

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎี งานวิจัย และเอกสารทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain Management: GSCM) การการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในองค์กร โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การจัดการโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain Management)

Green Supply Chain Management มีความหมายดังนี้

การจัดการที่มีประสิทธิผลในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ ตลอดจนวงจรผลิตภัณฑ์ (Wang, 1999 : อ้างถึงโดยนิลวรรณ และทศพล, 2550)

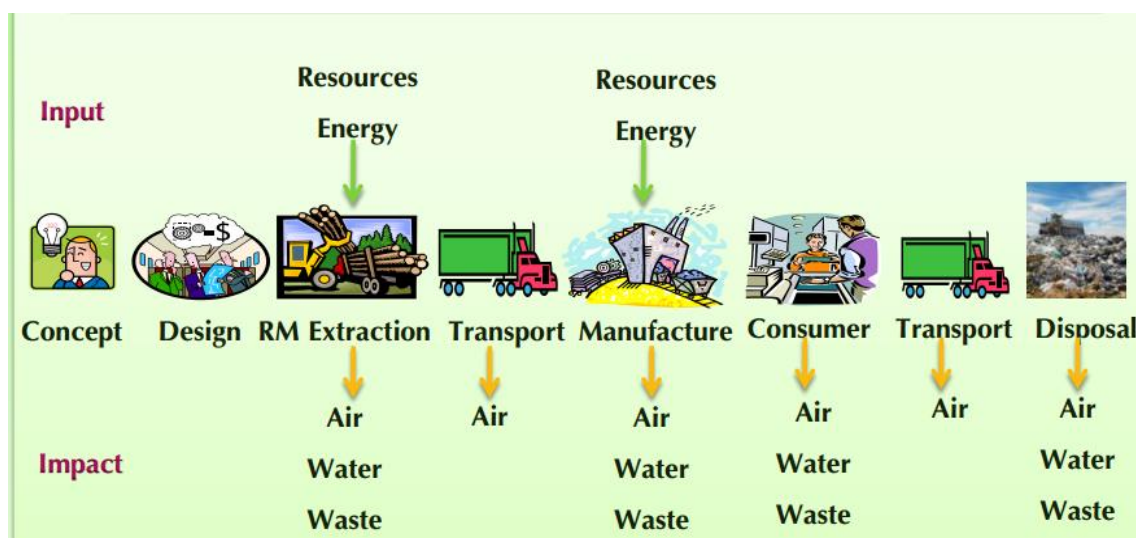
การนำการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมมารวมกับการบริหารห่วงโซ่อุปทาน เพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการห่วงโซ่อุปทานขององค์กรหนึ่งๆ (LMI Government Consulting)

ลักษณะของการจัดการโซ่อุปทานตามหลักของการ Green Supply Chain สามารถแสดง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของการจัดการโซ่อุปทานตามหลักของการ Green Supply Chain (ที่มา:กาญจนา กาญจนสุนทร: การจัดการโซ่อุปทานแบบกรีน)

จากรูปที่ 2.1 พบว่าหลักการจัดการโซ่อุปทานตามแนวทางของ Green Supply Chain เป็นการนำหลักของการบริหารโซ่อุปทาน มาพัฒนาปรับปรุงผลการดำเนินงานในโซ่อุปทานโดยให้ความสำคัญกับผลกระทบของโซ่อุปทานที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อวัสดุมีการไหล และประกอบกิจกรรมเพื่อการเพิ่มมูลค่าในระบบโซ่อุปทานย่อมมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และพลังงานต่างๆ รวมทั้งเกิด และปลดปล่อยของเสีย ตลอดจนมลพิษสู่ชุมชนและสิ่งแวดล้อม รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือวัสดุ ตั้งแต่ต้นน้ำ ผ่านกระบวนการไปยังปลายน้ำได้แก่ผู้บริโภค



รูปที่ 2.2 วงจรผลิตภัณฑ์ภายในโซ่อุปทานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
(ที่มา:กาญจนา กาญจนสุนทร: การจัดการ โซ่อุปทานแบบกรีน)

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าในทุกขั้นตอนของโซ่อุปทานตั้งแต่วัตถุดิบ ผ่านกระบวนการแปรรูปในระดับต่างๆ จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป จะต้องมีการใช้ทรัพยากรอย่างต่ำได้แก่ น้ำ และพลังงาน และในขณะเดียวกันก็มีการปลดปล่อยมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในรูปของมลพิษทางอากาศ น้ำ และของเสียอื่นๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสีย เศษซาก หรือส่วนเหลือของวัตถุดิบ (scrap) การนำหลักการของ Green Supply Chain มาประยุกต์ใช้ในการบริหารโซ่อุปทาน จึงเป็นกระบวนการในการปรับปรุงและพัฒนาระบบโซ่อุปทานเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมภายใต้แนวคิดพื้นฐานดังนี้

1. มลพิษและของเสีย เป็นสิ่งแสดงให้เห็นถึงความไม่สมบูรณ์ของกระบวนการ การด้อยประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของการใช้ทรัพยากร
2. ด้วยวิธีการของ Green Supply Chain จะวิเคราะห์โอกาสในการตรวจสอบกระบวนการ ทรัพยากร และวัตถุดิบ ตลอดจนแนวคิดสำหรับกระบวนการทำงาน

3. Green Supply Chain เน้นหลักการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้น หรือกำหนด เป้าหมายที่ วัสดุที่เป็นของเสีย, พลังงานที่สูญเปล่า และการใช้ทรัพยากรในอัตราที่ต่ำกว่าประโยชน์ที่ควรจะได้รับ

ขั้นตอนและวิธีการในการปรับปรุงกระบวนการตามหลักการของ Green Supply Chain สามารถแสดง ได้ดังรูปที่ 2.3 และอธิบายได้ดังนี้

1. ระบุของเสียหรือเป้าหมายตามที่กล่าวไว้ในหลักการข้างต้นโดยพิจารณาตลอดทั้งโซ่อุปทาน
2. แสวงหา และระบุโอกาสที่จะพัฒนาและปรับปรุงเพื่อลดของเสีย หรือปัญหาดังกล่าว
3. สร้างสรรค์นวัตกรรม หรือวิธีการดำเนินงานเพื่อลดของเสียเหล่านั้น



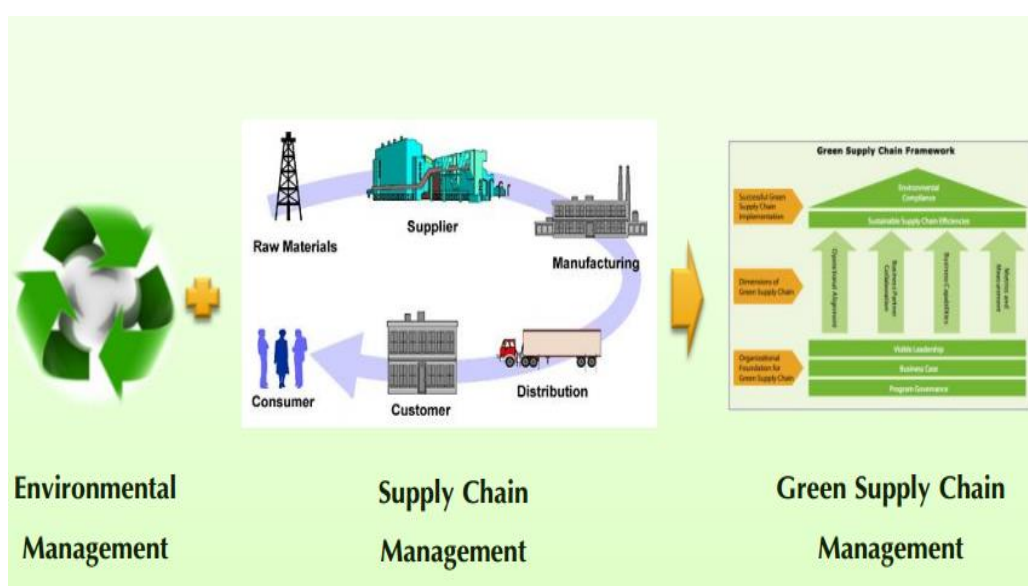
รูปที่ 2.3 วิธีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการตามหลักของ Green Supply Chain
(ที่มา:กาญจนา กาญจนสุนทร: การจัดการโซ่อุปทานแบบกรีน)

อย่างไรก็ตาม โดยรายละเอียดแล้ว การดำเนินการบริหารโซ่อุปทานแบบกรีนจะประกอบไปด้วย กิจกรรมต่างๆ ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับการจัดการโซ่อุปทานเพียงแต่สำหรับแต่ละกิจกรรม ต้องคำนึงถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่จะตามมา รวมทั้งแนวทางการลดการใช้ทรัพยากรและมลพิษให้ลดน้อยลง ดังสมการดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{Green Supply Chain Management} &= \text{Green Purchasing} \\
 &+ \text{Green Manufacturing / Material} \\
 &+ \text{Green Distribution / Marketing} \\
 &+ \text{Reverse Logistics}
 \end{aligned}$$

จากสมการ จะเห็นได้ว่า การบริหารจัดการโซ่อุปทานแบบกรีน จะต้องประกอบด้วยกิจกรรมการจัดซื้อจัดหา รวมทั้งวิธีการได้มาซึ่งวัตถุดิบโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม แล้วนำมาผ่านกระบวนการผลิตที่สะอาด และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ประหยัดพลังงาน ทรัพยากร และไม่ก่อให้เกิดของเสีย

และมลพิษ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ได้ผ่านกระบวนการออกแบบที่ดีแล้ว และใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม จากนั้นในกระบวนการกระจายสินค้า ก็เลือกใช้วิธีการและเทคโนโลยีในการขนส่งที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และท้ายที่สุดคือวิธีการในการนำวัสดุที่เหลือหรือผ่านกระบวนการใช้แล้วเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ (reuse) และการนำกลับมาผ่านกระบวนการแปรรูปใหม่เพื่อเป็นวัตถุดิบอีกครั้ง (recycle) เพื่อให้ปริมาณของเสียที่ต้องกำจัดมีปริมาณน้อยลง กระบวนการทั้งหมดสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 2.4 กระบวนการและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับ Green Supply Chain
(ที่มา:กาญจนา กาญจนสุนทร: การจัดการโซ่อุปทานแบบกรีน)

แนวทางการปฏิบัติที่ดีเลิศสำหรับการบริหารแบบ Green Supply Chain (Green Supply Chain Best Practice)

สำหรับโซ่อุปทานที่จัดเป็นต้นแบบ หรือแบบแผนของการปฏิบัติที่ดีเลิศตามแนวทางของ Green Supply Chain มีดังนี้

1. มีการเชื่อมโยงเป้าหมายทางด้านสิ่งแวดล้อมเข้ากับเป้าหมายทางด้านธุรกิจสำหรับทุกองค์กรภายในโซ่อุปทาน เพื่อให้ทุกองค์กรมีเป้าหมายเดียวกัน หรือสอดคล้องกัน
2. มีการประเมินโซ่อุปทานในลักษณะของระบบของวงจรชีวิตวงจรหนึ่ง ตั้งแต่เป็นวัตถุดิบ ไปจนถึงผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป
3. ใช้หลักการวิเคราะห์โซ่อุปทานโดยคำนึงถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นเครื่องมือในการสร้างสรรค์นวัตกรรม
4. มุ่งเน้นที่การลดตั้งแต่แหล่ง หมายถึงการลดปริมาณวัตถุดิบ และทรัพยากรที่ใช้ไปจนถึงการลดของเสียที่เกิดขึ้น

2.2 โลจิสติกส์เพื่อสิ่งแวดล้อม (Green Logistics)

Green Logistics หรือโลจิสติกส์เพื่อสิ่งแวดล้อมได้เริ่มมีบทบาทต่อกระบวนการค้า การขนส่ง และการส่งมอบสินค้า เป็นแนวโน้มของโลกในการให้ความสำคัญต่อการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาผลาญพลังงานในรูปแบบต่างๆ ในภาคการขนส่ง รวมถึงการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไปทำลายทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลืองและไม่คุ้มประโยชน์ กระแสของ Green Logistics เป็นการให้ความสำคัญต่อมิติการบริหารจัดการโลจิสติกส์ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม ที่จะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะโลกร้อน รวมถึง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโลจิสติกส์ โดยที่กิจกรรมโลจิสติกส์เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้าย รวบรวม จัดเก็บ กระจายสินค้า ซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งไม่ว่าจะเป็นการใช้โหมดการขนส่งประเภทใด ซึ่งส่วนใหญ่ก็ยังใช้พลังงานในรูปแบบของน้ำมันฟอสซิล ขณะที่ภาคการผลิตได้เริ่มหันกลับไปใช้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานอื่น ซึ่งส่วนหนึ่งได้มีการพัฒนาไปสู่พลังงานที่ได้จากแสงแดด พลังงานลม ขณะที่ภาคขนส่งยังต้องพึ่งพิงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจะปล่อยของเสียกลับไปในรูปแบบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

นอกจากนี้ กิจกรรมการเคลื่อนย้าย และการจัดเก็บสินค้าในภาคโลจิสติกส์ ยังเกี่ยวข้องกับการใช้บรรจุภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ ซึ่งกว่าร้อยละ 86-88 อยู่ในรูปกล่องกระดาษหรือแพคเกจจิ้งที่ทำจากกระดาษ ซึ่งวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตกระดาษก็จะเป็นการใช้เยื่อไม้ ซึ่งล้วนแต่เป็นทรัพยากรทางธรรมชาติ Green Logistics จึงมุ่งเน้นไปที่การนำวัสดุที่ใช้ในการบรรจุภัณฑ์ให้สามารถนำไปรีไซเคิลใหม่ และพยายามหลีกเลี่ยงบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ ไม้พาเลทหรือแท่นรองสินค้า ซึ่งถือเป็นอุปกรณ์สำคัญในการลำเลียงสินค้า ทั้งในคลังสินค้าและการขนส่ง ส่วนใหญ่ยังทำจากวัสดุที่เป็นไม้ ถึงแม้ว่าไม้เหล่านั้นจะมาจากการทำสวนเกษตร แต่ก็ยังเป็นการรบกวนสิ่งแวดล้อม ซึ่งแนวคิดสมัยใหม่กระแสของไม้พาเลทที่ทำจากพลาสติกหรือกระดาษกำลังเริ่มได้รับความนิยม เพราะสามารถนำกลับมา Re-Use และหรือนำกลับมา Recycle ได้อีก

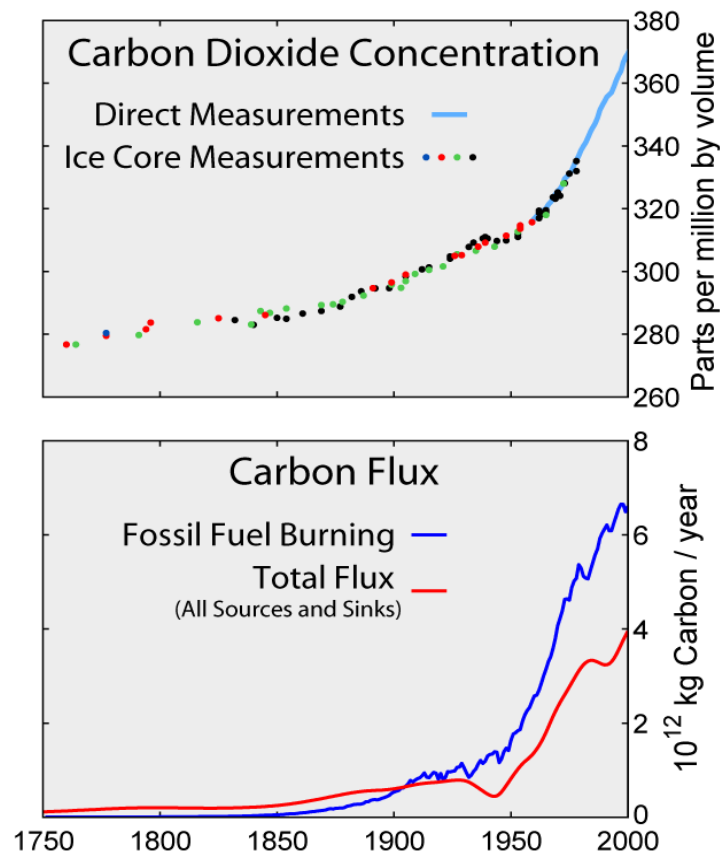
ปัจจุบันในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่น ได้เริ่มมีข้อจำกัดทางการค้าที่เกี่ยวข้องกับ Green Logistics โดยเริ่มออกมาเป็นมาตรการให้ผู้นำเข้ามีความเข้มงวดในการเลือกใช้ซัพพลายเออร์ที่มีระบบ Green Logistics ซึ่งกระแสนี้จะยิ่งมาแรงเห็นได้จากมาตรการการนำเข้าสินค้าประเภทอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องคอมพิวเตอร์ จะเริ่มมีการกำหนดให้ผู้นำเข้าจะต้องมีกระบวนการในการทำลาย หรือส่งกลับคืนซาก ให้กับประเทศที่ส่งออก ซึ่งกระบวนการโลจิสติกส์เรียกว่า “Reverse Logistics” ซึ่งศัพท์นี้ก็มีความหมายที่กว้างกว่านี้มาก นอกจากนี้ หลายประเทศเริ่มมีมาตรการรังเกียจการใช้ไม้ปิดหน้าตู้คอนเทนเนอร์และหรือการใช้แผ่นพาเลทที่ทำจากไม้ ซึ่งถือว่าเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะนอกจากเป็นการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและอาจมีการปนเปื้อน

แมลงที่ฝังอยู่ในเนื้อไม้ ไปกระทบกับสิ่งแวดล้อมในประเทศนั้นๆ เช่น ประเทศออสเตรเลีย และยุโรป บางประเทศ ก็ห้ามมีการใช้วัสดุเหล่านี้ อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยทั้งภาครัฐและเอกชนยังไม่ให้ความสำคัญต่อกระบวนการจัดการ Green Logistics มาเท่าที่ควร เห็นได้จากระบบการขนส่งของไทย เกือบร้อยละ 88 อยู่ในโหมดการขนส่งทางถนน ซึ่งมีการใช้น้ำมันสูงกว่าการขนส่งทางราง 3.5 เท่า และสูงกว่าการขนส่งทางน้ำถึง 7 เท่า ซึ่งการขนส่งทางรถไฟมีส่วนอยู่เพียงร้อยละ 2 ซึ่งถือว่าต่ำมาก ส่งผลให้ต้นทุนโลจิสติกส์ของไทยสูงกว่าประเทศคู่แข่ง ซึ่งการใช้น้ำมันในภาคการขนส่ง มีปริมาณที่สูงกว่าภาคการผลิต นอกเหนือจากการที่ทำให้ประเทศไทยต้องเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าน้ำมันแล้ว ยังส่งผลต่อสถานะมลพิษทางอากาศ ยิ่งจังหวัดใดอยู่ในพื้นที่ที่เป็น HUB ของการขนส่งและกระจายสินค้า ก็จะได้รับผลกระทบมากเป็นพิเศษ ทั้งนี้ แนวคิดเกี่ยวกับการบริหารจัดการ Green Logistics จะเกี่ยวข้องกับ

1. Eco-Drive ในการสร้างจิตสำนึกในการขับขี่ของพนักงานขับรถบรรทุก เพื่อลดสถานะการใช้ น้ำมันสิ้นเปลือง และการดูแลเครื่องยนต์ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ที่จะไม่ปล่อยไอเสียรบกวนสิ่งแวดล้อม
 2. Backhaul & Full Truck Load เกี่ยวข้องกับการจัดการใช้ประโยชน์จากการใช้เชื้อเพลิงให้ได้ ธรรมดาประโยชน์สูงสุด ด้วยการลดการขนส่งเที่ยวเปล่าและการบรรทุกสินค้าให้เต็มรถ แต่ก็ต้องไม่เกินพิกัดน้ำหนักที่กฎหมายกำหนด เพราะการที่รถบรรทุกน้ำหนักเกินพื้นถนนรองรับได้ ก็ถือเป็นการทำลายสิ่งแวดล้อมเช่นกัน
 3. Eco-Packaging เป็นการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการลำเลียงสินค้า ที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ และหรือนำกลับมารีไซเคิลในกระบวนการผลิตได้ใหม่
 4. Modal Shift การปรับเปลี่ยนระบบการขนส่งไปสู่โหมดที่ประหยัดพลังงาน ซึ่งเกี่ยวข้องกับภาครัฐ ที่จะต้องเร่งให้ความสำคัญต่อการพัฒนาระบบการขนส่งทางราง ทางแม่น้ำ และทางชายฝั่งทะเล
- ทั้งนี้ เรื่องของ Green Logistics นอกเหนือจากภาครัฐจะต้องเร่งออกกฎหมายและปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานในการเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งทางราง ในภาคเอกชนจะเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการสถานะแวดล้อม เป็นเรื่องของบรรษัทภิบาล หรือ Good Governance โดยการใช้พลังงานที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด เช่น การปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงของรถบรรทุกเป็น NGV ซึ่งอาจจะต้องลงทุนปรับเปลี่ยนเครื่องหลายแสนบาท แต่ในระยะยาวก็คุ้มค่าทั้งต่อต้นทุนที่ลดลงและผลกระทบต่อสถานะแวดล้อม กระแสของ Green Logistics คงจะเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ และภาคผู้ส่งออกจะต้องให้ความสำคัญ ซึ่งในอนาคตอันใกล้หลายประเทศจะใช้เป็นข้อจำกัดในรูปแบบของ NTB หากไม่ปรับตัวก็จะส่งผลกระทบต่อการค้าเสรีในอนาคตรุนแรงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

2.3 แก๊สเรือนกระจก (Greenhouse gas)

แก๊สเรือนกระจก (Greenhouse gas) คือแก๊สที่มีอยู่ในบรรยากาศที่ทำให้การสูญเสียความร้อนสู่ห้วงอวกาศลดลง จึงมีผลต่ออุณหภูมิในบรรยากาศผ่านปรากฏการณ์เรือนกระจก แก๊สเรือนกระจกมีความจำเป็นและมีความสำคัญต่อการรักษาระดับอุณหภูมิของโลก หากปราศจากแก๊สเรือนกระจก โลกจะหนาวเย็นจนสิ่งมีชีวิตอยู่อาศัยไม่ได้ แต่การมีแก๊สเรือนกระจกมากเกินไปก็เป็นเหตุให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตดังที่เป็นอยู่กับบรรยากาศของดาวศุกร์ซึ่งมีบรรยากาศที่ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์มากถึงร้อยละ 96.5 มีผลให้อุณหภูมิผิวพื้นร้อนมากถึง 467°C (872°F) คำว่า “แก๊สเรือนกระจก” บนโลกหมายถึงแก๊สต่างๆ เรียงตามลำดับความอุดมคือ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ โอโซน และ คลอโรฟลูโอโकारบอน แก๊สเรือนกระจกเกิดเองตามธรรมชาติและจากกระบวนการอุตสาหกรรมซึ่งปัจจุบันทำให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์มีในบรรยากาศ 380 ppmv และที่ปรากฏในแกนน้ำแข็งตัวอย่าง (ดูแผนภูมิ) จะเห็นว่าระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศปัจจุบันสูงกว่าระดับเมื่อก่อนยุคอุตสาหกรรมประมาณ 100 ppmv



รูปที่ 2.5 การเพิ่มระดับ CO₂ ในบรรยากาศตามที่วัดในบรรยากาศและในแกนน้ำแข็ง (ice core) และปริมาณสุทธิของคาร์บอนที่เพิ่มในบรรยากาศเปรียบเทียบกับคาร์บอนที่ปลดปล่อยจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (fossil fuel)
(ที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/แก๊สเรือนกระจก>)

2.3.1 ปรากฏการณ์เรือนกระจก

เมื่อแสงอาทิตย์ส่องถึงผิวโลกบางส่วนจะถูกดูดกลืนไว้และทำให้ผิวพื้นโลกอุ่นขึ้น เนื่องจากผิวโลกเย็นกว่าผิวดวงอาทิตย์มากมันจึงแผ่กระจายพลังงานที่มีช่วงคลื่นยาวกว่าดวงอาทิตย์ โดยมีช่วงยาวมากที่สุดที่อินฟราเรดหรือที่ประมาณ $10\mu\text{m}$. บรรยากาศจะดูดกลืนช่วงคลื่นที่ยาวกว่าได้ดีกว่าแสงช่วงคลื่นสั้นของแสงอาทิตย์ การดูดกลืนพลังงานช่วงคลื่นยาวนี้เองที่ทำให้บรรยากาศร้อนขึ้น ในขณะเดียวกันบรรยากาศก็ได้รับความร้อนจากถ่ายโอนของความร้อนสัมผัสและความร้อนแผ่ที่พื้นผิวโลกด้วย แก๊สเรือนกระจกยังปล่อยรังสีคลื่นยาวทั้งขึ้นสู่ห้วงอวกาศและปล่อยลงสู่พื้นผิวโลก ส่วนรังสีคลื่นยาวที่ปล่อยลงโดยบรรยากาศนี้เรียกว่า “ปรากฏการณ์เรือนกระจก” ซึ่งเป็นชื่อที่คิดเพราะกระบวนการที่เกิดขึ้นดังกล่าวไม่ใช่กลไกที่ทำให้เรือนกระจกร้อนขึ้น

แก๊สเรือนกระจกส่วนใหญ่คือไอน้ำ ซึ่งมีผลต่อปรากฏการณ์เรือนกระจกบนโลกประมาณร้อยละ 36-70 (โปรดสังเกตว่าเมฆไม่ได้ประกอบด้วยไอน้ำและเมฆมีผลต่อภูมิอากาศในลักษณะอื่น) คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีผลร้อยละ 9-26, มีเทนมีผลร้อยละ 4-9, และโอโซนร้อยละ 3-7 เป็นการยากหรือเกือบเป็นไปไม่ได้ที่จะชี้ลงไปให้ชัดว่าแก๊สใดมีผลต่อบรรยากาศแน่นอนเท่าใดเนื่องจากอิทธิพลของแก๊สเหล่านี้เป็นพวกที่นำไปรวมกันไม่ได้ แก๊สเรือนกระจกอื่นๆ รวมถึงแต่ไม่จำกัดเฉพาะได้แก่ ไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulfur Hexafluoride) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (Hydro Fluorocarbon) เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (Per Fluorocarbon) และคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chloro Fluorocarbons)

ส่วนประกอบหลักของบรรยากาศได้แก่ไนโตรเจน (N_2) และออกซิเจน (O_2) ซึ่งไม่ใช่แก๊สเรือนกระจก ทั้งนี้เนื่องจากมันลักษณะเป็น โมเลกุลอะตอมคู่ชนิดนิวเคลียสเอกพันธ์ (Homonuclear Diatomic Molecules) ดังเช่น ไนโตรเจนและออกซิเจน จะไม่ดูดกลืนหรือปล่อยรังสีอินฟราเรดเพราะไม่มีการแลกเปลี่ยนโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole Moment) ของโมเลกุลเหล่านี้เมื่อมันสั่นตัว การสั่นของโมเลกุลเกิดขึ้นเมื่อขนาดพลังงานของมันเท่ากับขนาดของพลังงานโฟตอนของอินฟราเรด โมเลกุลอะตอมคู่ชนิดนิวเคลียสวิวิธพันธ์ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) หรือ ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) ดูดกลืนอินฟราเรด แต่โมเลกุลของเหล่านี้มีอายุสั้นในบรรยากาศเนื่องจากคุณสมบัติทางปฏิกิริยาและการถูกละลายได้ง่ายของมัน มันจึงมีผลต่อปรากฏการณ์เรือนกระจกน้อยมาก

ในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 (ประมาณ พ.ศ. 2420) นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการทดลองและพบว่า ไนโตรเจน และ ออกซิเจน ไม่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (กล่าวถึงกันในสมัยนั้นว่า “รังสีมืด” - dark radiation) และว่า คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอีกหลายชนิดก็ไม่ดูดกลืนอินฟราเรด เป็นที่ยอมรับ

กันเมื่อต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 (ประมาณ พ.ศ. 2470) ว่าแก๊สเรือนกระจกที่ทราบเกือบทั้งหมดในบรรยากาศมีผลทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศสูงขึ้นกว่าการไม่มีแก๊สเรือนกระจก

2.3.2 แก๊สเรือนกระจกจากกิจกรรมมนุษย์

นับตั้งแต่ประมาณ พ.ศ. 2300 เป็นต้นมากิจกรรมของมนุษย์ได้เพิ่มปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญชนิดอื่นๆ มากขึ้น แหล่งเกิดตามธรรมชาติของคาร์บอนไดออกไซด์ในตอนแรกมีปริมาณสูงกว่าจากกิจกรรมมนุษย์ประมาณ 20 เท่า แต่ปริมาณจากธรรมชาติดังกล่าวอยู่ในภาวะสมดุลด้วยการกักเก็บตามธรรมชาติ เช่นจากการกร่อนสลายของหินบนแผ่นดินและจากการสังเคราะห์แสงของพืชและแพลงก์ตอนในทะเลที่ดึงคาร์บอนไปเก็บกักไว้ และจากผลของการสมดุลนี้ ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์คงที่อยู่ระหว่าง 260 และ 280 ส่วนในล้านส่วนเป็นเวลาต่อเนื่องประมาณ 10,000 ปีระหว่างการหมดยุคน้ำแข็งและเมื่อเริ่มยุคอุตสาหกรรม แหล่งเกิดแก๊สเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์รวมถึง

- 1.การเผาผลาญเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์และการทำลายป่าที่ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศมากขึ้น การทำลายป่า (โดยเฉพาะในเขตร้อน) มีส่วนปลดปล่อยCO₂มากถึง 1 ใน 3 ของCO₂ ที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ทั้งหมด

- 2.การย่อยสลายในกระเพาะและลำไส้ของปศุสัตว์และการจัดการเกี่ยวกับมูลปศุสัตว์ การทำนาข้าว การไถ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ชุ่มน้ำ การสูญเสียแก๊สและน้ำมันจากท่อส่ง รวมถึงการปล่อยแก๊สจากหลุมฝังกลบขยะ เหล่านี้ ทำให้ปริมาณของมีเทนเพิ่มมากขึ้นในบรรยากาศ บ่อเกรอะหรือบ่อบำบัดสิ่งโสโครกสมัยใหม่แบบปิดที่ระบายแก๊สทางท่อระบายก็มีส่วนเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

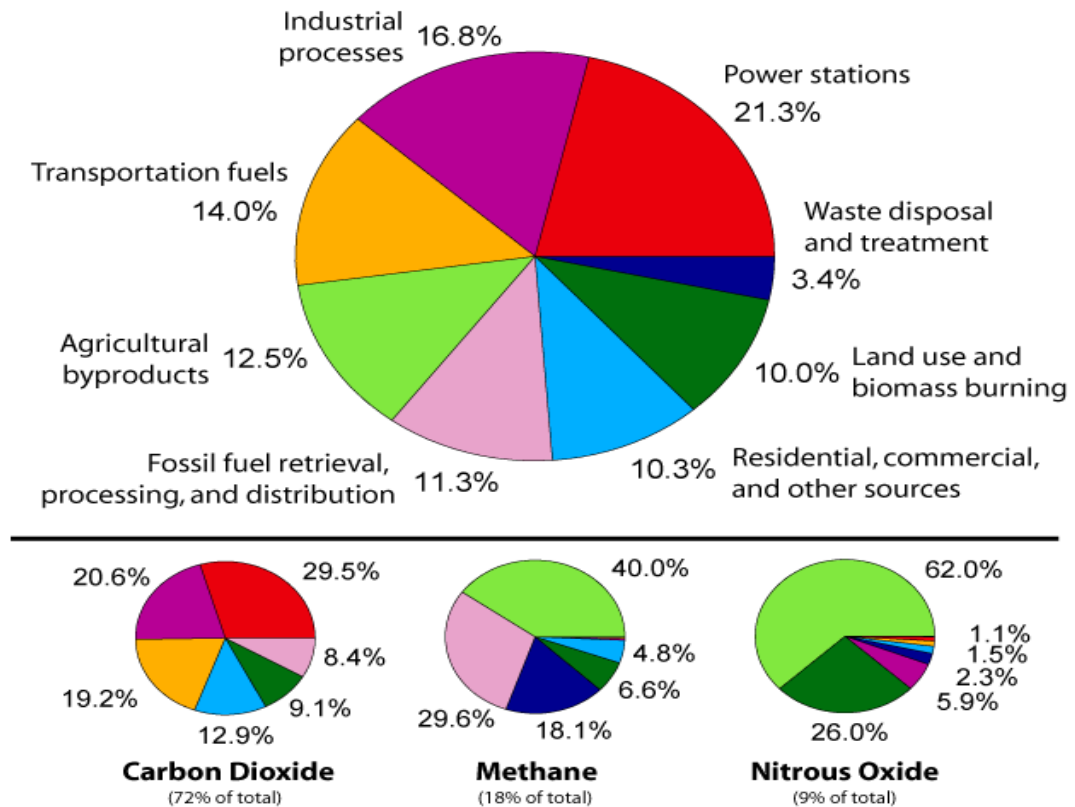
- 3.การใช้สารคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (CFCs) ในตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศ รวมทั้งการใช้แก๊ส ฮาลอน (Halon) ในระบบดับเพลิงและกระบวนการผลิตของผู้ผลิต

- 4.กิจกรรมทางการเกษตรซึ่งรวมทั้งการใช้ปุ๋ยที่เป็นตัวเพิ่มแก๊สไนตรัสออกไซด์ แหล่งทั้งเจ็ดของ CO₂ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ได้แก่ (เป็นร้อยละของปริมาณที่ปล่อยใน พ.ศ. 2543 – 2547)

- 1.เชื้อเพลิงแข็ง (เช่น ถ่านหิน) : 35%
- 2.เชื้อเพลิงเหลว (เช่น น้ำมันเบนซิน) : 36%
- 3.เชื้อเพลิงแก๊ส (เช่น แก๊สธรรมชาติ) : 20%
- 4.การเผาทิ้ง (Flaring) ทางอุตสาหกรรมและที่หลุมขุดเจาะน้ำมัน: <1%
- 5.การผลิตซิเมนต์: 3%
- 6.สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ใช่เชื้อเพลิง: <1%
- 7.เชื้อเพลิง “บังเกอร์” นานาชาติ (bunkers) ที่ใช้กับเครื่องบินและเรือเดินทะเลที่ไม่ได้นับรวมไว้ในตัวเลขของชาติใดๆ: 4%

หน่วยงาน อีพีเอ ของสหรัฐฯ จัดอันดับผู้ปล่อยแก๊สเรือนกระจกของ ภาคส่วนผู้ใช้น้สุดท้าย (end-user sectors) ไว้เป็นลำดับดังนี้คือ: อุตสาหกรรม, การขนส่ง, การพักอาศัย, พาณิชยกรรมและเกษตรกรรมแหล่งปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกรายบุคคลเกิดจากการให้ความอบอุ่นและการทำความเย็นในอาคาร การใช้ไฟฟ้าและการขนส่ง มาตรการการอนุรักษ์เพื่อแก้ไขได้แก่การใช้ฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคาร การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบประหยัดและการเลือกซื้อรถยนต์ที่กินน้ำมันน้อย

คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์และกลุ่มทั้ง 3 ของแก๊สฟลูออรีเนต (fluorinated gas) ได้แก่ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (sulfur hexafluoride, ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) และเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน PFCs) นับเป็นแก๊สเรือนกระจกที่กำหนดไว้ในพิธีสารเกียวโต ซึ่งได้ถึงกำหนดการบังคับใช้ใน พ.ศ. 2548 แม้แก๊ส ซีเอฟซี (CFCs) จะเป็นแก๊สเรือนกระจกแต่ก็ถูกควบคุมอยู่แล้วโดยพิธีสารมอนทรีล (Montreal Protocol) ซึ่งเป็นผลของการจำกัดการใช้ที่เนื่องมาจากการทำลายชั้นโอโซน (ozone depletion) มากกว่าการเป็นแก๊สที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน โปรดสังเกตว่าการลดลงของชั้นโอโซนมีผลน้อยมากต่อปรากฏการณ์โลกร้อน กระบวนการที่ต่างกันทั้งสองนี้สร้างความสับสนแก๊สอย่างมากพอควร



รูปที่ 2.6 การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกโดยกิจกรรมมนุษย์จำแนกโดยออกเป็น 8 ภาคส่วนย่อย
ของ พ.ศ. 2543
(ที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/แก๊สเรือนกระจก>)

2.3.3 การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide emissions)

การวัดแกนน้ำแข็งตัวอย่างจากแอนตาร์กติกา (Measurements from Antarctic ice cores) พบว่าก่อนมีการเริ่มปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมเพียงเล็กน้อย ระดับของ CO₂ ในบรรยากาศมีประมาณ 280 ppm โดยปริมาตร จากตัวอย่างแกนน้ำแข็งดูเหมือนว่าการสะสมของ CO₂ จะนิ่งอยู่ที่ระหว่าง 260 และ 280 ppm เป็นเวลา 10,000 ปีก่อนหน้านั้น การศึกษาโดยใช้หลักฐานจากปากใบของใบไม้ดึกดำบรรพ์พบว่าการผันแปรของระดับ CO₂ ก่อนข้างมากคือสูงกว่า 300 ppm ในช่วง 7,000-10,000 ปีที่ผ่านมา[22] แม้นักวิทยาศาสตร์บางคนได้แย้งว่าการค้นพบนี้สะท้อนให้เห็นปัญหาของการคำนวณเปรียบเทียบ/การแปลเพี้ยนมากกว่าการผันแปรของปริมาณจริงของ CO₂

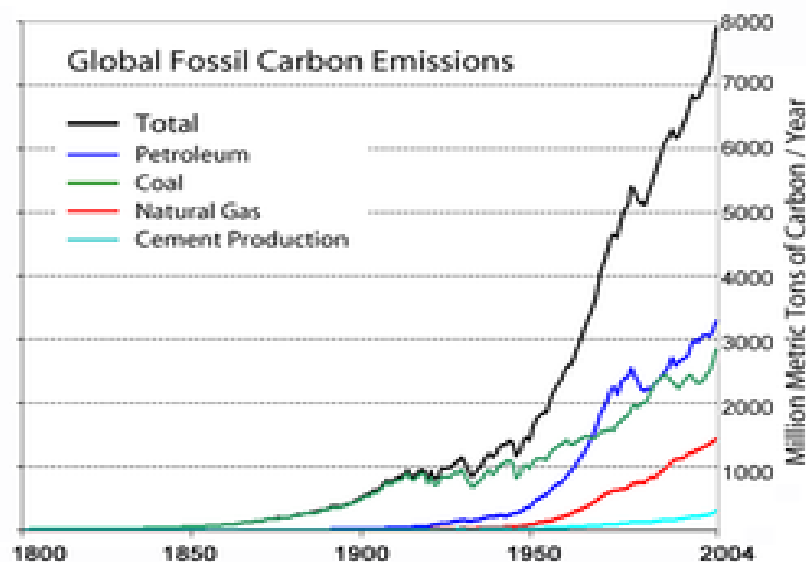
นับตั้งแต่การเริ่มต้นของการปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นต้นมา ความเข้มข้นของปริมาณแก๊สเรือนกระจกได้เพิ่มขึ้น การสะสมของ CO₂ ได้เพิ่มขึ้นประมาณ 100 ppm (เช่นระหว่าง 280 ppm ถึง 380 ppm) การเพิ่ม 50 ppm แรกใช้เวลาประมาณ 200 ปีจากการเริ่มการปฏิวัติอุตสาหกรรมมาถึงประมาณ พ.ศ.

2516 การเพิ่ม 50 ppm ถัดมาใช้เวลาประมาณ 33 ปีจาก พ.ศ. 2516 ถึง พ.ศ. 2549[25] ผลการสังเกตการณ์สามารถดูทางออนไลน์ได้ใน “ฐานข้อมูลสังเกตการณ์ภูมิอากาศเชิงเคมี (Atmospheric Chemistry Observational Databases) แก๊สเรือนกระจกที่มีความแรงของการแผ่รังสีมีดังนี้:

ตารางที่ 2.1 ผลการสังเกตการณ์ปริมาณแก๊สเรือนกระจก

แก๊ส	ปริมาณปัจจุบัน (พ.ศ. 2541)	การเพิ่มก่อนยุค อุตสาหกรรม (พ.ศ. 2300)	ร้อยละที่เพิ่ม (2007.01)}	แรงการแผ่รังสี (วัตต์/ตารางเมตร)
คาร์บอนไดออกไซด์	365 ppm {383 ppm (2007.01)}	87 ppm {105 ppm (2007.01)}	31% {37.77% (2007.01)}	1.46 {~1.532 (2007.01)}
มีเทน	1,745 ppb	1,045 ppb	150%	0.48
ไนตรัสออกไซด์	314 ppb	44 ppb	16%	0.15

แก๊สที่เป็นทั้งแรงแผ่รังสี (radiative forcing) และตัวทำลายโอโซน ทั้งหมดข้างล่างนี้ไม่เกิดตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีปริมาณเท่ากับศูนย์ในยุคก่อนอุตสาหกรรม
(ที่มา: รายงานเรื่องแรงแผ่รังสีของ (IPCC) พ.ศ. 2547 ปรับปรุงใหม่ (พ.ศ. 2541) โดย IPCC TAR ตารางที่ 6.1



รูปที่ 2.7 Global การปล่อย คาร์บอน จากกิจกรรมของมนุษย์พ.ศ. 2294-พ.ศ. 2547.

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/แก๊สเรือนกระจก>)

2.4 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

แนวทางการประเมินรอยเท้าคาร์บอนหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ได้กำหนดวิธีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดเศษซากหลังการใช้งาน ซึ่งผู้ผลิตสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle-to-Grave) หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตในโรงงาน (Cradle-to-Gate) สำหรับแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทยนั้น มีการจัดทำข้อกำหนดที่เป็นเกณฑ์กลางสำหรับใช้ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับทุกผลิตภัณฑ์เท่านั้น ส่วนในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ได้มีการจัดทำข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product Category Rules: PCRs) เพื่อให้สามารถประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันมากขึ้น ทั้งนี้ ในส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มีการจัดทำข้อกำหนดไว้ ก็สามารถนำข้อกำหนดที่พัฒนาขึ้นตามมาตรฐานต่างประเทศ หรือทำการพัฒนาข้อกำหนดขึ้นมาใหม่ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันได้

ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ คือ การเลือกผลิตภัณฑ์ การจัดทำแผนผังวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ การกำหนดขอบเขตการประเมิน การรวบรวมข้อมูล การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และการตรวจสอบความถูกต้อง

1. การเลือกผลิตภัณฑ์

การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ควรกำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของโครงการ ประเด็นสำคัญที่ควรนำมาพิจารณา เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจนได้รับการรับรองฉลากคาร์บอนได้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโอกาสในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มาก เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความได้เปรียบในเชิงการแข่งขัน เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและมีโอกาสทางด้านการตลาดเพื่อสิ่งแวดล้อมและมีศักยภาพในการส่งออกไปยังประเทศที่มีข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม โอกาสและความร่วมมือจากผู้จัดหาวัตถุดิบ เวลาและทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้สามารถวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ เป็นต้น

2. การจัดทำแผนผังวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

แผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การกระจายสินค้า การใช้งาน และการกำจัดซาก โดยขั้นตอนนี้มีเป้าหมายเพื่อจำแนกรายการวัตถุดิบ

ทั้งหมด กิจกรรม และกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ การจัดทำแผนผังวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

การสร้างแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยการดำเนินงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 1.การวิเคราะห์รายการวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ของเสียที่เกิดขึ้น โดยครอบคลุมถึงวัตถุดิบและพลังงานที่ใช้สำหรับการจัดเก็บสินค้าและการขนส่งด้วย โดยอาจเริ่มต้นง่ายๆ จากการ ใช้สูตรการผลิต (Bill-of-Materials: BOM)
- 2.แจกแจงส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์และสัดส่วนการใช้ รวมถึงภาชนะบรรจุต่างๆ
- 3.แจกแจงรายการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการบริโภค เช่น การผลตและขนส่งวัตถุดิบ การผลิตสินค้า การกระจายสินค้า การใช้งาน และการกำจัดซาก

3. การกำหนดขอบเขตการประเมิน

ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถทำได้ 2 รูปแบบ คือ

- 1.แบบ Business-to-Consumer (B2C): เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ ซึ่งเรียกว่า การประเมินแบบ Cradle-to-Grave
- 2.แบบ Business-to-Business (B2B): เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิตจนถึง ณ หน้าโรงงานพร้อมส่งออก หรือจนถึงที่เป็นสารขาเข้าหรือวัตถุดิบของผู้ผลิตต่อเนื่องตามที่กำหนดในข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งเรียกว่า การประเมินแบบ Cradle-to-Gate

4.ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor)

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งเปลี่ยนข้อมูลจากกิจกรรมต่างๆ ให้เป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยค่าสัมประสิทธิ์จะมีค่าเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยข้อมูล เช่น กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อไฟฟ้าหนึ่งหน่วย ($\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$) เป็นต้น (แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคผนวก ก และภาคผนวก ข)

5.คุณภาพของข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลสำหรับวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ชุมชนนั้น เริ่มจากผู้เก็บข้อมูล จะต้องทำความเข้าใจ และทราบเป็นอย่างดีเกี่ยวกับกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ผู้เก็บข้อมูล ทำการศึกษา รวมถึงทราบความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงในแต่ละกระบวนการย่อยที่ทำการศึกษ ด้วย และข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกควรคำนึงถึงประเด็นดังต่อไปนี้

- (1) ด้านเวลา ข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณให้ใช้ค่าเฉลี่ยของทั้งปี หากไม่สามารถเก็บข้อมูล 1 ปีย้อนหลังได้ ต้องมีการระบุเหตุผลให้ชัดเจน อาจใช้การเฉลี่ยข้อมูลจากช่วงเวลาที่กระบวนการผลิตดำเนินอย่างคงที่แทนหรือกรณีที่เป็นการผลิตแบบกะ ให้ใช้ข้อมูลเฉลี่ยจาก 4-5 ครั้ง
- (2) ความครบถ้วน คุณภาพสมบูรณ์ของสารขาเข้า และสารขาออกของกระบวนการผลิต ซึ่งอาจตรวจสอบได้จากการทำสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงาน แล้วดำเนินการตีค่าออกมาเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งจะสามารถได้มาจากการวัดจริง หรือจากการประมาณค่าจากการคำนวณก็ได้
- (3) แหล่งที่มาของข้อมูล แหล่งที่มาของข้อมูลจำเป็นต้องมีความน่าเชื่อถือ และสามารถอธิบายที่มาได้ไม่ว่าจะเป็นแหล่งข้อมูลปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ
- (4) ความไม่แน่นอนของข้อมูล ควรมีการพิจารณาตัวแปรที่สามารถทำให้ข้อมูลคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ เช่น การตั้งสมมติฐาน การปันส่วนด้วยวิธีต่างๆ หรือแม้กระทั่งเกณฑ์การตัดออก (cut-off rule)

6.การปันส่วน (Allocation)

ข้อมูลที่ได้จากการผลิตสินค้าอาจพบว่า บางโรงงานอาจมีผลิตภัณฑ์ร่วมหรือผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ดังนั้น เพื่อให้การคำนวณผลมีความชัดเจน จึงต้องมีการปันส่วนข้อมูล ซึ่งการปันส่วนเป็นวิธีการแบ่งหรือให้น้ำหนักกับสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ที่สนใจศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทที่ชัดเจน โดยทำเพื่อเป็นการกระจายภาระทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมหนึ่งๆ ไปยังแต่ละผลิตภัณฑ์

2.5 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจาก ลักษณะข้อบกพร่อง

การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Mode Effect Analysis : FMEA) เป็นกลวิธีที่ใช้ในการเข้าถึงปัญหาอย่างมีระบบ เพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาอย่างเป็นระบบ และใช้ในการศึกษาที่เป็นไปได้เพื่อป้องกันปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดปรากฏขึ้นมา ซึ่งกลวิธีดังกล่าวถือว่าการเสริมทักษะในการแก้ปัญหาให้กับวิศวกรให้มีลำดับทางความคิดที่เป็นระบบมีขั้นตอน และมีการจัดลำดับก่อนหลังของการแก้ปัญหา โดยเน้นไปที่การป้องกันปัญหาที่มีโอกาสการเกิด (Most Likely Failure) โดยในที่นี้ถือว่าการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Process FMEA)

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ

1. รายละเอียดของกระบวนการ (Process Description / Function)

ในการกำหนดรายละเอียดของกระบวนการนั้นต้องแยกขั้นตอนภายในกระบวนการที่ทำการศึกษาให้เป็นขั้นตอนย่อยก่อนซึ่งจะต้องบรรยายถึงหน้าที่การใช้งานที่มีที่นำจะมีผลต่อปัญหาที่น่าสนใจ

2. ระบุถึงปัจจัยที่ป้อนเข้าที่สำคัญต่อกระบวนการ (Key Process Input)

การระบุปัจจัยป้อนเข้าที่สำคัญต่อกระบวนการต้องบอกให้ได้ว่าปัจจัยที่ป้อนเข้าไปในนั้นทำไปเพื่ออะไร และน่าจะมีผลต่อปัญหาที่สนใจอย่างไร โดยในที่นี้จะต้องผ่านการระดมสมอง และวิเคราะห์ผ่านแผนภาพสาเหตุและผล

3. ลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential Failure Mode)

การกำหนดข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นนั้น ต้องตั้งคำถามในขั้นตอนย่อยๆ ของกระบวนการนั้น ถ้าการทำงานในแต่ละขั้นตอนไม่เป็นไปตามหน้าที่ที่ต้องการแล้วลักษณะข้อบกพร่องจะต้องเป็นอย่างไร

4. ลักษณะผลกระทบของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential Effect of Failure)

การกำหนดลักษณะผลกระทบของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้น ต้องตอบคำถามให้ได้ว่า ถ้าหากลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มจะเกิดขึ้นแล้วส่งผลกระทบต่อปัญหาที่สนใจอย่างไร

5. ความรุนแรงของผลกระทบ (Severity of the effect)

ถ้าหากลักษณะข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นแล้ว จะมีความรุนแรงของผลกระทบมากน้อยเพียงไร ซึ่งต้องมีการให้คะแนนของความรุนแรงที่เกิดขึ้นด้วย สำหรับรายละเอียดการให้คะแนนสามารถดูได้จากภาคผนวก ข.1

6. สาเหตุที่มีแนวโน้มในการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Cause of Failure)

โดยการระบุถึงสาเหตุที่มีแนวโน้มในการเกิดข้อบกพร่อง หรือสาเหตุที่ทำให้ลักษณะข้อบกพร่องเกิดขึ้น

7. โอกาสในการเกิด (Occurrence)

โอกาสในการเกิด หมายถึง อัตราที่แสดงถึงจำนวนความถี่และ/หรือ จำนวนข้อบกพร่องสะสมที่ได้คาดหมายไว้ สำหรับสาเหตุหนึ่งๆ ภายใต้ระบบควบคุมที่มีอยู่ซึ่งเกณฑ์การให้คะแนนสามารถดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก ข.2

8. การควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน (Current Process Control)

การควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน หมายถึง วิธีการควบคุมที่ใช้ทั้งการป้องกันลักษณะข้อบกพร่องที่มีความเป็นไปได้ที่อาจจะเกิดขึ้น

9. การตรวจจับ (Detection)

การตรวจจับ หมายถึง การประเมินถึงโอกาสที่มีการใช้การควบคุมกระบวนการ แล้วจะตรวจพบแนวโน้มของสาเหตุ และกลไกของข้อบกพร่องก่อนที่จะมีส่วนประกอบออกมาจากสายการประกอบ หรือจุดปฏิบัติงานผลิต ซึ่งเกณฑ์การให้คะแนนสามารถดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก ข.3

10. ตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (Risk Priority Number)

ตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (RPN) คือ ผลลัพธ์ของความรุนแรง โอกาสในการเกิด และการตรวจจับ เพื่อใช้ในการจัดลำดับความสำคัญในการการแก้ไขปัญหา

$$RPN = S \times O \times D$$

เมื่อ S หมายถึง ความรุนแรง (Severity)

O หมายถึง โอกาสในการเกิด (Occurrence)

D หมายถึง การตรวจจับ (Detection)

หมายเหตุ: ค่า RPN จะเป็นไปตามหลักเกณฑ์ของหลักการพารโต โดยมีคะแนนระหว่าง 1 ถึง 1,000 โดยค่า RPN ที่มีค่าสูงๆ มีความจำเป็นต้องดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขเพื่อลดค่า RPN ลง และไม่ว่าค่า RPN จะมีค่าเท่าใดก็ตาม ผู้วิเคราะห์ควรเอาใจใส่เป็นกรณีพิเศษ ถ้าหากคะแนนความรุนแรง (Severity : S) มีค่ามากที่สุด

2.6 การสำรวจงานวิจัย

พรศิริ (2553) ได้ทำการศึกษาทางเลือกที่เหมาะสมในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้การวิเคราะห์เชิงลำดับในโรงงาน ปิโตรเคมี โดยศึกษา Clean Development Mechanism (CDM) นำเสนอโครงการ Combined Heat and Power (CHP) โดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้เปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าไอน้ำ จากเดิมใช้หม้อต้มน้ำ (Boiler) ขนาดกำลัง 1.5 ตัน/ชั่วโมง เป็นหม้อต้มน้ำขนาดกำลัง 0.4 ตัน/ชั่วโมง และเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากเดิมใช้น้ำมันเตาเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตเป็นก๊าซธรรมชาติ การซื้อขายคาร์บอนที่เป็นทางเลือกเพื่อเตรียมความพร้อมในอนาคต ซึ่งประเทศไทยถูกจำกัดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการลดก๊าซเรือนกระจกโดยสมัครใจ เช่น โครงการลดการปล่อยคาร์บอนผลิตภัณฑ์พลาสติก

ธิดารัตน์ (2553) ได้ทำการศึกษากระบวนการสนับสนุนการตัดสินใจในการนำชิ้นส่วนยางยนต์ทั้งหมดอายุการใช้งานกลับมาใช้ใหม่ ได้ทำการวิเคราะห์ความต้องการลูกค้า เลือกศึกษาผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์ไม่ผสมยางรีไซเคิล จากนั้นนำทางเลือกที่ได้มาวิเคราะห์การตัดสินใจแนวทางการออกแบบการวิเคราะห์เชิงลำดับขั้นและวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ธนิตพล (2553) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ FMEA และ AHP เพื่อปรับปรุงการฟอกย้อม โดยวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของปัญหาคุณภาพในกระบวนการย้อมผ้าโดยใช้ FMEA จากนั้นสรุปและหาสาเหตุเพื่อจัดลำดับความสำคัญในการควบคุมปัญหาโดยใช้วิเคราะห์เชิงลำดับขั้น

ภัษริและอภิชาติ (2549) ได้กล่าวถึงการศึกษาการประยุกต์การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ในการเลือกศูนย์กลางโลจิสติกส์ด้านการขนส่งสินค้าในประเทศไทย เพื่อเลือกจังหวัดที่เหมาะสมสำหรับเป็นศูนย์กลางโลจิสติกส์ ด้วยวิธี TOPSIS และ AHP ในการแก้ไขปัญหา โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือก ได้แก่ ปัจจัยทางภูมิศาสตร์ ปริมาณการขนส่งสินค้าในแบบต่างๆ เช่น การขนส่งทางบก ทางอากาศ และทางน้ำ เป็นต้น จังหวัดที่ถูกเลือกได้แก่ พระนครศรีอยุธยา เชียงราย เชียงใหม่ ลำปาง ลำพูน พิษณุโลก นครสวรรค์ จากนั้นทำการวิเคราะห์แล้วพบว่าได้ผลแตกต่างกัน ผู้วิจัยทำการจัดกลุ่มจังหวัดเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มจังหวัดเชียงใหม่และเชียงรายเป็นจังหวัดที่มีความเหมาะสมในอันดับแรก อันดับสองเป็นกลุ่มจังหวัดพิษณุโลก พระนครศรีอยุธยา และกลุ่มสุดท้ายคือจังหวัดลำปาง ส่วนจังหวัดนครสวรรค์และจังหวัดลำพูนเป็นกลุ่มที่มีค่าคะแนนความเหมาะสมน้อยที่สุด

Pineda-Henson และ Culaba (2004) กล่าวถึงงานวิจัยการประเมินผลิตภัณฑ์สีเขียว โดยประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ และนำวิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์มาร่วมด้วย ซึ่งพบว่าผลกระทบต่อระบบนิเวศทางบกถูกให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก รองลงมาคือผลกระทบต่อดินโดยการกระทำของมนุษย์ การสูญเสียทรัพยากรแหล่งน้ำและการสูญเสียทรัพยากรด้านพลังงานตามลำดับ จากนั้นได้มีการลดปัจจัยที่เกี่ยวข้องและเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงและสรุปประโยชน์ของการประเมินผลิตภัณฑ์สีเขียว

Hajkowicz (2007) ได้ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์กับการตัดสินใจโดยลำพังในเรื่องการจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศออสเตรเลีย มีผู้ที่เกี่ยวข้องในการตัดสินใจ 55 คน แนวทางภายใต้โครงการ NHT ได้ผลการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์และการตัดสินใจโดยลำพังไม่ชัดเจนในเกณฑ์การประเมิน แต่ผู้เกี่ยวข้องไม่พอใจกับการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ แต่การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ช่วยตัดสินใจขั้นตอนการดำเนินงานได้และนำไปใช้ในการตัดสินใจลงทุนในอนาคตของโครงการ NHT