

**การลดก๊าซเรือนกระจกในงานก่อสร้างโดยเฉพาะในระบบฐานรากใต้ดิน
:เปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตระหว่างฐานรากระบบใหม่เสาเข็มเหล็กกล้าแบบเกลียว
และ ฐานรากรูปแบบเดิม เสาเข็มปูน**

**Reducing Greenhouse Gas Emissions in Construction, Particularly in Underground
Foundation Systems: A Comparison of Life Cycle Assessment (LCA) Between the New Steel
Pile Foundation System (Screwpile) and the Traditional Concrete Pile Foundation**

ศันสนีย์ ธรรมมนุญกุล¹, ศ.ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล¹, รศ.ดร. เสวกชัย ตั้งอ่วมวงศ์¹, ดร. นครินทร์ ศรีสุวรรณ²,
รศ.ดร. สราวุธ จิตงาม³, เชิงชาย ทิพย์วีรกุล⁴

¹ สาขาวิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

² สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

³ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา

⁴ บริษัท เอสเอ็มซีซี (ประเทศไทย) จำกัด (SMCC)

*Corresponding author; E-mail address: sansanee.thm@gmail.com

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่สำคัญ โดยเฉพาะในระบบฐานราก งานวิจัยนี้เปรียบเทียบ การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ระหว่างฐานราก เสาเข็มเหล็กกล้าแบบเกลียว และ เสาเข็มปูนแบบดั้งเดิม เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกขั้นตอน ผลการศึกษพบว่า ฐานรากเสาเข็มปูนมีคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูง เนื่องจากใช้พลังงานมากในกระบวนการขนส่ง การติดตั้ง การขุดดิน และการรื้อถอน ในขณะที่ เสาเข็มเหล็กกล้าแบบเกลียวติดตั้งได้รวดเร็ว ลดแรงงานและพลังงาน รวมถึงสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) เพื่อลดของเสียจากการก่อสร้าง นอกจากนี้ งานวิจัยยังวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) โดยพิจารณาต้นทุนด้านพลังงาน แรงงาน และ Carbon Footprint Organization ผลการศึกษานี้ช่วยส่งเสริมแนวทาง การออกแบบโครงสร้างฐานรากที่ลดก๊าซคาร์บอนและสนับสนุน การพัฒนาเมืองที่ยั่งยืน ตามนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมทั้งในระดับประเทศและระดับสากล

คำสำคัญ: การปล่อยก๊าซเรือนกระจก, การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA), คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (CFP), การก่อสร้างยั่งยืน, ฐานรากเสาเข็มเหล็ก

Abstract

The construction industry is a major contributor to greenhouse gas (GHG) emissions, particularly in foundation systems. This study compares the Life Cycle Assessment (LCA) of steel screw piles and traditional concrete piles to evaluate their environmental impacts across all lifecycle stages. The findings indicate that concrete piles have a higher carbon footprint, primarily due to energy-intensive transportation, installation, excavation, and demolition processes. In contrast, steel screw piles allow for faster installation, require less energy and labor, and offer reusability (Reuse), reducing construction waste. Additionally, this study assesses the economic feasibility of steel screw piles by considering energy consumption, labor costs, and Carbon Footprint Organization factors. The results contribute to promoting low-carbon foundation design that enables further structural development and supports sustainable urban construction in alignment with national and global environmental policies.

Keywords: Greenhouse gas emissions, Life Cycle Assessment (LCA), Carbon Footprint Product (CFP), Sustainable construction, Steel screw piles

วัสดุก่อสร้างที่เหมาะสม ช่วยลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร และสนับสนุนการออกแบบงานก่อสร้างฐานรากที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว (Wiedmann & Minx, 2008; ISO, 2018)

1. คำนำ

ภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาระดับโลกที่เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งภาคการก่อสร้างเป็นหนึ่งในภาคส่วนหลักที่มีการปล่อย CO₂ อย่างมีนัยสำคัญ โดยคิดเป็นสัดส่วนสูงถึง 39% ของการปล่อยทั่วโลก ทั้งจากวัสดุก่อสร้าง (Embodied Carbon) และการใช้พลังงานในอาคาร (Operational Carbon) (UNEP, 2021) ประเทศไทยเองก็ประสบปัญหาฝุ่น PM 2.5 ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากกระบวนการก่อสร้างและการขนส่งที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล (Greenpeace Thailand, 2020) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังขาดการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของ ระบบฐานรากใต้ดิน อย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการเปรียบเทียบระหว่าง เสาเข็มคอนกรีต และ เสาเข็มเหล็กกล้าแบบเกลียว (Screw Pile) ซึ่งมีแนวโน้มเป็นนวัตกรรมที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ เนื่องจากคุณสมบัติในการรีไซเคิลและประหยัดพลังงานในการติดตั้ง (Garcia-Segura et al., 2014; Zuo et al., 2020)

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.1.1 ศึกษากระบวนการผลิต ขนส่ง ติดตั้ง และรื้อถอนของเสาเข็มคอนกรีตและเสาเข็มเหล็กกล้าแบบเกลียว โดยใช้ Life Cycle Assessment (LCA)
- 1.1.2 วิเคราะห์กรณีศึกษาเพื่อเปรียบเทียบค่า LCA ของระบบฐานรากทั้งสองรูปแบบ
- 1.1.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า LCA และ Carbon Footprint Product (CFP)
- 1.1.4 เสนอแนวทางการออกแบบเพื่อลดการปล่อย CO₂ โดยใช้เสาเข็มเหล็กแบบเกลียวที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้
- 1.1.5 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อ Carbon Footprint ขององค์กร

การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการภายใต้กรอบแนวคิดของ ISO 14040 ซึ่งเป็นมาตรฐานการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment - LCA) โดยเน้นในขอบเขต Cradle to Grave เพื่อวิเคราะห์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากกิจกรรมในทุกช่วงของระบบฐานราก ทั้งในด้านการผลิตวัสดุ การขนส่ง และการติดตั้ง ณ สถานที่จริง (ISO, 2006) นอกจากนี้ยังใช้แนวคิด Carbon Footprint of Product (CFP) และ Economic Footprint เพื่อประเมินผลกระทบทั้งในเชิงสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ โดยผลการศึกษาคือจะเป็นแนวทางในการเลือกใช้

2. การศึกษาที่ผ่านมาและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ความยั่งยืน (Sustainability) และ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้กลายเป็นประเด็นสำคัญในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยหนึ่งในเครื่องมือที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการประเมินผลกระทบดังกล่าวคือ การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ซึ่งเป็นกระบวนการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการในทุกช่วงของวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การผลิต ขนส่ง การติดตั้ง การใช้งาน การรีไซเคิล ไปจนถึงการจัดการซากวัสดุ (แนวคิด Cradle to Grave) โดย LCA มุ่งเน้นการวิเคราะห์การใช้พลังงาน ทรัพยากร การปล่อยมลพิษ และโอกาสในการลดผลกระทบในทุกขั้นตอน (Curran, 2017) มาตรฐานของการประเมินวัฏจักรชีวิตถูกกำหนดภายใต้อนุกรมของ ISO 14040 ซึ่งครอบคลุมมาตรฐานที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 7 ฉบับ โดยฉบับที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ISO 14040 ว่าด้วยหลักการและกรอบแนวคิด (ISO, 2006a), ISO 14044 ว่าด้วยแนวทางการดำเนินการและข้อกำหนดเชิงเทคนิค (ISO, 2006b) และ ISO/TR 14047 ซึ่งให้ตัวอย่างการประยุกต์ใช้และคำอธิบายเพิ่มเติมในการประเมินผลกระทบ (ISO, 2012)

2.1 ขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิต

- 2.1.1 Cradle to Grave: ครอบคลุมทุกช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์จนถึงการกำจัด
- 2.1.2 Cradle to Gate: ครอบคลุมถึงโรงงานผลิต ไม่รวมการใช้งานและกำจัด
- 2.1.3 Gate to Gate: เฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่งของกระบวนการผลิต

2.2 ขั้นตอนการดำเนินการตาม LCA (ISO 14040)

- 2.2.1 กำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา: ครอบคลุม Functional Unit, System Boundary, สมมติฐาน และคุณภาพของข้อมูล
- 2.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI): เก็บข้อมูลสารเข้า-ออก เช่น วัตถุดิบ พลังงาน และของเสีย
- 2.2.3 การประเมินผลกระทบ (LCIA): แปลงข้อมูล LCI เป็นดัชนีผลกระทบ โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น CO₂, CH₄, N₂O เป็นต้น พร้อมคำนวณด้วย Emission Factor และแสดงในรูป CO₂-eq

2.3.4 การแปลผล (Interpretation): สรุปจุดที่ก่อผลกระทบมากที่สุด และแนวทางในการออกแบบเพื่อลดผลกระทบ (Eco-design)

2.4 จุดเด่นและข้อจำกัดของ LCA

2.4.1 จุดเด่น: ครอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิตจึงช่วยชี้จุดที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุด, ข้อมูลเชิงปริมาณ นำเชื่อถือ ใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจได้ดี, เป็นแนวคิดแบบองค์รวม ช่วยลดปัญหา Problem Shifting

2.4.2 ข้อจำกัด: ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากและซับซ้อน, ขาดฐานข้อมูล ข้อมูลมีจำกัด ถ้าจะเน้นเป็นของประเทศไทย เช่น ฐานข้อมูลวัตถุดิบก่อสร้าง สารในกระบวนการต่างๆ, กระบวนการผลิตตั้งแต่ต้นน้ำจนปลายน้ำที่ครอบคลุมในอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย, ต้องการผู้เชี่ยวชาญที่มีความเชี่ยวชาญสูง, ผลการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับสมมติฐาน และความถูกต้องของข้อมูล, การทำ LCA อย่างละเอียดต้องลงทุนทั้งเวลา ทรัพยากร และค่าใช้จ่าย

2.5 LCA กับการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน (LSFC)

แนวคิดของการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ โดยเฉพาะ เป้าหมายที่ 11: Sustainable Cities and Communities ซึ่งมุ่งส่งเสริมการพัฒนาเมืองและชุมชนให้มีความยั่งยืน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations, 2015) ประเทศไทยเองได้ประกาศเป้าหมายในการมุ่งสู่ ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในช่วงปี ค.ศ. 2065-2070 ซึ่งการใช้เครื่องมือ เช่น ข้อมูล LCA และ Carbon Footprint (CFP) สามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในกระบวนการออกแบบและเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ONEP, 2021)

2.6 การปล่อยมลพิษจากภาคการก่อสร้าง

ในภาคการก่อสร้างมีการใช้เครื่องจักรกลหนักที่ขับเคลื่อนด้วยน้ำมันดีเซลจำนวนมาก เช่น รถขุด รถเครน และรถผสมคอนกรีต ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในเขตเมืองอย่างมีนัยสำคัญ (Pollution Control Department, 2023) จากรายงานของกรมควบคุมมลพิษพบว่า ปริมาณ PM2.5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีแหล่งกำเนิดหลักจากการจราจรและกิจกรรมการก่อสร้างในเขตเมือง (Greenpeace Thailand, 2020) เหล็กกล้าเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีศักยภาพสูงในการสนับสนุนแนวทางการก่อสร้างอย่างยั่งยืน เนื่องจากสามารถรีไซเคิลได้ 100% โดยไม่สูญเสียคุณสมบัติทางกล (World Steel Association, 2021) อีกทั้งมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีต ส่งผลให้ลดการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงฟอสซิลในการขนส่งและติดตั้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ เสาเข็มเหล็กแบบเกลียว (Screw Pile) ยังมีคุณสมบัติพิเศษในการติดตั้งโดยไม่จำเป็นต้องขุดเจาะหรือเทคอนกรีต จึงสามารถลดการใช้ทรัพยากร เช่น ดิน น้ำ และพลังงาน อีกทั้งยังช่วยลดมลพิษจากฝุ่น เสียง และแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการก่อสร้างได้อย่างมีนัยสำคัญ (Zuo et al., 2020)

งานวิจัยนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการตอบคำถามหลักเกี่ยวกับการผลกระทบจากการใช้วัสดุก่อสร้างที่แตกต่างกันในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยมีคำถามวิจัยหลัก ดังนี้:

การประเมินกระบวนการก่อสร้างฐานรากด้วยเสาเข็มเหล็กและเสาเข็มปูน โดยใช้ Life Cycle Assessment (LCA) คำถามนี้มุ่งเน้นการวัดและเปรียบเทียบผลกระทบจากวัสดุทั้งสอง โดยใช้ LCA เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอน เช่น การผลิต ขนส่ง ติดตั้ง และรื้อถอนของเสาเข็มแต่ละประเภท ในบริบทของประเทศไทย ทั้งในงานก่อสร้างที่อยู่อาศัย อาคารขนาดใหญ่ และการพัฒนาภูมิทัศน์ที่ยั่งยืน เปรียบเทียบเบื้องต้น เนื่องจาก เสาเข็มปูน: การผลิตปล่อย CO₂ สูงจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ และมีน้ำหนักมากจึงใช้พลังงานขนส่งสูง ในขณะที่ เสาเข็มเหล็กกล้าแบบเกลียว: ตอบโจทย์ 3Rs: Reuse, Reduce, Recycle เหล็กสามารถนำกลับมาหลอมใหม่ได้ 100% ในส่วนของการติดตั้ง ใช้พลังงานใช้น้ำมัน และ วัสดุสิ้นเปลืองน้อยกว่า

ศึกษารณียศึกษาและวิเคราะห์ค่า LCA ของระบบฐานรากทั้งสองรูปแบบ ดำเนินการผ่านกรณีศึกษาจริง 2 โครงการในประเทศไทย เพื่อเปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในบริบทจริงและใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ผลกระทบเชิงเปรียบเทียบ

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า LCA และ Carbon Footprint Product (CFP) การวิเคราะห์นี้ใช้มาตรฐาน LCA สากลควบคู่กับ CFP ของประเทศไทย โดยมีขั้นตอนดังนี้:

ขั้นตอนที่ 1 แยกองค์ประกอบของ LCA และระบุแหล่งการปล่อย GHG: การได้มาซึ่งวัตถุดิบ, กระบวนการผลิต, การขนส่ง, การติดตั้ง และการรื้อถอนและการจัดการของเสีย

ขั้นตอนที่ 2: คำนวณและเปรียบเทียบ CFP จากข้อมูล LCA

ขั้นตอนที่ 3: สรุปผลเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบโดยรวมระหว่างระบบฐานรากทั้งสอง

ศึกษาแนวทางการออกแบบเพื่อลดการปล่อย CO₂ จากเสาเข็มเหล็กแบบเกลียว (Screw Pile) วิเคราะห์กรณีการนำเข็มเหล็กมาใช้ซ้ำ (reuse) โดยเน้นโครงการก่อสร้างชั่วคราวหรือโครงการที่สามารถรื้อถอนโครงสร้างได้ เช่น อาคารสำนักงานชั่วคราว นิทรรศการ และโครงการเชิงพาณิชย์ที่เข้าพื้นที่ ประเด็นวิเคราะห์: เลือกกรณีศึกษา, เก็บข้อมูลการใช้และการปล่อย CO₂, วิเคราะห์ศักยภาพในการลดผลกระทบ

ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อ CFO ขององค์กร วิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของการเลือกใช้เสาเข็มเหล็ก

แบบเกลียวเทียบกับเสาเข็มคอนกรีต โดยพิจารณา: ต้นทุนการติดตั้ง, การดำเนินงานและบำรุงรักษา, อายุการใช้งาน และ ผลต่อการลด CFP ของสินค้า

การประเมินนี้จะช่วยเสนอแนวทางการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ในการเลือกวัสดุฐานรากเพื่อสนับสนุนองค์การสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนและมุ่งสู่เป้าหมาย Net Zero

3. วิธีการศึกษา

การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) เป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (LCA) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมสารเข้าและขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Inventory: LCI) ให้อยู่ในรูปของตัวชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถบ่งชี้ระดับของศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละหมวดหมู่ได้อย่างชัดเจน (ISO, 2006; Finnveden et al., 2009) ขั้นตอนของการประเมินผลกระทบประกอบด้วย การเลือกชนิดและประเภทของผลกระทบ (Selection of Impact Categories) โดยพิจารณาว่ากระบวนการในระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายใต้เป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope) มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้าง และเกิดขึ้นในช่วงใดของวัฏจักรชีวิต โดยใช้ข้อมูลจากบัญชีรายการวิเคราะห์และจำแนกเป็นหมวดหมู่ของผลกระทบอย่างเป็นระบบ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความเป็นกรดในดินมลพิษทางน้ำ หรือความเสื่อมโทรมของโอโซน เป็นต้น ในกรณีของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint of Product: CFP) ซึ่งมุ่งเน้นการวัดศักยภาพในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) จำเป็นต้องพิจารณาก๊าซเรือนกระจกหลัก 7 ชนิดที่ได้รับการรับรองโดย IPCC และมาตรฐาน ISO ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), มีเทน (CH₄), ไนตรัสออกไซด์ (N₂O), ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs), เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs), ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) และไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF₃) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Global Warming Potential: GWP) ที่แตกต่างกัน และนำมาแปลงค่าให้อยู่ในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂-eq) เพื่อใช้ในการประเมินภาพรวมของผลกระทบ (ISO, 2018; IPCC, 2021)

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกระบวนการย่อยสามารถคำนวณได้โดยแยกตามกิจกรรม ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. (TGO, 2022) ซึ่งกำหนดให้มีการแปลงข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ให้อยู่ในรูปของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหนึ่งหน่วยการทำงาน (Functional Unit) โดยการคูณกับ ค่าปัจจัยการปล่อย (Emission Factor) ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ พลังงาน หรือกระบวนการนั้น ๆ และนำผลลัพธ์ไปบันทึกในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂-eq) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

การคำนวณสามารถแสดงด้วยสมการต่อไปนี้:

ตามสมการที่ 2.1

$$E_i = AD \times EF_i$$

สมการที่ 2.2

$$E = \sum_{i=1}^n E_i$$

ตามสมการที่ 2.1 เมื่อแทนค่าปริมาณการบริโภค และค่า Emission factor จะได้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดของกิจกรรม และสมการที่ 2.2 เมื่อแทนค่าจะได้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม โดยที่

E_i = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดของกิจกรรม “i”

AD = ปริมาณการบริโภคของแต่ละกิจกรรม

EF_i = ค่า Emission factor ของการก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรม

E = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมของแต่ละกิจกรรม

ค่าปัจจัยการปล่อย (Emission Factor) ที่ใช้ในกระบวนการประเมินนี้จะต้องอ้างอิงจากแหล่งที่เชื่อถือได้ เช่น ฐานข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ซึ่งเผยแพร่โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เพื่อให้ได้ผลการประเมินที่มีความถูกต้องและสอดคล้องกับมาตรฐานในระดับประเทศและสากล (TGO, 2022; ISO, 2018)

งานวิจัยนี้มุ่งตอบคำถามหลักเกี่ยวกับ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเลือกใช้วัสดุฐานรากที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในแง่ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ผ่านกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment – LCA) และ Carbon Footprint Product (CFP) ภายใต้บริบทของประเทศไทย โดยมีคำถามวิจัยย่อย ดังนี้:

3.1 การประเมินกระบวนการก่อสร้างฐานรากด้วยเสาเข็มเหล็กและเสาเข็มปูน โดยใช้ Life Cycle Assessment (LCA) วิเคราะห์ผ่าน LCA ตั้งแต่การผลิต ขนส่ง ติดตั้ง จนถึงรื้อถอน

ต่อไปนี้เป็นนิยามขอบข่ายของข้อกำหนดและขอบเขตการจัดเก็บข้อมูล LCA สำหรับการประเมินผลกระทบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบฐานรากเสาเข็มเหล็กและเสาเข็มคอนกรีต โดยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลักตาม Life Cycle:

3.1.1 การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (Raw Material Acquisition)

ขอบเขตดังต่อไปนี้: ครอบคลุมตั้งแต่การสกัดทรัพยากรธรรมชาติ การแปรรูปจนได้วัตถุดิบหลัก เช่น เหล็กม้วน เหล็กแท่ง ปูนซีเมนต์ และการขนส่งทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง, ข้อมูลที่ต้องรวบรวม: ปริมาณวัตถุดิบหลัก วัตถุดิบร่วม สารเคมี บรรจุภัณฑ์ เชื้อเพลิงในการขนส่ง และค่า Emission Factor (E.F.), ข้อมูลปฐมภูมิ: ต้องเก็บจากกระบวนการผลิตจริงอย่างน้อย 12 เดือน, กรณีไม่มีข้อมูล: ใช้สถานการณ์สมมติ เช่น ระยะทางขนส่ง 700 กม. รถบรรทุก 18 ล้อ

3.1.2 การผลิต (Manufacturing)

ขอบเขต: ตั้งแต่การรับวัตถุดิบ การผลิต การบรรจุ ไปจนถึงระบบสนับสนุนในโรงงาน เช่น ไฟฟ้า ไอน้ำ ระบบน้ำ ระบบแสงสว่าง ข้อมูลที่ต้องรวบรวม: ปริมาณพลังงานไฟฟ้า เชื้อเพลิง ของเสีย วัสดุสิ้นเปลือง วัสดุซ่อมบำรุง เชื้อเพลิงสำหรับขนส่งของเสีย และค่า E.F., ข้อมูลปฐมภูมิ: จากหน่วยการผลิตจริง หากไม่มีข้อมูลให้ระบุเหตุผลและใช้วิธีการปันส่วนที่เหมาะสม, กรณีไม่มีข้อมูลขนส่งของเสีย: ให้ใช้สถานการณ์สมมติ เช่น ระยะทาง 700 กม. รถบรรทุก 18 ล้อ

3.1.3 การขนส่ง (Transportation)

ขอบเขต: การขนส่งผลิตภัณฑ์จากโรงงานถึงศูนย์กระจายสินค้า หรือลูกค้า, ข้อมูลที่ต้องรวบรวม: น้ำหนักผลิตภัณฑ์ ปริมาณเชื้อเพลิง ชนิดพาหนะ ระยะทาง และค่า E.F., ข้อมูลปฐมภูมิ: ต้องเก็บจากกิจกรรมจริง หรือเก็บจากศูนย์กระจายสินค้าอย่างน้อย 50% หากครอบคลุมไม่ได้ต้องมีคำอธิบาย, สถานการณ์สมมติ: ระยะทางขนส่ง 700 กม. เทียบไป 100% โหลด เทียบกลับ 0% โหลด

3.1.4 การติดตั้ง (Installation)

ขอบเขต: การใช้ทรัพยากรในการติดตั้งเสาเข็ม ณ หน่วยงานก่อสร้าง เช่น เครื่องจักร ยานพาหนะ พลังงาน, ข้อมูลที่ต้องรวบรวม: ปริมาณไฟฟ้าและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการติดตั้ง โดยต้องสอดคล้องกับระยะเวลาทำงานจริง, ข้อมูลปฐมภูมิ: ต้องเก็บจากการใช้งานจริงต่อเนื่อง 12 เดือน

3.1.5 สิ้นสุดอายุการใช้งาน (End of Life)

ขอบเขต: การกำจัด บำบัด หรือรีไซเคิลเศษซากจากผลิตภัณฑ์ เช่น บรรจุภัณฑ์ ซากเสาเข็ม รวมถึงการขนส่งของเสีย, ข้อมูลที่ต้องรวบรวม: ปริมาณเศษซาก วิธีการจัดการของเสีย ปริมาณเชื้อเพลิงในการขนส่ง และค่า E.F., ข้อมูลปฐมภูมิ: เก็บจากกิจกรรมจริงหรือกำหนดสถานการณ์สมมติ โดยพิจารณาตามหลักสมดุลมวลสาร, วัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้: คิดผลกระทบเป็นศูนย์หากไม่มีการแปรรูปใหม่

หมายเหตุพิเศษสำหรับทุกขั้นตอน: การเก็บข้อมูลต้องมีอายุอย่างน้อย 12 เดือน ยกเว้นกรณีมีข้อจำกัด ให้ระบุเหตุผลชัดเจน, สามารถตัดข้อมูล

บางรายการออกได้หากมีผลกระทบต่ำ (<1%) โดยรวมไม่เกิน 5% ของ CFP, Emission Factor ที่ใช้ควรมาจากฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้ อ้างอิงตามลำดับความน่าเชื่อถือ เช่น ฐานข้อมูลประเทศไทย, งานวิจัยในประเทศ, LCA Software, IPCC, Worldsteel

CASE 1: โรงจอดรถจุฬาฯ

	ปูน 118 ยาว 12	เข็มเหล็ก D140 x 12000	เข็มเหล็ก F114 x 2000	เข็มเหล็ก F140 x 3000
จำนวน เสาเข็ม	18 ต้น	4 ต้น	4 ต้น	4 ต้น
CFP ทั้ง โครงการ	9474.97 KgCO ₂ -eq	2700.15 KgCO ₂ -eq	324.51 KgCO ₂ -eq	1488.41 KgCO ₂ -eq

ที่มา: ผู้วิจัย

Functional Unit: ต้น

คำนวณ CFP ของเสาเข็มปูนตาม LCA Methodology

1. การได้มาซึ่งวัตถุดิบ

1.1 ประเมินปริมาณปูนซีเมนต์ เหล็กเสริม น้ำ หิน และทรายที่ใช้

2. กระบวนการผลิต

2.1 รวมการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต เช่น การหล่อเสาเข็ม การตัดเหล็ก

2.2 คำนวณการใช้ไฟฟ้า/ดีเซล x ค่า CFP ต่อหน่วยพลังงาน

3. การขนส่ง

3.1 ประเมินระยะทางจากโรงงานถึงไซต์งาน x น้ำหนักเสาเข็ม

3.2 ใช้ค่า Emission Factor ของรถบรรทุกต่อกิโลเมตร

4. การติดตั้ง

4.1 คำนวณน้ำมันหรือพลังงานที่ใช้ในเครื่องตอกเสาเข็ม เช่น ปั่นจั่น เครื่องตอกดีเซล

– ชั่วโมงทำงาน x ปริมาณน้ำมัน x ค่า CFP

5. สิ้นสุดอายุการใช้งาน

5.1 เสาเข็มปูนโดยทั่วไปไม่สามารถรีไซเคิลได้ อาจมีค่ารื้อถอน/กลบฝัง/ขนส่งเศษวัสดุเพิ่ม

คำนวณ CFP ของเสาเข็มเหล็กตาม LCA Methodology

1. การได้มาซึ่งวัตถุดิบ

1.1 ประเมินปริมาณ เหล็กทั้งหมด

2. กระบวนการผลิต

2.1 รวมการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

3. การขนส่ง

3.1 ประเมินระยะทางจากโรงงานถึงไซต์งาน x น้ำหนักเสาเข็ม

3.2 ใช้ค่า Emission Factor ของรถบรรทุกต่อกิโลเมตร

4. การติดตั้ง

4.1 คำนวณน้ำมันที่ใช้ในการติดตั้งเสาเข็มเหล็ก

5. สิ้นสุดอายุการใช้งาน

5.1 ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการของเสียและการรีไซเคิลของเสาเข็มเมื่อหมดอายุการใช้งาน

เสาเข็มคอนกรีต (Traditional Concrete Piles), จำนวนที่ใช้: 18 ต้น/โครง (โรงจอดรถ 1 โครง), CFP รวม 9474.97 kgCO₂-eq , CFP

เสาเข็มเหล็ก รุ่น D140x12000, จำนวนที่ใช้: 4 ต้น/โครง , CFP รวมของเสาเข็ม: 2700.15 kgCO₂e

ทางเลือกในการลด CFP ของเสาเข็มเหล็ก (Green Foundation Options) เปรียบเทียบ CFP ของเสาเข็มเหล็กที่สามารถรับน้ำหนักได้ 7 ต้นต่อฐาน (เท่ากับเสาเข็มปูนในกรณีศึกษา) ตัวเลือกที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนต่ำที่สุด 1: เสาเข็มเหล็ก Series F114x2000 ที่ CFP ทั้งโครงการ: 324.51 kgCO₂e ตัวเลือกที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนต่ำรองลงมา: เสาเข็มเหล็ก Series F140x3000 ที่ CFP ทั้งโครงการ: 1488.41 kgCO₂e

บทสรุปเชิงวิเคราะห์ LCA การใช้ เสาเข็มเหล็ก รุ่น D140x12000 ร่วมกับฟุตติ้ง มีการปล่อย CFP ลดลงถึง 71.5% เมื่อเทียบกับเสาเข็มปูนดั้งเดิม (จาก 9,474.97 เหลือเพียง 2,700.15 kgCO₂e ต่อโครง) หากเลือกใช้ Option 1 เสาเข็มเหล็ก F114x2000 ซึ่งเป็นรุ่นที่มี CFP ต่ำที่สุด จะลดการปล่อย CFP เหลือเพียง 324.51 kgCO₂e ต่อโครง ลดลงถึง 96.57% เทียบกับเสาเข็มปูนแบบเดิม การใช้เสาเข็มเหล็กในระบบฐานราก ไม่เพียงแต่ลดน้ำหนักโครงสร้างและเวลาในการติดตั้ง แต่ยังลดภาระสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ตามหลักการของ Life Cycle Assessment (LCA)

CASE 2: โครงการ Landscape ของ Sumitomo

	เสาเข็มเจาะ OD 350 ยาว 21 เมตร	เสาเข็มเหล็ก W114 x 21000
จำนวน เสาเข็ม	87 ต้น	87 ต้น
CFP ทั้ง โครงการ	188,931.12 KgCO ₂ -eq	67,929.56 KgCO ₂ -eq

ที่มา: ผู้วิจัย

Functional Unit: ต้น

คำนวณ CFP ของเสาเข็มเจาะตาม LCA Methodology

1. การได้มาซึ่งวัตถุดิบ

1.1 วัสดุหลัก: ปูนซีเมนต์, เหล็ก, หิน, หวาย

1.2 คูณกับค่า Emission Factor จากฐานข้อมูล TGO

2. การผลิต

2.1 รวมพลังงานไฟฟ้า, ความร้อน ที่ใช้ในการผสมคอนกรีต, เตรียมเหล็ก

3. การขนส่ง

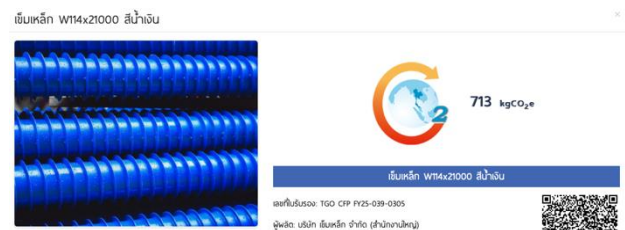
3.1 ใช้น้ำหนักรวมของเสาเข็ม x ระยะทางขนส่ง

4. การติดตั้ง

4.1 ประเมินจากการใช้เครื่องเจาะ เครื่องที่ใช้ดีเซล

5. สิ้นสุดอายุใช้งาน

5.1 เสาเข็มเจาะไม่สามารถรีไซเคิลได้ อาจมีค่ารื้อถอน/กลับฝัง/ขนส่งเศษวัสดุเพิ่ม



รูปที่ 1 เสาเข็มเหล็ก W114x21000 (TGO)

คำนวณ CFP ของเสาเข็มเหล็กตาม LCA Methodology

1. การได้มาซึ่งวัตถุดิบ

1.1 ประเมินปริมาณ เหล็กทั้งหมด

2. กระบวนการผลิต

2.1 รวมการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

3. การขนส่ง

3.1 ประเมินระยะทางจากโรงงานถึงไซต์งาน x น้ำหนักเสาเข็ม

3.2 ใช้ค่า Emission Factor ของรถบรรทุกตักกิโลเมตร

4. การติดตั้ง

4.1 คำนวณน้ำมันที่ใช้ในการติดตั้งเสาเข็มเหล็ก

5. สิ้นสุดอายุการใช้งาน

5.1 ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการของเสียและการรีไซเคิลของเสาเข็มเมื่อหมดอายุการใช้งาน

การเปรียบเทียบตามแนวทาง Life Cycle Assessment (LCA) พบว่า: เสาเข็มเหล็ก

สามารถลด Carbon Footprint ได้อย่างมีนัยสำคัญทั้งในกรณีโครงการขนาดเล็ก (โรงจอดรถ 1 โครง) และโครงการขนาดใหญ่ (87 ต้น) เสาเข็มเหล็กจะมี CFP ต่อโครงการที่ 67,929.56 เมื่อเทียบกับเสาเข็มที่ 188,931.12 kgCO₂-eq CFP รวมของโครงการลดลงถึง 64% ในแง่ของการออกแบบโครงสร้างเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Structural Design) การเลือกใช้เสาเข็มเหล็กจึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการก่อสร้าง

บทสรุป:

ขั้นตอน	เข็มหลัก	เสาเข็มปูน
ตั้งเป้าหมายและขอบเขต (Goal & Scope)	มุ่งเน้นการลดคาร์บอนและเพิ่มความเร็วในการติดตั้ง ลดค่าใช้จ่าย และ วัสดุติดสั่นเปลี่ยน	ฐานรากมาตรฐานทั่วไป เน้นความแข็งแรงทนทาน
การเก็บข้อมูลวัฏจักรชีวิต (LCA)	วัตถุดิบในการผลิต เสาเข็มเหล็ก, การผลิต และการประกอบ, การขนส่ง, การติดตั้ง, การนำกลับมาใช้ใหม่	วัตถุดิบในการผลิต เสาเข็มปูน, การผลิต ปูนซีเมนต์ และการผลิต เหล็กเสริม, กระบวนการหล่อเสาเข็ม, การขนส่ง, การติดตั้ง, การทำลายซาก

ที่มา: ผู้วิจัย

เปรียบเทียบเป้าหมาย ขอบเขต และ การเก็บข้อมูลวัฏจักรชีวิตของ เสาเข็มเหล็ก และ เสาเข็มปูน

3.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Life Cycle Assessment (LCA) และ Carbon Footprint Product (CFP) ของระบบก่อสร้างฐานรากทั้งสองรูปแบบ

3.3.1 ขั้นตอนที่ 1: การแยกองค์ประกอบของ LCA และ CFP และการระบุแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อเปรียบเทียบระบบฐานรากแบบเสาเข็มปูนและเสาเข็มเหล็กในเชิง Life Cycle Assessment (LCA) และ Carbon Footprint of Product (CFP) จึงได้แยกการวิเคราะห์เป็น 5 ระยะหลักดังนี้:

1. การได้มาซึ่งวัตถุดิบ

- 1.1 เสาเข็มปูน: ใช้วัตถุดิบหลักคือปูนซีเมนต์ เหล็กเสริม และน้ำ โดยเฉพาะปูนซีเมนต์ ซึ่งมีกระบวนการปล่อย CO₂ สูงมากในกระบวนการผลิต (Calcination)
- 1.2 เสาเข็มเหล็ก: ใช้เหล็กกล้ารีดร้อนซึ่งแม้จะมี CFP สูงต่อหน่วย แต่ใช้ปริมาณน้อยกว่า และสามารถรีไซเคิลได้มากกว่า

2. กระบวนการผลิต

- 2.1 เสาเข็มปูน: ต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการหล่อและบ่มเสาเข็ม รวมถึงการใช้แบบหล่อ เหล็ก และเชื้อเพลิง
- 2.2 เสาเข็มเหล็ก: มีขั้นตอนการตัด เชื่อม และประกอบ โดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าแต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า

3. การขนส่ง

- 3.1 เสาเข็มปูน: มีน้ำหนักมาก (มากกว่า 1 ตัน/ต้น) ทำให้ใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งสูงกว่า
- 3.2 เสาเข็มเหล็ก: น้ำหนักเบากว่า ขนส่งต่อเที่ยวได้มากกว่า และใช้พลังงานต่อหน่วยต่ำกว่า

4. การติดตั้ง

- 4.1 เสาเข็มปูน: ต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ เช่น ปั่นจั่น เจาะดิน ใช้พลังงานและแรงงานมากกว่า
- 4.2 เสาเข็มเหล็ก: ติดตั้งง่ายและเร็ว ใช้เครื่องจักรเบา เช่น แรงจันเกลียว ใช้เวลาน้อยลงและลดพลังงานลง
5. การรื้อถอนและการจัดการของเสีย
- 5.1 เสาเข็มปูน: ไม่สามารถรื้อถอนหรือรีไซเคิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้องใช้วิธีทุบและฝังกลบ
- 5.2 เสาเข็มเหล็ก: สามารถถอดออกและนำกลับมาใช้ใหม่หรือหลอมใหม่ได้ทันที

ในมุมมองของความต่าง Life Cycle Assessment (LCA) เป็นกระบวนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวงจรชีวิต ตั้งแต่การผลิต การใช้งาน จนถึงการจัดการของเสีย โดยครอบคลุมหลายด้าน เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้ทรัพยากร และมลพิษสิ่งแวดล้อม (ISO, 2006) ขณะที่ Carbon Footprint of Product (CFP) เป็นการวิเคราะห์เฉพาะด้านที่มุ่งเน้นการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂-eq) (ISO, 2018) กล่าวได้ว่า CFP เป็นหนึ่งในผลลัพธ์ของ LCA ซึ่งเน้นเฉพาะด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่านั้น (Wiedmann & Minx, 2008)

ขั้นตอน	เสาเข็มปูน: จุดปล่อยสูง	เสาเข็มเหล็ก: จุดเด่น
วัตถุดิบ	ปูนซีเมนต์ปล่อย CO ₂ สูง	ใช้เหล็กรีไซเคิลได้
ผลิต	ใช้พลังงานมาก, บ่มช้า	ประกอบด้วยเครื่องอัตโนมัติ
ขนส่ง	น้ำหนักมาก, เทียบขนส่งมาก	น้ำหนักเบา, ลดเที่ยวรถ
ติดตั้ง	ใช้ปั้นจั่น, ใช้พลังงานสูง	ใช้แรงคน + เครื่องจักรเบา
รื้อถอน	ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่	รีไซเคิลได้ 100%

ที่มา: ผู้วิจัย

ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 2 เปรียบเทียบขั้นตอนเสาเข็มปูน และ เสาเข็มเหล็ก

การเปรียบเทียบในเชิง LCA และ CFP แสดงให้เห็นว่า เสาเข็มเหล็ก มีประสิทธิภาพสูงกว่าทางด้านสิ่งแวดล้อม และมี CFP ต่อหน่วยต่ำกว่า ใช้จำนวนน้อยกว่า และกระบวนการติดตั้ง รวมถึงการรีไซเคิลที่ดีกว่า ดังนั้น เสาเข็มเหล็กจึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมในด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการออกแบบฐานรากที่ยั่งยืนในอนาคต

3.4 วิเคราะห์และศึกษาแนวทางการออกแบบเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การศึกษานี้มุ่งเน้นการออกแบบฐานรากที่ยั่งยืน โดยใช้เสาเข็มเหล็กกล้าแบบเกลียว (Steel Screw Pile) ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ (Reuse) เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวงจรชีวิตการใช้งาน

3.4.1 การเลือกกรณีศึกษา:

โครงการก่อสร้างที่มีลักษณะการใช้งานชั่วคราวและสามารถรื้อถอนเคลื่อนย้ายได้ เป็นเป้าหมายหลัก เช่น อาคารสำนักงานชั่วคราว งาน

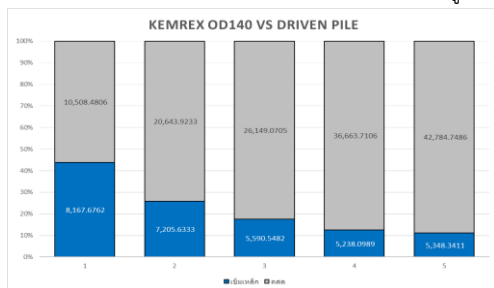
นิทรรศการ หรือโครงสร้างเบาในพื้นที่เข้าเมือง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมกับแนวคิดการใช้เสาเข็มที่สามารถถอดและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 2 รุ่นหลัก:

รุ่น D140 จำนวน 5 โครงการ เช่น ฐานรากรับเครนชั่วคราว, ออฟฟิศ ปตท., โครงสร้างสะพานเชื่อม กสทช. และ รุ่น D114 จำนวน 5 โครงการ เช่น ฐานรากรับระเบียงวัดธรรมกาย, เต้นท์อุ่นไอรัก, ฐานรับโครงหลังคา, Car Park

3.4.2 วิเคราะห์แนวทางการลด CFP

จากการนำเสาเข็มกลับมาใช้ซ้ำในหลายโครงการ พบว่า: การ reuse ช่วยลดการใช้วัสดุใหม่และหลีกเลี่ยงการผลิตซ้ำ, ลดขั้นตอนการรื้อถอนแบบทำลาย (Demolition) ที่ปล่อยคาร์บอนสูง, ลดปริมาณขยะจากงานก่อสร้าง, เสาเข็มเหล็กแบบเกลียวสามารถถอด เคลื่อนย้าย และติดตั้งใหม่ได้ทันที ทำให้ลดพลังงานและ CFP ในทุกกระบวนการ (โดยเฉพาะขั้นตอน End-of-Life)

ข้อเสนอแนวทาง ควรส่งเสริมการออกแบบที่วางแผน การรื้อถอนและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ตั้งแต่ต้นทาง (Design for Disassembly) รวมถึงการเลือกวัสดุที่สามารถหมุนเวียนการใช้งานได้ โดยเฉพาะในงานก่อสร้างชั่วคราวหรือเชิงพาณิชย์ที่มีการเปลี่ยนพื้นที่ใช้งานอยู่เสมอ



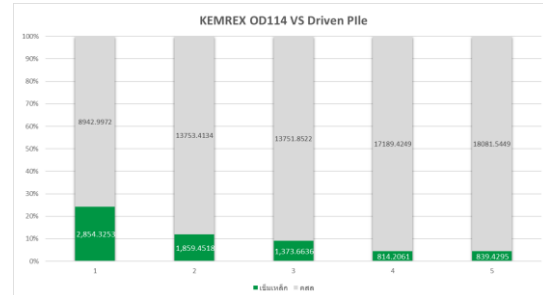
ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 3 D140

เปรียบเทียบ Carbon Footprint: เสาเข็มเหล็ก OD140 กับเสาเข็มตอก (Driven Pile) จากการวิเคราะห์กราฟแห่งเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CFP) ระหว่างเสาเข็มเหล็ก OD140 กับเสาเข็มตอก (Driven Pile) ในโครงการที่ศึกษา 5 โครงการ พบว่า: เสาเข็มเหล็ก OD140 มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าทุกกรณี ตัวเลขของ เสาเข็มเหล็ก (แถบสีน้ำเงิน) มีค่าระหว่าง 5,238–8,167 kgCO₂-eq ขณะที่เสาเข็มตอก (แถบสีเทา) มีค่าการปล่อย CFP สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญในทุกโครงการโดยอยู่ในช่วง 10,508–42,784 kgCO₂-eq ประสิทธิภาพในการลด CFP โครงการที่ 1: เสาเข็มเหล็ก ลด CFP ได้เกือบ 45% เมื่อเทียบกับเสาเข็มตอก โครงการที่ 5: ลดได้มากกว่า 88% จาก 42,784 เป็น 5,348 kgCO₂-eq แนวโน้มการลด CFP เพิ่มขึ้นตามขนาดของโครงการ ในโครงการขนาดใหญ่ (Case 4–5) ที่ใช้เสาเข็มจำนวนมาก การเลือกใช้ เสาเข็มเหล็ก ยิ่งช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ชัดเจนขึ้น

การใช้เสาเข็มเหล็กแบบเกลียวแทนเสาเข็มตอกแบบตอก (Driven Pile) ในโครงการก่อสร้างสามารถ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้

อย่างมีนัยสำคัญในทุกขั้นตอนของวงจรชีวิต ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การติดตั้ง จนถึงการรื้อถอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงการก่อสร้างชั่วคราวหรือที่ต้องการการรื้อถอนในอนาคต การใช้ เสาเข็มเหล็ก จึงเป็นแนวทางที่ตอบโจทย์ทั้งด้าน ความยั่งยืนและสิ่งแวดล้อม



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 4 D114

เปรียบเทียบ Carbon Footprint: เสาเข็มเหล็ก OD114 กับเสาเข็มตอก (Driven Pile) OD114 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าทุกกรณี เสาเข็มเหล็ก OD114 (แถบสีเขียว) มีค่าการปล่อย CFP ระหว่าง 814.2065 – 2,854.3255 kgCO₂-eq ขณะที่เสาเข็มตอก (แถบสีเทา) มีค่า CFP สูงกว่าในทุกเคส ตั้งแต่ 8,942.5972 – 18,081 kgCO₂-eq ประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โครงการที่ 1: ลดได้จาก 8,942 – 2,854 kgCO₂-eq (ลดลงประมาณ 68%) โครงการที่ 5: ลดได้จาก 18,081 – 839 kgCO₂-eq (ลดลงประมาณ 95%) เหมาะกับโครงการชั่วคราว โครงสร้างเบา หรือพื้นที่ที่ต้องการความยืดหยุ่นโดยเฉพาะกรณีที่มีแผนการรื้อถอนในอนาคต หรือมีข้อจำกัดเรื่องการขุดเจาะ จากการวิเคราะห์ค่า Carbon Footprint (CFP) เปรียบเทียบระหว่างเสาเข็มเหล็ก OD114 และเสาเข็มตอกแบบดั้งเดิม พบว่า เสาเข็มเหล็ก สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญในทุกกรณีศึกษา โดยลดได้ เฉลี่ยมากกว่า 68–90% ตามแต่ละโครงการ การเลือกใช้ เสาเข็มเหล็ก OD114 จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในเชิงสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในโครงการที่ต้องการความรวดเร็ว ลดผลกระทบต่อดิน และเน้นการออกแบบอย่างยั่งยืน

3.5 ประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างเสาเข็มเหล็ก

เกลียวและเสาเข็มคอนกรีต วิเคราะห์ผลกระทบต่อ Carbon Footprint ขององค์กร

3.5.1 ต้นทุนด้านการติดตั้ง

เสาเข็มคอนกรีต: ราคาวัสดุอาจถูกกว่าในหน่วยต่อเส้น แต่มีต้นทุนแฝงสูง เช่น ค่าขนส่ง (เนื่องจากน้ำหนักมาก), การเตรียมพื้นที่, เครื่องจักรหนัก และเวลาในการติดตั้งที่ยาวนาน

เสาเข็มเหล็ก: แม้จะราคาต่อเส้นอาจสูงกว่า แต่เมื่อลดต้นทุนด้านขนส่งและติดตั้งได้มากกว่า จึงมีความคุ้มค่ากว่าในภาพรวม โดยเฉพาะในพื้นที่ที่เข้าถึงยากหรือเวลาก่อสร้างจำกัด

3.5.2 การดำเนินการในไซต์งาน

เสาเข็มคอนกรีต: ต้องใช้รถติดตั้ง และ รถขนของ และ อุปกรณ์หลากหลายรูปแบบในการทำงาน ทั้งน้ำมัน พลังงานไฟฟ้า

เสาเข็มเหล็ก: ไม่ต้องใช้ปั้นจั่นหรือตอก ช่วยลดค่าเช่าเครื่องจักรพื้นที่เตรียมการ และต้นทุนพลังงานขณะติดตั้ง ใช้แรงงานน้อยกว่า เสริมไว้มากกว่า ส่งผลให้ต้นทุนรวมลดลง

3.5.3 อายุการใช้งานและค่าบำรุงรักษา

เสาเข็มคอนกรีต: มีความแข็งแรงทนทานต่อแรงกด แต่ไม่สามารถถอดหรือใช้งานซ้ำได้ และอาจเกิดปัญหาการแตกร้าวในระยะยาว

เสาเข็มเหล็ก: อายุการใช้งานขึ้นกับคุณภาพของเหล็กและระบบป้องกันสนิม (เช่น HDG - Hot Dip Galvanizing) สามารถถอดและนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง (reuse) ซึ่งเป็นมูลค่าเพิ่มระยะยาว

3.5.4 การลด CFP (Carbon Footprint) ขององค์กร

ลดการใช้คอนกรีต ลด CO₂ จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งปล่อย CO₂ สูงที่สุดในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ช่วยลดการใช้พลังงานติดตั้ง เสาเข็มเกลียวติดตั้งได้เร็วกว่า ลดเวลาทำงาน ลดการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องจักร ลดภาระด้านขนส่ง น้ำหนักเบา 2-4 เท่า ใช้รถขนาดเล็กลง เชื้อเพลิงน้อยลง ลด CO₂ จากการขนส่ง ทำให้งบประมาณในการใช้น้ำมัน และ วัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ น้อยลง ก็ทำให้ค่า Carbon Footprint Organization ลดลง

3.5.5 ข้อเสนอแนะเชิงกลยุทธ์

หน่วยงานที่ต้องการปรับตัวเข้าสู่ธุรกิจที่มีความยั่งยืนควรใช้ เสาเข็มเหล็กเกลียวในโครงการที่เหมาะสม เช่น โครงการชั่วคราว, งานในพื้นที่จำกัด, อาคารแบบ Modular หรือ Smart Construction, ช่วยให้ องค์กรสามารถรายงานการลด CFP ได้ในระดับโครงการ สนับสนุนการจัดทำ ESG Report หรือขอรับรอง Green Building

4. บทสรุป

การใช้เสาเข็มเหล็กแม้มีต้นทุนด้านเหล็กเริ่มต้นที่แพงกว่าในมุมของราคาเหล็ก แต่ในมุมของงานก่อสร้างสามารถช่วยลดต้นทุนรวมของโครงการ พร้อมลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเมื่อนำกลับมาใช้ซ้ำได้ จึงเหมาะสำหรับองค์กรที่ต้องการสร้างโครงสร้างแบบยั่งยืน (Sustainable Construction) เสาเข็มเหล็กตอบโจทย์ด้านประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย และขับเคลื่อนเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม เช่น Net Zero หรือ Carbon Neutrality

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณอย่างจริงใจต่อ บริษัท เข็มเหล็ก จำกัด (KEMREX Co., Ltd.) สำหรับการสนับสนุนด้านข้อมูลทางเทคนิค การให้ความรู้ด้านการออกแบบและการใช้งานเสาเข็มเหล็กเกลียว รวมถึงความเอื้อเฟื้อในการเข้าถึงข้อมูลภาคสนามและประสบการณ์การใช้งานจริง ซึ่งมีคุณูปการอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของงานวิจัยฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ

อาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่านจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ ศ.ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล, รศ.ดร. เสวกชัย ตั้งอรามวงศ์, ดร. นครินทร์ ศรีสุวรรณ, รศ.ดร. สราวุธ จิตงาม, และ คุณเชิงชาย ทิพย์วีรกุล สำหรับคำแนะนำทางวิชาการ องค์ความรู้ และแรงบันดาลใจที่มีคุณค่าอย่างยิ่งตลอดกระบวนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Building and Construction Authority. (2021). *Singapore green building masterplan*. BCA.
2. Curran, M. A. (2017). *Life Cycle Assessment Student Handbook*. Wiley.
3. EFFC/DFI. (2018). *Carbon calculator for foundation systems*. European Federation of Foundation Contractors.
4. Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., ... & Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
5. Garcia-Segura, T., Yepes, V., & Alcalá, J. (2014). Life cycle greenhouse gas emissions of blended cement concrete including carbonation and durability. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(1), 3–12. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0614-0>
6. Global Cement and Concrete Association. (2020). *Cement production and CO2 emissions*. GCCA.
7. Global Status Report for Buildings and Construction. (2020). *Buildings and climate change*.
8. Greenpeace Thailand. (2020). *รายงานสถานการณ์ฝุ่น PM2.5 ในประเทศไทย ปี 2563*. Retrieved from <https://www.greenpeace.org/thailand/>
9. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change and the construction industry*. IPCC.
10. IPCC. (2021). *Sixth Assessment Report: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
11. ISO. (2006). *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework (ISO 14040:2006)*. International Organization for Standardization.

12. ISO. (2006a). *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework (ISO 14040:2006)*. International Organization for Standardization.
13. ISO. (2006b). *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines (ISO 14044:2006)*. International Organization for Standardization.
14. ISO. (2012). *Environmental management — Life cycle assessment — Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to impact assessment situations (ISO/TR 14047:2012)*. International Organization for Standardization.
15. ISO. (2018). *Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification (ISO/TS 14067:2018)*. International Organization for Standardization.
16. ONEP. (2021). *Thailand Climate Change Master Plan and Carbon Neutrality Roadmap 2021–2070*. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning.
17. Pollution Control Department. (2023). *สถานการณ์ฝุ่นละอองในประเทศไทย ปี 2566. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*.
18. Sobiech, A. (2023). The environmental benefits of steel in construction. *Journal of Sustainable Building Practices*.
19. Sobiech, A. (2023). The environmental impact of recycled steel in construction. *Journal of Sustainable Construction*.
20. Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO). (2022). *Thailand Greenhouse Gas Emission Factor Database (Version 3.0)*. Retrieved from <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/>
21. United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
22. UNEP. (2021). *2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. United Nations Environment Programme. <https://globalabc.org/resources/publications/2021-global-status-report-buildings-and-construction>
23. University of Amsterdam. (2022). *Comparative study of steel and concrete piles*. UvA.
24. University of Amsterdam. (2022). *Steel vs. concrete: Carbon emissions in large-scale projects*.
25. Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A definition of 'carbon footprint'. In C. C. Pertsova (Ed.), *Ecological economics research trends* (pp. 1–11). Nova Science Publishers.
26. World Bank. (2021). *Integrated urban development and smart cities*. World Bank.
27. World Economic Forum. (2022). *Future cities: Smart infrastructure and climate adaptation*. WEF.
28. World Economic Forum. (2022). *The future of smart cities and climate resilience*. WEF.
29. World Steel Association. (2020). *Recycling steel for a sustainable future*. WSA.
30. World Steel Association. (2020). *The role of steel in sustainable construction*. WSA.
31. World Steel Association. (2021). *Sustainable Steel: Indicators 2021 and industry initiatives*. <https://worldsteel.org>