

การประยุกต์ใช้กลยุทธ์ห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำ ในภาคอุตสาหกรรมบนพื้นฐานของตัวแบบสกอร์ Application of Low Carbon Supply Chain Strategy in Industrial Sector Based on SCOR Model

กิตติชัย ประเสริฐพรศรี¹ วรัญญา แก้วเชือกหนัง² ศนภสร รอดสนใจ³ และวรเศรษฐ์ อุดมสิน^{4*}

Kittichai Prasertpornsr¹ Varunya Kaewchueaknang² Sanaphasorn Rodsonjai³ and
Warrasade Udomsin^{4*}

Received: March 12, 2025

Revised: May 6, 2025

Accepted: May 15, 2025

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้แนวคิดห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในห่วงโซ่อุปทานโดยนำเสนอหลักการสำคัญ เช่น การวิเคราะห์โครงสร้างของห่วงโซ่อุปทานโดยใช้ตัวแบบ SCOR การใช้แบบจำลองกระบวนการ การระบุแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกในห่วงโซ่อุปทาน มาตรฐานเกี่ยวกับคาร์บอนที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดการห่วงโซ่อุปทาน ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพและวิธีการประเมินผล เป็นต้น นอกจากนี้บทความยังนำเสนอความท้าทายและโอกาสในการนำแนวคิดนี้มาใช้ในห่วงโซ่อุปทานโดยความท้าทายที่ห่วงโซ่อุปทานต้องเผชิญ ได้แก่ ความซับซ้อนของห่วงโซ่อุปทาน ต้นทุนการลงทุนที่สูงและการขาดแคลนความรู้และเทคโนโลยี ในขณะที่โอกาสที่สำคัญ ได้แก่ การสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน การลดต้นทุนในระยะยาวและการเข้าถึงตลาดใหม่ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำ แบบจำลองกระบวนการ มาตรฐานคาร์บอน ตัวแบบสกอร์ ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ

Abstract

This article focuses on the application of the low-carbon supply chain concept to reduce GHG emissions in the supply chain by presenting important principles such as the analysis of supply chain structure using the SCOR model, the use of process models, the identification of GHG sources in the supply chain, carbon standards that can be applied to supply chain management, performance indicators and evaluation methods. In addition, the article presents the challenges and opportunities of applying this concept in the supply chain. The challenges that supply chains face include supply chain complexity, high investment costs, and lack of knowledge and technology, while the important opportunities include creating competitive advantages, reducing long-term costs, and accessing new markets, Respectively

Keywords: Low Carbon Supply Chain, Process Model, Carbon Standard, SCOR Model, Performance Indicators

¹สาขาเทคโนโลยีโลจิสติกส์และการจัดการระบบขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก (เขตพื้นที่อุเทนถวาย)

¹Logistics technology and transportation management, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok (Uthenthawai area)

²สาขาวิชาการจัดการ (การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน) คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (วิทยาเขตพณิชยการพระนคร)

²Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology (Phranakhon)

³สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ

³Logistics and Supply Chain Management Program, Samutprakan Technical College

⁴ศูนย์นวัตกรรม สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา

⁴Intellectual Property and Licensing Center, Chitralada Technology Institute

*Corresponding author. E-mail: warrasade@yahoo.com, warrasade.udo@cddi.ac.th

บทนำ (Introduction)

ท่ามกลางกระแสการพัฒนาของโลกในยุคปัจจุบันได้ส่งผลให้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ได้กลายเป็นวิกฤตระดับโลกที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ เศรษฐกิจ สังคม ธุรกิจและผู้บริโภคอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มขึ้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emissions) ซึ่งมีก๊าซหลายชนิดมากแต่ต้องคัดสรรหาชนิดที่สำคัญกับก๊าซ 6 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) เนื่องจากเป็นก๊าซที่มีค่าศักยภาพที่ทำให้โลกร้อน (GWP: Global Warming Potential) มากกว่าก๊าซอื่น ๆ ซึ่งเกิดมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งในอุตสาหกรรม เช่น ภาคการผลิต การขนส่ง กิจกรรมการเกษตร และการบริโภค รวมทั้งของเสียจากภาคส่วนต่าง ๆ ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนนำไปสู่สาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (Global Climate Change) อย่างรุนแรง ปรากฏการณ์นี้ก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงและกว้างขวาง เช่น การละลายของน้ำแข็งขั้วโลกและธารน้ำแข็ง ซึ่งทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นและการคุกคามชุมชนชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบสภาพอากาศที่นำไปสู่ความถี่และความรุนแรงของพายุ ปรากฏการณ์น้ำท่วมและความแห้งแล้งที่เพิ่มมากขึ้น รวมถึงการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพจากการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ นอกจากนี้ผลกระทบทางธรรมชาติแล้วการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังส่งผลกระทบต่ออื่น ๆ ที่มีผลต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์โดยตรง เช่น การลดลงของผลผลิตทางการเกษตรจากสภาพอากาศที่แปรปรวน การขาดแคลนน้ำดื่มและการเกิดแพร่กระจายของโรคอุบัติใหม่ (Emerging diseases) ติดเชื้อที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือต่ำกว่าปกติ การเกิดปัญหาในการขนส่งทางอากาศยานและโครงสร้างพื้นฐานในแคนาดาตอนเหนือ (Guitouni et al., 2025) การเกิดผลกระทบในเครือข่ายของห่วงโซ่อุปทานของภาคอุตสาหกรรมเกษตร ป่าไม้ และประมงในประเทศจีน (Li et al., 2025) หรือการเกิดผลกระทบต่องค์ประกอบต่าง ๆ ของห่วงโซ่อุปทานรวมทั้งส่งผลกระทบต่อระดับสวัสดิการในสังคม (Tchoukouang et al., 2024) เป็นต้น การลดลงของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงไม่เพียงแต่ช่วยชะลอหรือหยุดยั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแต่ยังเป็นการช่วยรักษาความมั่นคงทางอาหาร สุขภาพและเศรษฐกิจของประชากรโลก การแก้ไขปัญหาภาวะธุรกิจและองค์กรต่าง ๆ ทั่วโลกได้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้มีพัฒนาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) และมีการดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นรูปธรรมผ่านการจัดการกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

แนวคิดเรื่องห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำ (Low-Carbon Supply Chains: LCSCs) มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากห่วงโซ่อุปทานเป็นแหล่งหรือรูปแบบของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกผ่านกิจกรรมต่าง ๆ ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิตสินค้า การกระจายสินค้า การขนส่งสินค้า ไปจนถึงกระจายสินค้าและการบริโภคตามลำดับ การบรรลุความเป็นห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำจะต้องอาศัยการลดและปรับปรุงประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานแบบเดิม (พลังงานจากฟอสซิล) มาเป็นการใช้พลังงานสะอาดทดแทนในกระบวนการดำเนินงานหรือการใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ซึ่งจะนำไปสู่การเติบโตทางเศรษฐกิจแบบยั่งยืน (Ma & Wang, 2025) รวมทั้งการใช้ข้อมูลต่าง ๆ ที่อยู่ในห่วงโซ่อุปทานที่ปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของดิจิทัล (Digitalization) นั้นเพื่อมาขับเคลื่อนการดำเนินงานของห่วงโซ่อุปทานจะส่งผลการลดคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วนั้น (Belhadi et al., 2024) การบูรณาการแนวคิดดังกล่าวจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายและสนับสนุนการพัฒนาห่วงโซ่อุปทานที่ยั่งยืนไปพร้อม ๆ กัน

ในบทความนี้จะมุ่งให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารห่วงโซ่อุปทาน หน่วยงานภาครัฐเอกชนและผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) เข้าใจถึงความสำคัญและวิธีการพัฒนาห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำ (Low-Carbon Supply Chains)

เพื่อนำไปวิเคราะห์กระบวนการ ผลกระทบที่เกิดขึ้น และสามารถกำหนดตัวชี้วัดที่นำไปประเมินประสิทธิภาพในการดำเนินงาน รวมทั้งหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนของห่วงโซ่อุปทาน

ห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำแนวคิดและหลักการ (Low-Carbon Supply Chains: Concepts and Principles)

ความหมายและหลักการของห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำ

ห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำ (Low-Carbon Supply Chains) เป็นหลักการที่ให้ความสำคัญกับแนวคิดของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emissions) ตลอดกระบวนการในห่วงโซ่อุปทานทั้งหมดโดยเริ่มตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การจัดจำหน่าย ไปจนถึงการบริโภคและการจัดการของเสียหลังการใช้งานหรือเรียกได้ว่าเป็นการดำเนินงานตลอดห่วงโซ่อุปทานโดยมีเป้าหมายเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและภาวะโลกร้อน ซึ่งจะมีความสอดคล้องกับการพัฒนาของสหประชาชาติที่เรียกว่า “เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของสหประชาชาติ (Sustainable Development Goals: SDGs)” ในเป้าหมายที่ 6 การจัดการน้ำและสุขภิบาล เป้าหมายที่ 9 อุตสาหกรรม นวัตกรรมและโครงสร้างพื้นฐาน เป้าหมายที่ 12 แผนการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 13 การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเป้าหมายที่ 17 ความร่วมมือการพัฒนาที่ยั่งยืน เป็นต้น แนวคิดหลักของห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำในการสร้างห่วงโซ่อุปทานที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนนั้นจะให้ความสำคัญกับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งองค์ประกอบสำคัญของแนวคิดห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำประกอบด้วย

1. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint Assessment) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการวัดและประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทาน เพื่อระบุแหล่งกิจกรรมที่มาของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญและหาแนวทางในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกดังกล่าวที่เกิดขึ้น
2. การออกแบบผลิตภัณฑ์และบริการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Eco-design) เกี่ยวกับการออกแบบผลิตภัณฑ์และบริการโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิต เช่น การเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การลดการใช้พลังงานในการผลิตและการใช้งาน รวมทั้งการออกแบบให้ง่ายต่อการนำกลับมาใช้ใหม่
3. การจัดหาวัตถุดิบอย่างยั่งยืน (Sustainable Sourcing) การเลือกแหล่งวัตถุดิบที่มีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ
4. การผลิตที่มีประสิทธิภาพและการใช้พลังงานสะอาด (Efficient Production and Clean Energy) การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงาน ลดของเสีย และเปลี่ยนไปใช้พลังงานสะอาด เช่น พลังงานหมุนเวียนทดแทนการใช้พลังงานฟอสซิล
5. การขนส่งและโลจิสติกส์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Green Logistics) การปรับปรุงระบบการขนส่งให้มีประสิทธิภาพ ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เลือกใช้ยานพาหนะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และวางแผนเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ
6. การลดของเสียและการจัดการของเสียอย่างยั่งยืน (Waste Reduction and Sustainable Waste Management) การลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของห่วงโซ่อุปทาน ส่งเสริมการนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการจัดการของเสียอย่างเหมาะสม
7. การสร้างความร่วมมือและการสื่อสารในห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Collaboration and Communication) การทำงานร่วมกันระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทาน เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล แนวปฏิบัติที่ดี และร่วมกันกำหนดเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สิ่งต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นการดำเนินการที่สามารถดำเนินการได้ด้วยตนเองที่ กล่าวคือ เป็นการพึ่งพาการตัดสินใจและกระทำการด้วยตนเองในการจัดการห่วงโซ่อุปทานโดยปราศจากการควบคุมจากภายนอกจนนำไปสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำที่สุด ซึ่งความเป็นไปได้ในการประสบความสำเร็จนั้นมีปัจจัยหลายประการที่เข้ามามีผลกระทบ

เช่น ประเภทและขนาดขององค์กร/ห่วงโซ่อุปทาน ลักษณะของกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทาน ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ความร่วมมือของสมาชิกในห่วงโซ่อุปทานในการเห็นผลประโยชน์ที่ได้รับร่วมกัน เป็นต้น แต่ด้วยข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีและข้อจำกัดของงบประมาณผู้บริหารห่วงโซ่อุปทานอาจจะเลือกใช้วิธีการของ การชดเชยคาร์บอน (Carbon Offset) เป็นทางเลือกในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กล่าวคือ เป็นกลไกในการแลกเปลี่ยนปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างองค์กรที่ไม่สามารถลดก๊าซฯ ได้ตามเป้าหมายกับอีกองค์กรหนึ่งหรือโครงการภายนอกที่สามารถลดก๊าซฯ ได้มากกว่าปริมาณก๊าซฯ ที่ตนเองปล่อย เพื่อเอาส่วนเกินมาชดเชยส่วนที่ขาดตามเป้าหมายขององค์กรนั้นหรือเพื่อบรรลุความเป็นกลางทางคาร์บอน ซึ่งปัจจุบันเรียกว่า “คาร์บอนเครดิต (Carbon Credit)” ที่มีการพัฒนาจนจนเป็นการซื้อขายในเชิงธุรกิจที่จะช่วยให้การลดก๊าซขององค์กรต่าง ๆ ที่ไม่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามเป้าหมายได้ด้วยตนเองให้เป็นไปได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดการสนับสนุนโครงการที่ช่วยลดหรือดูดซับก๊าซเรือนกระจกต่าง ๆ เช่น โครงการปลูกป่า โครงการพัฒนาพลังงานสะอาด โครงการพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืนหรือโดยใช้วิธีการซื้อคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) เพื่อชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้

มาตรฐานและกรอบการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการก๊าซเรือนกระจก

มาตรฐานและกรอบการทำงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการก๊าซเรือนกระจกสามารถเป็นแนวทางช่วยให้ห่วงโซ่อุปทานบรรลุการบริหารจัดการปล่อยคาร์บอนได้อย่างเป็นระบบประกอบด้วย การวัด การรายงาน และการทวนสอบหรือการรับรองปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (MRV: Measuring, Reporting and Verifying) ซึ่งแต่ละมาตรฐานและกรอบการทำงานก็มีจุดเน้นและวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป องค์กรสามารถเลือกนำมามาตรฐานและกรอบการทำงานที่เหมาะสมกับบริบท เป้าหมายและกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทานของตนเอง การนำมาตราฐานเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานจะช่วยให้ห่วงโซ่อุปทานสามารถปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมและสนับสนุนการดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืน (Ebersold et al., 2023) มาตรฐานและวิธีการที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1: มาตรฐานและวิธีการที่สำคัญในการจัดการเกี่ยวกับคาร์บอนที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดการห่วงโซ่อุปทาน

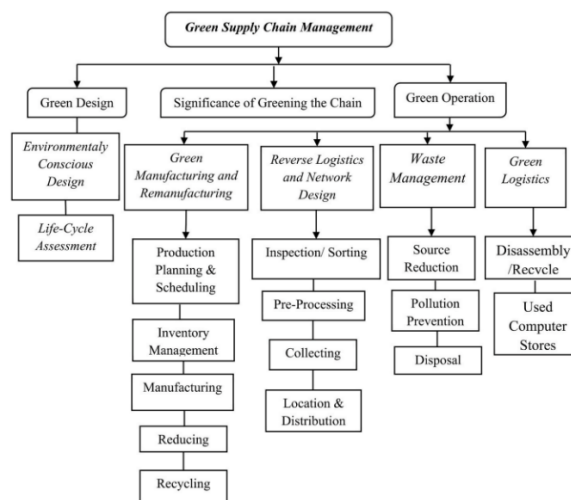
ลำดับ	ประเภท	มาตรฐาน	รายละเอียด
1	GHG protocol	กรอบการรายงานก๊าซเรือนกระจก	เป็นแนวทางสากลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการคำนวณและรายงานการปล่อย GHG โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ (Scopes) ได้แก่ Scope 1 การปล่อย GHG โดยตรงจากแหล่งที่องค์กรควบคุม Scope 2 การปล่อย GHG ทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานอื่น ๆ และ Scope 3 การปล่อย GHG ทางอ้อมจากห่วงโซ่อุปทานและกิจกรรมอื่น ๆ
2	ISO 14064	มาตรฐานการบัญชีและรายงานก๊าซเรือนกระจก	เป็นชุดมาตรฐานสากลที่กำหนดหลักเกณฑ์ในการวัด การรายงาน และการตรวจสอบก๊าซเรือนกระจก (GHG) โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ISO 14064-1 แนวทางการบัญชีและการรายงานการปล่อย GHG สำหรับองค์กร ISO 14064-2 แนวทางการลดและการกำจัด GHG ในระดับโครงการและ ISO 14064-3 หลักเกณฑ์ในการตรวจสอบและการรับรองข้อมูล GHG
3	ISO 50001	มาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน	เป็นมาตรฐานที่ให้แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานขององค์กร ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการลดการปล่อย GHG
4	Science Based Targets initiative (SBTi)	กรอบการตั้งเป้าหมายลดการปล่อยคาร์บอน	SBTi เป็นโครงการที่ช่วยองค์กรกำหนดเป้าหมายการลด GHG ให้สอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ และเป้าหมายของข้อตกลงปารีส (Paris Agreement) ในการจำกัดอุณหภูมิโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นเกิน 1.5°C หรือ 2°C

ที่มา: ผู้เขียนจัดทำเอง

ในการเริ่มต้นของห่วงโซ่อุปทานที่จะเริ่มต้นในการพัฒนาระบบการจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นควรจะเริ่มต้นจากการศึกษาและทำความเข้าใจกรอบการรายงานก๊าซเรือนกระจก (GHG Protocol) เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างรายงานที่ได้มาตรฐานและถูกต้องเพื่อสนับสนุนในการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องตามระบบสากล (Sharaf-Addin & Al-Dhubaibi, 2025) ในขณะที่มาตรฐานการบัญชีและรายงานก๊าซเรือนกระจก (ISO 14064) เป็นมาตรฐานนี้ช่วยให้ห่วงโซ่อุปทานสามารถประเมินเชิงปริมาณ (Quantitatively assess) และระบุแหล่งกำเนิด (Identify sources) ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในขอบเขตการดำเนินงาน (Operational boundaries) ของตนเองได้อย่างเป็นระบบและมีระเบียบวิธี (Systematic and methodological) นำไปสู่ความเข้าใจเชิงลึก (In-depth understanding) ในรูปแบบของการปล่อย GHG ของห่วงโซ่อุปทานต่อไปในอนาคต ในเรื่องของการจัดการพลังงานในห่วงโซ่อุปทานระบบจะต้องให้ความสำคัญกับ ISO 50001 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพในการจัดการแหล่งกำเนิดของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นคือการใช้พลังงานภายในที่ประกอบกันขึ้นเป็นห่วงโซ่อุปทานและเป็นส่วนสำคัญของกลยุทธ์ความยั่งยืนในการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทาน เช่น ในงานการศึกษาพลังงานในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลโดยนำ ISO 50001 มาประยุกต์ใช้ (Stephen & Valsalan, 2025) นอกจากนี้การดำเนินงานกรอบการตั้งเป้าหมายลดการปล่อยคาร์บอน (SBTi) นั้นเป็นโครงการที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการลดคาร์บอนที่สอดคล้องกับแนวทางเป้าหมายของข้อตกลงปารีสให้กับภาคธุรกิจซึ่งธุรกิจภาคเอกชนจะเข้าร่วมโครงการดังกล่าวจะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดต่าง ๆ ของโครงการ (Tilsted et al., 2023)

การประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมและห่วงโซ่อุปทาน

ในภาคอุตสาหกรรมและห่วงโซ่อุปทาน การบรรลุห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำนั้นสามารถประยุกต์ใช้แนวคิดห่วงโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain) กับการจัดการห่วงโซ่อุปทานเพื่อเป็นกรอบแนวคิดในการดำเนินงานโดยจะให้ความสำคัญใน 2 ประเด็น คือ การออกแบบสีเขียว (Green design) เกี่ยวข้องกับการให้ความสำคัญกับวัตถุดิบ การออกแบบและการผลิตเป็นสินค้าสำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ได้และผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และการดำเนินงานสีเขียว (Green Operation) เป็นการดำเนินงานสีเขียวในรูปแบบของแนวทางเชิงกลยุทธ์ที่ห่วงโซ่อุปทานนำมาใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการและกิจกรรมต่าง ๆ ให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งไม่เพียงแต่ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมแต่ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และสร้างความยั่งยืนให้กับธุรกิจในระยะยาวตามหลักการของการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) กิจกรรมที่จะต้องให้ความสำคัญประกอบด้วย การผลิตสีเขียวและการนำกลับมาใช้ใหม่ การโลจิสติกส์แบบย้อนกลับและการออกแบบเครือข่าย การจัดการความสูญเสียและการขนส่งสีเขียว ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงกิจกรรมที่เกี่ยวข้องดังรูปที่ 1 (Moshood et al., 2021)



รูปที่ 1 กิจกรรมในห่วงโซ่อุปทานสีเขียวของภาคการผลิต

ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสร้างความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมในห่วงโซ่อุปทานนั้นไม่เพียงแต่การใช้พลังงานสะอาด (พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้า พลังงานลมและพลังงานน้ำ) และการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานแล้วนั้น ยังจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพการใช้งานและการนำวัสดุเหลือใช้หรือของเสียกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตจะช่วยลดการนำทรัพยากรธรรมชาติใหม่ออกมาใช้ เช่น การนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ผ่านกระบวนการแปรรูปซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดจากการบริโภคและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ระบบโลจิสติกส์อัจฉริยะ (Smart Logistics: GPS) การใช้เทคโนโลยี IoT และ Big Data ในการจัดการสินค้าคงคลังอย่างมีประสิทธิภาพยังลดการสูญเสียจากการเก็บรักษาที่เกินความจำเป็นและการขนส่งผิดพลาด

นอกจากนี้การใช้เทคโนโลยีขั้นสูงอันได้แก่ เทคโนโลยี Carbon Capture and Storage (CCS) ซึ่งทำหน้าที่ดักจับและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิต ก่อนที่มันจะถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การสร้างความเป็นดิจิทัลให้กับห่วงโซ่อุปทานยังมีผลต่อมีผลการมองเห็นและตัดสินใจในการลดคาร์บอนในห่วงโซ่อุปทาน (Mubarik et al., 2025) กล่าวคือ คือ เป็นโปรแกรมประยุกต์หรือแพลตฟอร์มที่ช่วยให้ธุรกิจต่างๆ สามารถสร้างภาพเสมือนจริง (Visualization) ของเครือข่ายซัพพลายเชนทั้งหมด ตั้งแต่ต้นน้ำ (แหล่งวัตถุดิบ) ไปจนถึงปลายน้ำ (ลูกค้า) ครอบคลุมผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมด เช่น ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย ผู้ขนส่ง และลูกค้า เครื่องมือนี้ช่วยให้องค์กรมีความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับกระบวนการไหลของสินค้า บริการ และข้อมูลตลอดทั้งซัพพลายเชนตัวอย่างเช่น รูปแบบของ “Digital Twin” หรือแบบจำลองดิจิทัลของระบบการผลิตหรือห่วงโซ่อุปทานสามารถช่วยให้องค์กรสามารถวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียทรัพยากรและลดการปล่อยคาร์บอน เทคโนโลยี Blockchain เข้ามามีบทบาทในการเพิ่มความโปร่งใส โดยช่วยติดตามการปล่อยคาร์บอนตลอดห่วงโซ่อุปทาน ทำให้องค์กรสามารถระบุจุดที่ต้องปรับปรุงได้อย่างแม่นยำและวางแผนลดการปล่อยคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Li et al., 2024) ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้เป็นการใช้เงินลงทุนในโครงการที่มีต้นทุนสูงและต้องการพนักงานที่เชี่ยวชาญในการดำเนินงาน นอกจากนี้ยังมีเครื่องมืออื่น ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ เช่น Supplier Mapping & Discovery Tools Traceability Software Risk Management Platforms หรือ End-to-End Supply Chain Visibility Platforms เป็นต้น

การวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Analysis)

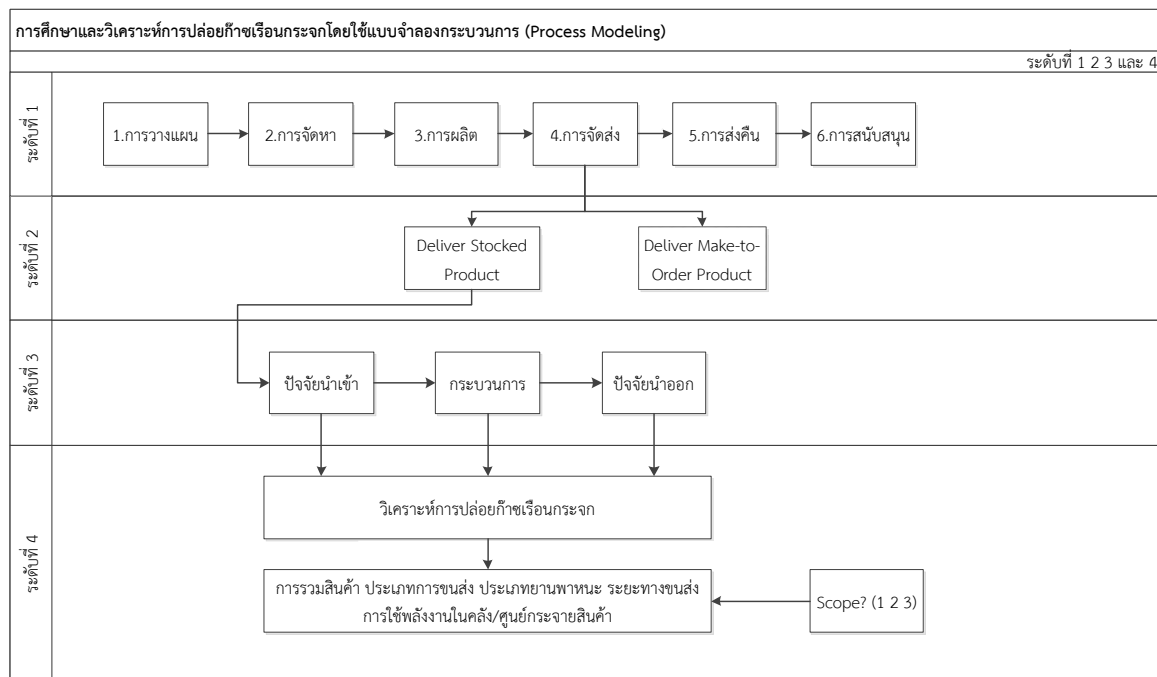
การวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Analysis) ในรูปแบบที่ส่งผลโดยตรงต่อการสร้างห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำ (Low-Carbon Supply Chains) ควรจะเป็นการวิเคราะห์ที่เน้นการประเมินและทำความเข้าใจผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emissions) ที่เกิดขึ้นตลอดทั้งห่วงโซ่ ในแต่ละกิจกรรม ซึ่งรูปแบบการวิเคราะห์เหมาะสมเป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยให้ผู้บริหารห่วงโซ่อุปทานเข้าใจถึงกระบวนการดำเนินงานในปัจจุบันที่ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งเป็น 1) การวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบของห่วงโซ่อุปทาน 2) การระบุแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก 3) การกำหนดตัวชี้วัดในการดำเนินงาน และ 4) การกำหนดวิธีการปรับปรุงการดำเนินงาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบของห่วงโซ่อุปทาน กรอบแนวคิดเป็นที่นิยมและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ จัดการและปรับปรุงห่วงโซ่อุปทานถูกพัฒนาโดย Supply Chain Council (ปัจจุบันเป็นส่วนหนึ่งของ APICS หรือ ASCM) เรียกว่า SCOR (Supply Chain Operations Reference model) ซึ่งตัวแบบ SCOR แบ่งกระบวนการในห่วงโซ่อุปทานออกเป็น 6 กระบวนการหลักประกอบด้วย การวางแผน (Plan) การจัดหา (Source) การผลิต (Make) การจัดส่ง (Delivery) การส่งคืน (Return) และการสนับสนุน (Enable) ตามลำดับ (APICS, 2017) โดยผู้บริหารห่วงโซ่อุปทานสามารถนำกรอบของ SCOR ไปประยุกต์ใช้ในการการสร้างความจำลองกระบวนการ

(Process Modeling) เพื่อจัดทำแผนผังและทำความเข้าใจกระบวนการของตนเองในปัจจุบัน (As-Is) ในมุมมองกิจกรรมที่เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยสามารถแบ่งออกเป็นระดับชั้น (Level) เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2: การแบ่งโครงสร้างในการวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทานเพื่อวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ระดับ	กระบวนการ
1	กำหนดกระบวนการหลัก 6 กลุ่ม (Plan, Source, Make, Deliver, Return, Enable)
2	การแบ่งย่อยกระบวนการ Level 1 ออกเป็นกระบวนการย่อย เช่น ภายใต้การขนส่งอาจมี Deliver Stocked Product, Deliver Make-to-Order Product เป็นต้น
3	การกำหนดกิจกรรมของกระบวนการในระดับที่ 2 ให้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยระบุปัจจัยนำเข้า กิจกรรม และปัจจัยนำออกของแต่ละกระบวนการ
4	การลงรายละเอียดของการใช้พลังงาน การวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและระบุ Scope (1 2 หรือ 3)



รูปที่ 2 ตัวอย่างการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้แบบจำลองกระบวนการร่วมกับตัวแบบ SCOR

2) การระบุแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกในห่วงโซ่อุปทาน สามารถประยุกต์ใช้แนวคิดของกลไกการคิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร (Carbon Footprint for Organization) ซึ่งแบ่งเป็น 3 Scope ได้แก่ (1) Scope 1 เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงทั้งหมดจากกิจกรรมภายใต้การควบคุมขององค์กร เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงของเตาเผาหรือหม้อไอน้ำ การปล่อยก๊าซฯ จากยานพาหนะ การเกิดของเสียโดยตรงจากการผลิตขององค์กรหรือโรงงานอุตสาหกรรมนั้น เป็นต้น (2) Scope 2 เป็นการปล่อยก๊าซทางอ้อมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหรือการดำเนินงานขององค์กร เช่น องค์กรได้ใช้พลังงานหรือความเย็น ซึ่งเกิดขึ้นนอกสถานที่ขององค์กร การปล่อยก๊าซฯ จากยานพาหนะของพนักงาน เป็นต้น และ (3) Scope 3 เป็นการปล่อยมลพิษทางอ้อมอื่น ๆ ทั้งหมดจากกิจกรรมขององค์กร ซึ่งเกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดที่องค์กรนั้นไม่ได้เป็นเจ้าของหรือไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การปล่อยก๊าซฯ จากยานพาหนะที่เกี่ยวข้องกับการเดินทางของพนักงานทั้งทางบก น้ำ อากาศ เพื่อธุรกิจขององค์กร การปล่อยก๊าซฯ จากยานพาหนะที่เช่าเหมาและการจัดซื้อจัดจ้างต่าง ๆ รวมทั้งการ

ดำเนินงานแบบจ้างเหมาต่อ (Sub-contract) เป็นต้น การระบุแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนของห่วงโซ่อุปทานช่วยให้ทราบว่ากิจกรรมใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและสามารถกำหนดกลยุทธ์เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) การกำหนดตัวชี้วัดในการดำเนินงาน เป็นขั้นตอนการหาดัชนีที่นำมาวิเคราะห์และประเมินผลการดำเนินงานที่ได้กำหนดโดยที่ให้ความสำคัญกับการวัดผลกระทบการดำเนินงานที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งการกำหนดดัชนีชี้วัด (KPI) นั้นเป็นขั้นตอนสำคัญในการติดตามและประเมินผลการปรับปรุงการทำงานในห่วงโซ่อุปทานปัจจุบัน ตัวชี้วัดเหล่านี้ควรครอบคลุมทุกด้านของห่วงโซ่อุปทานโดยอยู่บนพื้นฐานของตัวแบบ SCOR ซึ่ง Purnomo และ Syafrianita (2024) ได้นำเสนอตัวชี้วัดประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานสีเขียวโดยพัฒนามาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยแบ่งตามกิจกรรมได้แก่ การวางแผน การจัดหา การผลิต การจัดส่ง การส่งคืน ตามลำดับ ดัชนีชี้วัดดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3: การเปรียบเทียบกิจกรรม ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพและวิธีการประเมินผลบนพื้นฐานของตัวแบบ SCOR

กิจกรรม	ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ	วิธีการคำนวณ
1.การวางแผน	1.1 ระดับสินค้าคงคลังสำหรับบรรจุภัณฑ์	(ระดับสินค้าคงคลัง/ความต้องการเฉลี่ยต่อเดือน) $\times 100\%$
	1.2 %ฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม	(จำนวนพนักงานที่อบรมห่วงโซ่อุปทานสีเขียว/จำนวนพนักงานทั้งหมด) $\times 100\%$
	1.3 %การกำจัดของเสีย	(น้ำหนักของขยะที่ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม/น้ำหนักรวมของผลผลิตเสีย) $\times 100\%$
2.การจัดหา	2.1 อัตราข้อบกพร่อง	(จำนวนหน่วยที่ชำรุด/จำนวนหน่วยที่จัดส่ง) $\times 100\%$
	2.2 %ซัพพลายเออร์ที่มีใบรับรอง EMS หรือ ISO 14001	(จำนวนซัพพลายเออร์ที่ตอบสนองความต้องการด้านต่างๆ/จำนวนจำนวนซัพพลายเออร์ที่เป็นพันธมิตรกับบริษัท) $\times 100\%$
3.การผลิต	3.1 %ความล้มเหลวในกระบวนการ	(จำนวนหน่วยที่ชำรุด/จำนวนหน่วยที่ผลิต) $\times 100\%$
	3.2 ประสิทธิภาพของวัตถุดิบเครื่องจักร	(จำนวนกระบวนการผลิตภัณฑ์xเวลามาตรฐาน/เวลาดำเนินการที่ใช้) $\times 100\%$
	3.3 %วัตถุดิบอันตราย	(จำนวนวัตถุดิบอันตรายในกระบวนการผลิต/จำนวนวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้) $\times 100\%$
	3.4 %วัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	(จำนวนวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ใช้/จำนวนจำนวนวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้) $\times 100\%$
	3.5 ของเสียที่เกิดขึ้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต	(น้ำหนักขยะรวมที่เกิดขึ้น (ของเหลว ของแข็ง)/น้ำหนักรวมของสินค้าสำเร็จรูป) $\times 100\%$
	3.6 %วัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่/การนำวัตถุดิบกลับมาใช้ใหม่	(ปริมาณขยะที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้/วัตถุดิบที่ใช้รวม) $\times 100\%$
4. การขนส่ง	4.1 อัตราการส่งสินค้า	(จำนวนสินค้าที่ขนส่ง/จำนวนสินค้าทั้งหมด) $\times 100\%$
	4.2 % ของเชื้อเพลิงยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก	(ปริมาณการปล่อยก๊าซที่ลดลง/ปริมาณการปล่อยก๊าซทั้งหมดก่อนการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก) $\times 100\%$
5. การส่งคืน	5.1 อัตราการส่งคืนซัพพลายเออร์	(จำนวนหน่วยคืน/จำนวนหน่วยที่รับจากลูกค้า) $\times 100\%$
	5.2 %ของการร้องเรียนเกี่ยวกับการขาดข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์	(จำนวนการร้องเรียนของลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับปัญหาสิ่งแวดล้อม/จำนวนลูกค้าที่ร้องเรียนทั้งหมด) $\times 100\%$

ที่มา: ปรับปรุงมาจาก (Purnomo & Syafrianita, 2024)

ดัชนีชี้วัดควรเข้าใจง่ายและสื่อสารได้ง่ายเพื่อให้ทุกคนในองค์กรเข้าใจและมีส่วนร่วมในการปรับปรุง การที่กำหนดดัชนีชี้วัดที่เหมาะสมจะช่วยให้องค์กรสามารถติดตาม ประเมินผลและปรับปรุงการกิจกรรมหรือระบบทำงานในห่วงโซ่อุปทาน เพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4) กำหนดวิธีการปรับปรุงการดำเนินงาน เป็นการหาวิธีการและกลยุทธ์ในการปรับปรุงการดำเนินงานปัจจุบันของห่วงโซ่อุปทานเพื่อลดผลกระทบที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกิจกรรมต่าง ๆ กิจกรรมที่ควรให้ความสำคัญประกอบด้วยการจัดหาวัตถุดิบ (การเลือกใช้วัตถุดิบและการสนับสนุนการเกษตร) การผลิต (ปรับปรุงรูปแบบการใช้พลังงาน) การขนส่งและโลจิสติกส์ (ปรับปรุงประสิทธิภาพการขนส่ง ลดการใช้บรรจุภัณฑ์) การจัดการของเสีย (ลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น การนำกลับมาใช้ใหม่) และการสร้างความร่วมมือกันในระหว่างห่วงโซ่อุปทาน (สร้างความร่วมมือกับเจ้าของวัตถุดิบ ผู้ให้บริการขนส่งและลูกค้า) โดยอิงอยู่บนพื้นฐาน “การทำให้เกิดความยั่งยืน”

แนวทางบูรณาการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในห่วงโซ่อุปทานเพื่อความยั่งยืน

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ต้องดำเนินการอย่างจริงจัง เนื่องจากภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสังคมทั่วโลก ซึ่งการที่จะดำเนินการลดการปล่อยก๊าซฯ ให้ประสบความสำเร็จนั้นต้องอาศัยการทำงานขององค์กรประกอบอื่น ๆ ร่วมกัน ได้แก่ (1) การบูรณาการด้านสิ่งแวดล้อมเชิงรุกเป็นการผสานแนวคิดและแนวปฏิบัติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ทุกขั้นตอนของการดำเนินงานและวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยมุ่งเน้นการป้องกันและลดผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นผ่านการประเมินผลกระทบตลอดวงจรชีวิต การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ การป้องกันมลพิษตั้งแต่ต้นทาง และการใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นการดำเนินการก่อนที่จะเกิดปัญหาหรือได้รับการบังคับใช้ทางกฎหมาย เพื่อสร้างความยั่งยืนและลดความเสี่ยงในระยะยาว (2) ระบบการจัดการและธรรมาภิบาลด้านสิ่งแวดล้อมเป็นการสร้างกรอบการทำงานที่เป็นระบบและมีหลักการ เพื่อให้องค์กรสามารถบริหารจัดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยครอบคลุมถึงการพัฒนาระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (EMS) การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัดที่ชัดเจน การมีส่วนร่วมและความมุ่งมั่นของผู้บริหาร การสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่ใส่ใจสิ่งแวดล้อม และการเปิดเผยข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมอย่างโปร่งใส เพื่อสร้างความรับผิดชอบและความน่าเชื่อถือในการดำเนินงาน (3) การทำงานร่วมกันและสร้างเครือข่ายเป็นกลยุทธ์สำคัญในการยกระดับการปฏิบัติตามกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อม โดยเน้นการสร้างความสัมพันธ์และความร่วมมือกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทาน เช่น เจ้าของวัตถุดิบ หน่วยงานภาครัฐ องค์กรพัฒนาเอกชนและกลุ่มอุตสาหกรรม เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล แนวปฏิบัติที่ดีและร่วมกันพัฒนาแนวทางในการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกัน และ (4) การติดตาม ตรวจสอบและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็นกระบวนการสำคัญในการสร้างความมั่นใจว่าองค์กรสามารถปฏิบัติตามกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนโดยประกอบด้วยดำเนินการตรวจสอบทั้งภายในและภายนอก การนำเทคโนโลยีมาใช้ในการติดตามและรายงานข้อมูล การดำเนินการแก้ไขและป้องกันเมื่อพบข้อบกพร่องและการทบทวนและปรับปรุงระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาไปสู่การดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันของธุรกิจ การได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคและนักลงทุน รวมทั้งส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนโดยมีปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในห่วงโซ่อุปทาน การมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนตั้งแต่ผู้บริหารถึงลูกค้า การออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการที่คำนึงถึงการวิเคราะห์วงจรชีวิต (LCA) การปฏิบัติตามกฎระเบียบสากล (เช่น ข้อตกลงปารีส) และการลงทุนในเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยลดต้นทุนในระยะยาว เกิดการสร้างภาพลักษณ์ที่ดี เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ลดความเสี่ยงทางธุรกิจและส่งเสริมความยั่งยืนให้กับสังคมและสิ่งแวดล้อม

แนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการหรือเครื่องมือเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การออกแบบเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในห่วงโซ่อุปทานนั้นเป็นกระบวนการที่ต้องพิจารณาทุกขั้นตอนหรือกิจกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้องตั้งแต่การเลือกวัตถุดิบไปจนกระทั่งการบริโภคและการกำจัดโดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4 ตารางที่ 4: ความสัมพันธ์ของกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทานและวิธีการดำเนินงานและเป้าประสงค์

กิจกรรม	วิธีการ	เป้าประสงค์
1. การเลือกวัตถุดิบ	เลือกวัตถุดิบที่มาจากเจ้าของปัจจัยการผลิตที่ใช้วัสดุรีไซเคิล หรือวัสดุที่ผลิตด้วยกระบวนการคาร์บอนต่ำ (ค้นหาเจ้าของปัจจัยการผลิตที่มีใบรับรองเช่น ISO 14001 เลือกพลาสติกที่รีไซเคิล (Recycled PET, HDPE) เลือกวัสดุที่ผลิตด้วยพลังงานหมุนเวียน สร้างพันธมิตรกับเจ้าของปัจจัยการผลิต)	ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ
2. การออกแบบผลิตภัณฑ์	ออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลานานและสามารถแยกชิ้นส่วนเพื่อการซ่อมแซมได้ง่าย (ทดสอบผลิตภัณฑ์ ยึดชิ้นส่วนด้วยสกรู การออกแบบเชิงโมดูลาร์ ลดความซับซ้อนของวัสดุ ตัดฉลากเพื่อคัดแยกและนำกลับมาใช้ใหม่)	พัฒนาการออกแบบชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์เพื่อแยกชิ้นส่วนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เมื่อหมดอายุการใช้งาน
3. กระบวนการผลิต	เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยเลือกใช้เทคโนโลยีที่ประหยัดพลังงานและพลังงานหมุนเวียน (แผงโซลาร์เซลล์ กังหันลม แบตเตอรี่เก็บพลังงาน ติดตั้งระบบตรวจสอบการใช้พลังงาน ใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน)	ลดการใช้พลังงาน ลดการปล่อยมลพิษ (น้ำ อากาศ)
4. การจัดการคลังสินค้า	ใช้ระบบจัดการคลังสินค้าที่ลดการใช้พลังงานและลดการเสียหายของสินค้า (หุ่นยนต์จัดเก็บและหยิบสินค้า รถขนส่งอัตโนมัติ ระบบบริหารคลังสินค้า ระบบเซ็นเซอร์ตรวจสอบพลังงาน)	ลดการใช้พลังงาน ลดการใช้ทรัพยากรในการจัดเก็บสินค้า
5. การขนส่งและกระจายสินค้า	ปรับปรุงประสิทธิภาพการขนส่ง (ใช้รถ EV ผลิตใกล้กับแหล่งวัตถุดิบหรือตลาด เลือกใช้เส้นทางที่สั้นที่สุด) และการบำรุงดูแลรถขนส่งเป็นประจำ	ลดการใช้พลังงาน ลดการปล่อยมลพิษ (อากาศ)
6. การบริโภคและการกำจัด	สร้างความตระหนักและเป็นหน้าที่ให้ผู้บริโภคเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมและกำจัดผลิตภัณฑ์อย่างถูกวิธี (ประชาสัมพันธ์ การนำกลับมาใช้ใหม่)	ลดการใช้ทรัพยากรในการผลิตสินค้า

ที่มา: ผู้เขียนจัดทำเอง

ความท้าทายและโอกาส (Challenges and Opportunities) ในการนำความเป็นกลางทางคาร์บอนมาประยุกต์ใช้ในห่วงโซ่อุปทาน

การนำแนวคิดห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและดำเนินการกิจกรรมการลดก๊าซเรือนกระจกในห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) เป็นเรื่องที่ท้าทายแต่ก็มีโอกาสในการสร้างความยั่งยืนและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันขององค์กร ทั้งนี้การดำเนินการดังกล่าวต้องเผชิญกับอุปสรรคต่าง ๆ ในขณะเดียวกันก็เปิดโอกาสใหม่ ๆ ให้กับห่วงโซ่อุปทานในการขยายขอบเขตการดำเนินงานซึ่งมีความท้าทายและโอกาสในการนำห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนต่ำมาประยุกต์ใช้ในห่วงโซ่อุปทานมีรายละเอียดดังตารางที่ 5 ต่อไปนี้

ตารางที่ 5: การนำเสนอความท้าทาย โอกาส และแนวทางการแก้ไขความท้าทายและใช้ประโยชน์จากโอกาส

ความท้าทาย (Challenges)	โอกาส (Opportunities)
ความท้าทายในการนำห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนเข้ามาใช้ในห่วงโซ่อุปทาน ได้แก่ ความซับซ้อนของห่วงโซ่อุปทานที่ประกอบด้วยหลายขั้นตอนและหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ทำให้การติดตามและวัดผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นเรื่องยาก ต้นทุนของการลงทุนมีสูงในกรณีของการเปลี่ยนไปใช้เทคโนโลยีสะอาดและปรับปรุงกระบวนการผลิต การขาดแคลนเทคโนโลยีและความรู้ในบางภูมิภาค หรืออุตสาหกรรม การเปลี่ยนแปลงกฎระเบียบและมาตรฐานที่บ่อยครั้งและแตกต่างกันในแต่ละประเทศ รวมทั้งการสร้างความร่วมมือจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เช่น พนักงาน ลูกค้า และเจ้าของปัจจัยการผลิตซึ่งอาจไม่เห็นความสำคัญหรือไม่เต็มใจที่จะเปลี่ยนแปลง	โอกาสในการนำห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนเข้ามาใช้ในห่วงโซ่อุปทาน ได้แก่ การสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันโดยการเป็นผู้นำด้านความยั่งยืน การลดต้นทุนในระยะยาวผ่านการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและการลดของเสีย การเข้าถึงตลาดใหม่ ๆ โดยเฉพาะกลุ่มลูกค้าที่ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม การสร้างภาพลักษณ์และความน่าเชื่อถือให้กับองค์กร และการกระตุ้นนวัตกรรมใหม่ ๆ ผ่านการลงทุนในเทคโนโลยีสะอาดและความร่วมมือกับเจ้าของวัตถุดิบและพันธมิตรทางธุรกิจ นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีที่มีความหลากหลายให้สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับปัญหา สิ่งเหล่านี้จะช่วยให้องค์กรบรรลุเป้าหมายได้เร็วขึ้นและสร้างมูลค่าเพิ่มในระยะยาว
แนวทางการแก้ไขความท้าทายและใช้ประโยชน์จากโอกาส	
แนวทางการแก้ไขความท้าทายและใช้ประโยชน์จากโอกาสในการนำห่วงโซ่อุปทานคาร์บอนเข้ามาใช้ในห่วงโซ่อุปทาน เริ่มจากการวางแผนและกำหนดเป้าหมายที่ชัดเจนโดยใช้เครื่องมือเช่น ตัวแบบ SCOR มาเป็นกรอบแนวทางในการวิเคราะห์โครงสร้างของห่วงโซ่อุปทาน การใช้แบบจำลองกระบวนการในการวิเคราะห์กิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้วิธีการประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Assessment - LCA) ซึ่งครอบคลุมทุกขั้นตอนตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต (Cardenas et al., 2022) การขนส่ง การใช้งานไปจนถึงการกำจัดหลังใช้งาน การวิเคราะห์นี้ช่วยให้องค์กรเข้าใจแหล่งที่มาหลักของการปล่อยคาร์บอนและกำหนดกลยุทธ์ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งลงทุนในเทคโนโลยีสะอาดและนวัตกรรมที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น พลังงานหมุนเวียนและระบบจัดการพลังงานอัจฉริยะ เป็นต้น นอกจากนี้ ต้องสร้างความร่วมมือกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นเจ้าของปัจจัยในการผลิต ลูกค้า หรือพนักงาน ผ่านการฝึกอบรมและสร้างความตระหนัก เพื่อให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสุดท้าย ต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบและมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมอย่างเคร่งครัด รวมถึงรายงานความคืบหน้าอย่างโปร่งใสเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือ การดำเนินการเหล่านี้ไม่เพียงแต่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับองค์กรในระยะยาว	

ที่มา: ผู้เขียนจัดทำเอง

นอกจากนี้ความสามารถคาดการณ์ผลที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตโดยให้ความสำคัญกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี การเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมของผู้บริโภคและการเปลี่ยนแปลงของนโยบายที่เกี่ยวข้องจะส่งผลไปยังการส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวผ่านแนวคิด “Prospective LCA” (Fang et al, 2025) มีความจำเป็นการพัฒนาห่วงโซ่อุปทาน รวมทั้งการให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีและการใช้ทรัพยากรหมุนเวียนถ้ามีการวางแผนและกำหนดเป้าหมายอย่างเหมาะสมจะช่วยให้องค์กรบรรลุถึงความยั่งยืนขององค์กร (Zhang, 2024) ไปพร้อม ๆ กันผ่านการสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่เข้มแข็ง

สรุป (Conclusion)

การลดก๊าซเรือนกระจกเพื่อทำให้เกิดความยั่งยืนนั้นในห่วงโซ่อุปทานนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอันมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น การบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การสร้างความมั่นคงทางทรัพยากร การลดความเสี่ยงทางธุรกิจ ความสามารถในการสร้างโอกาสของการใช้เทคโนโลยีการผลิตสมัยใหม่ ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคและนักลงทุน สร้างห่วงโซ่อุปทานที่ยืดหยุ่นและส่งเสริมความเท่าเทียมและความยุติธรรมในสังคม สิ่งเหล่านี้ผู้บริหารห่วงโซ่อุปทานสามารถดำเนินการด้วยตนเองที่เรียกว่า “Self-Reliance/Autonomy” ซึ่งเน้นความสามารถในการพึ่งพาการตัดสินใจและกระทำการด้วยตนเองในการจัดการห่วงโซ่อุปทานโดยปราศจากการควบคุมจากภายนอก ซึ่งไม่เพียงแต่ต้องประสานองค์ประกอบในการทำงานหลายๆ ส่วนได้แก่ การวางแผนการดำเนินงานในการวิเคราะห์โครงสร้างของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การบูรณาการด้านสิ่งแวดล้อมเชิงรุกเข้าไปในกระบวนการดำเนินงาน การพัฒนาระบบการจัดการและธรรมาภิบาลด้านสิ่งแวดล้อม การสร้างระบบการทำงานร่วมกันระหว่างผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียในรูปแบบของเครือข่าย สร้างกลยุทธ์เพื่อการติดตามตรวจสอบและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องแล้วนั้น แต่ยังคงอาศัยการปรับเปลี่ยนวิธีการดำเนินงานอื่น ๆ ที่จำเป็น เช่น การใช้พลังงานสะอาด การปรับปรุงการดำเนินงาน การพัฒนาทักษะพนักงาน การใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมเข้ามาช่วยในการดำเนินงาน นอกจากนี้ในการดำเนินงานที่จะประสบความสำเร็จจะต้องเลือกกิจกรรมที่มีผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานของตนเอง เช่น การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้พลังงานในอาคารและคลังสินค้า/ศูนย์กระจายสินค้าและการจัดการของเสีย เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดที่ห่วงโซ่อุปทานที่ผู้บริหารจะต้องเผชิญ คือ ความซับซ้อนและความหลากหลายของห่วงโซ่อุปทาน ต้นทุนหรืองบประมาณในการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยี ข้อจำกัดของเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐาน หรือความสามารถในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เป็นต้น การเอาชนะข้อจำกัดเหล่านี้ต้องอาศัยความร่วมมือและการทำงานร่วมกันอย่างใกล้ชิดระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งหมดในห่วงโซ่อุปทาน การสนับสนุนจากภาครัฐและภาคอุตสาหกรรมในการสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างยั่งยืน รวมทั้งศึกษาดัชนีชี้วัดอื่น ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานของห่วงโซ่อุปทาน เช่น ดัชนีชี้วัดการเติบโตสีเขียว (Indicators of green growth index) ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการบริหารห่วงโซ่อุปทาน (Zahra et al., 2025) นอกจากนี้การใช้พลังงานอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน จะส่งผลโดยตรงต่อการลดคาร์บอนกับห่วงโซ่อุปทานได้อย่างแท้จริง (Lilonfe et al., 2025) แต่ยังเป็นเรื่องของอนาคตที่ต้องรอเทคโนโลยีที่มารองรับในเรื่องของอุปกรณ์ที่ใช้ในห่วงโซ่อุปทาน

เอกสารอ้างอิง (References)

- APICS. (2017). Supply Chain Operation Reference Model – SCOR Version 12.0. *Supply Chain Operation Management*.
- Belhadi, A., Venkatesh, M., Kamble, S., & Abedin., M.N. (2024). Data-driven digital transformation for supply chain carbon neutrality: Insights from cross-sector supply chain. *International Journal of Production Economics*, 270, 109178. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109178>.
- Cardenas, P.N., Miguel, G.S., Banales, B., Alvarez, S., Diezma, B., & Correa, E.C. The carbon footprint of stone fruit production: Comparing process-based life cycle assessment and environmentally extended input-output analysis. *Journal of Cleaner Production*, 381, 135130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135130>
- Ebersold, F., Hechelmann, R.H., Holzapfel, P., & Meschede, M. (2023). Carbon in setting as a

- measure to raise supply chain energy efficiency potentials: Opportunities and challenges. *Energy Conversion and Management*: X, 20, 100504.
<https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100504>
- Fang, Y.X., Wu, P.Z., Chen, S., Li, Y., Cui S.F., Zhu, J.X., Cao, H.Z., Jiang, K.J & Zhong, L. (2025). Prospective LCA towards achieving carbon neutrality goals: Framework application and challenges. *Environmental Impact Assessment Review*, 111, 107733.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107733>
- Guitouni, A., Khorshidvand, B., Larimi N.G., Boukhtouta, A., & Qasrawi, Y. (2025). Supply chain serviceability under climate change with application in the Arctic. *Transportation Research Part D*, 139, 104591. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104591>
- Li, J., Liu, X., & Shao, X. (2024). Collaborative carbon emission reduction in power supply and demand entities based on blockchain technology. *Electrical Power and Energy Systems*, 157, 109840. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.109840>
- Li, Q., Shi, X., & Wang, Q. (2025). Assessing climate vulnerability in China's industrial supply chains: A multi-region network analysis approach. *Journal of Cleaner Production*, 490, 144718
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144718>
- Lilonfe, S., Cortes, C.J., Mitschler, M., Zavaleta, V.G., Abdul-Manan, A.F.N., Dimitriou, I., & McKechnie, J. (2025). Life cycle greenhouse gas implications of low-carbon gaseous fuel supply chains from technological, geospatial, and temporal perspectives. *Energy Conversion and Management*, 333, 119803. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119803>
- Ma, B., Wang, A. (2025). Exploring the role of renewable energy in green job creation and sustainable economic development: An empirical approach. *Energy Strategy Reviews*, 58, 101642.
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101642>
- Moshood, T.D., Nawanir, G., Mahmud, F., Sorooshian, S., & Adeleke, A.Q. (2021). Green and low carbon matters: A systematic review of the past, today, and future on sustainability supply chain management practices among manufacturing industry. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100144. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100144>
- Mubarik, M.S., Gunasekaran, A., Khan, S.A., & Mubarak, M.F. (2025). Decarbonization through supply chain innovation: Role of supply chain collaboration and mapping. *Journal of Cleaner Production*, 507, 145492. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145492>
- Purnomo, A., & Syafrianita. (2024). Supply chain performance measurement: The green Supply chain operation reference (SCOR) Approach. *RGSA-Revista de Gestao Social e Ambiental*, 18(6).
<https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n6-013>
- Sharaf-Addin, H.H., & Al-Dhubaibi, A.A.S. (2025). Carbon sustainability reporting based on GHG protocol framework: A Malaysian practice towards net-zero carbon emissions. *Environmental and Sustainability Indicators*, 25, 100588. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100588>
- Stephen, M.S., & Valsalan, S.A. (2025). Energy efficiency and ISO 50001:2018 implementation in

- seafood processing industries: A comprehensive analysis and strategic framework. *Cleaner Energy Systems*, 10, 100173. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2025.100173>
- Tchoukouang, R.D., Onyeaka, H., & Nkoutchou, H. (2024). Assessing the vulnerability of food supply chains to climate change-induced disruptions. *Science of the Total Environment*, 920, 171047. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171047>
- Tilsted, J.P., Palm, E., Bjorn, A., & Lund, J.F. (2023). Corporate climate futures in the making: Why we need research on the politics of Science-Based Targets. *Energy Research & Social Science*, 103, 103229. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103229>
- Zahra, S., Selvanathan, E., Gupta, R., & Jayasinghe, M. (2025). Green growth transition and carbon neutrality nexus: A comparative study on the top carbon emitters. *Journal of Environmental Management*, 375, 124288. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124288>
- Zhang, Y. (2024). Role of green finance, green bonds, public private partnership, and technology innovation in carbon neutrality and sustainable development. *Heliyon* 10, e37189. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37189>