การสร้างรูปแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า

Creating the Efficiency Measure Model of the Carbon Footprint in Warehouse Activities

Received : October 2, 2022
Revised : December 13,2022
Accepted : December 20, 2022

[1*]**ชุติเดช มั่นคงธรรม และ [2#]ชณิชา หมอยาดี**
วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
[1*]**Chutidaj Munkongtum and [2#]Chanicha Moryadee**
College of Logistics and Supply Chain, Suan Sunandha Rajabhat University
[*]S61484923018@ssru.ac.th, [#]Chanicha.mo@ssru.ac.th

บทคัดย่อ

แนวโน้มปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากการพัฒนาเศรษฐกิจตั้งแต่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้นในทุกภูมิภาคของโลก สิ่งสำคัญคือ การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากภาคอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งทั่วโลกได้พยายามแก้ปัญหาโดยการให้มีการแสดงข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร 10 กว่าปีที่ผ่านมาในด้านโลจิสติกส์เป็นที่สนใจและให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะด้วยที่จะต้องอาศัยการบริหารจัดการในการเชื่อมต่อระหว่างอุปสงค์และอุปทานทางด้านการค้าการลงทุน ในมุมหนึ่งการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมโลจิสติกส์ยังไม่มีระบบหรือรูปแบบเพื่อใช้ในการบริหารจัดการในส่วนนี้อย่างชัดเจน บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างรูปแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า ขั้นตอนการดำเนินการ ประกอบด้วย 1) การทบทวนวรรณกรรม 2) สร้างแบบสัมภาษณ์แบบเจาะลึก 3) สัมภาษณ์เชิงลึกผู้ที่เกี่ยวข้อง และ 4) วิเคราะห์ สังเคราะห์ผลการศึกษาเพื่อสร้างรูปแบบของกิจกรรมคลังสินค้า และสร้างรูปแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า โดยใช้สูตรและวิธีการคำนวณจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก จากผลการศึกษาพบว่า รูปแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า สามารถจำแนกออกได้เป็น 5 กิจกรรม คือ การรับ เก็บ การนำออก การเตรียมจัดส่ง และการส่ง โดยจำแนกการวัดออกเป็น 3 ประเภท คือ การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน และการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมอื่น ๆ และควรมีการศึกษากิจกรรมย่อย ๆ ของแต่ละกิจกรรมหลัก เพื่อจำแนกปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้อย่างชัดเจน

คำสำคัญ: รูปแบบการวัดประสิทธิภาพ, คาร์บอนฟุตพริ้นท์, กิจกรรมคลังสินค้า

Abstract

Trend of world's carbon footprint is likely to increase due to economic development since the Industrial Revolution. This makes the risk of climate change more trend severe in all regions of the world. The important is aspect the carbon footprint emissions from the manufacturing sector which around the world, they has tried to solve the problem by showing information "Carbon Footprint" organization. During the past 10 years in filed Logistics, they give a lot of attention according to the requirement of management team to connect between supply and demand in trade and investment. On the other hand, carbon footprint emissions from activities Logistics does not have a clear system or format to manage in this section. This article aims to present the efficiency model for measuring carbon footprint in warehouse activities. Action steps by reviewing the literature and related research to create a pattern in warehouse activities. Subsequently, it is used to design a model for measuring the efficiency of carbon footprint emissions in warehouse activities by using formulas and calculation methods from the Greenhouse Gas Management Organization. The results show that the main warehouse activities can be classified as 5 activities Receiving Storage Picking Shipping and Delivery. It will be measured divided into 3 scopes is Calculation of the organization's direct carbon footprint Calculation of Carbon Footprint from Energy Indirect Emissions Other Calculations of Indirect Carbon Footprint and the sub-activities of each main activity should be studied to clearly classify the amount of carbon footprint emissions.

Keywords: Efficiency measure model, Carbon Footprint**,** Warehouse Activities

1. บทนำ

แนวโน้มปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากการพัฒนาเศรษฐกิจตั้งแต่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้นในทุกภูมิภาคของโลก เช่น อุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น ปริมาณฝนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในฤดูน้ำหลากและน้อยลงในฤดูแล้ง และจำนวนวันที่อากาศร้อนเพิ่มขึ้น รวมถึงการเกิดเหตุการณ์รุนแรง เช่น คลื่นความร้อนความแห้งแล้ง น้ำท่วม พายุหมุน และไฟป่า ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจ สังคม และระบบนิเวศ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จากรายงานประเมินสถานการณ์ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ฉบับที่ 5 (The Fifth Assessment Report : AR5) ของคณะกรรมาธิการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) มีข้อค้นพบที่ชัดเจนว่าบทบาทและกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ จำนวนประชากร กิจกรรมด้านเศรษฐกิจ วิถีการดำเนินชีวิตการใช้พลังงาน การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน เทคโนโลยี และนโยบายด้านสภาพภูมิอากาศ เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ รวมทั้งการวิเคราะห์ผลกระทบจากการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ แนวทางการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นมากกว่า 2 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับช่วงก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม [1]

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เริ่มต้นตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน จนกระทั่งถึงการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยทำการคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ [1]

สาเหตุของการเกิดสภาวะโลกร้อน สิ่งหนึ่งที่สำคัญคือ การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากภาคอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งทั่วโลกได้พยายามแก้ปัญหาโดยการประชาสัมพันธ์ให้มีการแสดงข้อมูล “คาร์บอนฟุตพริ้นท์” (Carbon Footprint) บนผลิตภัณฑ์ ในประเทศไทย การพัฒนาฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint Label) ดำเนินงานโดยองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก ร่วมกับสถาบันสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการอนุมัติให้ขึ้นทะเบียนคาร์บอนฟุตพริ้นท์แล้ว 151 รายการ เช่น น้ำตาล ผงพลาสติกพีวีซี น้ำกะทิ น้ำนมถั่วเหลืองผลิตภัณฑ์กลุ่มเฌอร่าบอร์ด ปูนซีเมนต์ เซรามิก ก๊อกน้ำ หลอดไฟ เป็นต้น ประเทศไทยมีแนวโน้มการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพิ่มสูงขึ้น จากกิจกรรมการพัฒนาประเทศ ซึ่งจากข้อมูลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในปี พ.ศ. 2554 มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 305.52 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ และจากการคาดการณ์ปริมาณการปล่อยมีสูงถึง 555 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า ในปี พ.ศ. 2573 โดยภาคเศรษฐกิจที่มีสัดส่วนการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ ภาคพลังงาน รองลงมาคือ ภาคเกษตร กระบวนการทางอุตสาหกรรม และของเสีย [2] ประกอบกับการจัดลำดับขององค์กร Germanwatch ระบุว่าประเทศไทยเป็นประเทศ 1 ใน 10 ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว และการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของศูนย์ภูมิอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา สรุปว่าในปี พ.ศ. 2565 - 2578 ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการดำเนินการตามมาตรการระหว่างประเทศที่มุ่งสู่การเติบโตด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน และการบูรณาการกับแนวทางการพัฒนาประเทศในระยะยาว การเตรียมความพร้อมด้านข้อมูล องค์ความรู้ และความตระหนักรู้ของประชาชน นอกจากนี้ประเทศไทยได้แสดงเจตจำนงในการมีส่วนร่วม (Nationally Determined Contribution: NDC) ซึ่งดำเนินการตามความตกลงปารีสในการจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยจัดทำข้อเสนอการมีส่วนร่วมของประเทศในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภายหลัง พ.ศ. 2563 ที่มีความสอดคล้องตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงและการพัฒนาที่ยั่งยืน ต่อยอดการดำเนินงานในกรอบ NAMA และกำหนดเป้าหมายการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในปี พ.ศ. 2573 โดยกำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ที่ร้อยละ 20 - 25 [2]

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาพบว่า มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับปรากฏการณ์เรือนกระจก และเกี่ยวข้องกับความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก กิจกรรมด้านโลจิสติกส์ในซัพพลายเชนทั่วโลกกลายเป็นสาเหตุสำคัญของการปล่อยมลพิษทางอุตสาหกรรมและมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมที่กำลังลุกลาม แม้ว่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกี่ยวข้องกับโลจิสติกส์จำนวนมากจะเกิดจากกระบวนการจัดเก็บ และการจัดการวัสดุในคลังสินค้า โดยการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเครือข่ายโลจิสติกส์ทั่วโลก มี 4 แหล่งที่มาหลัก ๆ ของการปล่อยมลพิษประกอบด้วย ดังนี้

1) การขนส่งในประเทศ: การปล่อยมลพิษจากการขนส่งทางถนน (เช่นน้ำมันเชื้อเพลิง) ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายสินค้าในประเทศต้นทางหรือประเทศปลายทาง ระหว่างโรงงาน และท่าเรือต้นทางหรือปลายทาง

2) การขนส่งระหว่างประเทศ: การปล่อยมลพิษจากเรือเดินสมุทร (เช่นน้ำมันเชื้อเพลิง) ระหว่างท่าเรือต้นทางและปลายทาง

3) การดำเนินงานคลังสินค้า: การปล่อยก๊าซจากการใช้ไฟฟ้าในการบำรุงรักษาคลังสินค้ารวมถึงอุปกรณ์เครื่องทำความเย็นและกิจกรรมสนับสนุนอื่น ๆ

4) การดำเนินงานท่าเรือ: การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมท่าเรือทั้งหมดรวมถึงการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิงโดยสิ่งอำนวยความสะดวกและอุปกรณ์ที่ควบคุมโดยผู้ปฏิบัติงาน

อย่างไรก็ตาม การวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่องค์ประกอบการขนส่ง สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคลังสินค้ายังได้รับความสนใจเพียงเล็กน้อย [3] ดังนั้น การลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) ที่เกิดจากกิจกรรมคลังสินค้าในประเทศไทยมีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานคลังสินค้าที่ชัดเจนที่สุดตัวหนึ่ง โดยเป็นการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งทางตรง และทางอ้อม (Direct and Indirect Emissions) การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในคลังสินค้าขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ระยะทาง พื้นที่ เอกสารที่ใช้ในการทำงาน และชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ภายในคลังสินค้า

รวมทั้งกิจกรรมโลจิสติกส์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ปัจจุบันการคำนวณเพื่อการตรวจสอบและรายงานผลการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยอ้างอิงจากหลักการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตาม European Standard CEN EN 16258 “Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers)” เมื่อพิจารณาตลอดซัพพลายเชนของงานด้านคลังสินค้า ซึ่งรวมถึงการเก็บสินค้า การจัดเรียง และการขนถ่ายสินค้าด้วย ดังนั้น การวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมคลังสินค้าจึงมีการคำนวณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการใช้เชื้อเพลิง พลังงานความร้อนและสารทำความเย็น จากกิจกรรมในแต่ละส่วนทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดซัพพลายเชนการดำเนินงานคลังสินค้า [4]

อย่างไรก็ตามสามารถสังเกตได้ว่าความสนใจในหัวข้อการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในโลจิสติกส์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการวัดการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในองค์กร หรือผู้ให้บริการโลจิสติกส์ ดังนั้น ความพยายามในการจัดหมวดหมู่และตรวจสอบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และแนวปฏิบัติด้านการจัดการโลจิสติกส์ เพื่อเติมเต็มวรรณกรรมที่มีอยู่และให้ข้อมูลเชิงลึกใหม่ ๆ [5] จากเหตุผลดังกล่าว และการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการวัดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไปที่กิจกรรมการขนส่ง เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเป็นปัญหาที่ศึกษากันในสาขาการวิจัยดำเนินงาน และการขนส่งและโลจิสติกส์โดยปัญหานี้ถือว่าเป็นปัญหาที่ยากและท้าทายสำหรับนักวิจัยและผู้ปฏิบัติงาน [6] และงานวิจัยส่วนหนึ่งก็มุ่งเน้นไปที่การวัดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไปที่ภาพรวมของคลังสินค้า ซึ่งเห็นว่ายังไม่มีงานวิจัยที่มุ่งเน้นไปที่การวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการสร้างรูปแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า ซึ่งคือเป้าหมายหลักของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อสร้างรูปแบบการวัดประสิทธิภาพสำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการวัด การควบคุมการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์กิจกรรมคลังสินค้า ตลอดจนเพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการดำเนินการในกิจกรรมคลังสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการลดต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ และช่วยสร้างข้อได้เปรียบทางด้านการแข่งขันในอนาคต

2. ขอบเขตงานวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างรูปแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์คลังสินค้าตามเป้าหมาย เป็นการศึกษากิจกรรมภายในคลังสินค้าที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ [1] โดยแบ่งกิจกรรมที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไว้ 3 ประเภท ได้แก่

2.1 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง จากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กรโดยตรง เช่น การเผาไหม้ของเครื่องจักร การใช้พาหนะขององค์กร (ที่องค์กรเป็นเจ้าของเอง) การใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย การรั่วซึม/รั่วไหล จากกระบวนการหรือกิจกรรม เป็นต้น

2.2 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน ได้แก่ การซื้อพลังงานมาใช้ในองค์กร ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน พลังงานไอน้ำ เป็นต้น

2.3 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมด้านอื่น ๆ การเดินทางของพนักงานด้วยพาหนะที่ไม่ใช่ขององค์กร การเดินทางไปสัมมนานอกสถานที่ การใช้วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น

ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมคลังสินค้าเพื่อนำไปสู่การค้นหาและสร้างตัวแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า

3. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วย ทุกช่วงในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การประกอบชิ้นงาน การกระจายสินค้า การใช้งาน และการจัดการของเสียหลังหมดอายุการใช้งาน รวมถึงการขนส่งที่เกี่ยวข้อง โดยคำนวณออกมาในรูปของ กรัม กิโลกรัม หรือตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [1]

โดยก๊าซควบคุมจากพิธีสารเกียวโต มีเพียง 7 ชนิด โดยจะต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Greenhouse Gas Emission) เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_20) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) ทั้งนี้ ยังมีก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ สารซีเอฟซี (CFC หรือ Chlorofluorocarbon) ซึ่งใช้เป็นสารทำความเย็นและใช้ในการผลิตโฟม แต่ไม่ถูกกำหนดในพิธีสารเกียวโต เนื่องจากเป็นสารที่ถูกจำกัดการใช้ในพิธีสารมอนทรีออล [1]

3.2 แนวคิด และทฤษฎีเกี่ยวกับกิจกรรมคลังสินค้า

พัฒนาการการจัดการคลังสินค้า การจัดเก็บสินค้าเป็นกิจกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งทางเศรษฐกิจในสมัยก่อน แต่ละครอบครัวต่างช่วยเหลือตัวเองในการแสวงหาอาหารและปัจจัย 4 เพื่อเก็บรักษาไว้สำหรับในยามจำเป็น เช่น ในสมัยโบราณมีการเก็บรักษาอาหารไว้ในห้องเก็บของใต้ดิน เพื่อป้องกันมิให้อาหารเน่าเปื่อยได้ ต่อมาเมื่อระบบการขนส่งคล่องตัวขึ้น การเก็บรักษาสินค้าจึงได้พัฒนาการเก็บในครัวเรือนไปเป็นการเก็บรักษาของผู้ค้าปลีก ผู้ค้าส่ง และผู้ผลิต จากสภาพทางการตลาดได้ชี้ให้เห็นว่าคลังสินค้าได้เริ่มกำหนดขึ้นมาเป็นหน่วยงานเก็บรักษาสินค้าสนับสนุนกระบวนการตลาดเพื่อให้บรรลุเป้าหมายการเก็บรักษาสินค้าในการตอบสนองอุปสงค์ในตลาดที่เกิดขึ้นในรูปแบบที่ไม่แน่นอน แม้ว่ากิจกรรมของคลังสินค้าอาจมีความแตกต่างกัน แต่ก็มีการกำหนดไว้ว่า การรับ การเก็บ การนำออก การจัดส่ง และการส่ง [15] ดังนั้นคลังสินค้าจึงเป็นสถานที่เก็บรักษาสินค้าไว้จนกว่าจะมีการจัดจำหน่ายออกไปเพื่อสนองความต้องการของผู้ใช้

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คลังสินค้ามีส่วนสำคัญในการเพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในซัพพลายเชน ดังนั้น จึงทำให้การวิจัยเชิงวิชาการเกี่ยวกับคลังสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยั่งยืนได้เติบโตขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา [7]

ความต้องการผลิตภัณฑ์และการบริโภคที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ได้สร้างแรงกดดันต่อผลผลิตภาคอุตสาหกรรมและซัพพลายเชน และความต้องการดังกล่าวส่งผลกระทบในทางลบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม อัตราการเพิ่มขึ้นของมลพิษและภัยพิบัติด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตภาคอุตสาหกรรมได้กระตุ้นให้นักวิจัยและผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรมศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน ภายในบริบทของการจัดการซัพพลายเชนที่ยั่งยืน (Sustainable Supply Chain Management : SSCM) [8]

มีการวิจัยจำนวนมากเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของซัพพลายเชน แต่ส่วนใหญ่เน้นที่องค์ประกอบด้านการขนส่ง โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคลังสินค้าได้รับความสนใจค่อนข้างน้อย [9]

คลังสินค้าเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกขนาดใหญ่ และผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอยู่ภายใต้การมุ่งเน้นที่เพิ่มขึ้น แต่ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าบริษัทลดการปล่อยคาร์บอนลงร้อยละ 36 [10] โดยอิงตามรายได้ปกติระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2557 แต่ประสบความสำเร็จค่อนข้างต่ำกว่าในตลาดเกิดใหม่เมื่อเทียบกับตลาดอิ่มตัว

การจัดการคลังสินค้าสีเขียวมีส่วนสำคัญในการพัฒนาซัพพลายเชนที่มีประสิทธิภาพคาร์บอน การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการตัดสินใจจัดการคลังสินค้าภายใต้นโยบายการปล่อยมลพิษแบบ Cap-and-Trade และบทบาทของการลงทุนด้านเทคโนโลยีสีเขียวในการจัดการการแลกเปลี่ยนระหว่างประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมของการดำเนินงานคลังสินค้า

จะช่วยให้การตัดสินใจที่เหมาะสมที่สุดในการจัดการคลังสินค้าและการลงทุนด้านเทคโนโลยี ภายใต้นโยบายการปล่อยมลพิษจากการค้า เพื่อช่วยผู้ปฏิบัติงานในการตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ [11]

การออกแบบอาคารคลังสินค้าเพื่อจัดการกับปัญหาทางอุตสาหกรรม การออกแบบอาคารคลังสินค้าเพื่อลดเวลาของวงจร ต้นทุนรวม และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของระบบจัดเก็บข้อมูลตลอดอายุการใช้งาน เป้าหมายคือ การกำหนดมิติของอาคารโดยรวม [12]

การใช้พลังงานของคลังสินค้าและกระจายสินค้าได้กลายเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลังสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และการวิจัยเกี่ยวกับการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในซัพพลายเชน [13]

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารและการพัฒนาที่ยั่งยืนเป็นหัวข้อที่มีความสำคัญมากขึ้นในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา มีบริษัทให้ความสนใจกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมขององค์กรมากขึ้น และกำลังมองหาวิธีการที่จะปรับปรุงบริการหรือผลิตภัณฑ์ขององค์กรให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [14]

เนื่องจากซัพพลายเชนมีความซับซ้อนมากขึ้น ตัวชี้วัดและเครื่องมือที่หลากหลายในการวัดประสิทธิภาพของคลังสินค้าก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ตัวชี้วัดที่ใช้สำหรับการประเมินประสิทธิภาพจะได้รับการประเมินในลักษณะที่แตกต่างกัน [15]

4. การดำเนินการวิจัย

4.1 การทบทวนวรรณกรรม

ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี เอกสารทางวิชาการ บทความ วารสาร รายงานการวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมคลังสินค้า สร้างแบบสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (In-Depth Interview) สัมภาษณ์เชิงลึกผู้ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมคลังสินค้า วิเคราะห์สังเคราะห์ผลการศึกษาเพื่อสร้างรูปแบบของกิจกรรมคลังสินค้าและสร้างรูปแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้าโดยใช้สูตรและวิธีการคำนวณจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก

4.2 การวิเคราะห์

การคำนวณการหาปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก ด้วยวิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กรประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

4.1 การระบุแหล่งปล่อยและแหล่งดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

4.2 การคัดเลือกวิธีการคำนวณ

4.3 การคัดเลือกหรือพัฒนาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

4.4 การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

4.5 บัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกปีฐาน (รูปที่ 1)

โดยใช้ข้อมูลกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในองค์กรคูณกับค่าการปล่อย (รูปที่ 1) หรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก และแสดงผลให้อยู่ในรูปของมวล (ตันหรือกิโลกรัม) คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) มีสูตร ดังนี้

$$Z = a \, X \, b \qquad (1)$$

โดยที่ Z = ปริมาณก๊าซเรือนกระจก

a = ข้อมูลกิจกรรม

b = ค่าการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) เทียบกับ CO_2

ตัวอย่าง: บริษัท A ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1,500 $kgCo_2$ ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) เท่ากับ 1

= 1,500 X 1 = 1,500 $kgCo_2$

สามารถใช้ได้ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป และเริ่มบังคับใช้ 1 เมษายน 2565 UPDATE: เมษายน 2565

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) รวบรวมมาจากข้อมูลทุติยภูมิ สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

	ชื่อ	Units	EMISSION FACTORS				แหล่งอ้างอิงข้อมูล
			CO_2 [$kgCO_2$/unit]	CH_4 [$kgCH_4$/unit]	N_2O [kgN_2O/unit]	Total [$kgCO_2eq$/unit]	
Stationary Combustion							
1	Natural gas	scf	5.72E-02	1.02E-06	1.02E-07	0.0573	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
2	Natural gas	MJ	5.61E-02	1.00E-06	1.00E-07	0.0562	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
3	Lignite	kg	1.06E+00	1.05E-05	1.57E-05	1.0619	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
4	Fuel oil A	litre	3.21E+00	1.24E-04	2.49E-05	3.2200	IPCC Vol.2 table 2.2, PTT
5	Fuel oil C	litre	3.24E+00	1.25E-04	2.51E-05	3.2457	IPCC Vol.2 table 2.2, PTT
6	Gas/Diesel oil	litre	2.70E+00	1.09E-04	2.19E-05	2.7078	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
7	Anthracite	kg	3.09E+00	3.14E-05	4.71E-05	3.1000	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
8	Sub-bituminous coal	kg	2.53E+00	2.64E-05	3.96E-05	2.5454	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
9	Jet Kerosene	litre	2.47E+00	1.04E-04	2.07E-05	2.4775	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
10	LPG	litre	1.68E+00	2.66E-05	2.66E-06	1.6812	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
11	LPG	kg	3.11E+00	4.93E-05	4.93E-06	3.1134	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE LPG 1 litre = 0.54 kg
12	Motor gasoline	litre	2.18E+00	9.44E-05	1.89E-05	2.1894	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
13	FUEL WOOD	kg		4.80E-04	6.40E-05	0.0304	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
14	Bagasse	kg		2.26E-04	3.01E-05	0.0143	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
15	Palm kernel shell	kg		5.56E-04	7.41E-05	0.0352	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
16	Cob	kg		5.03E-04	6.71E-05	0.0319	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
17	Biogas	m3		2.09E-05	2.09E-06	0.0011	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
18	FUEL WOOD (CO2only)	kg	1.79E+00			1.7909	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
19	Bagasse (CO2only)	kg	7.53E-01			0.7530	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
20	Palm kernel shell (CO2only)	kg	1.85E+00			1.8530	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
21	Cob (CO2only)	kg	1.68E+00			1.6780	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
22	Biogas (CO2only)	m3	1.14E+00			1.1428	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
Mobile Combustion (On road)							
23	Motor Gasoline - uncontrolled	litre	2.18E+00	1.04E-03	1.01E-04	2.2394	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
24	Motor Gasoline - oxydation catalyst	litre	2.18E+00	7.87E-04	2.52E-04	2.2719	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
25	Motor Gasoline - low mileage light duty vihicle vintage 1995 or later	litre	2.18E+00	1.20E-04	1.79E-04	2.2327	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
26	Gas/ Diesel Oil	litre	2.70E+00	1.42E-04	1.42E-04	2.7406	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE

	ชื่อ	Units	EMISSION FACTORS				แหล่งอ้างอิงข้อมูล
			CO_2 [$kgCO_2$/unit]	CH_4 [$kgCH_4$/unit]	N_2O [kgN_2O/unit]	Total [$kgCO_2eq$/unit]	
27	Compressed Natural Gas	kg	2.13E+00	3.49E-03	1.14E-04	2.2609	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, PTT
28	Liquified Petroleum Gas	litre	1.68E+00	1.65E-03	5.32E-06	1.7306	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
29	Liquified Petroleum Gas	kg	3.11E+00	3.06E-03	9.86E-06	3.2049	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE LPG 1 litre = 0.54 kg
Mobile Combustion (Off road)							
	Diesel						
30	- Agriculture	litre	2.70E+00	1.51E-04	1.04E-03	2.9793	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
31	- Forestry	litre	2.70E+00	1.51E-04	1.04E-03	2.9793	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
32	- Industry	litre	2.70E+00	1.51E-04	1.04E-03	2.9793	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
33	- Household	litre	2.70E+00	1.51E-04	1.04E-03	2.9793	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
	Motor Gasoline - 4 stroke						
34	- Agriculture	litre	2.18E+00	2.52E-03	6.30E-05	2.2738	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
35	- Forestry	litre	2.18E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.1816	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
36	- Industry	litre	2.18E+00	1.57E-03	6.30E-05	2.2455	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
37	- Household	litre	2.18E+00	3.78E-03	6.30E-05	2.3116	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
	Motor Gasoline - 2 stroke						
38	- Agriculture	litre	2.18E+00	4.41E-03	1.26E-05	2.3171	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
39	- Forestry	litre	2.18E+00	5.35E-03	1.26E-05	2.3454	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
40	- Industry	litre	2.18E+00	4.09E-03	1.26E-05	2.3077	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
41	- Household	litre	2.18E+00	5.67E-03	1.26E-05	2.3549	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
Electricity, grid mix (ไฟฟ้า)							
42	ไฟฟ้าแบบ grid mix ปี 2016-2018; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kWh	0.4954	6.10E-05	1.04E-05	0.4999	Thai National LCI Database, TIISMTEC-NSTDA, AR5 (with TGO electricity 2016-2018)
Refrigerants (สารทำความเย็น)							
43	R-22 (HCFC-22)	kg	-	-	-	1,760.0000	IPCC 2013, AR5
44	R-32	kg	-	-	-	677.0000	IPCC 2013, AR5
45	R-125	kg	-	-	-	3,170.0000	IPCC 2013, AR5
46	R-134	kg	-	-	-	1,120.0000	IPCC 2013, AR5
47	R-134a	kg	-	-	-	1,300.0000	IPCC 2013, AR5
48	R-143	kg	-	-	-	328.0000	IPCC 2013, AR5
49	R-143a	kg	-	-	-	4,800.0000	IPCC 2013, AR5

ทั้งนี้ สำหรับ Emission Factor ใน Scope 3 สามารถค้นหาได้ที่ http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5mWlcxcGMzTnBiMjQ9

รูปที่ 1 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) [1]

จากรูปที่ 1 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) เป็นค่าที่แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย โดยจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมและเทคโนโลยีของแหล่งปล่อยก๊าซในแต่ละประเทศ อาจมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามเงื่อนไขเฉพาะของกิจกรรมนั้น ๆ เรียกว่า ค่าการปล่อยเฉพาะของประเทศ (Country Specific Emission Factor) ซึ่งได้มาจากการตรวจวัดจริงหรือการทดลอง ในกรณีที่บางประเทศไม่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สามารถอ้างอิงได้จาก 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

4.3 การออกแบบ

จากการสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี เอกสารทางวิชาการ บทความ วารสาร รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมคลังสินค้า และสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) ผู้ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมคลังสินค้า จนสามารถออกแบบรูปแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้าได้เป็น 5 กิจกรรม คือ การรับ การเก็บ การนำออก การจัดส่ง และการส่ง

5. ผลการวิจัย

จากการศึกษา จึงทำให้สามารถกำหนดร่างรูปแบบแนวทางการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมการปฏิบัติงานในคลังสินค้าที่จะสามารถนำไปใช้เป็นรูปแบบในการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้าของทุก ๆ คลังสินค้าได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้า

	SCOPE	รายละเอียด	หน่วย	ปริมาณต่อปี	EF	หน่วย	CF	หน่วย
1.Receiving	SCOPE 1							tCO2e
								tCO2e
	SCOPE 2							tCO2e
								tCO2e
	SCOPE 3							tCO2e
								tCO2e
2.Storage	SCOPE 1							tCO2e
								tCO2e
	SCOPE 2							tCO2e
								tCO2e
	SCOPE 3							tCO2e
								tCO2e
3.Picking	SCOPE 1							tCO2e
								tCO2e
	SCOPE 2							tCO2e
								tCO2e
	SCOPE 3							tCO2e
								tCO2e
4.Shipping	SCOPE 1							tCO2e
								tCO2e
	SCOPE 2							tCO2e
								tCO2e
	SCOPE 3							tCO2e
								tCO2e
5.Delivery	SCOPE 1							tCO2e
								tCO2e
	SCOPE 2							tCO2e
								tCO2e
	SCOPE 3							tCO2e
								tCO2e

6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า กิจกรรมในคลังสินค้าแบ่งออกเป็น 5 กิจกรรม ดังนี้ การรับ เก็บ การนำออก การจัดส่ง และการส่ง โดยในการวัดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละกิจกรรมจำเป็นจะต้องจำแนกวัดออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง 2) การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน และ 3) การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมอื่น ๆ เพื่อให้ทราบถึงแหล่งการเกิด และแหล่งการปล่อยอย่างถูกต้อง เพื่อให้สามารถวางแผนในการบริหารจัดการการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมคลังสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ

7. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากกิจกรรมในคลังสินค้าสามารถแบ่งเป็นกิจกรรมหลัก และกิจกรรมสนับสนุนหรือกิจกรรมย่อย ๆ ดังนั้น การที่จะนำรูปแบบการวัดประสิทธิภาพการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นในกิจกรรมคลังสินค้านี้ไปใช้ ควรมีการศึกษากิจกรรมย่อย ๆ ของแต่ละกิจกรรมหลัก เพื่อให้สามารถจำแนกได้ว่าปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมหลักของคลังสินค้าใดเป็นสาเหตุที่แท้จริง เพื่อที่จะนำไปกำหนดเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในคลังสินค้าต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยปริญาเอก สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา พร้อมทั้งได้รับคำแนะนำจาก ผศ.ดร.ชณิชา หมอยาดี อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำหรับคำปรึกษาด้านต่าง ๆ สำหรับการศึกษาและวิจัยนี้

9. เอกสารอ้างอิง

[1] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2565). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์การ. สืบค้น 10 กันยายน 2565, จาก http://www.tgo.or.th/2020/index.php/th/

[2] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2565). รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม. สืบค้น 10 กันยายน 2565, จาก http://www.onep.go.th/

[3] Ries, J. M., Grosse, E. H., & Fichtinger, J. (2017). Environmental impact of warehousing: A scenario analysis for the United States. *International Journal of Production Research*. Retrieved on September 10, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/304798587_Environmental_impact_of_warehousing_A_scenario_analysis_for_the_United_States

[4] จิตลดา หมายมั่น และคณะ. (2560). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 11(1): 57-66.

[5] David Martin Herold & Ki-Hoon Lee. (2017). Carbon management in the logistics and transportation sector: an overview and new research directions. Retrieved on September 12, 2022, from https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17583004.2017.1283923

[6] เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ. (2018). ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งภายใต้ความไม่แน่นอนของอุปสงค์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ, ปีที่ 13: 19-24. สืบค้น 12 กันยายน 2565, จาก https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/nkrafa-sct/article/view/141988

[7] Maicol Bartolini, Eleonora Bottani, Eric H. Grosse. (2019). Green warehousing: Systematic literature review and bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*. Volume 226: 242-258. Retrieved on September 12, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/332267753_Green_warehousing_Systematic_literature_review_and_bibliometric_analysis

[8] Rajeev, A., Rupesh, K.Pati., Sidhartha, S.Padhi. & Kannan Govindan. (2017). Evolution of sustainability in supply chain management: A literature review. *Journal of Cleaner Production*. Volume 162. Retrieved on September 12, 2022, from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617309514?via%3Dihub

[9] Johannes Fichtinger, Jörg M. Ries, Eric H. Grosse & Peter Baker, (2015). Assessing the environmental impact of integrated inventory and warehouse management. *International Journal of Production Economics, Elsevier*. Volume 170: 717-729. Retrieved on September 12, 2022, from https://ideas.repec.org/a/eee/proeco/v170y2015ipcp717-729.html

[10] Shao Hung Goh. (2019). Barriers to Low-Carbon Warehousing and the Link to Carbon Abatement: A Case from Emerging Asia. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Volume 49. Retrieved on September 15, 2022, from https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPDLM-10-2018-0354/full/html

[11] Xu Chen, Xiaojun Wang, Vikas Kumar, Niraj Kumar. (2016). Low carbon warehouse management under cap-and-trade policy. *Journal of Cleaner Production*. Volume 139. Retrieved on September 15, 2022, from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616312379?via%3Dihub

[12] Accorsi, R., Bortolini, M., Gamberi, M., Manzini, R. & Pilati, F. (2017). Multi-objective warehouse building design to optimize the cycle time, total cost, and carbon footprint. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Volume 92. Retrieved on September 15, 2022, from https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-017-0157-9

[13] Lewczuk, K., Klodawski, M. & Gepner, P. (2021). Energies. Retrieved on September 15, 2022, from https://www.mdpi.com/1996-1073/14/9/2709

[14] Lilyana Mihova. (2020). FIELDS OF APPLICATION OF ENERGY EFFICIENT WAREHOUSE PRACTICES. *Knowledge International Journal*. Retrieved on September 18, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/344339648_FIELDS_OF_APPLICATION_OF_ENERGY_EFFICIENT_WAREHOUSE_PRACTICES

[15] Francielly Hedler Staudt, Alpan, G., Di Mascolo, M. & Rodriguez, C. (2015). Warehouse performance measurement: a literature review. *International Journal of Production Research*, *Taylor & Francis Journals*. Volume 53(18). Retrieved on September 18, 2022, from https://ideas.repec.org/a/taf/tprsxx/v53y2015i18p5524-5544.html