

การลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และการจัดการของเสียจากคอนกรีตผสมเสร็จ ภายในโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป แห่งหนึ่งใน จ.ชลบุรี

Carbon Footprint Reduction and Waste Management of Ready-Mixed Concrete in a Precast Concrete Manufacturing Plant in Chonburi Province

อธิป ทรัพย์พัฒนา^{1,*} วันโชค เครือหงษ์² และ สุรติ เลี่ยมหมัด³

¹นักศึกษานิเทศศาสตร์ สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ เขตพื้นที่อุเทนถวาย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.กรุงเทพมหานคร

²สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ เขตพื้นที่อุเทนถวาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.กรุงเทพมหานคร

³สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ เขตพื้นที่อุเทนถวาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.กรุงเทพมหานคร

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

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกและของเสียจากการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จในโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี โดยศึกษาสาเหตุของเสียวัตถุดิบ และเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างการใช้อลูมินาซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (OPC) และปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (HC) รวมถึงศึกษาการจัดการจัดการของเสียเพื่อเสนอแนวทางการลดของเสียจากคอนกรีตสด กระบวนการวิจัยเริ่มจากการเก็บข้อมูลและศึกษากระบวนการผลิตและสัมภาษณ์ผู้จัดการโรงงานปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบ OPC ด้วย HC และคำนวณการเกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดของเสียโดยใช้หลักการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของเสีย พร้อมทั้งวัดปริมาณของเสีย และทำการวิเคราะห์และเสนอแนวทางการจัดการของเสียผลการศึกษาพบว่าการใช้ OPC ส่งผลให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม 100,618.50 tCO₂e/ปี ขณะที่ HC ปล่อยเพียง 63,488.29 tCO₂e/ปี คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 61.31 และ 38.69 ตามลำดับ นอกจากนี้ ผลการศึกษาปริมาณของเสียคอนกรีตสดจากแหล่งที่มี 4 แหล่ง พบว่าปริมาณของเสียมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการผลิต โดยของเสียที่เกิดจากการติดตั้งในไม่ผสมมีปริมาณสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 22.87 m³ ต่อไตรมาส ซึ่งเมื่อเทียบกับของเสียรวมทั้งหมด 247.72 m³ ตลอดทั้งปี พบว่า ของเสียจากการติดตั้งในไม่ผสมคิดเป็นประมาณ 91.46 m³ หรือประมาณ 36.9% ของของเสียทั้งหมด จึงได้มีการเสนอแนวทางการลดปริมาณของเสียและการคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยเปลี่ยนมาใช้ HC แทน OPC รวมถึงการใช้วัสดุทดแทน เช่น เถ้าลอย และตะกรันเตาถลุงเหล็ก นอกจากนี้ยังเสนอการนำของเสียคอนกรีตกลับมาใช้ใหม่ (Recycling Aggregate) และการใช้พลังงานสะอาดในกระบวนการผลิตเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1, ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก, การจัดการของเสียคอนกรีตสด

Abstract

This research aims to analyze and propose strategies to reduce greenhouse gas emissions and waste generated from ready-mixed concrete production at a precast concrete factory in Chonburi Province. The study investigates the causes and volume of waste and compares the environmental impact between using Ordinary Portland Cement (OPC) and Hydraulic

Cement (HC). Data were collected through production process analysis and interviews with factory managers. The study calculated the carbon footprint of each cement type and analyzed waste generation sources. Results showed that using OPC resulted in a total carbon footprint of 100,618.50 tCO₂e/year, while HC emitted only 63,488.29 tCO₂e/year, accounting for 61.31% and 38.69%, respectively. Waste analysis from four main sources revealed a direct correlation with production volume, with the highest waste volume caused by residual concrete in mixing drums, averaging 22.87 m³ per quarter. Over the year, this accounted for 91.46 m³ or approximately 36.9% of total waste (247.72 m³). The study recommends switching from OPC to HC, using alternative materials such as fly ash and blast furnace slag, recycling waste concrete as aggregate, and incorporating clean energy in the production process to mitigate environmental impacts.

Keywords: Carbon Footprint, Portland Cement Type 1, Hydraulic Cement, Concrete Waste Management

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูปมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสามารถควบคุมคุณภาพ ลดระยะเวลาก่อสร้าง และลดต้นทุนด้านแรงงาน ทำให้อุตสาหกรรมมีการก่อสร้างมีแนวโน้มเติบโตสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน โดยเฉพาะปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากกระบวนการผลิต รวมถึงของเสียที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการผลิต

ในการรับมือกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศไทยได้เข้าร่วมความตกลงปารีส (Paris Agreement) ซึ่งเป็นข้อตกลงระดับโลกว่าด้วยการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยมีเป้าหมายสำคัญในการจำกัดอุณหภูมิโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นเกิน 2° C และพยายามควบคุมไม่ให้เกิน 1.5° C เมื่อเทียบกับช่วงก่อนอุตสาหกรรม โดยในการประชุม COP26 ประเทศไทยได้ประกาศเป้าหมายการสร้างความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในปี 2050 และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี 2065 เพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) ได้ดำเนิน

มาตรการสำคัญ ได้แก่ โครงการ T-VER (Thailand Voluntary Emission Reduction Program) ซึ่งส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยสมัครใจผ่านกิจกรรมลดคาร์บอน พร้อมทั้งสนับสนุนการใช้ฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint Label) เพื่อแสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยให้ผู้ประกอบการตระหนักถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดการปล่อยคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้านอุตสาหกรรมการก่อสร้างเองก็เกิดความเปลี่ยนแปลง เช่น การผลักดันการใช้ปูนซีเมนต์รูปแบบใหม่เพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาในกระบวนการผลิต จากการสำรวจวิจัยเรื่องการบริหารจัดการของเสียคอนกรีตผสมเสร็จเพิ่มเติม การศึกษามีวัตถุประสงค์ในการหาสาเหตุแหล่งที่มา และปริมาณของเสียเพื่อการบริหารจัดการของเสียจากธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จ การเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ (Ready-mixed Concrete) เพราะ เป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญ และถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณภาพที่สม่ำเสมอ สะดวกในการใช้ และประหยัดเวลาในการก่อสร้าง นอกจากนี้โครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ จะเป็นแรงกระตุ้นให้เกิดการใช้คอนกรีตผสมเสร็จ เพราะโครงการเหล่านี้ต้องการคอนกรีตที่มีคุณภาพสูง และสม่ำเสมอในการก่อสร้าง (บุญฤทธิ์, 2562) และจากรายงานของ สำนักวิจัยกรุงศรี (Krungsri Research, 2022) ประเมินว่าแนวโน้มการลงทุนด้านก่อสร้างในช่วงปี 2565–2567 มีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในพื้นที่เขตเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) และโครงสร้างพื้นฐานภาครัฐ ซึ่งส่งผลต่อความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตผสมเสร็จในอุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาครอบคลุมทั้งปัจจัยด้านความท้าทายและโอกาสที่สะท้อนความน่าสนใจ (Attractiveness) ในการทำธุรกิจของแต่ละอุตสาหกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมทางเศรษฐกิจมหภาค และปัจจัยภายในเฉพาะด้านของอุตสาหกรรมก่อสร้างนั้น นอกจากนี้ความต้องการผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่เพิ่มขึ้นแล้ว ความแตกต่างในการเลือกใช้ประเภทของปูนซีเมนต์ยังส่งผลต่อกระบวนการผลิต ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมคอนกรีตเนื่องจากมีคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงที่ดี และแห้งตัวรวดเร็ว แต่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สูง เนื่องจากใช้พลังงานจำนวนมากในการเผาหินปูนที่อุณหภูมิสูง และเกิดการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต ปัจจุบันปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกเป็นทางเลือกที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า โดยมีการใช้วัสดุทดแทนบางส่วน เช่น เถ้าลอย (fly ash) หรือตะกรันเตาถลุงเหล็ก (slag) แทนปูนเม็ด (clinker) ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานและลดการปล่อย CO₂ ได้อย่างมีนัยสำคัญและมีคุณสมบัติด้านทานการกัดกร่อนสูง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมรุนแรง เช่น พื้นที่น้ำเค็มหรือโครงสร้างใต้ดิน

การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูปแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ยุทธศาสตร์ทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของภาคตะวันออก มีประสบการณ์การดำเนินงานมากกว่า 30 ปี และมีระบบการผลิตที่ครบวงจรตั้งแต่การผลิตคอนกรีตผสมเสร็จจนถึงการหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป จึงถือเป็นกรณีศึกษาที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการศึกษาการบริหารจัดการของเสียและการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับสภาพการดำเนินงานจริง ผลการศึกษาจะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการของเสียจากคอนกรีตผสมเสร็จได้อย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณวัสดุที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (OPC) และปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (HC) ภายใต้ขอบเขตการศึกษารูปแบบ B2B

1.2.3 เพื่อศึกษาปริมาณและแนวทางการจัดการของเสียของเสียคอนกรีตที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาปริมาณวัสดุที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป

1.3.2 ศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของชิ้นส่วนสำเร็จรูปจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (OPC) และปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (HC) ภายใต้ขอบเขตการศึกษารูปแบบ B2B

1.3.3 ขอบเขตด้านพื้นที่ ศึกษาของเสียคอนกรีตสดจากโรงงานผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป แห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี

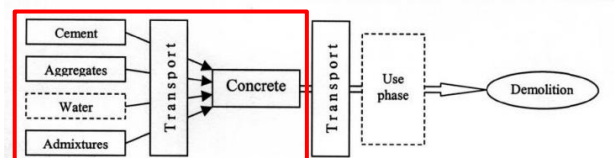
2. วิธีการวิจัย

การศึกษานี้จะทำการเก็บข้อมูลจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในเชิงคุณภาพเป็นหลักอันประกอบไปด้วยข้อมูล 6 ส่วน ดังนี้

2.1 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิต ผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูปภายในโรงงานผลิตจะเป็นการประเมินจากการผลิตผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือ ท่อคอนกรีตอัดแรง บ่อพักคอนกรีตอัดแรง และท่อระบายน้ำอัดแรงชนิดสี่เหลี่ยม (Culvert) ทำการเปรียบเทียบการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวใน 2 ลักษณะ คือ แบบใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 และ แบบใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1.1 กำหนดขอบเขตของการคำนวณ



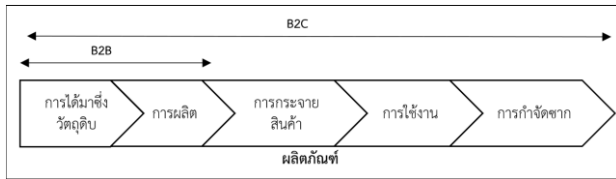
รูปที่ 1 ภาพรวมวัฏจักรชีวิตของวัสดุคอนกรีต
ที่มา: Jeannette (2005)

การศึกษานี้เป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์มาตรฐานสากล ISO 14040 การประเมินจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเน้นเฉพาะขั้นตอนดังนี้:

1) Transport: การขนส่งวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ มวลรวม (หิน, ทราย), น้ำ และสารผสมเพิ่ม ไปยังโรงงานผลิตคอนกรีต

2) Concrete Production: กระบวนการผสมและผลิตคอนกรีตสดภายในโรงงาน

โดยกำหนดขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เฉพาะในรูปแบบ Business-to-Business (B2B) ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (การขนส่ง) และการผลิตคอนกรีตสด ภายใต้แนวคิด Cradle-to-Gate ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ในการคำนวณ ใช้วิธีประเมินตามมาตรฐาน Life Cycle Assessment (LCA) โดยอิงค่า Emission Factor จากฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ประกอบการคำนวณ

2.1.2 รวบรวมปริมาณงานและขั้นตอนการผลิต

เก็บข้อมูล 3 ผลิตภัณฑ์คือ ผลิตภัณฑ์ท่อคอนกรีตอัดแรงชนิดท่อกลม ผลิตภัณฑ์ท่อคอนกรีตอัดแรงชนิดท่อเหลี่ยม และผลิตภัณฑ์บ่อพักคอนกรีตอัดแรงสำหรับท่อกลม เก็บข้อมูลดำเนินการผ่าน แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการผลิตของโรงงาน โดยได้รับความร่วมมือจากฝ่ายควบคุมการผลิตและแผนกวางแผนงานผลิต ของโรงงาน ซึ่งเป็นผู้กรอกและบันทึกข้อมูลจริง

ขั้นตอนการผลิตท่อคอนกรีต มีดังนี้

1.) กำหนดรูปแบบมาตรฐาน มอก. ของการผลิตผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือ ท่อคอนกรีตอัดแรง บ่อพักคอนกรีตอัดแรง และท่อระบายน้ำอัดแรงชนิดสี่เหลี่ยม (Culvert) ได้ดังนี้

- มอก. 128-2560: ท่อระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก ท่อขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 300 ถึง 600 มม. และผนังหนา 50 ถึง 75 มม.) มาตรฐานนี้กำหนดข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับ ท่อระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้สำหรับระบบระบายน้ำทั้งแบบเปิดและแบบฝังใต้ดิน มอก. นี้กำหนดวัสดุที่ใช้ รวมถึงการทดสอบความแข็งแรงของท่อ เช่น การทดสอบแรงกด (Crushing Test)

- มอก. 1164-2559: บ่อพักคอนกรีตเสริมเหล็ก ท่อขนาดเล็ก (ขนาด 1200 x 1200 มม. ความหนา 115 มม.) มาตรฐานนี้เกี่ยวข้องกับ บ่อพักคอนกรีตเสริมเหล็กและท่อระบายน้ำอัดแรงชนิดสี่เหลี่ยม (Culvert) และ ซึ่งใช้ในระบบระบายน้ำ เช่น บ่อพักน้ำฝนหรือบ่อพักท่อระบายน้ำ มอก. 1164-2559 กำหนดมาตรฐานด้านวัสดุที่ใช้ในการผลิต เช่น การใช้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 15 หรือ มอก. 2594

2.) การเตรียมวัตถุดิบ

- ปูนซีเมนต์: ใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือ ปูนไฮดรอลิก
- ส่วนผสม (มวลรวม) ได้แก่ ฟินและทราย
- เหล็กเสริมคอนกรีต
- ส่วนผสมเพิ่มเติม คือ น้ำและสารผสมอื่น เช่น เถ้าลอย

3.) เตรียมแบบหล่อและวางเหล็กเสริมคอนกรีต โดยที่ท่อกลมจะวางแบบเหล็กเสริมวงแหวน (Wire Mesh) และแบบเหลี่ยมให้เหล็กเสริมแบบหนาขึ้น ใช้วิธีหล่อแบบถอดประกอบ (Adjustable Steel Molds)

4.) การเทคอนกรีตและอัดแน่น โดยที่ท่อกลมและท่อเหลี่ยมใช้ระบบอัดแน่นด้วยแรง สั่นสะเทือน คือ เทคอนกรีตลงแบบหล่อแล้วจึงใช้เครื่องเขย่าเพื่อให้แน่น และแบบเหลี่ยม

5.) ตรวจสอบคุณภาพโดยทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตและทำการจัดเก็บพร้อมกระจายสินค้า

2.1.3 รวบรวมค่า emission factor

ศึกษาและใช้ค่า emission factor ที่เป็นจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ประกอบการคำนวณได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การคัดเลือกค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

กิจกรรม	หน่วย	ค่า EF (kgCO ₂ e/หน่วย)	แหล่งอ้างอิง
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	kg	0.96	Thai National LCI database
ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	kg	0.80	Thai National LCI database
เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (SD 40 mm)	kg	2.14	บ.สยามสตีลซินดิเกท จำกัด
น้ำประปา-ส่วนภูมิภาค (ครอบคลุมตั้งแต่การสูบน้ำ)	m ³	0.5410	Thai National LCI database
ทราย	kg	0.0037	คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์
หิน	kg	1.0676	คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์
คอนกรีตผสมเสร็จ กำลังอัด 350 KSC	m ³	311	บ.ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด
คอนกรีตผสมเสร็จ กำลังอัด 210 KSC	m ³	197	Thai National LCI database
รถกระบะบรรทุกฟาง 18 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading	tkm	0.0411	Thai National LCI database
รถกระบะบรรทุกฟาง 18 ล้อ วิ่งปกติ 0% Loading	km	0.2363	Thai National LCI database
รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading	tkm	0.0533	Thai National LCI database
รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ วิ่งปกติ 0% Loading	km	0.5900	Thai National LCI database
รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดไม่ 10 ล้อ แบบสมบุกสมบัน 100% Loading	tkm	0.0611	Thai National LCI database
รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดไม่ 10 ล้อ แบบสมบุกสมบัน 0% Loading	km	0.7382	Thai National LCI database
เถ้าลอย (Fly ash)	kg	0.027	วิจัย: Life Cycle Assessment and Impact Correlation Analysis of Fly Ash Geopolymer Concrete

2.1.4 คำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์

เนื่องจากการวัดค่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต้องใช้เครื่องมือเฉพาะ จึงคำนวณและประเมินการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบและกระบวนการผลิตจากสูตรที่ (1)

$$Emission = Activity Data \times Emission Factor \quad (1)$$

โดยที่ Emission คือ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (tCO₂e/ปี)

Activity Data คือ กิจกรรมที่ปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์

Emission Factor คือ ค่าคงที่การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรม

2.1.5 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

คำนวณปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกรณีศึกษา ในกระบวนการผลิต แยกคำนวณตามสัดส่วนต่างๆ และรายงานผลในหน่วย tCO₂e/ปี และทำการเปรียบเทียบการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการ

ผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวใน 2 ลักษณะ คือ แบบใช้ OPC และ แบบใช้ HC ของการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต

2.2 กระบวนการจัดการของเสียคอนกรีตสดของโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

ศึกษาสาเหตุของแหล่งที่ทำให้เกิดของเสียคอนกรีตสดจากกระบวนการผลิตโดยใช้วิธีเก็บข้อมูล จากการเฝ้าสังเกตติดต่อกันร่วมกับการสัมภาษณ์ผู้จัดการ และศึกษาสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดของเสียจากแหล่งที่มา 5 แหล่งคือ ของเสียคอนกรีตสดที่เกิดจากการถ่ายคอนกรีตสดลงสู่รถบรรทุก ของเสียที่ตกค้างในไม่ผสมรถบรรทุก ของเสียจากการตรวจสอบคุณภาพ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และของเสียคอนกรีตสดจากสาเหตุอื่นๆ และจัดทำ

2.2.1 การสัมภาษณ์เชิงลึกผู้จัดการและหัวหน้าโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ

การจัดการโรงงาน 1 ราย และหัวหน้าแผนกควบคุมการผลิต 1 ราย คอนกรีตผสมเสร็จที่ใช้เป็นกรณีศึกษา วัตถุประสงค์ในการสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อระบุถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเกิดของเสียคอนกรีตสด ภายในโรงงาน รวมทั้งกระบวนการจัดการของเสียคอนกรีตสดที่ใช้ในปัจจุบัน และอุปสรรคในการดำเนินงานโดยมีหัวข้อการสัมภาษณ์ มีดังต่อไปนี้

- 1) ปริมาณของเสียในแต่ละช่วงเวลา
- 2) ผลกระทบจากของเสียคอนกรีตสด
- 3) กระบวนการจัดการของเสียคอนกรีตสด

2.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

เฝ้าสังเกตการณ์และสัมภาษณ์จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาต้นตอของสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียคอนกรีตสดจากกระบวนการผลิตและนำเสนอในรูปแบบของแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram)

2.2.3 ปริมาณการเกิดของเสียของคอนกรีตผสมเสร็จ

- 1) กำหนดกำลังการผลิตกำลังอัดคอนกรีตผสมเสร็จภายในโรงงานและแสดงค่าสัมประสิทธิ์การเกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแต่กำลังอัด
- 2) เก็บรวบรวมข้อมูลของเสียใน 4 ไตรมาส จากแหล่งที่มา และคำนวณค่าการปล่อยคำนวณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยตามกำลังอัด

2.2.4 หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและของเสีย

ทำการเปรียบเทียบโดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเสียคอนกรีตสดและปริมาณการผลิตคอนกรีต สร้างกราฟแสดงร้อยละของปริมาณของเสียคอนกรีตสดต่อปริมาณการผลิต เพื่อหาความสอดคล้องระหว่างปริมาณของเสียคอนกรีตสดและปริมาณการผลิต โดยสามารถคำนวณร้อยละของเสีย (%) ได้ดังสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละของเสีย} = \frac{\text{ปริมาณของเสียคอนกรีตสด}}{\text{ปริมาณการผลิตคอนกรีตสด}} \times 100 \quad (2)$$

2.2.4 กระบวนการจัดการของเสียคอนกรีตสด

สัมภาษณ์กระบวนการจัดการของเสียคอนกรีตสดในปัจจุบันของโรงงาน

2.3 แนวทางการปรับปรุงการจัดการการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์และของเสียคอนกรีตสดที่เกิดขึ้น

ทำการวิเคราะห์เนื้อหาที่ศึกษาทั้งหมดเพื่อใช้ในการเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมในการบริหารจัดการของเสียคอนกรีตสดที่เกิดขึ้นจากโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จโดยใช้ทฤษฎีการลดของเสียจากแหล่งต้นกำเนิดของ USEPA ซึ่งมีด้วยกัน 2 วิธีได้แก่การกำจัดหรือลดปริมาณ ของเสียจากแหล่งกำเนิด และการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และของเสียจากคอนกรีตผสมเสร็จภายในโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ออกเป็นประเด็นต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.1 ปริมาณวัสดุที่ใช้ในการผลิตต่อคอนกรีต

ผลการศึกษาด้วยการเก็บข้อมูลของแต่ละผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูปที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ โดยทำการเก็บข้อมูล การผลิตด้วยวัสดุผสมหลักคือปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 และ ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ซีเมนต์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณการผลิตด้วยวัสดุผสมหลักด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 และปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกซีเมนต์

ชนิดผลิตภัณฑ์	ปริมาณการผลิตด้วย OPC โดยเฉลี่ย (ปี พ.ศ.2565)					
	เดือน	ไตรมาส				ปี
		1	2	3	4	
ทอกลม	5,062	15,186	13,895	16,988	14,675	60,744
ทอสีเหลี่ยม	988	2,964	2,891	3,311	2,690	11,856
บ่อพัก	371	1,113	1,018	1,245	1,076	4,452
ชนิดผลิตภัณฑ์	ปริมาณการผลิตด้วย HC โดยเฉลี่ย (ปี พ.ศ.2565)					
	เดือน	ไตรมาส				ปี
		1	2	3	4	
ทอกลม	4,830	14,660	13,785	15,054	15,138	58,637
ทอสีเหลี่ยม	840	2,589	2,388	2,685	2,694	10,356
บ่อพัก	300	917	862	940	946	3,665

ศึกษาและเก็บข้อมูลสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจากการผลิตในโรงงาน จากการเก็บข้อมูลสัดส่วนของส่วนผสมของปูนซีเมนต์ OPC และปูนซีเมนต์ HC มีสัดส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสม (Mix Design) ของคอนกรีตของท่อแต่ละชนิด

วัตถุดิบ	หน่วย	ผลิตภัณฑ์ OPC		
		ทอกลม	ทอเหลี่ยม	บ่อพัก
		60,744 m ³	11,856 m ³	4,452 m ³
ปูนซีเมนต์	ตัน	11,674	2,278	855
ทราย	ตัน	25,498	4,986	1,868
หิน	ตัน	47,379	9,259	3,470
น้ำ	ตัน	2,536	494	186
เหล็กเสริมคอนกรีต	ตัน	7,897	1,541	579
วัตถุดิบ	หน่วย	ผลิตภัณฑ์ HC		
		ทอกลม	ทอเหลี่ยม	บ่อพัก
		58,637 m ³	10,356 m ³	3,665 m ³
ปูนซีเมนต์	ตัน	5,806	1,308	453
เถ้าลอย	ตัน	2,494	559	195
ทราย	ตัน	15,532	3,493	979
หิน	ตัน	31,062	2,787	491
น้ำ	ตัน	3,914	690	244
เหล็กเสริมคอนกรีต	ตัน	7,624	1,346	477

3.2 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนฟุตพริ้นท์เปรียบเทียบโดยจำแนกตามชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาต่อปี

จากขอบเขตงานวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นการศึกษา รูปแบบ B2B (Business-to-Business) ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ จนถึงกระบวนการผลิต แต่ไม่รวมถึงขั้นตอนการ นำไปใช้งาน หรือการ กำจัดซาก การคำนวณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะเน้นไปที่กิจกรรมภายในกระบวนการผลิตและการขนส่งวัสดุต่างๆ ในระหว่างการผลิตสินค้า ผลิตภัณฑ์กระบวนการที่อยู่ในขอบเขตของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1. ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิต จากส่วนผสม ปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ และเหล็กเสริม ซึ่งจะมีการปล่อยคาร์บอนจากการขุดเจาะ การขนส่ง และการผลิตวัตถุดิบ

2. การได้มาซึ่งวัตถุดิบ คิดจากการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาดต่างๆ โดยมีค่า emission factor ดังตาราง 1

3.2.1 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิต

ได้ทำการวิเคราะห์และคำนวณปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกรณีศึกษา ในกระบวนการผลิต แยกคำนวณตามสัดส่วนต่างๆ และรายงานผลในหน่วยตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ($\text{tCO}_2\text{e/ปี}$) การคำนวณจะคำนึงถึงการใช้วัสดุและกระบวนการที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอน รายละเอียดผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ OPC และผลิตภัณฑ์ HC แสดงดังในตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ OPC

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย	ผลิตภัณฑ์ OPC	
			ค่า EF (kgCO ₂ e/ หน่วย)	ปริมาณการปล่อย คาร์บอนฟุตพริ้นต์ (tCO ₂ e/ปี)
ผลิตภัณฑ์ที่ออกลม				
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	11,674	ตัน	0.9600	11,207.04
ทราย	25,498	ตัน	0.0037	94.34
หิน	47,379	ตัน	1.0676	50,581.82
น้ำ	2,536	ตัน	0.0003	1.37
เหล็กเสริมคอนกรีต	7,897	ตัน	2.1400	16,899.58
ผลิตภัณฑ์ที่ท่อเหลี่ยม				
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	2,278	ตัน	0.9600	2,186.88
ทราย	4,986	ตัน	0.0037	18.45
หิน	9,259	ตัน	1.0676	9,884.91
น้ำ	494	ตัน	0.0003	0.27
เหล็กเสริมคอนกรีต	1,541	ตัน	2.1400	3,297.74
ผลิตภัณฑ์ที่ท่อเหลี่ยม				
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	855	ตัน	0.9600	820.80
ทราย	1,868	ตัน	0.0037	6.91
หิน	3,470	ตัน	1.0676	3,704.57
น้ำ	186	ตัน	0.0003	0.10
เหล็กเสริมคอนกรีต	579	ตัน	2.1400	1,239.06
รวม				99,943.84

ตารางที่ 5 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ HC

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย	ผลิตภัณฑ์ HC	
			ค่า EF (kgCO ₂ e/หน่วย)	ปริมาณการปล่อย คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (tCO ₂ e/ปี)
ผลิตภัณฑ์ที่ออกลม				
ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	5,806	ตัน	0.8000	4,644.80
เถ้าลอย	2,494	ตัน	0.0200	49.88
ทราย	15,532	ตัน	0.0037	57.47
หิน	31,062	ตัน	1.0676	33,161.79
น้ำ	3,914	ตัน	0.5410	2.12
เหล็กเสริมคอนกรีต	7,624	ตัน	2.1400	16,315.36
ผลิตภัณฑ์ที่ท่อเหลี่ยม				
ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	1,308	ตัน	0.8000	1,046.40
เถ้าลอย	559	ตัน	0.0200	11.18
ทราย	3,493	ตัน	0.0037	12.92
หิน	2,787	ตัน	1.0676	2,975.40
น้ำ	690	ตัน	0.5410	0.37
เหล็กเสริมคอนกรีต	1,346	ตัน	2.1400	2,880.44
ผลิตภัณฑ์ที่ท่อเหลี่ยม				
ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	453	ตัน	0.8000	362.40
เถ้าลอย	195	ตัน	0.0200	3.90
ทราย	979	ตัน	0.0037	3.62
หิน	491	ตัน	1.0676	524.19
น้ำ	244	ตัน	0.5410	0.13
เหล็กเสริมคอนกรีต	477	ตัน	2.1400	1,020.78
รวม				63,073.15

จากตารางเมื่อทำการคำนวณค่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จะพบว่า ในกระบวนการผลิตด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม 99,943.84 $\text{tCO}_2\text{e/ปี}$ และปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม 63,073.15 $\text{tCO}_2\text{e/ปี}$

3.2.2 ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

ได้ทำการวิเคราะห์และคำนวณปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบ แยกคำนวณตามชนิดรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง รายงานผลในหน่วย $\text{tCO}_2\text{e/ปี}$ รายละเอียดผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการขนส่งส่วนผสม แสดงดังในตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการขนส่งวัตถุดิบ OPC

วัตถุดิบ	น้ำหนัก (ตัน)	ระยะทาง (km)	ประเภทยานพาหนะ	น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะ (ตัน)	ผลิตภัณฑ์ OPC		
					ค่า EF ทั่วไป ($\text{kgCO}_2\text{e/tkm}$)	ค่า EF จากถัง ($\text{kgCO}_2\text{e/km}$)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($\text{tCO}_2\text{e/ปี}$)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)*
ผลิตภัณฑ์ที่ออกมา							
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	11,674	82	รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดไม่ 10 ล้อ	16	0.0611	0.7382	102.66
ทราย	25,498	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900	137.96
หิน	47,379	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900	256.34
เหล็กเสริมคอนกรีต	7,897	91	รถกระบะบรรทุกพ่วง 18 ล้อ	32	0.0411	0.2363	34.84

ผลิตภัณฑ์ท่อเหลี่ยม						
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	2,278	82	รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดไม่ 10 ล้อ	16	0.0611	0.7382
ทราย	4,986	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900
หิน	9,259	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900
เหล็กเสริมคอนกรีต	1,541	91	รถกระบะบรรทุกฟาง 18 ล้อ	32	0.0411	0.2363
ผลิตภัณฑ์ท่อเหลี่ยม						
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1	855	82	รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดไม่ 10 ล้อ	16	0.0611	0.7382
ทราย	1,868	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900
หิน	3,470	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900
เหล็กเสริมคอนกรีต	579	91	รถกระบะบรรทุกฟาง 18 ล้อ	32	0.0411	0.2363
รวม						674.66

หมายเหตุ * (8) = $[(2) \times (3) \times (6)] + [((2)/(5)) \times (3) \times (7)]/1000$

ตารางที่ 7 ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการขนส่งวัตถุดิบ HC

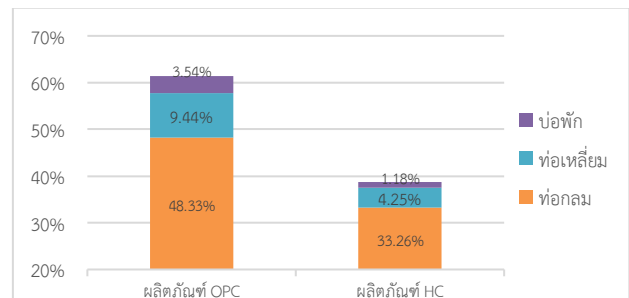
วัตถุดิบ	น้ำหนัก (ตัน)	ระยะทาง (km)	ประเภทยานพาหนะ	น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะ (ตัน)	ผลิตภัณฑ์ HC		คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (tCO ₂ e/ปี)
					ค่า EF ขาไป (kgCO ₂ e/tk)	ค่า EF ขากลับ (kgCO ₂ e/km)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)*
ผลิตภัณฑ์ท่อกลม							
ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	5,806	82	รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดไม่ 10 ล้อ	16	0.0611	0.7382	51.05
เถ้าลอย	2,494	44	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900	9.90
ทราย	15,532	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900	84.04
หิน	31,062	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900	168.06
เหล็กเสริมคอนกรีต	7,624	91	รถกระบะบรรทุกฟาง 18 ล้อ	32	0.0411	0.2363	33.64
ผลิตภัณฑ์ท่อเหลี่ยม							
ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	1,308	82	รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดไม่ 10 ล้อ	16	0.0611	0.7382	11.50
เถ้าลอย	559	44	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900	2.22
ทราย	3,493	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900	18.90
หิน	2,787	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900	15.08
เหล็กเสริมคอนกรีต	1,346	91	รถกระบะบรรทุกฟาง 18 ล้อ	32	0.0411	0.2363	5.94

ผลิตภัณฑ์ท่อเหลี่ยม						
ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	453	82	รถบรรทุกซีเมนต์ชนิดไม่ 10 ล้อ	16	0.0611	0.7382
เถ้าลอย	195	44	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900
ทราย	979	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900
หิน	491	60	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	16	0.0533	0.5900
เหล็กเสริมคอนกรีต	477	91	รถกระบะบรรทุกฟาง 18 ล้อ	32	0.0411	0.2363
รวม						415.14

หมายเหตุ * (8) = $[(2) \times (3) \times (6)] + [((2)/(5)) \times (3) \times (7)]/1000$

จากตารางเมื่อคำนวณค่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการขนส่งวัตถุดิบสำหรับการผลิต พบว่า การขนส่งวัตถุดิบในการผลิตด้วยปูนซีเมนต์ OPC มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมทั้งสิ้น 674.66 tCO₂e/ปี ในขณะที่ปูนซีเมนต์ HC มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวม 415.14 tCO₂e/ปี

เมื่อรวมค่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงกระบวนการผลิตแล้ว พบว่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตด้วยปูนซีเมนต์ OPC และปูนซีเมนต์ HC มีค่าเท่ากับ 100,618.50 tCO₂e และ 63,488.29 tCO₂e ตามลำดับ โดยสามารถแสดงสัดส่วนการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตท่อกลม ท่อเหลี่ยม และบ่อพักได้ตามภาพที่ 3



รูปที่ 3 สัดส่วนการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อปี

จากภาพจะพบว่าผลิตภัณฑ์ HC มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ OPC ทุกประเภท ทั้งท่อกลม ท่อเหลี่ยม และบ่อพัก โดย OPC มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลิตสูงกว่าส่งผลให้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อปีสูงขึ้นตามไปด้วยกราฟแสดงให้เห็นว่า ท่อกลม OPC มีการปล่อย CO₂ สูงสุดที่ 48.33% ขณะที่ HC ปล่อย 33.26%

ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ สุวัฒน์ งามจันทร์ และ ธนิต ใจสะอาด (2566) เรื่อง "การเปรียบเทียบลักษณะทางฟิสิกส์ระหว่างปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1" พบว่า ปูนซีเมนต์ HC สามารถช่วยลดการใช้พลังงานในการผลิต และลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระยะยาว นอกจากนี้ยังระบุว่า ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 5.2 ตัน CO₂ ต่อการใช้ปูนซีเมนต์ 100 ตัน

3.3 กระบวนการจัดการของเสียคอนกรีตสดของโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์กระบวนการจัดการของเสียคอนกรีตสดที่เกิดขึ้นภายในโรงงานผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป โดยใช้วิธีการเฝ้าสังเกตการณ์และสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) แบบกึ่งมี

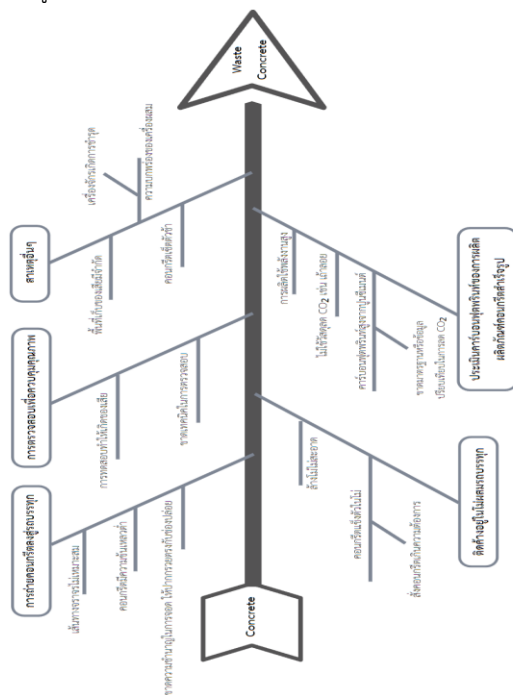
โครงสร้าง (Semi-structured Interview) กับผู้จัดการโรงงาน 1 ราย และหัวหน้าแผนกควบคุมการผลิต 1 ราย รวมทั้งสิ้น 2 ราย มีคำถาม 4 ประเด็นหลักคือ ปริมาณของเสีย ผลกระทบที่เกิดจากของเสีย แนวทางการจัดการของเสียคอนกรีตสดในปัจจุบัน และอุปสรรคในการดำเนินงาน โดยมีปริมาณการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณการผลิตคอนกรีตรวมต่อไตรมาส

ไตรมาส	ปริมาณผลิตภัณฑ์ (m ³)			
	ทอกลม	ทอเหลี่ยม	บ่อพัก	รวมทุกผลิตภัณฑ์
1	30,372	5,928	2,226	38,526
2	27,790	5,782	2,036	35,608
3	33,976	6,622	2,490	43,088
4	29,350	5,380	2,152	36,882

3.3.1 วิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิต

วิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตด้วยการสำรวจหน้างาน สัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้อง โดยแหล่งที่ของเสียสามารถจำแนกออกเป็นสองส่วนคือ เกิดจากขั้นตอนการดำเนินงาน และการทำงานที่ขาดการบริหารจัดการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แบ่งได้ 5 แหล่งที่มา และจัดทำแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ซึ่งแสดงปัจจัยและสาเหตุการเกิดของเสียดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังก้างปลาแสดงแหล่งที่มาของของเสียคอนกรีตสด

จากภาพพบว่าสาเหตุของเสียในโรงงานผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป มีสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียจากการถ่ายลงสู่รถบรรทุกมีสาเหตุหลัก คือ เส้นจารจรไม่เหมาะสม มีการกำหนดแผนผังการเดินรถที่ไม่เหมาะสมกับอัตราการผลิตคอนกรีตแบบต่อเนื่องของเครื่องผสม โดยพนักงานขับรถขาดทักษะในการจอร์รถบรรทุกให้ตรงปากกรวย นอกจากนี้ลักษณะของคอนกรีตบางรอบมีความชื้นเหลือที่ต่ำอาจทำให้เกิดการอุดตันระหว่างการถ่ายเท

ของเสียคอนกรีตสดที่ติดค้างอยู่ในไม่ผสม เกิดขึ้นมาจากปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยตรง คือ การกำหนดเศษคอนกรีตเก่าออกไม่หมดทำให้ไม่สะอาดเมื่อต้องรับคอนกรีตใหม่เข้าไป ทำให้คุณภาพของคอนกรีตไม่ได้มาตรฐาน และ ถูกคำสั่งปริมาณคอนกรีตเกินความต้องการใช้งาน

ของเสียคอนกรีตสดจากการตรวจสอบคุณภาพมีสาเหตุมาจากการนำคอนกรีตไปตรวจคุณภาพ ได้แก่ การเก็บตัวอย่างของคอนกรีตสดไปทดสอบกำลังอัดเพื่อทดสอบค่ายุบตัว หลังจากทดสอบเสร็จแล้วคอนกรีตเหล่านี้ก็จะกลายเป็นของเสียคอนกรีต

ของเสียคอนกรีตจากแหล่งอื่นๆ มีสาเหตุหลักเกิดจากการทำงานผิดพลาดของพนักงานและเครื่องจักร คือ พนักงานใหม่ขาดความรู้ในการผลิตหรืออาจจะยังไม่ชำนาญ ทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพ และมีเครื่องจักรบางตัวที่มีอายุการใช้งานที่นานและขาดการซ่อมบำรุงทำให้เครื่องจักรเกิดการชำรุด

3.3.2 ปริมาณการเกิดของเสียของคอนกรีตผสมเสร็จ

ศึกษาการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมเสร็จภายในโรงงานและแสดงค่าสัมประสิทธิ์การเกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแต่กำลังอัดของแต่ละผลิตภัณฑ์จากตารางที่ 1 เพื่อนำไปคำนวณค่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์แสดงข้อมูลดังตารางที่ 9

ตาราง 9 กำลังอัดและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ลำดับ	รายการ	หน่วย	ผลิตภัณฑ์ OPC		
			ทอกลม	ทอเหลี่ยม	บ่อพัก
1	กำลังอัด	Ksc.	350	350	210
2	ค่า EF	Kg.CO ₂ e/m ³	311	311	197

ลำดับ	การศึกษา	หน่วย	ผลิตภัณฑ์ HC		
			ทอกลม	ทอเหลี่ยม	บ่อพัก
1	กำลังอัด	Ksc.	350	350	210
2	ค่า EF.	Kg.CO ₂ e/m ³	311	311	197

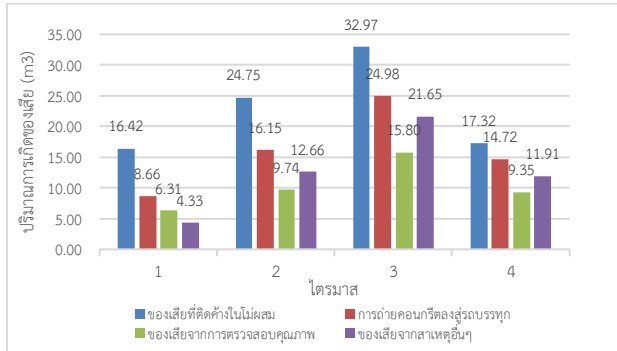
นำไปสู่การศึกษาปริมาณของเสียคอนกรีตสดที่เกิดขึ้นตามแหล่งกำเนิดต่างๆ และคำนวณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยตามกำลังอัดจากตาราง ได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณของเสียคอนกรีตสดที่เกิดขึ้นในตำแหน่งต่างๆ

ไตรมาส	ปริมาณการเกิดของเสีย (m ³)					ค่า EF (Kg-CO2e/m ³)	การปล่อย คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (tCO ₂ /ไตรมาส)
	ของเสียที่ติด ค้างในโมเดล	การถ่าย คอนกรีตลงสู่	ของเสียจาก การ	ของเสียจาก สาเหตุอื่นๆ	รวมปริมาณ ของเสียทุก		
ท่อกลม							
1	12.94	6.83	4.97	3.41	28.16	311	8.76
2	19.32	12.60	7.60	9.88	49.40	311	15.36
3	26.00	19.70	12.46	17.07	75.23	311	23.40
4	13.78	11.71	7.44	9.48	42.42	311	13.19
ท่อเหลี่ยม							
1	2.53	1.33	0.97	0.67	5.50	311	1.71
2	4.02	2.62	1.58	2.06	10.28	311	3.20
3	5.07	3.84	2.43	3.33	14.66	311	4.56
4	2.53	2.15	1.36	1.74	7.77	311	2.42
บ่อพัก							
1	0.95	0.50	0.36	0.25	2.06	197	0.41
2	1.42	0.92	0.56	0.72	3.62	197	0.71
3	1.91	1.44	0.91	1.25	5.51	197	1.09
4	1.01	0.86	0.55	0.69	3.11	197	0.61
รวม	91.46	64.51	41.20	50.55	247.72	รวม	75.41

เมื่อพิจารณาแหล่งที่มาของของเสียคอนกรีตสดในระยะ 4 ไตรมาส จะเห็นว่าเกิดของเสียจากการผลิตทั้งหมด 247.72 m³ และมีค่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์อยู่ที่ 75.41 tCO₂/ไตรมาส โดยผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิด

ของเสียมากที่สุดคือ ท่อกลม ซึ่งมีของเสียรวม 195.21 m³ แสดงปริมาณการเกิดของเสียแต่ละไตรมาสได้ดังภาพ 5



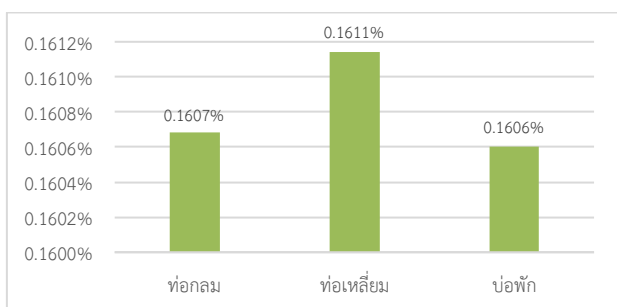
รูปที่ 5 ปริมาณการเกิดของเสียของแต่ละแหล่งกำเนิดแต่ละไตรมาส

ผลการสำรวจปริมาณของเสียคอนกรีตที่เกิดขึ้นในช่วงสี่ไตรมาสพบว่าปริมาณของเสียรวมทั้งหมด 247.72 m³ โดยมีแนวโน้มการเกิดของเสียที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในไตรมาสที่ 2 และ 3 ก่อนจะลดลงในไตรมาสที่ 4 โดยไตรมาสที่มีปริมาณของเสียมากที่สุดคือไตรมาสที่ 3 ซึ่งเกิดของเสียสูงถึง 95.4 m³ สาเหตุมาจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงฤดูฝน ซึ่งทำให้กระบวนการผลิตและขนส่งมีความล่าช้าหรือผิดพลาดสูงขึ้น รวมถึงหรือความแปรปรวนของอุณหภูมิ ส่งผลให้คุณภาพของคอนกรีตอาจไม่ได้ตามเกณฑ์ที่ต้องการ ขณะที่ไตรมาสที่มีปริมาณของเสียต่ำที่สุดคือไตรมาสที่ 1 ที่ 35.72 m³

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kazaz et al. (2016) และ Kazaz and Other (2015) ศึกษาเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดของเสียในโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ พบว่าของเสียที่เกิดจากการสั่งคอนกรีตเกินความต้องการและของเสียที่คัดค้านไม่ผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผลิต

3.3.3 หาคความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและของเสีย

จากตารางที่ 9 จะรวบรวมปริมาณการผลิตต่อปีของท่อกลม 121,488 m³ ท่อเหลี่ยม 23,712 m³ และบ่อพัก 8,904 m³ และมีของเสียจากท่อกลม 195.21 m³ ท่อเหลี่ยม 38.21 m³ และบ่อพัก 14.3 m³ นำมาหาร้อยละความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเสียคอนกรีตและปริมาณการผลิตและแสดงกราฟได้ดังภาพที่ 6



รูปที่ 6 อัตราการสูญเสียของคอนกรีตจากการผลิตในแต่ละผลิตภัณฑ์

จากรูปที่ 6 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าจากปริมาณการผลิตท่อกลม 121,488 m³ เกิดของเสีย 0.1678% ท่อเหลี่ยม 23,712 m³ เกิดของเสีย 0.1611% และบ่อพัก 8,904 m³ เกิดของเสีย 0.1606% เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จโดยทั่วไปซึ่งมีค่าเฉลี่ยของเสียอยู่ในช่วง 0.2–0.5% แต่ยังสามารถปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นได้ ซึ่งอัตราการเกิดของเสียมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณการผลิตท่อเหลี่ยมน้อยกว่าที่กลม แต่มี

การเกิดของเสียสูงกว่าเล็กน้อยอยู่ที่ 0.1611% เนื่องจากการขึ้นรูปท่อเหลี่ยมมีความซับซ้อนกว่าจึงเกิดความเสียหายจากการเทคอนกรีตมากกว่า

3.3.4 วิธีการจัดการของเสียคอนกรีตสดในโรงงานวิธีการจัดการของเสียคอนกรีตสดในโรงงาน

ในโรงงานมีวิธีการจัดการของเสียที่ได้จากการศึกษาและสัมภาษณ์หัวหน้างานได้ข้อมูลดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12.แนวทางการจัดการของเสียคอนกรีตสด

แนวทางการจัดการของเสียคอนกรีตสด	รายละเอียด
การปรับปรุงกระบวนการถ่าย	- ออกแบบเส้นทางจราจรภายในโรงงานให้เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียขณะถ่ายโอน
การลดของเสียที่คัดค้านไม่ผสมของรถบรรทุก	- ล้างไม่ผสมเป็นประจำเพื่อป้องกันการติดค้างของคอนกรีต - ใช้สารเคลือบป้องกันการเกาะติดของคอนกรีตเพื่อลดของเสีย
การพัฒนาแนวทางลดของเสียจากการตรวจสอบคุณภาพ	- กำหนดมาตรฐานการทดสอบที่เหมาะสมเพื่อลดของเสียจากกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ
การลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิต	- ใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ - ใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
การจัดการของเสียจากสาเหตุอื่นๆ	- ปรับปรุงการคำนวณปริมาณคอนกรีตที่ต้องใช้ให้แม่นยำ - ลดการสั่งผลิตเกินความจำเป็น - นำของเสียคอนกรีตไปใช้ในงานอื่น ๆ เช่น การหล่อบล็อกกันชน หรือถมพื้นที่ภายในโรงงาน

3.4 แนวทางการปรับปรุงการจัดการการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์และของเสียคอนกรีตสดที่เกิดขึ้น

จากการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสียคอนกรีตสดจากแหล่งที่มาในกระบวนการผลิตต่างๆ พบว่าของเสียแต่ละแหล่งที่มาสาเหตุการเกิดของเสียที่แตกต่างกันจึงทำการเสนอแนวทางได้ดังนี้

3.4.1 แนวทางการปรับปรุงการคาร์บอนฟุตพริ้นท์

จากการศึกษาทางผู้จัดทำได้ทำการเสนอแนวทางการลดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ดังนี้

1. เลือกใช้วัสดุที่ปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่ำกว่า โดยในการศึกษาจะเห็นได้ว่าการใช้ปูน HC แทนปูน OPC จะสามารถช่วยลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ จึงแนะนำให้ใช้ปูน HC มากขึ้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ในส่วนของการตรวจสอบมาตรฐานสินค้าขั้นต้นนโยบายของรัฐบาล ส่งเสริมสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมให้หันมาใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์คอนกรีตต่างๆ โดยการลดปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก 1 ตันจะสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 0.05 ตัน (CO₂) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การส่งเสริมการใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกในภาคอุตสาหกรรม

2. เพิ่มการใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) ตะกรัน เตาถลุงเหล็ก (GGBS) และปูนเม็ดที่ผ่านกระบวนการลดปริมาณ CO₂
3. เสนอให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนและเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม คือ การติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นและน้ำที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตในกระบวนการผสม ระบบทำความเย็นของเครื่องจักร และการบำบัดของเสีย เช่น ติดตั้งระบบกรองและรีไซเคิลน้ำ
4. จากการศึกษาของเสียคอนกรีตสดจากแหล่งที่มา 4 แหล่ง ของเสียเหล่านี้จะถูกไปกำจัดด้วยวิธีต่างๆ ทำให้เกิดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ โดยเสนอแนวทางลดของเสียของกรีตสด ดังหัวข้อ 3.4.2

3.4.2 เสนอแนวทางการจัดการของเสีย

เสนอแนวทางให้สอดคล้องกับทฤษฎี USEPA ประกอบด้วย 2 วิธี

1. การกำจัดหรือลดปริมาณของเสียจากแหล่งกำเนิด โดยจำแนกตามแหล่งที่มา 4 แหล่ง ตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แนวทางการจัดการของเสียจากแหล่งกำเนิด

แหล่งที่มา	แนวทางการจัดการของเสีย
ถ่ายคอนกรีตลงสู่รถบรรทุก	- ออกแบบเส้นทางใหม่ให้เหมาะกับการผลิต เช่น เพิ่มพื้นที่สำหรับรอกถ่ายคอนกรีตเพื่อลดการขวางทางและเบี่ยงเบนและเสนอให้ปรับปรุงเส้นทางเดินรถแบบทางเดียว (one way) ดังรูปที่ 8 เพื่อลดการวนรถกลับที่ทำให้เกิดการล่าช้า  รูปที่ 8 เส้นทางเดินรถแบบทางเดียว (one way) - จัดอบรมพนักงานในเรื่องการขับรถบรรทุกในการเข้าจอดและอบบมการใช้ระบบสัญญาณไฟเพื่อช่วยบอกตำแหน่ง - ควบคุมคุณภาพก่อนถ่ายลงรถ ตรวจสอบความเข้มข้นของคอนกรีตและติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อควบคุมปริมาณการขนถ่ายเพื่อลดการถ่ายล้น
ของเสียติดค้างในไม่ผสม	- สร้างมาตรฐานในการทำความสะอาดไม่ โดยจัดทำเกณฑ์มาตรฐานในการล้างไม่ เช่น ค่ามาตรฐานของแรงดันน้ำหรือสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดให้เหมาะสม - วางแผนการผลิตตามออเดอร์ ยืนยันความแม่นยำของใบสั่งงานและทำการยืนยันปริมาณคอนกรีตกับผู้ควบคุมงานก่อนที่จะใช้ เพื่อเพิ่มหรือลดปริมาณคอนกรีตให้เหมาะสม - ใช้ไม่แบบหมุนเวียน โดยติดตั้งระบบแจ้งเตือนเกี่ยวกับการเหลือของคอนกรีตเพื่อส่งข้อมูลไปแหล่งอื่นๆ เพื่อนำไปใช้งานในส่วนอื่นๆ ของโรงงาน
การตรวจสอบคุณภาพ	- นำคอนกรีตที่ใช้ทดสอบกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้เป็นวัสดุประกอบในการก่อสร้างอื่นๆ - เพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบ โดยใช้เทคโนโลยีการทดสอบแบบไม่ทำลาย เช่น X-ray หรือ ultrasonic เพื่อการผิดพลาดและลดของเสีย และอบรมพนักงานเกี่ยวกับมาตรฐานในการตรวจสอบ
ของเสียจากสาเหตุอื่น ๆ	- จัดทำแบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance) และจัดทำแผนการบำรุงรักษา เพื่อตรวจเช็คและบำรุงรักษาเครื่องจักรเป็นประจำ จัดเตรียมอะไหล่สำรองให้พร้อมสำหรับการซ่อมบำรุงทันที เพื่อลดปัญหาการหยุดชะงัก - จัดอบรมพัฒนาความรู้เกี่ยวกับการผลิตคอนกรีตเพื่อให้ได้ความรู้ที่ถูกต้องในการผลิต ตัวอย่างเช่น การให้ความรู้จากหัวหน้างานโดยตรง เพื่อให้ได้ความรู้และประสบการณ์จริงของบมการใช้เครื่องมือต่างๆ ให้เหมาะสม ให้อุตและใช้เครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ

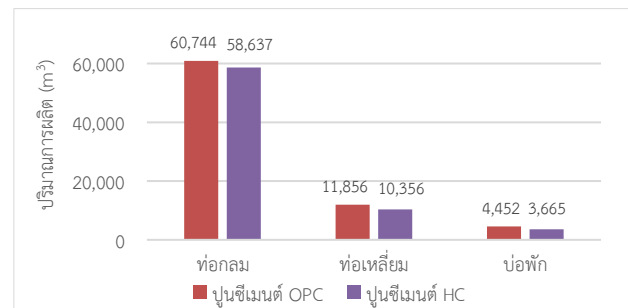
2. แนวทางการจัดการของเสียคอนกรีตสดโดยนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ โดยเสนอให้ใช้วิธีคัดแยกวัสดุออกจากคอนกรีตสดเพื่อนำไปใช้งานใหม่ (Recycling Aggregate) คือ การคัดแยกคอนกรีตสดที่เหลือจากการผลิตออกเป็นวัสดุที่สะอาด เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานใหม่ เช่น หิน ทรายน้ำปูน มาทำการล้างทำความสะอาดเพื่อนำมาเป็นวัสดุในการผสมคอนกรีตใหม่ ส่วนน้ำปูนที่เหลือจะนำมาเป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีตใหม่ได้ และทดสอบขนาดผลของมวลรวม (Gradation) ตามมาตรฐาน ASTM C 136 : Method for sieve analysis of find and coarse aggregate ซึ่งพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาดต้องมีความไม่เกินที่กำหนด และมีปริมาณฝุ่นในมวลรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ กรณีของส่วนละเอียดที่เป็นฝุ่นหยาบให้มีปริมาณได้ไม่เกินร้อยละ 1.5 จึงจะสามารถนำหินเหล่านั้นไปใช้ในการผลิตคอนกรีตได้ ในปัจจุบันวิธีการแยกหินผ่านเครื่องจักรจะมีด้วยกันอยู่ 2 ประเภทคือ ประเภทพื้นฐานและประเภทเครื่องอัตโนมัติ

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และการจัดการของเสียจากคอนกรีตผสมเสร็จ ภายในโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป แห่งหนึ่งใน จ.ชลบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสาเหตุการเกิดของเสียของคอนกรีตสด โดยสรุปผลวิจัยตามวัตถุประสงค์ดังนี้

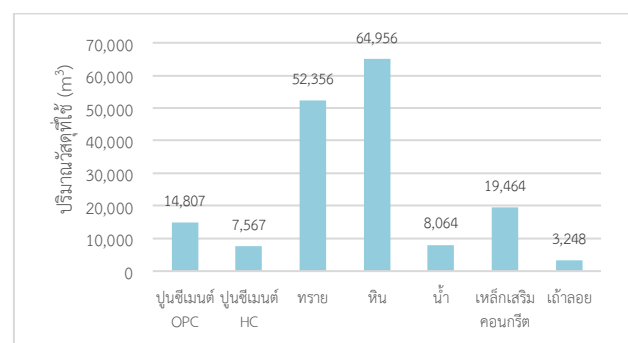
4.1 ศึกษาปริมาณวัสดุของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลจากการผลิตพบว่า วัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ได้แก่ ปูนซีเมนต์ หิน ทรายน้ำ และเหล็กเสริมคอนกรีต โดยที่ปูนซีเมนต์ HC จะมีวัสดุเพิ่มมาคือ สารผสมเพิ่มหรือเถ้าลอย โดยมีปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูปดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป

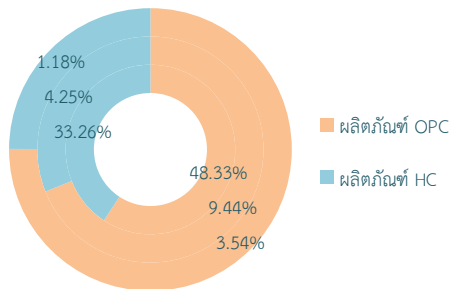
ปริมาณของอัตราส่วนผสมวัสดุ (Mix Design) ที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดแสดงได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ปริมาณวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป

4.2 เพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ OPC และปูนซีเมนต์ HC

จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตเปรียบเทียบปูนซีเมนต์ OPC ด้วย ปูนซีเมนต์ HC ของท้องถิ่น ท่อเหลี่ยม และบ่อพัก รวมการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากวัสดุผสมคอนกรีตสดและการขนส่งเท่ากับ 100,618.50 tCO₂e (61.31%) และ 63,488.29 tCO₂e (38.69%) ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 สัดส่วนการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ OPC และ HC

จากการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่สูงที่สุดคือ การการผลิตท่อกลมโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (48.33%) ทางผู้จัดทำได้เสนอแนวทางในการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยการเปลี่ยนไปใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกซีเมนต์ ในกระบวนการผลิต ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ นอกจากนี้ยังมีการเสนอให้ ใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) และตะกรันเตาถลุงเหล็ก (GGBS) รวมถึงการนำพลังงานหมุนเวียนและเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มาใช้ เช่น ระบบหมุนเวียนน้ำและระบบบำบัดของเสีย ซึ่งสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.3 เพื่อศึกษาปริมาณการจัดการของเสียของโรงงานผลิตชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ในการศึกษากระบวนการจัดการของเสียโดยมี 4 แหล่งที่มาของของเสียหลักคือ การถ่ายคอนกรีตลงสู่รบบรรทุก การติดตั้งในโม้ผสม การตรวจสอบคุณภาพ และสาเหตุอื่นๆ โดยมีปริมาณของเสียรวมใน 4 ไตรมาสเท่ากับ 247.72 ลูกบาศก์เมตร พบของเสียจากการติดตั้งในโม้ผสมมากที่สุดคิดเป็นประมาณ 91.46 m³ หรือประมาณ 36.9% ของของเสียทั้งหมด

จากการวิเคราะห์เนื้อหาทั้งหมดสามารถเสนอแนวทางการบริหารจัดการของเสียจากคอนกรีตผสมเสร็จได้ คือ ในด้านของเสียคอนกรีตสด ได้มีการวิเคราะห์แหล่งที่มาของของเสียและเสนอแนวทางลดของเสียในแต่ละกระบวนการสำคัญ โดยเสนอแนวทางแนวทางการจัดการของเสียให้สอดคล้องกับทฤษฎีการลดขยะจากแหล่งกำเนิดหน่วยงานป้องกันสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency, USEPA, 1998) ซึ่งการจัดหรือลดปริมาณของเสียจากแหล่งกำเนิดจะเสนอได้ดังตารางที่ 9 ซึ่งการลดของเสียที่แหล่งกำเนิดนั้นจะทำให้เกิดของเสียของคอนกรีตลดลง และบริหารจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกแนวทางที่สำคัญคือ การนำของเสียคอนกรีตสดกลับมาใช้ใหม่ (Recycling Aggregate) โดยการคัดแยกวัตถุดิบที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น หิน ทราย และน้ำปูน รวมถึงการนำกากคอนกรีตไปใช้ผลิตวัสดุอื่นๆ เช่น อิฐบล็อก กระถาง หรือแผ่นพื้นปูน ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณของเสีย

และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่เหลือใช้ในกระบวนการผลิต โดยการนำของเสียจากคอนกรีตสดที่แนะนำคือการนำส่วนของของเสียจากการตรวจสอบคุณภาพไปทำการบดหรือทุบด้วยค้อนให้หินมีขนาดเล็กลง และบดด้วยเครื่องบดกราม (Jaw Crushing) และบดด้วยลูกกลิ้ง (Roller Crushing) และนำไปร่อนกับเครื่องจักรเพื่อแยกขนาด

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ เขตพื้นที่อุเทนถวาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนางานวิจัยนี้ รวมถึง ผู้บริหารและบุคลากรของโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและให้การสนับสนุนด้านต่างๆ ตลอดจน ครอบครัวและเพื่อนร่วมงานที่คอยให้กำลังใจและการสนับสนุนตลอดระยะเวลาการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] De Brito Prado Vieira and De Figueredo (2016). Waste generation from the production of ready-mixed concrete. Journal of Construction Materials, 34(2), pp. 123-134.
- [2] Fraile-Garcia and other (2017). Study of the Technical Feasibility of Increasing the Amount of Recycled Concrete Waste Used in Ready-Mix Concrete Production. Construction and Building Materials, 45, pp. 287-299.
- [3] Kazaz and Other (2015). Fresh Ready-Mixed Concrete Waste in Construction Projects: A Planning Approach. Ph.D. Dissertation, Middle East Technical University, Turkey.
- [4] Kazaz and other (2016). Identification of Waste Sources in Ready-Mixed Concrete Plants. International Journal of Civil Engineering, 11(3), pp. 201-215.
- [5] จักรกฤษ บุญเรือน และคณะ (2547). การลดปริมาณความสูญเสียของวัสดุที่ใช้ในการผลิตเสาเข็มคอนกรีตและแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง. วารสารวิศวกรรมโยธา, ปีที่ 15, ฉบับที่ 2, หน้า 89-101.
- [6] นิกร เจียมวรพงศ์ (2555). การศึกษากระบวนการก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับพักอาศัยที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์. การประชุมวิชาการ, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย.
- [7] ปรัชญา ชันโล (2562). การบริหารจัดการของเสียจากคอนกรีตผสมเสร็จ. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ และการจัดการเชิงธุรกิจ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ประเทศไทย. [ออนไลน์]
- [8] สุวัฒน์ งามจันทร์ และ ธนิต ใจสะอาด (2566). การเปรียบเทียบลักษณะทางฟิสิกส์ระหว่างปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1. การประชุมวิชาการวิศวกรรมวัสดุ, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย.
- [9] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2565).ข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (8th ed.)