

บทที่

# 3

ก้าวสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมยางธรรมชาติของประเทศไทยอย่างยั่งยืน  
ด้วยคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

**Towards Sustainable Natural Rubber Industry in Thailand  
with Carbon Footprint and Water Footprint**

วาริท เจาะจิตต์

*Warit Jawjit*

บทที่

3

ก้าวสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมยางธรรมชาติของประเทศไทยอย่างยั่งยืน  
ด้วยคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์  
Towards Sustainable Natural Rubber Industry in Thailand  
with Carbon Footprint and Water Footprint

วาริท เจาะจิตต์<sup>1</sup>

Warit Jawjit

บทที่ 3

## บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติอันดับหนึ่งของโลก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 โดยปัจจุบันในการค้าระหว่างประเทศนอกเหนือจากเรื่องคุณภาพ มาตรฐานของผลิตภัณฑ์แล้ว ตลาดโลกและผู้บริโภคยังมีความต้องการทราบถึงข้อมูลการดำเนินงานทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้น เพื่อให้มีความมั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาตินั้นมีความปลอดภัย มีกระบวนการผลิตที่รับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งแนวโน้มเหล่านี้ทำให้ผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติของไทยต้องปรับตัวมุ่งสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมยางธรรมชาติอย่างยั่งยืน เพื่อรักษาความเป็นผู้นำการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติต่อไป บทความวิชาการเรื่องนี้นำเสนอเรื่องการนำ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นเครื่องมือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมยางธรรมชาติของไทย โดยคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นการประเมินถึงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ขณะที่วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นการประเมินถึงปริมาณการใช้น้ำตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยนำเสนอหลักการพื้นฐานของการประเมินวัฏจักรชีวิต ขอบเขตการศึกษา และหลักการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ อภิปรายการเกิดขึ้นของก๊าซเรือนกระจกและการใช้น้ำในแต่ละระยะของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ รวมถึงอุปสรรค และโอกาสของการนำคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์และอุตสาหกรรมยางธรรมชาติของไทย

คำสำคัญ : คาร์บอนฟุตพริ้นท์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ การประเมินวัฏจักรชีวิต  
ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ

<sup>1</sup> อาจารย์ประจำ หลักสูตรอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาสหเวชศาสตร์และสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ต.ไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80161 โทร. 075-672184 e-mail: warit.ja@wu.ac.th, jwarit@gmail.com

## Abstract

Thailand has been the world's largest natural rubber (NR) producer since 1994. Since NR products were being exported to the international market, the requirement of information on sustainable production had been becoming inevitable. To maintain on leadership position of NR producer, it has been therefore challenging for Thai rubber entrepreneurs to seek for appropriate measures to produce environmentally friendly rubber products. This academic paper presented the application of Carbon Footprint (CF) and Water Footprint (WF) as tools for improving environmental performance of Thai natural rubber industries. Both Carbon Footprint and Water Footprint are based on principle of Life Cycle Assessment (LCA) for quantifying greenhouse gases emissions and water consumption, respectively. Scopes of the study and calculation principle of these two footprints are presented. Related studies on greenhouse gases emission and water consumption associated with natural rubber production were reviewed, whereas discussions on threats and opportunities of application Carbon Footprint and Water Footprint on Thai natural rubber industry were also presented.

**Key words :** Carbon Footprint, Water Footprint, Life Cycle Assessment, Natural Rubber Product

## บทนำ

อุตสาหกรรมยางธรรมชาติของประเทศไทย เป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญ ทั้งในแง่ของของสร้างรายได้เข้าสู่ประเทศ และการจ้างงานของแรงงาน โดยปัจจุบัน การส่งออกผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติสามารถทำรายได้เข้าสู่ประเทศปีละประมาณ 3 แสนล้านบาท ประเทศไทยก้าวขึ้นสู่การเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติอันดับหนึ่งของโลก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 โดยมีตลาดการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่สำคัญได้แก่ ยุโรป อเมริกา และจีน ซึ่งนอกเหนือจากเรื่องมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์แล้ว ในปัจจุบันตลาดการค้าโลกและผู้บริโภคยังให้ความสำคัญในเรื่องของข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมอย่างรุนแรงของโลกในปัจจุบันที่ส่งผลกระทบต่อให้เห็นชัดเจนเป็นรูปธรรม

มากขึ้นเรื่อยๆ ยิ่งเป็นเรื่องที่เสริมสร้างและผลักดันให้ตลาดโลกและผู้บริโภคต้องการผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีความปลอดภัยกับผู้บริโภค ดังจะเห็นได้จากการเริ่มนำมาตรการต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องในการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น ข้อกำหนด REACH ของสหภาพยุโรปที่ว่าด้วยเรื่องการควบคุมสารเคมีที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม ระเบียบ EuP (Energy using Product) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อวางกรอบ ในการออกข้อกำหนดการออกแบบ เครื่องนิเวศเศรษฐกิจสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลังงานให้เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั่วสหภาพยุโรป โดยการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม รวมถึงมาตรฐานที่อุตสาหกรรมนำมาใช้ในช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้วอย่าง ISO 14001 ซึ่งถึงแม้ระเบียบและมาตรฐานเหล่านี้เป็นการดำเนินการด้วยความสมัครใจ และไม่ได้มีผลบังคับทางกฎหมายในประเทศไทย แต่ผู้ผลิตอุตสาหกรรมยางธรรมชาติไม่สามารถนิ่งเฉยและไม่ได้ให้ความสำคัญในการศึกษาประเด็นสิ่งแวดล้อมได้อีกต่อไป เพราะจะเป็นประเด็นที่มีผลต่อการค้าระหว่างประเทศเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในอนาคต ซึ่งคู่แข่งทางการค้าสามารถใช้ข้อมูลเกี่ยวกับประเด็นสิ่งแวดล้อมมาเป็นข้อกีดกันทางการค้าได้

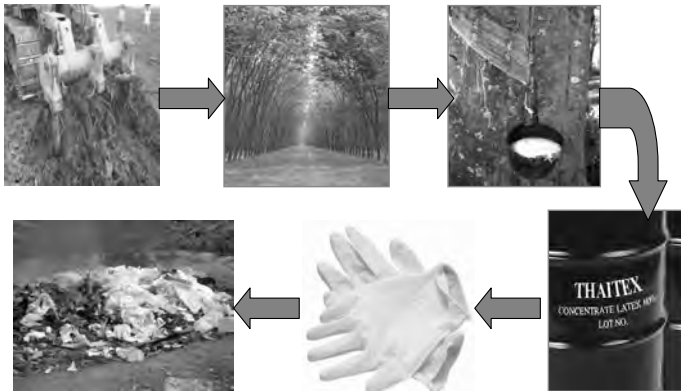
ผลงานทางบทความวิชาการเรื่องนี้นำเสนอการนำ คาร์บอนฟุตพริ้นท์<sup>2</sup> (Carbon Footprint: CF) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint: WF) มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นเครื่องมือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมยางธรรมชาติของไทย โดย คาร์บอนฟุตพริ้นท์ เป็นการประเมินถึงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ขณะที่วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นการประเมินถึงปริมาณการใช้น้ำตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ทั้งคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ นับได้ว่าเป็นเครื่องมือการจัดการสิ่งแวดล้อมใหม่ที่ผู้ผลิตอุตสาหกรรมยางธรรมชาติควรให้ความสนใจ เพื่อนำมาใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ในแง่มุมมองของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการใช้น้ำ ซึ่งหากผู้ประกอบการมีข้อมูลเหล่านี้นอกจากจะสามารถใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานทางสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีของอุตสาหกรรมที่เป็นผู้ผลิตที่ใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจในตลาดโลกได้อีกทางหนึ่งด้วย

<sup>2</sup>นักวิชาการบางท่านแปลคำว่า “ฟุตพริ้นท์ (Footprint)” เป็นภาษาไทยว่า “รอยเท้า” หรือ “รอยย่ำ” แต่ในบทความวิชาการนี้จะใช้คำว่า “ฟุตพริ้นท์” เพราะเป็นคำที่ใช้กันอย่างสากลและเข้าใจทั่วกัน แม้แต่ในประเทศไทย หน่วยงานที่รับผิดชอบโดยตรงอย่างองค์การอาหารและยารักษาโรค (อย.ค.) ก็ใช้ทับศัพท์ภาษาอังกฤษว่า “คาร์บอนฟุตพริ้นท์”

## การประเมินวัฏจักรชีวิต และ ฟุตพริ้นท์ทางสิ่งแวดล้อม

**การประเมินวัฏจักรชีวิต** การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ อยู่บนพื้นฐานของหลักการ “การประเมินวัฏจักรชีวิต” หรือ LCA (Life Cycle Assessment) ซึ่งตามคำจำกัดความในมาตรฐาน ISO 14040 หมายถึง “การประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากร มลสารที่เกิดขึ้น และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ หรือ บริการ ตั้งแต่ขั้นตอนการสกัดวัตถุดิบ แปรรูปวัตถุดิบ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้ การบำรุงรักษา จนถึงการกำจัดทิ้ง หรือ การนำกลับมาใช้ใหม่” (ISO, 2006) หรือ สามารถสรุปสั้น ๆ ได้ว่าเป็นการศึกษา ตั้งแต่การเกิดขึ้น หรือ การได้มาของผลิตภัณฑ์<sup>3</sup> จนถึงจุดสิ้นสุดของผลิตภัณฑ์ โดยมีการเปรียบเทียบให้เห็นภาพของ LCA ว่าเป็นการศึกษาแบบ Cradle to Grave (Cradle หมายถึง เปลของเต็ก่อนเปรียบเทียบกับ การเกิดขึ้น ส่วน Grave แปลว่า หลุมฝังศพ เปรียบเทียบได้กับการตาย หรือ สิ้นสุด) ในภาพที่ 1 ได้ยกตัวอย่างการประเมินทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ถุงมือแพทย์ โดยการประเมินพิจารณาครอบคลุม ตั้งแต่ การเตรียมพื้นที่ปลูกยาง การเพาะต้นกล้ายางพารา การปลูกและดูแลรักษาต้นยางพารา การกรีดยาง การขนส่งน้ำยางดิบ การผลิตน้ำยางข้น การขนส่งน้ำยางข้น การผลิตถุงมือแพทย์ การขนส่งและจำหน่ายถุงมือแพทย์ การใช้ถุงมือแพทย์ และสุดท้ายคือการกำจัดถุงมือแพทย์ (สำหรับผลิตภัณฑ์ยางประเภทอื่น ๆ เช่น ยางรถยนต์ ที่ยังสามารถนำมา reuse และ recycle ได้ ก็จะมีการพิจารณาขั้นตอนเหล่านั้นร่วมด้วย)

บทที่ 3



ภาพที่ 1 การประเมินโดยพิจารณาทั้งวัฏจักรชีวิตของ ถุงมือแพทย์

<sup>3</sup> ในทางปฏิบัติการประเมิน LCA นั้นมีการประเมินทั้ง ผลิตภัณฑ์และบริการ (Product and Service)

การประเมินทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จะช่วยให้มองเห็นถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ครอบคลุมหมดตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ไม่มองข้ามช่วงใดช่วงหนึ่ง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนจุดที่เกิดปัญหา (problem shifting) (Finnveden et al., 2009) เช่น การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มหากพิจารณาเฉพาะช่วงที่มีการเผาไหม้ใช้ในรถยนต์ อาจสรุปได้ว่าเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าน้ำมันดีเซลธรรมดาเนื่องจากมีปริมาณมลสารน้อยกว่า แต่เมื่อมองย้อนไปถึงการได้มาซึ่งน้ำมันปาล์มที่นำมาผลิตไบโอดีเซลนั้น หากได้มาจากการทำลายพื้นที่ป่าฝนเขตร้อนเพื่อปลูกต้นปาล์มน้ำมัน ก็ไม่อาจกล่าวได้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลนี้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง ในลักษณะเช่นเดียวกัน หากมีการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ จากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ต้นทางการได้มาของน้ำยางสดมาจากสวนยางที่บุกรุกป่าธรรมชาติ ก็คงไม่อาจกล่าวได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติเพื่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

**ฟุตพริ้นท์ หรือ รอยเท้าทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Footprint)**  
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้หลักการของ “ฟุตพริ้นท์” นั้น เริ่มมีการนำมาใช้เมื่อประมาณ 2 ทศวรรษที่ผ่านมา โดยความหมายของ รอยเท้าทางสิ่งแวดล้อม หรือ ฟุตพริ้นท์ทางสิ่งแวดล้อม นั้นหมายถึง “การประเมินเชิงปริมาณของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์” (Cucek et al., 2012) การที่นักวิทยาศาสตร์ใช้คำว่า ฟุตพริ้นท์ หรือ รอยเท้า นั้นเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นว่าในทุกขณะที่มนุษย์ก้าวเดินเพื่อทำกิจกรรมใดใดนั้น ล้วนมีส่วนเกี่ยวข้องกับ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยหากพิจารณาถึงผลิตภัณฑ์ใดใด (อาทิเช่น ยางรถยนต์) ก็จะเป็นการประเมินว่ากว่าที่จะได้มาเป็นยางรถยนต์หนึ่งเส้นนั้น มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากน้อยอย่างไรตลอดเส้นทาง หรือ วัฏจักรชีวิตของการผลิตยางรถยนต์ ฟุตพริ้นท์ทางสิ่งแวดล้อมชนิดแรกๆ ที่เริ่มมาใช้ ได้แก่ รอยเท้าทางนิเวศ หรือ Ecological Footprint (EF) ซึ่งเป็นการประเมินถึงความต้องการของพื้นที่ (ทั้งบนบกและในน้ำ) ที่มนุษย์ต้องการเพื่อใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในการดำรงชีวิตอยู่ และเป็นการประเมินเปรียบเทียบปริมาณการใช้ทรัพยากร และการปลดปล่อยของเสีย

ของมนุษย์ เปรียบเทียบกับความสามารถของระบบนิเวศของโลกที่จะสามารถฟื้นฟูขึ้นมาใหม่ได้ (Wackernagel and Rees, 1997; GFN, 2012) หน่วยของรอยเท้านิเวศเป็นหน่วยของพื้นที่ (เช่น ไร่, เฮกตาร์) หรือ หน่วยของพื้นที่ต่อคน เพื่อสะท้อนให้เห็นว่ากิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์นั้น เมื่อเทียบเป็นพื้นที่ในโลกแล้ว มนุษย์ใช้พื้นที่ไปมากน้อยเท่าไร อย่างไรก็ตามสำหรับการประเมินการดำเนินงานทางสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมนั้น Ecological Footprint อาจไม่ใช่ตัวเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นดัชนีที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับประเมินภาพกว้างระดับประเทศ ภูมิภาค หรือระดับโลก และการที่พิจารณาในหน่วยของพื้นที่ ไม่สามารถสะท้อนการดำเนินงานทางสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมได้ชัดเจนเท่าใดนัก นอกเหนือจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ที่จะกล่าวถึงโดยละเอียดในบทความวิชาการนี้แล้ว ปัจจุบันมีการทยอยพัฒนาฟุตพริ้นท์อื่นๆ ที่ใช้เป็นตัวดัชนีชี้วัดการดำเนินงานทางสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นเช่น Nitrogen Footprint ที่เน้นประเมินเรื่องไนโตรเจน (N-Footprint, 2012) Energy Footprint ที่เน้นการประเมินเรื่องพลังงาน (GFN, 2012) Land Use Footprint ที่ประเมินการใช้ประโยชน์ของที่ดิน (Cucek et al., 2012)

## คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint: CF)

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ หมายถึง “ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วย ตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle) ของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน โดยคำนวณออกมาอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ( $\text{CO}_2$ -equivalent หรือ  $\text{CO}_2$ -eq)” (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2555) โดยเหตุผลที่ใช้หน่วยเทียบเท่ากับ  $\text{CO}_2$  นั้น เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกมีหลายชนิด และแต่ละชนิดมีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ไม่เท่ากัน จึงใช้  $\text{CO}_2$  เป็นก๊าซเรือนกระจกอ้างอิงเมื่อเทียบกับก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ โดยในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงก๊าซเรือนกระจก 6 ชนิด (ตามที่ควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโต) ซึ่งใช้ในการคำนวณคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ และค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนที่แตกต่างกัน

**ตารางที่ 1** ก๊าซเรือนกระจก 6 ชนิดที่ใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และ  
 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก	สูตรเคมี	ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (GWP) เมื่อเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์*
คาร์บอนไดออกไซด์	CO <sub>2</sub>	1
มีเทน	CH <sub>4</sub>	25
ไนตรัสออกไซด์	N <sub>2</sub> O	298
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน	HFCs	77-14,800
เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน	PFCs	7,390 - 12,200
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์	SF <sub>6</sub>	22,800

\* อ้างอิงจาก IPCC (2006) ที่ช่วงระยะเวลา 100 ปี

จากตารางที่ 1 สามารถยกตัวอย่างในกรณีของมีเทน อธิบายได้ว่า CH<sub>4</sub> 1 โมเลกุล มีศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนเทียบเท่ากับ CO<sub>2</sub> 25 โมเลกุล หรือ การปล่อย N<sub>2</sub>O เพียง 1 โมเลกุล มีศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนเทียบเท่ากับ CO<sub>2</sub> ถึง 298 โมเลกุล

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ หรือการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ 1) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (direct emission) คือ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ ในพื้นที่หรือบริเวณที่มีกิจกรรมต่างๆ นั้นเกิดขึ้น เช่น การเผาไหม้ น้ำมันดีเซลในรถขนส่งน้ำยางสด หรือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ เพื่อให้เกิดความร้อนในการอบยางแท่ง หรือ ยางแผ่นรมควัน ซึ่งก๊าซเรือนกระจกจะถูกปลดปล่อยออกมาโดยตรงจากเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านั้น และ 2) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (indirect emission) คือ ก๊าซเรือนกระจกที่ไม่ได้ถูกปลดปล่อยโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ แต่เกิดขึ้นในพื้นที่หรือบริเวณอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมนั้นๆ เช่น การใช้ไฟฟ้าในการปั่นเหวี่ยงเพื่อผลิตน้ำยางข้น ก๊าซเรือนกระจกไม่ได้ถูกปลดปล่อยออกมาระหว่างที่มีการใช้ไฟฟ้า แต่ก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นที่โรงไฟฟ้าที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ เพื่อผลิตไฟฟ้า โดยทั้งนี้รวมถึงก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตวัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางด้วย เช่น กระบวนการผลิตแอมโมเนีย



การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์โดยทั่วไป จะนิยมคิดเทียบเท่ากับหน่วย ของผลิตภัณฑ์ (Functional unit) ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ เช่น คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของน้ำยางชั้น 1 ตัน หรือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของถุงมือแพทย์ 1 กล่อง (มีความเหมาะสมกว่าการคิดต่อถุงมือแพทย์ 1 ชิ้น) โดยการคำนวณใช้หลักการตามสมการ ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kg CO}_2\text{-eq)} \\ & = \text{ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (Activity) x ตัวคูณการปลดปล่อย} \\ & \text{มลสาร (Emission factor) (1)} \end{aligned}$$

โดยข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ กิจกรรมต่างๆที่ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งทางตรง และทางอ้อม เช่น ปริมาณก๊าซ LPG ที่ใช้ในการอบยาง หรือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยข้อมูลกิจกรรมเหล่านี้ได้มาจากการตรวจวัด และเก็บข้อมูลโดยตรง ส่วนตัวคูณการปลดปล่อยมลสาร หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า Emission factor นั้น เป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมกับการเกิดก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ จากกิจกรรมนั้น เช่น การใช้ไฟฟ้า มี Emission factor เท่ากับ 0.561 kg CO<sub>2</sub>-eq/ kWh หมายความว่า หากใช้ไฟฟ้า 1 kWh จะทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก 0.561 kg CO<sub>2</sub>-eq ดังนั้น หากทราบปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตต่างๆก็สามารถนำมาคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ ซึ่ง Emission factor สามารถหาได้จากการตรวจวัดโดยตรง หรือหาได้จากค่าที่หน่วยงาน/ องค์กรต่างๆรวบรวมไว้ เช่น องค์กรการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก<sup>4</sup> ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)<sup>5</sup> ซึ่งในขณะนี้มีการพัฒนา Emission factor ที่เป็นของประเทศไทยเองเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ แต่ในบางกิจกรรมที่ไม่มี Emission factor ที่พัฒนาสำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะ ก็สามารถใช้อ Emission factor จากองค์กรต่างประเทศที่น่าเชื่อถือได้ เช่น IPCC<sup>6</sup>

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า หน่วยของปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์คือ CO<sub>2</sub>-eq ดังนั้น ในบางกรณีที่ค่าของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในหน่วยของก๊าซนั้นๆ ต้องเปลี่ยนหน่วยให้อยู่ในรูปของ CO<sub>2</sub>-eq เสียก่อน โดยนำมาคูณกับค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (GWP) ของก๊าซนั้นๆ (ตารางที่ 1) ตัวอย่างเช่น กิจกรรม

<sup>4</sup> www.tgo.or.th

<sup>5</sup> www.mtec.or.th

<sup>6</sup> www.ipcc.ch

บำบัดน้ำเสียในโรงงานยางแห่งหนึ่งทำให้เกิดก๊าซ  $\text{CH}_4$  เท่ากับ 10 kg  $\text{CH}_4$  (ค่าสมมติ) สามารถเปลี่ยนหน่วยจาก kg  $\text{CH}_4$  เป็น kg  $\text{CO}_2$ -eq ได้โดยนำมาคูณกับค่า GWP ของ  $\text{CH}_4$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ 25 ทำให้ได้ค่าออกมาเป็น 250 kg  $\text{CO}_2$ -eq

### ขอบเขตของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถดำเนินการได้ใน 2 ขอบเขตหลักคือ

1) แบบ Business-to-Consumer (B2C) หรือ Cradle to Grave เป็นการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในกรณีของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติก็จะพิจารณาตั้งแต่ การเพาะต้นกล้าจนถึงการกำจัดผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ต้องการติดตามคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต้องประเมินในขอบเขตนี้

2) แบบ Business-to-Business (B2B) หรือ Cradle to Gate/ Gate to Gate เป็นการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบจนถึงได้ผลิตภัณฑ์ที่พร้อมส่งออกจากโรงงาน หรือ พิจารณาตั้งแต่ประตูเข้าโรงงานจนถึงประตูออกโรงงาน เช่น การพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโรงงานการผลิตน้ำยางชั้น

### คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่ครบถ้วนนั้น ต้องพิจารณาทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น โดยในส่วนของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติสามารถแบ่งพิจารณาได้เป็น 4 ระยะตามวัฏจักรชีวิต ดังนี้ 1) ระยะการปลูกยางพารา 2) ระยะการผลิตผลิตภัณฑ์ยางชั้นต้น 3) ระยะการผลิตผลิตภัณฑ์ยางชั้นสุดท้าย และ 4) ระยะการใช้ การกำจัด การนำมาใช้ใหม่

#### 1) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะการปลูกยางพารา

ระยะของการปลูกยางพารามีกิจกรรมหลักที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งต้องนำมาประเมิน ได้แก่ 1) การใช้ น้ำมันในรถไถ รถแทรกเตอร์ในการเตรียมพื้นที่ในการเพาะปลูก (หากพื้นที่ใดใช้การเผาเศษซากไม้เพื่อเตรียมพื้นที่ก็ต้องนำมาประเมินรวมด้วย) การเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกขึ้นโดยตรง 2) การใช้ปุ๋ย โดยในกรณีของปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซ  $\text{N}_2\text{O}$  ขึ้น (Mosier *et al.*, 1998) ซึ่งก๊าซ  $\text{N}_2\text{O}$  ถือว่ามีบทบาทสำคัญในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกยางพารา (Jawjit *et al.*, 2010)

เช่นเดียวกับที่มีบทบาทสำคัญในการปลูกปาล์มน้ำมัน (Reijnders and Huijbregts, 2008) โดยสามารถอธิบายได้ว่า ถึงแม้ปริมาณการปลดปล่อยในรูปก๊าซ  $N_2O$  จะมีปริมาณไม่มาก แต่เมื่อคิดเทียบค่าศักยภาพการทำให้เกิดโลกร้อนในหน่วย  $CO_2$ -eq จะมีค่าสูงชันกว่าเดิมมาก เนื่องจากค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (GWP) ของ  $N_2O$  มีค่าสูงถึง 298 เท่า เมื่อเทียบกับ  $CO_2$  (ตารางที่ 1) 3 ขั้นตอนการผลิตน้ำมัน การผลิตปุ๋ย การผลิตสารเคมีปราบศัตรูพืช และวัตถุดับอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งขั้นตอนนี้ก๊าซเรือนกระจกไม่ได้เกิดขึ้นที่พื้นที่การปลูกยางพารา แต่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตวัตถุดิบเหล่านี้ ซึ่งจากการวิจัยของ Jawjit *et al.* (2010) พบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาในระหว่างการปลูกยางพารานั้น มีที่มาจากกระบวนการผลิตวัตถุดิบถึงประมาณ 60%

ในระยของการปลูกยางพารานั้น นอกเหนือจากกิจกรรมที่กล่าวมาแล้วด้านบน ปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง/ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้แก่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) ในการเลือกพื้นที่ปลูกยางพารา ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกักเก็บคาร์บอน หรือ Carbon stock ในกรณีที่เป็นการปลูกยางพาราซ้ำในพื้นที่เดิม ถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง Carbon stock (IPCC, 2004) แต่ในกรณีที่เป็นการปลูกในพื้นที่ใหม่ที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินไปจากเดิม ต้องมีการพิจารณาว่า Carbon stock ของพื้นที่เดิม มากกว่าหรือน้อยกว่า เมื่อปลูกยางพารา เช่น การมีการเปลี่ยนแปลงป่าธรรมชาติมาปลูกยางพารา จะทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณคาร์บอน เพราะป่าธรรมชาติมี Carbon stock สูงกว่า การปลูกยางพารา (Gnanavelrajah *et al.*, 2008; Reijnders and Huijbregts, 2008) แต่หากเป็นกรณีที่มีการเปลี่ยนพื้นที่เพาะปลูกอ้อย หรือ มันสำปะหลัง มาปลูกยางพารา ก็จะทำให้มี Carbon stock เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการปลูกอ้อย และมันสำปะหลังมี Carbon stock ต่ำกว่ายางพารา (Gnanavelrajah *et al.*, 2008) ดังนั้น การเลือกพื้นที่ปลูกยางพาราใหม่ จึงต้องควรคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ด้วย โดยเฉพาะโครงการของรัฐบาล ในการส่งเสริมการปลูกยางพาราในพื้นที่ปลูกใหม่ในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย อย่างไรก็ตามในขณะนี้การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินสำหรับประเทศไทย ยังไม่กำหนดให้นำมาคำนวณเนื่องจากยังไม่มีข้อมูลที่สมบูรณ์ แต่ในอนาคตจะมีการนำประเด็นนี้มาพิจารณาร่วมด้วย (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2552)

## 2) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์ยางขั้นต้น

กิจกรรมที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์ยางขั้นต้น สามารถเริ่มพิจารณาได้จาก 1) การรักษาสภาพ และการแปรรูปน้ำยางสด โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการใช้สารเคมี เช่น แอมโมเนีย ในการรักษาสภาพของน้ำยางสด หรือในกรณีที่เกษตรกรทำยางแผ่น ก็จะมีการใช้กรดซัลฟิวริกเพื่อจับตัว และมีการใช้ไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรในการทำแผ่นยาง ในขั้นตอนเหล่านี้ก๊าซเรือนกระจกไม่ได้เกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีการทำกิจกรรม แต่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า และกระบวนการผลิตวัตถุดิบต่างๆ เช่น แอมโมเนีย กรดซัลฟิวริก และสารเคมีอื่น ๆ

2) การขนส่งน้ำยางสด/ ยางแผ่น ในขั้นตอนนี้ก๊าซเรือนกระจกจะเกิดขึ้นโดยตรงจากการเผาไหม้ น้ำมันในรถที่บรรทุกน้ำยางสด/ ยางแผ่น ไปส่งยังพ่อค้าคนกลาง หรือ โรงงาน 3) กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางขั้นต้น ผลิตภัณฑ์ยางขั้นต้น ประกอบไปด้วย 3 ผลิตภัณฑ์หลัก ได้แก่ น้ำยางข้น ยางแท่ง และยางแผ่นรมควัน ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันไป ซึ่งกิจกรรมหลักที่ต้องมีการเก็บข้อมูลไว้เพื่อการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์นั้น ได้แก่ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการผลิต ชนิดและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ ปริมาณและลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นรวมถึงระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ การจัดการขยะและของเสียที่เหลือจากการผลิต ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น ซึ่งจากการศึกษาของ Jawjit *et al.* (2010) พบว่าสำหรับการผลิตน้ำยางข้น แหล่งที่มาสำคัญของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกคือ การใช้ไฟฟ้าสำหรับเครื่องปั่นเหวี่ยง ส่วนการผลิตยางแท่งมีแหล่งที่มาของก๊าซเรือนกระจกคือ การใช้ไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรกล และการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตความร้อน (พงษวีภา และ คณะ, 2551) ในขณะที่การเผาไหม้เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตยางแผ่นรมควันนั้น ประเด็นที่น่าสนใจคือ หากใช้ชีวมวล เช่น เศษไม้ยางพารา กะลาปาล์ม เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้เกิดความร้อนนั้น ปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่นับรวมว่าเป็นก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากถือว่าชีวมวลเหล่านี้ครั้งหนึ่งเคยดูดซับ CO<sub>2</sub> เอาไว้ในเนื้อไม้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (IPCC, 2004)

## 3) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์ยางขั้นสุดท้าย

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ยางขั้นสุดท้ายมีมากมายหลากหลายชนิด ดังนั้นกิจกรรมที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกก็จะแตกต่างกันไปตามกระบวนการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ สำหรับกิจกรรมหลักที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า และการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตความร้อน อาทิเช่น การใช้พลังงานความร้อนในการอบแห้งยางอนามัย ถุงมือแพทย์ หรือการใช้ไฟฟ้า ไอน้ำ ในการผสมยาง ออกหน้ายาง อบล้อยาง ในการผลิตยางรถยนต์ ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า ชนิดและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ใช้ รวมถึงการจัดการน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสีย การจัดการขยะและของเสียที่เหลือจากการผลิต เพื่อเป็นข้อมูลนำมาใช้ในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งนอกเหนือจากกิจกรรมการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตแล้ว การขนส่งผลิตภัณฑ์ก็นับเป็นอีกกิจกรรมหนึ่งที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

4) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะการใช้ การกำจัด และการนำกลับมาใช้ใหม่

โดยทั่วไปแล้วระยะของการใช้ผลิตภัณฑ์ยางจะไม่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ยกเว้นบางผลิตภัณฑ์ที่ขณะใช้งานเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์หรือกิจกรรมที่ทำให้เกิดมลพิษ เช่นยางรถยนต์ ที่มีส่วนทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ขณะที่รถวิ่งก็ต้องมีการนำมาประเมินร่วมด้วย (พงษวิภา และ คณะ, 2551) และเมื่อมีการสิ้นสุดการใช้ผลิตภัณฑ์แล้ว ผลิตภัณฑ์ยางบางประเภทสามารถนำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ เช่น ยางรถยนต์ แต่ผลิตภัณฑ์ยางบางประเภทเมื่อใช้เสร็จไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ต้องทิ้งเพื่อนำไปกำจัด เช่น ถุงยางอนามัย ถุงมือแพทย์ ในกรณีของการรีไซเคิลนั้น ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการรีไซเคิลต้องนำมาพิจารณาในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซกระจกด้วย ส่วนในกรณีของการกำจัดนั้น ต้องพิจารณาว่าใช้วิธีใดในการกำจัดผลิตภัณฑ์ยาง (การเผาในเตาเผาขยะ, การเผาในที่โล่ง, การฝังกลบ) ซึ่งแต่ละวิธีของการกำจัดก็จะให้ผลในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแตกต่างกัน

## วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint: WF)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ คือ ปริมาณการใช้น้ำและปริมาณของน้ำเสียที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาทั้งการใช้น้ำโดยตรง (direct use) และการใช้น้ำทางอ้อม (indirect use) โดยหน่วยของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ (เช่น ลูกบาศก์เมตร ( $m^3$ )) ต่อ หน่วยของเวลา หรือ หน่วยของผลิตภัณฑ์ (functional unit) (Hoekstra, 2009) นอกจากการใช่วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์แล้วยังสามารถใช้เพื่อการประเมินปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับกิจกรรมบริการ หน่วยงาน องค์กร

รวมถึงการใช้งานของเมือง จังหวัด และประเทศ สำหรับการศึกษาเรื่องวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของประเทศไทยเอง ยังถือว่าอยู่ในช่วงเริ่มต้นเช่นกัน โดยมีรายงานของการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์บางประเภท เช่น การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง (ชินาธิปกรณ และ อารังรัตน์, 2554) การผลิตไบโอเอทานอลจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลัง (อาวีวรรณ, 2553) สำหรับการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางนั้น ขณะนี้ (พฤศจิกายน 2555) อยู่ในระหว่างการดำเนินการในโครงการวิจัย “การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการปลูกยางพาราในพื้นที่แห่งใหม่ของภาคใต้” โดยการศึกษาาร่วมกันของ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ และมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

1) ประเภทของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่วอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท (Chapagain and Hoekstra, 2011) ดังนี้

1.1) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (Blue Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้จากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งจากน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน เพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์และบริการ

1.2) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (Green Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำจากน้ำฝนที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์และบริการ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไปเพื่อการเจริญเติบโตของพืช

1.3) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Gray Water Footprint) คือ ปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อเจือจางน้ำเสียที่เกิดขึ้นให้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถปล่อยทิ้งสู่ธรรมชาติได้ ซึ่งอีกนัยหนึ่งเป็นการบอกถึงปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นและปล่อยทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม

2) ขอบเขตของการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ขอบเขตของการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่อยู่บนหลักการของการประเมินทั้งวัฏจักรชีวิตเช่นเดียวกันกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

3) การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในปัจจุบันดำเนินการตามคู่มือการประเมิน Water Footprint ชื่อ “The Water Footprint Assessment Manual” (Hoekstra *et al.*, 2011) ซึ่งมีรายละเอียดหลากหลายขั้นตอน โดยพอจะสรุปหลักการคำนวณพอสังเขปดังนี้

3.1) การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ช่วงระยะการปลูกยางพารา

$$\text{ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม} = \text{Blue WF} + \text{Green WF} + \text{Gray WF} \quad (2)$$

โดย

$$\text{Blue WF} = \text{CWU}_{\text{BLUE}} / Y \quad (3)$$

$$\text{Green WF} = \text{CWU}_{\text{GREEN}} / Y \quad (4)$$

โดย

$$\text{CWU}_{\text{GREEN}} = \text{ปริมาณการใช้น้ำสีเขียว (Green water) ในการปลูกยางพารา (m}^3\text{/ไร่)}$$

$$\text{CWU}_{\text{BLUE}} = \text{ปริมาณการใช้น้ำสีน้ำเงิน (Blue water) ในการปลูกยางพารา (m}^3\text{/ไร่)}$$

$$Y = \text{ผลผลิต (yield) ของการปลูกยางพารา (ตัน/ไร่)}$$

ส่วน *Gray WF* ประเมินจากอัตราการใช้สารเคมีต่อพื้นที่เพาะปลูก (*AR*, กิโลกรัม/ไร่) กับสัดส่วนการชะล้าง ( $\alpha$ ) ทหารด้วยผลต่างของค่าสูงสุดที่ยอมรับได้กับค่าความเข้มข้นที่อยู่เดิมในธรรมชาติ ( $c_{\text{max}}, \text{kg/m}^2 - c_{\text{nat}}, \text{kg/m}^3$ ) และจึงหารด้วยผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก ดังสมการ

$$\text{Gray WF} = [(\alpha \times \text{AR}) / (c_{\text{MAX}} - c_{\text{NAT}})] / Y \quad (5)$$

โดย

$$\alpha = \text{สัดส่วนของการชะล้าง (leaching: run-off fraction)}$$

$$\text{AR} = \text{อัตราการใช้สารเคมีในพื้นที่ปลูกยางพารา (กิโลกรัม/ไร่)}$$

$$c_{\text{MAX}} = \text{ระดับความเข้มข้นของมลสารสูงสุดที่ยอมรับได้ในแหล่งน้ำ (กิโลกรัม/ m}^3\text{)}$$

$$c_{\text{NAT}} = \text{ระดับความเข้มข้นของมลสารในแหล่งน้ำ (กิโลกรัม/ m}^3\text{)}$$

### 3.2) การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง

โดยทั่วไปในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ จะมีผลิตภัณฑ์หลักเพียงชนิดเดียว (One output product) จึงใช้หลักการคิดแบบ The Chain-summation approach คือ การคิด WF ของแต่ละกระบวนการผลิต (Process) มารวมกัน ดังสมการที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{WF prod [p]} = \frac{\sum_{s=1}^k \text{WFproc[s]}}{P[p]} \quad (6)$$

โดย

WF prod [p] = Water Footprint ของผลิตภัณฑ์ยาง p ( $\text{m}^3/\text{ton}$ )

WF proc [s] = Water Footprint ของกระบวนการผลิต s ( $\text{m}^3/\text{เวลา}$ )

P [p] = ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ยาง p ( $\text{ton}/\text{เวลา}$ )

แต่ในกรณีที่มีหลายผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตเดียวกัน ต้องใช้หลักการคำนวณแบบ The Stepwise accumulative approach (ดูรายละเอียดที่ (Hoekstra et al., 2011))

#### 4) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติสามารถแบ่งการพิจารณาออกได้เป็น 2 ระยะหลัก คือ 1) ระยะการปลูกยางพารา (ภาคเกษตรกรรม) และ 2) ระยะการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ (ภาคอุตสาหกรรม) (ทั้งการผลิตยางขั้นต้นและผลิตภัณฑ์ยางขั้นสุดท้าย) ในระยะของการปลูกยางพารานั้น วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้ง 3 ชนิด (สีน้ำเงิน, สีเขียว และ สีเทา) มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมด โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินประเมินได้จากปริมาณน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน รวมถึงระบบน้ำชลประทานที่ใช้ในการปลูกยางพารา ส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวประเมินได้จากปริมาณน้ำฝนในรูปความชื้นในดินที่ต้นยางพาราดูดไปใช้ในการเจริญเติบโต และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาประเมินได้จากปริมาณน้ำที่ต้องใช้เจือจางน้ำเสียที่เกิดจากการชะล้างปุ๋ย สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการปลูกยางพารา เนื่องจากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ใช้ในการปลูกยางพารานั้นเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของยางพารา ดังนั้นจึงต้องการข้อมูลจากหลายภาคส่วนมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกันเพื่อสามารถคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของยางพารา โดยข้อมูลที่ต้องใช้ประกอบ อาทิเช่น ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน ชนิดพันธุ์ยางพารา วิธีการปลูกยางพารา ปริมาณผลผลิตในการปลูกยางพารา ประเภทของดินในพื้นที่ปลูกยางพารา แผนที่การชลประทาน อัตราการใช้ปุ๋ยและสารเคมีอื่นๆ มาตรฐานคุณภาพน้ำ เป็นต้น (Hoekstra et al., 2011) โดยข้อมูลเหล่านี้ส่วนหนึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้โดยตรงจากเกษตรกร (เช่น พันธุ์ยางพารา วิธีการปลูก อัตราการใช้สารเคมี) ขณะที่ข้อมูลบางส่วนสามารถหาได้จาก



หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมพัฒนาที่ดิน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมวิชาการเกษตร นอกจากนี้ยังต้องใช้แหล่งข้อมูลจากต่างประเทศ อาทิเช่น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ CROPWAT ซึ่งสามารถบอกถึงข้อมูลของสภาพอากาศเฉลี่ยย้อนหลัง 30 ปี และการคำนวณความต้องการการใช้น้ำของพืช

ในขณะที่การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ภาคอุตสาหกรรมในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาตินั้น จะมีความซับซ้อนน้อยกว่า และมีเพียงวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่สิ้นน้ำเงินและสีเทาเท่านั้นที่เกี่ยวข้อง โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่สิ้นน้ำเงินประเมินได้จากการใช้น้ำในการผลิตแต่ละขั้นตอน รวมถึงปริมาณน้ำที่เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ยางด้วย ส่วนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาต้องมีการเก็บข้อมูลของปริมาณน้ำเสีย และลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะสามารถคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเจือจางน้ำเสียนั้นให้เป็นน้ำดีตามมาตรฐานคุณภาพน้ำ

## อุปสรรค และโอกาส ของการนำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ

อุปสรรคและข้อจำกัดสำคัญของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ คือการได้มาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพเพื่อให้การประเมินถูกต้องและเชื่อถือได้ ซึ่งปริมาณข้อมูลที่ต้องการนั้นมีจำนวนมาก (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ประเมินทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ยาง) ซึ่งต้องใช้ทั้งทรัพยากรบุคคล เวลา และทุนเป็นอย่างมากในการจัดเก็บ นอกจากนี้แล้วยังขาดการจัดการที่ดีในระบบการจัดเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากร พลังงาน ไม่ว่าจะเป็นในภาคการเกษตร (การปลูกยางพารา) หรือ ภาคอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ ส่วนในด้านวิชาการนั้น ข้อมูล หรือ ตัวแปรบางประเภทที่ใช้ในการคำนวณ เช่น Emission factor ยังต้องใช้ค่าที่พัฒนามาจากต่างประเทศ ซึ่งทำให้การประเมินอาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

อย่างไรก็ตาม ผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่สนใจในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถเริ่มต้นการประเมินโดยใช้ขอบเขตในรั้วสถานประกอบการของตนเอง หรือที่เรียกว่า Business to Business (B2B) หรือ Gate to Gate ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลและทำการประเมินได้ง่ายกว่าการประเมินทั้งวัฏจักรชีวิต โดยถึงแม้จะยังไม่สามารถขอตีตราคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ในการประเมิน

ขอบเขตนี้ แต่ก็ถือเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีเพื่อการประเมินแบบเต็มรูปแบบต่อไปในอนาคต รวมถึงเป็นการแสดงให้เห็นถึงความตั้งใจจริงในการดำเนินงานทางสิ่งแวดล้อมของผู้ประกอบการ ซึ่งในปัจจุบันนี้ผู้ประกอบการสามารถขอคำแนะนำทางวิชาการ ขั้นตอนในการดำเนินการจากหน่วยงานหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจาก องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) ซึ่งมีหน้าที่หลักในการดูแลเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ นอกจากนี้ขณะนี้ยังมีการพัฒนา Emission factor และข้อมูลอื่น ๆ ที่ใช้ในการคำนวณที่อยู่บนพื้นฐานของการจัดการและเทคโนโลยีที่ใช้ในประเทศไทย (Thailand-based data) เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้การคำนวณมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ผนวกกับงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัยต่างๆ ทำให้สามารถศึกษาเปรียบเทียบจากกรณีศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้ ส่วนในกรณีของการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้น แม้จะยังถือเป็นเรื่องใหม่อยู่มากในประเทศไทย แต่ก็เริ่มมีการทยอยศึกษาเพิ่มมากขึ้นสำหรับหลาย ๆ ผลิตภัณฑ์ โดยในส่วนของการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราและผลิตภัณฑ์ของประเทศไทย คาดว่าจะมีผลการศึกษาย่อยออกมาสู่สาธารณะตั้งแต่กลางปี 2556 เป็นต้นไป

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าทั้งคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นเครื่องมือการจัดการสิ่งแวดล้อมที่อยู่บนพื้นฐานความสมัครใจของผู้ประกอบการที่จะดำเนินการ และถึงแม้ว่าจะยังไม่มีการเปรียบเทียบใดใดทั้งในระดับชาติ และนานาชาติมาควบคุมในเรื่องนี้ แต่ผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติก็ไม่สามารถนิ่งเฉยต่อการเปลี่ยนแปลงของการค้าโลกที่ให้ความสนใจ และตระหนักในเรื่องของสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเรื่อยๆ ไม่ว่าจะเป็นระดับภูมิภาค (เช่น เขตเศรษฐกิจอาเซียน) หรือ ระดับโลก นอกจากนั้นในระดับนโยบายของประเทศไทยก็มีแนวทางที่ชัดเจนที่จะสนับสนุน “อุตสาหกรรมสีเขียว” ซึ่งเห็นได้จากการจัดตั้งหน่วยงานเฉพาะทางต่าง ๆ เช่น องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์การจัดการน้ำเสีย เป็นต้น และการมีนโยบายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างชัดเจน เช่น แผนแม่บทการพัฒนาอุตสาหกรรมไทย พ.ศ. 2555-2574 ที่มุ่งเน้นอุตสาหกรรมที่ดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม (Green growth industry) พระราชบัญญัติเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ซึ่งใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่มีอยู่ทั้ง ด้านภาษี ค่าธรรมเนียม และการคืนภาษีหากทำดีเพื่อจัดการปัญหา

สิ่งแวดล้อม และในขณะเดียวกันก็เป็นการบังคับใช้เพื่อลงโทษผู้สร้างความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม และ แผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2555-2559 ที่ระบุอย่างชัดเจนถึงการสนับสนุนให้มีการดำเนินการในเรื่อง การประเมินวัฏจักรชีวิต คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ จึงเป็นโอกาสอันดีสำหรับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมยางธรรมชาติที่จะได้เริ่มนำเครื่องมือสำหรับจัดการสิ่งแวดล้อมเหล่านี้มาประยุกต์ใช้เพื่อการก้าวสู่การเป็นอุตสาหกรรมสีเขียวที่มุ่งพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติอย่างยั่งยืนต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- ชินาธิปกรณ พงศ์ภิญโญภาพ และ ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. “วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย.” *วิศวกรรมสาร มก 75 (2554): 41-52.*
- พงษวิภา หล่อสมบูรณ์และคณะ. 2551. โครงการวิจัย เรื่องการเสริมศักยภาพเชิงนิเวศ-เศรษฐกิจของอุตสาหกรรมยางไทย ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. 2552. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. 2555. อภิธานศัพท์และคำย่อด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ปี2555. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).
- อาวีวรรณ มั่งมีชัย. 2553. นโยบายส่งเสริมไบโอเอทานอล ผลกระทบต่อน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและพลังงานเพื่อความมั่นคง. (งานวิจัยนำเสนอการประชุมวิชาการคณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปี 2553)
- Chapagain, A. K. and A. Y. Hoekstra. “The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives.” *Ecological Economics* 70,4 (2011) : 749-758.
- Cucek, L., J. J. Klemeš, Kravanja, Z. “A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability.” *Journal of Cleaner Production* 34 (2012) : 9-20.
- Finnveden, G. and others. “Recent developments in Life Cycle Assessment.” *Journal of Environmental Management* 91,1 (2009) : 1-21.

- GFN. Footprint Basic–Overview. [www.footprintnetwork.org](http://www.footprintnetwork.org). July, 2012.
- Gnanavelrajah N. and others. “Carbon stock assessment and soil carbon management in agricultural land–uses in Thailand.” **Land Degradation and Development** 19,3 (2008) : 242–256.
- Hoekstra, A.Y. “Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis.” **Ecological Economics** 68,7 (2009) : 1963–1974.
- Hoekstra, A.Y., and others. 2011. **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard**. The Netherlands : Earthscan.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2004. **Good Practice Guidance for National Greenhouse Gas Inventories for Land use, Land–use Change and Forestry**. Kanagawa Japan : Intergovernmental Panel on Climate Change.
- \_\_\_\_\_. 2006. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Kanagawa Japan : Institute for Global Environmental Strategies.
- ISO. 2006. **ISO 14040 : Environmental Management–Life Cycle Assessment–Principles and Framework**. Geneva Switzerland : International Organization for Standardisation.
- Jawjit, W., Kroeze, C., Rattanapan, S. “Greenhouse gas emissions from rubber industry in Thailand.” **Journal of Cleaner Production** 18,5 (2010) : 403–411.
- Mosier, A.R., Delgado, J.A., Keller, M. “Methane and nitrous oxide fluxes in an acid Oxisol in Western Puerto Rico: effects of tillage, liming and fertilization.” **Soil Biology and Biochemistry** 30,14 (1998) : 2087–2098.
- N–Footprint. **Background of Nitrogen Footprint**. [www.n–print.org](http://www.n–print.org). June, 2012.
- Reijnders, L. and M.A.J. Huijbregts. “Palm oil and the emission of carbon–based greenhouse gases.” **Journal of Cleaner Production** 16,4 (2008) : 477–482.
- Wackernagel, M. and W. E. Rees. “Perceptual and structural barriers to investing in natural capital : Economics from an ecological footprint perspective.” **Ecological Economics** 20,1 (1997) : 3–24.