# เครื่องมือในการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน
# Tools for Sustainable Environmental Management

วิธิดา พัฒนอิสรานุกูล
ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
**Withida Patthanaissaranukool**
Department of Environmental Health Sciences, Faculty of Public Health, Mahidol University

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันเรากำลังเผชิญอยู่กับปัญหาสิ่งแวดล้อมที่หลากหลายรวมถึงภาวะโลกร้อนที่เป็นปัญหาสำคัญซึ่งได้รับการยอมรับในวงกว้างทั่วโลกว่าคือภัยคุกคามในศตวรรษใหม่ จึงทำให้การจัดการสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนจากการควบคุมมลพิษมาเน้นที่การป้องกันมลพิษ นอกจากนี้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนได้ถูกนำมาบูรณาการกับการจัดการสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่11 ด้วยเหตุนี้นักวิจัยหลายท่านจึงมุ่งศึกษาด้านเครื่องมือ/แนวคิดการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนเพื่อเป็นอีกทางเลือกในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม บทความฉบับนี้มุ่งที่จะให้ข้อมูลของกระบวนทัศน์ในการจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยและรวบรวมข้อมูลเครื่องมือ/แนวคิดในการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนที่มีการรายงานหรือศึกษาวิจัยเพื่อเป็นทางเลือกในการจัดการสิ่งแวดล้อมและบรรเทาปัญหาภาวะโลกร้อนต่อไป

**คำสำคัญ :** การประเมินวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ แบบจำลองสมดุลคาร์บอน อุตสาหกรรมเชิงนิเวศ การจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียว

## Abstract

Currently, we are facing various environmental problems, including global warming, which is important problem. It has been widely accepted worldwide that this problem is a great threat in the new century. Therefore, the concept of environmental management has been shifting from pollution control to pollution prevention. Moreover, the concept of sustainable development are also integrated with environmental management following the National Economic and Social Development Plan (2012-2016) of Thailand. Accordingly, many researchers have been keen on studying tools for sustainable environmental management as the one of alternative method to solve environmental problems. This paper aimed to provide paradigm shift of environmental management in Thailand and review published articles on tools for sustainable environmental management as alternative approaches to be used for environmental management and global warming mitigation.


**Keywords**: Life cycle assessment, Carbon footprint, Carbon-balanced model, Eco industry, Green supply chain management

## บทนำ

กลไกหรือทางเลือกในจัดการสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันนั้นมีหลากหลายแนวทางขึ้นอยู่กับประเด็นปัญหาหรือแนวโน้มของปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ยังคงเป็นประเด็นปัญหาสำคัญที่ประชาคมโลกให้ความสนใจเนื่องจากมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน จากผลการทำนายโดยใช้แบบจำลองคาดคะเนภูมิอากาศของ IPCC ได้สรุปว่าภายในศตวรรษที่ 21 อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น 1.1-6.4 องศาเซลเซียส[1] ท่ามกลางปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่หลายประเทศทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยกำลังเผชิญอยู่นั้นทำให้เกิดนโยบายและมาตรการต่าง ๆ ออกมามากมายเพื่อป้องกันและรับมือกับปัญหาดังกล่าว ดังปรากฏในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) ของประเทศไทยที่มุ่งเน้นการผลิตและการบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีแนวคิดและการวิจัยที่มุ่งเน้นศึกษาการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเพื่อการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจที่ควบคู่ไปกับการพัฒนาอย่างยั่งยืนและสอดรับกับแผนพัฒนาประเทศดังกล่าว อย่างไรก็ตาม แนวคิดหรือเครื่องมือต่าง ๆ ในการจัดการสิ่งแวดล้อมนั้นมีหลากหลาย ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ข้อมูลด้านกระบวนทัศน์ในการจัดการสิ่งแวดล้อมจากอดีตสู่ปัจจุบันและอนาคตของประเทศไทย พร้อมทั้งเสนอแนวคิด/เครื่องมือในการจัดการเพื่อเป็นทางเลือกในการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนต่อไป

## กระบวนทัศน์ในการจัดการสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย

การจัดการสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงเป็น 3 ยุค ได้แก่ยุคควบคุมมลพิษที่ปลายท่อ ยุคป้องกันมลพิษ และยุคการจัดการสิ่งแวดล้อม โดยรายละเอียดดังนี้[2-3]

1. ยุคควบคุมมลพิษที่ปลายท่อ: ช่วง พ.ศ. 2503-2513 เป็นยุคแรกของการพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อตอบสนองความต้องการในการอุปโภคบริโภคภายในประเทศและเป็นยุคเริ่มต้นของการควบคุมมลพิษ โดยภาครัฐมีบทบาทสำคัญในการดำเนินการเพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการในยุคนี้คือกฎหมายและมาตรการต่าง ๆ เพื่อควบคุมและกำกับให้ผู้ปล่อยของเสียต้องปฏิบัติตามโดยใช้กลยุทธ์ของตรวจสอบควบคุมการปล่อยของเสียและใช้หลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย (Polluter Pays Principle) ผลการดำเนินการนี้จึงขึ้นอยู่กับการบังคับใช้และการปฏิบัติตามกฎหมาย โดยตัวอย่างกฎหมายที่สำคัญในการควบคุมมลพิษในยุคดังกล่าว ได้แก่ พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2518 เป็นต้น

2. ยุคป้องกันมลพิษ: ช่วง พ.ศ. 2523-2533 เป็นยุคที่มีสถานการณ์ความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมทำให้ประชาชนเริ่มตื่นตัวถึงอันตรายของสารมลพิษต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ขณะเดียวกัน พ.ศ. 2524 ได้มีการกำหนดให้มีการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการหรือกิจการบางประเภทและบางขนาดขึ้นโดยประยุกต์ใช้หลักการป้องกันล่วงหน้า (Precautionary Principle)[4] ดังนั้นแนวคิดของการจัดการสิ่งแวดล้อมในยุคนี้จึงเปลี่ยนจากการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุมาเน้นที่การป้องกันมลพิษจากแหล่งกำเนิด (Pollution Prevention) รวมทั้งการลดของเสีย การนำกลับมาใช้ใหม่และการใช้ซ้ำเป็นต้น บทบาทของภาครัฐจึงได้เปลี่ยนจากการควบคุมด้วยกฎหมายอย่างเดียวมาเป็นการจูงใจและริเริ่มใช้เครื่องมือในการบริหารจัดการ เช่น การนำเทคโนโลยีสะอาด (Cleaner Technology: CT) มาใช้ในภาค การผลิต เป็นต้น

3. ยุคการจัดการสิ่งแวดล้อม: ช่วง พ.ศ. 2533 เป็นต้นมา นับเป็นยุคบูรณาการสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ สืบเนื่องมาจากการประชุมสุดยอดของโลกที่กรุงริโอเดอจาเนโร ทำให้เกิดกระแสแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนตาม Agenda 21 เพื่อสร้างความสมดุลระหว่างสิ่งแวดล้อมกับการพัฒนาที่สนองตอบต่อการดำรงชีวิตของคนทั้งปัจจุบันและอนาคต[5] ดังนั้นการพัฒนาต้องคำนึงถึงผลกระทบระยะยาวที่จะมีต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสังคมไปด้วยกัน โดยภาคการผลิตมีการคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรอายุของผลิตภัณฑ์หรือแม้แต่การกำหนดมาตรฐานสินค้าด้วยเครื่องหมายรับรองชนิดต่าง ๆ เครื่องมือที่ใช้ในยุคนี้ต้องอาศัยความรู้และเทคโนโลยีซึ่งปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมได้สมัครใจทำมากขึ้น โดยการดำเนินการดังกล่าวเป็นมาตรการกระตุ้นให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมร่วมกัน

จะเห็นได้ว่าประเทศไทยกำลังเผชิญทั้ง ยุค 3 พร้อม ๆ กัน กล่าวคือ การจัดการที่ปลายท่อยังคงอยู่ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กแม้ว่าจะเริ่มนำแนวคิดของเทคโนโลยีสะอาดเข้ามาใช้บ้างแล้วก็ตาม ในขณะที่อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้นำแนวคิดของการพัฒนาอย่างยั่งยืนมาปฏิบัติเพื่อให้เป็นไปตามกติกาสิ่งแวดล้อมโลกและกติกาการค้าระหว่างประเทศ เช่นในกลุ่มสหภาพยุโรปต้องการสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น แม้แต่ประเทศจีนเองก็มุ่งที่จะจัดการสิ่งแวดล้อมบนพื้นฐานของการพัฒนาอย่างยั่งยืนเช่นกัน[6-7] ดังนั้น ในอนาคตเราย่อมหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องปฏิบัติตามกติกาสิ่งแวดล้อมโลก เนื่องจากประเทศไทยมีฐานเศรษฐกิจที่ยังต้องพึ่งพาการส่งออก นอกจากนี้ในปลายปี พ.ศ. 2553 คณะที่ปรึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของเลขาธิการสหประชาชาติได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการเปลี่ยนผ่านสู่ยุคอุตสาหกรรมใหม่ที่ไม่พึ่งพา

ฟอสซิล หรือ “Industrial transformation” ด้วยเหตุนี้การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงมีความสำคัญสำหรับประเทศไทยเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในระยะยาว

## เครื่องมือในการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

ผู้เขียนได้รวบรวบแนวคิดและเครื่องมือที่มุ่งเน้นการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนเพื่อเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมปัจจุบัน ดังนี้

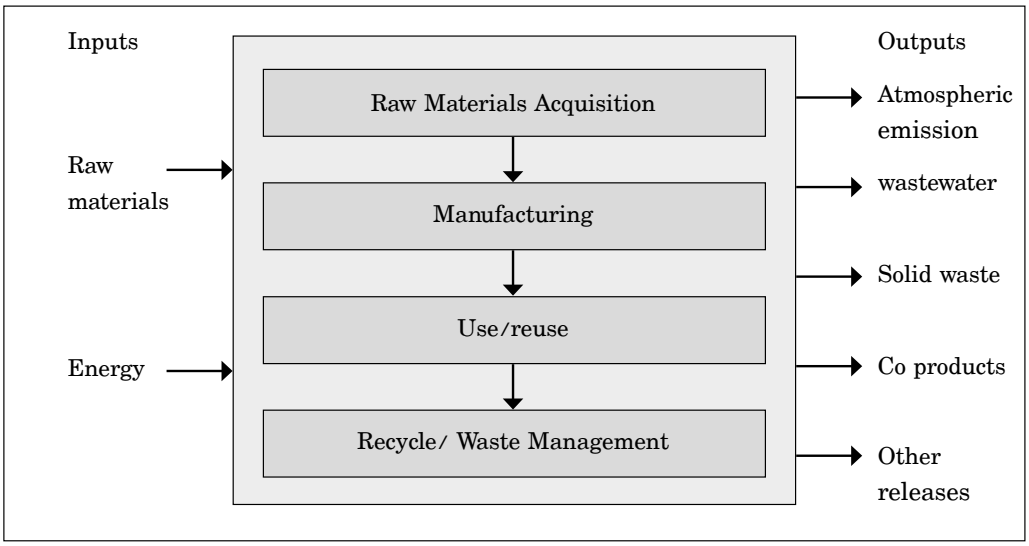
**1. การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA)**

1) ที่มาของแนวคิด

แนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิตเริ่มต้นในช่วงปลายปี ค.ศ. 1960 ถึงต้นปี ค.ศ. 1970 โดยยุคนั้นมุ่งเน้นในประเด็นประสิทธิภาพพลังงานและการใช้ทรัพยากร ในปี ค.ศ. 1972 แนวคิด LCA ได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกใน สหราชอาณาจักรโดย Ian Boustead ซึ่งได้ประเมินพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดสำหรับเครื่องดื่ม ต่อมาแนวคิดของ LCA ได้รับความสนใจในอุตสาหกรรมต่าง ๆมากขึ้นเนื่องจากวิกฤตการขาดแคลนน้ำมันดิบและทรัพยากร จนกระทั่งปี ค.ศ. 1992 ในการประชุมสุดยอดแห่งสหประชาชาติแนวคิด LCA ได้รับการเสนอให้เป็นเครื่องมือใหม่ในการจัดการสิ่งแวดล้อม[8] และในปี ค.ศ. 1997 LCA ได้ถูกประกาศใช้เป็นเครื่องมือหนึ่งในการจัดการสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในมาตรฐาน ISO14040 และได้รับการปรับปรุงเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน

2) หลักการและกระบวนการประเมิน

LCA เป็นเทคนิคในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์หรือการบริการโดยพิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การเก็บกัก การใช้และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ หรืออาจเรียกได้ว่าเป็นการประเมินผลกระทบของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบจนถึงการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ (Cradle–to-Grave) ซึ่งดำเนินการโดยเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและทรัพยากร ซึ่งเป็นสารขาเข้าที่ใช้ประเมิน(input) รวมไปถึงสารขาออกที่ปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อม (output) เพื่อนำข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกดังกล่าวตลอดกระบวนการที่ศึกษามาใช้เป็นข้อมูลในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ขอบเขตของระบบการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพที่ 1



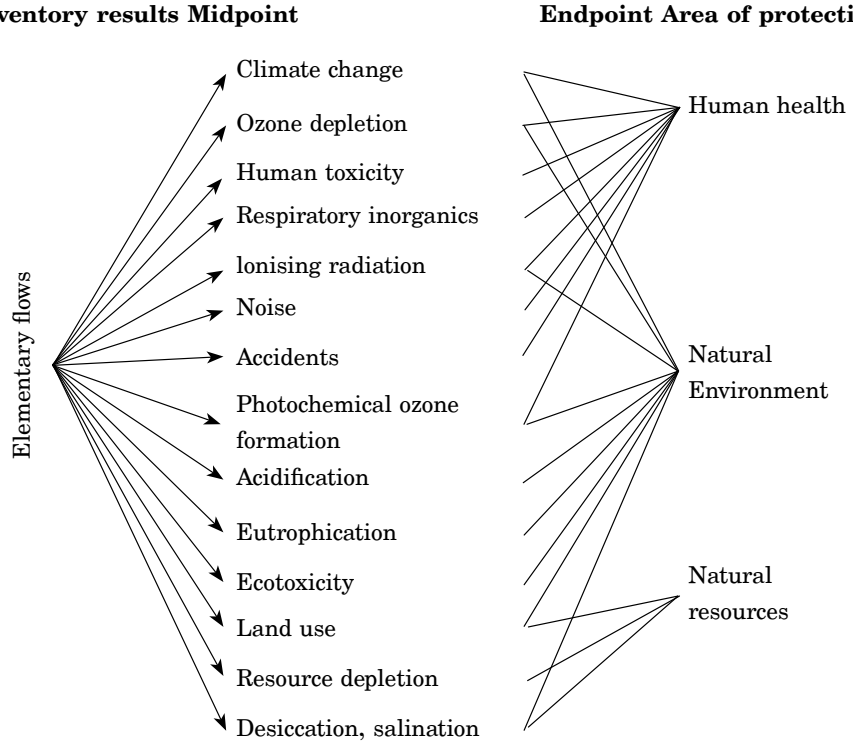

**ภาพที่ 1** ขอบเขตของระบบในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และบริการต่าง ๆ[9]

จะเห็นได้ว่า LCA เป็นเทคนิคที่สามารถนำมาช่วยประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณได้ โดยการศึกษาประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังนี้[10]

2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition) เป็นการกำหนดขอบเขตของระบบและหน่วยการทำงาน (Functional unit) ที่จะทำการศึกษา

2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis) เป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนนี้มีการคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกต่อหน่วยการทำงานในแต่ละกระบวนการของการผลิต

2.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment) ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลจากสารขาเข้าและสารขาออกที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนสำคัญคือ การจำแนกประเภทผลกระทบ (Classification) และการกำหนดบทบาท (Characterization) ซึ่งผลกระทบที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียทั้งหมดจะถูกจำแนกกลุ่มและระบุปริมาณในเชิงตัวเลขแยกตามประเภทของผลกระทบสิ่งแวดล้อมซึ่งอาจมีการให้น้ำหนักความสำคัญเพิ่มเติม การจำแนกประเภทของผลกระทบได้แบ่งออกเป็น 2 ระดับได้แก่ ระดับMidpoint หรือ Impact categories และระดับ Endpoint หรือ Damage categories เช่น ก๊าซมีเทนถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของก๊าซเรือนกระจก โดยผลกระทบระดับ Midpoint ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และผลกระทบระดับ Endpoint คือก่อให้เกิดผลกระทบสุขภาพของมนุษย์และระบบนิเวศเป็นต้น ทั้งนี้ผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในระดับ Midpoint และ Endpoint จากสารขาเข้าและสารขาออกแสดงดังภาพที่ 2




**ภาพที่** 2 การจำแนกประเภทของผลกระทบในระดับ Midpoint และ Endpoint[11]

2.4 การแปรผลการศึกษา (Interpretation) เป็นการนำผลการศึกษาที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อสรุปผลและให้ข้อเสนอแนะหรือการประเมินโอกาสที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมประเภทต่าง ๆจากผลิตภัณฑ์อย่างเป็นระบบ โดยการสรุปผลจะต้องมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนดไว้ตามขั้นตอนที่ 2.1

3) ประโยชน์ของเครื่องมือ

LCA เป็นเครื่องมือหนึ่งในการประเมินความเป็นไปได้ในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมการผลิตต่าง ๆ ปัจจุบันมีการนำ LCA ไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายแนวทางเพื่อเป็นข้อมูลในสนับสนุนการตัดสินใจในเชิงสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นการออกแบบพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและการทำฉลากสิ่งแวดล้อม การใช้เป็นเครื่องมือในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเนื่องจากเป็นการศึกษาอย่างเป็นระบบในเชิงประสิทธิภาพของพลังงาน ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ต้นทุนและประโยชน์ที่ได้รับ เป็นต้น[12-13]

**2. คาร์บอนฟุตพรินท์ (Carbon Footprint; CF)**

1) ที่มาของแนวคิด

แนวคิดคาร์บอนฟุตพรินท์ได้เริ่มใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 2006 ในสหราชอาณาจักรโดยใช้ชื่อ Carbon Reduction Label ในปี ค.ศ. 2010 ได้มีการจัดประชุมนานาชาติเรื่องฉลากคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ขึ้นครั้งแรก ณ กรุงเบอร์ลินเพื่อหารือเรื่องการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการนำไปสู่การกำหนดเป็นมาตรฐานโลก ต่อมาปี ค.ศ. 2013 ได้ประกาศใช้มาตรฐาน ISO/TS14067:2013 “ก๊าซเรือนกระจก คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ข้อกำหนดและข้อแนะนำสำหรับการประเมินปริมาณและการสื่อสาร” เพื่อให้แต่ละประเทศสามารถกำหนดแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์ให้สอดคล้องและครอบคลุมประเด็นที่กำหนดต่าง ๆ มากยิ่งขึ้น[14]

2) หลักการและกระบวนการประเมิน

CF คือปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิต การใช้งาน และ การจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งานโดยคำนวณออกและแสดงผลในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($CO_2$ equivalent) เนื่องจาก $CO_2$ เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับก๊าซเรือนกระจกตัวอื่น ยกตัวอย่างประเทศสหรัฐอเมริกาโดย US EPA ได้รายงานปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี ค.ศ. 2013 พบปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และกลุ่มของก๊าซฟลูออริเนต คิดเป็นร้อยละ 82, 10, 5, และ 3 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดตามลำดับ[15] โดย CF เป็นการวัดผลกระทบของผลิตภัณฑ์และบริการจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมเชิงปริมาณโดยใช้ตัวชี้วัดโอกาสในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential; GWP) ทั้งนี้ IPCC ได้กำหนด GWP ของก๊าซเรือนกระจกต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะเวลา 100 ปี[16]

CF คำนวณโดยใช้หลักการเดียวกับ LCA ตามมาตรฐาน ISO14040 และ 14044 หลังการวิเคราะห์บัญชีรายการแล้ว สามารถนำทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละกระบวนการมาประเมิน CF โดยคูณกับค่า Emission Factor ของแต่ละทรัพยากร ดังสมการที่ (1)

$$CF = \sum R_i \times EF_i \qquad (1)$$

เมื่อ

CF = ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (kg COeq/unit of product)

$R_i$ = ปริมาณทรัพยากร i ที่ใช้ในแต่ละกระบวนการ (kg resources)

$EF_i$ = Emission Factor ของทรัพยากร i (kg COeq/ kg resources)

3) ประโยชน์ของเครื่องมือ

CF เป็นเครื่องมือที่สอดรับกับสถานการณ์ปัญหาด้านภาวะโลกร้อน ดังนั้นหากสามารถวิเคราะห์ CF ได้ในทุก ๆ ผลิตภัณฑ์หรือกิจกรรม จะทำให้สามารถหาแนวทางในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ตรงจุดมากขึ้น ทั้งนี้ยังใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าของผู้บริโภคและกระตุ้นให้ผู้ประกอบการปรับเปลี่ยนการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกเนื่องจากหลายประเทศในสหภาพยุโรปได้นำ CF มาใช้เป็นเกณฑ์ในการนำเข้าสินค้า ดังนั้นหากประเทศไทยมีการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกที่ชัดเจนจะช่วยให้มีอำนาจในการต่อรองด้านการค้าได้มากยิ่งขึ้น

**3. แบบจำลองสมดุลคาร์บอน (Carbon-balanced Model; CBM)**

1) ที่มาของแนวคิด

แบบจำลองสมดุลคาร์บอนถูกพัฒนาโดย Polprasert และ Chiyachet[17] และปรับแก้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นโดย Patthanaissaranukool และคณะ[18] โดยแนวคิดดังกล่าวเป็นการแสดงค่าสมมูลคาร์บอนจากกิจกรรมหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยมีการแบ่งสมมูลคาร์บอนออกเป็น 3 ชนิดหลักคือ การปลดปล่อยคาร์บอน (Carbon emission) การตรึงคาร์บอน (Carbon fixation) และการลดคาร์บอน (Carbon reduction)

2) หลักการและกระบวนการประเมิน

Carbon emission เป็นกิจกรรมที่เกิดจากมนุษย์ในการใช้ประโยชน์จากพลังงานฟอสซิลและวัสดุที่ผลิตด้วยฟอสซิลหรือมีฟอสซิลเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้หลังจากใช้ประโยชน์แล้วมันยังคงอยู่ในชั้นบรรยากาศในรูปของ $CO_2$ ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของ $CO_2$ ในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นนั่นเอง ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนสามารถประเมินได้โดยนำปริมาณทรัพยากรแต่ละชนิดที่ใช้ทั้งหมดในขอบเขตการศึกษาคูณกับค่า Conversion factor (CF) ของทรัพยากรแต่ละชนิดดังกล่าว โดยใน CBM ได้เสนอวิธีในการคำนวณค่า CF ไว้ 2 รูปแบบด้วยกันคือทรัพยากรที่เป็นฟอสซิลและทรัพยากรที่ไม่มีฟอสซิลเป็นองค์ประกอบ

Carbon fixation เป็นผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงโดยที่ $CO_2$ ในชั้นบรรยากาศรวมกับ $H_2O$ได้สารอินทรีย์คาร์บอน เช่น พืชพรรณธัญญาหารต่าง ๆซึ่งจะถูกเก็บเกี่ยวและเคลื่อนย้ายในแนวราบเพื่อสนองความต้องการของมนุษย์ หลังจากถูกบริโภคแล้วมันก็จะย่อยสลายเป็น $CO_2$ กลับสู่ชั้นบรรยากาศเช่นเดิม ดังนั้นจึงไม่ถือว่าเป็นการปลดปล่อยหรือไม่ทำให้ความเข้มข้น $CO_2$ ในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ค่าสมมูลคาร์บอนสามารถคำนวณออกมาในรูปปริมาณคาร์บอนต่อพื้นที่หรือปริมาณคาร์บอนต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์เพื่อให้ทราบผลกระทบจากสมมูลคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ในเชิงพื้นที่หรือเชิงผลิตภัณฑ์ โดยปริมาณการตรึงคาร์บอนส่วนใหญ่เท่ากับ 0.4 kg C/kg product

Carbon reduction เป็นปริมาณสมมูลคาร์บอนที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนใช้ซ้ำหรือใช้ประโยชน์ของเสียเพื่อเป็นพลังงานใช้ในกระบวนการผลิตหรือเป็นวัตถุดิบให้กับโรงงานอื่น ๆทั้งนี้ถือว่าเป็นการลดคาร์บอน เพราะช่วยลดปริมาณการใช้ทรัพยากรใหม่และพลังงานฟอสซิล โดยปริมาณการลดคาร์บอนสามารถคำนวณได้จากปริมาณการแทนที่เชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ ซึ่งปริมาณฟอสซิลที่คิดในรูปการปลดปล่อยคาร์บอนที่ลดลงนั้นคือปริมาณการลดการปลดปล่อยคาร์บอนนั้นเอง

3) ประโยชน์ของเครื่องมือ

CBM สามารถแสดงประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนโดยชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการตรึงคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาและปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากใช้ทรัพยากรและพลังงานในกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ รวมไปถึงปริมาณการลดคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากการใช้ซ้ำหรือการนำกลับมาใช้ใหม่ของทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อ

แสดงให้เห็นถึงความยั่งยืนในแง่ของสมดุลคาร์บอน โดยสามารถคำนวณประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนได้ดังสมการที่ (2)

$$C_{fixation\ eff.}(\%) = \frac{C_{fixed}}{C_{fixed} + Net\ C_{emitted}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

$C_{fixation\ eff.}$ = ประสิทธิภาพการถ่ายเทคาร์บอน (%)

$C_{fixed}$ = ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่ถูกตรึงอยู่ในผลิตภัณฑ์ (kg CE/unit of product)

Net $C_{emitted}$ = ปริมาณคาร์บอนสุทธิที่ถูกปลดปล่อย (kg CE/unit of product)

จะเห็นได้ว่าการผลิตผลิตภัณฑ์ใด ๆ ก็ตาม เมื่อค่าประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนมากกว่า 100% แสดงให้เห็นว่าการผลิตดังกล่าวมีปริมาณการลดคาร์บอนเกิดขึ้นมากกว่าการปล่อยระบาย นั่นคือมีการใช้ทรัพยากรในรูปแบบการใช้ซ้ำ การนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อทดแทนการใช้วัสดุฟอสซิลหรือการใช้ทรัพยากรใหม่ ในขณะเดียวกันเมื่อประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนน้อยกว่า 50% แสดงให้เห็นว่าปริมาณการปล่อยระบายคาร์บอนสุทธิจากการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมากกว่าปริมาณการตรึงคาร์บอนในผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ซึ่งเมื่อมองถึงความคุ้มค่าในเชิงสมดุลคาร์บอนในการผลิตผลิตภัณฑ์ใด ๆก็ตาม ปริมาณการปล่อยระบายคาร์บอนสุทธิตลอดวงจรการผลิตไม่ควรมีค่ามากกว่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์นั้น หากมีความจำเป็นต้องผลิตควรหาแนวทางในการลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนให้มากที่สุดต่อไป

**4. อุตสาหกรรมเชิงนิเวศ (Eco industry; EI)**

1) ที่มาของแนวคิด

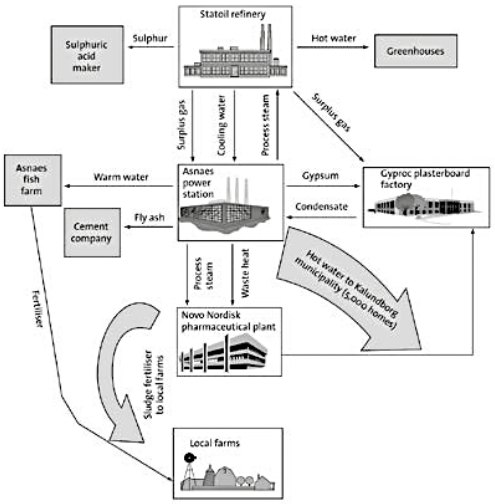
อุตสาหกรรมเชิงนิเวศพัฒนามาจากแนวคิดทฤษฎี Industrial Ecology (IE) ซึ่งเป็นแนวคิดที่ประยุกต์ให้เข้ากับการพัฒนาเศรษฐกิจแบบยั่งยืนที่มุ่งเน้นความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยเป็นการพัฒนาออกแบบระบบอุตสาหกรรมใหม่ให้คล้ายคลึงกับระบบนิเวศทางธรรมชาติที่อยู่บนหลักการพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน(Symbiosis) และดำรงอยู่ได้อย่างยั่งยืนเป็นสำคัญเพื่อคงความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานให้ชนรุ่นหลังสืบต่อไป

2) หลักการและกระบวนการดำเนินงาน

การพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงนิเวศเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีการสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวมุ่งที่จะลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนผลิต โดยพยายามปิดวงจรการเกิดของเสียเพื่อลดผลกระทบจากกิจกรรมการผลิตแบบ linear flow ที่เป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุให้ได้มากที่สุด[19-20] โดยขั้นตอนดำเนินการพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงนิเวศประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การนำหลัก Cleaner Technology มาใช้ในแต่ละโรงงานเพื่อลดและป้องกันการปล่อยมลพิษออกสู่ภายนอกให้มากที่สุด 2) การสร้างความร่วมมือในกลุ่มอุตสาหกรรมเพื่อใช้ทรัพยากรหรือแลกเปลี่ยนของเสียระหว่างโรงงาน 3) การสร้างความร่วมมือในกลุ่มอุตสาหกรรมที่ครอบคลุมเพื่อประสานความร่วมมือระหว่างกลุ่มโรงงานทั้งภายในและภายนอกกลุ่ม และ 4) การสร้างความร่วมมือระหว่างกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนเพื่อพัฒนาเป็นเครือข่ายอุตสาหกรรมเชิงนิเวศในที่สุด

ทั้งนี้ การดำเนินการเพื่อนำไปสู่การเป็นนิคมอุตสาหกรรมเชิงเศรษฐนิเวศ (Eco Industrial Estate; EIE) เป็นความพยายามที่จะปิดวงจรของการใช้ทรัพยากร พลังงาน และลดการปลดปล่อยของเสียให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยพยายามสร้างสมดุลระหว่างสารขาเข้าและสารขาออกของทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ รวมถึงของเสีย/ผลพลอยได้ในแต่ละโรงงานเพื่อให้เห็นถึงความสมดุลของแต่ละ Eco Plant นอกจากนี้ยังมีการเสริมสร้างกิจกรรมความร่วมมือ

ต่าง ๆ ระหว่างโรงงานทั้งในพื้นที่พัฒนาเดียวกันและระหว่างพื้นที่เพื่อให้การช่วยเหลือเกื้อกูลพึ่งพาซึ่งกันตามหลัก Symbiosis ยกตัวอย่างกรณีศึกษาเมือง Kalundborg ประเทศเดนมาร์ค ซึ่งเป็นที่ตั้งของกลุ่มโรงงานที่มีการดำเนินงานแบบ Eco industry โดยตัวอย่างแนวทางดำเนินการแสดงดังภาพที่ 3 เช่นการใช้ขี้เถ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหินเป็นวัตถุดิบในการผลิตซีเมนต์และคอนกรีตสำเร็จรูป การใช้ยิปซัมจากโรงงานไฟฟ้าเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องแผ่นเรียบ การใช้ของเสียจากการผลิตอินซูลิน(บริษัท NovoGro) ไปผลิตปุ๋ย เป็นต้น ซึ่งการใช้ทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นดังกล่าวมีผลทำให้บริษัทที่ร่วมมือกันมีผลกำไรสูงขึ้น




**ภาพที่ 3** การพึ่งพากันระหว่างอุตสาหกรรมเมือง Kalundborg ประเทศ Denmark[21]

3) ประโยชน์ของแนวคิด

ประโยชน์ของแนวคิด EIE คือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและพลังงาน ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีต่อชุมชน และทำให้อุตสาหกรรมอยู่ร่วมกันกับชุมชนได้อย่างยั่งยืน

**5. การจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain Management; GSCM)**

1) ที่มาของแนวคิด

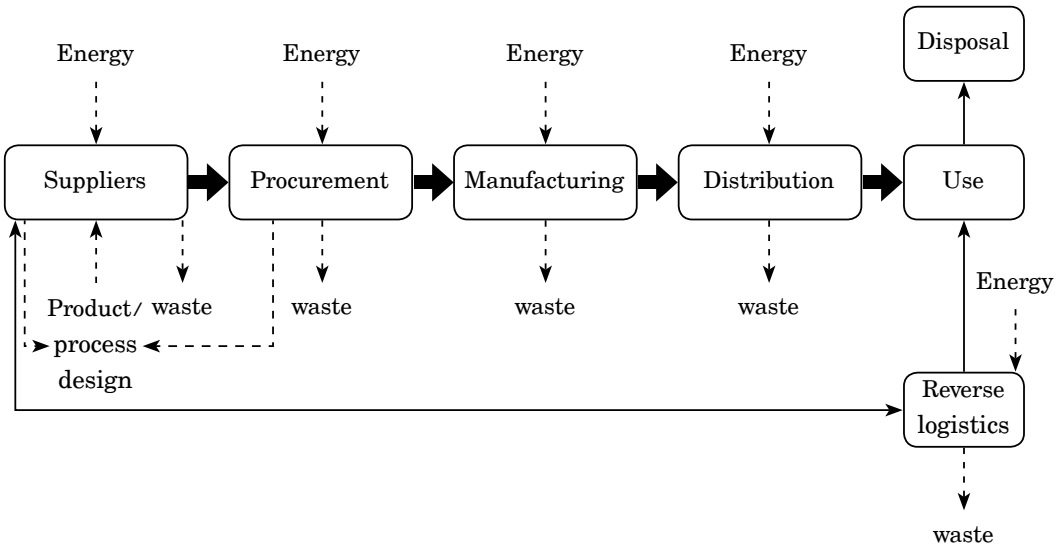
แนวคิดการจัดการสิ่งแวดล้อมผ่านห่วงโซ่อุปทานถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายจากองค์กรผู้ซื้อที่มีนโยบาย/มาตรฐานการจัดซื้อจัดหาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียวหมายถึงการปรับปรุงและพัฒนาระบบโซ่อุปทานเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดกระบวนการห่วงโซ่อุปทานขององค์กรหนึ่ง ๆ[22]

2) หลักการและกระบวนการดำเนินงาน

การจัดการโซ่อุปทานสีเขียวประกอบไปด้วยกิจกรรมการจัดซื้อจัดหา/การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตการกระจายสินค้า และการนำวัสดุที่ผ่านกระบวนการใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ กระบวนการทั้งหมดแสดงดังภาพที่ 4 ทั้งนี้จุดเน้นสำคัญของหลักการ Green supply chain คือการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อลดการเกิดของเสียให้เหลือน้อยที่สุดตลอดห่วงโซ่อุปทาน[23-24] โดยกระบวนการปรับปรุงตามหลักการ Green supply chain ได้แก่ 1)การระบุของเสียที่เกิดขึ้นตลอดห่วงโซ่อุปทาน 2) ระบุแนวทาง/วิธีการในการลดของเสีย และ 3)ดำเนินการลดของเสียดังกล่าวตลอดห่วงโซ่อุปทาน

3) ประโยชน์ของแนวคิด

การจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียวทำให้การใช้ทรัพยากรตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยสนับสนุนให้คู่ค้าตลอดวงจรมีการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดีตลอดทั้งห่วงโซ่ ตอบสนองความต้องการบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางการค้า




**ภาพที่ 4** กระบวนการและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับ Green Supply Chain[23]

## จุดเด่นและข้อจำกัดของเครื่องมือ

เครื่องมือหรือแนวคิดแต่ละชนิดที่นำเสนอมีจุดเด่นและข้อจำกัดแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าหลักการ LCA CF และ CBM นั้นเหมาะสำหรับการประเมินผลกระทบในผลิตภัณฑ์หรืออุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะ CBM นั้นมีความเหมาะสมอย่างยิ่งกับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรมต่อเนื่องทางการเกษตรเนื่องจากทำให้ทราบสมมูลคาร์บอนแต่ละประเภทเพื่อพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์ที่ประเมินนั้นมีความคุ้มค่าที่จะผลิตหรือไม่ในเชิงสมดุลคาร์บอนหรือเชิงพื้นที่ในการผลิต อย่างไรก็ตามความแม่นยำในการประเมินของเครื่องมือดังกล่าวข้างต้นขึ้นอยู่กับคุณภาพข้อมูลทรัพยากรขาเข้าต่าง ๆ ที่ต้องเก็บรวบรวมในแต่ละกระบวนการตามขอบเขตการศึกษา ในขณะที่แนวคิดของ EIE และ GSCM นั้นเป็นการจัดการในระดับที่กว้างขึ้น ไม่ได้เจาะจงที่ผลิตภัณฑ์ใดผลิตภัณฑ์หนึ่ง แต่เป็นการจัดการในภาพรวมเชิงพื้นที่หรือตลอดห่วงโซ่ของกลุ่มคู่ค้า ดังนั้นแนวคิด LCA CF และ CBM อาจเป็นเครื่องมือสนับสนุนให้การดำเนินการของนิคมอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ และการจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียวสำเร็จได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการเข้าสู่นิคมอุตสาหกรรมเชิงนิเวศนั้นควรมีการดำเนินการวางแผนตั้งแต่เริ่มต้นสร้างนิคม เพื่อดำเนินการเลือกลุ่มโรงงานที่สามารถเกื้อกูลกันในด้านการใช้ประโยชน์จากของเสียหรือผลพลอยได้ต่าง ๆที่เกิดขึ้นร่วมกันอย่างยั่งยืน ทั้งนี้กรณีที่ไม่ได้เกิดจากการวางแผนล่วงหน้าเป็นอย่างดีมาก่อนนั้น การเข้าสู่อุตสาหกรรมหรือนิคมอุตสาหกรรมเชิงนิเวศอย่างสำเร็จนั้นจะต้องมีการหารือระหว่างโรงงานหรือการศึกษาวิจัยความเป็นไปได้ของการใช้กากของเสียเป็นวัตถุดิบเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อทุกฝ่ายและมีเป้าหมายร่วมกันในการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

**ตารางที่ 1** จุดเด่นและข้อจำกัดของเครื่องมือ

| เครื่องมือ/แนวคิด | จุดเด่น | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| Life Cycle Assessment; LCA | - ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต<br>- มีการพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมในทุก ๆ ประเด็นที่เกิดขึ้น<br>- ป้องกันการเคลื่อนย้ายของประเด็นปัญหาตลอดขอบเขตการประเมิน<br>- ได้ข้อมูลเชิงปริมาณ | - ไม่ได้พิจารณาถึงการเปลี่ยนด้านเทคโนโลยีในอนาคต |
| Carbon footprint; CF | - ศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดวัฏจักรชีวิตหรือขอบเขตที่ศึกษา<br>- ได้ข้อมูลเชิงปริมาณ | - การปันส่วน (allocation) กรณีที่มีหลายผลิตภัณฑ์ในขอบเขตการศึกษา<br>- การเกิด Burden shift หรือการโอนย้ายผลกระทบสิ่งแวดล้อม เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์หรือบริการมีผลต่อกระทบสิ่งแวดล้อมด้านอื่นสูงขึ้น เพื่อชดเชยการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก |
| Carbon-Balanced Model; CBM | - ประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอน โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการตรึง การปลดปล่อย และการลดคาร์บอนจากผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการใด ๆ<br>- ทราบ hot spot ในการแก้ปัญหา<br>- ได้ข้อมูลเชิงปริมาณ | - ประเมินการปลดปล่อย $CO_2$ เท่านั้น |
| Eco Industry; EI | - ดำเนินการระดับ Macro scale<br>- มุ่งปิดวงจรการเกิดของเสียระหว่างกลุ่มอุตสาหกรรม | - ได้ข้อมูลเชิงคุณภาพ<br>- ความร่วมมือจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกภาคส่วน<br>- พึ่งพาเทคโนโลยี |
| Green Supply Chain Management; GSCM | - ดำเนินการระดับ Macro scale<br>- พัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องตลอดห่วงโซ่อุปทาน | - ได้ข้อมูลเชิงคุณภาพ<br>- ข้อมูลที่เกี่ยวข้องและความร่วมมือในการดำเนินการตลอดห่วงโซ่อุปทาน |

## สรุป

LCA CF และ CBM เป็นแนวคิดที่เหมาะสมกับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆในขณะที่อุตสาหกรรมเชิงนิเวศเป็นการพิจารณาถึงผลกระทบในเชิงพื้นที่ และการจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียวเป็นการพิจารณาผลกระทบตลอดห่วงโซ่อุปทานของกลุ่มคู่ค้า เมื่อพิจารณาในประเด็นความยั่งยืนพบว่าแต่ละแนวคิดมุ่งเน้นลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมไปพร้อม ๆ กัน กล่าวคือภาคสิ่งแวดล้อมนอกจาก

จะเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามขอบเขตของการศึกษาในแต่ละแนวคิดแล้ว ในภาคเศรษฐกิจและสังคมยังเป็นเครื่องมือสนับสนุนการเติบโตทางเศรษฐกิจที่สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลกและการมุ่งสู่สังคมคาร์บอนต่ำ รวมถึงส่งเสริมให้ผู้บริโภคมีส่วนร่วมในการตัดสินใจเลือกสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นซึ่งสนับสนุนแนวคิดในการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนของประเทศ ทั้งนี้แนวคิดหรือเครื่องมือที่มีการรายงานหรือศึกษาวิจัยในเชิงปริมาณด้านการประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนที่สัมพันธ์โดยตรงกับการใช้ทรัพยากรได้แก่คาร์บอนฟุตพรินท์และแบบจำลองสมดุลคาร์บอน อย่างไรก็ตามความรู้ความเข้าใจในประเด็นการใช้ทรัพยากรในขอบเขตที่ศึกษาเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นในเชิงของคาร์บอนและผลกระทบต่อการเกิดภาวะโลกร้อนนั้นยังมีอยู่ไม่มาก และยังคงต้องการการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่อง และประเด็นสำคัญก็คือทำอย่างไรที่จะลดหรือควบคุมปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากผลิตภัณฑ์หรือกิจกรรมใด ๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อมเพื่อลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยภาพรวมให้ได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือให้เหมาะกับแต่ละประเภทอุตสาหกรรมก็ยังเป็นประเด็นที่ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติมเช่นกัน

## เอกสารอ้างอิง


1. Smith JB. Climate Change and Water: International Perspectives on mitigation and adaptation. London, United Kingdom: IWA Publishing; 2010.
2. สุชาตา ชินะจิตร.กระบวนทัศน์ของการจัดการสิ่งแวดล้อม. ประชาคมวิจัยฉบับที่ 58. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย; 2551.
3. ปราณี พันธุมสินชัย. มลพิษอุตสาหกรรมเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย; 2548.
4. US EPA. Principle of Environmental Assessment Review. Washington D.C.:U.S. Environmental Protection Agency; 1998.
5. Glavic P, Lukman R. Review of sustainability terms and their definitions. Journal of Cleaner Production 2007; 15(8): 1875–85.
6. He G, Lu Y, Mol AP, Beckers T. Changes and challenges: China's environmental management in transition. Environmental Development 2012; 3: 25–38.
7. Finkbeiner M, Schau EM, Lehmann A, Traverso M. Toward Life cycle sustainability assessment. Sustainability 2010; 2: 3309–20.
8. Ian Boustead. LCA - How it Came About, The Beginning in the UK. International Journal of Life cycle Assessment 1996; 1(3): 147–50.
9. US EPA. Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles. EPA/600/R-92/245. Ohio, USA: Office of Research and Development; 1993.
10. International Standards Organization (ISO). Environmental Management - Life Cycle Assessment-Principles and Framework ISO 14040; 1997.
11. European Commission. ILCD Handbook: Framework and requirements for Life cycle impact assessment models and indicators. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2010.
12. Hackney J, Neufville R. Life cycle model of alternative fuel vehicles: emissions, energy, and cost trade-offs. Transp Res Part A 2001; 35 (3): 243–66.

13. Pleanjai S, Gheewala SH. Full chain energy analysis of biodiesel production from palm oil in Thailand. Applied Energy 2009; 86: S209–14.
14. Garcia R, Freire F. Carbon footprint of particleboard: a comparison between ISO/TS14067, GHG Protocol, PAS 2050 and Climate Declaration. Journal of Cleaner Production. 2014; 66: 199–209.
15. US EPA. Overview of Greenhouse Gases. [online]. Available from: http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases.html. (cited : April 30, 2015)
16. IPCC. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Houghton JT, Meira Filho LG, Callander BA, Harris N, Kattenberg A, Maskell K, editors. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 1996.
17. Polprasert C, Chaiyachet Y. Biological potential-A Concept for Sustainable Development Based on A carbon-Balanced Model. Proceedings of GMSARN International Conference on Sustainable Development: Challenges and Opportunities for GMS 2007; December 12-14, 2007; Pattaya, Thailand. 2007.
18. Patthanaissaranukool W, Polprasert C, Englande AJ. Potential reduction of carbon emission from crude palm oil production based on energy and carbon balances. Applied Energy 2013; 102(2): 710-7.
19. Garner A, Keoleian GA. Industrial Ecology: An Introduction. USA: National Pollution Prevention Center for Higher Education University of Michigan; 1995.
20. Wang LK. Industrial ecology. In Encyclopedia of Life Support System: Hazardous waste Management. In: Grasso D, Vogel T, Smets B, editors. London: Eolss Publishers Co., Ltd.; 2003.
21. Cohen-Rosenthal E. What is eco-industrial development? Work and Environment Initiative. Cornell University, USA: Greenleaf Publishing; 2003.
22. Seuring S, Sarkis J, Müller M, Rao P. Sustainability and supply chain management – An introduction to the special issue. Journal of Cleaner production.2008; 16(5): 1545–51.
23. Ninlawan C, Seksan P, Tossapol K, Pilada W, The Implementation of Green Supply Chain Management Practices in Electronic Industry. International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists; March 17-19, 2010; Hong Kong. 2010.
24. Dheeraj N, Vishal N. An Overview of Green Supply Chain Management in India. Research Journal of Recent Sciences 2012; 6: 77-82.