

การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อประเมินผลการดำเนินงานจริงในการก่อสร้างถนน

Evaluation of Greenhouse Gas Emissions for Evaluating Actual Road Construction Operations

เมธากุล มีธรรม*¹⁾ และวชรภูมิ เบลจอราน¹⁾

Mathagul Metham*¹⁾ and Vacharapoom Benjaoran¹⁾

¹⁾สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹⁾School of Civil Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000

*Corresponding author. Tel.: +66 (0) 4422 4712, E-mail address: D5740178@g.sut.ac.th

บทคัดย่อ

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์จากบัญชีรายการสารขาเข้า-สารขาออกด้วยวิธีการ Economic Input Output Based (EIO-based) สามารถกระทำได้ทั้งช่วงก่อนหรือหลังการก่อสร้าง ช่วงก่อนก่อสร้างใช้ข้อมูลในบัญชีปริมาณงาน (Bill of Quantity: BOQ) จากการออกแบบเพื่อคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซส่วนช่วงหลังก่อสร้างคำนวณปริมาณก๊าซจากข้อมูลการทำงานจริง การก่อสร้างถนนมีระยะเวลาก่อสร้างยาวนานและใช้เครื่องจักรกลในแต่ละโครงการจำนวนมาก ทำให้ปริมาณทรัพยากรที่ใช้จริงอาจมีความแตกต่างจากปริมาณใน BOQ อีกทั้งการประเมินการปล่อยก๊าซมักจะพิจารณาข้อมูลจากช่วงก่อนหรือหลังการก่อสร้างเพียงช่วงเดียวเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามหากสามารถติดตามตรวจสอบปริมาณการปล่อยก๊าซช่วงหลังการก่อสร้างที่อาจเปลี่ยนไปจากช่วงก่อนการก่อสร้าง จะทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการดำเนินงานก่อสร้างได้ และนำไปสู่การพัฒนาวิธีการหรือการดำเนินงานก่อสร้างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น กรณีศึกษาที่ใช้ในงานวิจัยนี้เลือกโครงการก่อสร้างถนน 3 โครงการเพื่อเสนอแนวทางที่ช่วยปรับปรุงการรวบรวมข้อมูลในบัญชีรายการสารขาเข้า-สารขาออกด้วยวิธีการ EIO-based ของเครื่องจักรจากการผลิตแล้วปรับสัดส่วนตามชั่วโมงการใช้งานจริง การประเมินจะเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลการบริโภคพลังงาน วัสดุ และเครื่องจักรจากการใช้งานจริงภาคสนามกับข้อมูลที่ได้จาก BOQ เพื่อหาปัจจัยและสาเหตุของประสิทธิภาพการดำเนินงานก่อสร้างที่แสดงในรูปแบบของปริมาณก๊าซจากการก่อสร้าง นำไปสู่การปรับปรุงการดำเนินงานก่อสร้างที่ดีขึ้นได้ต่อไป ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซช่วงหลังก่อสร้าง Project A มีปริมาณน้อยกว่าช่วงก่อนก่อสร้าง ในขณะที่ Project C และ Project B มีการปล่อยก๊าซช่วงหลังก่อสร้างมากกว่าช่วงก่อนก่อสร้าง แสดงให้เห็นว่า Project A Project C และ Project B มีประสิทธิภาพการบริหารทรัพยากรโครงการจากคืบหน้าไปหาน้อยตามลำดับ เหตุผลสำคัญที่ทำให้ปริมาณก๊าซจากการก่อสร้างแต่ละโครงการมีค่าที่แตกต่างกันเกิดจากระยะเวลาการใช้งานเครื่องจักร

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก การติดตามตรวจสอบ การบริโภคทรัพยากร งานก่อสร้างถนน

Abstract

Assessment of greenhouse gas emissions of products using an economic input-output-based (EIO-based) inventory approach, can be performed in both the pre- and/or post-construction phases of road construction. For the pre-construction phase, a bill of quantity (BOQ) is used to calculate emissions, whereas, in the post-construction phase, emission calculations are based on the actual work done. Road construction is one of the construction sectors which requires long project time and a great deal of machinery. The actual amount of total resources used is probably different from that which is stated in the BOQ. In general, greenhouse gas assessments consider only data from either the pre-construction phase or the post-construction phase. However, it is possible to control and monitor actual resource-utilization by comparing change at the post-construction phase in relation to the pre-construction phase. This can reveal construction operation performance and lead to the development of methods or construction operations resulting in a reduction of greenhouse gas emissions. The current research

uses three road construction projects as case studies. It aims to improve the EIO-based inventory calculations of machinery used in road construction by adjusting the proportion of usage hours for that machinery. It achieves this by comparing actual data relating to energy, materials and machinery consumption with BOQ data. The results of this comparison help to identify the factors and causes that influence operational performance (in terms of greenhouse gas emissions) and lead to improvements in road construction operations. The key findings from emission calculation between pre and post-construction phases were that the project A had decreased the greenhouse gas emissions while projects B and C had increased more gas emissions. Considering with these figures it's reflected the resource management efficiency of each project. The main cause of greenhouse gas emissions on each project was the machinery usages, depending up on the project period.

Keywords: greenhouse gas, monitoring, resource-utilization, road construction

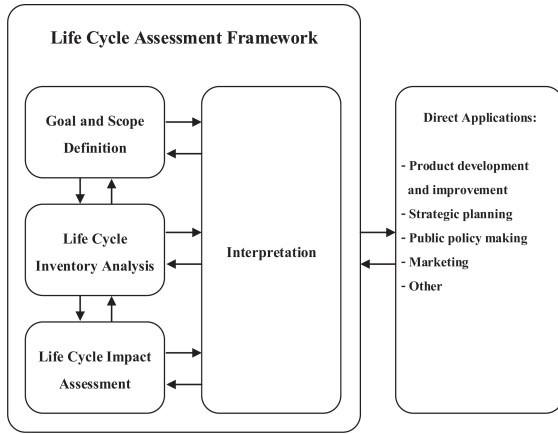
1. บทนำ

การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต (life cycle assessment: LCA) ตามกรอบการดำเนินงานขององค์การมาตรฐานอุตสาหกรรม (international organization for standardization: ISO) อนุกรมมาตรฐาน ISO 14040: 2006 ดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ 1. การกำหนดขอบเขตและเป้าหมาย (goal and scope definition) 2. การวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิต (life cycle inventory analysis: LCI) 3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (life cycle impact assessment: LCIA) 4. การแปลผลลัพธ์ (interpretation) (1) ในขั้นตอน LCI เป็นขั้นตอนสำคัญของการรวบรวมปริมาณสิ่งนำเข้า-สิ่งส่งออกของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องตลอดวัฏจักรชีวิต การประเมิน LCA สามารถดำเนินการได้ทั้งช่วงก่อนก่อสร้างโดยผู้ออกแบบ ผู้กำหนดนโยบายและแผน เพื่อประกอบการพิจารณาตัดสินใจเลือกแบบก่อสร้างที่เหมาะสม และช่วงหลังก่อสร้างโดยผู้ปฏิบัติงานภาคสนามและผู้ประเมินโครงการ เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจริง แหล่งข้อมูลที่จะนำเข้าสู่บัญชีรายการก็จะแตกต่างกันตามช่วงที่จะประเมินด้วย กล่าวคือหากทำการประเมินช่วงก่อนก่อสร้างข้อมูลปริมาณทรัพยากรในบัญชีรายการจะได้มาจากการออกแบบ (ข้อมูลจาก BOQ) ส่วนการประเมินช่วงหลังก่อสร้างข้อมูลในบัญชีรายการก็จะเป็นปริมาณทรัพยากรจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานจริง (ข้อมูลจากรายงานภาคสนาม) ระหว่างการดำเนินการก่อสร้าง

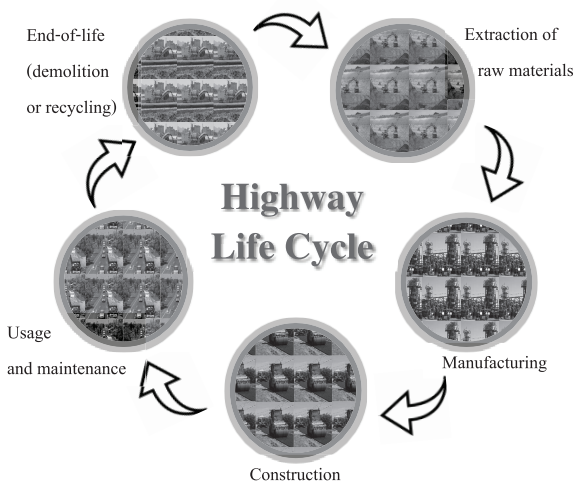
การก่อสร้างถนนเป็นกิจกรรมงานก่อสร้างประเภทหนึ่งที่มีการใช้งานอุปกรณ์หรือเครื่องจักรในแต่ละโครงการ

จำนวนมากและหลากหลาย (2),(3) หรือมากกว่างานก่อสร้างประเภทอื่น เครื่องจักรถูกกล่าวถึงว่าเป็นสินทรัพย์ (capital goods) กล่าวคือ เป็นสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการผลิตมาแล้วถูกนำมาเป็นเครื่องมือในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ (4) เครื่องจักรกลที่ใช้ในงานก่อสร้างถนนส่วนใหญ่เป็นเครื่องจักรกลหนัก ตัวอย่างเช่น รถขุดดิน รถตักดิน รถบรรทุกเทท้าย รถเกลี่ยดิน รถปูยาง เป็นต้น ซึ่งถูกนำมาใช้งานระหว่างการก่อสร้างที่เป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรชีวิตในอุตสาหกรรมก่อสร้างถนน ดังแสดงในรูปที่ 2 อีกทั้งเมื่อพิจารณาในกระบวนการก่อสร้างจะมีกิจกรรมที่หลากหลายและใช้เวลายาวนานตลอดวัฏจักรชีวิตของแต่ละโครงการด้วย อย่างไรก็ตามในการจัดทำ LCI ณ ช่วงเวลาที่ต่างกันอาจทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลบัญชีรายการที่ต่างกันซึ่งจะนำไปสู่ผลลัพธ์การประเมินก๊าซเรือนกระจกที่ต่างกันด้วย ดังนั้นการประเมินเปรียบเทียบดังกล่าวเพื่อต้องการที่จะตอบคำถามเหล่านี้:

- ผลลัพธ์การประเมินจาก BOQ และจากรายงานภาคสนามมีความต่างกันหรือไม่? จะเกิดจากสาเหตุใด? และข้อมูลจากแหล่งใดจะเหมาะสมต่อการนำไปประเมินการปล่อยก๊าซมากกว่ากัน?
- หากผลลัพธ์การประเมินจาก BOQ และจากรายงานภาคสนามมีความต่างกันจะสามารถนำไปเปรียบเทียบเพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพการดำเนินงานก่อสร้างภาคสนามได้หรือไม่?
- ผลลัพธ์การประเมินจากทั้ง 2 แหล่งข้อมูลนี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนางานก่อสร้างด้านใดได้อีกบ้างหรือไม่?



รูปที่ 1 กรอบการดำเนินงาน LCA ตามมาตรฐาน ISO 14040: 2006



รูปที่ 2 วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม การก่อสร้างถนน (ปรับปรุงจาก Crawford, 2011)

กรณีศึกษาที่ใช้ในงานวิจัยนี้เลือกโครงการก่อสร้างถนนทางหลวงจำนวน 3 โครงการเพื่อเสนอแนวทางที่ช่วยปรับปรุงการรวบรวมข้อมูลในบัญชีรายการสารขาเข้า-สารขาออกด้วยวิธีการอินพุต-เอาต์พุตเบส (Economic Input Output Based: EIO-based) ของเครื่องจักรจากการผลิต แล้วปรับสัดส่วนตามชั่วโมงการใช้งานจริง ผลลัพธ์การประเมินที่แสดงในรูปของปริมาณก๊าซที่ปล่อยออกจากการก่อสร้างนี้ยังถูกนำมาใช้เพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพของการดำเนินงานในสนามด้วย เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงสมมุติฐานหรือข้อมูลช่วงก่อนก่อสร้างและ/หรือนำไปสู่การปรับปรุงการดำเนินงานก่อสร้างในสนามให้ดีขึ้นได้ต่อไป

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการในงานก่อสร้าง

การวิเคราะห์บัญชีรายการ หรือ LCI เป็นขั้นตอนของการรวบรวมข้อมูลของสิ่งนำเข้าและสิ่งนำออกจากระบบของกระบวนการผลิต ในปัจจุบันจะดำเนินการด้วย 2 วิธีหลักคือ วิธีการอินพุต-เอาต์พุตเบส (input-output-based LCA) และวิธีการโพรเซสเบส (process-based LCA) (5) สำหรับข้อมูลบัญชีรายการโดยทั่วไปก็จะอยู่บนพื้นฐานวิธีการโพรเซสเบสเป็นวิธีการสามัญที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการจัดทำบัญชีรายการที่วิเคราะห์ระดับกระบวนการหรือขั้นตอนของกิจกรรมในระบบผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถระบุหรือแสดงสารขาเข้า-สารขาออกจากระบบการผลิตได้ การจะได้มาซึ่งข้อมูลที่ถูกต้องและครบถ้วนทุกกระบวนการจึงเป็นสิ่งที่ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายที่มาก แต่หากไม่สามารถเข้าถึงกระบวนการย่อยก็จะไม่สามารถระบุถึงสารขาเข้า-สารขาออกได้อย่างครบถ้วนหรือกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์บางชนิดที่มีความซับซ้อนการจะวิเคราะห์ในรายละเอียดของกระบวนการก็จะทำได้ยากด้วยเช่นกัน ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นข้อจำกัดของวิธีการโพรเซสเบส ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสินค้าทุนในงานก่อสร้างอย่างเครื่องจักรกลในงานก่อสร้างที่มีการผลิตจากสายพานการผลิตที่ซับซ้อน การเข้าถึงข้อมูลในกระบวนการผลิตทั้งหมดนั้นเป็นไปได้ยาก จึงได้มีการพัฒนาวิธีการที่ลดปัญหาดังกล่าวขึ้น

วิธีการอินพุต-เอาต์พุตเบส ยังมีการใช้งานที่ต่างกันตามวัตถุประสงค์ของผู้ประเมินด้วย เช่น แบบการวิเคราะห์สารขาเข้า-สารขาออกจากพลังงานที่เรียกว่าเอ็นเนอร์ยีอินพุต-เอาต์พุต (energy input-output) หรือการวิเคราะห์สารขาเข้า-สารขาออกทางเศรษฐศาสตร์ที่เรียกว่าอีโคโนมิกอินพุต-เอาต์พุตเบส เป็นต้น รูปแบบวิธีการที่พบการใช้งานบ่อย ๆ คืออีโคโนมิกอินพุต-เอาต์พุตเบสซึ่งเป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นในทศวรรษที่ 1970s มีหลักการหรืออาศัยพื้นฐานทางธุรกรรมทางเศรษฐศาสตร์ที่เป็นมูลค่าในรูปของเงินจากผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยสิ่งนำเข้าไม่ว่าจะเป็นวัสดุหรือพลังงานก็ตาม (6) แล้วเปลี่ยนเป็นสิ่งนำออกที่เป็นตัวแทนแสดงถึงภาระต่อสิ่งแวดล้อมจากค่าเฉลี่ยในแต่ละอุตสาหกรรม วิธีการนี้สามารถลดข้อด้อยในส่วน of กระบวนการย่อยที่ไม่สามารถเข้าถึงได้อย่างครบถ้วน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทที่เป็นสินค้าทุน แต่วิธีการนี้ก็มีข้อด้อยจากการใช้ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวแทนภาค

อุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งนั่นอาจทำให้ไม่สอดคล้องกับการดำเนินงานจริงในแต่ละกิจกรรม หรือโครงการของแต่ละภาคอุตสาหกรรมก็ได้ ตัวอย่างเช่น กรณีของเครื่องจักรกลในงานก่อสร้างเมื่อค่าที่ประเมินได้เป็นค่าของตัวแทนของเครื่องจักร (2),(4) แต่ในการปฏิบัติงานจริงในแต่ละโครงการมีการใช้รุ่นที่ผลิต หรือบริษัทที่ผลิต หรือแม้แต่เทคโนโลยีการผลิตที่ต่างกันได้นั้น อาจทำให้ค่าตัวแทนดังกล่าวไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงเมื่อนำไปประเมินก็ไม่ได้ อีกทั้งเมื่อพิจารณาในภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่ต้องมีความเกี่ยวข้องและใช้งานเครื่องมือและเครื่องจักรกลยังพบว่าไม่ได้มีการพิจารณาถึงผลการใช้ซ้ำของเครื่องจักรดังกล่าว ซึ่งในความเป็นจริงหากพิจารณาต้นทุนจากการดำเนินงานในโครงการใด ๆ แล้วเครื่องจักรดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้งานในโครงการต่อ ๆ ไปได้ หากนำไปเป็นต้นทุนของโครงการต่อไปอีกก็จะซ้ำซ้อนและไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงเท่าใดนัก

วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid LCA) เป็นการลดข้อด้อยและรวมเอาข้อดีของวิธีการทั้ง 2 ดังกล่าวข้างต้นเพื่อให้ได้ข้อมูลบัญชีรายการที่ครบถ้วนสมบูรณ์มากขึ้น (1) วิธีการนี้มีหลักการเพื่อลดข้อด้อยของโปรเซสเบสที่เกิดช่วงต้นน้ำของสายพานการผลิตในขั้นตอนการสกัดวัตถุดิบ กระบวนการผลิตที่ขั้นตอนเหล่านี้จะทำการวิเคราะห์กระบวนการด้วยโปรเซสเบสให้ครบถ้วนนั้นทำได้ยาก และลดข้อด้อยของอีโคโนมิกอินพุต-เอาต์พุตเบสที่เกิดช่วงท้ายน้ำของสายพานการผลิตในขั้นตอนการก่อสร้าง การใช้งานและบำรุงรักษา กำจัดซากหรือนำกลับมาใช้ซ้ำ เมื่อสิ้นอายุการใช้งานที่หากทำการวิเคราะห์ขั้นตอนเหล่านี้ด้วยอีโคโนมิกอินพุต-เอาต์พุตเบสก็จะไม่สามารถระบุถึงกระบวนการหรือวัสดุที่มีอิทธิพลต่อปริมาณผลกระทบรวมได้ ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมาส่งผลให้ผลลัพธ์การประเมินผลกระทบจากวิธีการแบบไฮบริดนี้จะมีครบถ้วนสมบูรณ์มากขึ้น

การรวบรวมปริมาณงานและเครื่องจักรจาก BOQ ส่วนใหญ่เป็นการประเมินช่วงก่อนการก่อสร้าง ตัวอย่างเช่น Park et al. (2) ได้ทำการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตของโครงการก่อสร้างทางหลวงเพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยภาระต่อสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตายแบบแครadle-to-grave (cradle-to-grave) ทำการพิจารณาตั้งแต่ช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้าง การก่อสร้าง

การซ่อมบำรุงและการซ่อมแซม จนถึงการรื้อออกและนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยประกอบการตัดสินใจในการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น มุ่งให้ความสนใจต่อการใช้พลังงานในกิจกรรมของโครงการก่อสร้างที่วิเคราะห์บัญชีรายการแบบไฮบริดทำการประเมินจากหน้าตัดทั่วไปของทางหลวง เพื่อรวบรวมข้อมูลปริมาณงานต่อหน่วยจาก BOQ ที่จะสะท้อนถึงพลังงานที่เป็นสิ่งนำเข้าและปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสิ่งนำออก นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Kofoworola และ Gheewala (7) ได้ทำการประเมินปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตจากตัวแทนการศึกษาซึ่งเป็นอาคารพาณิชย์ในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลปริมาณงานจาก BOQ เพื่อระบุถึงแหล่งที่มีอิทธิพลต่อการปล่อยมลพิษจากงานก่อสร้างอาคาร และหาแนวทางในการลดผลกระทบเพื่อนำไปสู่ความยั่งยืนได้

อย่างไรก็ตามการรวบรวมปริมาณงานเพื่อจัดทำบัญชีรายการก็มีที่มาจากการใช้งานจริงภาคสนามช่วงหลังก่อสร้างด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น Cass and Mukherjee (5) ทำบัญชีรายการเพื่อประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตด้วยวิธีการแบบไฮบริด โดยใช้ข้อมูลที่เก็บจากภาคสนามในการก่อสร้างจริงระหว่างการทำงานก่อสร้างเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากงานผิวทางถนน วัตถุประสงค์เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้วางแผนนโยบายภาครัฐในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระยะยาว นอกจากนี้งานวิจัยของนิกร เทียมวรพงศ์ และชนิด ธงทอง (8) ก็ทำการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุ จนถึงช่วงก่อสร้างของกระบวนการติดตั้งผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่รวมเอาข้อมูลจากการขนส่งแรงงานและวัสดุเข้าไว้ด้วย

3. วิธีการวิจัย

การประเมินผลกระทบจากการก่อสร้างถนนนี้ ทำการวิเคราะห์จาก 2 แหล่งข้อมูลที่มีที่มาจากต่างกันของบัญชีรายการ จาก BOQ และจากรายงานภาคสนามเพื่อหาผลลัพธ์การปล่อยก๊าซของโครงการกรณีศึกษา โดยในการศึกษานี้กำหนดให้มีหน่วยการทำงาน (functional unit) เป็นช่องจราจร-กิโลเมตร และมีขอบเขตของระบบ (boundary system) แบบแครadle-to-gate (cradle-to-gate) ที่พิจารณา

ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต จนถึงได้ผลิตภัณฑ์ขั้นต้นโดยไม่รวมช่วงการใช้งานและช่วงกำจัดซาก ดังแสดงอยู่ภายในกรอบเส้นประคู่ที่แรเงาในรูปที่ 3 ประกอบด้วยกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างหลัก ได้แก่ งานดิน (earth work: soil excavation, embankment production, embankment construction) งานผิวทาง (surface work: aggregate extraction, aggregate production, petroleum refinery, bitumen production, pavement construction) และงานสะพาน-ระบบระบายน้ำ (bridge and drainage work: lime stone extraction, iron ore extraction, equipment production, cement production, steel production, bridge and culvert construction) รวมถึงการใช้งานเครื่องจักรในการก่อสร้างที่แสดงด้วยตัวอักษร “M” ภายในกรอบเส้นประด้วย ยกเว้นปริมาณงานจากการขนส่งที่แสดงด้วยตัวอักษร “T” และงานติดตั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวก (road safety and road sign) เช่น สีตีเส้นจราจร เป้าสะท้อนแสง รวกันอันตราย และไฟฟ้าแสงสว่างที่ไม่ได้นำมาประเมินด้วย การศึกษาพิจารณาตั้งแต่ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ (extraction of raw materials) ช่วงการผลิตเครื่องมือเครื่องจักรและวัสดุก่อสร้าง (manufacturing) จนถึงช่วงก่อสร้าง (construction) โดยไม่คิดรวมช่วงการใช้งานและบำรุงรักษา (usage and maintenance) และช่วงการกำจัดซากเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน (end-of-life) จากกิจกรรมดังกล่าวจะได้สารขาเข้าของกรณีศึกษาทั้งหมดเพื่อให้ได้บัญชีรายการของสารขาออกผู้วิจัยเลือกใช้การทำบัญชีรายการแบบไฮบริด การวิเคราะห์แบบโปรเซสเบสใช้บัญชีรายการสารขาเข้าคู่กับข้อมูลในบัญชีการปล่อยก๊าซ (emission factor: EF) ของ IPCC2007 (9) เพื่อคำนวณการปล่อยก๊าซในระดับกระบวนการ ส่วนการวิเคราะห์แบบอีโคโนมิกอินพุต-เอาต์พุตเบสใช้โปรแกรม EIO-LCA on-line tool เพื่อวิเคราะห์สารขาเข้า-สารขาออกทางเศรษฐศาสตร์ที่สามารถใช้งานได้ที่เว็บไซต์ของ Carnegie Mellon University (10) การศึกษานี้พิจารณาเฉพาะกลุ่มผลกระทบที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (global warming impact) ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าหน่วยเป็นตัน (carbon dioxide equivalent: t CO₂-e) จากค่าศักยภาพการทำให้เกิดโลกร้อนรอบ 100 ปี (global warming potential: GWP100) ของ IPCC จากการประชุมว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศครั้งที่ 4 (9) อย่างไร

ก็ตามเครื่องจักรที่ใช้งานมิได้เป็นรุ่นหรือปีผลิตเดียวกันทั้งหมดต้องทำการปรับเป็นมูลค่าปัจจุบัน (present value: PV) ในปี ค.ศ. 2002 ดังแสดงในสมการที่ 1 แล้วแปลงเป็นค่าเงินดอลลาร์สหรัฐ (ณ ปี ค.ศ. 2002 คิดค่าประมาณ 43 บาทต่อ 1 ดอลลาร์สหรัฐ) (11) มูลค่าต้นทุนดังกล่าวก็จะสอดคล้องกับบัญชีรายการที่เลือกใช้รูปแบบ EIO-US 2002 Benchmark Model - purchaser price (6)

$$COST_{2002} = COST_X (1 \pm i)^n \quad (1)$$

เมื่อ $COST_{2002}$ คือมูลค่าของต้นทุนปีฐาน ค.ศ. 2002, $COST_X$ คือมูลค่าของต้นทุนปีฐานใด ๆ ที่ต้องการแปลง (บวกเมื่อแปลงจากหลังปี ค.ศ. 2002 ลบเมื่อแปลงจากก่อนปี ค.ศ. 2002), i คืออัตราเงินเฟ้อ (คิดที่ร้อยละ 3) และ n คือจำนวนปีที่แปลงถึงปีฐาน ค.ศ. 2002

3.1 การบริโภคทรัพยากรช่วงก่อนก่อสร้าง

บัญชีรายการที่เป็นการแสดงถึงปริมาณการใช้วัสดุในโครงการในช่วงก่อนก่อสร้างนี้จะใช้ข้อมูลจากบัญชีปริมาณงานในสัญญา ประกอบกับข้อมูลรายละเอียดการคิดปริมาณงานจากราคากลางของผู้ออกแบบด้วย การวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิต หรือ LCI จากผังการไหลของกิจกรรมการก่อสร้างในรูปที่ 3 พบว่าการทำงานส่วนใหญ่ต้องใช้ใช้งานเครื่องจักรกลหนัก การจัดทำบัญชี LCI ของเครื่องจักรเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนโดยทั่วไปจึงดำเนินการด้วยอีโคโนมิกอินพุต-เอาต์พุตเบสที่ประเมินจากมูลค่าของเครื่องจักรแล้วเปลี่ยนเป็นภาระต่อสิ่งแวดล้อม (ตามกลุ่มผลกระทบที่พิจารณา) จากช่วงการผลิตเครื่องจักรนั้น ๆ แต่ทว่าผลกระทบของเครื่องจักรที่คิดมูลค่าจากการผลิตนั้นไม่ได้สิ้นอายุการใช้งานในการก่อสร้างคราวเดียวแต่ต้องพิจารณาถึงการใช้ซ้ำของเครื่องจักรด้วย ตัวอย่างในงานวิจัยของ Park et al. (2) ทำการประเมินในช่วงก่อนก่อสร้างโดยพิจารณาภาระต่อสิ่งแวดล้อมจาก BOQ โดยไม่ได้พิจารณาการใช้ซ้ำของเครื่องจักร งานวิจัยนี้ได้เสนอการประเมินช่วงก่อนการก่อสร้างจากบัญชีปริมาณการจ่ายค่างานหรือ BOQ ที่พิจารณาถึงการใช้ซ้ำโดยประยุกต์จากการคิดสัดส่วนการใช้งานเครื่องจักรในช่วงหลังก่อสร้างของ Cass และ Mukherjee (5) สามารถดำเนินการตามสัดส่วน ดังแสดงในสมการที่ 2

$$M_{BOQ} = \frac{Q}{P \times N} \quad (2)$$

เมื่อ M_{BOQ} คือสัดส่วนการคิดเครื่องจักรจาก BOQ, Q คือจำนวนผลผลิตที่ต้องการ (require products), P คืออัตราการทำงาน (production rate) และ N คืออายุการใช้งานของเครื่องจักรกล (useful life) การศึกษานี้คิดที่ 10,000 ชั่วโมง

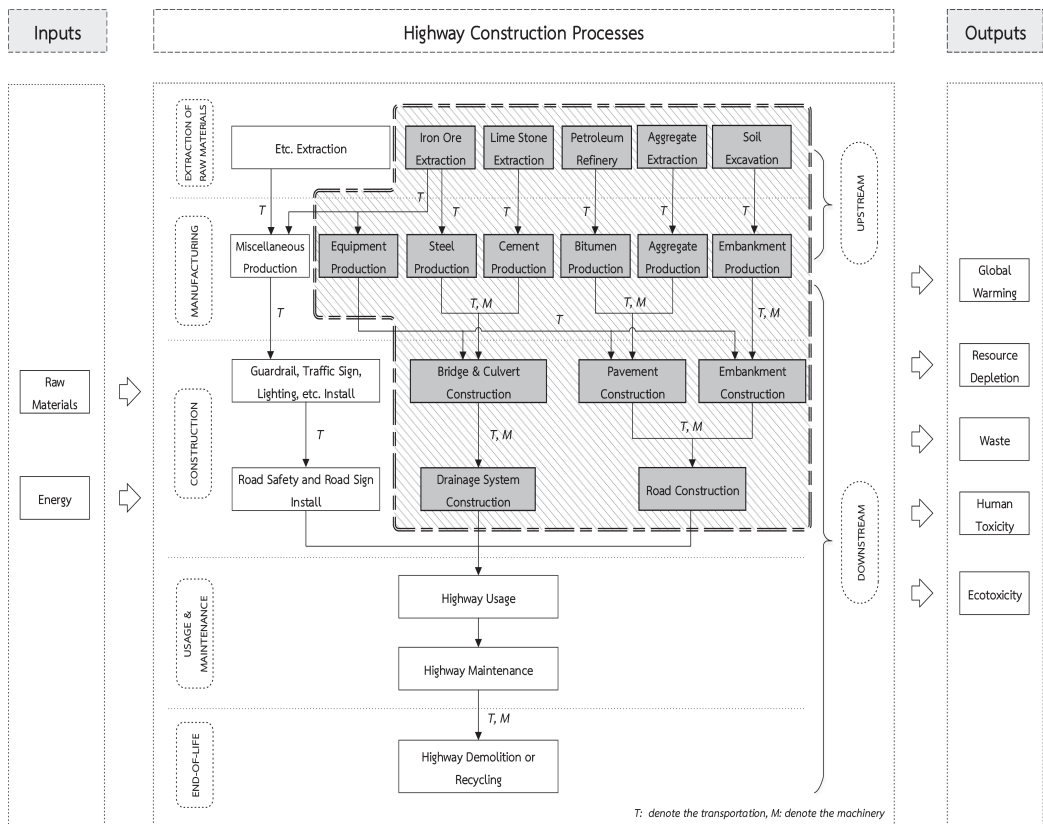
3.2 การบริโภคทรัพยากรช่วงหลังก่อสร้าง

บัญชีรายการที่แสดงถึงการบริโภคทรัพยากรจากรายงานการใช้งาน ณ สถานที่ก่อสร้างมีความสอดคล้องกับปริมาณการเบิกจ่ายค่างาน (payment record) ต่อผู้ว่าจ้าง บัญชีรายการจากการบริโภคทรัพยากรจากเครื่องจักรนั้น พบว่าในงานวิจัยของ Cass และ Mukherjee (5) ได้ประเมินผลกระทบจากการผลิตเครื่องจักรโดยคำนึงถึงระยะเวลาการใช้งานของเครื่องจักรกลนั้น ๆ จากรายงานการปฏิบัติงานจริงที่มีการบันทึกข้อมูลชั่วโมงการใช้งานจริงในสนามเป็นสัดส่วนกับอายุการใช้งานของเครื่องจักร ดังแสดงในสมการที่ 3

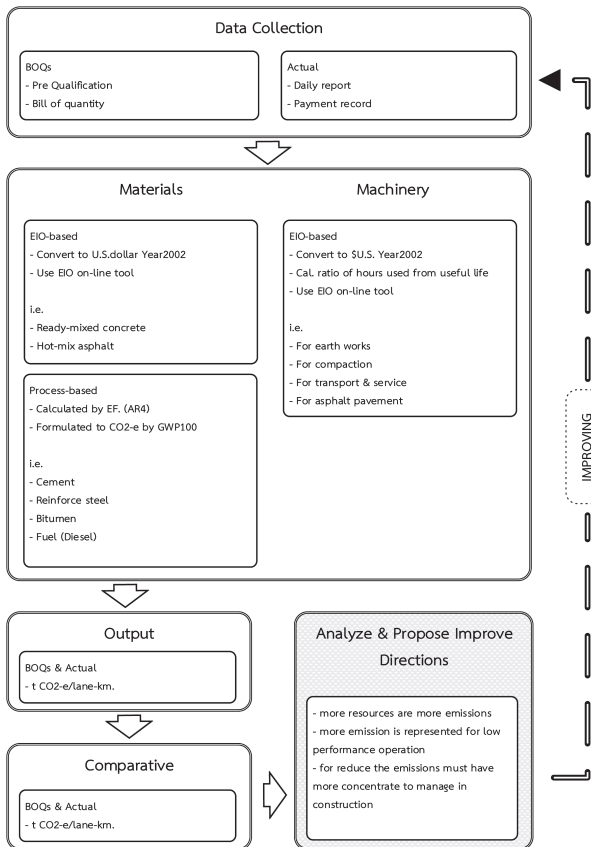
$$M_{actual} = \frac{h}{N} \quad (3)$$

เมื่อ M_{actual} คือสัดส่วนการคิดเครื่องจักรจากการใช้งานจริง, h คือจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานจริง (hours used) จากการบันทึก และ N คืออายุการใช้งานของเครื่องจักรกล (useful life) 10,000 ชั่วโมง ผลลัพธ์ที่ประเมินได้ทั้ง 2 ลักษณะมีความแตกต่างกัน การเปรียบเทียบมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงกระบวนการทั้งช่วงก่อนก่อสร้างและช่วงหลังก่อสร้างนี้ให้ดีขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณชั่วโมงการทำงานจริงของเครื่องจักรจะนำมาใช้ประกอบการคำนวณได้ก็ต่อเมื่อมีการดำเนินการก่อสร้างแล้วช่วงระยะเวลาหนึ่งหรือไม่สามารถใช้ได้ในช่วงก่อนก่อสร้างนั่นเอง

การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซตามวิธีการดังกล่าวข้างต้นที่ได้ประยุกต์การคิดสัดส่วนจากการใช้งานเครื่องจักรเพื่อนำไปสู่การประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานก่อสร้างจริงของโครงการก่อสร้างถนน ตั้งแต่การรวบรวมข้อมูลในแต่ละกลุ่ม แยกวิธีการทำบัญชีรายการสารขาเข้า-สารขาออกของวัสดุและเครื่องจักรจนถึงขั้นตอนสุดท้ายที่เป็นการเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซ สามารถแสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ฟังการไหลของสารขาเข้า-สารขาออกในกระบวนการก่อสร้างถนน (ปรับปรุงจาก Crawford, 2011)



4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เลือกบางส่วนของโครงการก่อสร้างถนนของภาครัฐ ซึ่งเป็นหน่วยงานเกี่ยวกับการก่อสร้างและบูรณะถนนในประเทศไทยมาเป็นกรณีศึกษาตัวอย่าง แสดงให้เห็นผลลัพธ์การทำ LCI ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการใช้งานเครื่องจักรกลบนพื้นฐานข้อมูลจาก BOQ และจากบันทึกการใช้งานจริง โดยใช้รูปตัดทั่วไปของโครงสร้างชั้นทาง (typical cross section) การดำเนินงานก่อสร้างถูกกำหนดด้วยหน้าตัดชั้นโครงสร้างชั้นทางเป็น 3 รูปแบบตามลักษณะทางกายภาพของวัสดุชั้นดินเดิมทั้ง 3 โครงการก่อสร้าง ตัวแทนกรณีศึกษาจำนวน 3 โครงการถูกใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มผลลัพธ์ประสิทธิภาพการดำเนินงานของโครงการดังกล่าวประกอบด้วย Project A, Project B และ Project C ลักษณะโครงการเป็นการก่อสร้างคันทางใหม่มีผิวทางเป็นผิวแบบแอสฟัลต์คอนกรีต (asphalt concrete) จำนวน 2 ช่องจราจรความกว้างรวมไหล่ทาง 11.00 เมตร ขณะทำการศึกษา (สิ้นเดือนธันวาคม 2557) โครงการแล้วเสร็จร้อยละ 95 ร้อยละ 70 และร้อยละ 98 ตามลำดับ

รูปที่ 4 ขั้นตอนการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพื่อประเมินผลการดำเนินงานก่อสร้างถนนจริง

ตารางที่ 1 การบริโภคทรัพยากรของโครงการกรณีศึกษา

Resources	Unit	BOQ	Actual	BOQ	Actual	BOQ	Actual
		Project A		Project B		Project C	
- Cement	tons	3,000.00	5,997.00	1,769.04	1,658.78	-	-
- Embankment	m ³	395,000.00	434,158.00	165,461.40	231,022.53	339,900.00	347,563.19
- Selected Material "A"	m ³	-	-	-	-	44,100.00	44,406.89
- Soil Aggregate	m ³	100,500.00	98,412.50	47,034.00	57,943.87	97,000.00	94,608.58
- Soil Aggregate Type Base	m ³	75,000.00	74,848.00	44,226.00	41,469.39	67,500.00	65,660.63
(Surface Course)							
- Bitumen	m ²	735,000.00	730,103.90	426,675.60	397,924.80	682,100.00	605,527.42
- Asphalt Concrete	m ²	727,000.00	710,484.90	423,860.58	398,989.38	632,900.00	606,796.79
(Structures)							
- Steel	tons	99.77	107.43	83.75	51.73	182.49	201.47
- Concrete	m ³	1,476.44	1,586.00	891.78	350.31	1,902.81	1,531.00
(Fuel)							
- Diesel	litres	846,936	580,592	601,504	687,471	991,121	1,276,255

ตารางที่ 2 ชั่วโมงการใช้งานเครื่องจักรของโครงการกรณีศึกษา

Machinery	Capacity	Price	BOQ	Actual	BOQ	Actual	BOQ	Actual
(Earth Work)			Project A		Project B		Project C	
- Backhoe	128 hp	100,378	4,608	15,584	2,750	4,544	3,966	15,216
- Bulldozer	165 hp	112,670	7,065	408	4,570	NA.	5,941	3,200
- Motor Grader	150 hp	110,687	9,522	18,000	6,390	8,984	12,890	16,664
- Wheel Loader	220 hp	100,378	3,911	6,656	3,028	1,760	3,241	1,240
(Compaction)								
- Pneumatic Tire Roller	9 T	47,415	11,427	26,520	8,193	9,520	12,225	13,200
- Vibrating Roller	152 hp	61,091	8,519	18,784	5,777	8,592	9,694	18,976
- 3 Wheel Steel Roller	9.5 T	29,712	1,454	1,896	1,208	376	3,753	3,728
(Transport & Service)								
- Water Truck	16,000 T	38,991	9,772	14,904	6,810	9,944	10,863	14,832
- Dump Truck	10 m ³	40,403	5,816	73,384	4,830	34,496	5,063	37,856
(Asphaltic Pavement)								
- Asphaltic Mixing Plant	160 T/hrs	861,190	1,454	NA.	1,208	NA.	NA.	NA.
- Asphaltic Distributor	6,000 L	31,408	1,252	2,232	1,033	176	1,170	640
- Asphaltic Paver	114 hp	238,170	1,454	1,896	1,208	272	1,266	592

หมายเหตุ: การใช้งานหน่วยเป็นชั่วโมง, ราคาเครื่องจักรหน่วยดอลลาร์สหรัฐฐานปี ค.ศ. 2002

การศึกษานี้ได้รวบรวมและแสดงตัวอย่างเป็นปริมาณวัสดุจากทั้ง 2 ช่วงเวลาในตารางที่ 1 ปริมาณการบริโภคทรัพยากรจำแนกตามลักษณะงานที่ปฏิบัติ เช่น งานดิน งานโครงสร้าง และงานผิวทาง เป็นต้น ส่วนการใช้งานเครื่องจักรพบว่าข้อมูลจาก BOQ คิดชั่วโมงการใช้งานวันละ 7 ชั่วโมง แต่ในสนามใช้งานวันละ 8 ชั่วโมงตามวันที่ทำงานจริงในรายงานการใช้งานเครื่องจักรที่รายงานต่อผู้ว่าจ้าง ข้อมูลการทำงานจริงบางส่วนได้จากบันทึกภาคสนามช่วงระหว่างการก่อสร้างซึ่งในงานก่อสร้างโครงการดังกล่าวมีการบันทึกการทำงานประจำวัน (Daily Report: DR) ของผู้รับจ้างอยู่แล้วโดยผู้ควบคุมงาน (ในนามของเจ้าของงานซึ่งกรณีนี้คือ เจ้าหน้าที่ควบคุมงานของรัฐ) นั้นทำให้สามารถลดทอนข้อจำกัดส่วนหนึ่งของการเพิ่มภาระต่องานภาคสนามลงได้ ตลอดจนข้อมูลราคาและชั่วโมงการใช้งานของเครื่องจักรในตารางที่ 2 ได้รับความร่วมมือจากบริษัทผู้รับเหมาตามต้นทุนจริงของโครงการนี้ แต่ก็มีราคาเครื่องจักรบางส่วนที่ได้ข้อมูลจากผู้ผลิต (Metro Machinery Co.,Ltd) ด้วยเช่นกัน

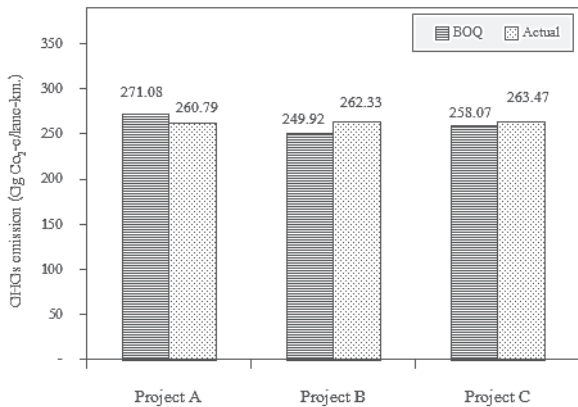
ผลการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซจากโครงการกรณีศึกษาทั้ง 3 โครงการเพื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 ช่วงเวลา ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกิจกรรม

การก่อสร้างถนนในแต่ละโครงการนั้น Project B มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด 12,414.82 tCO₂-e/Lane-km. (มากขึ้นร้อยละ 5.0) รองลงมาคือ Project C 1,605.56 tCO₂-e/Lane-km. (มากขึ้นร้อยละ 0.6) แต่ในทางกลับกัน Project A มีการปล่อยที่น้อยลง 10,285.25 tCO₂-e/Lane-km. (น้อยลงร้อยละ 3.8) สามารถแสดงถึงร้อยละของความเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซดังตารางที่ 3 พร้อมกันนี้ได้นำเสนอในรูปแบบของแผนภูมิแท่งดังรูปที่ 5 ด้วย

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบการประเมินผลกระทบจากการทำบัญชีรายการจาก 2 ช่วงเวลา

		Extraction	Manufacturing	Construction	Total
Project A	BOQ	2.93	233.41	34.74	271.08
	Actual	2.77	232.12	25.89	260.79
	Diff.	-5.2%	-0.6%	-25.5%	-3.8%
Project B	BOQ	2.85	207.09	39.98	249.92
	Actual	4.12	206.95	51.26	262.33
	Diff.	44.6%	-0.1%	28.2%	5.0%
Project C	BOQ	6.33	214.80	40.73	261.87
	Actual	8.51	200.00	54.96	263.47
	Diff.	34.4%	-6.9%	34.9%	0.6%

หมายเหตุ: หน่วย Gg CO₂-e/lane-km.



รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจาก 3 โครงการกรณีศึกษา

5. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกิจกรรมการก่อสร้างถนนในแต่ละโครงการ เปรียบเทียบช่วงก่อนและหลังก่อสร้าง เมื่อพิจารณาในภาพรวมของปริมาณการปล่อยทั้งโครงการพบว่าสาเหตุหลักของปริมาณการปล่อยก๊าซที่แตกต่างกันมาจากปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องจักรทั้งจากช่วงสกัดวัตถุดิบ (extraction) ที่ส่งผลให้มีความแตกต่างกันสูงสุดถึง 44.6% และช่วงดำเนินการก่อสร้าง (construction) แตกต่างกันสูงสุดถึง 34.9% แต่เมื่อพิจารณารายละเอียดในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตตั้งแต่สกัดวัตถุดิบ ผลิตวัสดุ จนถึงช่วงดำเนินการก่อสร้างพบว่าในช่วงการผลิตวัสดุ (manufacturing) ซึ่งมีสัดส่วนของการปล่อยก๊าซมากที่สุด งานผิวทาง (surface course) เป็นสาเหตุหลักของการปล่อยก๊าซตลอดช่วงการผลิตวัสดุนี้ แม้ว่าจะนำเอาสัดส่วนการใช้งานเครื่องจักรในสมการที่ 2 และสมการที่ 3 มาคิดด้วยแล้วก็ลดทอนได้แค่ในส่วนของปริมาณก๊าซที่ประเมินจากการผลิตเครื่องจักรเท่านั้น แต่ปริมาณก๊าซจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องจักรก็ยังคงเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซโดยรวมจากโครงการอยู่นั่นเอง สาเหตุสำคัญอีกอย่างหนึ่งคือความไม่สอดคล้องกันในบางส่วนของข้อมูลจากทั้ง 2 แหล่งข้อมูล เห็นได้จากชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรต่อวันที่ใช้เพื่อหาอัตราผลิต และอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อวัน ข้อมูลจาก BOQ คิดอัตราการทำงานที่วันละ 7 ชั่วโมงต่อวัน แต่ข้อมูลจากการทำงานจริงภาคสนามนั้นเครื่องจักรทำงานวันละ 8 ชั่วโมงต่อวันทำให้ปริมาณการบริโภคพลังงานและการปล่อยก๊าซจากช่วงหลังก่อสร้างมีปริมาณที่มาก

กว่าช่วงก่อนก่อสร้างได้ด้วยเหตุผลนี้การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซช่วงหลังก่อสร้างจากข้อมูลจริงในสนามก็จะมีเหมาะสมและสอดคล้องกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้นมากกว่าเมื่อต้องการประเมินเพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละโครงการ ในทางกลับกันหากเป็นการประเมินที่ต้องการทราบถึงปริมาณการปล่อยก๊าซที่เกิดขึ้นก่อนการก่อสร้าง ข้อมูลจาก BOQ ก็ยังคงเป็นแหล่งที่สามารถประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซที่สามารถใช้งานได้ หากแต่เพียงว่าต้องมีการปรับปรุงสมมติฐานการคำนวณในบางส่วนอย่างเช่น ชั่วโมงการทำงานต่อวันของเครื่องจักร เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานจริงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อต้องการเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพจากการดำเนินงานจริง และการบริหารทรัพยากรของโครงการ การใช้ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบช่วงก่อนและหลังก่อสร้างจึงมีประโยชน์โดยที่ผลลัพธ์สามารถแสดงให้เห็นถึงสาเหตุของปริมาณการปล่อยก๊าซที่ต่างกันด้วยเช่นกัน

ปริมาณการปล่อยก๊าซที่แตกต่างกันจากการใช้งานเครื่องจักรแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการบริหารต้นทุนที่เกี่ยวกับการทำงานของเครื่องจักรว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้การปล่อยก๊าซในช่วงก่อสร้างมากขึ้นหรือน้อยลงได้ เห็นได้ชัดจาก Project A ที่ก่อสร้างเสร็จเร็วกว่าระยะเวลาในสัญญา 4 เดือนมีการบริหารทรัพยากรที่ดีกว่า ขณะที่ Project C เร่งการก่อสร้างในช่วงท้ายทำให้ก่อสร้างเสร็จตามระยะเวลา สะท้อนประสิทธิภาพในลำดับรองลงมา ในทางกลับกัน Project B ดำเนินงานล่าช้ากว่างานต้องต่อสัญญาเดิมออกไปแสดงถึงประสิทธิภาพของการบริหารทรัพยากรที่แย่กว่าโครงการอื่น ๆ และมีแนวโน้มที่จะเกิดการปล่อยก๊าซที่มากขึ้นเมื่อต้องเร่งงานให้เสร็จตามสัญญาใหม่ด้วยการติดตามตรวจสอบการดำเนินงานของโครงการทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการบริหารทรัพยากรที่เกิดขึ้นในแต่ละโครงการ ผู้เกี่ยวข้องกับการบริหารโครงการต้องตระหนักและให้ความสำคัญกับ 2 ส่วนหลัก ๆ คือ 1) การบริหารใช้งานเครื่องจักรกลดังกล่าวอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และ 2) การออกแบบและใช้งานวัสดุก่อสร้างผิวทางให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดหากต้องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากงานก่อสร้างถนนให้เห็นผลอย่างเป็นรูปธรรม

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการประเมินเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซจากการบริโภคทรัพยากรระหว่างช่วงก่อน

ก่อสร้างกับช่วงการก่อสร้างจะมีผลลัพธ์ที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับประสิทธิภาพของการดำเนินงาน เมื่อเทียบกับแผนงาน (ในกรณีของความก้าวหน้าของงาน) และเมื่อเทียบกับ BOQ (ในกรณีของปริมาณการปล่อยก๊าซ) ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันสูงสุดเพียงแค่ 5% อาจไม่ได้เป็นผลจากการดำเนินงานในสนามทั้งหมด แต่อาจเป็นผลมาจากอัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องจักรในสนามที่แตกต่างกันของผู้รับเหมาแต่ละราย (จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม) แสดงให้เห็นว่ายังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่จะช่วยลดการปล่อยก๊าซให้น้อยลงได้แม้จะมีประสิทธิภาพของการดำเนินงานในสนามด้อยกว่าในแผนงานก็ตาม ตัวอย่างเช่น การใช้เครื่องจักรรุ่นใหม่ (Tier4) ที่บริโภคน้ำมันและปล่อยก๊าซน้อยกว่าเครื่องจักรรุ่นเก่า (Tier1) หรือการเลือกใช้น้ำมันทางเลือก B20 ที่ปล่อยก๊าซน้อยกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป เป็นต้น ท้ายนี้ผู้วิจัยเห็นว่าการดำเนินการมาตรการที่จะกระตุ้นให้ผู้รับเหมาเข้ามีส่วนร่วมในการเลือกใช้เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพและปล่อยก๊าซน้อยลง รวมถึงอีกหลายวิธีที่จะสามารถลดการปล่อยก๊าซจากกระบวนการก่อสร้างได้ ควรดำเนินการควบคู่ไปพร้อมกับการบริหารจัดการภาคสนามที่ดีเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและประสิทธิภาพของการดำเนินงานพร้อมกัน

6. สรุปผลการศึกษา

ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์จากบัญชีรายการสารขาเข้า-สารขาออกด้วยวิธี Economic Input Output Based สำหรับการก่อสร้างถนน 3 โครงการ โดยพิจารณาทั้งช่วงก่อนหรือหลังการก่อสร้าง ช่วงก่อนก่อสร้างใช้ข้อมูลจาก BOQ จากแบบก่อสร้างเพื่อคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซ ส่วนช่วงหลังก่อสร้างคำนวณปริมาณก๊าซจากข้อมูลการทำงานจริง งานก่อสร้างถนนเป็นงานประเภทหนึ่งของอุตสาหกรรมก่อสร้าง มีระยะเวลาก่อสร้างยาวนานและใช้เครื่องจักรกลในแต่ละโครงการจำนวนมาก ทำให้ปริมาณทรัพยากรที่ใช้จริงแตกต่างจากปริมาณใน BOQ อีกทั้งการประเมินการปล่อยก๊าซมักจะพิจารณาข้อมูลจากช่วงก่อนหรือหลังการก่อสร้างเพียงช่วงเดียวเท่านั้น แต่หากสามารถติดตามตรวจสอบปริมาณการปล่อยก๊าซช่วงหลังการก่อสร้างที่อาจเปลี่ยนไปจากช่วงก่อนการก่อสร้าง จะทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพ

ของการดำเนินงานก่อสร้างได้ และนำไปสู่การพัฒนาวิธีการหรือการดำเนินงานก่อสร้างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างถนน 3 โครงการเพื่อเสนอแนวทางที่ช่วยปรับปรุงการรวบรวมข้อมูลในบัญชีรายการสารขาเข้า-สารขาออกด้วยวิธีการไอเอ็มซีอินพุต-เอาต์พุตเบสของเครื่องจักรจากการผลิตแล้วปรับสัดส่วนตามชั่วโมงการใช้งานจริง การประเมินจะเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลการบริโภคพลังงาน วัสดุ และเครื่องจักรจากการใช้งานจริงภาคสนามกับข้อมูลที่ได้จาก BOQ เพื่อหาปัจจัยและสาเหตุของประสิทธิภาพการดำเนินงานก่อสร้างที่แสดงในรูปแบบของปริมาณก๊าซจากการก่อสร้าง นำไปสู่การปรับปรุงการดำเนินงานก่อสร้างที่ดีขึ้นได้ต่อไป จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซช่วงหลังก่อสร้าง Project A มีปริมาณน้อยกว่าช่วงก่อนก่อสร้างร้อยละ 3.8 ในขณะที่ Project C และ Project B มีการปล่อยก๊าซช่วงหลังก่อสร้างมากกว่าช่วงก่อนก่อสร้างร้อยละ 0.6 และร้อยละ 5.0 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า Project A Project C และ Project B มีประสิทธิภาพการบริหารทรัพยากรโครงการจากดีมาเกินไปหาญตามลำดับ เหตุผลสำคัญที่ทำให้ปริมาณก๊าซจากการก่อสร้างแต่ละโครงการมีค่าที่แตกต่างกันเกิดจากการใช้งานเครื่องจักร ซึ่งเป็นอิทธิพลมาจากระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างดังกล่าว

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Crawford RH, Life Cycle Assessment in The Built Environment. New York: Spon Press; 2011.
- [2] Park K, Hwang Y, Seo S, Seo H. Quantitative Assessment of Environmental Impacts on Life Cycle of Highways. Journal of Construction Engineering and Management. 2003;129(1):25–31.
- [3] สิริศักดิ์ ปโยธรสิริ และพนม ภัยหน่วย, เครื่องจักรกลในงานก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น; 2542.
- [4] British Standards Institution. PAS 2050:2008 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.
- [5] Cass D, Mukherjee A. Calculation of Greenhouse Gas Emissions for Highway Construction Operations by Using a Hybrid Life-Cycle Assessment

- Approach: Case Study for Pavement Operations. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2011;137(11):1015–25.
- [6] Hendrickson CT, Lave LB, Matthews HS. *Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services: An Input-Output Approach*. Washington DC: Resources for the Future Press; 2006.
- [7] Kofoworola O.F, Gheewala SH. Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2008 Sep 1;13(6):498–511.
- [8] นิกร เจียมวรพงศ์ และชนิด ธงทอง. การศึกษาแนวทางการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้าง. เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17; 9-11 พฤษภาคม 2555; อุตรธานี, ประเทศไทย.
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007 – The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2007 [Internet]. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [10] Carnegie Mellon University Green Design Institute. (2008) *Economic Input-Output Life Cycle Assessment (EIO-LCA)*, US 2002 Industry Benchmark model [Internet], Available from:<<http://www.eiolca.net/cgi-bin/dft/use.pl>> Accessed 1 December, 2014.
- [11] Bank of Thailand. *Exchange Rates of US DOLLAR between 1 January 2002 and 31 December 2002* [Internet], Available from:< http://www.bot.or.th/english/statistics/financialmarkets/exchangerate/_layouts/Application/ExchangeRate/ExchangeRateAgo.aspx#>.