดการผลิตไฟฟ้า ในทางกลับกันหากโรงไฟฟ้ามีการสำรองเชื้อเพลิงในปริมาณมากเกินความจำเป็น ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าอาจสูญเสียไปกับการสำรองเชื้อเพลิง

5. มาตรการในการคืนสภาพทางพลังงานที่คณะผู้วิจัยจะนำเสนอต่อโรงไฟฟ้าคือการจัดทำข้อมูลสถิติการสำรองเชื้อเพลิง ข้อมูลดังกล่าวนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการอ้างอิงปริมาณการเก็บสำรองเชื้อเพลิงให้เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง โดยที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการสำรองเชื้อเพลิงเกินจำเป็น

จากการประเมินด้วยข้อมูลทุติยภูมิ สรุปว่าปัญหาการต่อต้านจากชุมชน และปัญหาการไม่สามารถจัดหาเชื้อเพลิงจากภัยแล้งหรือไฟป่าน่าจะเป็นความเสี่ยงที่สำคัญที่สุด อย่างไรก็ดี การสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้เสียทำให้ทราบว่า โรงไฟฟ้าได้ทำแนวกันไฟไว้เรียบร้อยแล้ว จึงไม่ต้องกังวลเรื่องไฟป่า และภัยแล้งไม่เป็นปัญหาต่อการจัดหาเชื้อเพลิง ในทางกลับกัน ช่วงหน้าแล้งจะจัดหาเชื้อเพลิงได้ง่ายกว่า เนื่องจากสามารถเข้าไปตัดไม้ได้ง่าย ในส่วนการสร้างความสัมพันธ์กับชุมชน โรงไฟฟ้าให้ความสำคัญอย่างมากในการสร้างความเข้าใจรวมถึงสร้างรายได้ให้กับชุมชน ทำให้การต่อต้านจากชุมชนไม่เป็นปัญหาใด ๆ สำหรับโรงไฟฟ้าแห่งนี้ โรงไฟฟ้าชุมชนพลังงานสะอาด จำกัด สามารถเป็นต้นแบบที่ดีในการทำให้โรงไฟฟ้าชุมชนสามารถอยู่ร่วมกับชุมชนได้อย่างยั่งยืน

สรุปผลการวิจัย

จากการประเมินศักยภาพการคืนสภาพทางพลังงานของโรงไฟฟ้าชุมชนพลังงานสะอาด จำกัด โดยประเมินภัยคุกคาม ผลกระทบ ความเปราะบาง ความเสี่ยง และมาตรการคืนสภาพทางพลังงานโดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิก่อนก่อน แล้วจึงเข้าไปเก็บข้อมูลปฐมภูมิและสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้เสียเพื่อนำผลที่ได้มาปรับปรุงผลการประเมิน ภัยคุกคามที่มีความสำคัญคือ ฤดูฝนที่ยาวนาน ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถจัดหาเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอ โรงไฟฟ้าได้สำรองไม้สับไว้จำนวนหนึ่งแล้ว แต่ยังมีความเปราะบางในส่วนของการจัดการการสำรองไม้สับ กล่าวคือ ไม่มีการเก็บข้อมูลสถิติการสำรองไม้สับและสถิติการนำไม้สับมาใช้ในช่วงฤดูฝน คณะผู้วิจัยจึงเสนอมาตรการคืนสภาพทางพลังงาน โดยให้มีการจัดทำข้อมูลสถิติการสำรองเชื้อเพลิง ข้อมูลดังกล่าวนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการอ้างอิงปริมาณการเก็บสำรองเชื้อเพลิงให้เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง โดยที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการสำรองเชื้อเพลิงเกินจำเป็น

ผลการประเมินโดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิกับผลประเมินหลังจากการลงพื้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญในการเข้าไปประเมินในพื้นที่จริง และการเข้าหารือกับผู้มีส่วนได้เสีย

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำการประเมินสำรวจการคืนสภาพทางพลังงานในครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก โรงไฟฟ้าชุมชนพลังงานสะอาด จำกัด และบริษัท บีบี กรีน เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการประเมินการคืนสภาพทางพลังงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] ประชาคมวิจัยด้านเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียนและเศรษฐกิจสีเขียว. (2561). **สมุดปกขาว BCG in Action**. การพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมของประเทศไทยเพื่อเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียนและเศรษฐกิจสีเขียว Bio – Circular – Green Economy

[2] Roege, P. E., et al. (2014). Metrics for energy resilience. **Energy Policy**. 72:249–56.

[3] Resilient Energy Platform. (2019). **Power Sector Resilience Planning Guidebook: A Self-Guided Reference for Practitioners**. National Renewable Energy Laboratory : Colorado.