

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด

CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT OF THE CONSTRUCTION  
OF THE MAE TAENG – MAE NGAT WATER TUNNEL



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อม และการจัดการงานก่อสร้าง  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2567

KMITL-2023-EN-M-097-195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT OF THE CONSTRUCTION  
OF THE MAE TAENG – MAE NGAT WATER TUNNEL



AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
AND CONSTRUCTION MANAGEMENT  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2024

KMITL-2023-EN-M-097-195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แม่จัด
นักศึกษา	นายธนภูมิ ธนเสนีวัฒน์
รหัสประจำตัว	65016044
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อม และการจัดการงานก่อสร้าง
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ	รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ซึ่งเกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แม่จัด ซึ่งประกอบด้วยโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำด้วยวิธีเจาะระเบิด และการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำด้วยวิธี TBM เพื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการก่อสร้าง ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้น และต้นทุนทางคาร์บอนเครดิตโดยทำการคำนวณหาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในหน่วยตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลเมตร โดยพิจารณาจากแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งได้มาจากปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง การใช้พลังงานเชื้อเพลิง และการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินงานของเครื่องจักรในช่วงที่ทำการก่อสร้าง จากการคำนวณพบว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำด้วยวิธีเจาะระเบิด และ TBM มีค่าเท่ากับ 12,484 tCO<sub>2</sub>e/km และ 4,360 tCO<sub>2</sub>e/km ตามลำดับ ซึ่งปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงสุดของการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำด้วยวิธีเจาะระเบิดคือ การได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้างโดยมีสัดส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์อยู่ที่ 77 % เนื่องจากมีการใช้วัสดุประเภทคอนกรีต วัสดุที่ใช้ในการระเบิดอุโมงค์จำนวนมาก และปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำด้วยวิธี TBM คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินการของเครื่องจักร โดยมีสัดส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์อยู่ที่ 49 % เนื่องจากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมากในการดำเนินงานของเครื่องขุดเจาะ TBM และต้นทุนทางคาร์บอนเครดิตของการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำด้วยวิธีเจาะระเบิด และ TBM มีค่าเท่ากับ 2.37 ล้านบาท/km และ 0.83 ล้านบาท/km ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** การก่อสร้างอุโมงค์, คาร์บอนฟุตพริ้นท์, คาร์บอนเครดิต

<b>Independent Study</b>	CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT OF THE CONSTRUCTION OF THE MAE TAENG – MAE NGAT WATER TUNNEL
<b>Student</b>	Mr. Dhanabhum Tanaseneewat
<b>Student ID.</b>	65016044
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Civil Engineering Environmental Engineering and Construction Management
<b>Year</b>	2024
<b>Independent Study Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Laemthong Laokhongthavorn

### Abstract

This research aims to study and evaluate the carbon footprint from greenhouse gas emissions of the water tunnel construction in Mae Taeng - Mae Ngat. The scope of this work consists of the construction using the Drill and Blast method, and the TBM method. It is to compare the construction, the amount of carbon footprint, and the cost of carbon credits. They are considered from the source of greenhouse gases, which are derived from the amount of materials used in construction, fuel consumption, and the use of electrical energy to operate machinery during construction. The study finds that the TBM method has a significantly lower carbon footprint (4,360 tCO<sub>2</sub>e/km) compared to the Drill and Blast method (12,484 tCO<sub>2</sub>e/km). In the blast drilling method, the main culprit for emissions is construction materials (77%), primarily concrete. Whereas the TBM method, the dominant source of emissions is electrical energy consumption (49%) to power the machinery. Moreover, the Drill and Blast has a higher cost amount to 2.37 million baht/km. compared to TBM amount to 0.83 million baht/km.

**Keywords:** Tunnel construction, Carbon footprint, Carbon credits

## กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ให้ความรู้ความเข้าใจด้วยความมุ่งมั่น ตลอดจนคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาระหว่างการค้นคว้าอิสระครั้งนี้ประสบความสำเร็จ และ รศ.ดร.วิรุฬห์ คำชุม ผู้คอยให้คำปรึกษาทางด้านวิศวกรรมอุโมงค์ ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระที่ช่วยให้คำแนะนำ เพื่อปรับปรุงการค้นคว้าอิสระให้มีความถูกต้องและครบถ้วนสมบูรณ์ และคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ทั้งด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป ประสบการณ์ และคำแนะนำสำหรับการค้นคว้าอิสระให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่คอยให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ และช่วยเหลือในการค้นคว้าอิสระ รวมถึงการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ตลอดระยะเวลาที่ได้เข้ามาศึกษาในสาขาวิชานี้

ขอขอบคุณ คุณชินธีรา บัวทอง และคุณดนุฑ์พงษ์ โพธิ์สีตางส์ จาก บริษัท ไรท์ทันเน็ลลิง จำกัด (มหาชน) ที่ได้กรุณาให้ข้อมูลและคำปรึกษาเพื่อการศึกษาค้นคว้าอิสระของข้าพเจ้าด้วยความเป็นจริงและครบถ้วน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในการศึกษาเล่าเรียนของข้าพเจ้ามาโดยตลอด หากไม่มีท่านคอยสนับสนุน การศึกษาค้นคว้าอิสระเล่มนี้คงไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ธนภูมิ ธนเสนีวัฒน์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas).....	6
2.2 ภาวะโลกร้อน (Global Warming).....	6
2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change).....	6
2.4 ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP).....	7
2.5 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint).....	7
2.6 ประเภทการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	7
2.7 รูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	8
2.8 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก.....	8
2.9 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	9
2.10 หน่วยการทำงาน.....	9
2.11 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์.....	9
2.12 การแปรผลลัพท์ของคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	10
2.13 ภาษีคาร์บอนในประเทศไทย.....	10
2.14 ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality).....	10
2.15 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions).....	11
2.16 คาร์บอนเครดิต (Carbon Credit).....	11
2.17 ตลาดคาร์บอน (Carbon Market).....	12
2.18 วิธีการก่อสร้างอุโมงค์.....	12
2.19 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	16
3.1 การกำหนดโครงการก่อสร้างที่ใช้ในการศึกษาและข้อมูลทั่วไปของโครงการ.....	16
3.2 ข้อมูลทางธรณีวิทยาของโครงการ.....	17
3.3 รูปแบบการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการ.....	18
3.4 สรุปรูปแบบการเลือกขอบเขตของโครงการ.....	22
3.5 รูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในงานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด.....	22
3.6 เป้าหมายและขอบเขตของโครงการที่ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	23
3.7 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	24
3.8 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และราคาคาร์บอนเครดิต.....	24
3.9 การแปลผล.....	25
บทที่ 4 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดด้วยวิธีการ เจาะระเบิด (Drill And Blast).....	26
4.1 รูปแบบการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำที่ทำการศึกษา.....	26
4.2 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการประเมิน.....	27
4.2.1 กำหนดเป้าหมายการประเมิน.....	27
4.2.2 กำหนดรูปแบบการประเมิน.....	27
4.2.3 กำหนดระบบผลิตภัณฑ์.....	27
4.2.4 หน่วยการทำงาน.....	27
4.2.5 กำหนดขอบเขตของระบบ.....	28
4.2.6 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก.....	28
4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	28
4.4 ข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการเจาะระเบิด.....	29
4.4.1 ข้อมูลกิจกรรมงานเจาะระเบิด.....	29
4.4.2 ข้อมูลกิจกรรมงานดาตอุโมงค์คอนกรีต.....	34
4.5 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	37
4.5.1 ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรมงานเจาะระเบิด.....	38
4.5.2 ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรม งานดาตอุโมงค์คอนกรีต.....	39
4.6 การแปลผลลัพธ์ของคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	40
บทที่ 5 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดด้วยวิธีการ Tunnel Boring Machine (TBM).....	42

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 รูปแบบการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำที่ทำการศึกษา.....	42
5.2 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการประเมิน.....	43
5.2.1 กำหนดเป้าหมายการประเมิน.....	43
5.2.2 กำหนดรูปแบบการประเมิน.....	43
5.2.3 กำหนดระบบผลิตภัณฑ์.....	43
5.2.4 หน่วยการทำงาน.....	43
5.2.5 กำหนดขอบเขตของระบบ.....	44
5.2.6 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก.....	44
5.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	44
5.4 ข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการ TBM.....	45
5.5 ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรมงาน TBM.....	50
5.6 การแปลผลลัพธ์ของคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	51
บทที่ 6 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับคาร์บอนเครดิตและเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด.....	53
6.1 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อคาร์บอนเครดิตและเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด ในการศึกษา.....	53
6.2 ผลการเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการสร้างอุโมงค์จากในไทยและต่างประเทศ.....	56
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	58
7.1 สรุปผลการวิจัย.....	58
7.8 ข้อเสนอแนะ.....	58
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินงานของเครื่องจักร.....	62
ประวัติผู้เขียน.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกในช่วงเวลา 100 ปี.....	7
ตารางที่ 4.1	รายละเอียดของงานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการเจาะระเบิด.....	28
ตารางที่ 4.2	แหล่งที่มาของการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	29
ตารางที่ 4.3	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน เม.ย. 62.....	29
ตารางที่ 4.4	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน พ.ค. 62.....	30
ตารางที่ 4.5	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน มิ.ย. 62.....	31
ตารางที่ 4.6	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน ก.ค. 62.....	32
ตารางที่ 4.7	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน ส.ค. 62.....	33
ตารางที่ 4.8	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน ก.ย. 62.....	34
ตารางที่ 4.9	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานดาดอุโมงค์ เดือน ม.ค. 63.....	35
ตารางที่ 4.10	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานดาดอุโมงค์ เดือน ก.พ. 63.....	35
ตารางที่ 4.11	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานดาดอุโมงค์ เดือน มี.ค. 63.....	36
ตารางที่ 4.12	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานดาดอุโมงค์ เดือน เม.ย. 63.....	36
ตารางที่ 4.13	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานดาดอุโมงค์ เดือน พ.ค. 63.....	37
ตารางที่ 4.14	ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานดาดอุโมงค์ เดือน มิ.ย. 63.....	37
ตารางที่ 4.15	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานเจาะระเบิด.....	38
ตารางที่ 4.16	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานดาดอุโมงค์คอนกรีต.....	39
ตารางที่ 4.17	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางของอุโมงค์แบบเจาะระเบิด.....	40
ตารางที่ 5.1	รายละเอียดของงานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการ TBM.....	44
ตารางที่ 5.2	แหล่งที่มาของการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 5.3 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ก.ค. 65.....	45
ตารางที่ 5.4 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ส.ค. 65.....	46
ตารางที่ 5.5 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ก.ย. 65.....	47
ตารางที่ 5.6 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ต.ค. 65.....	48
ตารางที่ 5.7 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน พ.ย. 65.....	49
ตารางที่ 5.8 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ธ.ค. 65.....	50
ตารางที่ 5.9 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงาน TBM.....	51
ตารางที่ 5.10 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางของอุโมงค์แบบ TBM.....	52
ตารางที่ 6.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และค่าใช้จ่ายในการซื้อ คาร์บอนเครดิต.....	53
ตารางที่ 6.2 รายละเอียดและผลการเปรียบเทียบของอุโมงค์ต่างๆ.....	57
ตารางผนวกที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก.....	63
ตารางผนวกที่ 2 รายละเอียดระยะทางในการก่อสร้าง วัสดุ และการใช้พลังงานไฟฟ้า ช่วงงานเจาะระเบิด (เม.ย. - ก.ย. 62).....	64
ตารางผนวกที่ 3 รายละเอียดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลช่วงงานเจาะระเบิด (เม.ย. - ก.ย. 62).....	64
ตารางผนวกที่ 4 รายละเอียดวัตถุดิบ และไฟฟ้าช่วงงานตาดอุโมงค์ (ม.ค. - มิ.ย. 63).....	65
ตารางผนวกที่ 5 รายละเอียดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลช่วงงานตาดอุโมงค์ (ม.ค. - มิ.ย. 63).....	66
ตารางผนวกที่ 6 รายละเอียดระยะทางในการก่อสร้าง วัตถุดิบ และไฟฟ้า ช่วงงาน TBM (ก.ค. - ธ.ค. 65).....	67
ตารางผนวกที่ 7 รายละเอียดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลช่วงงาน TBM (ก.ค. - ธ.ค. 65).....	67

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปภาพที่ 1.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 3
รูปภาพที่ 2.1	ปริมาณการซื้อขายและราคาคาร์บอนเครดิตของประเทศไทย..... 11
รูปภาพที่ 2.2	วิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบเจาะระเบิด..... 13
รูปภาพที่ 2.3	Tunnel Boring Machine..... 13
รูปภาพที่ 3.1	ตำแหน่งที่ตั้งอุโมงค์ส่งน้ำช่วงแม่แตง - แม่จัด..... 17
รูปภาพที่ 3.2	แผนที่ธรณีวิทยาทั่วไปบริเวณที่ตั้งโครงการฯ..... 18
รูปภาพที่ 3.3	ลักษณะอุโมงค์ของการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการเจาะระเบิด..... 19
รูปภาพที่ 3.4	การเจาะระเบิดและขยายผนังอุโมงค์ของวิธีการเจาะระเบิด..... 19
รูปภาพที่ 3.5	การติดตั้งซัพพอร์ตและคาดคอนกรีตอุโมงค์..... 20
รูปภาพที่ 3.6	การหล่อผนังอุโมงค์ของวิธีการ TBM..... 20
รูปภาพที่ 3.7	ลักษณะการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยการใช้เครื่องจักร TBM..... 21
รูปภาพที่ 3.8	ลักษณะการประกอบผนังอุโมงค์และการลำเลียงเศษหินของเครื่องจักร TBM..... 21
รูปภาพที่ 3.9	ขอบเขตของการศึกษาอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ..... 22
รูปภาพที่ 3.10	ผังกระบวนการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดที่ใช้ในการประเมิน..... 23
รูปภาพที่ 4.1	อุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดชนิดการเจาะระเบิด (Drill and Blast)..... 26
รูปภาพที่ 4.2	แผนผังกระบวนการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำที่ใช้ในการประเมิน..... 27
รูปภาพที่ 4.3	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานเจาะระเบิด..... 38
รูปภาพที่ 4.4	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานคาดอุโมงค์คอนกรีต..... 39
รูปภาพที่ 4.5	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางของอุโมงค์แบบเจาะระเบิด..... 41
รูปภาพที่ 5.1	อุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดชนิด Tunnel Boring Machine (TBM)..... 42
รูปภาพที่ 5.2	แผนผังกระบวนการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำที่ใช้ในการประเมิน..... 43
รูปภาพที่ 5.3	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงาน TBM..... 51
รูปภาพที่ 5.4	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางของอุโมงค์แบบ TBM..... 52
รูปภาพที่ 6.1	การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำ แม่แตง - แม่จัด..... 54
รูปภาพที่ 6.2	สัดส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีเจาะระเบิด..... 55
รูปภาพที่ 6.3	สัดส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี TBM..... 55
รูปภาพที่ 6.4	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตร..... 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัญหาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กวังในปัจจุบันนั้น เกิดจากความต้องการใช้น้ำในลุ่มน้ำมีมากกว่าปริมาณน้ำต้นทุนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธาราโดยเฉพาะการใช้น้ำด้านการเกษตรที่มีปริมาณมากขึ้นในฤดูแล้ง ทำให้มีปัญหการขาดแคลนน้ำที่รุนแรงมากขึ้น [1] กรมชลประทานจึงได้พิจารณาการพัฒนาโครงการเพิ่มปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา เขื่อนแม่กวงอุดมธารา และการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำแม่แตง ลุ่มน้ำแม่จัด และลุ่มน้ำแม่กวัง จึงได้มีแผนการเพิ่มปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธาราโดยมีแนวทางการพัฒนาเป็น 2 ช่วงคือ อุโมงค์ส่งน้ำช่วงแม่จัด-แม่กวัง และอุโมงค์ส่งน้ำช่วงแม่แตง-แม่จัด

สภาวะโลกร้อน (Global Warming) เป็นปัญหาใหญ่ที่ทั่วทั้งโลกกำลังเผชิญคือการที่อุณหภูมิของโลกนั้นปรับตัวสูงขึ้นโดยมีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ซึ่งโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ก็เป็นหนึ่งในสาเหตุของการปล่อยมลพิษและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นจำนวนมากจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการก่อสร้างและการดำเนินการ เช่น การผลิตวัสดุก่อสร้าง กิจกรรมก่อสร้าง การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องจักร การขนส่ง หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้าง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้าง โดยประเทศไทยได้มีการลงนามในข้อตกลงปารีส (Paris Agreement) ใน COP 25 ภายใต้เงื่อนไขเพื่อเริ่มลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในสภาวะความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปีค.ศ. 2050 และมีเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ร้อยละ 30-40 ภายในปีค.ศ. 2030 [2]

ปัจจุบันกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมในต่างประเทศ เริ่มมีการบังคับใช้การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (EIA) ซึ่งแผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558 – 2593 ของประเทศไทย ได้มีการให้ศึกษาความเหมาะสมของการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการกำหนดมาตรการในการลดก๊าซเรือนกระจกในการจัดทำรายการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม (EIA) ในโครงการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างในประเทศไทยนั้นยังไม่มีรูปแบบที่ชัดเจนเนื่องจากข้อกั้ดหลายปัจจัย เช่น การกำหนดขอบเขตของการประเมิน เนื่องจากในโครงการก่อสร้างนั้นมีรูปแบบที่เฉพาะ และมีความซับซ้อนที่แตกต่างกันออกไป รวมถึงวิธีการก่อสร้างที่แตกต่างกัน ปัจจัยอื่นๆ ภายนอก เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะทางธรณีวิทยา สภาพภูมิอากาศ เป็นต้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะให้ความสำคัญถึงการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง-แม่จัดโดยใช้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เป็นแนวทาง เพื่อหาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้น และนำผลที่ได้จากการประเมินมาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์เกี่ยวกับลักษณะของงานก่อสร้างประเภทอุโมงค์เพื่อช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นได้ และเป็นแนวทางสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะใกล้เคียงกันต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำช่วงแม่แตง - แม่จัด ในการสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการเจาะระเบิด (Drill and Blast) และด้วยวิธีการ Tunnel Boring Machine (TBM)
2. เพื่อเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์แบบ Drill and Blast (D&B) เทียบกับการก่อสร้างอุโมงค์ในแบบ Tunnel Boring Machine (TBM) กับงานวิจัยอื่น
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาค่าใช้จ่ายในการซื้อคาร์บอนเครดิต

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

สามารถกำหนดขอบเขตของการศึกษาได้ดังนี้

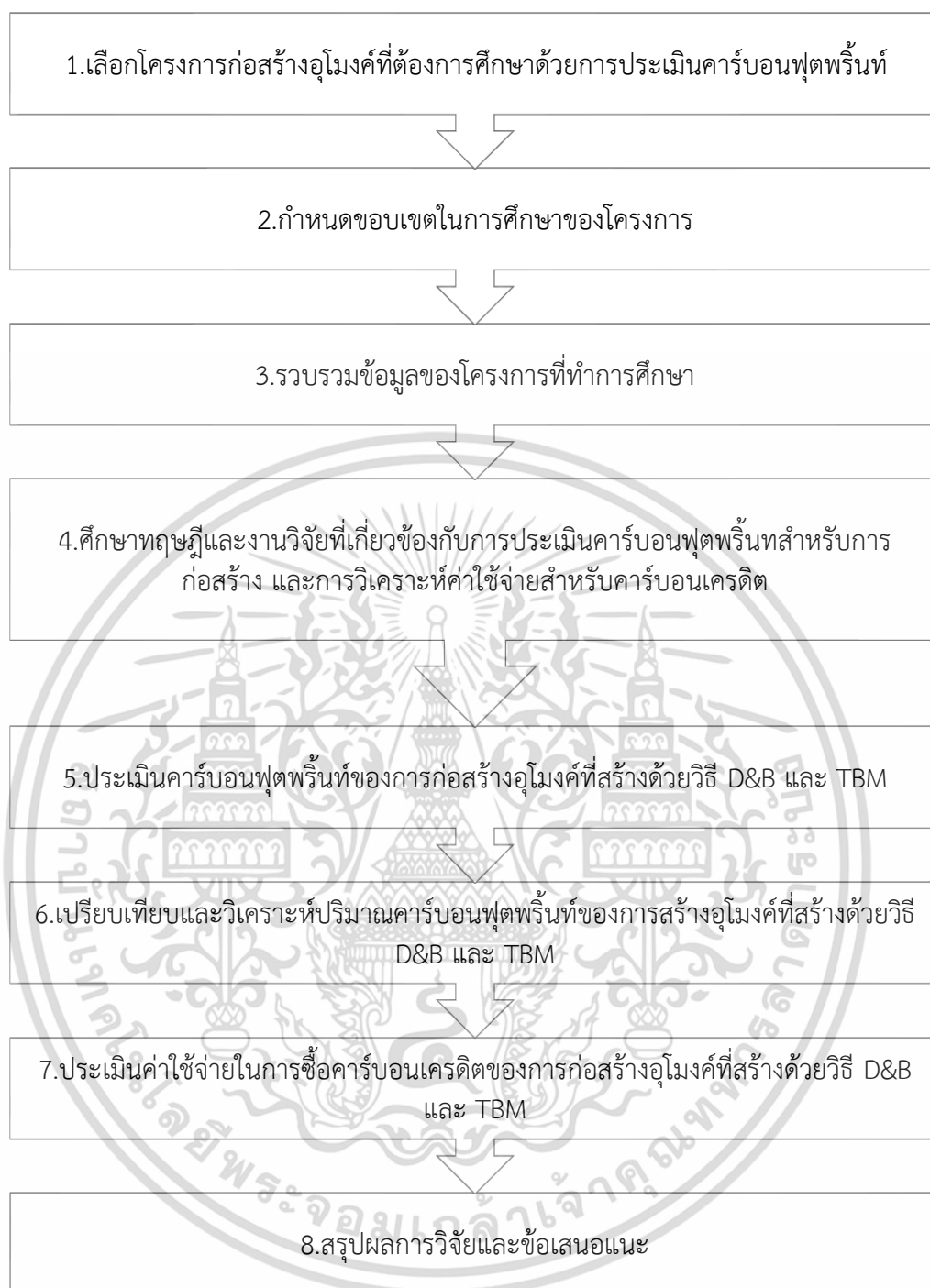
1. การก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด ในโครงการเพิ่มปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ ช่วงสัญญาที่ 1
2. การก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำช่วงแม่แตง - แม่จัด ประกอบด้วยการอุโมงค์แบบ Drill and Blast (D&B) และ Tunnel Boring Machine (TBM) จำนวน 2 จุด คือ กม.1+814.315 ถึง กม.2+339.315 ระยะทางรวม 525 เมตร และ กม.4+638.961 ถึง กม.5+357.149 ระยะทางรวม 708.19 เมตร
3. ใช้หลักจากการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA) และมีรูปแบบการประเมินแบบ Cradle-to-Gate โดยจะครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้างและติดตั้ง แต่ไม่รวมการนำไปใช้งานและการกำจัดของเสีย
4. ช่วงเวลาของข้อมูลที่ทำกรประเมินโครงการแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเดือนเมษายน 2562 - มิถุนายน 2563 และเดือนกรกฎาคม 2565 - ธันวาคม 2565

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

สามารถแสดงขั้นตอนการศึกษาได้ดังรูปที่ 1.1 และมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. เลือกโครงการก่อสร้างอุโมงค์ที่ต้องการศึกษาด้วยการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ได้เลือกโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดจัด เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ ช่วงสัญญาที่ 1 ที่มีลักษณะการก่อสร้างอุโมงค์แบบ Drill and Blast (D&B) และ Tunnel Boring Machine (TBM) เพื่อทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2. กำหนดขอบเขตในการศึกษาของโครงการ ในการศึกษาเพื่อประเมินหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยดำเนินการศึกษาค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก และวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายสำหรับคาร์บอนเครดิตต้องมีการกำหนดขอบเขตที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาเพื่อความชัดเจนและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

3. รวบรวมข้อมูลโครงการที่ทำการศึกษา ทำการรวบรวมแบบแสดงปริมาณงานและราคา แบบก่อสร้าง รายละเอียดต่าง ๆ บันทึกการใช้พลังงาน เชื้อเพลิงในกิจกรรมก่อสร้าง และชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในกิจกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับการก่อสร้าง และการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายสำหรับคาร์บอนเครดิต ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะโลกร้อน (Global Warming) กับก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) เพื่ออธิบายให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ส่งผลให้เกิดสภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ความหมายของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) และวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ความหมายของคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) และตลาดคาร์บอน (Carbon Market) รวมถึงความรู้เกี่ยวกับการก่อสร้างอุโมงค์ และการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการก่อสร้างต่าง ๆ

5. ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอุโมงค์ที่สร้างด้วยวิธี D&B และ TBM การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอุโมงค์ที่สร้างด้วยวิธี D&B และ TBM จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ระยะที่ก่อสร้างด้วยวิธีการสร้างแบบ D&B และระยะที่ก่อสร้างด้วยวิธี TBM โดยจะทำการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้จากกิจกรรมการดำเนินการก่อสร้าง ซึ่งผลลัพธ์จะอยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหนึ่งหน่วยระยะทาง (กิโลเมตร)

6. เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอุโมงค์ที่สร้างด้วยวิธี D&B และ TBM ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอุโมงค์ทั้ง 2 รูปแบบ คือ การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการ D&B และการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการ TBM จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

7. ประเมินค่าใช้จ่ายในการซื้อคาร์บอนเครดิตของการก่อสร้างอุโมงค์ที่สร้างด้วยวิธี D&B และ TBM นำผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอุโมงค์ทั้ง 2 แบบมาคูณกับราคาคาร์บอน (Carbon Price) ที่ซื้อขายในประเทศไทยเพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซื้อคาร์บอนเครดิตของการก่อสร้างอุโมงค์ทั้ง 2 แบบ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในหน่วยราคา (บาท)

8. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ เป็นการสรุปผลการวิจัยตั้งแต่การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด ด้วยวิธีการสร้างแบบ D&B และ TBM จนได้ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และประเมินค่าใช้จ่ายในการซื้อคาร์บอนเครดิตพร้อมข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ และเสนอแนะแนวทางเพื่อการวิจัยต่อไปในอนาคต

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เพื่อทราบถึงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดด้วยวิธีการก่อสร้างแบบเจาะระเบิด (Drill and Blast)
2. เพื่อทราบถึงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดด้วยวิธีการก่อสร้างแบบ Tunnel Boring Machine (TBM)
3. เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการได้มาซึ่งวัสดุและกิจกรรมภายในโครงการก่อสร้าง
4. เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในงานรูปแบบเดียวกันหรือลักษณะใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินค่าใช้จ่ายในการซื้อคาร์บอนเครดิต
6. เพื่อนำผลที่ได้จากการประเมินมาเป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกรูปแบบและวิธีการก่อสร้าง  
อุโมงค์ที่ช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซื้อคาร์บอนเครดิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ใช้สำหรับการศึกษาโดยมีเนื้อหาที่สำคัญ คือ สภาวะโลกร้อนกับก๊าซเรือนกระจกเพื่ออธิบายให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่งผลให้เกิดสภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ความหมายของคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวิธีการประเมิน ความหมายของคาร์บอนเครดิตและตลาดคาร์บอนรวมถึงความรู้เกี่ยวกับการก่อสร้างอุโมงค์ และการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการก่อสร้างต่าง ๆ เพื่อให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดของเนื้อหาดังต่อไปนี้

### 2.1 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas)

เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน ซึ่งมีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศโลกให้คงที่ [3] หากไม่มีก๊าซเรือนกระจกจะทำให้อุณหภูมิในตอนกลางคืนลดต่ำลง และหนาวจัดในตอนกลางวัน เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกจะทำการสะสมความร้อนในตอนกลางวัน และแผ่รังสีความร้อนออกมาในตอนกลางคืน แต่หากมีก๊าซเรือนกระจกมากเกินไปจะทำให้ชั้นบรรยากาศโลกกักเก็บรังสีความร้อนมากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของชั้นบรรยากาศสูงขึ้นทำให้เกิด “ภาวะโลกร้อน”

### 2.2 ภาวะโลกร้อน (Global Warming)

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นไปในชั้นบรรยากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้น เรียกว่า ภาวะโลกร้อน (Global Warming) [3] ก๊าซเรือนกระจกประกอบด้วยก๊าซที่สำคัญหลายชนิด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF<sub>6</sub>) ก๊าซโอโซน (O<sub>3</sub>) สารไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) และก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) และเรียกการปล่อยก๊าซเหล่านี้ว่า การปล่อยคาร์บอน (Carbon emission)

### 2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศคือผลจากการเกิดภาวะโลกร้อนในชั้นบรรยากาศในบรรยากาศใกล้ผิวโลกถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศ ดิน และน้ำ ทำให้เกิดกระแสลม วัฏจักรของน้ำ ฝน พายุ และความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโลก จึงส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศให้แปรปรวนไปจากเดิมและมีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้น [3] การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเกิดจากปริมาณความเข้มข้นของก๊าซบางชนิดในชั้นบรรยากาศที่เพิ่มมากขึ้น ก๊าซที่เก็บความร้อนเหล่านี้จะทวีความเข้มข้นมากยิ่งขึ้น เนื่องจากก๊าซกลุ่มนี้มีอยู่ทั่วไปคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ จากโรงงานไฟฟ้า ยานพาหนะ โรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ รวมถึงการตัดไม้ทำลายป่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP)

ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของโมเลกุล และอายุของก๊าซนั้นๆ [4] ในชั้นบรรยากาศโดยจะเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่น 20 ปี 50 ปี หรือ 100 ปี โดยจะคิดค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ในช่วงเวลา 100 ปี

ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) คำนวณได้จากปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่ปล่อยออกมาและแปลงค่าให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในรอบ 100 ปีของ IPCC (GWP 100)

ตารางที่ 2.1 ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกในช่วงเวลา 100 ปี

ก๊าซเรือนกระจก	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์)
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> )	1
มีเทน (CH <sub>4</sub> )	25
ไนตรัสออกไซด์ (N <sub>2</sub> O)	298
เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)	7,390-12,200
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs)	124-14,800
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF <sub>6</sub> )	22,800
ไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF <sub>3</sub> )	17,200

ที่มา : (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554)

## 2.5 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากผลิตภัณฑ์หรือกิจกรรมต่าง ๆ สู่บรรยากาศตลอดจนวัฏจักรของสินค้าหรือบริการตั้งแต่การจัดหาวัสดุ การขนส่ง การผลิต การประกอบชิ้นส่วน การจัดจำหน่าย การใช้งาน รวมถึงการจัดการซากบรรจุภัณฑ์หลังการใช้งาน [4] โดยคำนวณออกมาในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO<sub>2</sub> equivalent : CO<sub>2</sub>e)

## 2.6 ประเภทการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมี 3 ระดับ ตามลักษณะของวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน [5] ได้แก่

1. ระดับผลิตภัณฑ์ เป็นการใช้อัตราคาร์บอนฟุตพริ้นท์สื่อสารโดยตรงกับผู้บริโภค โดยแสดงไว้บนฉลากผลิตภัณฑ์
2. ระดับบริการ เพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นจากการบริการต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระดับองค์กร เป็นการส่งเสริมภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กรที่มีส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยทำการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของตนเอง แล้วทำรายงานประจำปี หรือรายงานสิ่งแวดล้อมองค์กร

## 2.7 รูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นหนึ่งในการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (EIA) ที่สามารถรายงานปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากแต่ละกิจกรรมย่อยตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ในการกำหนดขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต [5] ต้องระบุหน่วยกระบวนการพิจารณาในการศึกษารวมทั้งระบุสารขาเข้าและออกทั้งหมด โดยการประเมินสามารถดำเนินการด้วยหนึ่งในวิธีการดังต่อไปนี้

1. รูปแบบ Cradle-to-Gate (Business-to-Business: B2B) เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัสดุ การขนส่ง การผลิต จนถึงหน้าโรงงานพร้อมส่งออกหรือจนถึงเป็นสารขาเข้าของผู้ผลิตรายต่อไป ตามที่กำหนดใน PCRs ของแต่ละผลิตภัณฑ์ [5]
2. รูปแบบ Cradle-to-Grave (Business-to-Consumer: B2C) เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ขั้นตอนได้มาซึ่งวัสดุ การขนส่ง การผลิต การขนส่ง การกระจายสินค้า การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ [5]

## 2.8 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

คณะกรรมการด้านเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ได้พัฒนาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์และบริการ PAS 2050:2011 โดยมีเงื่อนไขและลักษณะการประเมินที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการต่าง ๆ [2] ที่พิจารณาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ 9 แหล่งและไม่พิจารณา 5 แหล่ง

แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่พิจารณาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มาจากกิจกรรมต่าง ๆ 9 แหล่ง คือ

- การผลิตวัตถุดิบที่ใช้ทุกประเภท
- การผลิตพลังงานที่ใช้ทุกประเภท
- กระบวนการเผาไหม้
- ปฏิกิริยาเคมี
- การสูญเสียน้ำยาทำความสะอาดและการรั่วไหลของก๊าซ
- การปฏิบัติงาน
- การขนส่งทุกประเภทที่เกี่ยวข้อง
- การปศุสัตว์และกระบวนการผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ
- ของเสียและการจัดการของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่ไม่นำมาพิจารณาในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มาจากกิจกรรมต่าง ๆ 5 แหล่ง คือ

- พลังงานของมนุษย์ที่ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ
- การเดินทางไป - กลับของลูกค้า
- การเดินทางไป - กลับของพนักงาน
- สินค้านำเข้า ได้แก่ เครื่องจักร อุปกรณ์ และอาคารสำนักงาน

## 2.9 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการประเมินตามรายการข้อมูลที่มีการระบุและกำหนดไว้ในขอบเขตของการประเมินโดยแหล่งที่มาของข้อมูล [5] ประกอบด้วย ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ดังนี้

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) หมายถึง ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ การวัดจริง การคำนวณ การสอบถามข้อมูล และการบันทึกข้อมูลโดยตรงขององค์กร หรือที่องค์กรสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ เช่น ปริมาณวัตถุดิบ ปริมาณไฟฟ้า ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง เป็นต้น

2. ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) หมายถึง ข้อมูลที่องค์กรไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ เช่น ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยสามารถใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ โดยเรียงลำดับดังนี้

- ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย
- ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย ซึ่งผ่านการกรองแล้ว
- ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป ได้แก่ LCA Software, ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรม, ฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ
- ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น IPCC, สหประชาชาติ

## 2.10 หน่วยการทำงาน

เป็นการกำหนดหน่วยที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลสิ่งป้อนเข้าและออกจากระบบ โดยผลการประเมินต้องอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยการทำงาน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการประเมินระหว่างระบบที่ต่างกัน [5]

## 2.11 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์

คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้จัดทำแนวทางการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จัดทำขึ้นโดยมีหลักการและวิธีการคำนวณที่สำคัญดังนี้ [5]

1. การคำนวณหาค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิที่ได้จากการกำหนดในบัญชีรายการข้อมูล (Inventory Data) มาคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยเอกสารนี้เป็น ก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ตามประเภทของวัสดุป้อนญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกชนิดต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณมาคูณกับค่า ศักยภาพการทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของก๊าซ โดยผลคำนวณที่ได้จะอยู่ในรูป คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

3. ผลลัพธ์จากการคำนวณทั้งหมดที่ได้จะต้องอยู่ในรูปของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยมีการประเมินตามสมการดังนี้

$$CFP = \sum GHG \quad (2.1)$$

$$GHG = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor} \quad (2.2)$$

โดย CFP คือ ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (KgCO<sub>2</sub>e)

GHG คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (KgCO<sub>2</sub>e)

Activity Data คือ ข้อมูลกิจกรรม เช่น ปริมาณวัตถุดิบ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง ของเสีย และระยะทางขนส่ง เป็นต้น

Emission Factor คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (KgCO<sub>2</sub>/หน่วย)

$\sum GHG$  คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากจำนวนกิจกรรมทั้งหมด

## 2.12 การแปรผลลัพธ์ของคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมาทำการวิเคราะห์และสรุปผลตามที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทราบ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือจากกระบวนการที่เกิดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงที่สุดเพื่อนำไปพัฒนาหรือปรับปรุง เพื่อให้ได้วิธีการที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## 2.13 ภาษีคาร์บอนในประเทศไทย

ประเทศไทยกำหนดการเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ในปี 2050 และการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emission) ภายในปี 2065 และรัฐบาลโดยกระทรวงการคลังอยู่ ระหว่างการศึกษาแนวทางการจัดเก็บภาษีคาร์บอน (Carbon Tax) ในกลุ่มสินค้าและบริการที่มีการปล่อย ก๊าซเรือนกระจก หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูง [6] โดยอัตราภาษีคาร์บอนในต่างประเทศที่มีการ จัดเก็บค่อนข้างแตกต่างกันตั้งแต่ 0.08 – 137 \$/tCO<sub>2</sub>

## 2.14 ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality)

เป็นการดำเนินกิจกรรม โครงการ หรือกิจกรรมขององค์กร หน่วยงาน หรือประเทศ ที่มีเป้าหมาย ในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศให้เทียบเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ที่ถูกดูดซับ กลับคืนมาโดยมีแนวทาง [7] คือ 1. การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้นทาง เช่น การใช้พลังงาน หมุนเวียน (Renewable Energy) แทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) 2. การชดเชยคาร์บอนเครดิต (Carbon Offsets) ด้วยการปลูกป่าหรือการซื้อคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.15 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions)

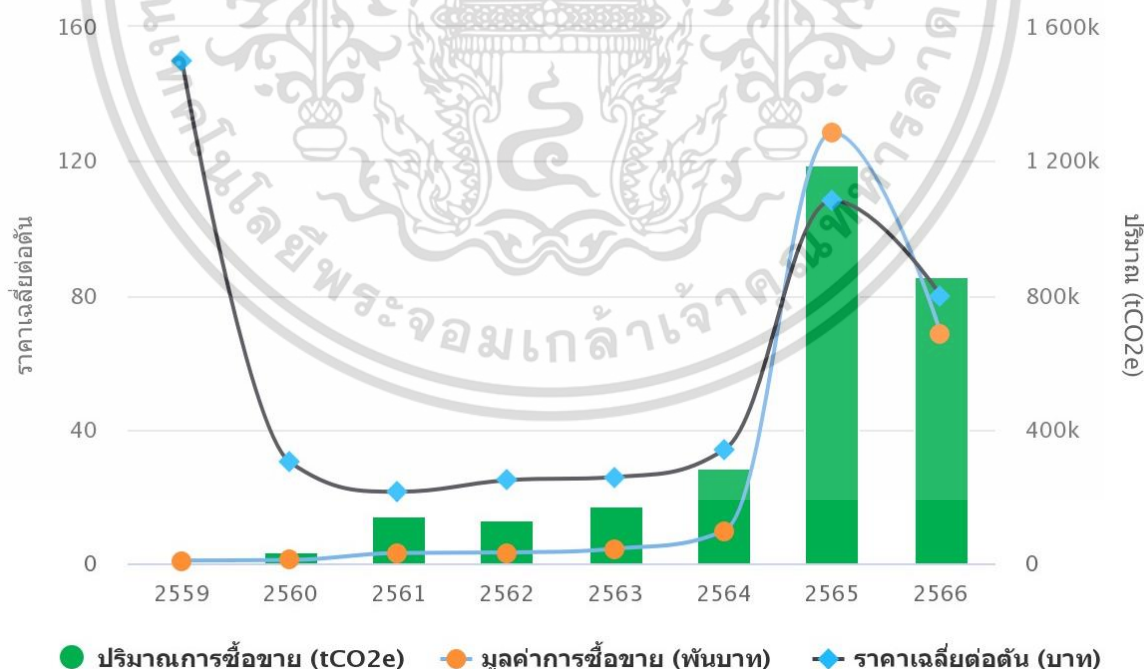
เป็นการดำเนินกิจกรรมระดับประเทศเพื่อให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าสู่ภาวะสมดุลโดยที่ ให้ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมาเท่ากับก๊าซเรือนกระจกที่ถูกดูดซับของจากชั้นบรรยากาศ ซึ่งในสภาวะ สมดุลนี้จะทำให้ไม่เพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ [7] ซึ่งหากสามารถบรรลุการปล่อยก๊าซ เรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) จะส่งผลให้สามารถช่วยลด “สภาวะโลกร้อน” ที่กำลัง เป็นปัญหาในปัจจุบัน

## 2.16 คาร์บอนเครดิต (Carbon Credit)

สิทธิที่เกิดจากการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการที่บุคคลหรือองค์กรได้ดำเนินโครงการหรือมาตรการที่มีเป้าหมายเพื่อลดการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม [8] ซึ่งสามารถวัดปริมาณและสามารถนำไปซื้อขาย ในตลาดคาร์บอนเครดิต สามารถคำนวณราคาคาร์บอนเครดิตได้จาก

$$\text{Price CO}_2 = \text{CFP} \times \text{Unit Price} \quad (2.3)$$

โดย Price CO<sub>2</sub> คือ ราคาคาร์บอน (บาท)  
CFP คือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (tCO<sub>2</sub>)  
Unit Price คือ ราคาคาร์บอน (บาท/tCO<sub>2</sub>)



รูปภาพที่ 2.1 ปริมาณการซื้อขายและราคาคาร์บอนเครดิตของประเทศไทย

ที่มา : (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.17 ตลาดคาร์บอน (Carbon Market)

เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ใช้บรรเทาผลกระทบจากภาวะโลกรวนที่สามารถช่วยให้การลดก๊าซเรือนกระจกสุทธิลดลงด้วยต้นทุนการลดที่ต่ำที่สุดและยังช่วยแก้ปัญหาผลกระทบภายนอกเชิงลบ (Negative Externality) โดยทำให้ผู้ที่ก่อมลพิษ หรือ ปล่องก๊าซเรือนกระจก มีต้นทุนในปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือ ต้องบรรเทา หรือ ชดเชยผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับโลก และผู้ที่ได้รับผลกระทบจากภาวะโลกร้อน ด้วยการทำให้การปล่อย หรือ การลดก๊าซเรือนกระจกมีราคา และตลาดคาร์บอนจะเป็นสื่อการในการซื้อขายแลกเปลี่ยน “คาร์บอนเครดิต” ตลาดคาร์บอนสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท [8]

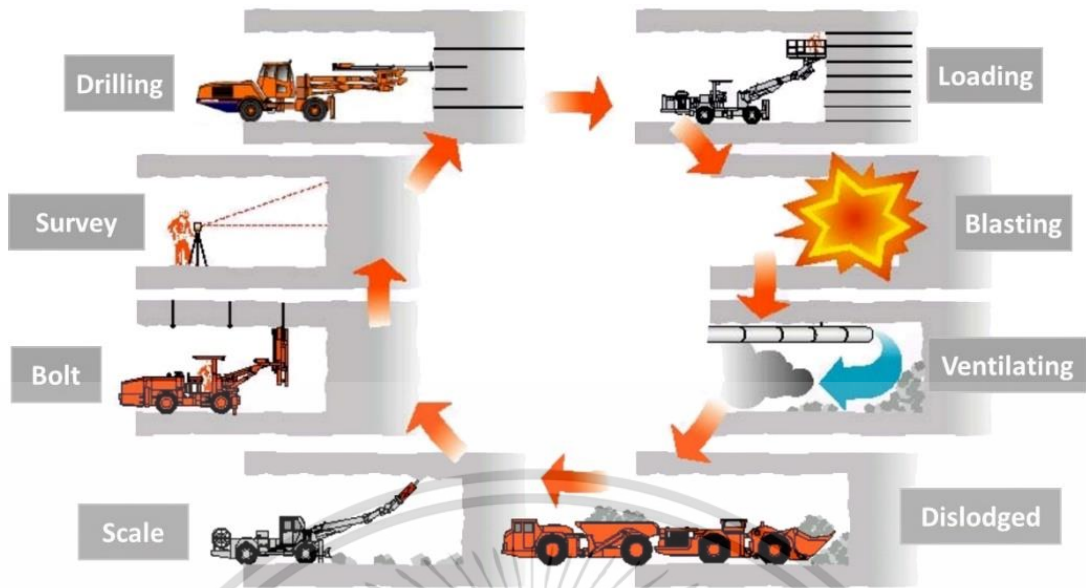
1. ตลาดคาร์บอนภาคบังคับ (Mandatory Carbon Market) คือ ตลาดคาร์บอนที่จัดตั้งขึ้นสืบเนื่องจากผลบังคับในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามกฎหมายซึ่งต้องมีรัฐบาลเข้ามาเกี่ยวข้องในฐานะผู้ออกกฎหมายและเป็นผู้กำกับดูแล
2. ตลาดคาร์บอนแบบภาคสมัครใจ (Voluntary Carbon Market) คือ ตลาดคาร์บอนที่ถูกสร้างขึ้นโดยไม่ได้มีกฎหมายที่เกี่ยวกับการควบคุมก๊าซเรือนกระจกมาบังคับการจัดตั้งตลาดเกิดขึ้นจากความร่วมมือกันของผู้ประกอบการหรือองค์กร

## 2.18 วิธีการก่อสร้างอุโมงค์

1. วิธีการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยการเจาะระเบิด (Drill and Blast, D&B) เป็นวิธีการเจาะอุโมงค์ด้วยการใช้ระเบิดและเป็นวิธีที่นิยมมาก เนื่องจากใช้ได้กับหินทุกชนิดแล้วค่าใช้จ่ายด้วยวิธีนี้ต่ำกว่าการใช้เครื่องจักรในการเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine, TBM) โดยมีวิธีการดำเนินการคร่าว ๆ ดังนี้

- เจาะรูระเบิดเพื่อทำการบรรจุวัตถุระเบิด
- บรรจุวัตถุระเบิด และทำการจุดระเบิด
- ทำการระบายอากาศหลังการจุดระเบิด
- ขนเศษหิน ก้อนหินที่ทำการระเบิดออกจากอุโมงค์
- ทำการปรับขนาดอุโมงค์ให้ได้ขนาดตามที่วางแผนไว้
- การยึดแท่งเหล็ก (Bolt) และพ่นคอนกรีตในส่วนที่ระเบิดส่วนเกิน (Over Breaking)
- ทำการติดตั้งผนังชิ้นส่วนคอนกรีต (Segment)
- ติดตั้งส่วนรองรับ (Support)
- ภาคพื้นและอุปกรณ์รางเลื่อน การระบายอากาศ รวมถึงสาธารณูปโภค

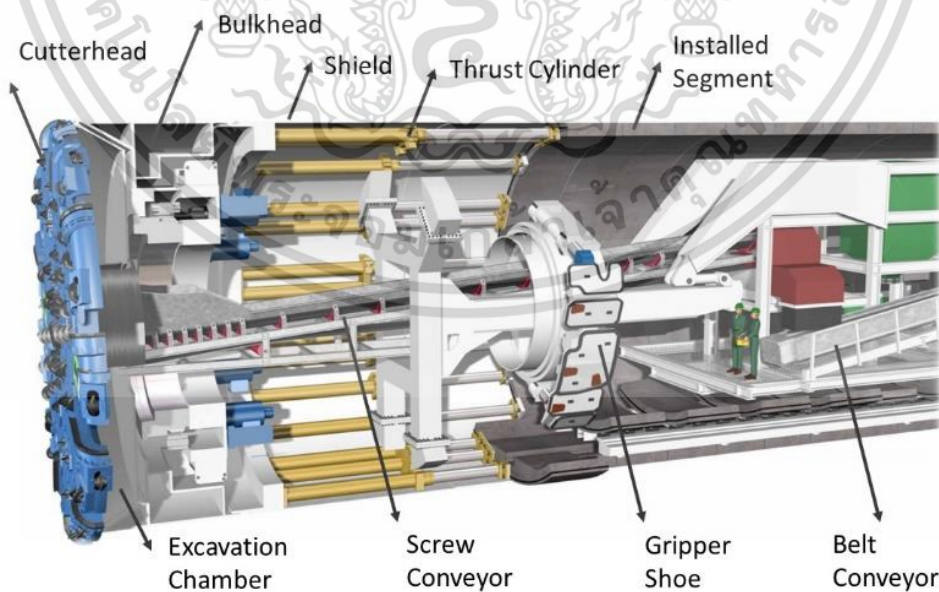
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 2.2 วิธีการขุดเจาะอุโมงค์แบบเจาะระเบิด

ที่มา : (Geologyscience, 2023)

2. วิธีการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยเครื่องจักร Tunnel Boring Machine (TBM) เป็นวิธีการเจาะอุโมงค์ด้วยการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มีกำลังสูง โดยจะทำการเจาะนำไต่ดินแล้วติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Segment) ค้ำยันไว้รอบโพรงเพื่อป้องกันการทรุดตัวของดินและทำการลำเลียงดินที่เจาะผ่านสายพานลำเลียงออกมา [9] โดยการใช้เครื่องจักรในการขุดเจาะอุโมงค์นั้นมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงจึงควรพิจารณาความเหมาะสมในการนำมาใช้



รูปภาพที่ 2.3 Tunnel Boring Machine

ที่มา : (Geologyscience, 2023)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.19 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ในการก่อสร้างแต่ละโครงการที่ก่อสร้างนั้นมีรูปแบบลักษณะเฉพาะ ความซับซ้อน และรูปแบบการก่อสร้างที่ต่างกันจึงทำให้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการก่อสร้างมีข้อจำกัดในหลายด้านจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดขอบเขตและวิธีการประเมินที่เหมาะสมกับรูปแบบของงานในแต่ละประเภทที่ต้องการศึกษา ซึ่งงานวิจัยหรือวรรณกรรมจากผู้ที่เคยทำการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการก่อสร้างมีดังนี้

งานวิจัยของคุณพรพิมล [10] ได้ศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างทางเชื่อมผืนป่าบนทางหลวง หมายเลข 304 ในการก่อสร้างอุโมงค์ทางสัตว์ข้าม และการก่อสร้างสะพานยกระดับทางลอดเพื่อทำการประเมินและเปรียบเทียบการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของทางเชื่อมผืนป่ากับอุโมงค์ทางสัตว์ข้ามโดยมีขอบเขตของการประเมิน คือ 1. การได้มาซึ่งวัสดุดิบและการผลิตวัสดุดิบก่อสร้าง 2. การขนส่ง 3. การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง โดยไม่พิจารณาถึงของเสียที่เกิดขึ้นและหลังช่วงการก่อสร้างเสร็จสิ้นแล้ว จากผลการศึกษาพบว่า การก่อสร้างอุโมงค์ทางสัตว์ข้ามทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 35,923.40 tCO<sub>2</sub>e/km และสะพานยกระดับสัตว์ลอดทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 16,840.22 tCO<sub>2</sub>e/km ซึ่งมีปัจจัยหลักของการทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ คือ การได้มาซึ่งวัสดุดิบ คิดเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 90 จากทั้งหมด

งานวิจัยของคุณสิริกานต์ [11] ได้ศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานโครงการสร้างสถานีรถไฟฟ้าและทางวิ่งแบบใต้ดินและแบบยกระดับโดยใช้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ร่วมกับเทคนิควิศวกรรมย้อนรอยเพื่อสร้างขั้นตอนการประเมินซึ่งมีการคำนวณและแปรผลลัพธ์ของคาร์บอนฟุตพริ้นท์เหมือนกัน จากการศึกษาพบว่า การก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินและแบบยกระดับทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.70 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> และ 0.93 tCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ตามลำดับ และการก่อสร้างอุโมงค์ทางวิ่งและทางวิ่งยกระดับทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 9,410.55 tCO<sub>2</sub>e/km และ 7,179.05 tCO<sub>2</sub>e/km ตามลำดับ ซึ่งมีปัจจัยหลักของการทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ คือ การได้มาซึ่งวัสดุดิบ

งานวิจัยของคุณนิกร [12] ได้ศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างโครงสร้างบ้านพักอาศัยโดยใช้ระบบคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่กับระบบชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ ซึ่งทำการประเมินตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุดิบก่อสร้าง การขนส่ง จนถึงการทำงานในสถานที่ก่อสร้าง พบว่าโครงการสร้างบ้านอาศัยโดยใช้ระบบคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ที่มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากกว่าคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จอยู่ที่ 308.79 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> และ 258.55 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> ตามลำดับ

งานวิจัยของคุณ Pritchard & Preston [13] ได้รวบรวมและศึกษางานวิจัยในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปริมาณการใช้พลังงานของกระบวนการก่อสร้างอุโมงค์ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของงานทางรถไฟในลอนดอน และได้ทำการเปรียบเทียบอุโมงค์ทางรถไฟในลอนดอน 3 รูปแบบ คือ 1. อุโมงค์รถไฟ CAHSR ก่อสร้างแบบ NATM 2. อุโมงค์รถไฟ CTRL ก่อสร้างแบบ TBM และ 3. อุโมงค์รถไฟ Cross rail ก่อสร้างแบบ TBM โดยมีขอบเขตการพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ การได้มาซึ่งวัสดุดิบ การขนส่งวัสดุดิบ และการทำงานของเครื่องจักร จากการศึกษาพบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุโมงค์ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณได้เห็นใบเสร็จรับเงินของเอกสารนี้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ที่คือ CAHSR, CTRL และ Cross rail อยู่ที่ 13,016 tCO<sub>2</sub>/km , 13,986 tCO<sub>2</sub>/km และ 23,652 tCO<sub>2</sub>/km ตามลำดับ

และงานวิจัยของคุณ Monahan & Powell [14] ทำการศึกษาค่าพลังงานและปริมาณคาร์บอนของการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย โดยมีขอบเขตของการประเมินตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุดิบ การผลิตจนกระทั่งการก่อสร้างแล้วเสร็จ และพิจารณาแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 5 แหล่ง คือ 1.การได้มาซึ่งวัสดุดิบและการผลิตวัสดุดิบก่อสร้าง 2.การขนส่งวัสดุดิบ 3.การใช้เชื้อเพลิงและพลังงานในการก่อสร้าง 4. ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างก่อสร้าง 5.การกำจัดของเสีย พบว่า มีปริมาณคาร์บอนจากการก่อสร้างอยู่ที่ 405 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

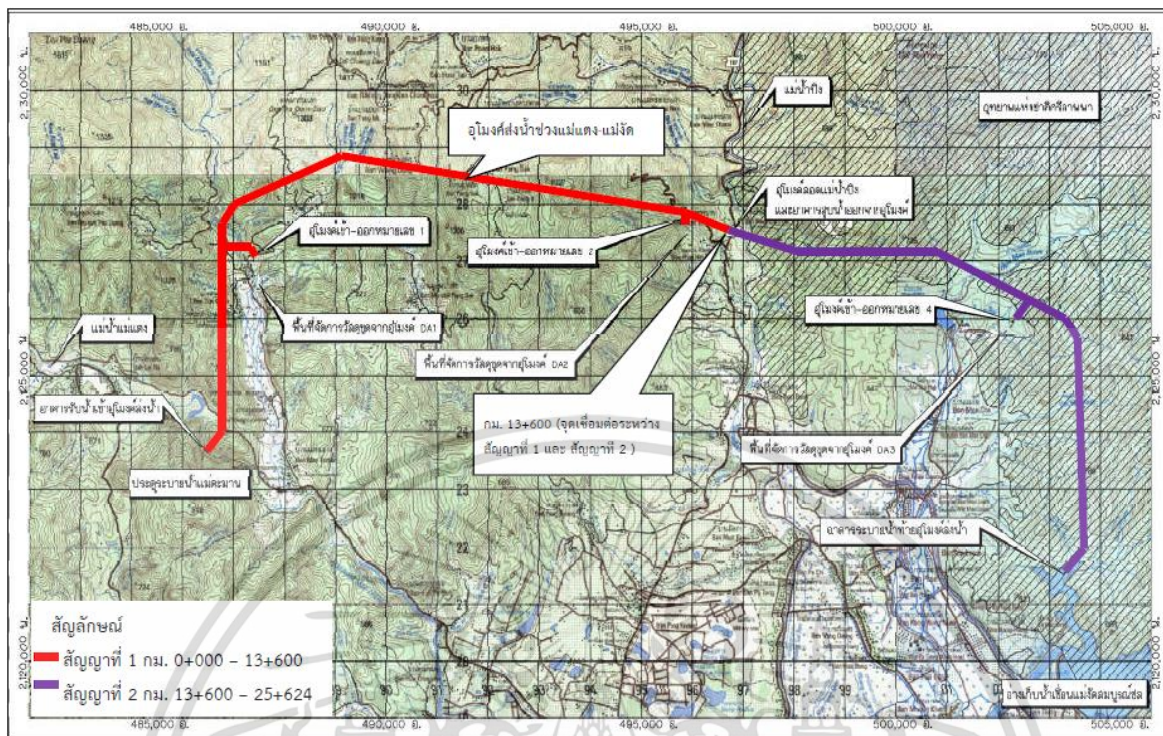
ในการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาโดยการประเมินหาค่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากกิจกรรมก่อสร้างของอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่วงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ ช่วงสัญญาที่ 1 ซึ่งได้กำหนดตำแหน่งและรูปแบบการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำ 2 ช่วงโดยช่วงแรกจะทำการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี Drill and Blast (D&B) และช่วงที่สองจะทำการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี Tunnel Boring Machine (TBM)

เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด โดยนำการประเมินการหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยใช้วิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่จัดทำโดยองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (อ.บ.ก) เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินซึ่งมีหลักจากการประเมินวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ซึ่งจะเป็นการประเมินตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดของเสียหลังการใช้งาน โดยมีรูปแบบ Cradle-to-Gate และการประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับคาร์บอนเครดิตโดยใช้ข้อมูลราคาคาร์บอนของประเทศไทยที่มีจากบันทึกและรวบรวมโดยองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (อ.บ.ก) โดยในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในรูปแบบกิจกรรมก่อสร้างในแต่ละเดือนที่เกิดขึ้น ซึ่งการประเมินจะประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต การเก็บรวบรวมข้อมูล การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การแปรผลลัพธ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์และคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อคาร์บอนเครดิต จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับรูปแบบการก่อสร้างที่แตกต่างกัน

#### 3.1 การกำหนดโครงการก่อสร้างที่ใช้ในการศึกษาและข้อมูลทั่วไปของโครงการ

อุโมงค์ส่งน้ำช่วงแม่แตง - แม่จัด เป็นการนำน้ำจากน้ำแม่แตงส่งให้กับอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลโดยการก่อสร้างประตูระบายน้ำแม่ตะมาน ปิดกั้นน้ำแม่แตงที่บ้านแม่ตะมาน ตำบลกี้ดช้าง อำเภอมะแมง จังหวัดเชียงใหม่ และก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำจากน้ำแม่แตงมายังเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลซึ่งประตูระบายน้ำแม่ตะมาน จะยกระดับน้ำเข้าอุโมงค์ส่งน้ำช่วงแม่แตง - แม่จัด ในช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงพฤศจิกายน ที่มีปริมาณน้ำเกินความต้องการด้านท้ายน้ำไปยังอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่วงอุดมสมบูรณ์ชล เฉลี่ยปีละประมาณ 113 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อรวมปริมาณน้ำจากน้ำแม่แตงมายังเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลแล้วจะมีปริมาณน้ำที่จะส่งต่อไปยังเขื่อนแม่วงอุดมธารา เฉลี่ยปีละประมาณ 160 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยมีลักษณะอุโมงค์ส่งน้ำระดับปากทางเข้า +436.00 เมตร (ร.ท.ก) ออกของอุโมงค์ +396.00 เมตร (ร.ท.ก) ลักษณะอุโมงค์รูปเกือกม้าตัดด้วยคอนกรีต (เจาะด้วยวิธี Drill and Blast) รูปวงกลมติดตั้งงานคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปแบบเซกเมนต์ (เจาะด้วยวิธี Tunnel Boring Machine) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.00 เมตร และความยาวอุโมงค์ 13.60 กิโลเมตร ซึ่งบริษัท ไรท์ทันเนลลิง จำกัด เป็นผู้รับจ้างในโครงการอุโมงค์ส่งน้ำและอาคารประกอบอื่น อุโมงค์ส่งน้ำช่วงแม่แตง - แม่จัด สัญญาที่ 1 โครงการเพิ่มปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่วงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีการกำหนดตำแหน่งที่ตั้ง ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 3.1 ตำแหน่งที่ตั้งอุโมงค์ส่งน้ำช่วงแม่แตง - แม่จิด

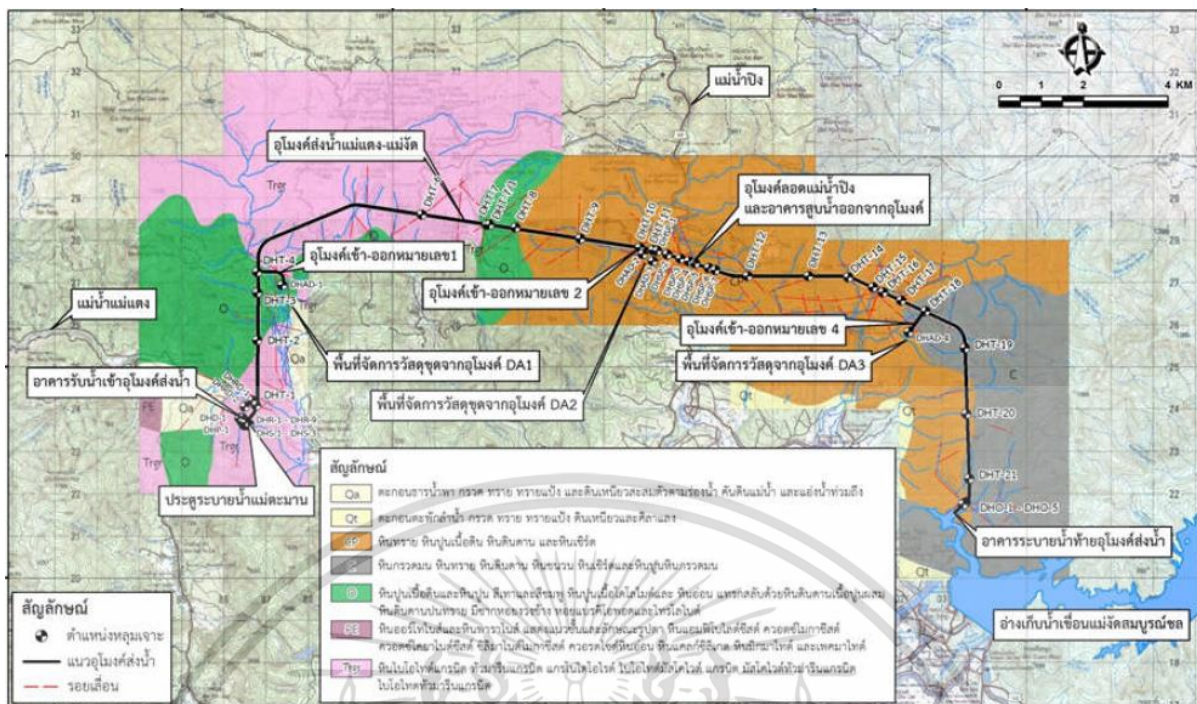
ที่มา : (บริษัท ไรซ์ทีนเน็ลลิ่ง จำกัด มหาชน)

### 3.2 ข้อมูลทางธรณีวิทยาของโครงการ

จากข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:250,000 ของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2550 สามารถอธิบายลักษณะของหินโดยเรียงลำดับตามอายุแก่สุด - อ่อนสุด โดยมีรายละเอียด ดังรูปที่ 4.2

- หินอายุพรีแคมเบรียน (Precambrian Rocks, PE) ประกอบด้วย หินออร์โทไนส์และพาราไนส์ แสดงแนวชั้นและลักษณะรูปตา หินแอมฟิโบลิต์ชีสต์ ควอร์ตไมกาชีสต์ ควอร์ตโคยานไนต์ ชีสต์ ซิลิมาไนต์ไมกาชีสต์ ควอร์ตไซต์ หินอ่อน หินแคลกซิลิเกต หินมิกมาไทต์ และเพคมาไทต์
- หินอายุออร์โดวิเซียน (Ordovician Rocks, O) ประกอบด้วย หินปูนเนื้อดิน หินปูนสีเทา และสีชมพู หินปูนเนื้อโดโลไมต์และหินอ่อน แทรกสลับด้วยหินดินดานเนื้อปูนผสมหินดินดานปนทราย มี ชากหอยวงช้าง หอยแบรคิโอพอดและไทรโลไบต์
- หินอายุคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous Rocks, C) ประกอบด้วย หินกรวดมน หินทราย หินดินดาน หินชนวน หินเชิร์ต และหินปูน
- หินอายุคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน (Carboniferous-Permian Rock, CP) ประกอบด้วย หินทราย หินปูนเนื้อดิน หินดินดาน และหินเชิร์ต
- หินแกรนิตอายุไทรแอสซิก (Triassic Granite, Trgr) ประกอบด้วย หินไปโอไทต์แกรนิต ทิวมารินแกรนิต แกรโนไดโอไรต์ ไปโอไทต์มัสโคไวต์แกรนิต มัสโคไวต์ทิวมารินแกรนิต และไปโอไทต์ทิวมารินแกรนิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 3.2 แผนที่ธรณีวิทยาทั่วไปบริเวณที่ตั้งโครงการฯ

ที่มา : (บริษัท ไรซ์ทันเน็ลลิง จำกัด มหาชน)

- ตะกอนตะพักลำน้ำยุคควอเทอร์นารี (Terrace Deposits, Qt) ประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และศิลาแลง
- ตะกอนธารน้ำพายุควอเทอร์นารี (Alluvial Deposits, Qa) ประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวสะสมตามร่องน้ำ ค้นดินแม่น้ำ และแอ่งน้ำท่วมถึง

### 3.3 รูปแบบการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการ

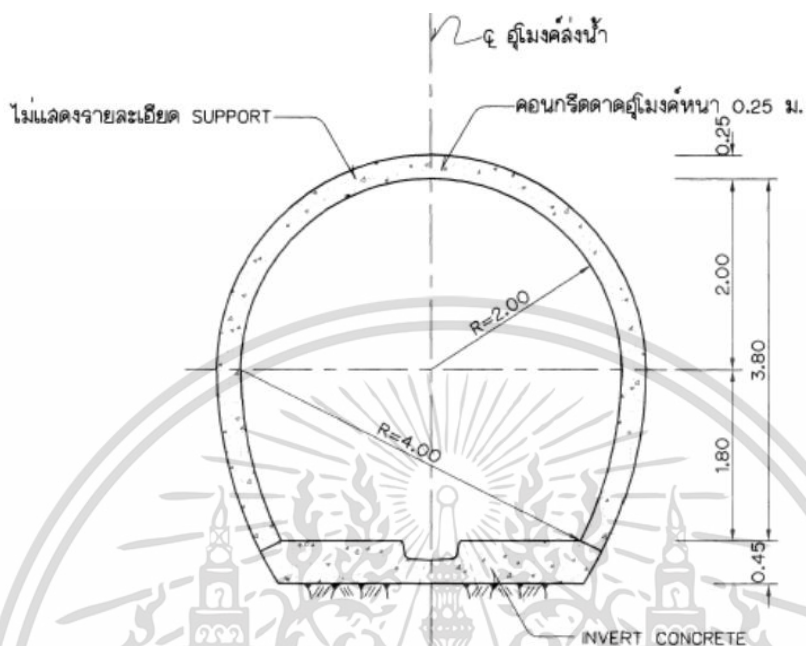
โครงการอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แม่จัด ได้มีการแบ่งการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่

1. การก่อสร้างด้วยวิธีการเจาะระเบิด (Drill and Blast) ได้ทำการก่อสร้างในช่วง กม. 1+814.315 ถึง กม. 2+339.315 มีลักษณะการก่อสร้างด้วยวิธีการเจาะระเบิด โดยทำการวางแผนคำนวณทางวิศวกรรมเพื่อคำนวณหาปริมาณระเบิดที่ต้องใช้ ตำแหน่งของการวางระเบิด เครื่องจักรที่ใช้ในการติดตั้งและจุดระเบิด หลังจากระเบิดอุโมงค์แล้วจึงทำการขนส่งเศษหินจากการระเบิดออกมาทิ้งและทำการปรับแต่งขนาดอุโมงค์พร้อมทั้งติดตั้งซัพพอร์ตโดยการเย็บหิน (Rock Bolt) ฟันคอนกรีตในส่วนที่ระเบิดเกิน (Over Breaking) และทำการตาดอุโมงค์คอนกรีต (Concrete lining) ซึ่งแต่ละขั้นตอนการทำงานแสดงในรูปภาพที่ 3.3 ถึง 3.5

2. การก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการ Tunnel Boring Machine (TBM) ได้ทำการก่อสร้างในช่วงกม.4+638.961 ถึง กม.5+357.149 มีลักษณะการก่อสร้างโดยการนำเครื่องจักรที่ใช้ขุดเจาะอุโมงค์ในโครงการนี้ได้ใช้ Double Shield TBM ในการทำงาน โดยจะนำการเจาะนำร่องและติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป (Segment) ที่ได้ทำการหล่อไว้ภายในโครงการและลำเลียงผ่านสายผ่านของ

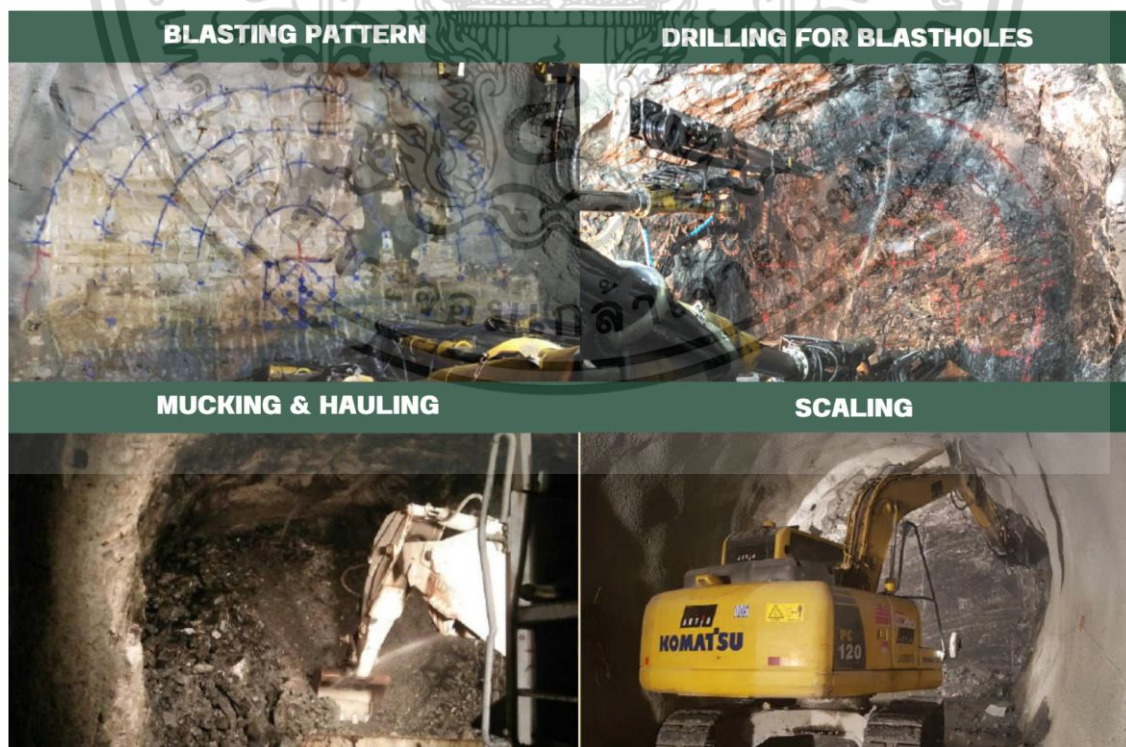
เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ใช้เฉพาะโครงการเท่านั้น เมื่อผู้นิติบุคคลใดนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย บริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจักรรวมถึงการลำเลียงเศษหินที่ทำการขุดเจาะอุโมงค์ผ่านการลำเลียงของสายผ่านเช่นเดียวกัน จากนั้นนำเศษหินที่ลำเลียงออกไปทิ้งในจุดทิ้งขยะของโครงการซึ่งต่างกับวิธีการเจาะระเบิดที่ต้องนำรถบรรทุกเข้าบรรทุกเศษหินออกมาเพื่อทิ้ง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการทำงานแสดงในรูปภาพที่ 3.6 ถึง 3.8



รูปภาพที่ 3.3 ลักษณะคูมิ่งคั้งของการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการเจาะระเบิด

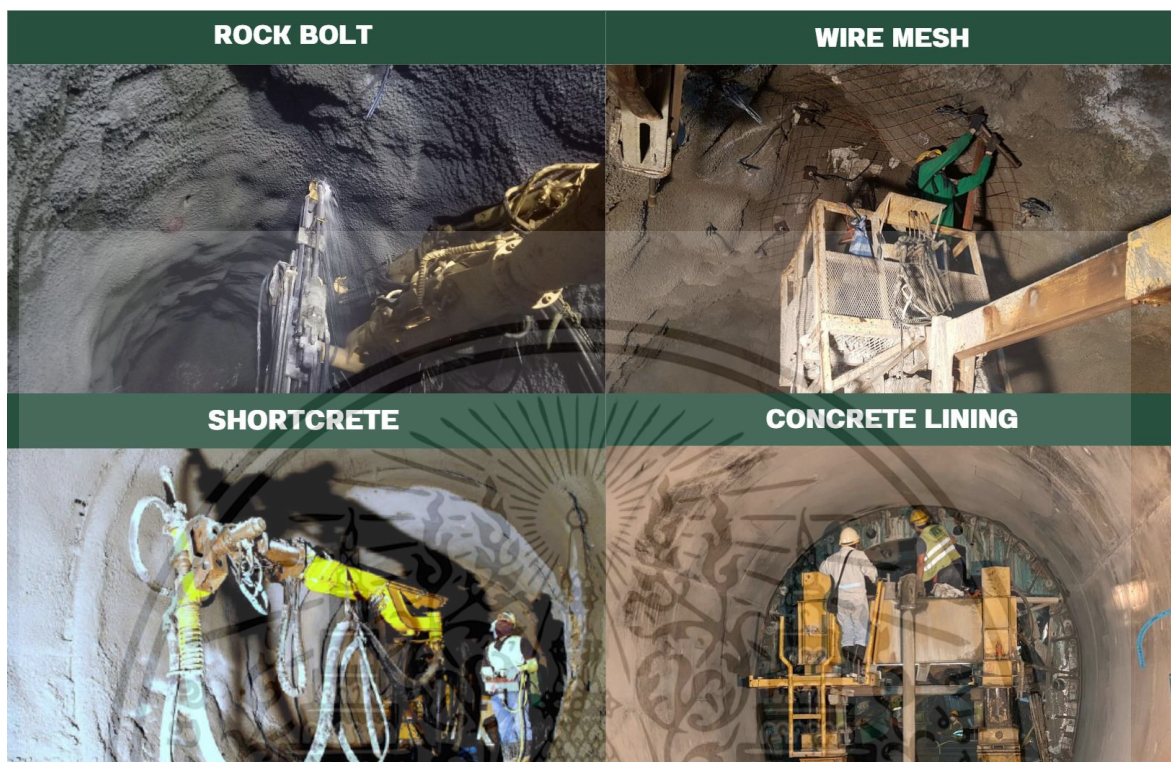
ที่มา : (บริษัท ไรซ์ทีนเน็ลลิง จำกัด มหาชน)



รูปภาพที่ 3.4 การเจาะระเบิดและขยายผนังอุโมงค์ของวิธีการเจาะระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาหรับการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มา : (บริษัท ไรซ์ทันเนลลิง จำกัด มหาชน)



รูปภาพที่ 3.5 การติดตั้งซัพพอร์ตและดาดคอนกรีตอุโมงค์ของวิธีการเจาะระเบิด

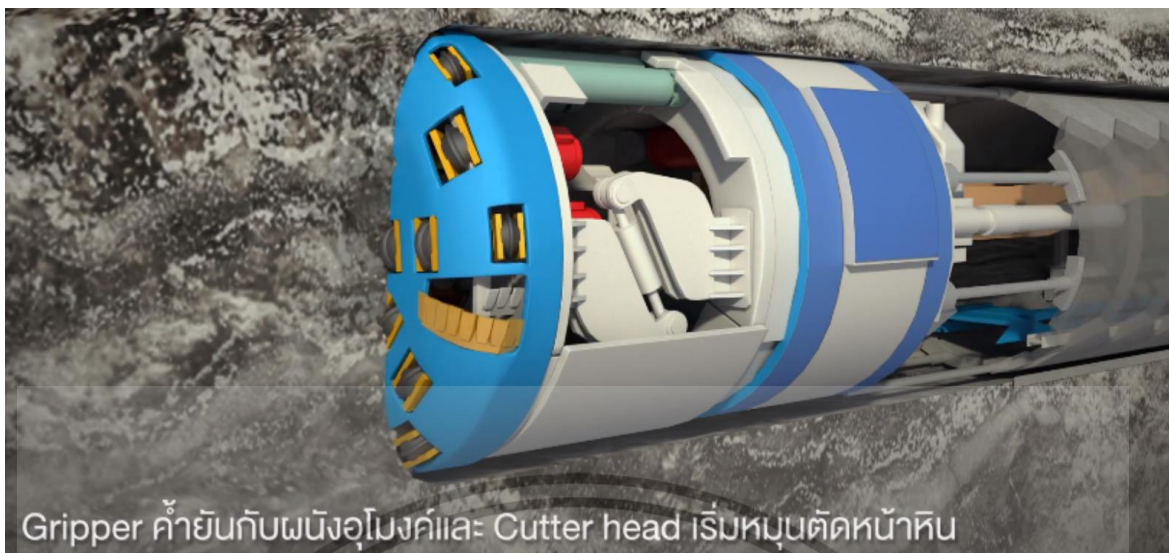
ที่มา : (บริษัท ไรซ์ทันเนลลิง จำกัด มหาชน)



รูปภาพที่ 3.6 การหล่อผนังอุโมงค์ของวิธีการ TBM

ที่มา : (บริษัท ไรซ์ทันเนลลิง จำกัด มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 3.7 ลักษณะการขุดเจาะอุโมงค์ด้วยการใช้เครื่องจักร TBM

ที่มา : (สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดใหญ่ที่ 1 สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่)



รูปภาพที่ 3.8 ลักษณะการประกอบผนังอุโมงค์และการลำเลียงเศษหินของเครื่องจักร TBM

ที่มา : (สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดใหญ่ที่ 1 สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่)

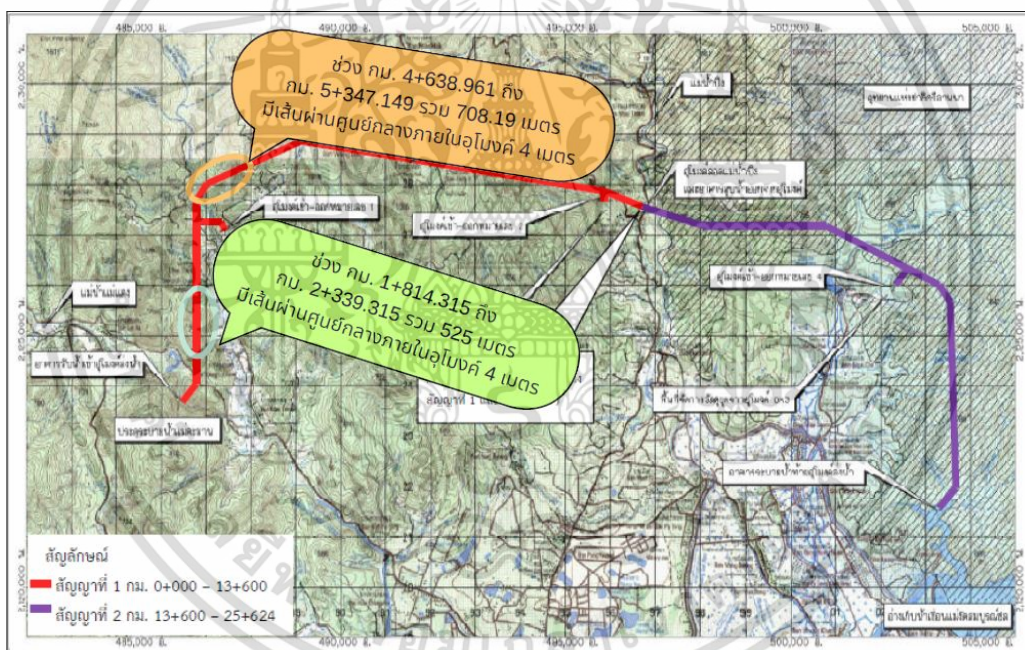
โดยในกระบวนการก่อสร้างทั้ง 2 รูปแบบนี้มีการใช้วัสดุก่อสร้างจำนวนมาก เครื่องจักรต่างๆ ที่ใช้น้ำมันดีเซลในการดำเนินงาน รวมถึงอุปกรณ์สนับสนุนในการก่อสร้าง ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานี้มีผลโดยตรงที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นโดยมีการแสดงรายละเอียดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงในตารางผนวกที่ 1 และปริมาณวัสดุที่ใช้สำหรับการก่อสร้างแสดงในตารางผนวกที่ 2 ถึง ตารางผนวกที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 สรุปรูปแบบการเลือกขอบเขตของโครงการ

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะงานโครงสร้างของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง-แม่จัด โดยศึกษาเฉพาะงานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำด้วยวิธีการขุดเจาะแบบ Tunnel Boring Machine และ Drill And Blast อย่างละ 1 ช่วงระยะทาง เพื่อเป็นตัวแทน ซึ่งผลการศึกษสามารถนำไปใช้อ้างอิงกับการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำ หรือแม้แต่การก่อสร้างอุโมงค์แบบอื่นได้ โดยกำหนดขอบเขตไว้ในรูปที่ 4.3 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- งานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด ช่วงสัญญาที่ 1 ที่ก่อสร้างด้วยวิธีการขุดเจาะแบบ Drill and Blast คือ ช่วง กม. 1+814.315 ถึง กม. 2+339.315 รวมระยะทาง 525 เมตร ซึ่งมีลักษณะทางธรณีวิทยาโดยส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิตอายุไทรแอสซิก
- งานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด ช่วงสัญญาที่ 1 ที่ก่อสร้างด้วยวิธีการขุดเจาะแบบ Tunnel Boring Machine คือ ช่วง กม. 4+638.961 ถึง กม. 5+347.149 รวมระยะทาง 708.19 เมตร ซึ่งมีลักษณะทางธรณีวิทยาโดยส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิตอายุไทรแอสซิก



รูปภาพที่ 3.9 ขอบเขตของการศึกษาอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ

ที่มา : (บริษัท ไรซ์ทันเนลลิง จำกัด มหาชน)

### 3.5 รูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในงานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในงานวิจัยนี้ใช้หลักการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment, LCA) และมีรูปแบบการประเมินแบบ Cradle-to-Gate โดยจะครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้างและติดตั้ง แต่ไม่รวมการนำไปใช้งานและการกำจัดของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 เป้าหมายและขอบเขตของโครงการที่ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง ไฟฟ้า เชื้อเพลิงที่ใช้ในการดำเนินการของเครื่องจักร อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องจักร และอื่นๆ ดังรูปที่ 3.3 โดยจะแบ่งเป็นกิจกรรมก่อสร้างย่อยในแต่ละเดือนของกิจกรรมก่อสร้างที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะระบุสิ่งนำเข้าไปในกระบวนการก่อสร้างได้ เพื่อที่จะเปรียบเทียบกับกิจกรรมก่อสร้างอุโมงค์ในแต่ละรูปแบบโดยใช้ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่อยู่ในรูปตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลเมตร ( $tCO_2e/km$ ) และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อคาร์บอนเครดิตในหน่วยบาท



รูปภาพที่ 3.10 ผังกระบวนการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดที่ใช้ในการประเมิน

#### 1. หน่วยการทำงาน (Functional Unit)

ในงานวิจัยนี้ผลการประเมินต้องอยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดร้ออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ซึ่งในงานวิจัยนี้หน่วยของผลิตภัณฑ์คือระยะทางก่อสร้างมีหน่วยเป็นกิโลเมตรจึงทำให้หน่วยที่ใช้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลเมตร ( $CO_2e/km$ ) โดยแบ่งขอบเขตออกเป็นดังนี้

- งานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดช่วงที่ทำการก่อสร้างด้วยวิธี Drill and Blast ระยะทางรวม 525 เมตร

- งานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดช่วงที่ทำการก่อสร้างด้วยวิธี Tunnel Boring Machine ระยะทางรวม 708.19 เมตร

#### 2. แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นช่วงดำเนินการก่อสร้างจากกระบวนการก่อสร้างโดยจะแบ่งออกเป็นการได้มาซึ่งวัสดุ ปริมาณวัสดุ ไฟฟ้า อุปกรณ์ เครื่องจักร และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการดำเนินงานก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในงานวิจัยนี้จะทำการรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการก่อสร้าง ในแต่ละงานของโครงสร้างอุโมงค์ที่ทำการก่อสร้างด้วยวิธี Drill and Blast และ Tunnel Boring Machine ตามเอกสารที่ใช้ประกอบการก่อสร้างจริง แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

- 1) ข้อมูลกิจกรรม คือ ข้อมูลปริมาณวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในงานก่อสร้างจริง
- 2) ข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและราคาคาร์บอนเครดิต

#### 1. ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)

ในการคำนวณค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละกิจกรรมของการสร้างอุโมงค์ จะนำเอาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากที่รวบรวมโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อ.บ.ก) ร่วมกับการประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัสดุแต่ละประเภท และการอ้างอิงจากงานวิจัยการก่อสร้างประเภทเดียวกัน

#### 2. ราคาคาร์บอนเครดิต (Carbon credit Price)

ในการคำนวณราคาคาร์บอน จะใช้ราคาคาร์บอนต่อหน่วยที่เป็นค่าอ้างอิงจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อ.บ.ก) เพื่อใช้ในการประเมินราคาคาร์บอนเครดิตที่เกิดขึ้น

### 3.8 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และราคาคาร์บอนเครดิต

จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้และที่มาของสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้สมการที่ (3.1) – (3.2) และในลักษณะเดียวกันการคำนวณหาราคาคาร์บอนโดยใช้ข้อมูลราคาคาร์บอนของประเทศไทย โดยใช้สมการที่ (3.3)

$$CFP = \sum GHG \quad (3.1)$$

$$GHG = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor} \quad (3.2)$$

$$\text{Price CO}_2 = CFP \times \text{Unit Price} \quad (3.3)$$

โดย CFP คือ ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (KgCO<sub>2</sub>e) , (tCO<sub>2</sub>e) สำหรับ (3.3)

GHG คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (KgCO<sub>2</sub>e)

Activity Data คือ ข้อมูลกิจกรรม เช่น ปริมาณวัตถุดิบ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง ของเสีย และระยะทางขนส่ง เป็นต้น

Emission Factor คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (KgCO<sub>2</sub>/หน่วย)

$\sum GHG$  คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากจำนวนกิจกรรมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Price CO<sub>2</sub> คือ ราคาคาร์บอน (บาท)

Unit Price คือ ราคาคาร์บอน (บาท/tCO<sub>2</sub>)

#### ตัวอย่างการคำนวณ

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งคอนกรีตผสมเสร็จ = ปริมาณคอนกรีตผสมเสร็จ x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

$$= 2,263 \text{ m}^3 \times 317 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$$

$$= 844,171 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

ราคาคาร์บอนเครดิต = ปริมาณคาร์บอน x ราคาคาร์บอนเครดิต/หน่วย

$$= 844.171 \text{ tCO}_2 \times 83 \text{ บาท/tCO}_2$$

$$= 73,386.193 \text{ บาท}$$

### 3.9 การแปลผล

เป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมาทำการวิเคราะห์ เพื่อสรุปผลในหน่วยตันคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการ Drill and Blast กับ Tunnel Boring Machine และเพื่อเปรียบเทียบกับโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะคล้ายเคียงกันเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลต่อไป

## บทที่ 4

# ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำ แม่แตง – แม่จัดด้วยวิธีการเจาะระเบิด (Drill And Blast)

ในบทนี้ได้ทำการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แม่จัด ด้วยวิธีการสร้างอุโมงค์แบบเจาะระเบิด (Drill And Blast) บริเวณ กม. 1+814.315 ถึง กม. 2+339.315 รวมระยะทาง 525 เมตร ซึ่งมีลักษณะอุโมงค์เป็นรูปเกือกม้าตัดด้วยคอนกรีตมีความกว้าง 4 เมตร ความหนาของคอนกรีตตัด 25 เซนติเมตร โดยมีขอบเขตการประเมินตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง พลังงานไฟฟ้า และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่เกิดจากการดำเนินงานของเครื่องจักรและยานพาหนะในพื้นที่ก่อสร้าง ขณะดำเนินการก่อสร้าง โดยมีรูปแบบการประเมินดังนี้

### 4.1 รูปแบบการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำที่ทำการศึกษา

การก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แม่จัดด้วยวิธีการเจาะระเบิด (Drill and Blast) บริเวณ กม. 1+814.315 ถึง กม. 2+339.315 รวมระยะทาง 525 เมตร มีลักษณะอุโมงค์เป็นรูปเกือกม้าตัดด้วยคอนกรีตมีความกว้าง 4 เมตร ความหนาของคอนกรีตตัด 25 เซนติเมตร เป็นการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการระเบิดหินให้ได้ระยะทางที่ต้องการจากนั้นจึงทำการติดตั้งซัพพอร์ตด้วย Wire mesh, Rock Bolt และ Shotcrete แล้วจึงทำการดาตอุโมงค์ด้วยคอนกรีต (Concrete lining) ให้ได้ลักษณะอุโมงค์ตามต้องการ



รูปภาพที่ 4.1 อุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แม่จัดชนิดการเจาะระเบิด (Drill and Blast)

ที่มา : (สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดใหญ่ที่ 1 สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการประเมิน

### 4.2.1 กำหนดเป้าหมายการประเมิน

ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดด้วยวิธีการเจาะระเบิด (Drill and Blast) มีเป้าหมายเพื่อหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากกิจกรรมก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการเจาะระเบิดในโครงการฯ เพื่อทราบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหนึ่งหน่วยระยะทางและนำมาเปรียบเทียบกับโครงการก่อสร้างอุโมงค์ในลักษณะต่างๆ

### 4.2.2 กำหนดรูปแบบการประเมิน

ใช้การประเมินแบบ Cradle - to - Gate ซึ่งเป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุ จนถึงการก่อสร้างและติดตั้งเสร็จ โดยในงานวิจัยนี้จะได้ประเมินระยะทางของการขนส่ง การใช้งานหลังจากก่อสร้างและของเสียที่เกิดขึ้น จะสามารถแบ่งกิจกรรมก่อสร้างออกเป็น 2 กิจกรรมหลัก และ 4 กิจกรรมย่อย โดยกิจกรรมหลักจะประกอบด้วย 1. งานก่อสร้างช่วงเจาะระเบิด 2. งานก่อสร้างช่วงคอนกรีตตาดอุโมงค์ แสดงในตารางที่ 4.1

### 4.2.3 กำหนดระบบผลิตภัณฑ์

ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ มีกระบวนการก่อสร้างตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุ ก่อสร้างต่างๆ เพื่อเข้าสู่กระบวนการก่อสร้างจนออกมาเป็นสิ่งก่อสร้างที่แล้วเสร็จ โดยในแต่ละขั้นตอนจะมีกิจกรรมย่อยต่างๆ โดยในแต่ละกิจกรรมจะมีการใช้วัสดุก่อสร้าง ปริมาณเชื้อเพลิง และเครื่องจักรซึ่งแตกต่างกันออกไป โดยมีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 4.2



รูปภาพที่ 4.2 แผนผังกระบวนการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำที่ใช้ในการประเมิน

### 4.2.4 หน่วยงานทำงาน

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ มีรูปแบบเป็นการเจาะระเบิด(Drill and Blast) ในช่วงการประเมินมีระยะทาง 525 เมตร และมีความกว้าง 4 เมตรจึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดหน่วยของการทำงานในหน่วยของระยะทางเพื่อสามารถนำไปเปรียบเทียบกับงานก่อสร้างลักษณะ คล้ายกันได้ ในหน่วยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตร (CO<sub>2</sub>e/km)

#### 4.2.5 กำหนดขอบเขตของระบบ

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการเจาะ ระเบิด มีการกำหนดขอบเขตการประเมินโดยพิจารณาจากขั้นตอนการดำเนินงานก่อสร้างซึ่งประกอบด้วย 2 กิจกรรมหลัก คือ 1. งานก่อสร้างช่วงเจาะระเบิด 2. งานก่อสร้างช่วงคอนกรีตตาดอุโมงค์ โดยแบ่ง กิจกรรมย่อยออกเป็น 4 กิจกรรมย่อย ได้แก่ 1. งานเจาะและติดตั้งระเบิด 2. งานปรับแต่งอุโมงค์ 3. งาน ติดตั้งซัพพอร์ต 4. งานคอนกรีตตาดอุโมงค์ แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในบัญชี แสดงปริมาณวัสดุ (BOQ) และรายละเอียดของงาน โดยข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงเดือน เม.ย. - ก.ย. 62 เป็น ช่วงการเจาะระเบิด และช่วงเดือน ม.ค. - มิ.ย. 63 เป็นช่วงคอนกรีตตาดอุโมงค์

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของงานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการเจาะระเบิด

งานก่อสร้าง	กิจกรรมก่อสร้าง
งานสร้างอุโมงค์ส่งน้ำด้วยวิธีการเจาะระเบิด (รวม 4 กิจกรรม)	
1. งานเจาะระเบิด เป็นการนำเครื่องจักรเจาะ ระเบิดอุโมงค์ มาทำการเจาะเพื่อติดตั้งระเบิดและ ระเบิดอุโมงค์จากนั้นทำการปรับแต่งและติดตั้งซัพ พอร์ตเพื่อค้ำยันอุโมงค์	1. งานเจาะและติดตั้งระเบิด 2. งานปรับแต่งอุโมงค์ 3. งานติดตั้งซัพพอร์ต
2. งานตาดคอนกรีตอุโมงค์ เป็นการทำการตาด อุโมงค์คอนกรีตเพื่อให้ได้อุโมงค์ตามแบบที่ต้องการ	1. งานคอนกรีตตาดอุโมงค์

#### 4.2.6 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

การพิจารณาแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมก่อสร้างเพื่อประเมินค่าคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ โดยพิจารณาแยกในแต่ละกิจกรรมของกระบวนการก่อสร้างเพื่อระบุสิ่งนำเข้าและออกโดยใช้ ข้อมูลจากการก่อสร้างพบว่าส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างประเภทคอนกรีต น้ำมันดีเซล ไฟฟ้า ฯลฯ ซึ่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่างกันไปในแต่ละผลิตภัณฑ์

#### 4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการเจาะระเบิด จะทำการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมก่อสร้าง และวิเคราะห์ออกมาในแต่ละ กิจกรรม ดังนั้นจึงต้องทำการเก็บข้อมูลในแต่ละกิจกรรมซึ่งในแต่ละกิจกรรมจะประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วน ได้แก่ 1. ข้อมูลกิจกรรม 2. ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก แสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แหล่งที่มาของการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูล	แหล่งที่มา	
	ข้อมูลปฐมภูมิ	ข้อมูลทุติยภูมิ
<b>ข้อมูลกิจกรรม</b> - วัสดุก่อสร้าง - เครื่องมือสนับสนุน - เชื้อเพลิง - ไฟฟ้า	- บัญชีแสดงปริมาณวัสดุ (BOQ) - ระบบบันทึกข้อมูลของบริษัท - การจดบันทึกข้อมูลไฟฟ้าจากมิเตอร์วัดไฟ	-
<b>ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)</b>	-	- องค์กรบริหารก๊าซเรือนกระจก [15] - คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ [16]

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการเจาะระเบิดแสดงโดยแบ่งออกเป็นช่วงงานเจาะระเบิดดังตารางที่ 4.3 ถึง ตารางที่ 4.8 และงานคอนกรีตตาดอุโมงค์ดังตารางที่ 4.9 ถึงตารางที่ 4.14 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.4 ข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการเจาะระเบิด

ข้อมูลกิจกรรมในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการเจาะระเบิดแบ่งออกเป็น 2 กิจกรรม ดังนี้

##### 4.4.1 ข้อมูลกิจกรรมงานเจาะระเบิด

ข้อมูลกิจกรรมงานเจาะระเบิดซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมงานก่อสร้างทั้งหมด 3 กิจกรรม โดยแบ่งออกเป็นงานก่อสร้างในแต่ละเดือนต่อระยะทางที่ทำได้แสดงดังตารางที่ 5.3 ถึงตารางที่ 5.8

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน เม.ย. 62

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย)	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e)
(1)	(2)	(3)	(4)*	(5)**
<b>งานเจาะระเบิด</b>				
Ammonium Nitrate	10,371.97	kg	8.4819	87,974.01
Emulsion	4,625	Kg	8.4819	39,228.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน เม.ย. 62 (ต่อ)

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
<b>งานติดตั้งซัพพอร์ท</b>				
Rock Bolt	786.01	kg	1.76	1,383.38
Wire mesh	1,051.05	kg	1.76	2,641.85
คอนกรีตผสมเสร็จ	68	m <sup>3</sup>	317	21,556
Sika – Sig unit	1,200	kg	1.5922	1,910
<b>งานปรับแต่งอุโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร</b>				
น้ำมันดีเซล	5,422	litters	3.0203	16,376.07
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างานระเบิด	256,911.69	kWh	0.5986	153,349.35
เครื่องจักรสูบน้ำออก จากอุโมงค์	731.69	kWh	0.5986	437.99
<b>ระยะทาง</b>	<b>84.00</b>	<b>m</b>	<b>รวม</b>	<b>324,857</b>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน พ.ค. 62

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
<b>งานเจาะระเบิด</b>				
Ammonium Nitrate	2,000	kg	8.4819	3,140
Emulsion	500	Kg	8.4819	785
<b>งานติดตั้งซัพพอร์ท</b>				
Rock Bolt	323.65	kg	1.76	569.63
Wire mesh	756.00	kg	1.76	1,330.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางเรา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน พ.ค. 62 (ต่อ)

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
คอนกรีตผสมเสร็จ	52	m <sup>3</sup>	317	16,484
Sika – Sig unit	600	kg	1.5922	955.32
งานปรับแต่งอุโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร				
น้ำมันดีเซล	5,449	litters	3.0203	16,457.61
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างานระเบิด	284,240	kWh	0.5986	170,146.06
เครื่องจักรสูบน้ำออก จากอุโมงค์	2,050.72	kWh	0.5986	1,227.56
ระยะทาง	48.00	m	รวม	<u>228,375</u>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

\*\* (5) = (2) x (4)

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน มิ.ย. 62

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
งานเจาะระเบิด				
Ammonium Nitrate	21,524.11	kg	8.4819	182,565.3
Emulsion	1,625	Kg	8.4819	13,783.09
งานติดตั้งซัพพอร์ต				
Rock Bolt	462.36	kg	1.76	813.75
Wire mesh	748.29	kg	1.76	1,316.99
คอนกรีตผสมเสร็จ	108	m <sup>3</sup>	317	34,236
Sika – Sig unit	1,600	kg	1.5922	2,547.52
งานปรับแต่งอุโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประชาชนภายนอก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน มิ.ย. 62 (ต่อ)

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
น้ำมันดีเซล	7,306	litters	3.0203	22,066.31
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างานระเบิด	372,570	kWh	0.5986	223,020.40
เครื่องจักรสูบน้ำออก จากอุโมงค์	1,693.14	kWh	0.5986	1,013.51
<b>ระยะทาง</b>	<b>87.00</b>	<b>m</b>	<b>รวม</b>	<b>481,363</b>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน ก.ค. 62

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
<b>งานเจาะระเบิด</b>				
Ammonium Nitrate	5,393.57	kg	8.4819	45,747.72
Emulsion	120	Kg	8.4819	1,017.83
<b>งานติดตั้งซัพพอร์ต</b>				
Rock Bolt	647.30	kg	1.76	1,139.26
Wire mesh	1,372.26	kg	1.76	2,415.18
คอนกรีตผสมเสร็จ	72.00	m <sup>3</sup>	317	22,824.00
<b>งานปรับแต่งอุโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร</b>				
น้ำมันดีเซล	4,934	litters	3.0203	14,902.16
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างานระเบิด	372,240	kWh	0.5986	222,822.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน ก.ค. 62 (ต่อ)

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
เครื่องจักรสูบน้ำออกจากอุโมงค์	1,833.80	kWh	0.5986	1,097.71
<b>ระยะทาง</b>	<b>113.00</b>	<b>m</b>	<b>รวม</b>	<b><u>311,967</u></b>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน ส.ค. 62

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
<b>งานเจาะระเบิด</b>				
Ammonium Nitrate	8,722.39	kg	8.4819	73,982.44
Emulsion	1,625	Kg	8.4819	13,783.09
<b>งานติดตั้งซัพพอร์ต</b>				
Rock Bolt	601.07	kg	1.76	1,057.88
Wire mesh	1,583.37	kg	1.76	2,786.73
คอนกรีตผสมเสร็จ	56.00	m <sup>3</sup>	317	17,752.00
<b>งานปรับแต่งอุโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร</b>				
น้ำมันดีเซล	7,150	litters	3.0203	21,595.15
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างานระเบิด	280,838.00	kWh	0.5986	168,109.63
เครื่องจักรสูบน้ำออกจากอุโมงค์	24,633.85	kWh	0.5986	14,745.82
<b>ระยะทาง</b>	<b>94.00</b>	<b>m</b>	<b>รวม</b>	<b><u>323,813</u></b>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$** (5) = (2) \times (4)$$

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานเจาะระเบิด เดือน ก.ย. 62

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
<b>งานเจาะระเบิด</b>				
Ammonium Nitrate	6,591.16	kg	8.4819	55,905.56
Emulsion	5,500	Kg	8.4819	46,650.45
<b>งานติดตั้งซัพพอร์ท</b>				
Rock Bolt	878.48	kg	1.76	1,546.13
Wire mesh	1,655.88	kg	1.76	2,914.35
คอนกรีตผสมเสร็จ	60	m <sup>3</sup>	317	19,020.00
Sika – Sig unit	800	kg	1.5922	1,273.76
<b>งานปรับแต่งอุโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร</b>				
น้ำมันดีเซล	10,864.00	litters	3.0203	32,812.54
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างานระเบิด	314,365.00	kWh	0.5986	188,178.89
เครื่องจักรสูบน้ำออก จากอุโมงค์	94,304.05	kWh	0.5986	56,450.40
<b>ระยะทาง</b>	<b>99.00</b>	<b>m</b>	<b>รวม</b>	<b><u>404,752</u></b>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

#### 4.4.2 ข้อมูลกิจกรรมงานตาดอุโมงค์คอนกรีต

ข้อมูลกิจกรรมงานตาดอุโมงค์คอนกรีต โดยแบ่งออกเป็นงานก่อสร้างในแต่ละเดือนแสดงดังตารางที่ 4.9 ถึงตารางที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานตัดอูโมงค์ เดือน ม.ค. 63

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
งานคอนกรีตตัดอูโมงค์				
คอนกรีตผสมเสร็จ	1,609	m <sup>3</sup>	317	510,053
คอนกรีตมอร์ตาร์	6,200	kg	0.934	5,790.80
งานปรับแต่งอูโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร				
น้ำมันดีเซล	2,928.50	litters	3.0203	8,844.95
เครื่องจักรสนับสนุน งานคอนกรีต	63,908.16	kWh	0.5986	38,255.42
<b>รวม</b>				<b>562,944</b>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานตัดอูโมงค์ เดือน ก.พ. 63

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
งานคอนกรีตตัดอูโมงค์				
คอนกรีตผสมเสร็จ	2,353	m <sup>3</sup>	317	745,901.00
คอนกรีตมอร์ตาร์	8,000.00	kg	0.934	7,472.00
งานปรับแต่งอูโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร				
น้ำมันดีเซล	7,097.36	litters	3.0203	21,436.16
เครื่องจักรสนับสนุน งานคอนกรีต	61,103.84	kWh	0.5986	36,576.76
<b>รวม</b>				<b>811,385</b>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานดาตอโมงค์ เดือน มี.ค. 63

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
งานคอนกรีตดาตอโมงค์				
คอนกรีตผสมเสร็จ	2,581.25	m <sup>3</sup>	317	818,256.25
คอนกรีตมอร์ตาร์	10,800.00	kg	0.934	10,087.20
งานปรับแต่งอูโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร				
น้ำมันดีเซล	4,595.46	litters	3.0203	13,879.67
เครื่องจักรสนับสนุน งานคอนกรีต	16,227.77	kWh	0.5986	9,713.94
<b>รวม</b>				<b>851,937</b>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานดาตอโมงค์ เดือน เม.ย. 63

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
งานคอนกรีตดาตอโมงค์				
คอนกรีตผสมเสร็จ	2,663.00	m <sup>3</sup>	317	844,171.00
งานปรับแต่งอูโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร				
น้ำมันดีเซล	5,056.72	litters	3.0203	15,272.81
เครื่องจักรสนับสนุน งานคอนกรีต	19,864.82	kWh	0.5986	11,891.08
<b>รวม</b>				<b>871,334</b>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานตัดอูโมงค์ เดือน พ.ค. 63

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
งานคอนกรีตตัดอูโมงค์				
คอนกรีตผสมเสร็จ	2,694.50	m <sup>3</sup>	317	854,156.50
งานปรับแต่งอูโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร				
น้ำมันดีเซล	3,521.18	litters	3.0203	10,635.02
เครื่องจักรสนับสนุน งานคอนกรีต	21,786.01	kWh	0.5986	13,041.11
รวม				<u>877,832</u>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงานตัดอูโมงค์ เดือน มิ.ย. 63

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4)*	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5)**
งานคอนกรีตตัดอูโมงค์				
คอนกรีตผสมเสร็จ	2,643.50	m <sup>3</sup>	317	837,989.50
งานปรับแต่งอูโมงค์ การใช้พลังงานในการดำเนินงานของเครื่องจักร				
น้ำมันดีเซล	4,130.50	litters	3.0203	12,475.35
เครื่องจักรสนับสนุน งานคอนกรีต	97,864.45	kWh	0.5986	58,581.66
รวม				<u>909,046</u>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

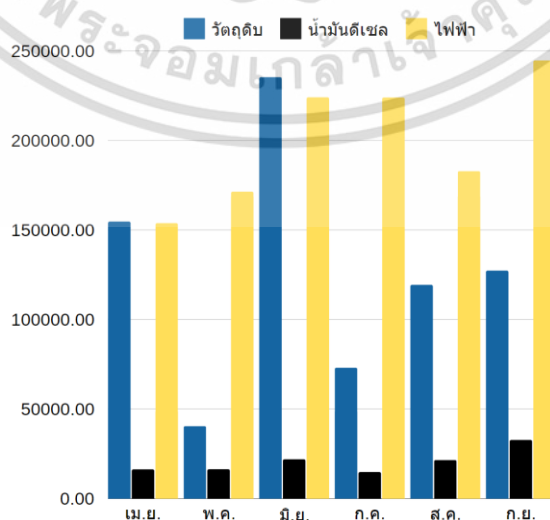
นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลตามหัวข้อที่ 4.4 แล้วจะมาทำการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยนำข้อมูลที่ได้มาคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังสมการที่ (2) โดยผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4.3 ถึงตารางที่ 4.14 และสรุปผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานก่อสร้างอิมุงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการเจาะระเบิดได้ดังนี้

### 4.5.1 ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรมงานเจาะระเบิด

ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรมงานเจาะระเบิดเกิดจากผลรวมในแต่ละกิจกรรมก่อสร้างในทุกๆ เดือนที่ทำการเก็บข้อมูลซึ่งมีกิจกรรมย่อย 3 กิจกรรม แสดงในตารางที่ 4.3 ถึงตารางที่ 4.8 จะพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่ของกิจกรรมเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นหลัก รองลงมาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง และการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานเจาะระเบิด

ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e)	เดือน					
	เม.ย. 62	พ.ค. 62	มิ.ย. 62	ก.ค. 62	ส.ค. 62	ก.ย. 62
วัสดุดิบ	154,694	40,543	235,262	73,145	119,363	127,311
น้ำมันเชื้อเพลิง	16,376	16,458	22,067	14,902	21,595	32,812
พลังงานไฟฟ้า	153,787	171,373	224,033	223,920	182,855	244,629
รวม	324,857	228,375	481,363	311,967	323,813	404,752



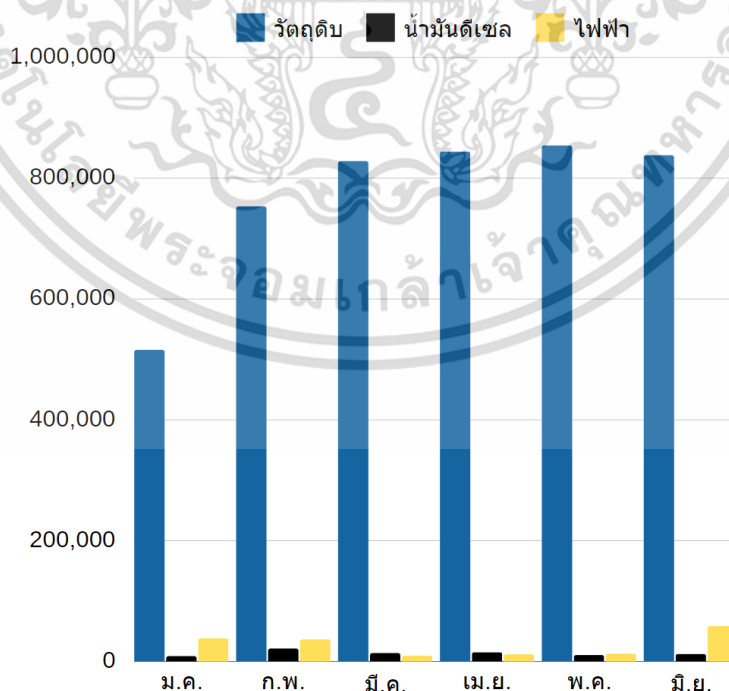
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ 4.3 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานเจาะระเบิดใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรมงานดาตอูโมงค์คอนกรีต

ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรมงานดาตอูโมงค์คอนกรีตเกิดจากผลรวมในแต่ละกิจกรรมก่อสร้างในทุกๆ เดือนที่ทำการเก็บข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.8 ถึงตารางที่ 4.14 จะพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่ของกิจกรรมเกิดจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นหลักรองลงมาเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้า และการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานดาตอูโมงค์คอนกรีต

ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e)	เดือน					
	ม.ค. 63	ก.พ. 63	มี.ค. 63	เม.ย. 63	พ.ค. 63	มิ.ย. 63
วัสดุดิบ	515,844	753,373	828,343	844,171	854,156	837,989
น้ำมันเชื้อเพลิง	8,845	21,436	13,880	15,273	10,635	12,475
พลังงานไฟฟ้า	38,255	36,576	9,714	11,891	13,041	58,582
รวม	562,944	811,385	851,937	871,334	877,832	909,046



รูปภาพที่ 4.4 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานดาตอูโมงค์คอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 การแปลผลลัพธ์ของคาร์บอนฟุตพริ้นท์

จากผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดด้วยวิธีการเจาะระเบิด พบว่ามีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 6,480 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO<sub>2</sub>e) และมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางเท่ากับ 11,467 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตร (tCO<sub>2</sub>e/km) แสดงในตารางที่ 4.17 โดยมีแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง คือ คอนกรีตผสมเสร็จ

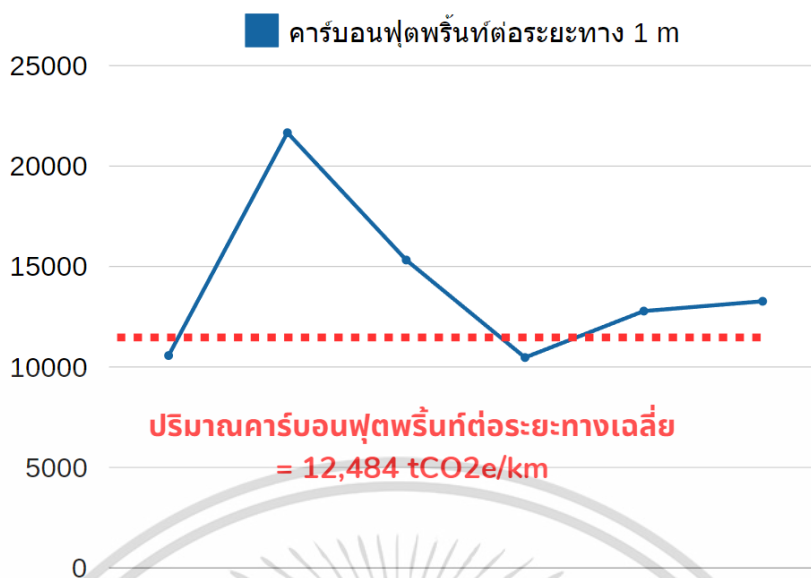
ตารางที่ 4.17 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางของอุโมงค์แบบเจาะระเบิด

ระยะทาง (m)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์งานเจาะระเบิด (kgCO <sub>2</sub> e)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์งานดาตอุโมงค์คอนกรีต(kgCO <sub>2</sub> e)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทาง* (tCO <sub>2</sub> e/km)
84.00	324,857	562,941	10,569
**48.00	228,375	811,385	21,661
87.00	481,363	851,937	15,325
113.00	311,967	871,334	10,471
94.00	323,813	877,832	12,783
99.00	404,752	909,046	13,270
<b>เฉลี่ย</b>			<b>12,484</b>

หมายเหตุ \* คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทาง = ผลรวมของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระหว่างงานเจาะระเบิดกับงานดาตอุโมงค์คอนกรีต / ระยะทาง

\*\* เนื่องจากค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นสูงไม่สอดคล้องกับระยะทางในการทำงานที่ได้จึงไม่นำมาคำนวณในค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 4.5 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางของอุโมงค์แบบเจาะระเบิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แม่จัดด้วยวิธีการ Tunnel Boring Machine (TBM)

ในบทนี้ได้ทำการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แม่จัด ด้วยวิธีการสร้างอุโมงค์แบบ Tunnel Boring Machine (TBM) กม.4+638+961 ถึง กม.5+357.149 ระยะทางรวม 708.19 เมตร ซึ่งมีลักษณะอุโมงค์เป็นรูปวงกลมติดตั้งงานคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปเซกเมนต์ มีความกว้าง 4 เมตร ความหนาของเซกเมนต์ 25 เซนติเมตร โดยมีขอบเขตการประเมินตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่เกิดจากการดำเนินงานของเครื่องจักรและยานพาหนะในพื้นที่ก่อสร้างขณะดำเนินการก่อสร้าง โดยมีรูปแบบการประเมินดังนี้

### 5.1 รูปแบบการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำที่ทำการศึกษา

การก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แม่จัดด้วยวิธีการ Tunnel Boring Machine (TBM) บริเวณ กม. 4+638+961 ถึง กม.5+357.149 ระยะทางรวม 708.19 เมตร มีลักษณะอุโมงค์เป็นรูปวงกลมติดตั้งงานคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปเซกเมนต์ มีความกว้าง 4 เมตร ความหนาของเซกเมนต์ 25 เซนติเมตร เป็นการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการใช้เครื่องจักรขุดเจาะและติดตั้งผนังอุโมงค์เซกเมนต์สำเร็จรูป แล้วทำการเกร้าท์ผนังอุโมงค์



รูปภาพที่ 5.1 อุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แม่จัดชนิด Tunnel Boring Machine (TBM)

ที่มา : (สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดใหญ่ที่ 1 สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการประเมิน

### 5.2.1 กำหนดเป้าหมายการประเมิน

ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แมงจัตด้วยวิธีการ Tunnel Boring Machine (TBM) มีเป้าหมายเพื่อหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากกิจกรรมก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการ TBM ในโครงการฯ เพื่อทราบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหนึ่งหน่วยระยะทางและนำมาเปรียบเทียบกับโครงการก่อสร้างอุโมงค์ในลักษณะต่างๆ

### 5.2.2 กำหนดรูปแบบการประเมิน

ใช้การประเมินแบบ Cradle – to – Gate ซึ่งเป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุ จนถึงการก่อสร้างและติดตั้งเสร็จ โดยในงานวิจัยนี้จะได้ประเมินระยะทางของการขนส่ง การใช้งานหลังจากก่อสร้างและของเสียที่เกิดขึ้น จะสามารถแบ่งกิจกรรมก่อสร้างออกเป็น 1 กิจกรรมหลัก และ 3 กิจกรรมย่อย แสดงในตารางที่ 5.1

### 5.2.3 กำหนดระบบผลิตภัณฑ์

ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ มีกระบวนการก่อสร้างตั้งแต่การได้มาซึ่งวัสดุ ก่อสร้างต่างๆ เพื่อเข้าสู่กระบวนการก่อสร้างจนออกมาเป็นสิ่งก่อสร้างที่แล้วเสร็จ โดยในแต่ละขั้นตอนจะมีกิจกรรมย่อยต่างๆ โดยในแต่ละกิจกรรมจะมีการใช้วัสดุก่อสร้าง ปริมาณเชื้อเพลิง และเครื่องจักรซึ่งแตกต่างกันออกไป โดยมีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 5.2



รูปภาพที่ 5.2 แผนผังกระบวนการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำที่ใช้ในการประเมิน

### 5.2.4 หน่วยการทำงาน

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ มีรูปแบบเป็น Tunnel Boring Machine (TBM) ในช่วงการประเมินมีระยะทาง 708.19 เมตร และมีความกว้าง 4 เมตร จึงกำหนดหน่วยของการทำงานในหน่วยของระยะทางเพื่อสามารถนำไปเปรียบเทียบกับงานก่อสร้างลักษณะคล้ายกันได้ ในหน่วยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตร (CO<sub>2</sub>e/km) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.5 กำหนดขอบเขตของระบบ

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธี Tunnel Boring Machine มีการกำหนดขอบเขตการประเมินโดยพิจารณาจากขั้นตอนการดำเนินงานก่อสร้างซึ่งประกอบด้วย 1 กิจกรรมหลัก คือ งานเจาะและติดตั้งเซกเมนต์ โดยแบ่งกิจกรรมย่อยออกเป็น 3 กิจกรรมย่อย ได้แก่ 1. งานหล่อเซกเมนต์สำเร็จรูป 2. งานขุดเจาะและติดตั้งผนังอุโมงค์ 3. งานเกร้าท์ผนังอุโมงค์ แสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในบัญชีแสดงปริมาณวัสดุ (BOQ) และรายละเอียดของงาน โดยข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงเดือน ก.ค. – ธ.ค. 65

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดของงานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการ TBM

งานก่อสร้าง	กิจกรรมก่อสร้าง
งานสร้างอุโมงค์ส่งน้ำด้วยวิธีการ TBM (รวม 3 กิจกรรม)	
1. งานเจาะและติดตั้งเซกเมนต์ เป็นการก่อสร้างและติดตั้งอุโมงค์โดยใช้เครื่องขุดเจาะอุโมงค์	1. งานหล่อเซกเมนต์สำเร็จรูป 2. งานขุดเจาะและติดตั้งผนังอุโมงค์ 3. งานเกร้าท์ผนังอุโมงค์

### 5.2.6 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

การพิจารณาแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมก่อสร้างเพื่อประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยพิจารณาแยกในแต่ละกิจกรรมของกระบวนการก่อสร้างเพื่อระบุสิ่งนำเข้าและออกโดยใช้ข้อมูลจากการก่อสร้างพบว่าส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างประเภทคอนกรีต น้ำมันดีเซล ไฟฟ้า ฯลฯ ซึ่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่างกันไปในแต่ละผลิตภัณฑ์

### 5.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการ TBM จะทำการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมก่อสร้าง และวิเคราะห์ออกมาในแต่ละกิจกรรม ดังนั้นจึงต้องทำการเก็บข้อมูลในแต่ละกิจกรรมซึ่งในแต่ละกิจกรรมจะประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วน ได้แก่ 1. ข้อมูลกิจกรรม 2. ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก แสดงในตารางที่ 5.2

### 5.4 ข้อมูลการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการ TBM

ข้อมูลกิจกรรมงาน TBM ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมงานก่อสร้างทั้งหมด 3 กิจกรรม โดยแบ่งออกเป็นงานก่อสร้างในแต่ละเดือนต่อระยะทางที่ทำได้แสดงดังตารางที่ 5.3 ถึงตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.2 แหล่งที่มาของการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูล	แหล่งที่มา	
	ข้อมูลปฐมภูมิ	ข้อมูลทุติยภูมิ
<b>ข้อมูลกิจกรรม</b> - วัสดุก่อสร้าง - เครื่องมือสนับสนุน - เชื้อเพลิง - ไฟฟ้า	- บัญชีแสดงปริมาณวัสดุ (BOQ) - ระบบบันทึกข้อมูลของบริษัท - การจดบันทึกข้อมูลไฟฟ้าจากมิเตอร์วัดไฟ	-
<b>ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF)</b>	-	- องค์กรบริหารก๊าซเรือนกระจก [15] - คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ [16]

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมทั้งหมดในการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำของโครงการฯ ด้วยวิธีการเจาะระเบิดแสดงโดยแบ่งออกเป็นช่วงงานเจาะระเบิดดังตารางที่ 5.3 ถึง ตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ก.ค. 65

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4) *	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5) **
งานหล่อเซกเมนต์สำเร็จรูป				
คอนกรีตผสมเสร็จ	535.30	m <sup>3</sup>	317	169,690.10
เหล็ก DB10 SD50	46,126.92	kg	1.76	81,183.38
งานขุดเจาะและติดตั้งผนังอุโมงค์				
น้ำมันดีเซล	7,620	litters	3.0203	23,014.69
เครื่องขุดเจาะ TBM	277,734.70	kWh	0.5986	166,251.99
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างาน TBM	162,021.30	kWh	0.5986	96,985.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ก.ค. 65 (ต่อ)

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4) *	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5) **
งานเกร้าท์ผนังอุโมงค์				
หินแข็ง	125,000	m <sup>3</sup>	0.0044	550.00
ปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์	82,100	kg	0.897	73,643.70
Sika REP-S /Sika Repair Mortar /Sika Water plug	2,050.00	kg	0.934	1,914.70
ระยะทาง	153.00	m	รวม	<u>613,235</u>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ส.ค. 65

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4) *	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5) **
งานหล่อเซกเมนต์สำเร็จรูป				
คอนกรีตผสมเสร็จ	456.72	m <sup>3</sup>	317	144,780.24
เหล็ก DB10 SD50	42,535.98	kg	1.76	74,863.32
งานขุดเจาะและติดตั้งผนังอุโมงค์				
น้ำมันดีเซล	9,417	litters	3.0203	28,442.17
เครื่องขุดเจาะ TBM	290,017.40	kWh	0.5986	173,604.42
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างาน TBM	154,962.60	kWh	0.5986	92,760.61
งานเกร้าท์ผนังอุโมงค์				
หินแข็ง	156,841.67	m <sup>3</sup>	0.0044	690.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ส.ค. 65 (ต่อ)

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4) *	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5) **
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	66,500.00	kg	0.897	59,650.50
Sika REP-S /Sika Repair Mortar /Sika Water plug	1,215.00	kg	0.934	1,134.81
<b>ระยะทาง</b>	<b>131.00</b>	<b>m</b>	<b>รวม</b>	<b><u>575,926</u></b>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ก.ย. 65

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4) *	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5) **
<b>งานหล่อเชกเมนต์สำเร็จรูป</b>				
คอนกรีตผสมเสร็จ	486.19	m <sup>3</sup>	317	154,122.23
เหล็ก DB10 SD50	36,649.80	kg	1.76	64,503.65
<b>งานขุดเจาะและติดตั้งผนังอุโมงค์</b>				
น้ำมันดีเซล	11,632	litters	3.0203	35,132.13
เครื่องขุดเจาะ TBM	284,356.97	kWh	0.5986	170,216.08
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างาน TBM	153,363.03	kWh	0.5986	91,803.11
<b>งานเกร้าท์ผนังอุโมงค์</b>				
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	19,600.00	kg	0.897	17,581.20
Sika REP-S /Sika Repair Mortar /Sika Water plug	920.00	kg	0.934	859.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ก.ย. 65 (ต่อ)

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4) *	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5) **
Cormix Contite /Cormix Congrout Rokfix	44.00	kg	1.038	45.67
ระยะทาง	139.00	m	รวม	<u>534,263</u>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ต.ค. 65

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4) *	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5) **
<b>งานหล่อเชกเมนต์สำเร็จรูป</b>				
คอนกรีตผสมเสร็จ	412.52	m <sup>3</sup>	317	130,768.84
เหล็ก DB10 SD50	31,096.80	kg	1.76	54,730.37
<b>งานขุดเจาะและติดตั้งผนังอุโมงค์</b>				
น้ำมันดีเซล	8,960	litters	3.0203	27,061.89
เครื่องขุดเจาะ TBM	306,977.30	kWh	0.5986	183,756.61
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างาน TBM	161,286.70	kWh	0.5986	96,546.22
<b>งานเกร้าท์ผนังอุโมงค์</b>				
หินแข็ง	381,208.33	m <sup>3</sup>	0.0044	1,677.32
ปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์	35,150.00	kg	0.897	31,529.55
Sika REP-S /Sika Repair Mortar /Sika Water plug	1,100.00	kg	0.934	1,027.40
ระยะทาง	119.00	m	รวม	<u>527,098</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน พ.ย. 65

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4) *	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5) **
<b>งานหล่อเซกเมนต์สำเร็จรูป</b>				
คอนกรีตผสมเสร็จ	313.30	m <sup>3</sup>	317	99,633.10
เหล็ก DB10 SD50	23,692.80	kg	1.76	41,699.33
<b>งานขุดเจาะและติดตั้งผนังอุโมงค์</b>				
น้ำมันดีเซล	6,890	litters	3.0203	20,809.87
เครื่องขุดเจาะ TBM	223,039.50	kWh	0.5986	133,511.44
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างาน TBM	151,387.50	kWh	0.5986	90,615.17
<b>งานเกร้าท์ผนังอุโมงค์</b>				
หินแข็ง	138,100	m <sup>3</sup>	0.0044	607.64
ปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์	39,900	kg	0.897	35,790.3
Sika REP-S /Sika Repair Mortar /Sika Water plug	845.00	kg	0.934	789.23
Cormix Contite /Cormix Congrout Rokfix	160	kg	1.038	457.60
<b>ระยะทาง</b>	<b>90.00</b>	<b>m</b>	<b>รวม</b>	<b><u>423,623</u></b>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลค่า EF และผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ช่วงงาน TBM เดือน ธ.ค. 65

กิจกรรม (1)	ปริมาณ (2)	หน่วย (3)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย) (4) *	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e) (5) **
<b>งานหล่อเซกเมนต์สำเร็จรูป</b>				
คอนกรีตผสมเสร็จ	265.19	m <sup>3</sup>	317	84,065.23
เหล็ก DB10 SD50	19,990.80	kg	1.76	35,183.81
<b>งานขุดเจาะและติดตั้งผนังอุโมงค์</b>				
น้ำมันดีเซล	6,092	litters	3.0203	18,309.06
เครื่องขุดเจาะ TBM	159,482.24	kWh	0.5986	95,466.07
เครื่องจักรสนับสนุน หน้างาน TBM	136,524.59	kWh	0.5986	81,723.62
<b>งานเกร้าท์ผนังอุโมงค์</b>				
หินแข็ง	174,566.67	m <sup>3</sup>	0.0044	768.09
ปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์	52,000.00	kg	0.897	46,644.00
Sika REP-S /Sika Repair Mortar /Sika Water plug	535.00	kg	0.934	499.69
ระยะทาง	76.00	m	รวม	<u>362,660</u>

หมายเหตุ \* รายละเอียดค่า EF และแหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า EF แสดงดังภาคผนวก ก

$$** (5) = (2) \times (4)$$

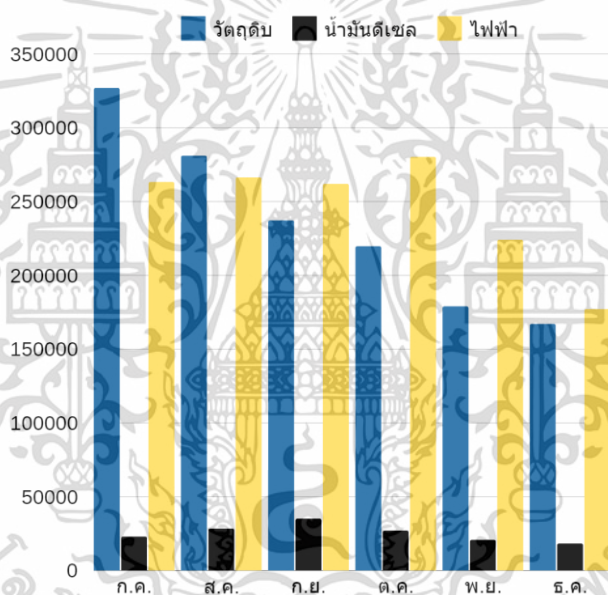
## 5.5 ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรมงาน TBM

ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรมงาน TBM เกิดจากผลรวมในแต่ละกิจกรรมก่อสร้างในทุกๆ เดือน ที่ทำการเก็บข้อมูลซึ่งมีกิจกรรมย่อย 3 กิจกรรม แสดงในตารางที่ 5.3 ถึงตารางที่ 5.8 จะพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่ของกิจกรรมเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นหลักรองลงมาเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง และการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงตามลำดับ แสดงในตารางที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงาน TBM

ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO <sub>2</sub> e)	เดือน					
	ก.ค. 65	ส.ค. 65	ก.ย. 65	ต.ค. 65	พ.ย. 65	ธ.ค. 65
วัตถุดิบ	326,982	281,119	237,112	219,733	178,977	167,161
น้ำมันเชื้อเพลิง	23,015	28,442	35,132	27,062	20,810	18,309
พลังงานไฟฟ้า	263,238	266,365	262,019	280,303	224,127	177,190
รวม	613,235	575,926	534,263	527,098	423,914	362,660



รูปภาพที่ 5.3 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงาน TBM

## 5.6 การแปลผลลัพธ์ของคาร์บอนฟุตพริ้นท์

จากผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดด้วยวิธีการ TBM พบว่ามีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 3,037 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO<sub>2</sub>e) และมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางเท่ากับ 4,366 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตร (tCO<sub>2</sub>e/km) แสดงในตารางที่ 5.10 โดยมีแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากการได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง คือ คอนกรีตผสมเสร็จ และไฟฟ้าในการใช้เครื่องชุดเจาะรวมถึงอุปกรณ์สนับสนุนหน้างาน

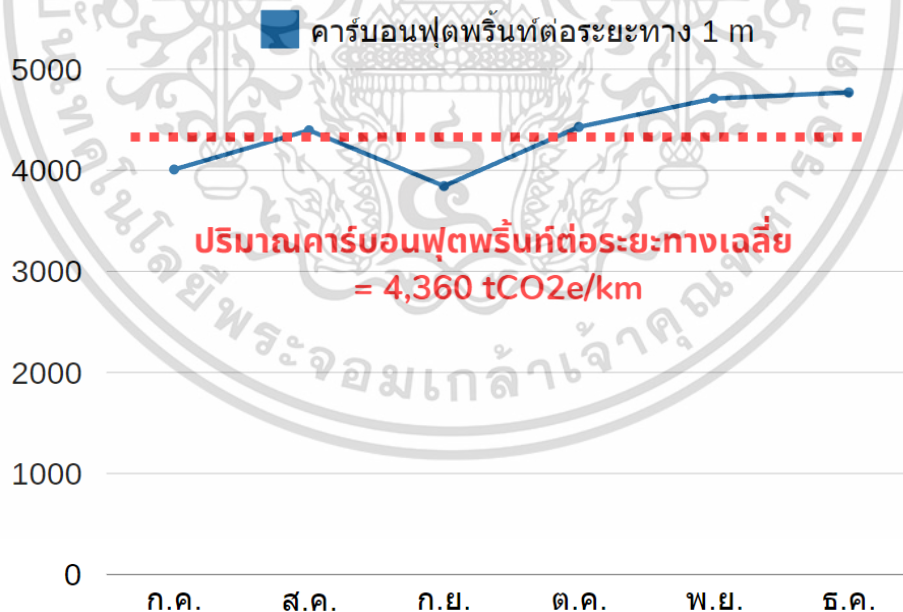
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางของอุโมงค์แบบ TBM

เดือน	ระยะทาง (m)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์งาน TBM (kgCO <sub>2</sub> e)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทาง* (tCO <sub>2</sub> e/km)
ก.ค. 65	153.00	613,235	4,008.07
ส.ค. 65	131.00	575,926	4,396.38
ก.ย. 65	139.00	534,263	3,884.20
ต.ค. 65	119.00	527,098	4,429.40
พ.ย. 65	90.00	423,914	4,710.15
ธ.ค. 65	76.00	362,660	4,771.84
<b>เฉลี่ย</b>			<b>4,360</b>

หมายเหตุ

\* คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทาง = คาร์บอนฟุตพริ้นท์งาน TBM / ระยะทาง



รูปภาพที่ 5.4 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางของอุโมงค์แบบ TBM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# ผลการประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับคาร์บอนเครดิตและเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด

จากการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด เพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมก่อสร้าง และทำการประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อคาร์บอนเครดิตเพื่อเป็นแนวทางในการคำนวณค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในอนาคตสำหรับโครงการก่อสร้าง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับรูปแบบการก่อสร้างที่แตกต่างกันซึ่งประกอบด้วย การก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดด้วย วิธีการเจาะระเบิด และการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด ด้วยวิธี Tunnel Boring Machine และเปรียบเทียบกับโครงการก่อสร้างอุโมงค์ที่มีรูปแบบแตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 6.1 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อคาร์บอนเครดิตและเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด ในการศึกษา

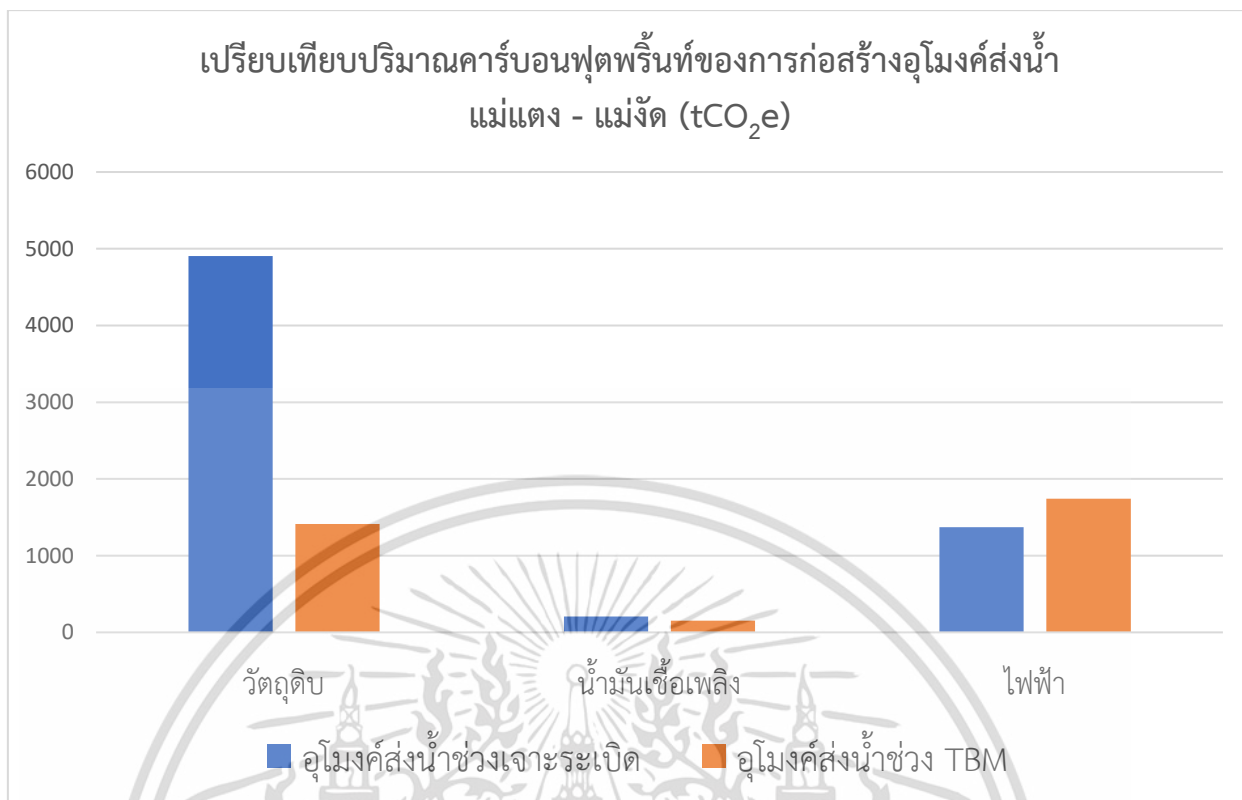
ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด ในช่วงที่ทำการศึกษามีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยพิจารณาจากแหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อคาร์บอนเครดิต มีผลการเปรียบเทียบ แสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และค่าใช้จ่ายในการซื้อคาร์บอนเครดิต

แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก	อุโมงค์ส่งน้ำช่วงเจาะระเบิด		อุโมงค์ส่งน้ำช่วง TBM	
	tCO <sub>2</sub> e	tCO <sub>2</sub> e/km	tCO <sub>2</sub> e	tCO <sub>2</sub> e/km
วัสดุดิบ	5,383		1,411	
น้ำมันเชื้อเพลิง	206	-	153	-
พลังงานไฟฟ้า	1,370		1,472	
รวมปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์	6,959	12,484	3,036	4,360
ค่าใช้จ่ายสำหรับซื้อคาร์บอนเครดิต (ล้านบาท) *	1.32	2.37	0.58	0.83

\* ค่าใช้จ่ายสำหรับซื้อคาร์บอนเครดิต = ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ x ราคาคาร์บอนเครดิต โดยราคาคาร์บอนเครดิตอ้างอิงจากองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก เดือน ม.ค. 67 อยู่ที่ 190 บาท / tCO<sub>2</sub>e

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



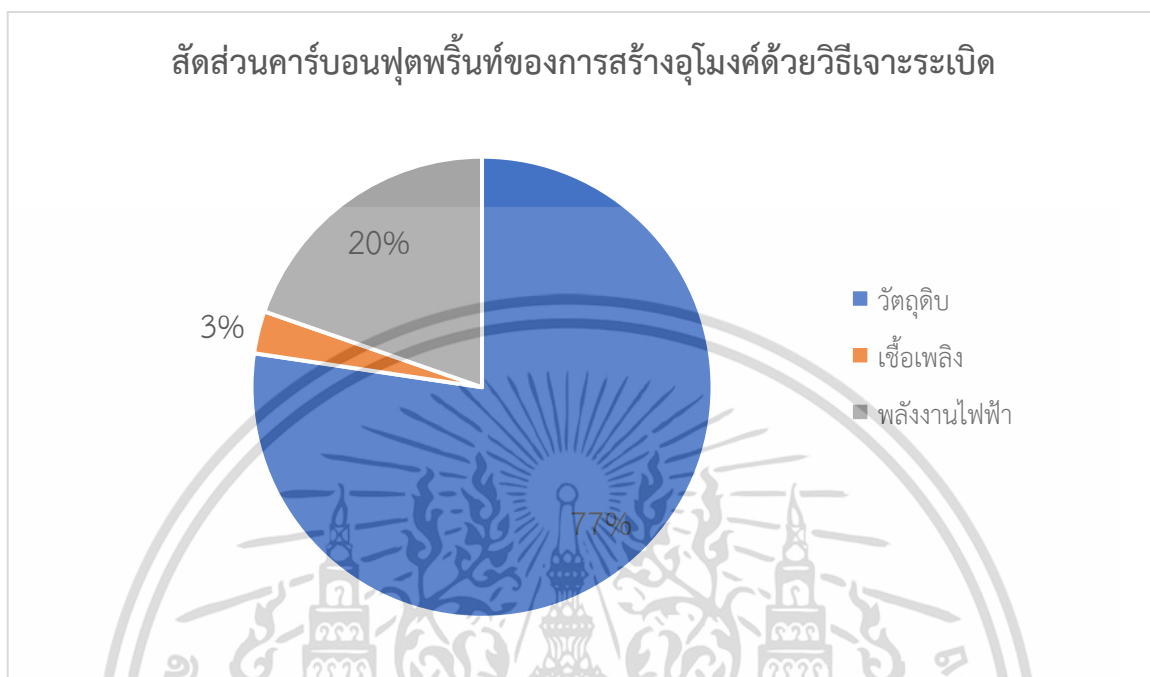
**รูปภาพที่ 6.1** การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด

จากตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดด้วยวิธีการก่อสร้างทั้งสองรูปแบบมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดคือ 6,480 tCO<sub>2</sub>e สำหรับการก่อสร้างด้วยวิธีการเจาะระเบิด และ 3,307 tCO<sub>2</sub>e สำหรับการก่อสร้างด้วยวิธีการ TBM และเมื่อเทียบในหน่วยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตรจะมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 11,467 tCO<sub>2</sub>e/km และ 4,366 tCO<sub>2</sub>e/km ตามลำดับ จากการพิจารณาแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกทั้ง 3 พบว่าสาเหตุหลักของการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์มาจากการได้มาซึ่งวัสดุตบเป็นหลัก รองลงมาคือพลังงานไฟฟ้า แสดงในรูปที่ 6.1 โดยกิจกรรมหลักที่ทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุดคืองานตาดอุโมงค์คอนกรีตเนื่องจากการใช้วัสดุประเภทคอนกรีต โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตคอนกรีตสูงถึง 317.00 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>

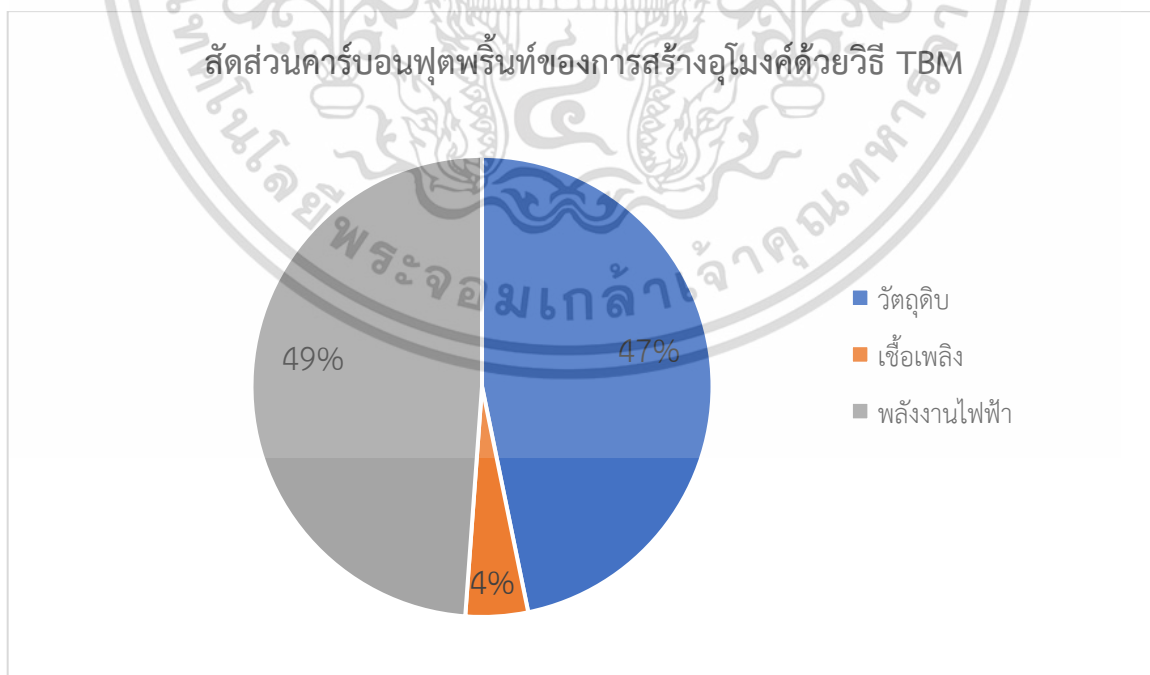
จากการประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อคาร์บอนเครดิตในโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดด้วยวิธีการก่อสร้างทั้งสองรูปแบบพบว่าค่าใช้จ่ายทั้งหมดในช่วงที่ทำการศึกษาอยู่ที่ 1.23 ล้านบาท สำหรับการก่อสร้างด้วยวิธีการเจาะระเบิด และ 0.63 ล้านบาท สำหรับวิธีการ TBM โดยเมื่อคิดเป็นระยะทางจะอยู่ที่ 2.18 ล้านบาท/km และ 0.83 ล้านบาท/km ตามลำดับ โดยอ้างอิงราคาการซื้อขายคาร์บอนเครดิตของประเทศไทยจากองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก ณ เดือน มกราคม 2567 อยู่ที่ 190 บาท/tCO<sub>2</sub>e

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่ได้กล่าวมาข้างต้นของการสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง – แม่จันนั้นยังมีข้อจำกัดในด้านการเก็บรวบรวมข้อมูลระยะทางที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบต่างๆ เพื่อพิจารณาด้านการขนส่งมายังสถานที่ทำการก่อสร้าง

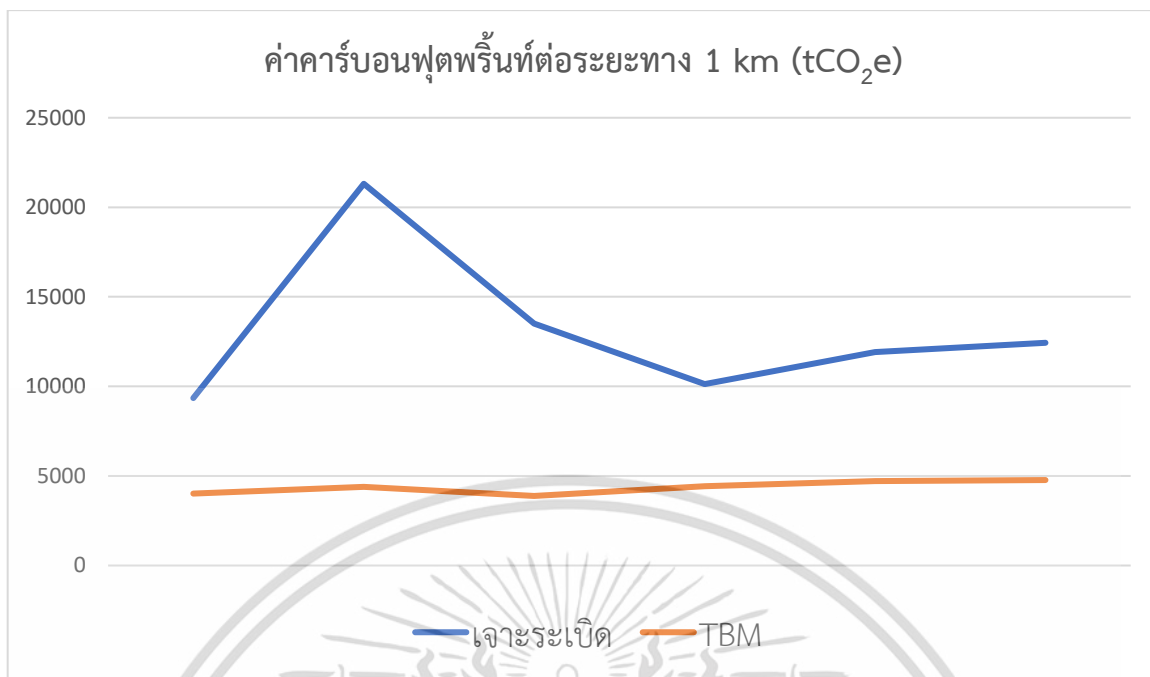


รูปภาพที่ 6.2 สัดส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีเจาะระเบิด



รูปภาพที่ 6.3 สัดส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการสร้างอุโมงค์ด้วยวิธี TBM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 6.4 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตร

จากการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด สามารถสรุปได้ว่าการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการเจาะระเบิดมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงกว่าการก่อสร้างด้วยวิธี TBM ประมาณสองเท่า และมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางสูงกว่าประมาณสามเท่า เนื่องจากการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการเจาะระเบิดมีความไม่แน่นอนสูงกว่าการใช้เครื่องจักรช่วยในการขุดเจาะและติดตั้งผนังอุโมงค์สำเร็จรูปในหลายสาเหตุ เช่น การ Over Breaking ของอุโมงค์ที่อาจจะต้องใช้ปริมาณคอนกรีตที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นจากการพันคอนกรีต หรือการตาดอุโมงค์คอนกรีตที่ใช้ปริมาณคอนกรีตจำนวนมาก

## 6.2 ผลการเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการสร้างอุโมงค์จากในไทยและต่างประเทศ

จากผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดซึ่งมีรูปแบบการก่อสร้าง 2 แบบ คือ การเจาะระเบิด (Drill and Blast) และ Tunnel Boring Machine (TBM) เพื่อนำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยทั้งของไทยและต่างประเทศที่มีลักษณะการก่อสร้างอุโมงค์ที่ต่างกัน โดยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำนั้นยังไม่มีงานวิจัยที่แพร่หลายผู้วิจัยจึงเลือกกรณีศึกษาการก่อสร้างอุโมงค์ที่มีรูปแบบการก่อสร้างใกล้เคียงกันโดยประกอบด้วยงานวิจัย 3 กรณีศึกษา โดยเป็นการก่อสร้างอุโมงค์ในงานโครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟ และอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุโมงค์ส่งน้ำในงานวิจัยนี้ โดยมีรายละเอียดและผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 รายละเอียดและผลการเปรียบเทียบของอุโมงค์ต่างๆ

แหล่งที่มาของข้อมูล	Pritchard & Preston (2018)		สิริกานต์ นิธิศักดิ์ยานนท์ (2016)	งานวิจัยนี้	
	DST	CTR		TBM	D&B
สถานที่ตั้ง	DST	CTR	BTS สายสีน้ำเงินสถานีอิสรภาพ – ท่าพระ	อุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัต	
วิธีการก่อสร้าง	NATM	TBM	TBM	TBM	D&B
ความยาวอุโมงค์ (m)	49,000	7,000	1,300	708	525
ความกว้างอุโมงค์ (m)	9	7.15	5.70	4.00	4.00
ความหนาอุโมงค์ (cm)	N/A	N/A	30	25	25
คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (tCO <sub>2</sub> e/km)	13,016	13,986	9,410	4,360	12,484
อัตราส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อความกว้างอุโมงค์ *	1,446	1,956	1,650	1,090	2,867
อัตราส่วนเทียบกับงานวิจัยนี้	1.32	1.79	1.51	1	2.63

\* อัตราส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อความกว้างอุโมงค์ คือ ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตรต่อความกว้างอุโมงค์หนึ่งเมตร

จากผลการเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่างานวิจัยอื่นอยู่ที่ประมาณ 1.3 – 1.5 เท่าในงานก่อสร้างรูปแบบ TBM แต่ในขณะเดียวกันงานก่อสร้างด้วยวิธีการเจาะระเบิดนั้นมีค่าสูงกว่าประมาณ 2.63 เท่า เป็นค่าที่ได้จากการเทียบอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อความกว้างของอุโมงค์ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากรูปแบบของอุโมงค์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ลักษณะทางธรณีวิทยา ลักษณะทางภูมิประเทศ และวิธีการก่อสร้างที่มีความแตกต่างกัน รวมถึงการพิจารณาแหล่งกำเนิดของก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกันในบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดพบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการก่อสร้างนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่มาเป็นส่วนประกอบ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ ความยาวของอุโมงค์ ความหนาของผนังอุโมงค์ ปริมาณการใช้วัสดุ ก่อสร้าง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินงาน และปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งในการก่อสร้างแต่ละรูปแบบก็จะมีลักษณะการใช้ในลักษณะที่แตกต่างกัน รวมถึงปัจจัยซับซ้อนอื่นๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำการก่อสร้าง เช่น สภาพทางธรณีวิทยา สภาพภูมิประเทศ เป็นต้น

#### 8.1 สรุปผลการวิจัย

สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. การก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัด จากการก่อสร้างด้วยวิธีการเจาะระเบิดมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงกว่าการก่อสร้างด้วยวิธีการ Tunnel Boring Machine โดยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นมาจากการใช้คอนกรีตผสมเสร็จ
2. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำแม่แตง - แม่จัดมาจากการได้มาซึ่งวัสดุการก่อสร้างและพลังงานไฟฟ้าโดยมีสัดส่วนรวมอยู่ที่ 96 - 97 %
3. เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอุโมงค์ที่แตกต่างกัน
  - 3.1 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการ Tunnel Boring Machine 4,360 tCO<sub>2</sub>e/km และการก่อสร้างด้วยวิธีการเจาะระเบิด 12,484 tCO<sub>2</sub>e/km
  - 3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการก่อสร้างอุโมงค์ คือ รูปแบบวิธีการก่อสร้าง สภาพธรณีวิทยา สภาพภูมิประเทศ ชนิดของชั้นดิน ความหนาของผนังอุโมงค์ ชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในการเจาะอุโมงค์
4. ค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อคาร์บอนเครดิตของการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการ Tunnel Boring Machine อยู่ที่ประมาณ 0.83 ล้านบาท/km และวิธีการเจาะระเบิดอยู่ที่ประมาณ 2.18 ล้านบาท/km

#### 8.2 ข้อเสนอแนะ

มีรายละเอียดดังนี้

1. งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโครงการอื่นได้
2. ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกบางตัวยังไม่มีค่ากลางที่เป็นมาตรฐาน และเนื่องด้วยวัสดุมีคุณสมบัติแตกต่างกันจึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่คุณสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกัน
3. เพื่อแสดงให้เห็นถึงต้นทุนทางการก่อสร้างที่อาจจะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตจากการคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อคาร์บอนเครดิต เพื่อเป็นส่วนประกอบในการตัดสินใจในการพิจารณาเลือกวิธีที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เนื่องจากปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่วนใหญ่ของการก่อสร้างนั้นเกิดจากการใช้คอนกรีตผสมเสร็จทั่วไปในการก่อสร้าง จึงควรพิจารณาการใช้คอนกรีตไฮดรอลิกเพื่อลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นได้

5. ในช่วงงานระเบิดอุโมงค์ของการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยวิธีการเจาะระเบิดนั้นมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่วนใหญ่มาจากวัสดุระเบิดที่ใช้ อาจพิจารณาหาวัสดุระเบิดที่เหมาะสมในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นแต่ยังต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท ไรท์ทันเน็ลลิง จำกัด (มหาชน). “งานก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำและอาคารประกอบ พร้อม ส่วนประกอบอื่น อุโมงค์ส่งน้ำช่วงแม่แตง - แม่จัด สัญญาที่ 1 โครงการเพิ่มปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ เขื่อนแม่งวงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่.” กรุงเทพฯ. เอกสารคัดสำเนา.
- [2] กรมอุตุนิยมวิทยา. 2566. ภาวะเรือนกระจก. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://climate.tmd.go.th/content/article/10>
- [3] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2559. ปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1=7&s2=16>
- [4] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2562. การดำเนินการด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.tgo.or.th/2020/index.php/th/page/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%8F%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%8C%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8B%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%88%E0%B8%81-319>
- [5] คณะกรรมการด้านเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. 2558. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : บริษัท ออมรินทร์พริ้นท์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).
- [6] กรมสรรพสามิต. 2566. การจัดเก็บภาษีคาร์บอนในประเทศไทย. [สไลด์]. กรุงเทพฯ : กรมสรรพสามิต.
- [7] ศ.ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล และคณะ. 2564. ปรับกระบวนการพัฒนาเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนของสังคมไทย. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.greennetworkthailand.com/ความเป็นกลางทางคาร์บอน/>
- [8] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2566. โครงการลดก๊าซเรือนกระจก. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://carbonmarket.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y29uY2VwdF9tYXJrZXQ=>
- [9] GEOLOGYSIENE. 2023. Tunnel Construction. [Online]. Available : <https://geologyscience.com/geology-branches/engineering-geology/tunnel-construction/>
- [10] พรพิมล สุตจันทิก. 2563. “การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการก่อสร้างทางเชื่อมผืนป่าบนทางหลวงหมายเลข 304.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [11] สิริกานต์ นิธิศักดิ์ยานนท์. 2559. “การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าโดยใช้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] นิกร เจียมวรพงศ์. 2555. “การศึกษากระบวนการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับบ้านพักอาศัยที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [13] Pritchard, J.A., & Preston J. 2018. “Understanding the contribution of tunnels to the over all energy consumption of and carbon emission from a railway.” **Transportation Research Part D 65**. 2018 : 551-563.
- [14] Monahan, J., and Powell, J.C. 2011. “An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a life cycle assessment framework.” **Energy and Buildings 43**. 2011 : 179-188.
- [15] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2559. **Emission Factor**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : [http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products\\_emission/products\\_emission.pnc](http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_emission/products_emission.pnc)
- [16] คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. 2554. **แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : บริษัท อมรินทร์พริ้นท์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).



ภาคผนวก  
รายละเอียดปริมาณวัสดุที่ใช้และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือน  
กระจก จากการได้มาซึ่งวัสดุก่อสร้าง การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และการ  
ใช้พลังงานไฟฟ้า ในการดำเนินงานของเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ลำดับ	รายการ	หน่วย	Emission Factor (kgCO <sub>2</sub> e/หน่วย)	อ้างอิง
1	หินแข็ง	Kg	0.0044	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
2	เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต	Kg	1.7600	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
3	Wire mesh	Kg	1.7600	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
4	Rock Bolt	Kg	1.7600	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
5	ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์	Kg	0.8970	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2559)
6	คอนกรีตมอร์ตาร์	Kg	0.9340	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2559)
7*	Sika REP-S	Kg	0.9340	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2559)
8*	Sika Repair Mortar	Kg	0.9340	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2559)
9*	Sika Water Plug	Kg	0.9340	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2559)
10	คอนกรีตผสมเสร็จ	m <sup>3</sup>	317.0000	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2559)
11*	Cormix – Congrout	Kg	1.0380	พรพิมล อ้างอิงจาก บริษัท SCG Cement จำกัด
12*	Cormix Contite	Kg	1.0380	พรพิมล อ้างอิงจาก บริษัท SCG Cement จำกัด
13	Ammonium Nitrate	Kg	8.4819	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2559)
14*	Emulsion	Kg	8.4819	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2559)
15	Sika – Sigunit	Kg	1.5922	องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2559)
16	ไฟฟ้า	kWh	0.5986	Thai National LCI Database/MTEC
17	น้ำมันดีเซล	L	3.0203	Thai National LCI Database/MTEC

หมายเหตุ \* เนื่องจากไม่สามารถหาค่า EF ได้จึงใช้ค่า EF ของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 2 รายละเอียดระยะทางในการก่อสร้าง วัสดุ และการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงงานเจาะระเบิด (เม.ย. - ก.ย. 62)

เดือน	ระยะทาง (m)	คอนกรีตผสมเสร็จ (m <sup>3</sup> )	Rock Bolt NTB 25mm x 12m (เส้น)	Wire mesh (cm <sup>2</sup> )	Ammonium Nitrate (kg)	Emulsion 35mm x 260mm (kg)	Sika – Sigunit L53 TH (kg)	เครื่องจักรสนับสนุนหน้างานระเบิด (kWh)	เครื่องจักรสูบน้ำ (kWh)
เม.ย. 62	84	68	17	500.35	10,371.97	4,625	1,200	256,68	731.69
พ.ค. 62	48	52	7	252.00	2,000.00	500	600	284,240	2,050.00
มิ.ย. 62	87	108	10	249.43	21,524.11	1,625	1,600	372,570	1,693.14
ก.ค. 62	113	72	14	457.42	5,393.57	120	-	372,240	1,833.80
ส.ค. 62	94	56	113	527.79	8,722.39	1,625	-	280,838	24,633.85
ก.ย. 62	99	60	19	551.96	6,591.16	5,500	800	341,365	94,304.05

ตารางผนวกที่ 3 รายละเอียดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลช่วงงานเจาะระเบิด (เม.ย. - ก.ย. 62)

ลำดับ	รายละเอียด		เม.ย. 62	พ.ค. 62	มิ.ย. 62	ก.ค. 62	ส.ค. 62	ก.ย. 62
1	Air Compressor Ingersoll Rand XP825WCU	RTAC01-030	-	100	2,045	800	1,100	1,708
2	Air Compressor Ingersoll Rand XP825WCU	RTAC01-037	870	750	-	500	2,130	2,900
3	Hydraulic Excavator Komatsu PC128UU-1E	RTBH01-015	-	-	-	-	-	-
4	Hydraulic Excavator Caterpillar 320C	RTBH02-001	139	-	-	-	-	250
5	Hydraulic Excavator DOOSAN DX225LCA	RTBH02-015	130	160	104	-	-	-
6	Dump Truck SCANIA P420CB6x4	RTDT01-021	640	-	363	566	656	610
7	Dump Truck SCANIA P420CB6x4	RTDT01-022	687	575	705	805	590	820
8	Dump Truck SCANIA P420CB6x4	RTDT01-024	170	754	880	-	680	1,190
9	Dump Truck SCANIA P420CB6x4	RTDT01-025	945	895	471	330	220	-

ตารางผนวกที่ 3 รายละเอียดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลช่วงงานเจาะระเบิด (เม.ย. - ก.ย. 62) (ต่อ)

ลำดับ	รายละเอียด		เม.ย. 62	พ.ค. 62	มิ.ย. 62	ก.ค. 62	ส.ค. 62	ก.ย. 62
10	Dump Truck SCANIA P420CB6x4	RTDT01-026	-	-	-	-	-	318
11	Dump Truck SCANIA P420CB6x4	RTDT01-028	445	190	330	680	-	-
12	Dump Truck SCANIA P420CB6x4	RTDT01-030	-	-	-	-	-	410
13	2 Boom Jumbo Atlas Copco H-282	RTJM02-004	-	-	97	-	60	-
14	2 Boom Jumbo Atlas Copco H-352-2B	RTJM02-007	201	144	70	84	168	219
15	Schaeff Loader Kemco, KL-41	RTL01-002	130	120	70	30	139	225
16	Schaeff Loader	RTL01-006	260	240	140	-	80	90
17	Load Haul Dump	RTL03-008	650	825	1,439	838	950	1,768
18	Shotcrete Spraying Mobile Putzmeister Sika PM-500 PC	RTSC03-007	70	65	344	127	80	180
19	ผสมปุ๋ยระเบิด	-	85	50	48	40	20	11

ตารางผนวกที่ 4 รายละเอียดวัตถุดิบ และไฟฟ้าช่วงงานตาดูโมงค์ (ม.ค. - มิ.ย.63)

เดือน	คอนกรีตผสมเสร็จ (m <sup>3</sup> )	คอนกรีตมอร์ตาร์ขนาดปูน 400 kg/m <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )	เครื่องจักรสนับสนุนงานคอนกรีต (kWh)
ม.ค. 63	1,609	15	63,908.16
ก.พ. 63	2,353	20	61,103.84
มี.ค. 63	10,800	27	16,227.77
เม.ย. 63	2,663	-	19,864.82
พ.ค. 63	2,694	-	21,786.01
มิ.ย. 63	2,643	-	97,864.45

ตารางผนวกที่ 5 รายละเอียดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลช่วงงานดาดอูโมงค์ (ม.ค. - มิ.ย. 63)

ลำดับ	รายละเอียด		ม.ค. 63	ก.พ. 63	มี.ค. 63	เม.ย. 63	พ.ค. 63	มิ.ย. 63
1	Air Compressors Ingersoll Rand P185WIR	RTAC01-007	-	23.47	13.53	-	-	377.63
2	Air Compressor Ingersoll Rand XP750WCU-T2-WRG	RTAC01-035	703	670	285	211	-	1,573
3	Air Compressor Ingersoll Rand XP825WCU	RTAC01-037	870	4,470	1,445	4,173.72	2,846.18	1,654
4	Air Compressor Doosan XP825WCU	RTAC01-055	240	746.92	2,110.93	-	-	-
5	Hydraulic Excavator DOOSAN DX225LCA	RTBH02-015	-	-	-	-	151	100.89
6	Mobile Concrete Pump Putzmeister (2012) BSF 42.-5.H	RTCC02-006	269	75.97	147	-	-	-
7	Mobile Concrete Pump	RTCC02-009	358.50	463	268	-	-	-
8	Concrete Finisher Honda GP160	RTCC05-011	-	10	10	25	25	20
9	Truck crane 60T SANY	RTCR03-007	88	115	-	-	-	-
10	Generator Denyo DCA-600 SSA-K	RTGN04-002	400	-	-	-	-	-
11	Denyo 400 SP (เช่า)	-	-	523	200	-	-	-
12	Generator DCA125SPM	RTGN02-008	-	-	53	-	-	-
13	Load Haul Dump	RTLD03-008	-	-	63	600	417	404.98
14	Schaeff Loader Kemco,KL-41	RTLD01-002	-	-	-	47	-	-
15	Dump Truck	RTDT01-037	-	-	-	-	82	-

ตารางผนวกที่ 6 รายละเอียดระยะทางในการก่อสร้าง วัสดุดิบ และไฟฟ้าช่วงงาน TBM (ก.ค. - ธ.ค. 65)

เดือน	ระยะทาง (m)	คอนกรีตผสมเสร็จ (m <sup>3</sup> )	เหล็ก DB10 SD50 (kg)	หินแข็ง (tons)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type 1 (kg)	SIKA REP-S / Sika Repair Mortar /Sika Water plug 102 (kg)	Cormix Contite /Cormix - Congrout Rock fix (kg)	เครื่องจักรสนับสนุนหน้างาน TBM (kWh)	TBM (kWh)
ก.ค. 65	153	535.30	46,126.92	150.00	82,100	2,050	-	162,021.30	277,734.70
ส.ค. 65	131	456.72	42,535.98	188.21	66,500	1,215	-	154,962.60	290,017.40
ก.ย. 65	139	486.19	36,649.80	-	19,600	920	44	153,363.03	284,356.97
ต.ค. 65	119	412.52	31,096.80	457.54	35,150	1,100	-	161,286.70	306,977.30
พ.ย. 65	90	314.30	26,692.80	165.72	39,900	845	160	151,378.50	223,039.50
ธ.ค. 65	76	265.19	19,990.80	209.48	52,000	535	-	136,524.59	159,482.24

ตารางผนวกที่ 7 รายละเอียดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลช่วงงาน TBM (ก.ค. - ธ.ค. 65)

ประเภท	รายละเอียด		เม.ย. 62	พ.ค. 62	มิ.ย. 62	ก.ค. 62	ส.ค. 62	ก.ย. 62
TBM	Bulldozer ตม-1352 สป. Caterpillar D7G LGP	RTBD01-002	-	-	-	200	-	-
TBM	Hydraulic Excavator Doosan DX340LC	RTBH03-014	2,240	2,600	3,950	3,401	1,530	1,600
TBM	Diesel Hydraulic Tunnel Locomotive	RTL01-001	800	600	1,240	800	1,000	--
TBM	Diesel Hydraulic Tunnel Locomotive	RTL01-002	1,200	1,600	1,600	1,400	1,000	1,400
TBM	Diesel Hydraulic Tunnel Locomotive	RTL01-003	1,200	1,800	2,020	600	-	-
TBM	Diesel Hydraulic Tunnel Locomotive	RTL01-004	-	-	-	600	1,000	1,600
TBM	Wheel Loader Caterpillar 962G	RTL02-005	600	750	735	-	470	570

ตารางผนวกที่ 7 รายละเอียดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลช่วงงาน TBM (ก.ค. - ธ.ค. 65) (ต่อ)

ลำดับ	รายละเอียด		เม.ย. 62	พ.ค. 62	มิ.ย. 62	ก.ค. 62	ส.ค. 62	ก.ย. 62
TBM	Double Shield TBM and Back up system TERRATEC 4.68m	RTTBM01-001	-	75	200	-	-	-
TBM	Motor Grader Caterpillar 12G	RTMG01-009	200	400	200	-	-	-
Segment	Air Compressor Airman PDS 70 S	RTAC01-041	-	-	20	-	-	-
Segment	Rough Terrain Crane 35T Tadano TR-350M- 1-00403	RTCR02-001	40	170	136	365	240	-
Segment	Truck crane 30 T SANY (ปี2017) STC300TH	RTCR02-004	254	377	672	540	530	424
Segment	Folk Lift Haulotte HTL 7210	RTFL02-001	615	-	592	529	744	465
Segment	Folk Lift Haulotte HTL 7210	RTFL02-002	-	785	-	275	126	-
Segment	Generator Denyo DCA-25 ESK-DA	RTGN01-023	30	70	30	50	30	30
Segment	Generator Denyo DCA-25 ESK-DA	RTGN01-025	80	90	90	-	-	-
Segment	Generator Airman SDG60S	RTGN02-005	-	100	132	200	200	-
	ล้างอะไหล่		-	-	15	-	20	3



## ประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นายธนภูมิ ธนเสนีวัฒน์  
 วัน เดือน ปีเกิด 8 กันยายน พ.ศ. 2543  
 ที่อยู่ 12/2 ม.4 ต.บ้านช้าง อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี 20140

### ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555 – 2561 โรงเรียนสตรีอ่างทอง  
 พ.ศ. 2561 – 2565 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระ  
 จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 พ.ศ. 2565 – ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อม  
 และการจัดการงานก่อสร้าง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
 ทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้