

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการก่อสร้างระบบรางในประเทศไทย
กรณีศึกษา โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่สายใต้ ช่วง นครปฐม-หัวหิน
Greenhouse Gas Emissions from Rail Infrastructure Construction in
Thailand Case Study Double Track Railway Project Southern Line:
Nakhon Pathom–Huahin Route

ปณิธิ นาก้อนทอง (Panithi Nakhonthong)^{1*} พีร์นิธิ อักษร (Preenithi Akson)**

(Received: August 9, 2022; Revised: November 15, 2022; Accepted: November 16, 2022)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตในโครงการก่อสร้างระบบรางภายในประเทศ ศึกษาจากโครงการกรณีศึกษา รถไฟทางคู่ ช่วง นครปฐม - หัวหิน จากการศึกษาพบว่าโครงการก่อสร้างปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 0.27 M ton CO₂eq โดยในช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้าง มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 96 และช่วงของการก่อสร้าง มีสัดส่วนเพียงร้อยละ 4 โดยเมื่อคิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อกิโลเมตรของทั้งโครงการจะได้ 2,941 ton CO₂eq ต่อกิโลเมตร ในการศึกษาแบ่งชนิดของงานก่อสร้าง ได้เป็น งานดิน งานระบบราง งานโครงสร้าง งานก่อสร้างอาคารสถานีและงานปรับปรุงสถานีรถไฟ เพื่อหากิจกรรมที่เป็นสาเหตุหลักในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละชนิดงาน อีกทั้งยังวิเคราะห์ความเข้มข้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละชนิดของงานก่อสร้าง โดยงานดินมีค่าความเข้มข้นในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ 11.51 ton CO₂eq ต่อล้านบาท งานราง 23.16 ton CO₂eq ต่อล้านบาท งานโครงสร้าง 50.71 ton CO₂eq ต่อล้านบาท และงานสถานี 36.90 ton CO₂eq ต่อล้านบาท

ABSTRACT

This research aimed to estimate greenhouse gas emissions by life cycle assessment at the rail system construction project case study the construction of a double-track railway Nakhon Pathom to Huahin project. The result revealed a total emission of approximately 0.27 mega ton of carbon dioxide equivalent. The production of material phase accounts for 96% and construction phase accounts for 4% of total greenhouse gas emissions. Greenhouse gas emissions per kilometer represent 2,941 ton CO₂eq per kilometer. In the research quantified greenhouse gas emissions from construction module covering earth work, tracks work, structure work and stations work to find the activities that are the main cause of greenhouse gas emissions in each construction module in addition the intensity of greenhouse gas emissions for each construction module were analyzed. The greenhouse gas emission intensity for earth work was 11.51 ton CO₂eq per million baht, track work 23.16 ton CO₂eq per million baht, structural work 50.71 ton CO₂eq per million baht, and station work 36.90 ton CO₂eq per million baht.

คำสำคัญ: การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟ การประเมินวัฏจักรชีวิต

Keywords: Greenhouse gas emissions assessment, Railway infrastructure, Lifecycle assessment

¹Corresponding author: preenithi@kku.ac.th

*นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ในปัจจุบันสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลกเพิ่มขึ้นจากการพัฒนาด้านเศรษฐกิจของมนุษย์ ก่อให้เกิดปัจจัยเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงด้านภูมิอากาศ มีแนวโน้มที่รุนแรงมากขึ้น อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้สภาพอากาศโดยเฉลี่ยร้อนขึ้น ปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของมนุษย์ในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [1] ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างเองขึ้นตอนและกระบวนการต่าง ๆ ใช้ทรัพยากรมากถึงร้อยละ 40 ของทรัพยากรทางเศรษฐกิจของโลก และปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากถึงร้อยละ 40 ถึง 50 [2] ดังนั้นอุตสาหกรรมการก่อสร้างจึงมีความพยายามศึกษาวิธีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานของโลก ด้วยเหตุนี้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างจึงมีความพยายามศึกษาวิธีการก่อสร้างรูปแบบใหม่ ๆ ที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ารูปแบบการก่อสร้างเดิม [3] ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน เช่น โครงการด้านการคมนาคม รถไฟฟ้าชานเมือง รถไฟทางคู่ โครงการพัฒนาท่าอากาศยาน โดยในการพัฒนาการขนส่งระบบรางนั้นมีเป้าหมายเพื่อที่จะเพิ่มศักยภาพการให้บริการขนส่งระบบราง ซึ่งระบบขนส่งทางรางสามารถประหยัดการใช้พลังงานของประเทศในระยะยาว และลดการปล่อยมลพิษทางอากาศได้ [4] จากรูปแบบการขนส่งต่าง ๆ การขนส่งระบบรางนั้นได้แสดงถึงศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่ารูปแบบการขนส่งอื่น ๆ [5] ในประเทศเกาหลีใต้ได้มีการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งระบบรถไฟความเร็วสูง โดยประมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งระบบรถไฟความเร็วสูง มีค่าประมาณ 1 ใน 6 ของการขนส่งโดยรถยนต์ส่วนตัว [6-7] ดังนั้นการขนส่งระบบรางจึงควรได้รับการสนับสนุนเพื่อระบบการขนส่งที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [8] อย่างไรก็ตามการที่จะบรรเทาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้างโครงการระบบขนส่ง จำเป็นที่จะต้องทำการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรหรือการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment) มาปรับใช้ [9] เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม ตั้งแต่ช่วงก่อนก่อสร้างหรือช่วงผลิตวัสดุก่อสร้าง การขนส่งวัสดุ การก่อสร้าง การใช้งาน รวมไปถึงช่วงการลื้อถอนและกำจัดซาก จากการประเมินวัฏจักรการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการก่อสร้างระบบรถไฟความเร็วสูง [10] กล่าวว่าโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานเป็นแหล่งก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจำนวนมาก สาเหตุหลักเกิดจากขั้นตอนการผลิตวัสดุก่อสร้างที่มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการก่อสร้างระบบรางในประเทศไทย โดยเลือกศึกษาจากโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงนครปฐม – หัวหิน เป็นโครงการพัฒนาทางเดินรถไฟ ระยะที่ 2 ในอนาคต รฟท. ต้องการที่จะเพิ่มทางเดินรถไฟให้เป็นรางคู่ให้เพิ่มขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะนำไปสู่การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรของโครงการระบบรางในอนาคต ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ของโครงการระบบรางที่มีต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างครอบคลุมต่อไป

ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานก่อสร้าง เพื่อที่จะเข้าใจในกระบวนการต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนิยมใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต ในการวิเคราะห์และติดตามปริมาณก๊าซเรือนกระจกในระดับโครงการจากการศึกษาของ [11] ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้วัสดุก่อสร้างของโครงการก่อสร้างถนนพิเศษ ได้สรุปว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการก่อสร้างถนนปล่อยก๊าซเรือนกระจก 7 ton CO₂e/q ต่อเมตร และเสนอแนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างเพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้วัสดุก่อสร้างในโครงการก่อสร้างถนน [6] ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการก่อสร้างระบบรถไฟความเร็วสูงแบ่งเป็นสองช่วงคือ การผลิตวัสดุก่อสร้าง และการก่อสร้าง โดยใช้ข้อมูลจาก BOMs หรือ Bill of Materials เป็นหลักในการประมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [10] ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการก่อสร้างระบบรถไฟความเร็วสูงโดยใช้การประเมินวัฏจักรแบบกระบวนการ หรือ Process Base LCA และแบ่งผลจากการประเมินเป็นส่วนตามประเภทงานในโครงการ เช่น งานวิศวกรรมโยธา งานสะพาน งานสถานี โดยวิจัยภายในประเทศไทยมีการใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตในโครงการ

ก่อสร้างโดยเป็นการประเมินในโครงการก่อสร้างอาคาร หรือบ้านพักอาศัย เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงการก่อสร้างอาคาร [9,12-14] ในงานวิจัยของ [15] ได้วิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ โดยวิเคราะห์เฉพาะงานดินสำหรับชั้นรองพื้นทางและงานระบบราง การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานในประเทศยังมีน้อย [12]

ในการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และประเมินหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโครงการก่อสร้างระบบรางภายในประเทศ โดยศึกษาจากโครงการรถไฟทางคู่ ช่วง นครปฐม - หัวหิน และแบ่งส่วนประกอบของงานก่อสร้างภายในโครงการได้ดังนี้ งานดิน งานราง งานโครงสร้าง งานก่อสร้างอาคาร สถานี

วิธีการวิจัย

ในบทนี้จะประกอบไปด้วยรายละเอียดโครงการการศึกษา ขั้นตอนเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่

1. ข้อมูลโครงการการศึกษา

โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงนครปฐม-หัวหิน สัญญาที่ 1 ช่วงนครปฐม-หนองปลาไหล เป็นโครงการก่อสร้างด้านคมนาคมขนาดใหญ่เพื่อพัฒนาการคมนาคมเส้นทางสายใต้ของประเทศ ซึ่งมีเจ้าของโครงการ คือ การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) มูลค่าโครงการ 8.198 พันล้านบาท ระยะเวลาดำเนินงาน 36 เดือน



ภาพที่ 1 ลักษณะเส้นทางโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วง นครปฐม - หัวหิน สัญญาที่ 1

ก่อสร้างทางรถไฟทางคู่เพิ่ม 1 ทาง ขนานเส้นทางรถไฟเดิม ขนาดทางกว้าง 1 เมตร มีจุดเริ่มต้นที่สถานีนครปฐม ผ่านพื้นที่ จังหวัดราชบุรี สมุทรสงคราม เพชรบุรี ระยะทางรวม 93 กิโลเมตร โดยมีรายละเอียดงานก่อสร้างดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณงานก่อสร้างของแต่ละประเภทหมวดงาน

หมวดงานในโครงการและงานย่อยในแต่ละงาน		ปริมาณงาน	หน่วย
งานดิน (Earth Work)	ดินตัด ดินถม	93	กิโลเมตร
งานราง (Track Work)	แบบหินโรยทาง	93	กิโลเมตร
งานโครงสร้าง (Structure Work)	สะพานกลับรถ	19	สะพาน
	สะพานทางข้าม	12	สะพาน
	สะพานรถไฟ ความยาว 5 - 25 เมตร	78	สะพาน
	สะพานรถไฟ พิเศษ	2	สะพาน
งานสถานี (Station Work)	งานอาคารสถานีขนาดใหญ่	1	อาคาร
	งานอาคารสถานีขนาดกลาง	2	อาคาร
	งานอาคารสถานีขนาดเล็ก	14	อาคาร

2. การเก็บข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ข้อมูลการใช้วัสดุในโครงการ และข้อมูลกิจกรรมของการทำงานก่อสร้าง โดยสรุปได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลจากเอกสารในโครงการก่อสร้าง โดยติดต่อขอข้อมูลและศึกษาสถานที่ก่อสร้างภายในโครงการ เมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2564 และมีตัวแทนโครงการได้รวบรวมส่งข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อส่งให้ภายหลัง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ได้เลือกใช้ฐานข้อมูลจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) และฐานข้อมูลของหน่วยงาน MTEC (Thai Lifecycle Inventory : TLCI) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลภายในประเทศ และได้นำฐานข้อมูลจากต่างประเทศที่เป็นที่ยอมรับมาใช้ในการวิจัยด้วย เช่น ฐานข้อมูลของ Inventory of Carbon and Energy (ICE) ของ University of Bath ดังแสดงในตารางที่ 2

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการใช้วัสดุในโครงการ (Construction Material Data) ข้อมูลส่วนนี้ได้จากเอกสารที่บันทึกไว้ในหน่วยงานก่อสร้างโดยตรงจากบริษัทผู้รับจ้างซึ่งเป็นข้อมูลการใช้วัสดุจริงในโครงการ และจากรายการวัสดุก่อสร้าง (Bill of Material) เพื่อใช้ในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้าง

ส่วนที่ 3 ข้อมูลกิจกรรมของการทำงานก่อสร้าง (Construction Activity Data) เพื่อนำไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้าง ในที่นี้จะหมายถึงกระบวนการทำงานของเครื่องจักรต่าง ๆ ภายในโครงการ โดยข้อมูลกิจกรรมของการทำงานก่อสร้างสามารถหาได้จากรายงานประจำวันของโครงการ รวมไปถึงการประมาณจากอัตราการการทำงานของเครื่องจักรจากงานวิจัยในกรณีที่มีข้อมูลที่ได้จากโครงการก่อสร้างไม่เพียงพอ

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ข้อมูลวัสดุก่อสร้าง และการใช้พลังงานในการก่อสร้าง

วัสดุก่อสร้างและ เชื้อเพลิงที่ใช้ในงานก่อสร้าง	ปริมาณ	หน่วย	ส.ป.ส การปล่อย ก๊าซเรือนกระจก*	ใช้ใน*	อ้างอิง
ทราย	71,579	ตัน	0.0037	E, St, S	[17]
วัสดุชั้นทาง	2.28	เมกะ ตัน	0.002	E	[19]
ซีเมนต์	54	ตัน	0.847	St, S	[17]

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ข้อมูลวัสดุก่อสร้าง และการใช้พลังงานในการก่อสร้าง (ต่อ)

วัสดุก่อสร้างและ เชื้อเพลิงที่ใช้ในงานก่อสร้าง	ปริมาณ	หน่วย	ส.ป.ส การปล่อย ก๊าซเรือนกระจก*	ใช้ใน*	อ้างอิง
เหล็กเสริมคอนกรีต	36,400	ตัน	2.770	T, St, S	[16]
เหล็กรูปพรรณ	1,002	ตัน	2.820	St, S	[16]
ราง	18,117	ตัน	1690.00	T	[20]
แผ่นเหล็กยัดราง	2,471	ตัน	1.690	T	[20]
แผ่นยางรองราง	275	ตัน	0.072	T	[20]
หินโรยทาง	0.79	เมกะ ตัน	0.037	T	[20]
แบบหล่อคอนกรีต	1,901	ตัน	8.630	St, S	[18]
อิฐมวลเบา	1,697	ตัน	0.220	S	[14]
กระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์	71	ตัน	0.490	S	[14]
กระเบื้องเซรามิค	22	ตัน	9.700	S	[21]
ฝ้ายปซั่ม	53	ตัน	0.338	S	[21]
สีทาอาคาร	105,243	ตร.ม	0.870	S	[21]
Stationary Combustion Diesel Oil	528,799	ลิตร	2.919	Et, St, S, T	[17]
Mobile Combustion (Off Road) Diesel Oil	3,030,116	ลิตร	2.7403	Et, St, S, T	[17]
Electricity, Grid mix	275,107	กิโล วัตต์	0.4999	Et, St, S, T	[17]

ส.ป.ส การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก* มีหน่วย kg CO₂e/Unit

ใช้ใน* หมายถึงการใช้วัสดุในงานก่อสร้างตามประเภทงานต่าง ๆ

E คือ Earth Work, St คือ Structure Work, S คือ Station Work, T คือ Track Work

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโครงการโดยคิดในหน่วย คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂eq) โดยตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ หรือ ยากที่จะทำการศึกษานี้เนื่องจากความซับซ้อนจะไม่ถูกนำมาคำนวณ ได้แก่ ค่าความสึกหรอของเครื่องจักร การใช้น้ำประปาในโครงการ แบ่งสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทงานดังภาพที่ 2 อ้างอิงสมการ IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้ได้อย่างหลากหลาย เพื่อให้ประเทศในภาคที่มีความแตกต่างกันด้านข้อมูลสามารถคำนวณได้ตามมาตรฐานเดียวกัน [22] ของ IPCC ในช่วงของการก่อสร้างจะมีสมการของ [6] ดังนี้

$$FC_i = H_i \times FE_i \quad (1)$$

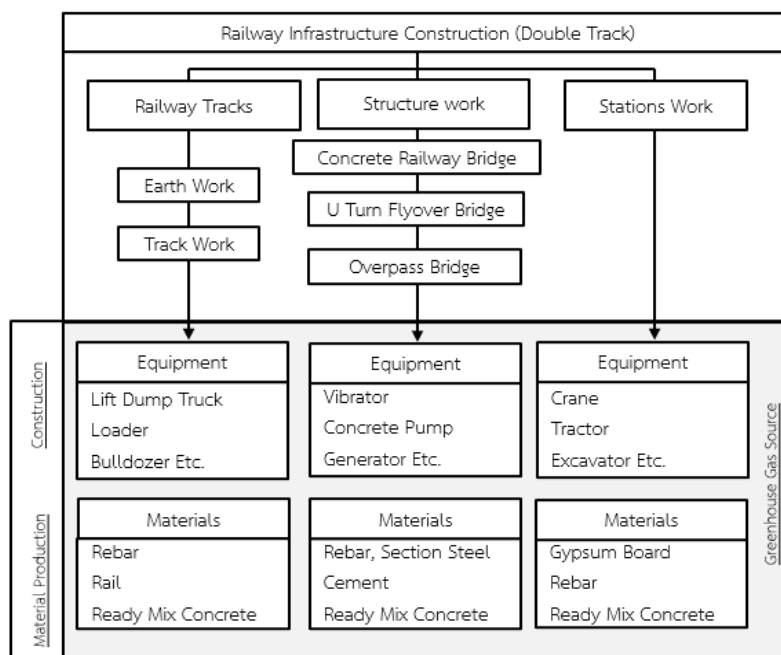
$$E_{f, GHG} = \sum_i FC_i \times EF_{fi, GHG} \quad (2)$$

โดยที่ FC_i จำนวนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือพลังงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง i ในโครงการก่อสร้างมีหน่วยเป็น Liter หรือ kWh และ H_i คือชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรภายในโครงการมีหน่วยเป็น ชั่วโมง และ FE_i คืออัตราการใช้พลังงานของเครื่องจักรภายในโครงการ โดยที่ $E_{f, GHG}$ คือปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่ถูกปล่อยจากเครื่องจักร และ $EF_{fi, GHG}$ ค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีหน่วยเป็น kg $CO_2e/liter$ หรือ kg CO_2e/kWh ซึ่งแสดงในตารางที่ 2 จะได้ค่าการปล่อยก๊าซจากช่วงการก่อสร้างที่แสดงในภาพที่ 3 และภาพที่ 4

ในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้างจะถูกคำนวณโดยการคูณปริมาณการใช้วัสดุกับสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังสมการที่ 3

$$E_{m, GHG} = \sum_i (Q_m \times EF_{mi, GHG}) \quad (3)$$

โดยที่ $E_{m, GHG}$ คือปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในช่วงผลิตวัสดุก่อสร้าง Q_m คือปริมาณการใช้วัสดุในโครงการก่อสร้างมีหน่วยเป็น Unit และ $EF_{mi, GHG}$ คือค่าสัมประสิทธิ์ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุก่อสร้างมีหน่วยเป็น kg $CO_2e/Unit$ ดังแสดงในตารางที่ 2 และจะได้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงผลิตวัสดุก่อสร้างดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 2 แสดงขอบเขตการหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทงาน

จากภาพที่ 2 แสดงถึงขอบเขตในการประเมินก๊าซเรือนกระจกโดยแบ่งประเภทงานในโครงการ ได้แก่ งานโครงสร้าง งานสถานีรถไฟ และงานระบบราง ซึ่งประกอบไปด้วย งานดิน งานราง ซึ่งขอบเขตในการประเมินจะแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่ ช่วงก่อสร้าง และช่วงผลิตวัสดุก่อสร้าง โดยแหล่งที่มาของก๊าซเรือนกระจกในช่วงก่อสร้างเกิดจากการใช้เครื่องจักรในงานก่อสร้าง และในช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้างเกิดจากวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในงานนั้น ๆ

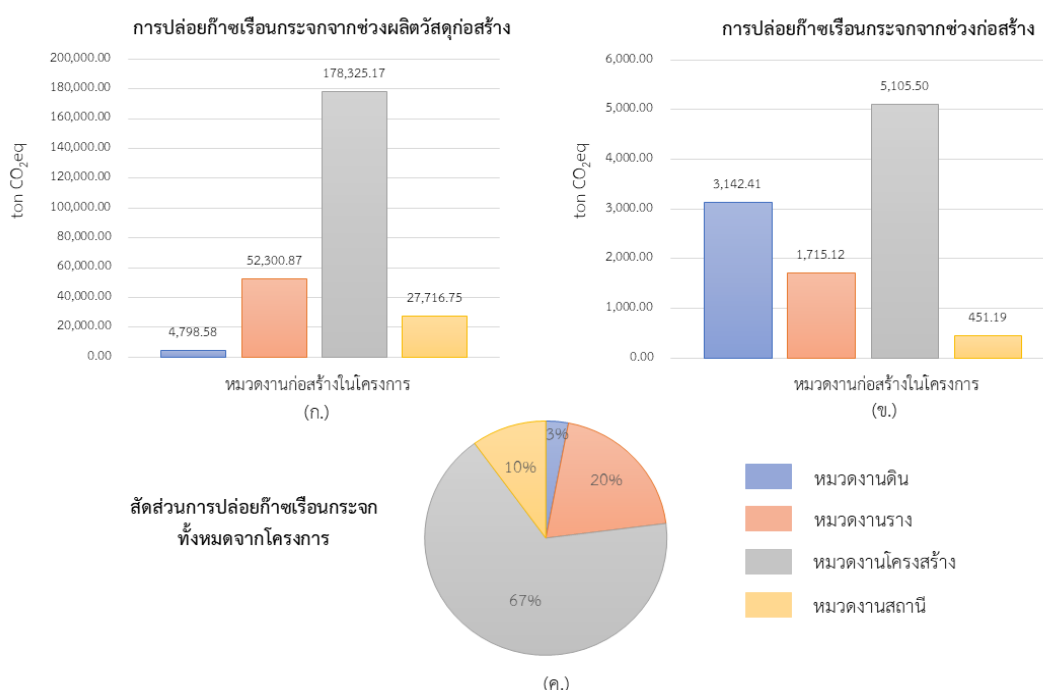
การวิเคราะห์ความเข้มข้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Intensity) จากโครงการก่อสร้าง [23] โดยมีสมการดังสมการที่ 4 เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดงานดังแสดงในภาพที่ 5

$$Emission\ Intensity = \frac{GHG_{emission}}{Construction_{cost}} \quad (4)$$

โดยที่ $GHG_{emission}$ คือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact) โดยตัวชี้วัดในด้านสิ่งแวดล้อมคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการ หน่วยเป็น $ton\ CO_2eq$ โดย $Construction_{cost}$ คือมูลค่าของงานก่อสร้าง มีหน่วยเป็น ล้านบาท

ผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า ทั้งโครงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 0.27 M $ton\ CO_2eq$ งานโครงสร้างปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในการคิดเป็นร้อยละ 67 ของทั้งโครงการ ในงานวางปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 20 งานสถานีปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 10 และสุดท้ายคืองานดินปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 3 โดยที่เมื่อคิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งโครงการต่อกิโลเมตรของจะได้ 2,941.46 $ton\ CO_2eq$ ต่อกิโลเมตร



ภาพที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด (ก) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงผลิตวัสดุก่อสร้าง
(ข) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงก่อสร้าง (ค) สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากโครงการ

งานดิน (Earth Work)

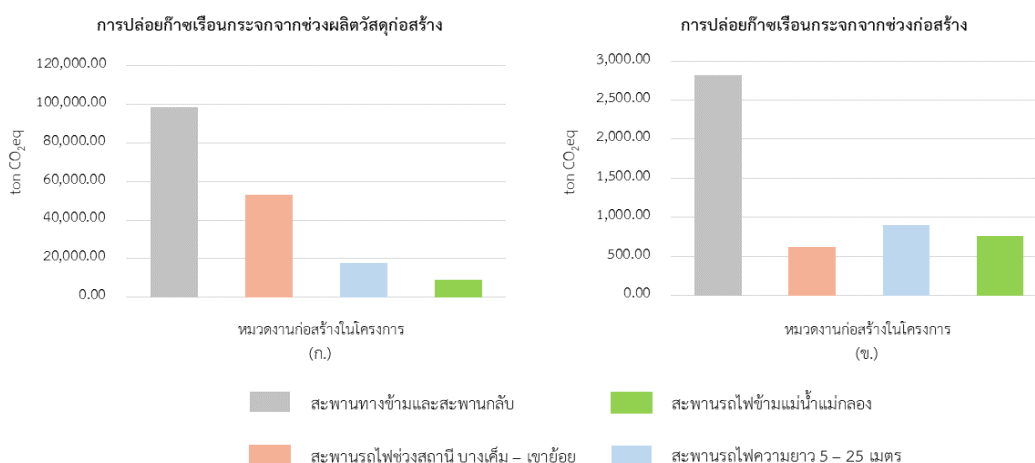
ในงานดินปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 3 ของทั้งโครงการ ช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้างปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากคิดเป็นร้อยละ 60 หรือ 4,799 ton CO₂eq โดยวัสดุดินถมปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 68 และวัสดุมวลรวมในชั้นรองหินโรยทางปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 22 ของวัสดุทั้งหมดในงานดิน ในช่วงก่อสร้างปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 40 หรือ 3,142 ton CO₂eq โดยกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ กิจกรรมการขนย้ายวัสดุมวลรวมจากที่กองเก็บมายังหน้างานโดยคิดเป็นร้อยละ 52 ของช่วงก่อสร้างในงานดิน เมื่อคิดต่อกิโลเมตรแล้วงานดินปล่อยก๊าซเรือนกระจก 85.40 ton CO₂eq ต่อกิโลเมตร

งานราง (Track Work)

งานรางเป็นหมวดงานที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับที่สองของทั้งโครงการคิดเป็นร้อยละ 20 โดยในช่วงผลิตวัสดุก่อสร้างปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 97 โดยวัสดุหลักที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ วัสดุราง และหมอนคอนกรีตซึ่งมีส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 59 และ 33 ตามลำดับ โดยวัสดุแผ่นยางรองหมอนเหล็กยึดราง และหินโรยปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมกันคิดเป็นร้อยละ 7 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุก่อสร้างในงานรางทั้งหมด ในช่วงการก่อสร้างงานรางปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 3 ซึ่งกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ กิจกรรมการขนย้ายหินโรยทางจากที่กองเก็บซึ่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1,106 ton CO₂eq ทำให้ในหมวดงานหินโรยทางมีส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในช่วงก่อสร้างคิดเป็นร้อยละ 69 เมื่อคิดต่อกิโลเมตรแล้วในงานรางปล่อยก๊าซเรือนกระจก 580.82 ton CO₂eq ต่อกิโลเมตร

งานโครงสร้าง (Structure Work)

งานโครงสร้างมีส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในโครงการคิดเป็นร้อยละ 67 ซึ่งเกิดจากการใช้วัสดุคอนกรีตผสมเสร็จและเหล็กเสริมคอนกรีตเป็นจำนวนมาก จากการศึกษา พบว่าในหมวดงานสะพานเป็นแหล่งที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในโครงการก่อสร้างระบบรถไฟความเร็วสูง [24] เห็นได้จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงของช่วงผลิตวัสดุก่อสร้างในงานโครงสร้างปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 0.18 M ton CO₂eq ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากงานโครงสร้าง (ก) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงผลิตวัสดุก่อสร้าง
(ข) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงก่อสร้าง

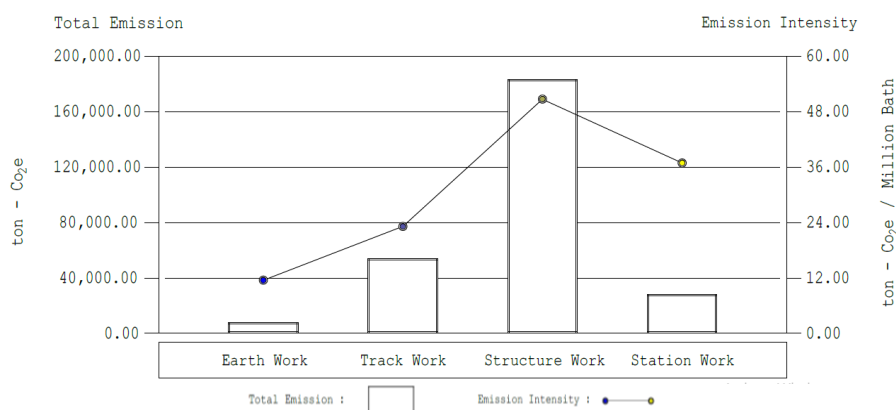
โดยในช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้างในงานสะพานทางข้ามและสะพานกลับรถปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากมากที่สุดถึงแสดงในภาพที่ 4 คิดเป็นร้อยละ 55 ของการใช้วัสดุในงานโครงสร้าง ในลำดับต่อมาคือสะพานรถไฟช่วงสถานี บางเค็ม - เขาย้อย คิดเป็นร้อยละ 30 งานสะพานรถไฟความยาว 5 - 25 เมตร และงานสะพานรถไฟข้ามแม่น้ำแม่กลอง คิดเป็นร้อยละ 10 และ 5 ตามลำดับ ในช่วงการก่อสร้าง มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 5,105.49 ton CO₂eq โดยในงานสะพานทางข้ามและสะพานกลับรถปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 55 ของทั้งหมดในช่วงก่อสร้าง เนื่องจากจำนวนของตัวสะพานและการก่อสร้างที่เป็นสะพานยกสูงข้ามจุดตัดรถไฟ สะพานรถไฟความยาว 5 - 25 เมตร และสะพานรถไฟช่วงสถานี บางเค็ม - เขาย้อย มีลักษณะเป็นสะพานประเภท I Girder ซึ่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 18 และ 12 ตามลำดับ ในงานสะพานรถไฟข้ามแม่น้ำแม่กลองมีลักษณะโครงสร้างเป็นสะพานแขวนมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 15

งานสถานี (Station Work)

ในงานสถานีปล่อยก๊าซเรือนกระจก 28,168 ton CO₂eq คิดเป็นร้อยละ 10 ของทั้งโครงการ ซึ่งในงานสถานีประกอบไปด้วยงานสถานีขนาดเล็กพื้นที่ 462 ตารางเมตร 14 สถานี สถานีขนาดกลางขนาดพื้นที่ 927 ตารางเมตร 2 สถานี และสถานีขนาดใหญ่ขนาดพื้นที่ 1,065.22 ตารางเมตร 1 สถานี ในช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้างงานสถานีขนาดเล็กปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 77 สถานีขนาดกลางคิดเป็นร้อยละ 15 และสถานีขนาดใหญ่คิดเป็นร้อยละ 8 ของช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้าง ซึ่งงานโครงสร้างอาคารเป็นสาเหตุหลักในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละสถานี โดยวัสดุที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือคอนกรีตผสมเสร็จ เหล็กเสริมคอนกรีต และเหล็กรูปพรรณ ในช่วงการก่อสร้างงานสถานีขนาดเล็กปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 73 สถานีขนาดกลางคิดเป็นร้อยละ 17 และสถานีขนาดใหญ่คิดเป็นร้อยละ 11 การใช้พลังงานรวมไปถึงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในขั้นตอนการก่อสร้างสถานีนั้นในงานโครงสร้างเป็นชนิดงานที่มีการพลังงานมากที่สุดในแต่ละชนิดอาคาร ด้วยวิธีการก่อสร้างที่เป็นแบบหล่อในที่ทำให้มีระยะเวลาในการเตรียมงานมากกว่าการก่อสร้างโครงสร้างแบบคอนกรีตสำเร็จรูป [25]

ความเข้มข้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Intensity)

จากโครงการก่อสร้างระบบราง โดยงานดิน มีค่าความเข้มข้นในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ 11.51 ton CO₂eq ต่อล้านบาท งานระบบราง มีค่าความเข้มข้นในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ 23.16 ton CO₂eq ต่อล้านบาท งานโครงสร้าง มีค่าความเข้มข้นในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ 50.71 ton CO₂eq ต่อล้านบาท ซึ่งมีความเข้มข้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในโครงการ และงานสถานีมีค่าความเข้มข้นในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ 36.90 ton CO₂eq ต่อล้านบาท ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดและความเข้มข้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ โดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตโครงการ หรือ LCA สามารถคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จากสมการที่ 2 และ 3 โดยมีตัวแปร คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และปริมาณการใช้พลังงานในโครงการก่อสร้าง รวมไปถึงปริมาณการใช้วัสดุก่อสร้างเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณ ซึ่งวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถชี้ให้เห็นถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนทั้งทางตรงหรือทางอ้อม ตั้งแต่ช่วงช่วงผลิตวัสดุก่อสร้าง การขนส่งวัสดุ การก่อสร้าง การใช้งาน รวมไปถึงช่วงการลื้อถอนและกำจัดซาก แต่ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตครอบคลุมหลายช่วงโครงการทำให้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเป็นจำนวนมาก ใช้เวลาในการคำนวณและรวบรวมผลการวิจัยจากการศึกษายังมีข้อจำกัดในด้านข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายในประเทศ ส่งผลให้ต้องใช้ฐานข้อมูลจากต่างประเทศเพิ่มเติม

จากการศึกษาพบว่าโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ ช่วง นครปฐม – หัวหิน มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 0.27 M ton CO₂eq ในช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้าง มีสัดส่วนร้อยละ 96 ในช่วงของการก่อสร้าง มีสัดส่วนเพียงร้อยละ 4 หมายความว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคืองานโครงสร้าง ปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 0.18 M ton CO₂eq คิดเป็นร้อยละ 67 ของทั้งโครงการ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากช่วงผลิตวัสดุก่อสร้างที่ร้อยละ 80 ถึง 93 และในช่วงก่อสร้างมีสัดส่วนที่ร้อยละ 4 ถึง 10 อีกทั้งการศึกษาชี้ชัดว่าในโครงการขุดดินงานที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคืองานสะพาน [6, 10, 24] จากการศึกษาของ Yuan Chang และ Shuhua Lei พบว่าในงานสะพานและรางน้ำปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 75 จากทั้งโครงการ เมื่อคิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อกิโลเมตรของทั้งโครงการจะได้ 2,941 ton CO₂eq ต่อกิโลเมตร ซึ่งจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อกิโลเมตรประมาณ 3,310 ถึง 32,790 ton CO₂eq ต่อกิโลเมตร โดยค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อกิโลเมตรขึ้นอยู่กับปริมาณงานในโครงการ โดยเฉพาะงานสะพานหรืองานอุโมงค์ จากงานวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อกิโลเมตร

ชนิดโครงการ ก่อสร้าง	ความยาวของ โครงการ	ก๊าซเรือนกระจกต่อกิโลเมตร	ความยาว งานสะพาน	ที่มา
รถไฟความเร็วสูง	725 กิโลเมตร	3,310 ton CO ₂ eq ต่อกิโลเมตร	15 %	[10]
รถไฟความเร็วสูง	185 กิโลเมตร	19,957 ton CO ₂ eq ต่อกิโลเมตร	40 %	[6]
รถไฟความเร็วสูง	281 กิโลเมตร	32,790 ton CO ₂ eq ต่อกิโลเมตร	75 %	[24]
รถไฟทางคู่	93 กิโลเมตร	2,941 ton CO ₂ eq ต่อกิโลเมตร	10 %	งานวิจัยนี้

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงการก่อสร้าง ปริมาณงาน และกิจกรรมที่เกิดขึ้นในงานก่อสร้าง แตกต่างไปตามภูมิประเทศ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงการก่อสร้างระบบรางภายในประเทศเพื่อเป็นตัวชี้วัดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเชิงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งการศึกษาวิจัยโครงการระบบรางภายในประเทศยังไม่ครอบคลุมถึงช่วงการใช้วัสดุก่อสร้าง และการก่อสร้างทั้งโครงการ [15-16] ซึ่งควรศึกษาเพิ่มเติมให้ครอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิต อีกทั้งยังควรศึกษาในโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ เช่น โครงการถนน โครงการสนามบิน

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากการกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรณิธิ อักษร อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ขอขอบพระคุณ การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) และผู้รับจ้าง บริษัท เอ.เอส.เอสโซซิเอต เอนิเนียริง (1964) จำกัด รวมไปถึง บริษัท เนวรัตน์ พัฒนาการ จำกัด (มหาชน) ที่ให้การต้อนรับเป็นอย่างดีในการเข้าศึกษาข้อมูลภายในโครงการก่อสร้างเป็นอย่างดี และมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่มอบทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). Low Carbon Society Guidebook. Low Carbon Society Guidebook. First Edition, Laksi District, Bangkok: Taweewat Printing Co., Ltd.;2015.
2. Seo MS, Kim T, Hong G, Kim H. On-site measurements of CO₂ emissions during the construction phase of a building complex. *Energies*. 2016 Jul 28;9(8):599.
3. Bamgbade JA, Nawi MN, Kamaruddeen AM. Construction Firms' Sustainability Compliance Level. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2017 Apr 1;12(2):126-136.
4. State Railway of Thailand. Railway Double track Infrastructure for Development. 6th ed; 2021
5. DALKMANN, Holger, et al. Keeping climate change solutions on track. The Role of Rail--A Global Position Paper, 2010.
6. Lee JY, Lee CK, Chun YY. Greenhouse gas emissions from high-speed rail infrastructure construction in Korea. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2020 Oct 1; 87:102514.
7. State Railway of Thailand. 122 Years and the future of SRT (State Railway of Thailand); 2019. 15 p.
8. Bueno G, Hoyos D, Capellán-Pérez I. Evaluating the environmental performance of the high-speed rail project in the Basque Country, Spain. *Research in Transportation Economics*. 2017; 62:44-56.
9. Aransiri K. Greenhouse Gas Emissions from Construction Materials and Processes. King Mongkut's University of Technology Thonburi/Bangkok. 2010.
10. Chang B, Kendall A. Life cycle greenhouse gas assessment of infrastructure construction for California's high-speed rail system. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2011 Aug 1;16(6):429-434.
11. Seo Y, Kim SM. Estimation of materials-induced CO₂ emission from road construction in Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013 Oct 1; 26:625-31.
12. Worapong N. A study of the construction process Reinforced concrete structure for residential houses with environmental impact using Carbon Footprint Assessment. Doctoral dissertation. Chulalongkorn University. 2018.
13. Panthong R. Greenhouse Gas Emissions and Energy Use in Residential Buildings: Construction and Residential Phase. King Mongkut's University of Technology Thonburi/Bangkok. 2014.

14. Rungreagthanaphol N. Greenhouse gas emission from construction and operation of Bann Pracharat Project of national housing authority. M.S. thesis, Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University. 2016.
15. Jiewboonchoo T. Application of a situation model to reduce the cost of greenhouse gas emissions and pollution caused by machinery in the railway construction process. Doctoral dissertation. Chulalongkorn University. 2018.
16. Hammond G, Jones C. Inventory of carbon & energy: ICE. Bath: Sustainable Energy Research Team. Department of Mechanical Engineering, University of Bath. 2008.
17. Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). Appraisal guidelines Product Carbon Footprint Vol 3. First Edition 3. Bangkok: Amarin Printing and Publishing Public Company Limited. 2011.
18. Ghayeb HH, Razak HA, Sulong NR. Evaluation of the CO₂ emissions of an innovative composite precast concrete structure building frame. *Journal of Cleaner Production*. 2020 Jan 1; 242:118567.
19. Song C, Gardner KH, Klein SJ, Souza SP, Mo W. Cradle-to-grave greenhouse gas emissions from dams in the United States of America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018 Jul 1; 90:945-956.
20. Kaewunruen S, Sresakoolchai J, Yu S. Global warming potentials due to railway tunnel construction and maintenance. *Applied Sciences*, 10(18), p.6459. 2020.
21. Suwan C, Somjai T. Comparative Greenhouse Gas Evaluation of House Construction: A Conventional House versus an Interlocking Block House. 2020.ISSN: 2465-4698. Thai.
22. Eggleston S, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2006.
23. Acquaye AA, Duffy AP. Input-output analysis of Irish construction sector greenhouse gas emissions. *Building and Environment*. 2010 Mar 1;45(3):784-791.
24. Chang Y, Lei S, Teng J, Zhang J, Zhang L, Xu X. The energy use and environmental emissions of high-speed rail transportation in China: A bottom-up modeling. *Energy*. 2019 Sep 1; 182:1193-1201.
25. Cole RJ. Energy and greenhouse gas emissions are associated with the construction of alternative structural systems. *Building and Environment*. 1998 May 1;34(3):335-348.