การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา: กิจกรรมรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคาร

Assessing the carbon footprint of a product: A case study of interior building demolition.

(Received: September 22,2023 ; Revised: September 25,2023 ; Accepted: September 26,2023)

แววลี ประมูล[1] , เสรีย์ ตู้ประกาย[1], วรานนท์ คงสง[1] , ธีรเดช สนองทวีพร[1] มงคล รัชชะ *
Waewvalee Pramoon[1], Seree Tuprakay[1], Waranon Kongsong[1] , Teeradej Snongtaweeporn[1] Mongkol Ratcha[2*]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา กิจกรรมการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคารสำนักงานเช่า รวมถึงการนำของเสียไปใช้ประโยชน์ เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนการทำงานและแนวทางในการลดของเสียจากกิจกรรมการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคาร ให้เป็นไปตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ ผลการศึกษาพบว่าการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในสำนักงานที่เป็นสำนักงานเช่ามีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 0.41 $KgCO_2e/m^2$ โดยมีสาเหตุหลักมาจากกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าในเครื่องมือ เครื่องจักรในกระบวนการการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคาร โดยกระบวนการรื้อพื้นที่เป็นพื้นกระเบื้องแกรนิตโต มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ 0.15 $KgCO_2e/m^2$ หรือ คิดเป็น 38 % ของการปลดปล่อยทั้งหมด โดยมีสาเหตุหลักมาจากขั้นตอนดังกล่าวมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องสกัดไฟฟ้าที่มีจำนวนมากและใช้เวลานานจึงเป็นเหตุสำคัญที่ทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์, ก๊าซเรือนกระจก, การรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคาร, เศรษฐกิจหมุนเวียน

Abstract

This research proposes to analyze the carbon footprint of products that focus on a case study, which involves to building demolition activities within a rented office building, including the utilization of waste. The aim is to provide information for work planning and guidelines for reducing waste from building demolition activities within buildings, aligning with the principles of the circular economy using quantitative research principles. The results of study found that the demolition of interior buildings within rented offices resulted in a total greenhouse gas emissions level of 0.41 $KgCO_2eq/m^2$. This emission was primarily attributed to the use of electricity in equipment and machinery during the demolition process. Specifically, data calculations pinpoint the process of dismantling granite tile flooring as the largest contributor to greenhouse gas emissions, accounting for 0.15 $KgCO_2eq/m^2$ or 38% of the total emissions. This is primarily due to the use of energy-intensive electric extraction machines, which consume a significant amount of electricity over an extended period.

Keywords: carbon footprint, greenhouse gases, interior building demolition, Circular Economy

บทนำ

ภาวะเรือนกระจกและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีสาเหตุมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาสู่ชั้นบรรยากาศ ทั้งกิจกรรมการดำรงชีวิตประจำวัน กิจกรรมภาคอุตสาหกรรม กิจกรรมภาคเกษตรกรรม และ การใช้พลังงาน ดังนั้นคาร์บอนฟุตพริ้นท์จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดถึงผลกระทบจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ต่อระบบสิ่งแวดล้อมในแง่ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมา โดยปัจจุบันการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์และองค์กร ในงานวิจัยนี้จะใช้การประเมินแบบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon footprint of product) ซึ่งหมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มา ของวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิต การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งานโดยคำนวณ

[1] มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [6] โดยรูปแบบการประเมินที่จะใช้ในจะเป็น การประเมินแบบ Cradle-to-Gate (Business to Business: B2B) เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินคาร์บอนฟุต พริ้นท์ ไปทำการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการทำงานตลอดวัฏจักรเพื่อลดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงในลำดับต่อไป

กิจกรรมที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเป็นกิจกรรมการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคารซึ่งในประเทศไทยโดยทั่วไปได้แบ่งการรื้อถอนออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้แรงงานคน และประเภทที่ใช้แรงงานพร้อมเครื่องจักร ทั้งสองประเภทมีขั้นตอนที่ไม่ต่างกันมากนัก โดยปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการจะเป็นขนาดของอาคารลักษณะสิ่งปลูกสร้างตกแต่งภายใน และระเบียบปฏิบัติของอาคารที่ทำการรื้อถอน ซึ่งลำดับขั้นตอนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ขั้นตอนการสำรวจอาคารก่อนการเสนอราคารื้อถอน ขั้นตอนการเตรียมรื้อถอน และขั้นตอนการรื้อถอน [2]

จากการทบทวนการวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่างานวิจัยโดยส่วนใหญ่จะเป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิต การใช้งาน และการขนส่ง ในขณะที่ส่วนของการรื้อถอนนั้นไม่ค่อยมีปรากฏ ซึ่งกระบวนการรื้อถอนก็จัดอยู่ในส่วนหนึ่งของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และบริการเช่นกัน นอกจากนั้นแล้วกิจกรรมการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคารก็เป็นกิจกรรมที่พบเห็นได้อย่างทั่วไปทั้งในส่วนของสำนักงาน ร้านค้า โรงงาน ที่อยู่อาศัยต่างๆ เช่นกัน จึงนำมาสู่แนวทางการวิจัยนี้ เพื่อให้ทราบข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทำให้สามารถหาแนวทางการลดการปรับเปลี่ยนกระบวนการที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกให้น้อยลงจนเข้าใกล้ศูนย์ ตามหลัก Net Zero อีกทั้งผลิตภัณฑ์จากกิจกรรมดังกล่าว อันได้แก่ เหล็ก โลหะ เศษปูน กระจก ไม้ต่างๆ หากสามารถนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตอีกครั้ง ทำให้เกิดความคุ้มทุนและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยสามารถนำไปเทียบกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบจากการผลิตขึ้นใหม่ ตามหลัก เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) [7] หรือใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อลดขั้นตอนในการนำกลับมาใช้ใหม่ [9]

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์หาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรมการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคารต่างๆ อีกทั้งเป็นข้อมูลในการวางแผนและแนวทางในการลดของเสียจากกิจกรรมการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคาร

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้ศึกษาได้ดำเนินการวิจัย โดยใช้ระเบียบวิจัยเชิงปริมาณ โดยการสำรวจกระบวนการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคารเพื่อรวบรวมเครื่องจักรและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงให้การรื้อถอนสามารถจัดการพลังงานและทรัพยากรต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด มีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

ขอบเขตการศึกษา

ทำการศึกษาโดยทำการประเมินและรวบรวมปริมาณการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคารเท่านั้นไม่นับรวมปริมาณ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการขนส่งและ มลพิษรวมถึงการจัดการมลพิษดังกล่าวที่เกิดขึ้นระหว่างการรื้อถอน

เลือกกิจกรรมการรื้อถอนโดยใช้กรณีศึกษางานรื้อถอนสำนักงานเช่า ภายในอาคารเพื่อคืนพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานคร

เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้วิธีการกรอกข้อมูลจากผู้รับเหมาที่ได้รับงานรื้อถอนคืนพื้นที่สำนักงานโดยการเลือกกลุ่มผู้ให้ข้อมูลแบบเจาะจง (Specific Sampling) อันได้แก่ วิศวกรควบคุมงาน หัวหน้างาน

หมายเหตุ ทำงานวันละ 8 ชั่วโมงในเวลากลางคืนหลัง 19:00 น. เท่านั้นเนื่องจากเงื่อนไขการทำงานในตึกดังกล่าวเพื่อป้องกันผลกระทบไปยังผู้เช่ารายอื่นอยู่ในพื้นที่เดียวกัน

** กระบวนการนี้ทำตลอดระยะเวลาการทำงานช่วงหลังเลิกงานประมาณ 1 ชั่วโมงต่อวัน (45 วัน)*

*** กระบวนการนี้ทำช่วงหลังเลิกงานประมาณ 1 ชั่วโมงต่อวัน (45 วัน)*

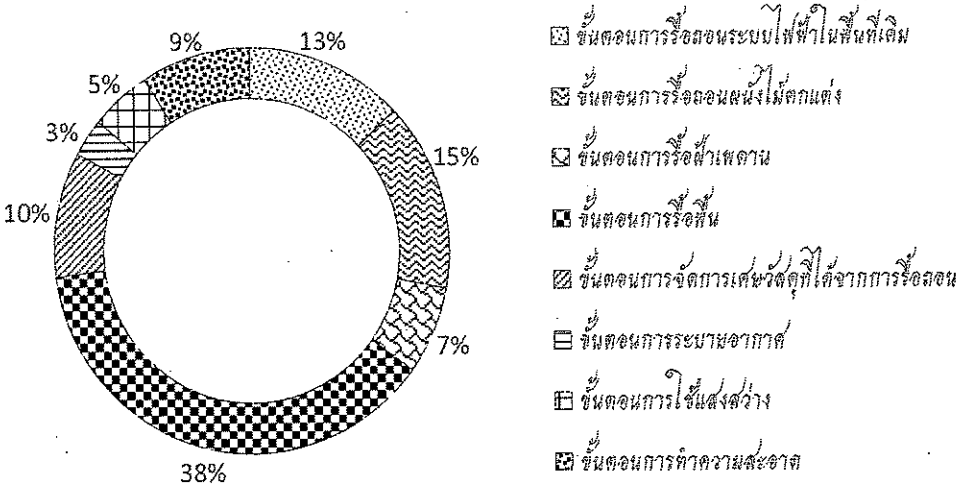
2. การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคาร

การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคารโดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.5986 อ้างอิงจากไฟฟ้าแบบ grid mix ปี 2016-2018 [5] เมื่อทำการคำนวณจากการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนตามสูตรได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

ลำดับ	ขั้นตอน	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_2e$)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยพื้นที่* ($kgCO_2e/m^2$)
1)	การสำรวจพื้นที่ก่อนเริ่มดำเนินการ	-	-
2)	การเตรียมการ	-	-
3)	การปฏิบัติการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้าง (รวมทั้งหมด)	221.72	0.29
	ก) การรื้อถอนระบบไฟฟ้าในพื้นที่เดิม	(38.79)	
	ข) การรื้อถอนผนังตกแต่ง	-	-
	ค) การรื้อถอนผนังไม้ตกแต่ง	(46.45)	
	ง) การรื้อฝ้าเพดาน	(21.55)	
	จ) การรื้อพื้น	(114.93)	
4)	การจัดการเศษวัสดุที่ได้จากการรื้อถอน	30.65	0.04
5)	การระบายอากาศ	9.58	0.01
6)	การใช้แสงสว่าง	14.37	0.02
7)	การทำความสะอาด	28.73	0.04
	รวมค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ	**305.05**	**0.41**

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดข้อมูลกิจกรรม ($kgCO_2e$/หน่วยพื้นที่) ตามพื้นที่การรื้อถอน



ภาพที่ 1 สัดส่วนของค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคาร

จากตารางที่ 3 แสดงการประเมินคาร์บอนฟรุตพริ้นท์ของกระบวนการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคาร พบว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งกระบวนการตามขอบเขตการศึกษา เท่ากับ 305.05 $kgCO_2e$ เมื่อคิดเป็นต่อพื้นที่มีค่าเท่ากับ 0.41 $kgCO_2e/m^2$ โดยกิจกรรมการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการรื้อพื้น มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 38 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกิจกรรมทั้งหมด รองลงมาเป็นขั้นตอนการรื้อถอนผนังไม้ตกแต่ง คิดเป็นร้อยละ 15 อันเนื่องมาจากการปริมาณการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าและชั่วโมงในการทำงานสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังแสดงในภาพที่ 1

สรุปและอภิปรายผล

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคาร กรณีศึกษากิจกรรมรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในอาคาร ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และทำการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้วิธีการคำนวณตามคู่มือการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติ ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [6] โดยเก็บข้อมูลจากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิ ซึ่งมีขอบเขตการประเมินตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ตั้งแต่การรื้อถอนเพื่อนำเศษซากหลังการใช้งานเพื่อรอการนำไปใช้ในผู้ผลิตรายถัดไป แบบ Cradle-to-Gate (Business-to-Business: B2B) ดังนั้นจึงไม่ได้รวมเรื่องของการขนส่งเศษวัสดุรื้อถอนไปยังอีกพื้นที่ อันเนื่องมาจากการขนส่งจะมีปัจจัยอีกหลายประการ เช่น ระยะทางการขนส่งไปยังพื้นที่รับกำจัด ช่วงระยะเวลาการเดินทาง และ สถานที่รับกำจัดรวมถึงวิธีการกำจัดหรือนำไปใช้ประโยชน์ต่อ[7] จากการวิจัยพบว่า การรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในสำนักงานที่เป็นสำนักงานเช่า มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 0.41 $kgCO_2e/m^2$ โดยมีสาเหตุหลักมาจากขั้นตอนการทำงานที่มีการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์/เครื่องมือ ในการทำงาน ตามข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจะพบว่ากระบวนการรื้อพื้นที่เป็นพื้นกระเบื้องแกรนิตโต มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ 0.15 $kgCO_2e/m^2$ หรือคิดเป็น 38 % ของการปลดปล่อยทั้งหมด เนื่องจากขั้นตอนดังกล่าวมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งคือ เครื่องสกัดไฟฟ้าที่มีจำนวนมากและใช้เวลานาน จึงทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ในส่วนของขั้นตอนการเตรียมการและขั้นตอนการรื้อถอนผนังตกแต่ง เป็นขั้นตอนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด แต่กระนั้นกิจกรรมการรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างภายในล้วนเป็นกิจกรรมที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศของโลกทั้งทางตรงและทางอ้อม เนื่องจากระหว่างกระบวนการจะมีการใช้ไฟสปอต์ไลท์ LED เพื่อแสงสว่างและพัดลมระบายอากาศ เนื่องจากเป็นการทำงานในพื้นที่อาคาร ซึ่งผลจากการศึกษา เมื่อวิเคราะห์ตามรายประเภทจะพบว่าการปล่อยก๊าซในกิจกรรมดังกล่าวจะเป็นประเภทที่ 2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นหลัก เนื่องจากงานรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างในอาคารแต่จะไม่พบการใช้งานเครื่องมือประเภทก๊าซตัด หรือเครื่องมือที่ก่อให้เกิดการเผาไหม้ ประกายไฟที่ชัดเจน [3] อันเนื่องจากงานในอาคารจำเป็นต้องระวังในส่วนของการเกิดเพลิงไหม้ และเหตุเดือดร้อนรำคาญไปยังผู้เช่ารายอื่น อีกทั้งงานวิจัยนี้ไม่ได้รวบขอบข่ายการกำจัดเศษวัสดุที่ได้จากการรื้อถอน

ข้อเสนอแนะที่ได้จากผลการศึกษา

จากการผลการศึกษาพบว่ากระบวนการที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเป็นกระบวนการรื้อพื้นดังนั้นจึงเสนอแนะนำให้พิจารณาตั้งแต่การออกแบบ การเลือกใช้วัสดุปูพื้นในประเภทที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อเช่น พื้นปาร์เก้ อีกทั้งแนวโน้มของร้านค้าและสำนักงานที่เช่าพื้นที่จะมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบอยู่เป็นประจำเพื่อให้เข้ากับยุคสมัยและความต้องการของลูกค้า ดังนั้นการออกแบบที่ยั่งยืนสำหรับอนาคต เช่น

วัตถุดิบที่เป็นธรรมชาติ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างรวดเร็ว นำกลับมารีไซเคิลได้ 100 % เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการถลุงและผลิตวัสดุใหม่จากทรัพยากรธรรมชาติที่จำกัด

นอกจากนั้นแล้วการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการติดตั้งและรื้อถอนที่สะดวกไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าก็เป็นอีกแนวทางที่ช่วยลดการใช้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสอดคล้องตามแนวทางของการวิจัย ที่แนะนำให้คำนึงถึงแนวทางการเลือกใช้วิธีการและเครื่องมือในการการรื้อถอนอาคารและการทำลายอาคารที่รวมถึงการจัดการเศษวัสดุที่ได้อาคารที่มีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งถัดไป

เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้ครอบคลุมไปถึงการขนส่งเศษวัสดุจากอาคารไปยังสถานที่รับซื้อเศษวัสดุหรือ โรงงานกำจัด และไม่ได้รวมถึงมลภาวะที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำงาน จึงสามารถต่อยอดการวิจัยเพื่อให้เป็นข้อมูลเสริมจนครบวงจรชีวิต (LCA) ของวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างและตกแต่งภายในได้ต่อไปในอนาคตได้โดย นอกจากนั้นกระบวนการในการกำจัดก็เป็นอีกประเด็นที่สามารถต่อยอดงานวิจัยให้ครบวงจร

เอกสารอ้างอิง

1 วริศรา สิชิวัฒน์, วิภาดา ทองหอม, ศุภิสรา แขวงโสภา, ธนกฤต เนียมหอม และวิธิดา พัฒนอิสรานุกูล. คาร์บอนฟุตพรินท์ของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสาตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล; 2563.

2 สุดตาภา ใจแสน, การวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนจากขั้นตอนการรื้อถอนอาคารและการทำลายอาคาร. สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2555.

3 มหาดไทย ชัยเกษม. การรื้อถอนอาคารคอนกรีตเหล็กโดยใช้แรงงานคนเป็นหลักในประเทศไทยปัญหาและแนวปฏิบัติ. วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2549.

4 ณัฐฌา มาตรสงคราม. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการใช้ไฟฟ้าของกิจกรรมภายในอาคารที่ เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอน. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2563.

5 บุญญิศา บัวเผื่อน. การประเมินคาร์บอนฟุ่ตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา บริษัท บีเอ็มทีเอเชีย จำกัด. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์; 2563.

6 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). แนวทางการประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ขององค์กร โครงการส่งเสริมการจัดทาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ; 2565.

7 กรมควบคุมมลพิษ. รายงานการศึกษาแนวทางการจัดการเศษสิ่งก่อสร้างสำหรับประเทศไทยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. มหาลัยมหิดล และ German Technical Cooperation; 2550

8. Huang, W., Li, F., Cui, S.-h., Li, F., Huang, L., & Lin, J.-y. Carbon Footprint and Carbon Emission Reduction of Urban Buildings: A Case in Xiamen City, China. Procedia Engineering, 198, 1007-1017. https://doi: 10.1016/j.proeng.2017.07.146; 2017.

9 Ibn-Mohammed, R.Greenough, S. Taylor, L. Ozawa-Meida and A. Acquaye. Operational Vs embodied emissions in building -A review of current trends. ScienceDirect. Volume 66, November 2013, Pages 232-245. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026; 2013.