

การประยุกต์หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ธารกิพย์ เศรษฐชาญวิทย์*

บทคัดย่อ

บทความนี้จัดทำขึ้นเพื่อทบทวน ติดตามความก้าวหน้า และสถานภาพปัจจุบันของงานวิจัยต่าง ๆ ที่นำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ในบทความจะประกอบด้วย แนวคิดของการประเมินวัฏจักรชีวิต คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งเป็นเครื่องมือในการจัดการสิ่งแวดล้อมที่สามารถวัดได้ในเชิงปริมาณที่เป็นรูปธรรม รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ผู้ประกอบการผลิตแป้งมันสำปะหลังได้พิจารณาใช้ประโยชน์ในฐานะที่ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก เนื่องจากปัจจุบันประเทศผู้นำเข้าได้นำมาตรการกีดกันที่ใช้การคำนวณใช้เป็นการเครื่องมือในการแทรกแซงการค้าระหว่างประเทศ โดยเฉพาะประเด็นที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนและการร่อยหรอของทรัพยากรธรรมชาติ เช่น กระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างฟุ่มเฟือย ซึ่งหากประเทศไทยไม่มีกลยุทธ์ในการปรับตัวอาจทำให้สูญเสียความสามารถในการแข่งขันได้ พร้อมทั้งได้เสนอแนวทางและนโยบายที่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งเกษตรกร ผู้ประกอบการ หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชนของไทยในการเตรียมพร้อมและรับมือกับกระแสการผลิตและการบริโภคที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิต คาร์บอนฟุตพริ้นท์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

* สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
17 ซิงสะพานกษัตริย์ศึก ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
อีเมล: settacharnwit@gmail.com

The Synthesis of Life Cycle Assessment of Carbon and Water Footprints in Native Starch Industry

Tarntip Settacharnwit*

Abstract

This paper prepared to review the progress and current status of researches which applied life cycle assessment for carbon and water footprints analysis. The article comprises the general concept of life cycle assessment, carbon footprint, and water footprint of products, the concrete and tangible environmental tools, to quantify the environmental impacts, and topic related to tapioca starch industry. Since currently the importing countries applies the non-trade barrier to sanction international trade, especially in global warming and natural resource depletion issues. Thailand, the world biggest native starch exports, must have self-strategy to protect from less the ability in trade competitiveness. The policies that farmers, entrepreneurs, government agencies and private organizations should be prepared to deal with eco-friendly trends for sustainable production and consumption also recommended.

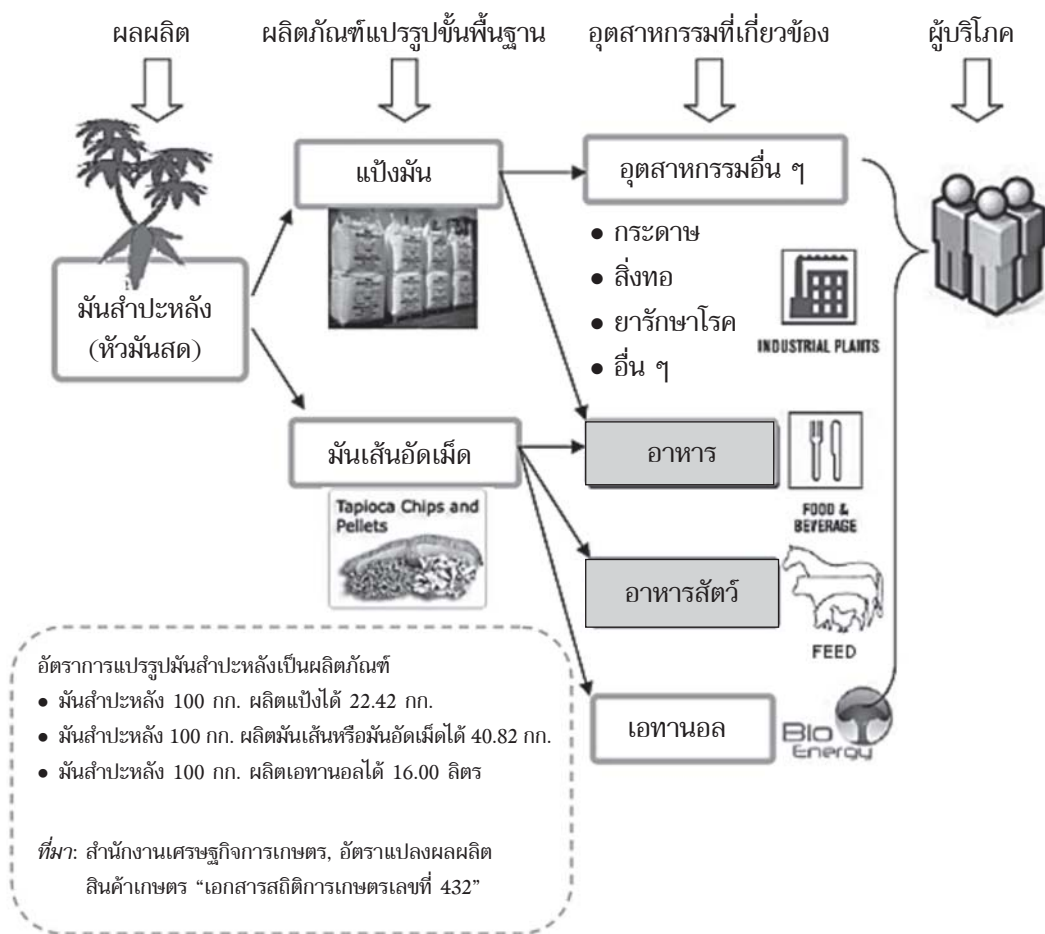
Keywords: Life Cycle Assessment, Carbon Footprint, Water Footprint, Native Starch Industry

* Bureau of Energy Research, Department of Alternative Energy and Efficiency
17 Kasatsuk Bridge, Rama 1 Road, Patumwan, Bangkok, 10330, THAILAND.
E-mail: settacharnwit@gmail.com

บทนำ

อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง (Native Tapioca Starch) หมายถึง อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ที่ได้จากการสกัดหัวมันสำปะหลังสดและยังไม่มี การดัดแปรหรือแปรรูป โดยเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจของไทยที่มีความเชื่อมโยงถึงภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรมสิ่งแวดลอม รวมถึงความมั่นคงด้านพลังงาน ในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไทยเติบโตอย่างต่อเนื่อง ในปี 2556 ประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังจำนวนทั้งสิ้น 85 โรงงาน กำลังการผลิต 9.24 ล้านตัน/ปี และประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกแป้งมันสำปะหลังอันดับหนึ่งของโลก โดยปี พ.ศ. 2557 มีการส่งออกแป้งมันสำปะหลัง 3.01 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 41,053 ล้านบาท ซึ่งตลาดนำเข้าแป้งมันสำปะหลังที่สำคัญของไทย ได้แก่ จีน อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น มาเลเซีย และไต้หวัน (Denworalak, Seree, 2013; บุญมี วัฒนเรืองรอง, 2558; สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2558) นอกจากนี้ แป้งมันสำปะหลังยังสามารถนำไปใช้บริโภคโดยตรงหรือใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์ตามมา เช่น แป้งมันสำปะหลังแปรรูป (Modified Starch) สาชู (Sago) ผงชูรสหรือโมโนโซเดียมกลูตาเมต (Monosodium Glutamate) ไลซีน (L-lysene) สารให้ความหวาน (Sweetener) พลาสติกที่สลายได้ทางชีวภาพ (Bio-plastic) และกรดมะนาว (Citric Acid) เป็นต้น นอกจากนี้ แป้งมันสำปะหลังยังใช้เป็นวัตถุดิบประกอบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม สิ่งทอ กระดาษ ไม้อัด และกาว (ปรารณนา ปรารณนาดี และคณะ, 2552; ศูนย์วิจัยวิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, 2555) รูปแบบการบริโภคและการแปรรูปมันสำปะหลังแสดงในภาพที่ 1

ปัจจุบัน นักวิชาการและนักอุตสาหกรรมทั่วโลกได้ให้การยอมรับว่า เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint: CFP) และการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint: WFP) เป็นเครื่องมือที่ดีและเหมาะสมต่อการตอบโต้เพื่อแก้ไขมาตรการการกีดกันทางการค้าและสิ่งแวดลอม (สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.), 2554) เนื่องจากผลที่ได้จากการประเมินจะแสดงข้อมูลเชิงประจักษ์ว่าสินค้าจากประเทศไทยที่มีการส่งออกไปขายในต่างประเทศนั้น มีการผลิตและรับผิดชอบต่อสิ่งแวดลอมและทรัพยากรน้ำมากน้อยเพียงใด



ภาพที่ 1: รูปแบบการบริโภคและการแปรรูปมันสำปะหลัง

แหล่งที่มา: สำนักงานคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการประกอบธุรกิจหลักทรัพย์ (กสล.), 2554: 7

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังก่อให้เกิดผลดีในการทราบถึงปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่ถูกใช้ ปริมาณของเสียและการแพร่กระจายของมลภาวะ เพื่อนำมาประเมินหาแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจก การลดการสูญเสียของวัตถุดิบและทรัพยากรน้ำในขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการผลิต ดังนั้น หากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมีข้อมูลผลของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของตนเอง เช่น สินค้าที่ติดฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อบ่งบอกปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากกระบวนการผลิต ฉลากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่บ่งบอกปริมาณการใช้น้ำของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง จึงเป็นการเตรียมความพร้อมและสามารถใช้ข้อมูลต่อรองทางการค้ากับประเทศพัฒนาแล้วที่นำเข้าแป้งมันสำปะหลังจากประเทศไทย รวมถึงเป็นการพัฒนาศักยภาพการแข่งขันของผู้ประกอบการผลิตมันสำปะหลังในเวทีการค้าโลกได้อย่างยั่งยืน

บทความนี้จึงเป็นการนำเสนอการทบทวนงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบและติดตามสถานการณ์ความก้าวหน้าของแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิต การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ของมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะนำเสนอให้เห็นถึงประโยชน์ต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการอนุรักษ์น้ำ รวมทั้งนำเสนอแนวทางและมาตรการที่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องต้องร่วมกันดำเนินการในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและปริมาณการใช้น้ำของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

แนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิต คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

“การประเมินวัฏจักรชีวิต” (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ใช้ประเมินค่าผลกระทบที่สามารถบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Loads) ของผลิตภัณฑ์ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การจัดหาพลังงานและวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการจัดการกับซากผลิตภัณฑ์ โดยนำผลไปใช้ในการกำหนดนโยบาย การออกแบบผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือการเพิ่มทางเลือกในการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

“คาร์บอนฟุตพริ้นท์” (Carbon Footprint: CFP) หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วย ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Carbon Dioxide Equivalence-CO₂eq) โดยคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องมือที่หลายประเทศนำมาใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อกระตุ้นให้ภาคการผลิตหาแนวทางการจัดการเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554)

“วอเตอร์ฟุตพริ้นท์” (Water Footprint: WFP) เป็นอีกแนวคิดหนึ่งในการประเมินความสัมพันธ์ของปริมาณทรัพยากรน้ำและมลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นจากผลรวมทุกขั้นตอนทั้งทางตรงและทางอ้อมตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้าและบริการเพื่อให้เกิดความตระหนักต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและรักษาสภาพแวดล้อม โดยในการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะแบ่งน้ำออกเป็น 3 ประเภทตามแหล่งของที่มา ได้แก่ 1. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้า (Blue Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำจากแหล่งธรรมชาติทั้งจากแหล่งน้ำผิวดิน เช่น ปริมาณน้ำจากอ่างเก็บน้ำ เขื่อน แม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ รวมถึงแหล่งน้ำใต้ดิน เช่น น้ำบาดาลที่ถูกใช้ไปเพื่อการผลิตสินค้าและบริการตลอดห่วงโซ่อุปทาน 2. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (Green Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นที่สะสมอยู่ในพื้นดินซึ่งส่วนใหญ่ถูกใช้ไปเพื่อการเพาะปลูกพืชผลทางเกษตรกรรม การทำป่าไม้ หรือการทำทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และ 3. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Grey Water Footprint)

หมายถึง ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ซึ่งคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน (Hoekstra, A.Y. et al., 2011; Ercin, A.E. and Hoekstra, A.Y., 2012)

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) เป็นปัญหาสำคัญที่ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นโดยมีผลเนื่องมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) ที่เกิดจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ในภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่ง รวมถึงการทำลายผืนป่า ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อช่วยสร้างความตระหนักและสร้างการมีส่วนร่วมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและกระตุ้นให้ผู้บริโภคปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการคิดเครื่องมือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) เพื่อนำมาใช้ในการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดยังมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Global Warming Potential: GWP) สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ก๊าซเรือนกระจกที่ประเมินจะประกอบด้วยก๊าซ 6 ชนิด ตามที่ควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโต ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554: 15; สถาบันอาหาร, 2556)

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จะประเมินโดยใช้หลักการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดเศษซากหลังการใช้งาน ซึ่งบริษัทผู้ผลิตสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave) หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตในโรงงาน (Cradle to Gate) ได้ ทั้งนี้ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์สามารถใช้บ่งชี้ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่านั้น ซึ่งเป็นประเด็นที่ทั่วโลกให้ความสำคัญลำดับต้น ๆ โดยไม่ได้นำผลกระทบสิ่งแวดล้อมในประเด็นอื่น ๆ เช่น ความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) การเกิดฝนกรด (Acidification) ภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication) ความเป็นพิษ (Toxicity) เป็นต้น มาประเมินร่วมด้วย (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554: 3)

สำหรับประเทศไทยคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ได้จัดทำข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product Category Rules: PCRs) เพื่อให้สามารถประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันมากขึ้น ทั้งนี้

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มีการกำหนด PCR's ไว้ ก็สามารถนำ PCR's ที่พัฒนาขึ้นตามมาตรฐาน ISO 14025 มาประยุกต์ใช้ร่วมกันได้ การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถดำเนินการด้วยวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังต่อไปนี้ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554: 9); สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายและบริษัทซีเอ็มเอสเอ็นจีเนียร์ริง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด, 2556)

1) แบบ Cradle-to-Grave (Business-to-Consumer: B2C) เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์

2) แบบ Cradle-to-Gate (Business-to-Business: B2B) เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิตจนถึง ณ หน้าโรงงาน และพร้อมส่งออก หรือจนถึงที่เป็น สาขาเข้าหรือวัตถุดิบของผู้ผลิตต่อเนื่องตามที่กำหนดใน PCR's ของแต่ละผลิตภัณฑ์

กระทรวงธุรกิจ นวัตกรรม และทักษะ (Department of Business, Innovation and Skills: BIS) แห่งสหราชอาณาจักรได้ริเริ่มให้มีการจัดทำรายละเอียดเฉพาะเพื่อเผยแพร่ให้หน่วยงานหรือองค์กรต่าง ๆ นำไปใช้เป็นแนวทางคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Public Available Service: PAS) เพื่อใช้ในการหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสินค้าและบริการและเปิดเผยข้อมูลดังกล่าวแก่สาธารณชนเพื่อเป็นทางเลือกในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยในปี ค.ศ. 2008 ได้ตีพิมพ์ PAS 2050:2008 Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services) ต่อมาหลังจากที่ได้มีการทดลองใช้ PAS 2050: 2008 เป็นเวลากว่า 2 ปี จึงได้มีการปรับปรุงเป็น PAS 2050: 2011 โดยมีการเพิ่มรายละเอียดในการประเมินที่จำเป็นของผลิตภัณฑ์บางชนิดเพื่อมิให้มีการขัดแย้ง (Conflict) กับแนวทางของ PAS โดยการคำนวณจะอ้างอิงตามหลักการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต หรือ LCA และการประเมินยังต้องพิจารณาพร้อมกับมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ตามความจำเป็นและเหมาะสม เช่น ISO 14021: Environmental Labels and Declarations – Self-declared Environmental Claims (Type II Environmental Labeling) เป็นมาตรฐานของข้อกำหนดสำหรับฉลากประเภทที่ 2 ที่ผู้ผลิตสินค้าหรือผู้ส่งออกต้องการสื่อสารให้ผู้บริโภคทราบว่าสินค้าของตนมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (British Standards Institute (BSI), 2011)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ 3 ของเอเชีย ถัดจากประเทศญี่ปุ่นและเกาหลีใต้ และเป็นประเทศแรกในอาเซียนที่มีการใช้ฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และเป็นผู้นำในการจัดทำฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ) Life Cycle Inventory: LCI) ที่เป็นพื้นฐานสำคัญในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์) Life Cycle Assessment: LCA) และคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การที่หน่วยงานภาครัฐของประเทศไทยได้มีความตระหนักและให้การสนับสนุนในเรื่องนี้อย่างมาก เนื่องจากมองเห็นว่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ก่อประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจะนำมาใช้ในการส่งเสริมการผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืน โดยลดการใช้ทรัพยากรและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และผู้บริโภคสามารถตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าที่ปล่อยคาร์บอนต่ำ สำหรับทางอ้อมคือเป็นการเตรียมพร้อมเพื่อรองรับมาตรการทางการค้าที่มีใช้ทางภาษี (Non-tariff Barriers) ที่จะเป็นอุปสรรคต่อการค้าและการส่งออกสินค้าของประเทศ โดยเฉพาะสินค้าประเภทอาหารและอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งรายได้ของประเทศ การมีฉลากสิ่งแวดล้อม เช่น ฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จะช่วยให้สินค้าของไทยสามารถซื้อขายในตลาดสีเขียว (Green Market) ของกลุ่มประเทศที่มีนโยบายและกฎหมายสิ่งแวดล้อมเข้มงวดและเน้นการจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Green Purchasing and Green Procurement) เนื่องจากฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ถือเป็นตัวอย่างที่ดีของการนำเอาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมาใช้นำเสนอผลิตภัณฑ์อาหารที่แสดงความรับผิดชอบต่อค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นรูปธรรม โดยผลิตภัณฑ์ที่สามารถแสดงค่าบนฉลากได้จะต้องได้รับการคำนวณและทวนสอบจากผู้เชี่ยวชาญ (ผู้จัดการออนไลน์, 2551; ยუნันท์ สันติพิรุณ, 2554; สถาบันอาหาร, 2557ก)

การดำเนินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระยะแรกเป็นลักษณะงานวิจัยของสถาบันการศึกษาที่ได้รับการสนับสนุนจากหลายหน่วยงานทั้งในประเทศและจากต่างประเทศ โครงการที่สำคัญ ได้แก่ “โครงการคาร์บอนฟุตพริ้นท์และฉลากคาร์บอน” โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาศักยภาพของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมส่งออกไทยในการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วยการสร้างองค์ความรู้และเป็นที่ปรึกษาให้ความช่วยเหลือทางเทคนิคด้านมาตรฐานวิธีวิเคราะห์ คาร์บอนฟุตพริ้นท์และวิธีแสดงข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ผ่านฉลากคาร์บอน รวมทั้งการนำผลที่ได้รับจากโครงการไปขยายความรู้แก่กลุ่มอุตสาหกรรมอื่นต่อไป โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สหภาพยุโรป และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ภายใต้โครงการนี้ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในหลากหลายผลิตภัณฑ์ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เส้นไหม/เส้นก๋วยเตี๋ยว ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิ เนื้อหน่ออกไก่หนึ่งสุกหั่นชิ้นลูกเต๋า ชิกเก้นสแน็ก ทุ่นำกระป๋อง ในน้ำมันทานตะวัน และผลิตภัณฑ์สับปะรดกระป๋อง โดยผลสำเร็จที่ได้จากโครงการนี้ คือ การพัฒนามาตรฐานการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ให้แก่อุตสาหกรรมไทยและเป็นการเตรียมความพร้อมการพัฒนามาตรฐานสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับภาวะโลกร้อนให้แก่ผู้ส่งออกไทยและมาตรฐานระหว่างประเทศ ISO 14067: Carbon Footprint นอกจากนี้ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกยังได้ร่วมกับศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) โดยการนำร่องให้กับ 25 บริษัทที่สนใจเข้าร่วมกิจกรรมการพัฒนาศักยภาพการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยเป็นการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากล โดยผลิตภัณฑ์ที่ศึกษามาจากหลายอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมโครงการ เช่น เนื้อไก่สด แกงเขียวหวานบรรจุกระป๋อง น้ำสับปะรดเข้มข้น

แป้งข้าวเหนียว ชุดอาหารของสายการบินไทย เป็นต้น ผู้ทำการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการให้คำปรึกษาจาก “คณะกรรมการทางเทคนิคคาร์บอนฟุตพริ้นท์” โดยคณะกรรมการเป็นผู้พิจารณาประเด็นปัญหาเชิงปฏิบัติเกี่ยวกับการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการณศึกษาของบริษัทนำร่อง เพื่อพัฒนาเป็น “แนวทางเชิงปฏิบัติเกี่ยวกับฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทย” (National Guideline on Carbon Footprint of Product and Carbon Footprint Labeling) (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2552)

สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม ได้ริเริ่มจัดทำ “โครงการยกระดับการแข่งขันอุตสาหกรรมอาหารไทยด้วยการลดต้นทุนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 เพื่อยกระดับความรู้พร้อมทั้งจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการแก่ผู้ประกอบการและเจ้าหน้าที่ของโรงงาน รวมถึงการคัดเลือกโรงงานเพื่อเข้าร่วมโครงการและขึ้นทะเบียนฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การจัดทำคู่มือวิชาการ จำนวน 2 เล่ม ได้แก่ เล่มที่ 1 “แนวทางการประเมินรอยเท้าฉลากบนผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร” โดยมีเป้าหมายเพื่อให้บุคลากรในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร รวมทั้งผู้สนใจทั่วไปได้รับความรู้ สามารถเข้าใจหลักการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงการนำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม และ เล่มที่ 2 “การจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร” เป็นการเรียบเรียงเนื้อหาต่อจากเล่มที่ 1 โดยมีการเพิ่มตัวอย่างการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์พร้อมสอดแทรกเทคนิคในการเก็บข้อมูล และการคำนวณที่มีรายละเอียดเพิ่มเติมมากขึ้น และยกตัวอย่างกรณีศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอุตสาหกรรมในผลิตภัณฑ์อาหาร 3 ชนิด ได้แก่ อุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง และอุตสาหกรรมกาแฟ (สถาบันอาหาร, 2556; สถาบันอาหาร, 2557ก)

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ได้สนับสนุนให้เกิดกระบวนการคำนวณทวนสอบและการแสดงค่าฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์โดยการดำเนินงานฯ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 เป็นต้นมา ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (ข้อมูล ณ วันที่ 15 มิถุนายน 2558) จำนวน 1,570 ผลิตภัณฑ์ จาก 363 บริษัท (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2558) และปัจจุบันในฐานะข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ หรือฐานข้อมูล LCI ได้มีการแสดงผลประเมินค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งที่เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Gate-to-Gate (ข้อมูลที่มีขอบเขตการพิจารณาในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน และการใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุ) และ/หรือ การประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Cradle to Gate (ข้อมูลที่มีขอบเขตการพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ไปจนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงการใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุ) จำนวนทั้งสิ้น 760 รายการ ณ วันที่ 19 มิถุนายน 2558 (ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของ

ข้อมูลวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ, 2558) อย่างไรก็ตาม ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ แม้ว่าจะใช้แนวทางการประเมินขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกเช่นเดียวกัน แต่หากในการประเมินของแต่ละบริษัทหรือแต่ละผลิตภัณฑ์จะมีรายละเอียดของการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์แม้เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันแต่ผลิตในสถานที่ที่แตกต่างกันจึงมีค่าไม่เท่ากัน

การพิจารณาปัจจัยสู่ความสำเร็จในการดำเนินงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์นั้น กุลวรางค์ สุวรรณศรี, ยუნันท์ สันติวิฤกษ์ และ กฤษฎา บำรุงวงศ์, (2554) ได้กล่าวในงานวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนาปัจจัย: ปัจจัยสู่ความสำเร็จในการดำเนินคาร์บอนฟุตพริ้นท์” ว่าจากการทำการประมวลงานวิจัยและพัฒนาด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปซึ่งเป็นผู้นำด้านการดำเนินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ พบว่า มีการแบ่งงานวิจัยออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) งานวิจัยเพื่อเพิ่มขีดความสามารถด้านการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 2) งานวิจัยพัฒนาเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์สินค้าและบริการ 3) งานวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้ประโยชน์จากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และ 4) งานวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการสื่อสารต่อสังคม ทั้งนี้ สหภาพยุโรปคาดหวังว่าการแสดงค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่วัดได้บนผลิตภัณฑ์สินค้าและบริการจะช่วยกระตุ้นภาคอุตสาหกรรมและการค้า เพื่อหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิต ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และร่วมมือรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมมากขึ้น

ทั้งนี้ การสนับสนุนการสื่อสารข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ให้ผู้บริโภคทราบในรูปแบบ “ฉลากคาร์บอน” (Carbon Label) เพื่อสร้างความตระหนักให้ผู้บริโภคมีส่วนร่วมช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าบริการที่ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศน้อยที่สุดและนำพาสังคมโลกไปสู่เศรษฐกิจคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Economy) จากเปรียบเทียบการวิจัยและพัฒนาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของต่างประเทศกับประเทศไทยนั้น คณะผู้ศึกษางานวิจัยเรื่องนี้ พบว่า ปัจจุบันงานวิจัยของประเทศไทยมุ่งไปที่การวิจัยเพื่อเพิ่มขีดความสามารถด้านการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์สินค้ากลุ่มอาหาร ซึ่งเป็นเรื่องที่ยังต้องเร่งดำเนินการวิจัยและพัฒนาต่อไปในระยะสั้น แต่สำหรับระยะยาวประเทศไทยต้องมีการเตรียมความพร้อมในงานวิจัยในเรื่องการประยุกต์ใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในตัดสินใจเชิงนโยบายและการสื่อสารข้อมูลระหว่างผู้ผลิตกับผู้บริโภค

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

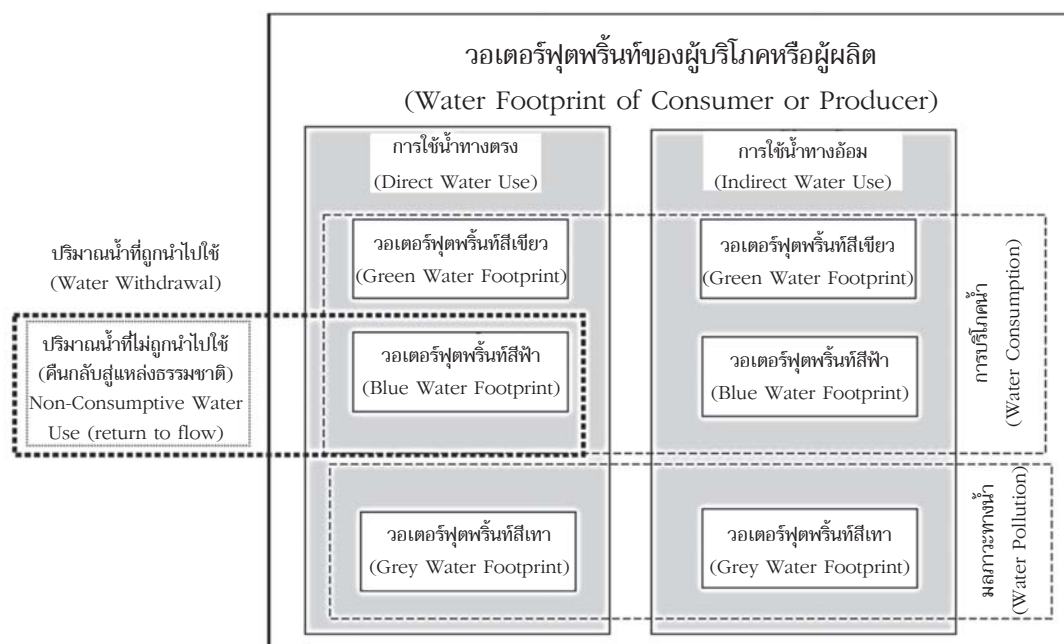
การประเมิน “วอเตอร์ฟุตพริ้นท์” (Water Footprint: WFP) เป็นอีกแนวคิดหนึ่งในการประเมินความเสี่ยงเปลี่ยนแปลงของปริมาณทรัพยากรน้ำและมลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นจากผลรวมทุกขั้นตอนทั้งทางตรงและทางอ้อมตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้าและบริการเพื่อให้เกิดความตระหนักต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและรักษาสีน้ำแวดล้อม โดยในการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะแบ่งน้ำออกเป็น 3

ประเภท ตามแหล่งของที่มา ได้แก่ 1. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้า 2. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว และ 3. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

แนวคิดเกี่ยวกับ “วอเตอร์ฟุตพริ้นท์” ได้เริ่มมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2002 โดย Professor Arjen Y. Hoekstra ชาวเนเธอร์แลนด์ และได้รับความสนใจมากขึ้นเนื่องจากการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ นอกจากทำให้เห็นถึงปริมาณการใช้น้ำที่ซ่อนเร้นอยู่ในการผลิตสินค้าและบริการได้อย่างชัดเจนมากขึ้นแล้ว ยังสามารถนำมาประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตและการค้าต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อีกด้วย ซึ่งจะทำให้เข้าใจปัญหาการขาดแคลนน้ำและมลภาวะทางน้ำได้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งนำไปสู่วิธีแก้ปัญหาก็ที่เชื่อมโยงกับกระบวนการผลิตสินค้าและห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) ทั้งระบบ โดยฉลาก “วอเตอร์ฟุตพริ้นท์” เป็นค่าที่แสดงการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการผลิตจนกระทั่งสินค้าถึงมือผู้บริโภค ดังนั้น สินค้าที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยย่อมได้รับความสนใจมากกว่าสินค้าที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากเพราะมีการใช้น้ำ (consumption) และการก่อเกิดน้ำสกปรก (pollution) น้อยกว่า การมีข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ถูกต้องจึงช่วยให้ทั้งผู้บริโภคและภาคธุรกิจเข้าใจว่าต้องทำอะไรเพื่อให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างยั่งยืนและเป็นธรรมมากขึ้น นอกจากนี้ การนำกลยุทธ์การลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มาใช้ยังจะช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ดีและสร้างจุดแข็งให้กับบริษัทหรือผลิตภัณฑ์ เพราะแสดงว่าคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีความรับผิดชอบต่อสังคม การลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตสินค้ายังช่วยลดความเสี่ยงของปัญหาขาดแคลนน้ำซึ่งจะมีผลกระทบต่อภาคธุรกิจโดยตรง และยังเป็นการเตรียมความพร้อมในกรณีที่เกิดภัยแล้งหรือภัยธรรมชาติเกี่ยวกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในอนาคต การระบุข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บนฉลากสินค้าจะช่วยกระตุ้นให้ผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของการใช้น้ำในการผลิตสินค้าแต่ละชนิด โดยผู้บริโภคอาจหันไปเลือกซื้อสินค้าที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำแทนสินค้าที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูง หรือผู้บริโภคอาจเลือกซื้อสินค้าแบบเดิมแต่เลือกจากแหล่งผลิตหรือวิธีการผลิตที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำกว่าแทน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภคไปสู่ทางเลือกของสินค้าที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำ จะช่วยบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำของโลกและนำไปสู่แนวทางการบริโภคที่ยั่งยืนมากขึ้น ในแง่นี้จึงอาจทำให้ภาคธุรกิจต้องลงทุนเพิ่มขึ้นเพื่อให้การผลิตสินค้ามีการใช้น้ำและมีน้ำเสียลดลง ซึ่งจะเป็นผลดีต่อทรัพยากรน้ำของโลก ภาคธุรกิจอาจใช้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นเครื่องมือในการสร้างจุดเด่นให้กับสินค้าหรือบริษัทว่ามีการคำนึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีความรับผิดชอบต่อสังคม ทำให้สินค้ามีความน่าสนใจมากขึ้นและเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้า แม้จะเป็นมาตรฐานภาคสมัครใจแต่อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยจำเป็นต้องติดตาม และเตรียมพร้อมในการจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพราะในอนาคตประเทศผู้นำเข้าจะต้องเรียกร้องให้ผู้ส่งสินค้าออกมีการรับรองตามมาตรฐานระหว่างประเทศ ISO 14046: Water Footprint (แนวทางการจัดทำรอยเท้าน้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของกระบวนการผลิตสินค้าและองค์ประกอบพื้นฐานการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์) อย่างแน่นอน (สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศประจำสหภาพยุโรป

ราชอาณาจักรเบลเยียม 2554; สถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ, 2557)

ในการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตสินค้าและบริการจะต้องคำนวณจากปริมาณการใช้น้ำทุกชนิด (Blue Water, Green Water and Grey Water) ทั้งทางตรงและทางอ้อม (Direct Water Use and Indirect Water Use) โดยไม่รวมถึงปริมาณน้ำใช้ที่คืนกลับสู่แหล่งที่มาจากแหล่งน้ำจากธรรมชาติ (Blue Water) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2: ผังองค์ประกอบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผู้ผลิตหรือผู้บริโภค

แหล่งที่มา: Hoekstra, Arjen Y.; Chapagain, Ashok K.; Aldaya, Maite M. and Mekonnen, Mesfin M., 2011: 3.

ประเทศไทยในฐานะประเทศเกษตรกรรมที่มีการใช้ทรัพยากรน้ำจำนวนมากและเป็นผู้ส่งออกอาหารรายใหญ่ของโลก การแข่งขันระหว่างการผลิตในภาคต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้น้ำเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี และยังก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำจากการพัฒนาอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ประเทศไทยจึงมีความจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะเป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยให้เห็นภาพปริมาณการใช้น้ำที่ซ่อนเร้นอยู่ในการผลิตสินค้าและบริการได้อย่างชัดเจนและสามารถนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตต่อการใช้ทรัพยากรน้ำ รวมถึงการนำไปสู่การแก้ไขปัญหาที่เชื่อมโยงกับกระบวนการผลิตสินค้าในห่วงโซ่อุปทานทั้งระบบ

แนวคิดเรื่องวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ได้เข้ามาในประเทศไทยเมื่อประมาณไม่กี่ปีมานี้ โดยงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ดำเนินการในประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืชเกษตร เช่น ข้าว อ้อย และมันสำปะหลัง เป็นต้น รวมถึงอุตสาหกรรมที่ต่อเนื่องจากเกษตรกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง และ อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทราย เป็นต้น

การดำเนินการเรื่องวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของประเทศไทย พบว่า ได้มีหน่วยงานของรัฐหลาย หน่วยงาน เช่น สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม ที่ได้ให้การสนับสนุนแก่ภาคเอกชนในการนำร่องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อเตรียมความพร้อมในการดำเนินการเรื่องข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของประเทศไทยที่อาจถูกนำมาใช้เป็นเงื่อนไขทางการค้าระหว่างประเทศต่อไป เช่น โครงการ “ฟุตพริ้นท์น้ำในผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร” ของมกอช. ที่ดำเนินการในปี พ.ศ. 2555-2556 ซึ่งเป็นโครงการที่สร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับมาตรฐานการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหารโดยมีการนำร่องให้กับโรงงานกลุ่มเกษตรและอาหาร, โครงการ “จัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนด้วย Water Footprint” ดำเนินการปี พ.ศ. 2557-2558 โดยสถาบันอาหาร โดยเป็นโครงการให้คำปรึกษาเชิงเทคนิค และอบรมบุคลากรตามแนวทางการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ตลอดจนเสนอแนวทางลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และต้นทุนการผลิต รวมถึงจัดทำค่าอ้างอิงผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อเป็นการเทียบเคียงสมรรถนะ Benchmark ให้ผู้ประกอบการอื่นในอุตสาหกรรมเดียวกัน รวมทั้งยังมีการสัมมนาเผยแพร่ความรู้ให้บุคคลทั่วไป และมีการจัดทำกรณีศึกษา เพื่อได้มาซึ่งค่าอ้างอิงของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 3 สินค้า ได้แก่ 1. น้ำตาลทราย 2. แป้งมันสำปะหลัง และ 3. ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง และในปี พ.ศ. 2558 นี้ ได้มีเป้าหมายให้ผู้ประกอบการเข้าร่วมเพิ่มเติมอีกอย่างน้อย 24 โรงงาน เพื่อรับการถ่ายทอดทักษะการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ร่องรอยการใช้น้ำและประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ให้แก่กลุ่มอุตสาหกรรมอาหารเพื่อการส่งออก (รัตนวรรณ มั่งคั่ง และ แชนเปียร์ กิวลา, 2556; กระทรวงอุตสาหกรรม, 2558)

นอกจากนี้ ภาคเอกชนก็ได้ให้ความสนใจเริ่มมีการจัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของสินค้าและบริการของตน เช่น บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด ได้มีการนำกลยุทธ์ในการบริหารและจัดการน้ำอย่างยั่งยืนเพื่อให้เกิดการบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและลดผลกระทบที่อาจเกิดต่อสังคม ชุมชน และสิ่งแวดล้อม โดยมีการดำเนินโครงการ “วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับองค์กร” (Water Footprint for Organization) เป็นการประเมินการใช้น้ำขององค์กร เพื่อทราบข้อมูลการใช้น้ำในแต่ละหน่วยการผลิต เพิ่มโอกาสในการพัฒนาเทคโนโลยีและมาตรการลดปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตภายในองค์กร และโครงการ “ฟุตพริ้นท์น้ำสำหรับผลิตภัณฑ์” (Water Footprint of Products) เป็นการประเมินการใช้น้ำตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง

และการผลิตผลิตภัณฑ์ ตามหลักการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA; ISO 14040/14044) และ ISO/DIS 14046 (Water Footprint (WF) Principles & Requirements and Guidelines) โดยในปี 2558 ได้กำหนดแผนดำเนินงานผลิตภัณฑ์ในกลุ่มโอเลฟินส์และเม็ดพลาสติกให้แล้วเสร็จ และต่อยอดการดำเนินงานไปสู่ผลิตภัณฑ์กลุ่มอื่น ๆ ของบริษัท (บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน), 2558)

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง

ช่วงทศวรรษที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านได้ให้ความสนใจนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตมาประยุกต์ในการประเมินและวิเคราะห์หาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์และ/หรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เพื่อศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปริมาณการใช้น้ำที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรอุตสาหกรรม การประเมินฯ จึงได้ให้ความสำคัญของพืชเกษตรหลักที่เป็นรายได้ของประเทศ ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง รวมถึงอุตสาหกรรมการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่ต่อเนื่องจากพืชเหล่านี้

การดำเนินการคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืชมันสำปะหลัง พบว่า ในภาพรวมเป็นงานวิจัยที่มีความครอบคลุมและเชื่อมโยงตลอดทั้งโซ่อุปทาน (supply chain) ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ โดยเริ่มจาก การเตรียมดินเพื่อปลูกมันสำปะหลัง การเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังของเกษตรกรเพื่อจำหน่ายให้กับลานมัน โรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง เพื่อแปรรูปเป็นมันเส้นหรือแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในประเทศและส่งออกต่างประเทศ นอกจากนี้ หัวมันสดยังนิยมนำมาแปรรูปเป็นเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในประเทศ แม้ว่าจะผลิตจากมันเส้นได้เช่นกัน สำหรับรูปแบบการขนส่งที่มักใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในประเทศ คือ การขนส่งทางถนนโดยมีการใช้ระบบการขนส่งทางน้ำและทางรางอยู่บ้าง (ปรารธนา ปรารธนาดี และคณะ, 2552)

งานวิจัยเรื่อง “การประเมินวัฏจักรชีวิตหัวมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลัง” (สุธี คงศิริ, 2552) มีประเด็นสำคัญของการวิจัยเพื่อจัดทำข้อมูลรายการบัญชีสิ่งแวดล้อมโดยตลอดวัฏจักรชีวิตของหัวมันสำปะหลังน้ำหนัก 1 ตัน และแป้งมันสำปะหลัง น้ำหนัก 1 ตัน ขอบเขตการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว การขนส่ง และการแปรรูป โดยทำการรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมจากแหล่งเพาะปลูกที่สถาบันพัฒนามันสำปะหลัง จังหวัดนครราชสีมาและโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในช่วงปี พ.ศ. 2547-2549 รวมทั้งข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิ ตลอดจนบัญชีข้อมูลรายการสิ่งแวดล้อมทั้งในและต่างประเทศ ทั้งนี้ ผลที่ได้จากการวิจัยบ่งชี้ว่า การผลิตหัวมันสำปะหลัง นั้น ขั้นตอนการเตรียมดินเป็นขั้นตอนที่ก่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ขั้นตอนการกำจัดวัชพืช และขั้นตอนการใช้ปุ๋ยเคมี และในส่วน การผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ขั้นตอนที่ก่อให้เกดผลกระทบตอสิ่งแวดลอมมากที่สุด คอ ขั้นตอนการผลดแบงมันสำปะหลัง รองลงมา คอ ขั้นตอนการใช่วัตถุดิบ และนอยที่สุด คอ ขั้นตอนการขนส่ง ขณะที่ จุฬารัตน์ ขางสลัก และจวจินต์ ผลประเสริฐ, 2554. ศึกษาเฉพาะการปลดปล่อยคาร์บอนจากขั้นตอนการทำมันสำปะหลัง โดยทำการรวบรวมข้อมูลภาคสนามใน 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดชลบุรี พบว่า ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่มีการปลดปล่อยคาร์บอนมากที่สุด โดยปริมาณค่าสมมูลคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกมาตลอดวงจรของการทำมันสำปะหลังมีค่า 35.89 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ต่อปี จำแนกได้ ดังนี้ 1) การเตรียมพื้นที่ 4.48 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ต่อปี (12.49%) 2) การใส่ปุ๋ย 18.30 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ต่อปี (51.0%) 3) การพรวนดิน 0.94 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ต่อปี (2.63%) 4) การกำจัดวัชพืช 4.72 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ต่อปี (13.15%) (5) การเก็บเกี่ยวผลผลิต 1.74 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ต่อปี (4.86%) และ (6) การขนส่งผลผลิต 5.70 กิโลกรัมคาร์บอนต่อไร่ต่อปี (15.87%) ซึ่งผลการศึกษาี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยขางต้นของสุธี คงศิริ และงานวิจัยทั้งสองเรื่องได้มีข้อเสนอแนะในการลดผลกระทบสิ่งแวดลอม ดังนี้

1) ขั้นตอนของการเตรียมดิน โดย (1) การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์เพื่อลดการใช้น้ำมันดีเซล (2) การส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปมูลสัตว์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยมูลไก่ ซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ประเภทปุ๋ยคอกที่มีปริมาณธาตุอาหารหลัก N, P และ K มากที่สุดในปริมาณระหว่าง 0.6-0.8 ตันต่อไร่เพื่อลดการปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศและช่วยแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก

2) ขั้นตอนการผลดแบง โดย (1) การลดการสูญเสียแบงในระหว่างกระบวนการผลดของโรงงาน (2) การเพิ่มระบบก๊าซชีวภาพเพื่อจัดการน้ำเสียเกิดในขั้นตอนการผลดโดยนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปผลดไฟฟ้าและใช้ผลดความร้อน

นอกจากนี้ ยังได้เสนอให้ประเทศไทยควรมีการจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการประเมิน LCA ของประเทศไทยเองโดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจที่สำคัญแทนการเทียบเคียงข้อมูลหรือสร้างขึ้นใหม่ เพื่อให้ผลการวิจัยมีระดับความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น

งานวิจัย “Comparative Life Cycle Assessment of Cassava Starch Production Between Thailand and Lao PDR” (Keomany, Davone, 2010) ได้เปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลดแบงมันสำปะหลังที่ปริมาณ 1 ตัน ของโรงงานของประเทศไทยกับโรงงานของสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) ใน โดยกรณีของประเทศไทยมีการติดตั้งระบบผลดก๊าซชีวภาพ ขณะที่โรงงานของ สปป.ลาว ไม่มีระบบผลดก๊าซชีวภาพ ผลการศึกษา พบว่า โรงงานแบงมันสำปะหลังของไทยมีค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ค่าศักยภาพภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในน้ำ (Eutrophication Potential, EP) และค่าศักยภาพในการก่อให้เกดการร่อยหรอของทรัพยากรประเภทที่ไม่สามารถทดแทนได้ (Abiotic

Depletion Potential, ADP) น้อยกว่าโรงงานใน สปป. ลาว ขณะที่ค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity Potential) และค่าศักยภาพการออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี (Photochemical Oxidation Potential) ของโรงงานในประเทศไทยสูงกว่า ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะด้านศักยภาพในการทำให้โลกร้อน กรณีโรงงานของประเทศไทยควรปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากน้ำมันดีเซลในการขนส่งวัตถุดิบมาปะหลังไปยังโรงงาน เป็น ไบโอดีเซล หรือ แก๊สธรรมชาติ ขณะที่โรงงานของ สปป.ลาว ควรเพิ่มทางเลือกโดยนำแก๊สชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำทดแทนน้ำมันเตา

ข้อสังเกตที่มีต่องานวิจัยเรื่องนี้ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ ระหว่างโรงงานต่อโรงงาน จึงไม่อาจนำมาเป็นผลสรุปเพื่อเปรียบเทียบในภาพรวมของอุตสาหกรรมการผลิตแปงมันสำปะหลังของประเทศไทยกับ สปป.ลาว ได้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อดูเป็นผลรวมหรือค่าเฉลี่ยในระดับอุตสาหกรรม นอกจากนี้ การเปรียบเทียบที่ดีและถูกต้องควรเลือกโรงงานที่มีทั้งขนาดกำลังการผลิตใกล้เคียงกันและมีการนำระบบผลิตแก๊สชีวภาพมาใช้เช่นเดียวกันทั้งสองโรงงาน ดังนั้น ผลกรณี แม้ว่าจะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบที่หน่วยการผลิต 1 ตันแบ่งเท่ากัน จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้อ้างอิง อย่างไรก็ตาม ผลงานชิ้นนี้จะช่วยจุดประกายให้มีการนำเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไปดำเนินการในอุตสาหกรรมแปงมันสำปะหลังและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ของ สปป.ลาว รวมถึงประเทศไทยมากขึ้น

ในปี 2554 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ยังมิได้เผยแพร่การจัดทำข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product Category Rule: PCR) ที่ใช้ประกอบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แปงมันสำปะหลัง ดังนั้น ชาศรีย์ ธงา จึงได้วิจัยเรื่อง “การจัดทำข้อกำหนดเฉพาะในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แปงมันสำปะหลัง” (ชาศรีย์ ธงา, 2554) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลเพื่อประกอบการจัดทำ (ร่าง) ข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยรายละเอียดและเกณฑ์ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ครอบคลุมกระบวนการเพาะปลูก การขนส่ง และกระบวนการผลิตแปงมันสำปะหลัง และนำมาใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแปงมันสำปะหลัง น้ำหนัก 1 ตันแบ่ง ของโรงงาน 4 แห่ง ซึ่งเท่ากับ 2,154 1,967 2,173 และ 2,336 กิโลกรัม CO₂e ตามลำดับ ทั้งนี้ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงานแต่ละแห่งมีผลสอดคล้องในทิศทางเดียวกัน คือ มีสาเหตุหลักมาจากการเพาะปลูกมันสำปะหลัง ระบบบำบัดน้ำเสีย กระบวนการผลิต การขนส่ง ระบบการเผาไหม้แก๊สชีวภาพ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย) ซึ่ง (ร่าง) ข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากงานวิจัยเรื่องนี้เป็นประโยชน์ต่อโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในการนำไปใช้เพื่อการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานนั้น ๆ ซึ่งจะช่วยในการปรับปรุงการผลิตให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และนำไปสู่การจัดทำฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อไป ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้มีความเห็นว่า ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แปงมันสำปะหลังจะช่วยเพิ่มมูลค่าและอำนาจต่อรองในการส่งออก

เพื่อแข่งขันในตลาดโลก เนื่องจากมีข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมตามที่ประเทศผู้นำเข้าได้ตั้งกฎเกณฑ์ไว้ ทั้งยังมีส่วนช่วยในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอน/กระบวนการต่าง ๆ ของวงจรชีวิต แต่การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์เฉพาะในส่วนของการปลูกมันสำปะหลัง การขนส่ง และกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งหากพิจารณาทั้งวงจรชีวิตจะต้องรวมเอาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการใช้แป้งมันสำปะหลังและขั้นตอนการกำจัดทำลายด้วย ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวมีกระบวนการที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกได้เช่นกัน

สำหรับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังนั้น จากผลการศึกษา เรื่อง “วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย” (จินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ และ อารังรัตน์ มุ่งเจริญ, 2554) ได้พบว่า มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลัง 599.5 ลูกบาศก์เมตร/ตัน (มันสำปะหลัง) โดยแบ่งเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีฟ้า 415.7 และ 183.8 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ตามลำดับ ขณะที่ผลการศึกษาของ สานิตยดา เตียวต้อย และคณะ, 2555 เรื่อง “วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยและมันสำปะหลังสำหรับผลิตเอทานอลในภาคตะวันออกของประเทศไทย” พบว่า ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของ 6 จังหวัด ในภาคตะวันออก (จันทบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ปราจีนบุรี ระยอง และสระแก้ว) เท่ากับ 448 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ซึ่งประกอบด้วย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว สีฟ้า และสีเทา เท่ากับ 342 40 และ 66 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Rattikarn Kongboon and Sate Sampattakul, 2012 ได้ศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังใน 13 จังหวัดภาคเหนือของไทย (เชียงราย พะเยา ลำปาง เชียงใหม่ ตาก กำแพงเพชร สุโขทัย แพร่ อุดรดิตถ์ พิษณุโลก พิจิตร นครสวรรค์ อุทัยธานี และเพชรบูรณ์) พบว่า มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เฉลี่ยเท่ากับ 564 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ซึ่งประกอบด้วย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว สีฟ้า และสีเทา เท่ากับ 192 232 และ 85 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังเฉลี่ยทั่วโลก (Global average) ที่ Mekonnen and Hoekstra ได้ศึกษาไว้ในปี 2553 โดยมีค่าเท่ากับ 563 ลูกบาศก์เมตร/ตัน จำแนกเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว และสีเทา เท่ากับ 550 และ 13 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ตามลำดับ (Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y., 2010) ทั้งนี้ จากงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันไป ตามสภาพของพื้นที่และภูมิอากาศ ระบบชลประทาน การผลิตและการให้ปุ๋ย เป็นต้น

นอกจากนี้ ในงานวิจัยของ จินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ และ อารังรัตน์ มุ่งเจริญ ยังได้ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำตลอดห่วงโซ่ของกระบวนการผลิตเอทานอลของปี พ.ศ. 2551 โดยงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำข้อมูลการศึกษาของสมบุญรณ์ พรหมเสน ที่ศึกษาในปี 2547 เรื่อง “การพัฒนาแบบจำลองการคายระเหยน้ำโดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและค่าการชักนำของปากใบพืชในพื้นที่ทำการเกษตรและสวนป่า” ซึ่งทำการตรวจวัดการคายระเหยน้ำของมันเป็นสำปะหลังที่อำเภอดงเจริญ จังหวัดนครราชสีมา มาใช้เป็นตัวแทนการคายระเหยน้ำของมันเป็นสำปะหลังของทั้งประเทศและนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอล พบว่า มีค่าเท่ากับ 267 ลูกบาศก์-

เมตรต่อตัน (มันสำปะหลัง) ต่อปี โดยแบ่งเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว และสีฟ้า 185 และ 82 ลูกบาศก์เมตรต่อตันต่อปี ตามลำดับ โดยต่อมา อนันตยา บุญฮวด และคณะ, 2557. ได้ศึกษา “การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง พื้นที่จังหวัดลพบุรีประเทศไทย” ซึ่งกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้กำหนดพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังโดยระบุให้ลพบุรีเป็นเขตปลูกมันสำปะหลังเขตที่ 7 โดยมีเป้าหมายให้มีการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลปีละ 2.27 ล้านตัน เพิ่มขึ้น 15 ล้านตัน ภายในปี พ.ศ. 2565 งานชิ้นนี้มีผลการวิจัยค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการปลูกมันสำปะหลัง คือ 430 ลูกบาศก์เมตร/ตัน (มันสำปะหลัง) ต่อปี ประกอบด้วย ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาของการปลูกมันสำปะหลัง เท่ากับ 333 และ 97 ลูกบาศก์เมตร/ปี ตามลำดับ โดยไม่พบว่า มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้า (ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติรวมทั้งแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน) จากการปลูกมันสำปะหลัง แต่อย่างไรก็ตาม การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการปลูกมันสำปะหลังควรพิจารณาธาตุอาหารอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส รวมถึงสารเคมีกำจัดวัชพืช และกำจัดโรคและแมลง และเมื่อศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตเอทานอลในอุตสาหกรรม พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้ามีค่าเท่ากับ 11 ลิตร(น้ำ)/ลิตร(เอทานอล) ซึ่งจากการศึกษาในภาคอุตสาหกรรมไม่พบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีเทา เนื่องจากไม่มีการนำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวมาใช้ในกระบวนการผลิต และน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะส่งไปใช้รดน้ำในพื้นที่เกษตรของโรงงาน ดังนั้น จึงควรพิจารณาการปนเปื้อนของน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่เพิ่มเติม สำหรับผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการผลิตเอทานอลที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบมีค่าเท่ากับ 2,544 ลิตร(น้ำ)/ลิตร(เอทานอล) โดยพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวมีค่าเท่ากับ 1,963 ลิตร(น้ำ)/ลิตร(เอทานอล) (ร้อยละ 77.13) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้ามีค่าเท่ากับ 11 ลิตร(น้ำ)/ลิตร(เอทานอล) (ร้อยละ 0.45) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา มีค่าเท่ากับ 570 ลิตร(น้ำ)/ลิตร(เอทานอล) (ร้อยละ 22.42) ทั้งนี้ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวมีปริมาณที่สูงกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้าและสีเทา เนื่องจากปริมาณฝนที่ใช้การได้ (Effective rainfall) มีปริมาณมาก จากการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา โดยในการศึกษาครั้งนี้ ได้พิจารณาปริมาณไนโตรเจนที่เกษตรกรใช้ในการปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณไนโตรเจนที่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลัง เนื่องจากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทามีปริมาณที่สูง ดังนั้น การพิจารณาเพื่อลดการใช้น้ำหรือลดปริมาณน้ำเสียจากการปลูกมันสำปะหลังอย่างน้อยควรนำปัจจัยเหล่านี้ประกอบการพิจารณา ได้แก่ พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง สายพันธุ์มันสำปะหลัง วิธีการปลูกมันสำปะหลัง ลักษณะสมบัติของดิน รวมถึงปริมาณปุ๋ยที่ใช้

สถาบันอาหารได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม จัดทำโครงการเพื่อสร้างโอกาส และเตรียมความพร้อมให้ผู้ประกอบการอาหารในประเทศ จำนวน 2 โครงการ ได้แก่ โครงการยกระดับการแข่งขันอุตสาหกรรมอาหารไทยด้วยการลดต้นทุนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (คาร์บอนฟุตพริ้นท์) และโครงการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนด้วยวอเตอร์

ฟุตพริ้นท์ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2556 เป็นต้นมา จนถึงปัจจุบัน เนื่องจากตลาดส่งออกหลักของไทยไม่ว่าจะเป็นสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น ต่างตื่นตัวกับการรักษาสິงแวดล้อมและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงการที่ผู้บริโภคในประเทศคู่ค้าใส่ใจเลือกบริโภคสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ยังส่งผลให้ผู้ผลิตต้องพัฒนาสินค้าเพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว ประกอบกับการที่เวทีการค้าเสรีเปิดกว้างขึ้น ทำให้ประเทศต่าง ๆ หันมาใช้มาตรการที่ไม่ใช่ภาษี เช่น มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม กดดันให้ประเทศที่มีการผลิตต่ำกว่ามาตรฐานต้องดำเนินการ ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ย่อมได้รับผลกระทบจากมาตรการเหล่านี้ เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกแป้งมันสำปะหลัง อันดับ 1 ของโลก สำหรับผลการศึกษาของสถาบันอาหาร (สถาบันอาหาร 2557ก และ 2557ข) ซึ่งได้ใช้อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังเป็นกรณีศึกษา ทั้งในส่วนของกระบวนการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอร์เตอร์ฟุตพริ้นท์ มีดังนี้

1) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง เป็นการศึกษาแป้งมันสำปะหลังเกรดอาหาร บรรจุถุงกระดาช หน่วยการทำงาน 50 กิโลกรัม โดยมีขอบเขตการประเมินแบบ B2B หรือ Cradle-to-Gate พิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบหัวมันสำปะหลังสด ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก (มีการรับซื้อจากเกษตรกรทั่วไปโดยสามารถระบุพื้นที่การปลูกได้ โดยมีบางส่วนที่บริษัทปลูกในพื้นที่ของบริษัทเอง) กระบวนการผลิต จนถึงการบรรจุถุงเพื่อเตรียมส่งจำหน่าย

ทั้งนี้ การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลัง คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกเท่ากับผลคูณข้อมูลกิจกรรมกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก สำหรับการคำนวณแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากวัตถุดิบ และทรัพยากรช่วยในการผลิต 2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบ และทรัพยากรช่วยในการผลิต 3) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบสนับสนุนการผลิต (การผลิตน้ำประปาและการบำบัดน้ำเสีย) สำหรับผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกรณีของแป้งมันสำปะหลังทางคณะผู้วิจัยได้จัดทำเพื่อให้เป็นแนวทาง โดยไม่อนุญาตให้นำตัวเลขไปใช้ในการอ้างอิง ซึ่งประเด็นที่สำคัญที่ได้จากงานวิจัยนี้ ได้แก่ การปรับปรุงกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง โดยการ 1) ลดปริมาณการใช้น้ำ การตรวจสอบกระบวนการผลิตและกิจกรรมที่มีการใช้โดยบ่งชี้กระบวนการหรือกิจกรรมที่มีการใช้น้ำมากที่สุด จากนั้นบริษัทอาจมีการลงทุนติดตั้งมิเตอร์น้ำเพื่อเก็บข้อมูลว่ากระบวนการและกิจกรรมเหล่านั้นมีการใช้น้ำมากน้อยเพียงใด 2) การเปลี่ยนสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยการใช้สารเคมีที่มีค่าผลกระทบต่ำกว่า และ 3) การสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนในกระบวนการผลิตเพื่อช่วยลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังได้เสนอแนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตแป้งมันสำปะหลังไว้อย่างน่าสนใจในขั้นตอนต่าง ๆ ของวัฏจักรชีวิตที่ประกอบด้วย 1) ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ โดยการลดการสูญเสียวัตถุดิบ เช่น เหง้า และรากซึ่งมีปริมาณแป้งอยู่อาจมีการศึกษาเพื่อดึงปริมาณแป้งกลับมาใช้ในการผลิตได้ เพิ่มสัดส่วนการใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ เพิ่มสัดส่วนการใช้บรรจุภัณฑ์

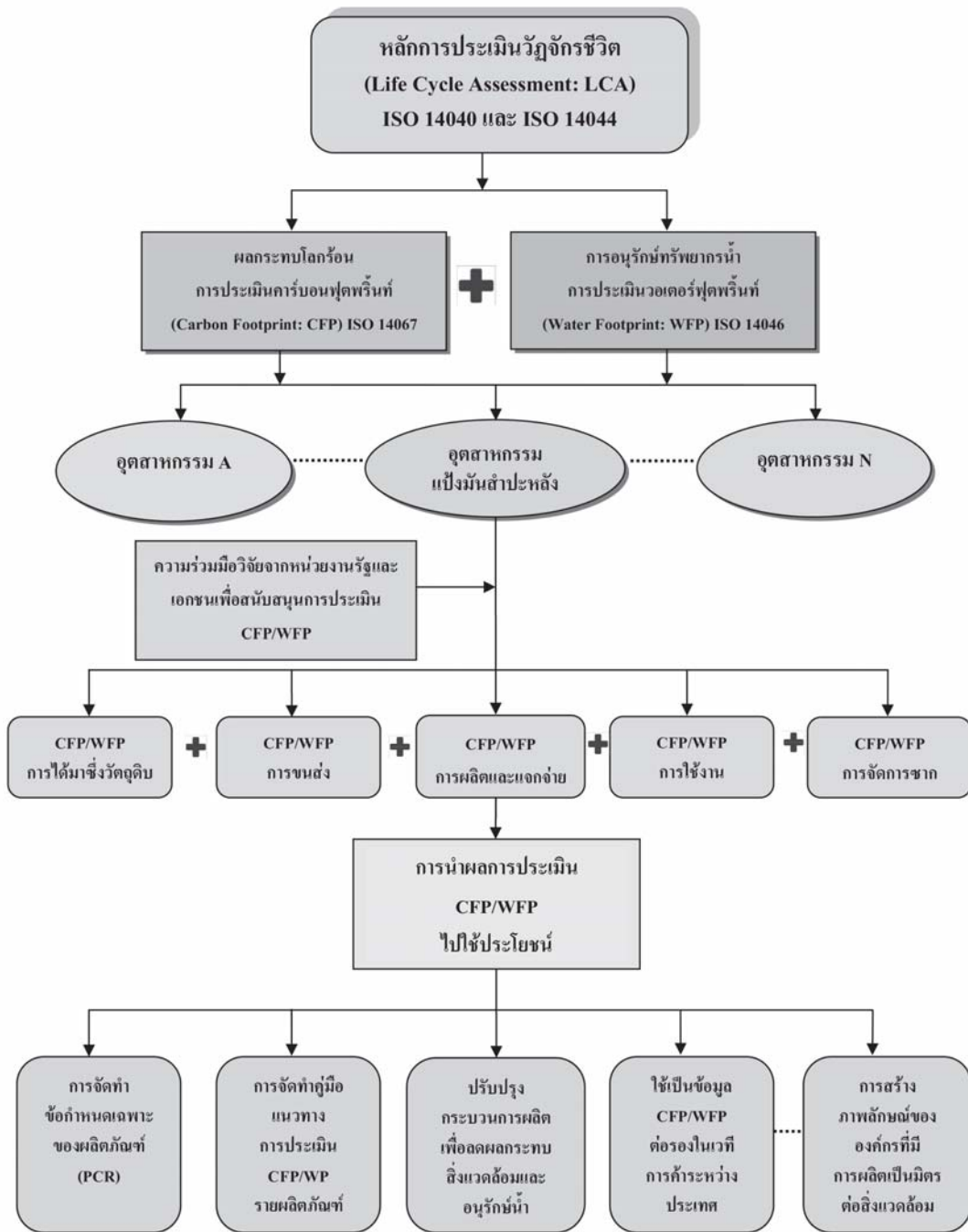
ที่เป็นวัสดุรีไซเคิล และเลือกซื้อสินค้ากับผู้ผลิตที่มีนโยบายการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก 2) ขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ ประกอบด้วย การเลือกใช้วัตถุดิบ/สารเคมีที่ผลิตหรือจำหน่ายในพื้นที่ใกล้เคียง การจัดรูปแบบการขนส่งที่เหมาะสม การเลือกประเภทการขนส่งที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และการเลือกใช้บริการบริษัทด้านการขนส่งที่มีนโยบายการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นรูปธรรม และ 3) ขั้นตอนการผลิต ได้แก่ ประกาศเรื่องการประเมินและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นนโยบายของบริษัทเพื่อวางแผนและหาแนวทางการจัดการได้อย่างเป็นรูปธรรม การจัดทำฐานข้อมูลบัญชีวัตถุดิบ การลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต การเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนหรือหมุนเวียนในกระบวนการผลิต การลดการใช้น้ำ โดยใช้หลักการ 3Rs (Reduce, Reuse and Recycle) การใช้วัตถุดิบหรือสารเคมีที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด การลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตด้วยหลักการ 3Rs โดยการนำของเสียกลับไปใช้ประโยชน์ไม่ว่าจะภายในโรงงานหรือนอกโรงงาน และการเลือกวิธีการกำจัดที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีของเสียในการฝังกลบเป็นศูนย์ (Zero Waste to Landfill)

2) การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจากสถิติการศึกษาของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2551 พบว่า มีการใช้น้ำถึง 36 ลูกบาศก์เมตร/ตันแป้ง ในกรณีศึกษาการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของแป้งมันสำปะหลังนี้ สถาบันอาหารได้อ้างอิงหลักการเก็บข้อมูลให้เป็นแนวทางเดียวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีการรอบการประเมินตามวัฏจักรชีวิตเช่นกัน ได้แก่ การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากวัตถุดิบ วัสดุ และทรัพยากร การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการขนส่ง และ การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการจัดการซาก โดยเป็นการศึกษาเพื่อคำนวณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแป้งมันบรรจุถุง LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) ขนาดบรรจุ 10 กิโลกรัม (โดยคิดจากการเทียบปัญญูติไตรยางค์ของการผลิตเพื่อให้ได้แป้งมันสำปะหลัง 1 ตัน) ครอบคลุมการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตและบรรจุถุง โดยผลการวิเคราะห์ พบว่า แป้งมันสำปะหลังบรรจุถุง LLDPE ขนาดบรรจุ 10 กิโลกรัม มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 20.20 ลูกบาศก์เมตร โดยจำแนกเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำสีเขียว สีฟ้า และสีเทา เท่ากับ 12.93, 4.55 และ 2.72 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

สำหรับแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำ ประกอบด้วย 1) การปรับปรุงกระบวนการเดินของบ่อล้าง 2) การหมุนเวียนนำน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต 3) การนำน้ำเสียหลังจากผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ของโรงงานกลับมาใช้ใหม่ และ 4) ลดปริมาณการสูญเสียแป้งมันจากสายพานลำเลียงโดยการติดตาครอบ อย่างไรก็ตาม คณะผู้วิจัยได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ว่า ทั้งฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นเพียงผลพลอยได้ที่บริษัท/โรงงานควรมีไว้เพื่อเพิ่มโอกาสทางการค้า แต่ประโยชน์ที่แฝงมากเกินจากประเด็นสิ่งแวดล้อมและสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด ได้แก่ ฐานข้อมูล แบบฟอร์มการเก็บข้อมูล หรือ

ผลการคำนวณที่ได้จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ จะช่วยในการเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเป็นผู้ผลิตที่ตระหนักถึงมิติ 3E (Economic, Energy and Environment) ได้อย่างเป็นรูปธรรมนำไปสู่การผลิตอย่างยั่งยืน

จากงานวิจัยต่าง ๆ ข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งในการวิเคราะห์หาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการใช้ทรัพยากรน้ำได้หลากหลายผลิตภัณฑ์ และสามารถดำเนินการคู่ขนานได้ ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูล ทั้งนี้ ผลงานส่วนใหญ่ยังเป็นระดับงานวิจัย หรืองานที่ภาคเอกชนดำเนินการเองโดยมีหน่วยงานภาครัฐให้การสนับสนุนทางด้านวิชาการและสนับสนุนด้านที่ปรึกษาในการวิเคราะห์และทวนสอบข้อมูล ดังนั้น เพื่อให้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่มีความสมบูรณ์และสามารถนำมาใช้งานได้ในระดับอุตสาหกรรมและประโยชน์ทางการค้า ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องมีการจัดทำข้อมูลที่สามารถใช้อ้างอิงเป็นฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของประเทศได้ ตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ ของอุตสาหกรรมเกษตรและอาหารและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3: การประยุกต์หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอุตสาหกรรมแป้งมัน

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

การดำเนินงานวิจัยด้านการประยุกต์หลักประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นั้นมีความเกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนได้และส่วนเสีย ทั้งหน่วยงานภาครัฐ เอกชน เกษตรกร ผู้ประกอบการ และผู้บริโภค ซึ่งผลของงานวิจัยจะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการช่วยบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยในการลดภาวะโลกร้อนและการอนุรักษ์น้ำ โดยผลของงานวิจัยต่าง ๆ สามารถนำมาใช้ในการสนับสนุนและต่อยอดกัน ตั้งแต่ การจัดทำข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ การจัดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ การจัดทำคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รายผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมแก่ภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม นอกจากนี้ ยังใช้เป็นข้อมูลประกอบการเจรจาต่อรองในเวทีการค้าระหว่างประเทศ รวมถึงการสร้างภาพลักษณ์ของผลิตภัณฑ์/องค์กรที่มีการผลิตอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะ

1. รัฐบาล หน่วยงานภาครัฐให้การส่งเสริมและสนับสนุน ซึ่งประกอบด้วย

- 1) การจัดสรรงบประมาณอย่างต่อเนื่องเพื่อดำเนินการและปรับปรุงฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตให้ทันสมัย เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้จะสามารถนำมาใช้ในการต่อรองยืนยัน หรือมีเหตุผลหักล้างได้ว่ากระบวนการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ของประเทศไทยไม่ได้ก่อมลภาวะเกินกว่าค่ามาตรฐานที่ประเทศผู้นำเข้ากำหนด
- 2) การส่งเสริมให้มีการจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะสินค้าที่ไทยเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ อาจเริ่มจากภาคสมัครใจและเป็นภาคบังคับเมื่อมีผู้ประกอบการให้ความสนใจจำนวนมาก
- 3) การนำมาตรการทางเศรษฐศาสตร์มาใช้ เช่น การจัดเก็บค่าธรรมเนียมการใช้น้ำและบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ผู้ก่อมลพิษตระหนักถึงปัญหาความสำคัญในการก่อกมลพิษ
- 4) การส่งเสริมและปรับเปลี่ยนวิธีการบริหารจัดการและเพาะปลูกพืช โดยส่งเสริมการใช้น้ำที่ประหยัด การให้น้ำน้อย พันธ์พืชที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงเพื่อเพิ่มผลผลิต พัฒนาคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังให้ตรงตามความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง และเตรียมรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม โดยการลดใช้สารเคมีที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในปริมาณมาก

2. ภาคเอกชน ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ควรเน้นบทบาทและหน้าที่ในการสนับสนุนและพัฒนาอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารที่มีการใช้วัตถุดิบการเกษตรเป็นหลัก เช่น อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังและอุตสาหกรรมที่ต่อเนื่อง

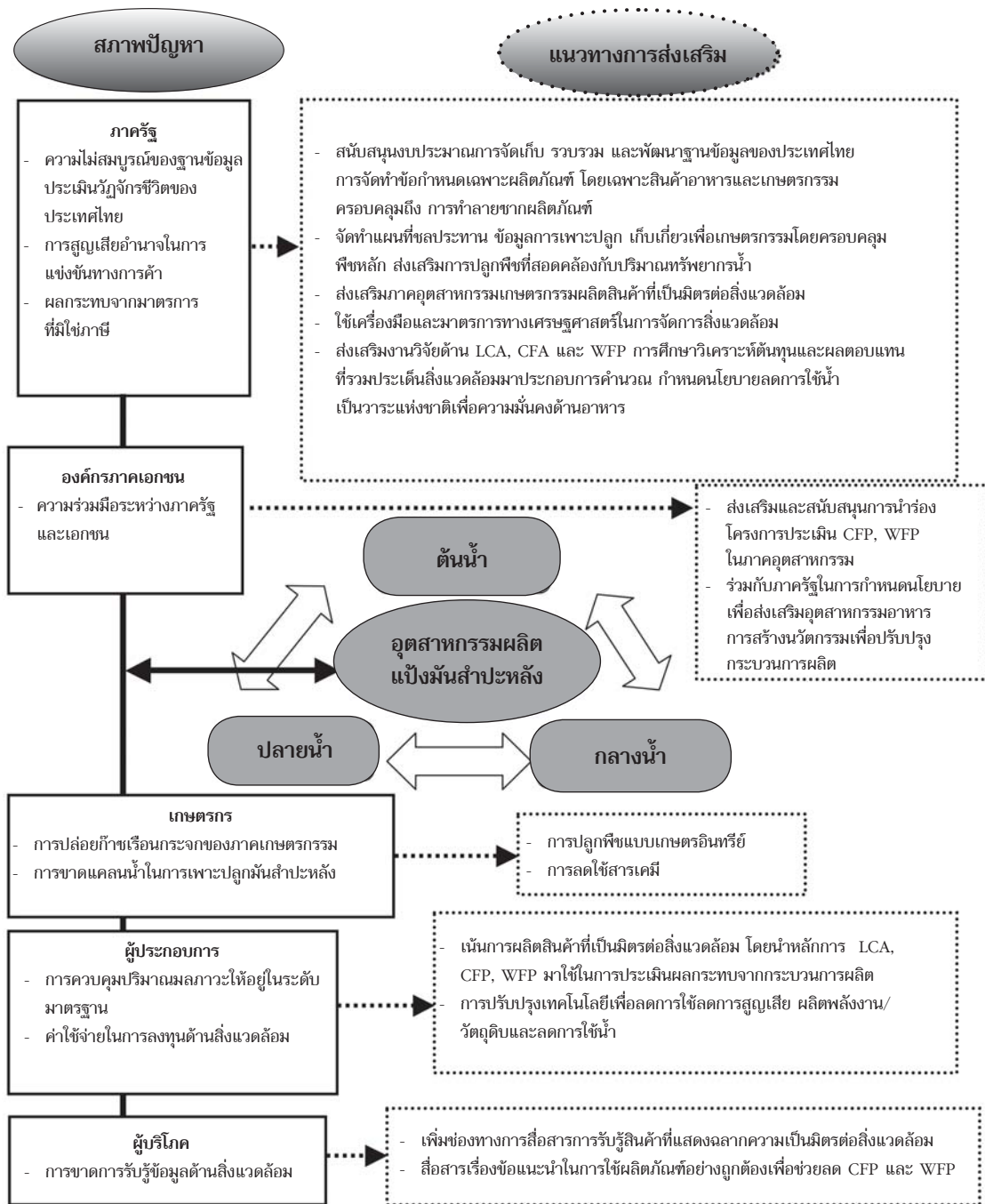
โดยให้การสนับสนุนตั้งแต่กระบวนการปลูก การผลิตและแปรรูป และการส่งออก รวมถึงการสร้างและทำความเข้าใจกับหน่วยงานภาครัฐเพื่อร่วมกำหนดแนวทางและนโยบายในการส่งเสริมอุตสาหกรรมอาหาร การสนับสนุนองค์ความรู้และนำนวัตกรรมมาเพื่อช่วยพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิต

3. เกษตรกร ควรปรับเปลี่ยนแนวทางการปลูกพืชโดยหันมาทำเกษตรอินทรีย์แทนการใช้ปุ๋ยเคมี เช่น ลดปุ๋ยไนโตรเจน ที่ก่อให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่ก่อให้เกิดโลกร้อน ลดการไถพรวนและการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินด้วยระบบเกษตรอินทรีย์ เพื่อเพิ่มความสามารถของดินในการตรึงและเก็บกักคาร์บอนตามธรรมชาติ และช่วยในการรักษาหน้าดิน

4. ผู้ประกอบการ ควรมีการเตรียมความพร้อมเรื่องฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ การปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมเพื่อช่วยลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลโดยการปรับเปลี่ยนมาใช้พลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้อุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงานและรักษาสีสิ่งแวดล้อม ควบคู่กับการลดปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตลง ทั้งนี้ อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังถือเป็นแบบอย่างที่ดี โดยการนำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมาผลิตก๊าซชีวภาพช่วยในการลดการปล่อยก๊าซมีเทนที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและยังช่วยลดค่าความสกปรกของน้ำทิ้งได้ จึงช่วยประหยัดการใช้น้ำคุณภาพดีเพื่อบำบัดน้ำเสียให้น้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และยังช่วยลดปริมาณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นได้อย่างมาก

5. ผู้บริโภค ควรมีส่วนร่วมในการลดความต้องการอุปโภคบริโภคสินค้าและบริการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้น้ำมาก โดยพิจารณาจากข้อมูลตัวเลขที่ระบุในฉลากสิ่งแวดล้อมได้แก่ ฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ฉลากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ที่แสดงการปล่อยคาร์บอนและการใช้น้ำที่มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับสินค้าประเภทเดียวกัน หรือในกรณีที่ไม่สามารถหาข้อมูลได้ การเลือกสินค้าและบริการที่มีอยู่หรือผลิตในท้องถิ่นหรือในประเทศ จะพบว่า ผลการคำนวณมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้น้ำต่ำกว่าสินค้าประเภทเดียวกันที่นำเข้าจากต่างประเทศ

ทั้งนี้ ผู้มีส่วนได้และส่วนเสียที่เกี่ยวข้องควรร่วมมือกันในดำเนินการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเพื่อการอนุรักษ์น้ำ สรุปดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4: สภาพปัญหาของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและแนวทางสนับสนุนส่งเสริมการลดก๊าซเรือนกระจกและอนุรักษ์น้ำของอุตสาหกรรมปาล์ม

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2551). *LCA เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว*. โครงการ “จัดทำคู่มือข้อมูล วัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCI-LCA). นนทบุรี: มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2558). *สคอ.ชู Carbon – Water footprint ยกระดับส่งออก – เพิ่มโอกาสการค้า*. ค้นวันที่ 5 มิถุนายน 2558 จาก http://www.industry.go.th/industry/index.php/component/k2/item/707?rss_id=1100
- กุลวรงค์ สุวรรณศรี, ยუნันท์ สันติวิฤกษ์ และกฤษฎา บำรุงวงศ์. (2554). *การวิจัยและพัฒนา: ปัจจัยสู่ความสำเร็จในการดำเนินงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์*. ค้นเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2555. จาก <http://www.biotec.or.th/th//images/stories/policy/Article/การวิจัยและพัฒนา-%20ปัจจัยสู่ความสำเร็จในการดำเนินงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์.pdf>
- จุฑารัตน์ ข่างสลัก และ จงจิณต์ ผลประเสริฐ. (2554). *การปลดปล่อยคาร์บอนจากการทำไม้สำหรับแปรรูป*. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 10. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 23-25 มีนาคม 2554. โรงแรมบีพี สมิหลา บีช แอนด์ รีสอร์ท อำเภหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. 23R4-03: 1-7.
- ชาตรีย์ ธา. (2554). *การจัดทำข้อกำหนดเฉพาะในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์และไม้แปรรูป*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ชินาธิปกรณ พงศ์ภิญโญภาพ และ อารัตน์ มุ่งเจริญ. (2554). *วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย*. วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 75 ปีที่ 24 มกราคม-มีนาคม 2554, (41-52).
- บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน). (2558). *การพัฒนาสู่ความยั่งยืน: สิ่งแวดล้อม*. ค้นวันที่ 4 มิถุนายน 2558 จาก <http://www.pttgcgroup.com/th/sustainability/sustainability-environment>
- บุญมี วัฒนเรืองรอง. (2558). *มองอุตสาหกรรมแบ่งปันสำหรับ*. ศูนย์อำนวยการเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. ค้นวันที่ 30 มิถุนายน 2558 จาก <http://fic.nfi.or.th/index.php/trade-a-market/hot-report/ceo-view/1822-2015-01-28-09-51-30>
- ปรารธนา ปรารธนาดี, จิรัชัย พุทธิกุลสมศิริ, เจริญชัย โขมพัตรภรณ์ และชุมพล มณฑาทิพย์กุล. (2552). *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. โครงการวิจัยการจัดการโซ่อุปทานโลจิสติกส์ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไทย*. สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.). กรุงเทพมหานคร: สกอ.
- ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตขั้นพื้นฐานและพลังงานของประเทศ. (2558). *ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของประเทศ*. ค้นวันที่ 19 มิถุนายน 2558 จาก <http://thailcidatabase.net/appadmin/>

db_lci.php

- ผู้จัดการออนไลน์. (2551). สิ้นค้าติด “ฉลากคาร์บอน-คาร์บอนฟุตพริ้นท์” นำทางสู่วิกฤตโลกร้อน. ค้นวันที่ 19 มิถุนายน 2558 จาก <http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9520000158737>
- ยุวพันธ์ สันติวิฤกษ์. (2554). *ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนกับโอกาสของไทยในการผลิตและส่งออกสินค้าเกษตรและอาหารคาร์บอนต่ำ*. การประชุมสัมมนาวิชาการระดับชาติเรื่อง ประเทศไทยกับภูมิอากาศโลก ครั้งที่ 2 การปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์สู่เศรษฐกิจสีเขียว วันที่ 18-19 สิงหาคม 2554 (586-596).
- รัตนวรรณ มั่งคั่ง และ แชนเบียร์ กิ่วลา. (2556). *ฟุตพริ้นท์น้ำ ผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร*. ภายใต้โครงการวิจัย “ฟุตพริ้นท์น้ำผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร” แหล่งทุนจาก สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ออฟฟิโร-เอป จำกัด
- ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. (2555). *การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไทย*. ค้นวันที่ 19 มิถุนายน 2558 จาก http://www.fic.nfi.or.th/food/upload/doc/13_135.docx
- สถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ (สรอ.). (2557). *ISO 14046 : Water Footprint*. ค้นวันที่ 9 มิถุนายน 2558 จาก http://www.masci.or.th/intelligence_news_details_th.php?id=1128
- สถาบันอาหาร. (2556). *แนวทางการประเมินรอยเท้าฉลากบนผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร*. ภายใต้การสนับสนุนจาก สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันอาหาร.
- สถาบันอาหาร. (2557ก). *การจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร*. ภายใต้การสนับสนุนจาก สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันอาหาร.
- สถาบันอาหาร. (2557ข). *แนวทางการ Water Footprint ผลิตภัณฑ์ สำหรับอุตสาหกรรมการผลิต แป้งมันสำปะหลัง ข้าวโพดหวาน และน้ำตาลทราย*. ภายใต้การสนับสนุนจาก สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันอาหาร.
- สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. (2558). *การส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง*. ค้นวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2558 จาก http://www.Thaitapiocastarch.org/th/information/statistics/export_tapioca_products
- สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). (2552). *กรณีศึกษาข้อกำหนดมาตรฐานใหม่เพื่อแก้ปัญหาวิกฤตโลกร้อนคาร์บอนฟุตพริ้นท์และฉลากคาร์บอนช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้อย่างไร?.* วารสาร For Quality Management. ฉบับที่ 144 ตุลาคม 2552 ค้นวันที่ 12 กรกฎาคม 2555 จาก http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloads/FQ144_p36_39.pdf

- สถานิตย์ดา เตียวต้อย, ขลิตา สุวรรณ และธณัฐยศ สมใจ. (2555). *วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยและมันสำปะหลังในภาคตะวันออกของประเทศไทย*. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 (2555) 69-75.
- สุธี คงศิริ. (2552). *การประเมินวัฏจักรชีวิตหัวมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลัง*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเคมี). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานคณะกรรมการกำกับการซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า (กสล.). 2554. *รายงานผลการศึกษาลินค้าเกษตรมันสำปะหลัง*. กรุงเทพมหานคร: กลุ่มทำงานศึกษาและวิเคราะห์สินค้าเกษตรประเภทมันสำปะหลัง สำนักงานคณะกรรมการกำกับการซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายและบริษัทซีเอ็มเอสเอ็นจีเนียร์ริง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด. 2556. *โครงการเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายอย่างยั่งยืนให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม*. ค้นวันที่ 4 มิถุนายน 2558 จาก <http://www.cms2green.com/lowsugar/approach.php>
- สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศประจำสหภาพยุโรป ราชอาณาจักรเบลเยียม. (2554). *Water Footprint-แนวคิดที่กำลังได้รับความสนใจ*. ค้นวันที่ 7 มิถุนายน 2558 จาก <http://www.news.thaieurope.net/conw/3717/211/>
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). (2554). *ยุทธศาสตร์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมมันสำปะหลังประเทศไทย (พ.ศ. 2555-2559)*. ปทุมธานี: สวทช.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (มหาชน). 2554. *แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ภายใต้โครงการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2558). *รายชื่อบริษัทและองค์กรที่ขึ้นทะเบียนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์*. ค้นวันที่ 19 มิถุนายน 2558 จาก <http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/carbonfootprint/index.php?page=3>
- อนันตยา บุญฮวด, นาฏสุตา ภูมิจำนงค์ และ อัจฉรา อัครจุลกุลชัย. (2557). *การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง พื้นที่จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย*. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15. 28 มีนาคม 2557. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ค้นวันที่ 10 มิถุนายน 2558 จาก <http://www.gsbooks.gs.kku.ac.th/57/grc15/files/pmo19.pdf>
- British Standards Institute (BSI). 2011. *PAS 2050: 2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. BSI.

- Denworalak, Seree. (2013). *Excellence Tapioca Supply Chain*. World Tapioca Conference 2013, Thailand. Retrieved April 18, 2015, from <http://www.worldtapiocaconference.com/speaker.html>
- Ercin, A.E. and Hoekstra, A.Y. (2012). *Carbon and Water Footprint. Concepts, Methodologies and Policies Responses*. United Nations World Water Assessment Programme. UNESCO: France.
- Hoekstra, Ajern Y.; Chapagain, Ashok K.; Aldaya, Maite M. and Mekonnen, Mesfin M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard*. London©Washington, DC: Earthscan.
- Keomany, Davone. (2010). *Compare Life Cycle Assessment of Cassava Starch Production between Thailand and LAO PDR*. M.Eng (Chemical Engineering) Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010). *The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products*. Volume 1: Main Report. Value of Water Research Report Series No. 57. UNESCO-IHE, Institute for Water Education.
- Rattikarn Kongboon and Sate Sampattagul. (2012). *The water footprint of sugarcane and cassava in norththern Thailand*. 2012 International conference in Asia Pacific Business Innovation and Technology Management. Procedia-Social and Behavioral Sciences 40 (2012) 451-460.

Translated Thai References

- Boonhaud, A., Pumijumnon, N. & Ussawarujikulchai, A. (2014). The water footprint assessment of cassava based ethanol in Lopburi of Thailand. 15th Graduate Research Conference, Khon Kaen University. March 28, 2014. Retrieved June 10, 2015 from <http://www.gsbooks.gs.kku.ac.th/57/grc15/files/pmo19.pdf> (In Thai)
- Changsaluk, C. & Pholprasert, G. (2011). Carbon emission from cassava cultivation. The 10th National Environmental Conference. Environmental Engineering Association of Thailand. March 23-25, 2011. BP Samila Beach Hotel and Resort, Songkla. 23R4-03: 1-7. (In Thai)
- Department of Industrial Works. (2008). *Life Cycle Assessment and Eco-Design*. LCI-LCA Project. Nonthaburi: Thailand Environmental Foundation-TEI. (In Thai)

- Kongsiri, S. (2009). Life cycle assessment of cassava root and cassava starch. Master Dissertation. Chemical Engineering. Graduate School, Kasetsart University. (In Thai)
- Manager Online. (2008). “Carbon reduction & carbon footprint label products” guide to global warming reduction. Retrieved June 19, 2015, from [http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID= 9520000158737](http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9520000158737) (In Thai)
- Management System Certification Institute (Thailand). (2014). ISO 14046 : Water Footprint. Retrieved June 9, 2015, from http://www.masci.or.th/intelligence_news_details_th.php?id=1128 (In Thai)
- Ministry of Industry. (2015). Office of Industrial Economics (OIE.) Raised Carbon-Water Footprints to Increase Exports and Trade Opportunities. Retrieved June 5, 2015, from http://www.industry.go.th/industry/index.php/component/k2/item/707?rss_id=1100 (In Thai)
- Mungkung, R. & Gheewala, S.B. (2013). Water footprint : Agriculture and food products. Funded by National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 1st Ed., Bangkok: Afroape-co-ltd (In Thai)
- National Food Intelligence Center. (2012). Thailand’s tapioca product exports. Retrieved June 19, 2015, from http://www.fic.nfi.or.th/food/upload/doc/13_135.docx (In Thai)
- National Food Institute (NFI). (2013). Guideline for carbon footprint assessment of food industries. Funded by Office of Industrial Economics. Bangkok: NFI. (In Thai)
- National Food Institute (NFI). (2014a). Carbon footprint management of food industries. Funded by Office of Industrial Economics. Bangkok: NFI. (In Thai)
- National Food Institute (NFI). (2014b). Water footprint guideline of starch, kernel sweet corn, and sugar. Funded by Office of Industrial Economics. Bangkok: NFI. (In Thai)
- National Science and Technology Development Agency (NSTDA). (2011). Strategy Planning of research and development for Thai Cassava industry (2012-2016). Pathumtani: NSTDA. (In Thai)
- Office of Agricultural Affairs, Belgium (2011). Water footprint-the gaining attention concept. Retrieved June 7, 2015, from <http://www.news.thaieurope.net/conw/3717/211/> (In Thai)

- Office of the Agricultural Future Trading Commission (ATFC). (2011). *Study report on cassava and products*. Bangkok: ATFC. (In Thai)
- Office of the Cane and Sugar Board & CMS Engineering and Management Co., Ltd. (2013). Increase Competitiveness of sugarcane industry with low carbon emission. Retrieved June 4, 2011, from <http://www.cms2green.com/lowsugar/approach.php> (In Thai)
- Parthanadee, P., Buddhakulsomsiri, J., Khompatraporn, C. & Monthatipkul, C. (2009). Supply Chain and Logistics Management for Cassava Products in Thailand (Final Report). Bangkok: Office of the Higher Education Commission. (In Thai)
- Pongpinyopap, C. & Mungcharoen, T. (2011). *Water footprint of bioethanol production from cassava in Thailand*. Kasetsart Engineering Journal. Jan-Feb 2011, 24(75), 41-52. (In Thai)
- PTT Global Chemical Public Company. (2015). Sustainability: Environment. Retrieved June 4, 2015, from <http://www.pttgcgroup.com/th/sustainability/sustainability-environment> (In Thai)
- Ratha, C. (2011). *Product category rule development for carbon footprint assessment of tapioca starch product*. Master dissertation, Environmental Engineering. Graduate School, Khon Kaen University. (In Thai)
- Santitaweeroek, Y. (2011). ASEAN Economic Community (AEC), the opportunity of production and export for agricultural products and low -carbon food. Climate Change and Green Economy: Pathway to Response, 2nd National Carbon Conference, Thailand. August, 18-19, 586-596. (In Thai)
- Suwansri, K., Santitaweeroek, Y. & Bumrungwong, K. (2011). Research and Development: Key success factors for carbon footprint activities. Retrieved February 15, 2012, from <http://www.biotech.or.th/th//images/stories/policy/Article/การวิจัยและพัฒนา-%20ปัจจัยสู่ความสำเร็จในการดำเนินงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์.pdf> (In Thai)
- Technology Promotion Association (Thailand-Japan). (2009). *Case Study on New Standard for Solving Global Warming*. Issue 144, October 2009. Retrieved July 12, 2012, from http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloads/FQ144_p36_39.pdf

- Thai Nation Life Cycle Inventory Database. (2015). Life cycle inventory (LCI). Retrieved June 19, 2015, from http://thailcidatabase.net/appadmin/db_lci.php (In Thai)
- Thai Tapioca Starch Association. (2015). *Export Tapioca Products*. Retrieved February 12, 2015, from http://www.thaitapiocastarch.org/th/information/statistics/export_tapioca_products
- Tiewtoy, S., Suwan, C. & Somchai, T. (2012). Water footprint of sugarcane and cassava for ethanol production in eastern, Thailand. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*. 18(1), 69-75. (In Thai)
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO). (2013). *Guideline to carbon footprint of products*. 3rd Ed. Bangkok: Technical Committee on Carbon footprint of Product, TGO. (In Thai)
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO). (2015). List of companies and organizations registered for the product carbon footprint labels. Retrieve June 19, 2015, from <http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/carbonfootprint/index.php?page=3> (In Thai)
- Wattananuangrong, B. (2015). View: Tapioca starch industry. Food Intelligence Center. Retrieved June 30, 2015, from <http://fic.nfi.or.th/index.php/trade-a-market/hot-report/ceo-view/1822-2015-01-28-09-51-30> (In Thai)