ระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์สำหรับกระบวนการผลิตและก่อสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทาง

A CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT SYSTEM FOR MANUFACTURING AND CONSTRUCTION PROCESSES OF BUILDING SLOPE EROSION CONTROL

อนพัทย์ สายเชื้อ[1,*] วัชระ เพียรสุภาพ[2]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author; E-mail address: Vachara.p@chula.ac.th*

บทคัดย่อ

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันส่งผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกสูงขึ้นอันเป็นสาเหตุให้เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ อุตสาหกรรมก่อสร้างมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นอันดับสาม รองจากอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าและการขนส่ง ปัจจุบันแนวคิดเรื่องความยั่งยืนถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินธุรกิจของอุตสาหกรรมก่อสร้างเพื่อลดปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น เช่น การใช้วัสดุทดแทน การเพิ่มประสิทธิภาพงานก่อสร้าง รวมทั้งการประเมินหาปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์ที่เกิดขึ้นจากการใช้วัสดุและกระบวนการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ที่มีอยู่ยังคงมีข้อจำกัดและไม่ครอบคลุมการก่อสร้างโครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐานที่มีอยู่ งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้แบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ที่ประเมินปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดปริมาณคาร์บอนในกระบวนการผลิตวัสดุและก่อสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทางด้วยวิธีดาดคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยผลลัพธ์ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์ที่ได้เท่ากับ 27.37 กิโลกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร จากผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดปริมาณคาร์บอนในวิธีดาดคอนกรีตเสริมเหล็กคือการใช้วัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริมคิดเป็นร้อยละ 82.5 และ 9.7 ตามลำดับ โดยปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์จากการใช้วัสดุในการก่อสร้าง การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากกระบวนการขนส่งวัสดุ และการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตวัสดุและการก่อสร้าง

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพรินท์, การประเมินวัฏจักรชีวิต, โครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทาง

Abstract

The increasing emission of greenhouse gases has raised the global surface temperature, contributing to natural disasters. The construction industry is the third-largest emitter of greenhouse gases, following electricity generation and transportation. To mitigate its impact, sustainability concepts have been integrated into construction practices, including the use of alternative materials, improved construction efficiency, and carbon footprint assessments. However, existing carbon footprint assessment methods remain limited, particularly in infrastructure projects. This study applies a carbon footprint assessment framework to evaluate key emission factors in the production and construction of embankment erosion protection using reinforced concrete lining. The results indicate a carbon footprint of 27.37 kg CO per square meter, with concrete and reinforcement steel contributing 82.5% and 9.7%, respectively. The main sources of emissions include material use, fuel combustion in transportation, and energy consumption in material production and construction processes.

Keywords: Carbon Emission, Life Cycle Assessment (LCA), Slope Erosion Control

1. บทนำ

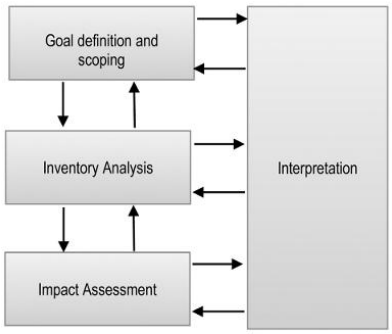
ปัญหาภาวะโลกร้อนจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นประเด็นสำคัญที่ได้รับความสนใจทั่วโลก และจำเป็นต้องหาแนวทางแก้ไขอย่างเร่งด่วน จากการประชุม COP28 ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ประเทศไทยในฐานะประเทศสมาชิกยังคงมีเป้าหมายที่กำหนดในปัจจุบันยังคงต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเป้าหมายของประเทศสมาชิกอื่นในข้อตกลงเดียวกัน ซึ่งสะท้อนถึงความจำเป็นในการเพิ่มความมุ่งมั่นและการพัฒนามาตรการที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับความพยายามร่วมกันในระดับสากล [1]

อุตสาหกรรมก่อสร้างประกอบด้วยธุรกิจและกิจกรรมที่ก่อให้เกิดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่มากขึ้นโดยคิดเป็นอันดับสาม รองจากอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าและการขนส่ง จากแผนการลงทุนโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ของประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะโครงการก่อสร้างเส้นทางคมนาคมประเภทถนนคิดเป็นร้อยละ 35 [2] ปัจจุบันการดำเนินธุรกิจและกิจกรรมในภาคอุตสาหกรรมก่อสร้างเผชิญกับแรงกดดันจากแนวโน้ม ESG ส่งผลให้ผู้ประกอบการทั้งเจ้าของโครงการ ผู้ออกแบบ และธุรกิจรับเหมาก่อสร้างต้องปรับกลยุทธ์รับมือด้วยการเลือกใช้วัสดุทดแทนและปรับกระบวนการก่อสร้างให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในกระบวนการก่อสร้างและการลงทุนในเทคโนโลยีก่อสร้าง ด้วยเหตุนี้ การลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้างจึงเป็นเป้าหมายสำคัญในการหาแนวทางปฏิบัติให้สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืนและช่วยบรรเทาผลกระทบจากภาวะโลกร้อนในอนาคต

โครงการก่อสร้างถนนแบ่งออกเป็นสองประเภทหลักตามสภาพพื้นที่ตั้งของโครงการ คือ การก่อสร้างถนนในพื้นที่ราบ ซึ่งมีการออกแบบและก่อสร้างที่เรียบง่าย และการก่อสร้างถนนในพื้นที่เชิงเขาที่มีความแปรผันของระดับความสูง ทำให้ต้องออกแบบถนนให้มีลาดเอียงด้านข้าง (Side Slopes) พร้อมก่อสร้างโครงสร้างเสริมความแข็งแรงหรือ "Slope Protection" เพื่อป้องกันการพังทลายของคันทาง โครงการในพื้นที่เชิงเขาเหล่านี้ต้องใช้วัสดุก่อสร้างและเครื่องจักรหนักจำนวนมาก [3] ส่งผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการก่อสร้างสูงเมื่อเทียบกับโครงการก่อสร้างถนนในพื้นที่ราบ การก่อสร้างถนนที่จำเป็นต้องมีการออกแบบโครงสร้างเพิ่มเสถียรภาพลาดและป้องกันการพังทลายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากการขยายตัวของชุมชนที่ขวางทางน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดปัญหาการกัดเซาะคันทาง นอกจากนี้ปัญหาพายุฝนที่ตกหนักผิดปกติ ส่งผลให้อุทกภัยเกิดบ่อยครั้งและรุนแรงยิ่งขึ้น จึงจำเป็นต้องก่อสร้างโครงสร้างป้องกันดังกล่าวเพื่อรองรับและแก้ไขปัญหาเหล่านี้ [4] อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตวัสดุและขั้นตอนก่อสร้างในโครงการเหล่านี้ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวนมากเนื่องจากมีการดำเนินงานเป็นแบบเชิงเส้นแปรผันตามสภาพภูมิประเทศและปริมาณงานก่อสร้างที่ส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนที่เกิดจากกิจกรรมการขนส่ง [5] ดังนั้นการศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการผลิตและการก่อสร้างของโครงสร้างเพิ่มเสถียรภาพลาดและป้องกันการพังทลายของคันทางจึงมีความสำคัญเพื่อหาแนวทางการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

2. การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment)

คาร์บอนฟุตพรินท์เป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยอาศัยหลักการที่เรียกว่า “การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA)” ซึ่งเป็นวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมประเด็นต่างๆ ในเชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือกิจกรรม โดยพิจารณาถึงการใช้ทรัพยากร พลังงาน และการปลดปล่อยของเสียรูปแบบต่างๆ ครอบคลุมทุกขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการตั้งแต่จัดหาวัตถุดิบจนถึงการกำจัดซาก ทั้งนี้เพื่อนำผลไปใช้ในการกำหนดนโยบาย การออกแบบผลิตภัณฑ์ การปรับกระบวนการผลิต หรือเพิ่มทางเลือกในการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ LCA เป็นส่วนหนึ่งในมาตรฐานระบบจัดการสิ่งแวดล้อม หรือ ISO 14001 โดยมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA ถูกบรรจุใน ISO 14040 และ ISO 14044 [6] ซึ่งคาร์บอนฟุตพรินท์เป็นส่วนหนึ่งของการประเมิน LCA เพราะ LCA จะบ่งบอกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในหลายประเด็น ในขณะที่คาร์บอนฟุตพรินท์จะพิจารณาเพียงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียงประเด็นเดียว โดยขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตตามมาตรฐาน ISO 14044 [7] ระบุขั้นตอนการประเมิน 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย 1) การตั้งเป้าหมายและกำหนดขอบเขต (Goal and Scope Definition) เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา 2) การวิเคราะห์รายการข้อมูลนำเข้า (Inventory Analysis) คือ กระบวนการรวบรวมและคำนวณข้อมูลนำเข้าที่ได้จากกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิต 3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Impact Assessment) เป็นการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้ผลลัพธ์ปริมาณคาร์บอนที่เกิดขึ้นภายในวัฏจักรชีวิต การประเมินนี้ประกอบด้วยการจำแนกประเภท การกำหนดความสำคัญของกระบวนการที่เกิดขึ้น 4) การตีความผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation) เป็นการนำผลลัพธ์การศึกษามาวิเคราะห์และสรุป เพื่อใช้เป็นข้อเสนอแนะในการพัฒนากระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ โดยการสรุปผลจะต้องสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตที่ตั้งไว้ตั้งแต่ต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 Life Cycle Analysis Framework
ISO 14044 STANDARD (2006)

2.1 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิต

ขอบเขตในการประเมินวัฏจักรชีวิตอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 21930:2017 [8] ที่มีสาระสำคัญเกี่ยวกับการกำหนดแนวทางและข้อกำหนดสำหรับการจัดทำ Environmental Product Declaration (EPD) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างและการก่อสร้างอาคาร ซึ่งประกอบไปด้วยการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการจัดการของเสียเมื่อหมดอายุการใช้งาน ซึ่งการกำหนดกรอบการประเมินนั้นอ้างอิงตามมาตรฐานความสามารถในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาประมวลผล ซึ่งแบ่งขอบเขตการประเมินได้หลากหลายรูปแบบ จากการศึกษาพบว่า การกำหนดขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตในอุตสาหกรรมก่อสร้างนั้น มักนิยมใช้ขอบเขตการประเมินแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

1) Cradle-to-Gate (A1-A3) เป็นขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบและการขนส่งในกระบวนการผลิตวัสดุ ขอบเขตดังกล่าวใช้ประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากวัสดุที่ใช้ในกระบวนการเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตวัสดุที่ใช้ในกระบวนการ [9]

2) Cradle-to-Practical completion (A1-A5) ขอบเขตการประเมินลักษณะนี้เป็นการเพิ่มขอบเขตการประเมินนจากแบบ Cradle-to-Gate โดยจะประเมินในช่วงการก่อสร้างและติดตั้งเริ่มตั้งแต่กิจกรรมขนส่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการ (A4) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ กิจกรรมขนส่งจากหน่วยงานผลิตวัสดุไปยังโครงการก่อสร้าง (To-site transportation) และกิจกรรมขนส่งภายในหน่วยงานก่อสร้าง (On-site transportation) และการประเมินกระบวนการก่อสร้าง (A5) โดยครอบคลุมการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตั้งแต่การใช้วัสดุในกระบวนการจนถึงการสร้างเสร็จสมบูรณ์ ขอบเขตดังกล่าวสามารถประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากงานก่อสร้างที่มีการใช้วัสดุในปริมาณมาก อีกทั้งการใช้พลังงานเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้าจากกิจกรรมขนส่งและการใช้เครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างได้อย่างครอบคลุม เหมาะสำหรับการประเมินโครงการก่อสร้างที่มีวัตถุประสงค์เรื่องความยั่งยืนและการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระหว่างการก่อสร้าง [10]

3) Cradle-to-Grave (A1-C4) เป็นขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้งหมด โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการประเมินวัสดุและการก่อสร้าง (A Phase) ขั้นตอนการใช้งาน (B Phase) ซึ่งประกอบด้วยการใช้งาน การบำรุงรักษา การซ่อมแซม การเปลี่ยนหรือการแทนที่ และการซ่อมแซมใหม่ตลอดจนกระบวนการสิ้นสุดของวัฏจักรชีวิต (C Phase) ซึ่งประกอบด้วยการทำลาย การขนส่งวัสดุจากขั้นตอนการทำลาย การจัดการของเสียและการกำจัด ขอบเขตนี้เหมาะสำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้งานอาคารที่มีช่วงเวลาในการใช้งานที่ยาวนาน และจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาและการรื้อถอนเมื่อสิ้นอายุการใช้งานของอาคารนั้น [9]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

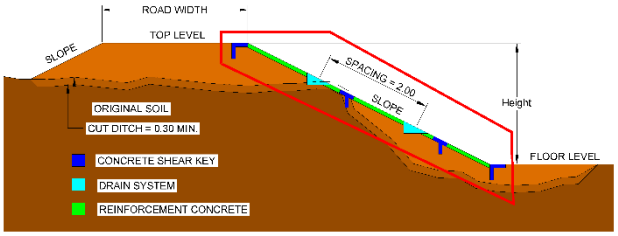
ในขั้นตอนการวิจัย ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แบบประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ในการคำนวณหาปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์ในกระบวนการผลิตและการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทาง โดยขั้นตอนการดำเนินงานเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 14044

3.1 การตั้งเป้าหมายและกำหนดขอบเขต

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อหาปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตวัสดุและการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทาง โดยมีขอบเขตการประเมินแบบ Cradle-to-Practical Completion (A1-A5) ตามมาตรฐาน ISO 21930: 2017 รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างแผนที่โครงการกรณีศึกษาประกอบด้วยพื้นที่กองเก็บวัสดุที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้าง เส้นทางในการขนส่งลำเลียงวัสดุจากพื้นที่กองเก็บไปยังพื้นที่ก่อสร้าง และระยะทางการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะ รูปที่ 3 แสดงรูปแบบของโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทางด้วยวิธีดาดคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 2 ก. และ ข. แผนผังพื้นที่ภายในโครงการก่อสร้างและแผนที่ของแหล่งวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้าง

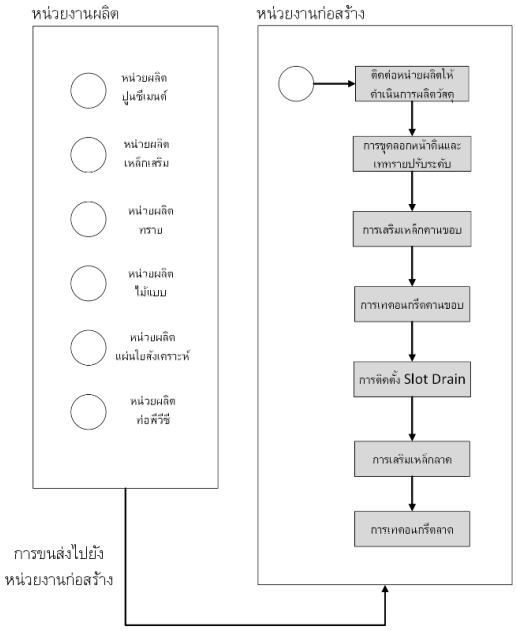


รูปที่ 3 รูปแบบโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะด้วยวิธีดาดคอนกรีต

3.2 การวิเคราะห์รายการข้อมูล

การประเมินวัฏจักรชีวิตสะท้อนถึงขั้นตอนต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่เชื่อมโยงกันผ่านการไหลของผลิตภัณฑ์ [11] การหาปริมาณคาร์บอนเพื่อทำการวิเคราะห์รายการข้อมูลนั้นประกอบด้วย 2 ตัวแปรหลัก คือ ข้อมูลกิจกรรมคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการ ในขั้นตอนการวิเคราะห์รายการข้อมูลนำเข้าแบบประเมินสามารถสรุปได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

1) การศึกษากระบวนการก่อสร้างและจำแนกกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในหน่วยงานก่อสร้าง โดยขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทางโดยใช้ดาดคอนกรีตเสริมเหล็กและจำแนกประเภทของกิจกรรมที่แตกต่างกัน รูปที่ 4 แสดงผังการไหลของกระบวนการก่อสร้างโครงสร้างป้องกัดการกัดเซาะของคันทางด้วยวิธีดาดคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 4 ผังการไหลของกระบวนการก่อสร้างโครงสร้างป้องกัดการกัดเซาะของคันทางด้วยวิธีดาดคอนกรีตเสริมเหล็ก

2) หลังจากศึกษากระบวนการก่อสร้างอย่างละเอียด รวมถึงการดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการผลิตวัสดุก่อสร้าง ผู้วิจัยได้ดำเนินการจำแนกประเภทกิจกรรมออกเป็นหมวดหมู่ตามลักษณะของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน ซึ่งครอบคลุมทั้งปริมาณการใช้วัสดุก่อสร้าง การใช้พลังงานเชื้อเพลิง และการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการก่อสร้าง จากนั้นจึงได้เก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณปริมาณการปล่อยคาร์บอนอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างข้อมูลโครงการกรณีศึกษาที่ใช้ในการหาปริมาณคาร์บอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการดังกล่าว

3) ขั้นตอนต่อไปผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูลสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor : EF) โดยกำหนดตามหมวดหมู่ข้อมูลนำเข้าอ้างอิงตามแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก ฐานข้อมูลดังกล่าวจะพิจารณาใช้ฐานข้อมูลจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก [10] ตัวอย่างตารางข้อมูลกิจกรรมที่และสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามหมวดหมู่การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างข้อมูลกิจกรรมและสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในกระบวนการซึ่งประกอบด้วยปริมาณการใช้วัสดุและประเภทของวัสดุก่อสร้าง ตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างข้อมูลกิจกรรมขนส่งภายในกระบวนการ โดยจำแนกออกเป็น 2 ประเภทคือ กิจกรรมขนส่งภายในหน่วยงานก่อสร้าง (On-site Transportation) และกิจกรรมขนส่งจากหน่วยงานผลิตมายังหน่วยงานก่อสร้าง (To-site Transportation) ซึ่งเป็นข้อมูลประเภทระยะทางต่อรอบการขนส่งน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดเพื่อคำนวณหาระยะทางทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการก่อสร้างและตารางที่ 4 แสดงข้อมูลกิจกรรมของเครื่องจักรที่ใช้เชื้อเพลิงในการทำงานและเครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงาน

4) การคำนวณหาปริมาณคาร์บอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการก่อสร้างโดยการใช้แบบประเมินที่ประกอบด้วยข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) คูณกับข้อมูลสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) โดยแบ่งเป็นช่วงกระบวนภายในวัฏจักรชีวิต ได้แก่ ช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ (A1-A3) ช่วงการขนส่งจากหน่วยงานผลิตมายังหน่วยงานก่อสร้างและการขนส่งภายในโครงการก่อสร้าง (A4) และช่วงการก่อสร้าง (A5) โดยผลลัพธ์ปริมาณคาร์บอนมีหน่วยเป็นกิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ [12]

โดยที่ C_{total} คือปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์ ($kgCO_2e$)

AC_i คือข้อมูลปริมาณกิจกรรม (Unit)

EF_i คือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e$/Unit)

ตารางที่ 1 ตัวอย่างรายละเอียดโครงการกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	รายละเอียดโครงการก่อสร้าง			กิจกรรมการขนส่ง (ต่อรอบ)							
				การขนส่งภายในโครงการก่อสร้าง			การขนส่งภายนอกโครงการก่อสร้าง				
	ปริมาณงานก่อสร้าง (เมตร)	ความสูง (เมตร)	ความชัน	ขนส่งดิน (เมตร)	เคลื่อนย้ายดินด้วยเครื่องจักร (เมตร)	ขนส่งวัสดุก่อสร้าง (เมตร)	ขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จ (กิโลเมตร)	ขนส่งเหล็กเสริม (กิโลเมตร)	ขนส่งแผ่นใยสังเคราะห์ (กิโลเมตร)	ขนส่งทรายและกรวด (กิโลเมตร)	ขนส่งวัสดุก่อสร้างอื่นๆ (กิโลเมตร)
1	1,000	5	1:2	1,450	7	3,600	30	130	400	5	130

ตารางที่ 2 กระบวนการผลิตวัสดุ (A1-A3)

รายการวัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	Emission Category	EF (kgCO2e/Unit) *	Unit
คอนกรีตผสมเสร็จ	3100	m3	คอนกรีตผสมเสร็จ 240ksc.	204	m3
เหล็ก	40,269	kg.	Cast iron (เหล็กหล่อ)	1.638	kg.
ทรายและกรวด	2150	m3	Sand, at mine	0.004	kg.
แผ่นใย	5600	kg.	ผ้าทอจากเส้นด้ายโพลีเอสเตอร์	6.518	kg.
ท่อพีวีซี	1027	kg.	Polyvinyl Chloride (PVC)	2.133	kg.

ตารางที่ 3.1 กิจกรรมขนส่งภายในหน่วยงานก่อสร้าง (A4)

ขนส่งภายในหน่วยงานก่อสร้าง	ระยะทางต่อรอบ, ม.	จำนวนรอบทั้งหมด	Emission Category	EF (kgCO2e/Unit) *	Unit
รถบรรทุก 10 ล้อ เคลื่อนย้ายดินขุดลอก	144	1000	รถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 100% (Max load = 16 tons)	0.064	tkm.
			รถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 0% Loading	0.751	km.
เคลื่อนย้ายดินด้วยรถขุด	7	8400	Diesel (ที่มีการเคลื่อนที่)	2.7446	diesel litre
รถบรรทุก 10 ล้อ บรรทุกทราย	3600	250	รถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 100% (Max load = 16 tons)	0.064	tkm.
			รถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 0% Loading	0.751	km.
รถบรรทุก 6 ล้อ บรรทุกเหล็กเสริม	3600	50	รถบรรทุก 6 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 50% (Max load = 11 tons)	0.1345	tkm.
			รถบรรทุก 6 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 0% Loading	0.6082	km.
รถบรรทุก 6 ล้อ บรรทุกวัสดุก่อสร้างอื่นๆ	3600	50	รถบรรทุก 6 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 50% (Max load = 11 tons)	0.1345	tkm.
			รถบรรทุก 6 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 0% Loading	0.6082	km.

ตารางที่ 3.2 กิจกรรมขนส่งจากหน่วยงานผลิตไปหน่วยงานก่อสร้าง (A4)

ขนส่งจากหน่วยงานผลิตไปหน่วยงานก่อสร้าง	ระยะทางต่อรอบ, กม.	จำนวนรอบทั้งหมด	Emission Category	EF (kgCO2e/Unit) *	Unit
รถบรรทุกโม่ 10 ล้อ บรรทุกคอนกรีต	30	310	รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดโม่ 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 100% Loading	0.0611	tkm.
			รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดโม่ 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 0% Loading	0.7382	km.
รถบรรทุก 10 ล้อ บรรทุกเหล็กเสริม	130	3	รถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 100% (Max load = 16 tons)	0.064	tkm.
			รถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 0% Loading	0.751	km.
รถบรรทุก 10 ล้อ บรรทุกแผ่นใยสังเคราะห์	400	1	รถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 50% (Max load = 16 tons)	0.0972	tkm.
			รถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 0% Loading	0.7382	km.
รถบรรทุก 10 ล้อ บรรทุกทรายและกรวด	5	229	รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดโม่ 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 100% Loading	0.0611	tkm.
			รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดโม่ 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 0% Loading	0.7382	km.
รถบรรทุก 10 ล้อ บรรทุกวัสดุก่อสร้างอื่นๆ	130	1	รถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 50% (Max load = 16 tons)	0.0972	tkm.
			รถบรรทุก 10 ล้อ วิ่งแบบสมบุกสมบัน 0% Loading	0.7382	km.

หมายเหตุ: * อ้างอิงจาก [13]

** อ้างอิงจาก [14]

ตารางที่ 4 กระบวนการก่อสร้าง (A5)

รายการวัสดุ	ปริมาณ	หน่วย	Emission Category	EF (kgCO2e/Unit) **	Unit
รถขุดดิน	10987	cy.	Diesel (ที่มีการเคลื่อนที่)	2.7446	diesel liter
รถปรับเกลี่ย	28000	m2	Diesel (ที่มีการเคลื่อนที่)	2.7446	diesel liter
เครื่องตัดเหล็กเสริม	139	hr.	Electricity, grid mix	0.5986	kWh.
เครื่องจี้คอนกรีต	620	hr.	Electricity, grid mix	0.5986	kWh.

4. ผลการศึกษา

จากกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทางที่มีความแตกต่างกันหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นปริมาณงานในการดำเนินงานก่อสร้างทำให้ปริมาณวัสดุที่ใช้และกิจกรรมขนส่งภายในกระบวนการแตกต่างกัน ปัจจัยเรื่องระยะทางในการขนส่งจากหน่วยงานผลิตวัสดุที่ใช้มายังที่ตั้งโครงการก่อสร้าง โดยหัวข้อนี้ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย

4.1 ตัวอย่างระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์

หัวข้อนี้นำเสนอตัวอย่างผลลัพธ์ปริมาณคาร์บอนที่ได้จากระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์สำหรับโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทาง ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ในขั้นตอนการเสริมเหล็กคานขอบประกอบด้วย หมวดหมู่ที่จำแนกตามลักษณะของการปลดปล่อยคาร์บอน กระบวนการย่อยภายใน รูปแบบและปริมาณของข้อมูลนำเข้าและข้อมูลนำออก ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพรินท์

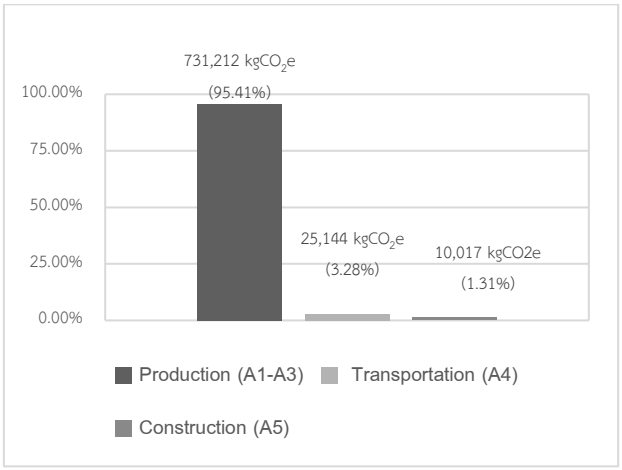
ตารางที่ 5 ตัวอย่างระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์

Category	Process	Input/Output	Dataset	Volume	Unit Vol.	Emission Category	EF (kgCO2e/Unit)	EF Unit	Carbon Emission
วัสดุถาวร	การหนุนลูกปูน	ลูกปูน	ปริมาณ	168.00	kg.	Calcium carbonate	0.0366 *	kg.	6.15
	การติดตั้งเหล็กเสริมคานขอบ	เหล็กเสริม RB6	ปริมาณ	3,805.71	kg.	Cast iron (เหล็กหล่อ)	1.6382 *	kg.	6,234.52
		เหล็กเสริม RB9	ปริมาณ	8,554	kg.	Cast iron (เหล็กหล่อ)	1.6382 *	kg.	14,013.63
		ลวดผูกเหล็ก	ปริมาณ	222.48	kg.	Galvanized steel	2.7073 *	kg.	602.32
การใช้ไฟฟ้า	การติดตั้งเหล็กเสริมคานขอบ	เครื่องตัดโลหะ	กำลังไฟฟ้า	2.20	kW.	Electricity, grid mix	0.5986 **	kWh	32.92
			เวลาที่ใช้	25.00	hr.				
			ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	55.00	kWh.				
การเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่ง	บรรทุกเหล็กเสริม (เที่ยวไป)	รถบรรทุกเหล็กเสริม	น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด	12,750.48	kg.	6-Wheel 50% Loading with Bad Transportation	0.1345 *	tkm.	134.31
			ระยะทางทั้งหมด	181.57	km.				
			น้ำหนักบรรทุกสูงสุด	5,500.00	kg.				
	บรรทุกเหล็กเสริม (เที่ยวกลับ)	รถบรรทุก เหล็กเสริม	ระยะทาง	181.57	km.	6-Wheel 0% Loading with Bad Transportation	0.6082 *	km.	110.43

4.2 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

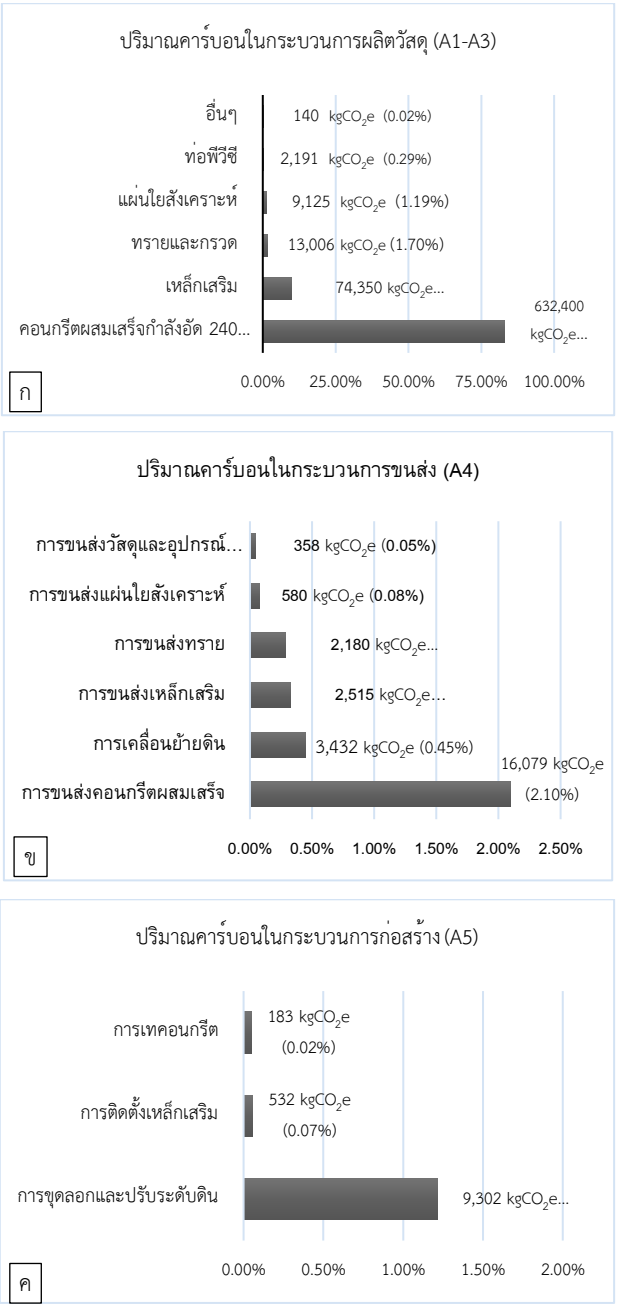
ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมผู้วิจัยจะนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบได้แก่

1) ผลลัพธ์ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์แบ่งตามกระบวนการในการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยแบ่งเป็นระยะต่างๆ ได้แก่ ระยะการได้มาซึ่งวัสดุ (A1-A3) ระยะการขนส่ง (A4) และระยะการก่อสร้าง (A5) โดยผลลัพธ์ของกรณีศึกษาพบว่าช่วงระยะการได้มาซึ่งวัสดุมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนมากที่สุดเท่ากับ 731,212 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 95.41 รองลงมาคือระยะการขนส่งมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนเท่ากับ 25,144 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 3.28 และระยะการก่อสร้างมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนเท่ากับ 10,017 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 1.31 ตามลำดับ รูปที่ 5 แสดงผลลัพธ์ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์แบ่งตามช่วงระยะในการประเมินวัฏจักรชีวิต



รูปที่ 5 ผลลัพธ์ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์แบ่งตามช่วงระยะในวัฏจักรชีวิต

2) ผลลัพธ์ปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์แบ่งตามรูปแบบของการปลดปล่อยคาร์บอนในกระบวนการ จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปล่อยคาร์บอนมากที่สุดสามอันดับแรกในช่วงระยะการได้มาซึ่งวัสดุ (A1-A3) ประกอบด้วย คอนกรีตผสมเสร็จมีค่าเท่ากับ 632,400 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 82.52 เหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ 74,350 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 9.70 ทรายและกรวดมีค่าเท่ากับ 13,006 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 1.70 ตามลำดับ ในช่วงระยะการขนส่ง (A4) แบ่งเป็นการขนส่งภายในหน่วยงานก่อสร้างมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 5,776 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 0.75 และการขนส่งจากหน่วยงานผลิตวัสดุมายังโครงการก่อสร้างมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 19,368 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 2.53 โดยกิจกรรมการขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จมีปริมาณคาร์บอนมากที่สุดเท่ากับ 16,079 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 2.10 และปริมาณคาร์บอนที่มากที่สุดในช่วงระยะการก่อสร้างคือขั้นตอนการขุดลอกและปรับระดับดินมีค่าเท่ากับ 9,302 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 1.21 จากรูปที่ 6 แสดงผลลัพธ์ปริมาณคาร์บอนแบ่งตามรูปแบบของการปลดปล่อยคาร์บอน



รูปที่ 6 ก. ข. และ ค. ผลลัพธ์ปริมาณคาร์บอนแบ่งตามรูปแบบการปลดปล่อยในแต่ละช่วงระยะในวัฏจักรชีวิต

4.3 การตีความผลการศึกษา

จากผลการศึกษาที่ได้จากระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ในกระบวนการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทาง พบว่ากระบวนการก่อสร้างดังกล่าวใช้คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุหลัก ส่งผลให้การใช้คอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นแหล่งปล่อยคาร์บอนในปริมาณสูงสุด โดยคอนกรีตมีการปล่อยคาร์บอนมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่ง และเหล็กเสริมเป็นอันดับสอง สาเหตุหลักมาจากปริมาณการใช้วัสดุก่อสร้างที่สูง ส่งผลให้

การใช้พลังงานเชื้อเพลิงในกิจกรรมขนส่งวัสดุก่อสร้างเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ ในช่วงระยะการก่อสร้าง พบว่าขั้นตอนการขุดลอกและปรับระดับดินมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนสูงที่สุด เนื่องจากต้องใช้เครื่องจักรหนักที่เผาผลาญเชื้อเพลิงเป็นหลัก ซึ่งแตกต่างจากขั้นตอนการเทคอนกรีตและการติดตั้งเหล็กเสริมที่ใช้แรงงานคนและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนที่ต่ำกว่า

5. สรุปผลการศึกษา

ผลลัพธ์จากแบบประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์ในการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทางด้วยวิธีคอนกรีตเสริมเหล็กมีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์ที่เกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัสดุ การขนส่งภายในกระบวนการ จนถึงการก่อสร้างและติดตั้งวัสดุมีค่าเท่ากับ 766,527 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าหรือคิดเป็น 27.37 กิโลกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร วัสดุหลักที่ใช้คือคอนกรีตผสมเสร็จและเหล็กเสริม ซึ่งมีปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินท์มากที่สุด โดยคอนกรีตผสมเสร็จมีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์เท่ากับ 650,662 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า แบ่งเป็นการใช้วัสดุคอนกรีตผสมเสร็จ 97.50% การขนส่ง 2.47% และการก่อสร้าง 0.03% รองลงมาคือเหล็กเสริมมีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์เท่ากับ 77,325 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า แบ่งเป็นการใช้วัสดุเหล็กเสริม 96.15% การขนส่ง 3.25% และการก่อสร้าง 0.59% จะเห็นได้ว่าการใช้วัสดุก่อสร้างหลักประเภทคอนกรีตและเหล็กเสริมมีการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินท์ในปริมาณมาก ทั้งนี้ ผลการศึกษานี้สามารถเป็นแนวทางให้กับผู้ดำเนินงานก่อสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทางในการเลือกใช้วัสดุทดแทนที่มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพรินท์ที่น้อยลง โดยจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบร่วมในการใช้วัสดุทดแทน ได้แก่ กระบวนการขนส่งและการก่อสร้างร่วมด้วย

6. ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ของโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทางด้วยวิธีการก่อสร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปแบบปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเท่านั้น โดยมีขอบเขตการประเมินแบบ Cradle-to-Practical completion (A1-A5) ที่ครอบคลุมช่วงระยะการได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง ช่วงระยะการขนส่ง และระยะการก่อสร้างเท่านั้น เนื่องจากการก่อสร้างโครงสร้างดังกล่าวเป็นการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานที่ไม่มีการใช้พลังงานในช่วงระยะการใช้งาน ทั้งนี้งานวิจัยในอนาคตที่ต้องการศึกษาต่อยอดจากงานวิจัยนี้อาจพิจารณารูปแบบการก่อสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะด้วยวิธีอื่นๆ และเพิ่มขอบเขตการประเมินให้ครอบคลุมในช่วงระยะการใช้งานและระยะสิ้นสุดของโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะของคันทางต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กรมชลประทาน ที่ให้ความร่วมมือในด้านข้อมูล กระบวนการและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ประพันธ์ ลีน้อย (2567). บทสรุป COP28 และก้าวต่อไปของการรับมือโลกรวน. Krungsri research intelligence. https://www.krungsri.com/th/research/research-intelligence/cop28-2024

[2] กัญญารัตน์ กาญจนวิสุทธิ์ (2566). มูลค่าอุตสาหกรรมก่อสร้างปี 2023 มีแนวโน้มขยายตัวจับตาความท้าทายต้นทุนสูง ความเสี่ยงด้านสภาพคล่องและแรงกดดันจากเทรนด์ ESG. SCB Economic Intelligence Center. https://www.scbeic.com/th/detail/product/8997

[3] Balasbaneh, A. T., Yeoh, D., Juki, M. I., Ibrahim, M. H. W., & Abidin, A. R. Z. (2021). Assessing the life cycle study of alternative earth-retaining walls from an environmental and economic viewpoint. *Environ Sci Pollut Res Int*, *28*(28), 37387-37399. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13190-4

[4] กรมทางหลวง (2551). คู่มือการบำรุงรักษาทางหลวงเพื่อป้องกันการพังทลายและเคลื่อนตัวของเชิงลาด.

[5] Yao, Y., Xu, P., Li, J., Hu, H., & Qi, Q. (2024). Advancements and Applications of Life Cycle Assessment in Slope Treatment: A Comprehensive Review. Sustainability, 16(1). https://doi.org/10.3390/su16010398

[6] International Organization for Standardization (ISO). (2006). ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. https://www.iso.org/standard/37456.html

[7] International Organization for Standardization (ISO). (2006). ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines.

[8] International Organization for Standardization (ISO). (2017). ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works — Core rules for environmental product declarations of construction products and services.

[9] Cao, C. (2017). *Sustainability and life assessment of high strength natural fibre composites in construction*. Green Crane Consulting.

[10] Morganti, L., Vandi, L., Astudillo Larraz, J., García-Jaca, J., Navarro Muedra, A., & Pracucci, A. (2024). A1–A5 embodied carbon assessment to evaluate bio-based components in façade system modules. Sustainability, 16(3), 1190. https://doi.org/10.3390/su16031190

[11] Suh, S., & Huppes, G. (2005). Methods for Life Cycle Inventory of a product. Journal of Cleaner Production, 13(7), 687-697.

[12] The Institution of Structural Engineers. (2022). How to calculate embodied carbon.

[13] องค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, องค์กรมหาชน (2565). ค่า Emission factor แบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม. https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/

[14] องค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, องค์กรมหาชน (2562). ค่า Emission factor รวบรวมจากข้อมูลทุติยภูมิสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ขององค์กร.