รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

แนวทางการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน

Guidelines to Water Use Impact Assessment of PVC Resin

โดย

สัณห์ โอฬาพิริยกุล

30 ตุลาคม 2557

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

แนวทางการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน

Guidelines to Water Use Impact Assessment of PVC Resin

โดย

สัณห์ โอฬาพิริยกุล

สังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ประจำปีงบประมาณ 2555

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย ม.อบ. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

น้ำเป็นทรัพยากรที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับระบบนิเวศและความเป็นอยู่ของคนในชุมชน ในประเทศไทย การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมได้ก่อให้เกิดการแย่งทรัพยากรน้ำระหว่างภาคอุตสาหกรรม ภาคครัวเรือน และภาคเกษตรกรรม โดยเฉพาะในบริเวณที่เป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม การประเมินปริมาณความต้องการในการใช้น้ำของภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการบริหารจัดการเพื่อการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน และเพื่อควบคุมผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อชุมชนในพื้นที่

ที่ผ่านมา วิธีการประเมินความต้องการในการใช้น้ำสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 วิธี ได้แก่การประเมินแบบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) และ การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) การประเมินแต่ละวิธีมีความเป็นมา หลักการการคำนวณ ความเหมาะสมในการใช้งาน และ ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้ทำการประยุกต์หลักการของวิธีทั้งสองเข้าด้วยกันเพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำซึ่งในที่นี้หมายถึงปริมาณความต้องการในการใช้น้ำและลักษณะของการใช้น้ำ ผลที่ได้จากการประเมินสามารถบ่งบอกถึงความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำในท้องถิ่นได้

ผู้วิจัยได้เลือกกระบวนการผลิต พีวีซีเรซิน ของโรงงานแห่งหนึ่งในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดเป็นกรณีศึกษา ในอันดับแรก ผลการประเมินปริมาณการใช้น้ำของกระบวนการผลิต พีวีซีเรซิน จะถูกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงต่อไปสำหรับการประเมินปริมาณการใช้น้ำของผลิตภัณฑ์ที่มี พีวีซีเรซินเป็นวัตถุดิบ ในอันดับต่อมา แนวทางการประเมินที่กำหนดขึ้นจะถูกนำไปใช้เพื่อศึกษาปริมาณการใช้น้ำตลอดจนลักษณะของการใช้น้ำที่เกี่ยวข้องของกระบวนการทางอุตสาหกรรมอื่นๆในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดเพื่อประเมินให้ได้มาซึ่งข้อมูลต่างๆที่จำเป็นต่อการบริหารจัดการให้เกิดความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำในท้องถิ่นต่อไป

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตต้องใช้น้ำปริมาณมากในกิจกรรมการผลิตต่างๆ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การขยายตัวอย่างรวดเร็วของภาคอุตสาหกรรมไทยได้ก่อให้เกิดการแย่งทรัพยากรน้ำกันกับ ภาคครัวเรือน และ ภาคเกษตรกรรม การประเมินปริมาณการใช้น้ำของภาคอุตสาหกรรมและรายละเอียดเกี่ยวกับ ประเภท เวลา และตำแหน่งของการใช้ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำให้เกิดความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำของแต่ละท้องที่ งานวิจัยนี้นำหลักการประเมินแบบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และการประเมินวัฏจักรชีวิตมาใช้ทำการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำของกระบวนการผลิต พีวีซีเรซินกรณีศึกษาซึ่งตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ผลการประเมินระบุว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิต พีวีซีเรซิน 1 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 14.72 ลิตร จากจำนวนดังกล่าว น้ำ 6.22 ลิตรเป็นน้ำที่มาจากแหล่งน้ำในท้องถิ่น นอกจากนี้ ปริมาณการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมที่เกิดขึ้นตลอดห่วงโซ่การผลิตของ พีวีซีเรซินก็ได้ถูกวิเคราะห์เช่นเดียวกัน ผลการประเมินที่ได้นี้เป็นข้อมูลที่ช่วยในการตัดสินใจในการ เลือกใช้วัตถุดิบ ลำดับการปรับปรุงขั้นตอนการผลิต และ การวางแผนการผลิต เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำและการพึ่งพิงแหล่งน้ำในท้องถิ่น นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังกำหนดแนวทางในการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำของกระบวนทางอุตสาหกรรมอื่นๆในท้องที่เพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดอีกด้วย

คำสำคัญ: การจัดการทรัพยากร ทรัพยากรน้ำ ความยั่งยืน การประเมินวัฏจักรชีวิต วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พีวีซี

Abstract

Manufacturing industries consume large amount of water in numerous production activities. During the last decade, the rapid growth of Thailand's industrial sector has resulted in a competition over water resources with residential and agricultural sectors. The assessment of the amount of water required by the industrial sector, as well as the specification of different types, times and locations of water use, is essential to water resource management contributing to sustainable use of local water resources. This research employs the concept of water footprint analysis and life cycle assessment to evaluate the water use impacts of PVC resin manufacturing process case study residing in Map Ta Phut Industrial Estate. The studying results indicate that the amount of water used to produce 1 kilogram of PVC resin is 14.72 liters, of which 6.22 liters are withdrawn from local water resources. Additionally, the direct and indirect water use along the production supply chain is accounted for in the study. The results provide useful information for management in making decision on raw material selection, process improvement priorities, and production planning, in order to reduce water consumption amount and the burden on local water resources. Additionally, water use impact assessment guideline for local industrial manufacturing processes is formulated in this research to promote the sustainable use of Map Ta Phut Industrial Estate's local water resources.

Keywords: Resource Management, Water Resource, Sustainability, LCA, Water Footprint, PVC

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตารางและรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	5
1.5 แผนงานการทำวิจัย	6
บทที่ 2 วิธีการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำ	7
2.1 การประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์	7
2.1.1 ที่มาและหลักการของการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์	7
2.1.2 ขั้นตอนการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์	9
2.1.2.ก. การหาขนาดของวอเตอร์ฟุทพริ้นท์	9
2.1.2.ข. การระบุประเภทของวอเตอร์ฟุทพริ้นท์	11
2.1.2.ค. การระบุตำแหน่งและช่วงเวลาของการใช้น้ำ	14
2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต	15
2.2.1 ที่มาและหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต	15
2.2.2 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต	18
2.2.1.ก. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope)	19
2.2.1.ข. ขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis, LCI)	21
2.2.1.ค. การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)	23
2.2.1.ง. การแปลความหมายของผลการศึกษา (Interpretation)	29
2.3 การเปรียบเทียบระหว่างการประเมินแบบวอเตอร์ฟุทพริ้นท์และการประเมินวัฏจักรชีวิต	31
บทที่ 3 การประเมินความต้องการในการใช้น้ำของกระบวนการผลิต PVC เรซิน	33
3.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิต PVC เรซินกรณีศึกษา	33
3.2 การวิเคราะห์	36
3.2.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา	36
3.2.2 บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต	37
3.2.3 การประเมินผลกระทบ	40
3.2.4 การแปลผลการประเมินวัฏจักรชีวิต	41

หน้า
3.3 สรุปแนวทางการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำของกระบวนการผลิต PVC Resin 42
3.3.1 การประเมินด้านปริมาณการใช้น้ำ 43
3.3.2 การประเมินด้านประเภทการใช้น้ำ 44
3.3.3 การประเมินด้านช่วงเวลาของการใช้น้ำ 45
3.3.4 การประเมินด้านตำแหน่งของแหล่งน้ำ 45
เอกสารอ้างอิง 49
ภาคผนวก บทความที่ใช้ในการเผยแพร่ผลงานวิจัย 52

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการกักเก็บน้ำของแหล่งน้ำของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในปี พ.ศ. 2554 3

ตารางที่ 2.1 อัตราการเปรียบเทียบต่อหน่วยมาตรฐานสำหรับผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน ฝนกรด และ ยูโทรฟิเคชั่น 25

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของการประเมินแบบวอเตอร์ฟุทพริ้นท์และการประเมินวัฏจักรชีวิตในเชิงเปรียบเทียบ 31

ตารางที่ 3.1 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออก 40

ตารางที่ 3.2 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิต PVC เรซินน้ำหนัก 1 Kg 41

ตารางที่ 3.3 แนวทางการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำของกระบวนการผลิต PVC Resin 48

สารบัญตารางรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ปริมาณการกักเก็บน้ำรวมของอ่างเก็บน้ำ หนองปลาไหล ดอกกราย และ คลองใหญ่ ในปี พ.ศ. 2547-2554 2

รูปที่ 2.1 Water Footprint ของผลิตภัณฑ์ 10

รูปที่ 2.2 รูปแบบทั่วๆไปของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ 16

รูปที่ 2.3 หลักการและกรอบการดำเนินงานของ LCA 18

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างข้อมูลที่ต้องเก็บรวบรวมเพื่อจัดทำบัญชีรายการ 22

รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบ (LCIA) 24

รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิต PVC เรซินของบริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด 33

รูปที่ 3.2 Process Flow Diagram ของ C/A Plant 34

รูปที่ 3.3 Process Flow Diagram ของ VCM Plant 35

รูปที่ 3.4 Process Flow Diagram ของ PVC Plant 35

รูปที่ 3.5 C/A Plant Life Cycle Inventory 37

รูปที่ 3.6 VCM Plant Life Cycle Inventory 38

รูปที่ 3.7 PVC Plant Life Cycle Inventory 38

รูปที่ 3.8 Life Cycle Inventory ของกระบวนการผลิต PVC เรซินกรณีศึกษา 39

รูปที่ 3.9 ตำแหน่งของแหล่งน้ำที่สำคัญของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด 46

บทที่ 1 บทนำ

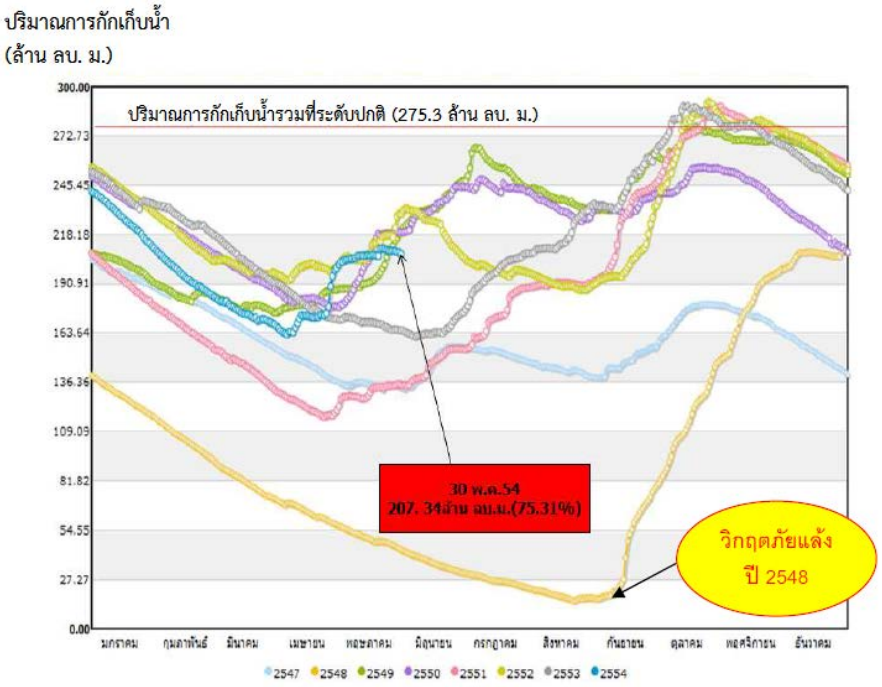
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

แผนการจัดการทรัพยากรหรือการดูแลการใช้ทรัพยากรที่ดีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญยิ่งต่อการดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืนในยุคปัจจุบัน นอกจากผลกระทบที่มีต่อต้นทุนแล้ว การขาดแคลนทรัพยากรอาจนำมาซึ่งปัญหาเกี่ยวกับความต่อเนื่องในกระบวนการผลิตไปจนถึงการดำเนินธุรกิจอีกด้วย สำหรับภาคอุตสาหกรรม น้ำจัดเป็นทรัพยากรที่สำคัญซึ่งถูกใช้ในกระบวนการผลิตในวัตถุประสงค์ที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็น การใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ การก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี การถ่ายเทความร้อน การทำความสะอาด และ อื่นๆอีกมากมาย การใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและการป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการขาดแคลนทรัพยากรน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญยิ่งต่อมนุษย์และระบบนิเวศ ในขณะที่ปัญหาการขาดแคลนน้ำเริ่มทวีความรุนแรงและขยายตัวในวงกว้างขึ้นเรื่อยๆ ในปี พ.ศ. 2555 ประชากรบนโลกกว่า 40% ได้รับผลกระทบจากภาวะการขาดแคลนน้ำ (FAO) สำหรับประเทศไทย ปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรน้ำนับเป็นปัญหาระดับภูมิภาคที่เกิดขึ้นกับภาคอุตสาหกรรมมาเป็นระยะโดยมีปัญหาภัยแล้งและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมเป็นต้นตอที่สำคัญของปัญหา ถึงแม้ประเทศไทยจะไม่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มประเทศที่ประสบกับภาวะการขาดแคลนน้ำเมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำจืดที่มีอยู่ และ ปริมาณความต้องการในการใช้น้ำในระดับประเทศ โดย ในปี พ.ศ. 2554 ปริมาณน้ำจืดจากแหล่งน้ำบนดินและใต้ดินที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มีปริมาณเท่ากับ 438,600 ล้านลูกบาศก์เมตร (CIA) ในขณะที่ปริมาณการใช้น้ำของประเทศมีปริมาณเท่ากับ 60,000 ล้านลูกบาศก์เมตรโดยประมาณ ในปี พ.ศ. 2550 (WRSRU) ประเทศไทยกลับประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำในระดับภูมิภาคและท้องถิ่นอย่างต่อเนื่องในหลายพื้นที่ โดยตัวอย่างที่เห็นได้ชัดได้แก่กรณีปัญหาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่อุตสาหกรรมภาคตะวันออกซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำสูงกว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่แหล่งกักเก็บน้ำในพื้นที่ ในปี พ.ศ. 2548 ได้เกิดเหตุการณ์ขาดแคลนน้ำอย่างหนักในเขตบริเวณรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เกิดการแย่งน้ำกัน

ระหว่างภาคอุตสาหกรรม ภาคครัวเรือน และ ภาคการเกษตรในเขตพื้นที่จังหวัดระยองและชลบุรีจนกระทั่งน้ำจากแหล่งน้ำหลักในพื้นที่ได้แก่ อ่างเก็บน้ำดอกกราย หนองปลาไหล และ คลองใหญ่ ไม่เพียงพอต่อความต้องการ และสถานการณ์การขาดแคลนน้ำในบริเวณพื้นที่รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดได้เข้าสู่ภาวะวิกฤติในที่สุด เหตุการณ์ดังกล่าวได้ทำให้องค์กรภาคอุตสาหกรรมในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและในภูมิภาคต่างๆเกิดความตื่นตัวและมีความตระหนักต่อความสำคัญของทรัพยากรน้ำมาจนถึงปัจจุบัน

กราฟแสดงปริมาณการกักเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำ หนองปลาไหล ดอกกราย และ คลองใหญ่ ถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 1.1 ในขณะที่ปริมาณการกักเก็บน้ำในระดับปกติของอ่างเก็บน้ำเหล่านี้และอ่างเก็บน้ำประแสร์ที่อยู่ห่างออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดถูกแสดงในตารางที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ปริมาณการกักเก็บน้ำรวมของอ่างเก็บน้ำ หนองปลาไหล ดอกกราย และ คลองใหญ่ ในปี พ.ศ. 2547-2554

แหล่งข้อมูล (Eastwater)

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการกักเก็บน้ำของแหล่งน้ำของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในปี พ.ศ. 2554

แหล่งน้ำ	ปริมาณน้ำกักเก็บในระดับปกติ (ล้าน ลบ.ม.)
อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล	163.8
อ่างเก็บน้ำดอกกราย	71.4
อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่	40.1
อ่างเก็บน้ำประแสร์	248.0

แหล่งข้อมูล (Eastwater)

การประเมินถึงปริมาณการใช้ทรัพยากรน้ำและการเชื่อมโยงถึงผลกระทบที่เกี่ยวข้องเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการบริหารจัดการให้เกิดความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำ นอกจากปริมาณการใช้น้ำสุทธิที่สามารถรวบรวมได้จากข้อมูลสถิติต่างๆแล้ว การประเมินเพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะของความต้องการในการใช้น้ำนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการกำหนดนโยบายและแนวทางการป้องกันการเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในระดับของนิคมฯ ตัวอย่างของคุณลักษณะของความต้องการในการใช้น้ำนั้นได้แก่ 1). ปริมาณการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมที่เกิดขึ้นในห่วงโซ่การผลิต 2). ปริมาณการใช้น้ำตามประเภทแหล่งน้ำซึ่งแบ่งเป็น แหล่งน้ำท้องถิ่น และ แหล่งน้ำภายนอก และ 3). ปริมาณการใช้น้ำในช่วงเวลาต่างๆของปี การประเมินให้ได้ข้อมูลในลักษณะนี้จะต้องอาศัยการประเมินในระดับกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ดำเนินอยู่ในเขตนิคมฯ นอกจากประโยชน์ในด้านการนำข้อมูลที่ประเมินได้เหล่านี้มาช่วยในการกำหนดนโยบายและแนวทางต่างๆในระดับบนแล้ว การประเมินในระดับกระบวนการยังช่วยองค์กรและผู้ประกอบการในการตัดสินใจในด้านต่างๆ เช่น การเลือกใช้วัตถุดิบ การปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีการผลิต และ การขยายหรือลดกำลังการผลิตในช่วงต่างๆของปี เป็นต้น ทั้งหมดนี้เพื่อเป็นการลดปัญหาการแย่งน้ำกับภาคครัวเรือนและภาคการเกษตรในพื้นที่ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำ ลดความเสี่ยงในการดำเนินธุรกิจที่จะเกิดขึ้นจากภาวะการขาดแคลนน้ำ และ ก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน

วิธีหลักๆที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะต่างๆของความต้องการในการใช้น้ำที่กล่าวมานี้สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ 1). การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และ 2). การประเมินวัฏจักรชีวิต ในขณะที่การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นเป็นที่ทราบกันโดยทั่วว่ามีจุดมุ่งหมายหลักในการเปิดเผยถึงปริมาณการใช้น้ำที่แฝงมากับผลิตภัณฑ์ที่เราบริโภค

การประเมินวัฏจักรชีวิตได้ถูกใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆรวมทั้งความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับคน ทรัพยากร และ ระบบนิเวศ โดยผลกระทบเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรน้ำเป็นหนึ่งในด้านผลกระทบที่อยู่ในขอบเขตของการประเมิน

ถึงแม้วิธีทั้งสองจะถูกนำมาใช้ในการประเมินถึงคุณลักษณะต่างๆของความต้องการในการใช้น้ำได้ แต่วิธีทั้งสองก็มีวิวัฒนาการของการพัฒนาขั้นตอนการประเมินและการใช้งานที่แตกต่างกัน รวมทั้งมีขอบเขตของการประเมินที่แตกต่างกันในหลายด้าน การนำวิธีใดวิธีหนึ่งมาใช้ในการประเมินจึงจะต้องมีการพิจารณาให้รอบคอบถึงความเหมาะสมเพราะวิธีทั้งสองมีสิ่งที่เหมือนกันคือการที่ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากเกี่ยวกับประเภทและปริมาณของสารขาเข้า-ออกในการวิเคราะห์ ทำให้ใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ยาวนานและมีค่าใช้จ่ายที่สูง นอกจากนี้โปรแกรมและฐานข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ของทั้งสองวิธียังมีราคาสูงอีกด้วย เพื่อเป็นข้อมูลแก่นักวิจัยในการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำของกระบวนการทางอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้จึงได้ถูกดำเนินการโดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อกำหนดแนวทางการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำที่เหมาะสมกับกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยมีกระบวนการผลิต พีวีซีเรซินเป็นกรณีศึกษา

1.2.2 ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำและคุณลักษณะของการใช้น้ำของกระบวนการผลิต พีวีซีเรซินกรณีศึกษาที่เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการบริหารจัดการเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะการขาดแคลนน้ำของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในอนาคต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การประเมินปริมาณการใช้น้ำตลอดจนคุณลักษณะของการใช้น้ำของกระบวนการผลิต พีวีซีเรซินซึ่งเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้อยู่บนพื้นฐานของวิธีการประเมินแบบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และการประเมินวัฏจักรชีวิต การประเมินมุ่งวิเคราะห์ถึงความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำของแหล่งน้ำท้องถิ่นในบริเวณที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดโดยที่ไม่ครอบคลุมถึงผลกระทบจากภาวะการขาดแคลนน้ำที่อาจเกิดขึ้นกับ คน สิ่งมีชีวิต และ ระบบนิเวศ

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังมุ่งประเมินการใช้น้ำในระดับกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์เท่านั้นโดยมีการเทียบเคียงให้เห็นภาพถึงผลกระทบในระดับนิคมฯเพียงเล็กน้อย จากนั้นจึงสรุปถึงแนวทางของวิธีการประเมินที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ไม่ได้มีวัตถุดิบและสารตั้งต้นที่มาจากภาคการเกษตรในพื้นที่

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 การเตรียมงานวิจัย/ทบทวนศึกษาเอกสาร: ทำการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำโดยวิธีการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และการประเมินวัฏจักรชีวิต รวมทั้ง เก็บข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิตของโรงงานของบริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์จำกัด (มหาชน) ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและแหล่งน้ำในนิคมฯ

1.4.2 วิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วิธีการประเมินแบบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และการประเมินวัฏจักรชีวิต ในการประเมิน

1.4.3 ทำการประเมินการใช้น้ำของกระบวนการกรณีศึกษาด้วยวิธีการประเมินที่เหมาะสม

1.4.4 สรุปผลการประเมิน รวมทั้ง ข้อแนะนำหรือแนวทางการประเมินที่ได้จากกรณีศึกษา

1.4.5 จัดทำรายงานสรุปผลการศึกษา

1.5 แผนงานการทำวิจัย

กิจกรรม	ช่วงเวลา (เดือน)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
การเตรียมงานวิจัย/ทบทวนศึกษาเอกสาร												
เก็บข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการกรณีศึกษา												
วิเคราะห์และเลือกวิธีการประเมิน												
ทำการประเมินกรณีศึกษา												
สรุปผลการประเมิน												
จัดทำรายงานสรุปผลการศึกษา												

บทที่ 2 วิธีการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำ

ในส่วนนี้ของงานวิจัยจะกล่าวถึงหลักการและขั้นตอนของการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำ ผลกระทบของการใช้น้ำในงานวิจัยนี้หมายถึงการขาดแคลนน้ำในแหล่งน้ำท้องถิ่นที่เป็นที่ตั้งของกระบวนการที่ทำการศึกษา ขนาดของผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถประเมินได้เป็นปริมาณความต้องการในการใช้น้ำโดยอาจแสดงในเชิงเปรียบเทียบกับปริมาณกักเก็บน้ำของแหล่งน้ำเพื่อให้เห็นภาพของผลกระทบในมุมมองของความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำท้องถิ่น วิธีที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินดังกล่าวได้แก่ วิธีการประเมินแบบวอเตอร์ฟุทพริ้นท์และวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต หลักการและขั้นตอนการประเมินของทั้งสองวิธีจะถูกกล่าวไว้ในบทที่ 2 ดังต่อไปนี้

2.1 การประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์

2.1.1 ที่มาและหลักการของการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์

ในปี พ.ศ. 2545 หลักการที่ใช้ในการประเมินผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากรน้ำที่เรียกว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) หรือ รอยเท้าน้ำ ได้ถูกนำเสนอโดย Hoekstra (2002) คำว่า ฟุตพริ้นท์ (Footprint) ที่แปลว่ารอยเท้านั้นถูกใช้เพื่อแสดงถึงขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ โดยคำว่า Footprint นั้นถูกใช้ครั้งแรกเพื่อแสดงถึงขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการรองรับจำนวนประชากรตามหลักการของรอยเท้านิเวศ (Ecological Footprint) (Rees, 1992) ต่อมาเมื่อปัญหาโลกร้อนเริ่มได้รับการยอมรับว่าเป็นภัยใกล้ตัวและเป็นปัญหาสำคัญระดับโลก หลักการของ Footprint ก็ได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนโดยมีชื่อเรียกว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) จากนั้นคำว่า Footprint ก็เริ่มเป็นที่รู้จักในแวดวงการศึกษาและถูกใช้เป็นชื่อดัชนีชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆในเวลาต่อมารวมทั้งผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากรน้ำในที่สุด

ผลิตภัณฑ์ที่มีวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ขนาดใหญ่นั้นหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดการใช้น้ำในปริมาณมาก โดยปริมาณการใช้น้ำที่พิจารณานี้เป็นปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ และ เป็นปริมาณที่แฝงอยู่ในตัวผลิตภัณฑ์ซึ่งหมายถึง ปริมาณน้ำที่ถูกใช้ในขั้นตอนการเพาะปลูก หรือ กระบวนการผลิตเป็นต้น หลักการวอเตอร์

ฟุทพริ้นท์ช่วยให้ผู้บริโภคตระหนักถึงปริมาณน้ำแฝงดังกล่าวและความสำคัญของความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำมากขึ้น

โดยทั่วไป วิธีการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์มักถูกนำมาใช้วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่มีวัตถุดิบจากภาคการเกษตร เพราะน้ำปริมาณมากถูกใช้ในขั้นตอนการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์โดยที่ผู้บริโภคไม่ได้ตระหนักถึงการใช้น้ำดังกล่าว สำหรับกระบวนการทางอุตสาหกรรม น้ำที่ใช้ทางตรงคือน้ำที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆภายในกระบวนการผลิต เช่น การใช้น้ำเป็นตัวทำปฏิกริยาเคมี การใช้น้ำทำความสะอาด การใช้น้ำระบายความร้อน การใช้น้ำช่วยลำเลียงวัตถุดิบหรือสารต่างๆในกระบวนการ หรือ การใช้น้ำเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ น้ำที่ใช้ทางอ้อมหมายถึงน้ำที่ไม่ได้ถูกใช้ภายในกระบวนการผลิต แต่ถูกใช้ในการผลิตวัตถุดิบ สารตั้งต้น และ พลังงาน ที่ถูกส่งเข้ามายังกระบวนการผลิต ในการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ ข้อมูลปริมาณน้ำที่ถูกใช้ทั้งทางตรงและทางอ้อมนี้จะถูกรวบรวมและสรุปเป็นปริมาณการใช้น้ำของผลิตภัณฑ์

ปริมาณการใช้น้ำของผลิตภัณฑ์ที่ประเมินโดยหลักการวอเตอร์ฟุทพริ้นท์นี้ถือเป็นเพียงข้อมูลส่วนหนึ่งของวอเตอร์ฟุทพริ้นท์เท่านั้น ซึ่งเทียบได้กับปริมาณน้ำเสมือน (Virtual Water) ของผลิตภัณฑ์ตามหลักการของ (Allan, 1997) ในการประเมินโดยใช้หลักการของวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ ผู้ประเมินจะต้องจำแนกประเภทของการใช้น้ำที่เกิดขึ้นตลอดห่วงโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์โดยประเภทการใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น น้ำสีเขียว (Green Water) น้ำสีน้ำเงิน (Blue Water) และ น้ำสีเทา (Grey Water) นอกจากนี้ ข้อมูลอื่นๆที่สามารถสื่อสารโดยวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ยังรวมถึงตำแหน่งและช่วงเวลาของการใช้น้ำที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำของแหล่งน้ำที่มีให้ใช้ทั้งในแง่ของประเภท ตำแหน่ง ในช่วงเวลาต่างๆของแต่ละปีเพื่อพิจารณาถึงจุดที่เกิดภาวะการขาดแคลนน้ำ (Hotspot) และแนวทางการแก้ไขปัญหา อย่างไรก็ตาม การกำหนดขอบเขตของข้อมูลที่ต้องการสื่อสารในการประเมินนั้นสามารถกระทำตามความเหมาะสมโดยพิจารณาจากวัตถุประสงค์ของการศึกษาและข้อมูลที่สามารถทำการเก็บรวบรวมได้เป็นสำคัญ

ตัวอย่างของวัตถุประสงค์ของการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ได้แก่

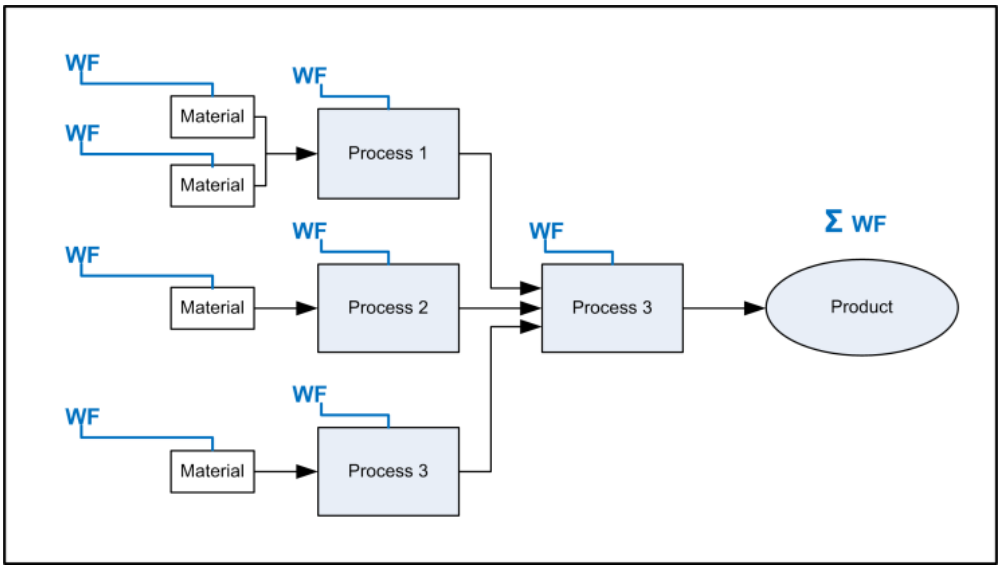
- ต้องการระบุตำแหน่งหรือช่วงเวลาของการเกิด Hotspot หรือจุดที่ความต้องการในการใช้น้ำมีมากกว่าปริมาณน้ำของแหล่งน้ำ
- ต้องการหาปริมาณการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมในห่วงโซ่อุปทาน
- ต้องการหาปริมาณการใช้น้ำประเภทต่างๆ
- ต้องการหาโอกาสในการลดปริมาณการใช้น้ำในระดับท้องถิ่นหรือภูมิภาค
- ต้องการสร้างความตระหนักในด้านความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำแก่ผู้คน

2.1.2 ขั้นตอนการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์

วิธีการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ได้ถูกเขียนไว้ในคู่มือการประเมินของ Water Footprint Network (Hoekstra et al., 2011) โดยมีเนื้อหาครอบคลุมการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ของ ผลิตภัณฑ์ คน องค์กร และประเทศ ส่วนนี้ของบทความจะทำการสรุปถึงเฉพาะขั้นตอนการประเมินที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ PVC เรซินกรณีศึกษาซึ่งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ภาคอุตสาหกรรม

2.1.2.ก การหาขนาดของวอเตอร์ฟุทพริ้นท์

ในการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลเกี่ยวกับขั้นตอนของกระบวนการผลิตรวมทั้งวัตถุดิบและทรัพยากรต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ โดยผู้ทำการประเมินจะต้องวาดแผนผังห่วงโซ่อุปทานซึ่งรวมถึงกระบวนการผลิต วัตถุดิบและชิ้นส่วนที่ใช้ผลิตหรือประกอบขึ้นเป็นตัวผลิตภัณฑ์ และ การขนส่ง จากนั้นจึงนำข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการได้มาซึ่งวัตถุดิบ รวมทั้งน้ำที่ใช้ในกระบวนผลิตและขนส่งมาทำการระบุลงในแผนผังห่วงโซ่อุปทานดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่ระบุอาจมาจากข้อมูลของกระบวนการผลิตที่รวบรวมได้ หรือ อาจมาจากการประเมินด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต ผลรวมของปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมดจะเป็นขนาดของวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.1 Water Footprint ของผลิตภัณฑ์

สมการที่ใช้ในการคำนวณขนาดของวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ได้แก่

$WF_{prod} = \sum_{i=1}^{y} WF_{proc}[i] + \sum_{i=1}^{z} WF_{mat}[i]$ (ปริมาตรน้ำ/น้ำหนักผลิตภัณฑ์)

WF_{prod}	Water Footprint ของผลิตภัณฑ์ (Product)
$WF_{proc}[i]$	Water Footprint ของกระบวนการ (Process)
$WF_{mat}[i]$	Water Footprint ของวัตถุดิบ (Material)
y	จำนวนกระบวนการทั้งหมด
z	จำนวนวัตถุดิบทั้งหมด

ขั้นตอนการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เริ่มต้นด้วยการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ของวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ จากนั้นจึงทำการประเมินปริมาณน้ำที่ถูกใช้ในกระบวนการต่างๆ จนกระทั่งได้มาซึ่งตัวผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไป กระบวนการผลิตจะมีหน้าที่ในการผลิตมากกว่าหนึ่งประเภทผลิตภัณฑ์ เช่น กระบวนการผลิตสารเคมีอาจจะทำหน้าที่ผลิตสารเคมีที่มีความบริสุทธิ์หรือส่วนประกอบต่างกัน ในกรณีนี้ ผู้ประเมินจะต้องทำการปันส่วนเพื่อประเมินถึงปริมาณการใช้น้ำของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาโดยสามารถปันส่วนปริมาณการใช้น้ำตามสัดส่วนของ มูลค่า ปริมาณ น้ำหนัก หรือ คุณลักษณะอื่นๆที่เหมาะสมของผลผลิตของ

กระบวนการเพื่อให้ผลการวิเคราะห์สะท้อนถึงสัดส่วนปริมาณการใช้น้ำที่ตรงกับความเป็นจริงสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท ขนาดของวอเตอร์ฟุทพริ้นท์หรือปริมาณการใช้น้ำที่ประเมินได้จะถูกแสดงในหน่วยของปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ หน่วยของผลิตภัณฑ์อาจจะอยู่ใน หน่วยชิ้น หน่วยน้ำหนัก หน่วยปริมาตร (ในกรณีของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะของเหลว) หน่วยราคา หน่วยพลังงาน (เช่น Calorie สำหรับอาหาร หรือ Joule สำหรับเชื้อเพลิง) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานหรือซื้อขายแลกเปลี่ยน หรือความต้องการของลักษณะการนำเสนอของผู้ประเมิน

2.1.2.ข การระบุประเภทของวอเตอร์ฟุทพริ้นท์

แต่ละพื้นที่บนโลกนี้มีลักษณะทางอุทกวิทยาที่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณน้ำผิวดินหรือปริมาณฝนที่มากน้อยแตกต่างกันออกไป ตามหลักการของวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ นอกจากขนาดหรือปริมาณของการใช้น้ำแล้ว การประเมินยังพิจารณาถึงประเภทของการใช้น้ำอีกด้วยโดยแบ่งประเภทของการใช้น้ำออกเป็น น้ำสีน้ำเงิน น้ำสีเขียว และ น้ำสีเทา การประเมินจะต้องพิจารณาว่าการใช้น้ำในแต่ละจุดของห่วงโซ่อุปทานมีลักษณะตรงตามการใช้น้ำประเภทใดและทำการจำแนกออกมา จากนั้นจึงสามารถนำปริมาณความต้องการในการใช้น้ำแต่ละประเภทมาทำการเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำแต่ละประเภทที่มีให้ใช้ได้ในแหล่งน้ำ น้ำแต่ละประเภทมีนิยามและหลักการประเมินดังต่อไปนี้

น้ำสีน้ำเงิน คือ ปริมาณน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ปริมาณน้ำสีน้ำเงิน ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ และ ปริมาณน้ำที่ระเหยไปในขั้นตอนต่างๆซึ่งรวมถึงขั้นตอนการเก็บรักษา การขนถ่าย การผลิต และ การกำจัดซากผลิตภัณฑ์ ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดเหล่านี้สามารถหาได้โดยทำการวัดจากปริมาณน้ำที่ใช้โดยตรง หรือคำนวณหาส่วนต่างของปริมาณน้ำที่เข้าออกในแต่ละระบบ นอกจากการวัดปริมาณการใช้น้ำแล้ว ปริมาณน้ำสีน้ำเงินสามารถหาได้โดยใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม

ปริมาณการใช้น้ำแต่ละประเภทจะถูกเรียกว่า Consumptive water use ปริมาณการใช้น้ำนี้ไม่ได้หมายถึงปริมาณของน้ำที่ถูกใช้หมดไปเนื่องจากน้ำเป็นทรัพยากรทดแทน (Renewable resource) น้ำที่ถูกใช้ไม่ได้หายไปเพียงแต่เปลี่ยนสถานะ เปลี่ยนที่อยู่ และ หมุนเวียนอยู่ในแหล่งน้ำต่างๆ ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำ Consumptive water use ที่ทำการประเมินนี้เป็นปริมาณน้ำที่ถูกใช้และเคลื่อนที่ออกจากขอบเขตบริเวณของแหล่งน้ำของกระบวนการผลิต และ/หรือ กลับคืนสู่แหล่งน้ำเดิมนอกขอบเขตเวลาที่กำหนด

ทั้งนี้ Consumptive water use ประเภทน้ำสีน้ำเงินของผลิตภัณฑ์คือผลรวมของปริมาณน้ำใน 4 กรณีดังต่อไปนี้

1. ปริมาณน้ำที่ระเหย ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต การจัดเก็บ การขนส่ง โดยปกติ การประเมินปริมาณน้ำที่ระเหยนี้จะกระทำโดยการคำนวณส่วนต่างของปริมาณน้ำที่เข้าออกระบบ ไม่ได้มาจากการวัดปริมาณน้ำที่ระเหยโดยตรง

2. ปริมาณน้ำที่กลายเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์

3. ปริมาณน้ำที่สูญเสียให้แก่แหล่งน้ำอื่น หมายถึงปริมาณน้ำที่ถูกใช้และคืนสู่แหล่งน้ำแต่ไม่ได้คืนกลับสู่แหล่งน้ำเดิม เช่น น้ำจากแหล่งน้ำในท้องถิ่นที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตและถูกปล่อยลงสู่คลองระบายน้ำและลงสู่ทะเลหลังการบำบัด

4. ปริมาณน้ำที่กลับสู่แหล่งน้ำในช่วงเวลาที่ต่างกัน ถึงแม้น้ำจะถูกปล่อยคืนกลับสู่แหล่งน้ำเดิม ผลกระทบด้านการขาดแคลนน้ำสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่การใช้น้ำจากแหล่งน้ำเกิดขึ้นในช่วงที่เกิดภาวะการขาดแคลนน้ำในขณะที่การปล่อยน้ำคืนสู่แหล่งน้ำเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แหล่งน้ำมีปริมาณน้ำกักเก็บไว้มาก การคำนึงถึงปริมาณน้ำที่หมุนเวียนเข้าสู่แหล่งน้ำในช่วงเวลาต่างๆนี้จึงเป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้าม

น้ำสีเขียว คือ ปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในดินในรูปของความชื้น ผลิตภัณฑ์เกษตรและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้มีปริมาณการใช้น้ำสีเขียวที่สูง โดยปริมาณการใช้น้ำประเภทน้ำสีเขียว ปริมาณ Consumptive water use คือผลรวมของปริมาณน้ำใน 2 กรณีดังต่อไปนี้

1. ปริมาณน้ำฝนที่ระเหย

2. ปริมาณน้ำฝนที่ถูกใช้ในการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรคำนวณซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรสภาพอากาศ สภาพดิน และ ลักษณะของพืช

โดยผลรวมของปริมาณน้ำใน 2 กรณีดังกล่าวได้ถูกเรียกว่าปริมาณ Evapotranspiration ของพืช สามารถคำนวณได้โดย

$$\mathrm{ET_a}\,[t] = \mathrm{K_c}\,[t] \times \mathrm{K_s}\,[t] \times \mathrm{ET_o}\,[t]$$

$\mathrm{ET_a}\,[t]$ ปริมาณ Evapotranspiration ของพืช (หน่วย mm per day)

$\mathrm{K_c}\,[t]$ ค่าสัมประสิทธิของพืช (Crop coefficient)

$\mathrm{K_s}\,[t]$ ค่าปัจจัยการลดลงของการคายน้ำ (Transpiration reduction factor)

$\mathrm{ET_o}\,[t]$ ปริมาณ Evapotranspiration อ้างอิง (หน่วย mm per day)

ผลรวมของปริมาณ Evapotranspiration ของพืชต่อวันตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการเพาะปลูกจนเก็บเกี่ยวหรือช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตที่ทำการพิจารณา เมื่อถูกแปลงหน่วยเป็น ปริมาตร/พื้นที่ จะถูกเรียกว่าปริมาณ Consumptive water use ของน้ำสีเขียว

น้ำสีเทา คือ น้ำที่ใช้ในการเจือจางน้ำเสียเปลี่ยนคุณภาพน้ำเสียให้มีคุณภาพน้ำเทียบเท่ากับแหล่งน้ำรองรับ ซึ่งมีคุณภาพน้ำตามค่ามาตรฐานที่ใช้อ้างอิง โดยตามหลักการของวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ ปริมาณน้ำสีเทาสามารถคำนวณได้โดยนำปริมาณมลพิษในน้ำเสียมาหารด้วยค่าความเข้มข้นสูงสุดของมลพิษดังกล่าวที่สามารถยอมรับได้ในแหล่งน้ำรองรับ แหล่งน้ำรองรับในที่นี้หมายถึงแหล่งน้ำที่ใช้รองรับน้ำเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเป็นการลดปริมาณของน้ำสีเทาที่จะเกิดขึ้น และถ้าปริมาณของน้ำสีเทาที่คำนวณได้มีปริมาณน้อยกว่าปริมาณน้ำในแหล่งน้ำรองรับที่ไหลเวียนเมื่อใด แสดงว่าเรามีปริมาณน้ำเพียงพอต่อการเจือจางมลพิษให้มีค่าความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ไม่เป็นภัยต่องสิ่งแวดล้อม โดยปกติแล้ว

น้ำเสียจะประกอบไปด้วยมลพิษมากว่าหนึ่งประเภท ในกรณีนี้ การหาปริมาณน้ำสีเทาสามารถคำนวณโดยพิจารณาถึงประเภทมลพิษที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุด

ในการประเมินปริมาณการใช้น้ำประเภทน้ำสีเทานั้น เนื่องปริมาณน้ำสีเทาคือปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดหรือเจือจางระดับมลพิษให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณ Consumptive water use ของน้ำสีเทาจึงได้แก่ ระดับความเข้มข้นของมลพิษในน้ำทิ้งที่ปล่อยออกสู่แหล่งน้ำรองรับ และ ระดับความเข้มข้นของมลพิษประเภทดังกล่าวในน้ำทิ้งตามที่กฎหมายกำหนดหรือตามมาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำรองรับ โดยปริมาณ Consumptive water use ของน้ำสีเทาสามารถคำนวนได้โดยใช้สมการ

$$\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางระดับมลพิษ} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad \text{(ปริมาตรน้ำ/เวลา)}$$

โดยที่

L	ปริมาณมลพิษในน้ำทิ้ง (น้ำหนัก/เวลา)
C_{max}	ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ของมลพิษในน้ำ (น้ำหนัก/ปริมาตรน้ำ)
C_{nat}	ระดับความเข้มข้นของมลพิษในแหล่งน้ำธรรมชาติที่เป็นแหล่งน้ำรองรับ (น้ำหนัก/ปริมาตรน้ำ)

การรีไซเคิล (Recycle) และการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) สามารถทำให้ปริมาณการใช้น้ำสีน้ำเงินและน้ำสีเทาลดลงได้เฉพาะในกรณีที่การการรีไซเคิลและการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่นั้นส่งผลให้ปริมาณ Consumptive water use ลดลง คำจำกัดความของการรีไซเคิลในที่นี้หมายถึงการนำน้ำที่ถูกใช้แล้วมาผ่านกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการเดิมภายใต้จุดประสงค์การใช้งานเดิม ส่วนคำจำกัดความของ Reuse นั้นหมายถึงการนำน้ำที่ใช้แล้วกลับมาใช้ในต่างกระบวนการโดยอาจถูกใช้ภายใต้จุดประสงค์การใช้งานที่ต่างออกไป

2.1.2.ค การระบุตำแหน่งและช่วงเวลาของการใช้น้ำ

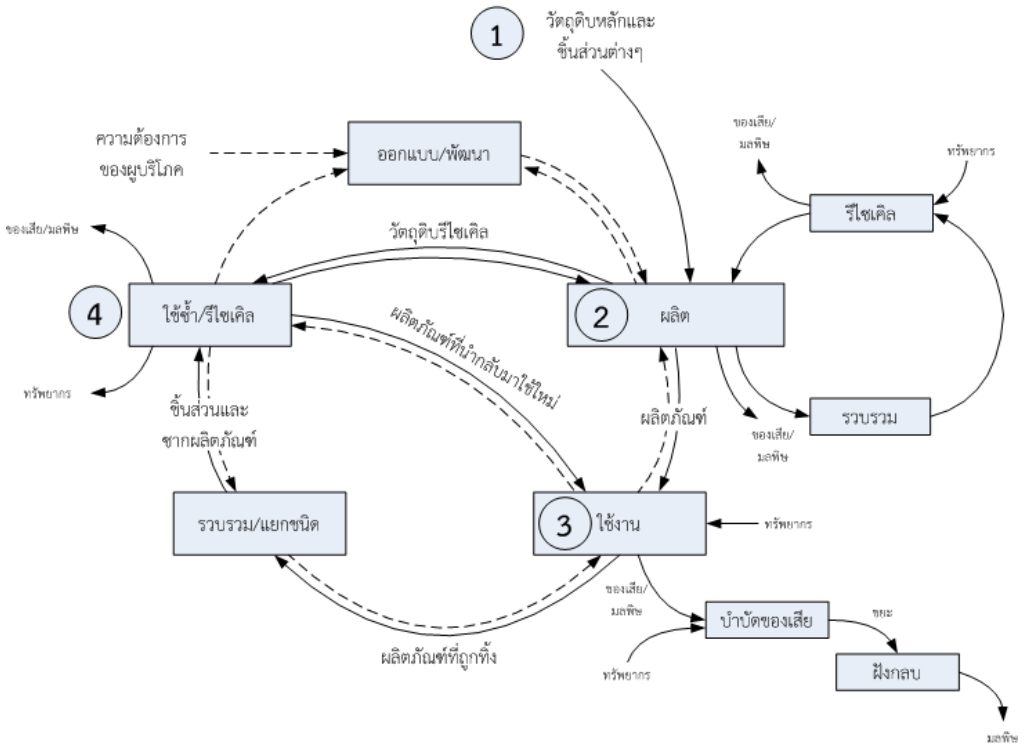
นอกจากการสื่อให้ทราบถึงขนาดและประเภทของการใช้น้ำแล้ว การประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ยังสามารถพิจารณาถึงมิติอื่นๆซึ่งอาจเกิด Hotspot ขึ้นได้ เช่น ตำแหน่งและช่วงเวลาที่ความต้องการใช้น้ำเกิดขึ้น เนื่องจาก

โดยทั่วไปแล้วปริมาณน้ำในแหล่งน้ำไม่ได้อยู่ในระดับคงที่ตลอดปี เมื่อนำข้อมูลเกี่ยวกับช่วงเวลาที่ความต้องการในการใช้น้ำเกิดขึ้นมาเทียบกับระดับปริมาณน้ำที่มีให้ใช้ในช่วงเวลาต่างๆของปีก็จะสามารถระบุถึงช่วงเวลาที่ Hotspot เกิดขึ้นได้ ในส่วนของตำแหน่งนั้น วัตถุดิบ วัสดุ สารตั้งต้น รวมทั้ง พลังงานที่ถูกใช้ในห่วงโซ่การผลิตอาจมีพื้นที่แหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน น้ำที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์จึงอาจมาจากแหล่งน้ำในหลายพื้นที่ การประเมินปริมาณน้ำโดยคำนึงถึงความต้องการน้ำที่มีต่อและปริมาณน้ำที่มีให้ใช้ของแหล่งน้ำต่างๆในห่วงโซ่การผลิตจึงเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ไม่ควรมองข้ามเพื่อที่จะสามารถระบุถึง Hotspot ที่อาจเกิดขึ้นได้

2.2 การประเมินวัฏจักรชีวิต

2.2.1 ที่มาและหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต

ในปัจจุบัน การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นวิธีที่ถูกใช้ในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์อย่างแพร่หลาย ผลการวิเคราะห์โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถช่วยในการตัดสินใจต่างๆเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เช่น การเลือกใช้วัสดุ การออกแบบ วิธีการนำกลับมาใช้ใหม่ การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ และ อื่นๆอีกมากมายเพื่อลดภาระทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ในช่วงต่างๆตลอดวัฏจักรชีวิต ผลของการประเมินสามารถสื่อให้ทราบถึงขนาดของผลกระทบด้านต่างๆที่คาดว่าจะเกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ซึ่งเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตและประกอบ การขนส่งและกระจายสินค้า การใช้งาน จนกระทั่ง การจัดการเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานซึ่งรวมถึงการใช้ซ้ำและการรีไซเคิล ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2 ทั้งนี้ขอบเขตการศึกษาทั้งในด้านประเภทผลกระทบและช่วงของวัฏจักรชีวิตที่ทำการพิจารณาสามารถกำหนดขึ้นได้ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา การประเมินในเชิงปริมาณนี้อาศัยการแปลผลข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุและพลังงานที่ใช้ในการผลิตรวมทั้งผลผลิตและมลพิษที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมให้กลายเป็นข้อมูลสารขาเข้าสารขาออก จากนั้นจึงทำการแปลผลข้อมูลให้กลายเป็นข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะเกิดขึ้นโดยการศึกษาอาจรวมถึงความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับคน ระบบนิเวศ และ ทรัพยากรธรรมชาติ



รูปที่ 2.2 รูปแบบทั่วๆไปของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

(ลูกศรที่เป็นเส้นทึบคือการไหลเวียนของพลังงานและวัสดุ ลูกศรที่เป็นเส้นปะหมายถึงการไหลเวียนของข้อมูล)

แหล่งข้อมูล ดัดแปลงมาจาก (Rebitzer and et al 2004)

วิวัฒนาการของการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตในการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับการใช้น้ำได้เริ่มต้นในช่วงกลางทศวรรษที่ 1990 โดยมุ่งศึกษาผลกระทบด้านการใช้น้ำของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการใช้น้ำมาก โดยที่น้ำไม่ได้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์แต่อย่างใด เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากฝ้าย (Johnson 1994; Sauer et al. 1994) หนังสัตว์ (Mila Canel et al. 2002) อย่างไรก็ตาม ผลกระทบด้านการใช้น้ำที่ทำการศึกษาเป็นแค่ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยการทำงาน (Functional Unit) เท่านั้นโดยไม่ได้มีการแบ่งประเภทของน้ำหรือระบุตำแหน่งของแหล่งน้ำที่นำน้ำมาใช้แต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม จุดเด่นของการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตก็คือการนำเสนอผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่รอบด้าน ผู้ประเมินสามารถนำเสนอปริมาณการใช้น้ำในเชิงเปรียบเทียบกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านอื่นๆที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในช่วงต่างๆของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เช่น เมื่อไม่นานมานี้

ในกรณีของเชื้อเพลิงชีวภาพ งานวิจัยที่ใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Emmenegger et al. 2011) ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้นั้นกลับทำให้ปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้นมหาศาลในขั้นตอนการเพาะปลูกพืชวัตถุดิบของเชื้อเพลิงชีวภาพ

หลังจากการใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อศึกษาปริมาณการใช้น้ำในช่วงแรกๆ นักวิจัยเริ่มให้ความสนใจในการพัฒนาวิธีการประเมินผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำมากขึ้นตามลำดับ Owen (2001) ได้เสนอว่าการประเมินวัฏจักรชีวิตควรพิจารณาถึงตัวชี้วัดด้านคุณภาพของน้ำด้วยเพราะการพิจารณาเฉพาะปริมาณน้ำที่ใช้เพียงอย่างเดียวนั้นไม่อาจเพียงพอต่อการสร้างความยั่งยืนด้านการใช้ทรัพยากรน้ำได้ Brent (2004) ชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำโดยทำการแบ่งขอบเขตที่ทำการศึกษาออกเป็นพื้นที่ย่อยและพิจารณาถึงปริมาณน้ำของแหล่งน้ำในตำแหน่งต่างๆนั้นสามารถทำได้และน่าจะช่วยสื่อให้เห็นถึงความยั่งยืนในการใช้น้ำในระดับท้องถิ่นได้ชัดเจนขึ้น งานวิจัยในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นของแนวคิดในการคำนึงถึงค่าเป้าหมายหรือปริมาณสูงสุดที่มีให้ใช้ของทรัพยากรในระดับท้องถิ่นหรือระดับประเทศ จนกระทั่งในเวลาต่อมา วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบบ Endpoint ของ LCA ที่เรียกว่า Ecological Scarcity 2006 Method (Frischknecht et al. 2009) หรือที่ที่ถูกเรียกในชื่อ Ecoscarcity Method หรือ Eco-points Method นั้นได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยสามารถทำการประเมินผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากรน้ำโดยคำนึงถึงภาวะการขาดแคลนน้ำของแหล่งน้ำในพื้นที่ต่างๆ ค่าผลกระทบการใช้น้ำจะถูกแสดงในหน่วย Ecofactor หรือที่เรียกว่า Ecopoint แทนการแสดงปริมาณการใช้น้ำในหน่วยปริมาตร ซึ่งค่า Ecofactor ของการใช้ทรัพยากรน้ำนี้สามารถนำไปรวมหรือเปรียบเทียบกับค่า Ecofactor ของผลกระทบด้านอื่นๆได้ต่อไป

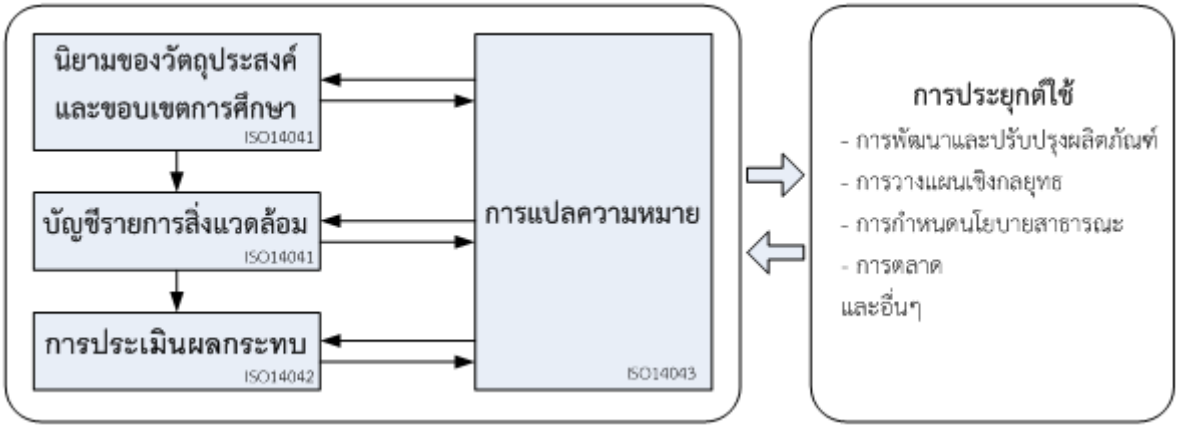
ในช่วงถัดมา การใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตในการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับการใช้น้ำได้พัฒนาเพื่อครอบคลุมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับคนและระบบนิเวศ (Pfister et al. 2009)

2.2.2 ขั้นตอนการประเมินประเมินวัฏจักรชีวิต

องค์กรระดับนานาชาติเช่น SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) และองค์กรมาตรฐานสากล (International Standard Organization: ISO) ได้ให้นิยามของ LCA ไว้ว่า “การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของ สารขาเข้า สารขาออก และ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์” (SETAC 1991) ตามหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตที่กำหนดไว้ใน ISO14040 และ ISO14044 ขั้นตอนการประเมินประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลักได้แก่

1. การกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope)
2. การจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory, LCI)
3. การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)
4. การแปลความหมายของผลการศึกษา (Interpretation)

การเชื่อมโยงระหว่าง 4 ขั้นตอนถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 2.3 โดยในแต่ละขั้นตอนมีใจความดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 หลักการและกรอบการดำเนินงานของ LCA

(ลูกศรในภาพแสดงถึงการไหลเวียนของข้อมูล)

แหล่งข้อมูล SETAC

2.2.1.ก การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิต เป้าหมายการศึกษาจะต้องนำไปสู่ข้อมูลของผลการศึกษาที่มีประโยชน์อย่างแท้จริงและนำไปสู่การพัฒนาปรับปรุงที่นำไปปฏิบัติได้ โดยการกำหนดเป้าหมายควรจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆดังต่อไปนี้

- ลักษณะของการนำผลการศึกษาไปใช้ โดยอาจเป็น ด้านการตลาด ด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ด้านการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ หรือ ด้านการกำหนดนโยบาย เป้าหมายที่ตั้งจะต้องสอดคล้องกับลักษณะการนำผลการศึกษาไปใช้
- ลักษณะการเผยแพร่ผลการศึกษา ถ้าในกรณีที่ต้องการเผยแพร่การศึกษาในรูปของบทความทางวิชาการ การกำหนดเป้าหมายการศึกษาอาจจะต้องพิจารณางานวิจัยที่มีมาก่อนหน้านี้เพื่อให้ผลการศึกษาเป็นที่สนใจของนักวิจัยทั่วไป แต่ถ้าเป็นกรณีที่ต้องการเผยแพร่การศึกษาเฉพาะภายในขององค์กร เป้าหมายการศึกษาจะต้องสามารถช่วยในการแก้ไขปัญหาที่องค์กรประสบอยู่ หรือจะต้องเติมเต็มความรู้ในส่วนที่องค์กรขาดอยู่
- ผู้ที่เราต้องการนำผลการศึกษาไปนำเสนอ โดยอาจเป็น ผู้ถือหุ้น ผู้บริหาร วิศวกร ผู้บริโภค หรือ ประชาชนทั่วไป เป้าหมายการศึกษาจะต้องเป็นที่สนใจของกลุ่มคนที่เราต้องการนำเสนอผลการศึกษา
- ความเป็นไปได้ในการกำหนดเป้าหมายในเชิงปริมาณ การกำหนดเป้าหมายในเชิงปริมาณ เช่น ต้องการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ให้ได้ 20 % เป็นสิ่งที่ควรทำเนื่องจากเป็นการเพิ่มความชัดเจนในการกำหนดเป้าหมาย
- ความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์หรือระบบที่ทำการศึกษา การเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนเกินไปนั้นนอกจากจะทำได้ลำบากเพราะต้องใช้ข้อมูลในปริมาณมหาศาลแล้ว ผู้ศึกษายังไม่อาจนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่เนื่องจากการปรับปรุงการออกแบบหรือเลือกใช้วัสดุทดแทนมักถูกจำกัดด้วยความสัมพันธ์ในด้านการทำงานของชิ้นส่วนต่างๆที่มีความสลับซับซ้อนสูงอยู่

การกำหนดขอบเขตการศึกษาเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากเนื่องจากเป็นตัวบ่งชี้เวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ ค่าใช้จ่าย ผลการศึกษา และ ความสามารถในการตอบโจทย์ของการศึกษา ขอบเขตการศึกษาที่กำหนดจะต้องมีความชัดเจนและทำให้การศึกษามีความหมาย ขอบเขตการศึกษานั้นมีหลายด้านซึ่งรวมถึง

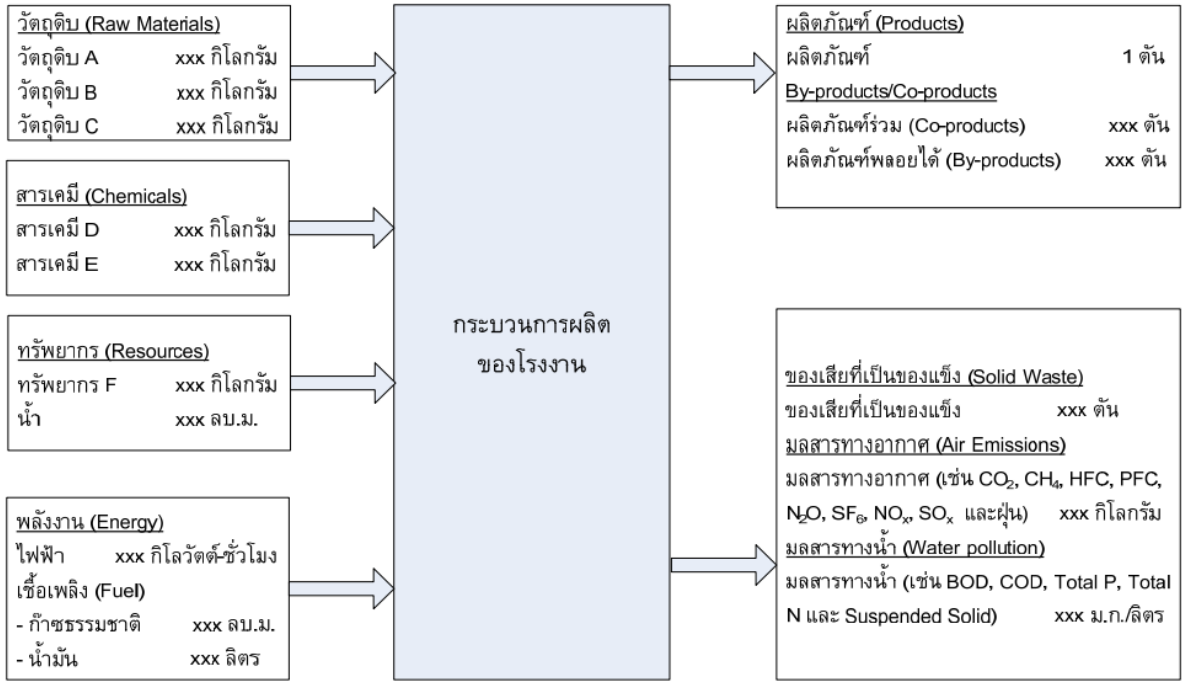
- ขอบเขตด้านระดับความละเอียดในการทำการศึกษา ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ชิ้นส่วนที่มีเทคโนโลยีสูงอาจประกอบไปด้วยวัสดุหลายร้อยชนิดและชิ้นส่วนหลายพันชิ้น การพิจารณาระดับความละเอียดของข้อมูลที่เก็บรวบรวมนั้นส่งผลต่อ ระยะเวลา งบประมาณ และ ความเป็นไปได้ในการทำการศึกษา
- ขอบเขตด้านกลไกตามธรรมชาติในระบบนิเวศ เช่น การย่อยสลายของวัสดุต่างๆตามธรรมชาติในระบบนิเวศก่อให้เกิดปฏิกิริยาและการเปลี่นแปลงขององค์ประกอบของวัสดุที่ยากจะประเมินได้ด้วยความแม่นยำ การกำหนดขอบเขตการศึกษาจึงต้องพิจารณาว่าควรรวมการเกิดปฏิกิริยาในช่วงการย่อยสลายของวัสดุหรือผลิตภัณฑ์เข้าไว้ในการศึกษาด้วยหรือไม่ ผู้ทำการศึกษาจะต้องเลือกระหว่างความครบถ้วนของข้อมูลและความเรียบง่ายในการทำการศึกษา
- ขอบเขตด้านพื้นที่ที่เกิดผลกระทบและเวลา เนื่องจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมประเภทต่างๆมีช่วงเวลาการเกิดผลกระทบและบริเวณที่ได้รับผลกระทบในระดับที่ต่างๆกัน

การกำหนดหน่วยหน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์เป็นขั้นตอนที่จำเป็นเมื่อเป้าหมายของการศึกษาคือการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ 2 หรือ 3 ชิ้นขึ้นไป เราต้องกำหนดลักษณะหน้าที่และหน่วยของหน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบให้ตรงกันเพื่อให้สามารถเกิดการเปรียบเทียบขึ้นได้โดยไม่เกิดความลำเอียงในการเปรียบเทียบ เช่น ในกรณีของการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์เช่นถุงกระดาษกับถุงพลาสติก หน้าที่การใช้งานคือการห่อหุ้มรักษาสิ่งของและช่วยให้การขนสิ่งของทำได้สะดวก หน่วยการทำงานคือจำนวนถุงที่นำไปใช้ใส่สิ่งของในปริมาณที่กำหนด ในกรณีนี้ ถ้าถุงที่ทำการเปรียบเทียบมีความจุเท่าๆกัน การเปรียบเทียบจะอยู่บนพื้นฐานของจำนวนถุงที่เท่ากัน อีกตัวอย่างนึงได้แก่การ

เปรียบเทียบผงซักฟอกยี่ห้อต่างๆ หน้าที่การใช้งานของผงซักฟอกคือการทำความสะอาดเสื้อผ้า หน่วยการทำงานคือปริมาณ (ปริมาณน้ำหนักหรือปริมาตร) ของผงซักฟอกที่ใช้ในการซักผ้าหนึ่งครั้ง ปริมาณของผงซักฟอกแต่ละยี่ห้อที่นำมาทำการเปรียบเทียบอาจมีความแตกต่างกันตามปริมาณการใช้ในแต่ละครั้งของการซักที่ให้ระดับความสะอาดของเสื้อผ้าเท่าๆกัน ในกรณีนี้วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษาอาจเป็น การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผงซักฟอก 2 ยี่ห้อที่ใช้ในการซักผ้าด้วยเครื่องซักผ้า 30 รอบ จำนวนรอบที่ทำการเปรียบเทียบอาจมากหรือน้อยกว่า 30 รอบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การศึกษาและลักษณะความต้องการในการแสดงผลการศึกษา ในตัวอย่างที่กล่าวมา หน่วยการทำงานที่กำหนดคือ จำนวนชิ้น และ ปริมาณ ที่ทำให้การทำงานของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่นำมาทำการเปรียบเทียบบรรลุเป้าหมายเดียวกันนั่นเอง

2.2.1.ข ขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis, LCI)

การจัดทำบัญชีรายการ (บัญชีรายการสารขาเข้า-ออก) นั้นคือการใช้วิธีการวิเคราะห์การไหลเวียนของสาร (Material Flow Analysis: MFA) เพื่อระบุถึงประเภทและปริมาณของสารหรือวัสดุที่ไหลเวียนเข้าออกในช่วงต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของวัสดุ (Material) ในขอบเขตบริเวณที่ทำการศึกษา โดยวัสดุในที่นี้หมายถึงทรัพยากรธรรมชาติ (เช่น โลหะ ไม้ เชื้อเพลิง พลังงาน และ น้ำ) วัตถุดิบและสารตั้งต้นในการผลิต ผลิตภัณฑ์ตลอดจน ขยะและมลพิษ



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างข้อมูลที่ต้องเก็บรวบรวมเพื่อจัดทำบัญชีรายการ

แหล่งข้อมูล [จันทิมา อุทะกะ]

ในรูปที่ 2.4 ปริมาณของสารขาเข้าและขาออกทุกชนิดถูกแสดงอยู่ในปริมาณต่อ 1 หน่วยการทำงาน ซึ่งในที่นี้เป็น 1 หน่วยน้ำหนัก ในกรณีอื่นๆ หน่วยการทำงานอาจอยู่ในหน่วย ปริมาตร มูลค่า หรือ เวลา ตามความเหมาะสม ข้อมูลเกี่ยวกับสารขาเข้าและขาออกที่ระบุในบัญชีรายการนี้อาจมาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการผลิต ข้อมูลและปริมาณของสารขาออกบางประเภทอาจมาจากการคำนวณโดยใช้หลักการสมดุลมวล เช่นในกรณีของมลสารทางอากาศซึ่งอาจวัดเป็นหน่วยน้ำหนักได้ยาก การทราบถึงชนิดของก๊าซสำคัญๆที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศอาจอาศัยการดุลสมการเคมีเป็นต้น เมื่อได้รายการของสารขาเข้า-ออกซึ่งประกอบเป็นบัญชีรายการสารขาเข้า-ออกที่ครบถ้วนแล้ว การแปลผลให้กลายเป็นข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจะถูกกระทำในขั้นตอนการประเมินผลกระทบซึ่งเป็นขั้นตอนถัดไป

2.2.1.ค การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)

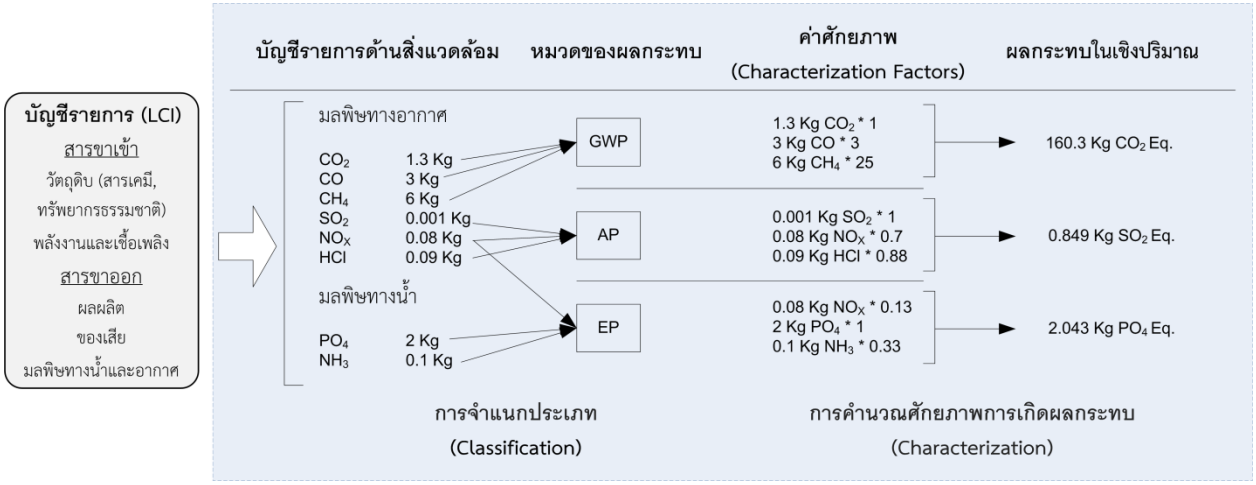
ในการประเมินผลกระทบ ข้อมูลจากบัญชีรายการที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปประมวลผลร่วมกับฐานข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวัสดุ/สารต่างๆที่ได้ทำการรวบรวมโดยหน่วยงานต่างๆ หรือ การศึกษาและงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้านี้ การประเมินผลจะอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้าช่วย ในการประเมินผู้ประเมินสามารถเลือกวิธีการประเมิน (Impact assessment method) ได้ตามความเหมาะสมเกี่ยวกับ ประเภทผลกระทบที่ต้องการประเมิน ภูมิภาคที่เป็นที่ตั้งของระบบที่ทำการศึกษา รวมทั้ง ระดับการประเมินที่ต้องการ (Midpoint หรือ Endpoint)

***ขั้นตอนการประเมินผลกระทบขั้นกลาง** (Midpoint Category)*

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบขั้นกลางเป็นขั้นตอนที่ต้องกระทำในการประเมินวัฏจักรชีวิต ทั้งนี้ขั้นตอนการประเมินผลกระทบขั้นกลางประกอบไปด้วย ขั้นตอนการจำแนกประเภท (Classification) และ ขั้นตอนการคำนวณศักยภาพการเกิดผลกระทบ (Characterization) ตามที่แสดงในรูปที่ 2.5

- การจำแนกประเภท (Classification)

ข้อมูลการไหลเวียนของวัสดุและพลังงานที่ได้จากขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ (LCI) จะถูกแปลงเป็นข้อมูลการไหลเวียนของก๊าซและสารประเภทต่างๆที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อยู่ภายใต้ขอบเขตการศึกษา จากนั้น ก๊าซและสารประเภทต่างๆจะถูกนำมาจัดเป็นหมวดหมู่ตามหมวดหมู่หรือประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นเมื่อก๊าซและสารเหล่านั้นถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบ (LCIA)

แหล่งข้อมูล ดัดแปลงมาจาก Handbook for Life Cycle Assessment (PE International)

GWP (Global Warming Potential) หมายถึงศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนซึ่งมีหน่วยมาตรฐานเป็นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 Eq.)

AP (Acidification Potential) หมายถึงศักยภาพในการก่อให้เกิดฝนกรดซึ่งมีหน่วยมาตรฐานเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์เทียบเท่า (SO_2 Eq.)

EP (Eutrophication Potential) หมายถึงศักยภาพในการก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นมีหน่วยมาตรฐานเป็นฟอสเฟทเทียบเท่า (PO_4 Eq.)

ยกตัวอย่างเช่นในกรณีของมลพิษที่ปล่อยออกจากกระบวนการที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเช่นน้ำมันซึ่งอาจรวมถึง ก๊าซมีเทน (Methane) ก๊าซบิวทีน (Butene) และ สารฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) ในขั้นตอนการจำแนกประเภท ก๊าซมีเทนอาจถูกจัดเข้าอยู่ในหมวดหมู่ปัญหาภาวะโลกร้อน ก๊าซบิวทีนอาจถูกจัดเข้าอยู่ในหมวดหมู่ปัญหาการเกิดสม๊อก และ สารฟอร์มัลดีไฮด์อาจถูกจัดให้อยู่ในหมวดหมู่ปัญหาความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity) เป็นต้น

- การคำนวณศักยภาพการเกิดผลกระทบ (Characterization)

การคำนวณศักยภาพการเกิดผลกระทบเป็นขั้นตอนที่แปลงปริมาณก๊าซและสารที่ได้จำแนกประเภทไว้ให้อยู่ในรูปผลกระทบในเชิงปริมาณ เช่น การแปลงปริมาณก๊าซทั้งหมดที่จัดเป็นก๊าซเรือนกระจกให้เป็นศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนซึ่งอยู่ในหน่วยน้ำหนักของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และ การแปลงปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกมาให้เป็นศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรดโดยอยู่หน่วยน้ำหนักของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เทียบเท่า เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 อัตราการเปรียบเทียบต่อหน่วยมาตรฐานสำหรับผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน ฝนกรด และ ยูโทรฟิเคชั่น

ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (CO_2 Eq.)*	
CO_2	1
CH_4	25
N_2O	298
SF_6	22800
PFC_{14}	7390
HFC_{23}	14800

ศักยภาพในการก่อให้เกิดความเป็นกรด (SO_2 Eq.)	
NH_3	1.88
HCl	0.88
HF	1.6
NO	1.07
NO_2	0.7
NO_X	0.7
SO_2	1
SO_X	1

ศักยภาพในการก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชั่น (PO_4 Eq.)	
NH_3	0.33
NO	0.2
NO_2	0.13
PO_4	1

แหล่งข้อมูล IPCC/TEAP (2005)

ในการคำนวณหาผลกระทบในเชิงปริมาณ มวลก๊าซและสารที่ได้จำแนกประเภทให้อยู่ตามหมวดหมู่ของผลกระทบที่กำหนด(เลือก) จะถูกนำมาคูณกับค่าศักยภาพ (Characterization Factor) ของหมวดหมู่ปัญหาต่างๆ ตามที่แสดงอยู่ในตารางที่ 6.1 ค่าที่คำนวณได้คือผลกระทบในเชิงปริมาณ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ทำการศึกษา ยกตัวอย่างเช่น ในหมวดผลกระทบภาวะโลกร้อน ค่ามาตรฐานของศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนคือหนึ่งหน่วยน้ำหนักของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือที่เรียกว่า คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 Eq.) จากตารางที่ 6.1 ข้อมูลบ่งบอกว่า ก๊าซมีเทน (CH_4) มีศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนรุนแรงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 เท่า ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) มีศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนรุนแรงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 298 เท่า การคำนวณค่าผลกระทบในเชิงปริมาณสำหรับหมวดปัญหาความเป็นกรดและยูโทรฟิเคชั่นสามารถทำได้ในทำนองเดียวกันตามที่แสดงอยู่ในรูป 6.4

น้ำนับเป็นหนึ่งในประเภททรัพยากรที่ขั้นตอนการประเมินผลกระทบขั้นกลางสามารถประเมินได้ โดยวิธีการประเมินที่สามารถใช้ได้มีหลายวิธีได้แก่ วิธี EDIP 97 (Wenzel et al. 1997; Hauschild and Wenzel 1998) และ ReCiPe (Goedkoop et al. 2009) ผู้ประเมินสามารถเลือกใช้วิธีการประเมินผลกระทบดังกล่าวและพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่ถูกใช้ในช่วงต่างๆของ วัฏจักรชีวิตหรือในส่วนต่างๆของกระบวนการที่สนใจทำการศึกษา สำหรับการแบ่งประเภทของการใช้น้ำ หรือ การแบ่งน้ำที่ใช้ออกเป็นการใช้ทางตรงและทางอ้อมนั้น ผู้ประเมินจะต้องทำการพิจารณาด้วยตนเอง โปรแกรม LCA ยังไม่สามารถแบ่งปริมาณน้ำที่ใช้ออกตามประเภทหรือลักษณะของการใช้ได้

***ขั้นตอนการประเมินผลกระทบปลายทาง** (Endpoint Category)*

ในการประเมินวัฏจักรชีวิต ขั้นตอนการประเมินผลกระทบปลายทางเป็นขั้นตอนที่จะทำหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ทำการศึกษา ผู้ทำการศึกษาสามารถนำผลการประเมินที่ได้จากขั้นตอนการประเมินผลกระทบ (LCIA) มาทำการแปลผลและสรุปผลการศึกษาได้เลยโดยเฉพาะในกรณีที่จุดประสงค์ของการประเมินเป็นการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเพียงด้านใดด้านหนึ่งโดยที่ผู้ศึกษาไม่ต้องการนำขนาดของผลกระทบที่ประเมินได้มาเปรียบเทียบกับขนาดอ้างอิง ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาหาผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (คาร์บอนฟุตพริ้นท์) ของผลิตภัณฑ์ที่วางขายตามร้านสะดวกซื้อโดยต้องการแสดงขนาดของผลกระทบให้ผู้บริโภคทราบในหน่วยน้ำหนักของ CO_2 Eq. ต่อผลิตภัณฑ์จำนวน 1 ชิ้น ในกรณีนี้ผู้ศึกษาสามารถนำผลการประเมินจากขั้นตอน LCIA มาแสดงบนตัวผลิตภัณฑ์ให้ผู้บริโภคทราบได้เลย

อย่างไรก็ตาม ในหลายๆโอกาส ผู้ทำการศึกษามีความจำเป็นต้องใช้ขั้นตอนการประเมินผลกระทบปลายทางเพื่อแสดงผลการศึกษาให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การศึกษา โดยขั้นตอนประเมินผลกระทบปลายทางที่ใช้กันอย่างกว้างขวางประกอบไปด้วย 1. การเทียบขนาดผลกระทบ (Normalization) 2. การจัดกลุ่ม (Grouping) และ 3. การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) ขั้นตอนเหล่านี้ไม่มีกฎเกณฑ์หรือรูปแบบตายตัวใน

การทำ ผู้ทำการศึกษาเพียงต้องบันทึกขั้นตอนรวมถึงเหตุผลในการทำและแสดงในรายงานผลการศึกษาให้ผู้อ่านได้รับทราบและเข้าใจถึงที่มาของผลการศึกษาขั้นสุดท้าย

- การเทียบขนาดผลกระทบ (Normalization)

ขั้นตอน Normalization เป็นการแสดงค่าผลกระทบที่ประเมินได้โดยเทียบกับขนาดอ้างอิง โดยขนาดอ้างอิงคือขนาดของผลกระทบด้านที่ทำการศึกษาของพื้นที่อ้างอิง (ภูมิภาคหรือประเทศที่ได้รับผลกระทบ) ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด (เช่น 1 ปี) ยกตัวอย่างเช่น ค่าผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตโดยการไฟฟ้านครหลวงอาจถูกนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO_2 Eq.) ของกรุงเทพฯหรือของประเทศไทยตลอดระยะเวลา 1 ปี การเทียบขนาดผลกระทบดังกล่าวทำให้ทราบว่า การใช้ไฟฟ้าของเรามีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากน้อยแค่ไหนเมื่อเทียบกับขนาดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของสังคมที่เราอยู่ การเทียบขนาดผลกระทบหลายๆด้าน (เช่น ด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ฝนกรด ยูโทรฟิเคชั่น และ อื่นๆ) พร้อมๆกันสามารถทำได้โดยเทียบกับผลกระทบในแต่ละด้านกับขนาดอ้างอิงของด้านนั้นๆ การทำเช่นนี้ยังทำให้เราทราบว่าผลกระทบด้านใดของสิ่งที่เราทำการศึกษามีความสำคัญต่อผลกระทบโดยรวมอีกด้วย นอกจากการใช้ผลกระทบที่เกิดในพื้นที่ในระดับต่างๆเป็นขนาดอ้างอิงแล้ว เรายังสามารถใช้ผลกระทบของคน (เช่น ปริมาณการปล่อยก๊าซ SO_2 Eq. ของคนไทยแต่ละคนใน 1 ปี) หรือค่าผลกระทบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกัน เป็นขนาดอ้างอิงได้อีกด้วยตามความเหมาะสมเพื่อให้การแสดงผลการศึกษาเป็นที่สนใจแก่กลุ่มเป้าหมาย

- การจัดกลุ่ม (Grouping)

ขั้นตอน Grouping คือการนำค่าผลกระทบที่ผ่านการเทียบขนาดผลกระทบ (Normalized Value) มาจัดเรียงเป็นกลุ่มโดยมีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถระบุถึงประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากมุมมองต่างๆได้อย่างเฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้นการจัดกลุ่มสามารถทำได้หลายวิธียกตัวอย่างเช่น 1. การจัดกลุ่มตามลักษณะของมลพิษหรือการเกิดผลกระทบ เช่น ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming) ฝนกรด (Acid Rain) และ การลดลง

ของโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Depletion) สามารถถูกจัดให้อยู่ภายใต้กลุ่มปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก (Global Climate Change) เนื่องจากปัญหาทั้ง 3 มีความเกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศของโลก 2. การจัดกลุ่มตามระดับพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ เช่น การจัดผลกระทบด้านต่างๆที่เกิดขึ้นให้อยู่ในกลุ่มผลกระทบระดับท้องถิ่น ระดับภูมิภาค และ ระดับโลก 3. การจัดกลุ่มตามลำดับความสำคัญ ลำดับความสำคัญที่ใช้ในการจัดกลุ่มอาจประกอบไปด้วยกลุ่มผลกระทบที่มีความสำคัญ มากที่สุด มาก ปานกลาง และ น้อย ลำดับที่จัดขึ้นจะแตกต่างกันไปตามมุมมองของ ส่วนบุคคล องค์กร ชุมชน จังหวัด และ ประเทศ ยกตัวอย่างเช่น ผลกระทบด้านโลกร้อนอาจเป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญในประเทศที่มีอากาศร้อนแห้งแล้งหรือมีพื้นที่ที่สุ่มเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการพเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ในขณะเดียวกัน ผลกระทบด้านโลกร้อนอาจเป็นปัญหาที่ไม่ได้รับความสนใจเท่าใดนักในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นและไม่ได้รับผลกระทบจากปัญหาข้างเคียงของภาวะโลกร้อน ฉะนั้น การจัดกลุ่มในลักษณะนี้เป็นการสะท้อนถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆในขอบเขตพื้นที่ที่ทำการศึกษา

- การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

ดังที่ระบุในขั้นตอนการจัดกลุ่ม ผลกระทบแต่ละด้านมีความสำคัญมากน้อยไม่เท่ากันจากมุมมองของขอบเขตพื้นที่ในระดับต่างๆ การให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นการปรับระดับของผลกระทบต่างๆในการวิเคราะห์ให้ตอบรับกับความรุนแรงของผลกระทบนั้นๆ ในภูมิภาคที่ทำการศึกษา ยกตัวอย่างเช่นปัญหาภาวะโลกร้อนอาจถูกกำหนดให้มีความสำคัญมากกว่าปัญหาการเกิดสม๊อก 5 เท่า สัดส่วนน้ำหนักความสำคัญ (Weighting Factor) ดังกล่าวสามารถกำหนดได้ด้วยวิธีต่างๆ เช่น 1. โดยใช้ความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญหรือผู้เกี่ยวข้องในการกำหนด 2. โดยการดูขนาดค่าเสียหายของผลกระทบ ผลกระทบด้านที่ก่อให้เกิดความเสียหายด้านการเงินสูงก็จะมีน้ำหนักความสำคัญที่สูง 3. โดยใช้หลักการของระยะที่ห่างจากเป้าหมาย (Distance-to-Target Principle) เช่น ประเทศไทยอาจกำหนดให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง 4 เท่า และปริมาณการปล่อยก๊าซที่ทำลายชั้นโอโซนลดลง 10 เท่าภายใน 10 ปีเพื่อความยั่งยืนทางด้านการดำรงชีวิตของ

ประชากรในอนาคต ผู้ทำการศึกษาสามารถนำค่าสัดส่วนน้ำหนัก (Weighting Factor) ที่กำหนดโดยวิธีต่างๆ ดังกล่าวมาคูณกับค่าผลกระทบในด้านนั้นๆที่ได้มาจากขั้นตอนก่อนหน้านี้แล้วทำการรวมค่าผลกระทบทั้งหมดเข้าด้วยกันเพื่อได้เป็นค่าคะแนนเดี่ยว (Single Score)

2.2.1.ง การแปลความหมายของผลการศึกษา (Interpretation)

การแปลผลการศึกษาเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่สำคัญโดยเป็นการแปลหรือสรุปผลข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์ได้ให้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การศึกษาที่ได้ตั้งไว้ การแปลผลการศึกษาประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนย่อยที่สำคัญได้แก่ การระบุถึงประเด็นปัญหาที่สำคัญ และ การวิเคราะห์ถึงความคลาดเคลื่อนของผลการศึกษา

ผู้ทำการศึกษาจะต้องนำเสนอปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจากมุมมองของวัตถุประสงค์การศึกษาที่ตั้งขึ้น นอกจากนั้น สิ่งที่ควรคำนึงถึงได้แก่ การเลือกแสดงเฉพาะข้อมูลที่สำคัญที่น่าสนใจและเป็นประโยชน์ต่อกลุ่มเป้าหมายโดยอาจเป็น ข้อมูลการใช้พลังงาน การไหลเวียนของวัสดุที่สำคัญ ของเสียและมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม การนำเสนอประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในเชิงเปรียบเทียบกับปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่นๆในภาพรวมเพื่อเข้าใจถึงขนาดของปัญหาแต่ละประเภท และ การทำความเข้าใจเกี่ยวกับต้นเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะเกิดขึ้นว่ามาจากส่วนไหนของระบบที่ทำการศึกษา เป็นต้น

การวิเคราะห์ถึงความคลาดเคลื่อนของผลการศึกษาที่อาจเกิดขึ้นสามารถทำได้ 3 วิธี ได้แก่ 1. ตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูล ในการทำ LCA นั้นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากเพื่อทำการวิเคราะห์ ข้อมูลบางส่วนอาจไม่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ เช่น ข้อมูลสารซึ่งไหลเวียนอยู่ในระบบในปริมาณน้อยและเป็นสารที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายและ ข้อมูลที่ยากต่อการเก็บรวบรวม ในขั้นตอนแปลผลการศึกษา ผู้ทำการศึกษาจะต้องวิเคราะห์ถึงความคลาดเคลื่อนของผลการศึกษาที่อาจเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการหายไปของข้อมูลดังกล่าว และ จะต้องวิเคราะห์ว่าความคลาดเคลื่อนนั้นจะมีผลต่อการนำผลการศึกษาไปใช้ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้แต่แรกหรือไม่ ในกรณีที่ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเป็นความคลาดเคลื่อนที่ไม่อาจยอมรับได้ ผู้ทำการศึกษาจะต้อง

เลือกว่าควรจะทำการปรับปรุงการศึกษาโดยเก็บข้อมูลเพิ่มเติมหรือใช้วิธีประเมินเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลในส่วนที่ขาดหายไป หรือ ควรจะต้องทำการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษาให้เกิดความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีอยู่ 2. ตรวจสอบความไม่แน่นอนต่างๆ ความไม่แน่นอนในที่นี้หมายถึง ความไม่แน่นอนของข้อมูล ความไม่แน่นอนที่เกิดจากสมมุติฐาน และ ความไม่แน่นอนที่เกิดขั้นตอนการคำนวณ เช่นขั้นตอนการปันส่วน และ การสมดุลมวล ผู้ทำการศึกษาจะต้องพิจารณาถึงผลกระทบจากปัจจัยเหล่านี้ที่มีต่อความคลาดเคลื่อนของผลการศึกษา 3. ตรวจสอบความสม่ำเสมอ ผู้ทำการศึกษาจะต้องพิจารณาถึงความสม่ำเสมอของการศึกษาในด้านความสอดคล้องระหว่างวิธีที่ใช้ทำการศึกษาและวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา นอกจากนี้จะต้องพิจารณาถึงความสม่ำเสมอในส่วนอื่นๆโดยเฉพาะข้อมูล ผู้ทำการศึกษาจะต้องพิจารณาถึงความสม่ำเสมอของข้อมูลทั้งในด้าน ความละเอียด ความแม่นยำ วิธีการเก็บและรวบรวม รวมถึง ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล ว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมเหรือไม่

ที่กล่าวมานี้เป็นรายละเอียดของขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั่วๆไปสำหรับผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจถึงลักษณะของการประเมินไม่ว่าจะเป็น งบประมาณและเวลาที่ต้องใช้ในการรวบรวมข้อมูล ความซับซ้อนในการวิเคราะห์ข้อมูล รวมทั้ง ความคลาดเคลื่อนของผลการประเมินซึ่งอาจมาจากลักษณะของการได้มาซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์และสมมุติฐานที่ใช้ในการคำนวณ ทั้งวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตและการประเมินวอเตอร์ฟุทพริ้นท์นั้นสามารถนำมาใช้ประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำได้ทั้งคู่ แต่ก็มีลักษณะของการประเมินที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนดังจะกล่าวไว้ในส่วนถัดไปของบทความ

2.3 การเปรียบเทียบระหว่างการประเมินแบบวอเตอร์ฟุทพริ้นท์และการประเมินวัฏจักรชีวิต

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของการประเมินแบบวอเตอร์ฟุทพริ้นท์และการประเมินวัฏจักรชีวิตในเชิงเปรียบเทียบ

หัวข้อ	Water Footprint	LCA
การจำแนกคุณลักษณะของความต้องการในการใช้น้ำ	ตามแหล่งที่มา ประเภทการใช้ เวลาที่ใช้	ตามที่เกิดขึ้นในช่วงต่างๆตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
มุมมองเกี่ยวกับความยั่งยืน	เปรียบเทียบความต้องการในการใช้ทรัพยากรน้ำที่จำแนกไว้ กับ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแต่ละ แหล่งน้ำ ประเภท และ ช่วงเวลา และ ทำการระบุถึง Hotspot หรือจุดที่ความต้องการอยู่ในระดับที่สูงเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่มีให้ใช้เพื่อทำการบริหารจัดการแก้ไขปรับปรุงต่อไป	เพื่อให้เห็นถึงการใช้ทรัพยากรประเภทต่างๆซึ่งรวมถึงทรัพยากรน้ำและผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา นำไปสู่การแก้ไขเพื่อให้ผลกระทบในภาพรวมตลอดวัฏจักรชีวิตนั้นลดลงตามเป้าหมายด้านความยั่งยืน
ลักษณะการประเมินปริมาณน้ำแฝงหรือปริมาณการใช้น้ำทางอ้อม	ประเมินเพื่อเผยให้เห็นถึงการใช้น้ำที่เกิดขึ้นในกิจกรรมหรือขั้นตอนต่างๆ เช่น การเพาะปลูกพืช การเลี้ยงสัตว์ หรือขั้นตอนการผลิต ที่เกิดขึ้นก่อนการได้มาซึ่งตัวผลิตภัณฑ์ ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมดคือผลรวมของปริมาณน้ำแฝงที่เกิดขึ้น	รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับประเภทและปริมาณของสารขาเข้าขาออกทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงต่างๆของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และนำมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อประเมินถึงปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการได้มาซึ่งสารขาเข้าและปริมาณน้ำที่ต้องใช้บำบัดมลพิษต่างๆที่เกิดขึ้น
การประเมินผลกระทบปลายทางหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศ	ยังไม่มีการเชื่อมโยงระหว่างปริมาณน้ำที่ดึงมาจากแหล่งน้ำและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการขาดแคลนน้ำ	ในช่วงหลัง เริ่มมีการเชื่อมโยงระหว่างปริมาณน้ำที่ดึงมาจากแหล่งน้ำและความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศ
การแสดงผลการประเมิน	มุ่งเน้นเฉพาะผลกระทบที่เกี่ยวกับทรัพยากรน้ำเท่านั้นโดยแสดงถึงปริมาณและประเภทของการใช้น้ำโดยอาจรวมถึงการระบุจุด Hotspot ที่เกิดขึ้นทั้งในแง่ของปริมาณ ตำแหน่ง และ/หรือ เวลา ของการใช้	สามารถแสดงผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับเฉพาะทรัพยากรน้ำโดยเฉพาะ หรือ แสดงผลควบคู่ไปกับผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากร และผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านอื่นๆ โดยสามารถเลือกใช้การประเมินผลกระทบขั้นกลาง หรือการประเมินผลกระทบปลายทางเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบด้านการใช้ทรัพยากรน้ำกับผลกระทบประเภทอื่นๆในหน่วยเดียวกัน

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าการประเมินแบบวอเตอร์ฟุทพริ้นท์และการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นสามารถประเมินปริมาณการใช้น้ำที่แฝงอยู่ในห่วงโซ่การผลิตของผลิตภัณฑ์ได้ หากแต่ การพิจารณาและการจำแนกคุณลักษณะของการใช้นั้นแตกต่างกันโดยการประเมินแบบวอเตอร์ฟุทพริ้นท์นั้นมุ่งแบ่งน้ำที่ใช้ออกตามประเภทของการใช้น้ำ ช่วงเวลาที่ใช้ และ ตำแหน่งของแหล่งน้ำที่ถูกใช้ ทั้งนี้เพื่อการระบุถึงจุด Hotspot ที่เกิดขึ้น ส่วนการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นมุ่งทำการวิเคราะห์ในมุมมองของการเปรียบเทียบระหว่างผลกระทบของการใช้น้ำกับการใช้ทรัพยากรและผลกระทบสิ่งแวดล้อมอื่นๆที่เกิดขึ้นในช่วงต่างๆของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา

สำหรับ พีวีซีเรซินซึ่งเป็นกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้ การเริ่มต้นโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตประเมินถึงปริมาณการใช้น้ำที่แฝงอยู่ในห่วงโซ่การผลิตนั้นมีความเหมาะสมเนื่องจาก สารตั้งต้นและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพีวีซีเรซิน ไม่ได้มีที่มาจากภาคการเกษตร จึงไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการประเมินปริมาณการใช้น้ำประเภทน้ำสีเขียวซึ่งเป็นจุดเด่นของการประเมินแบบวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ จากนั้นจึงประยุกต์ใช้หลักการของการประเมินแบบวอเตอร์ฟุทพริ้นท์ เช่น การแบ่งประเภทการใช้น้ำ การแบ่งปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ออกตามช่วงเวลา การระบุถึงแหล่งน้ำที่นำน้ำมาใช้ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อสามารถทำการประเมินโดยพิจารณาถึงปริมาณน้ำที่มีให้ใช้ของแหล่งน้ำท้องถิ่นและความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำของท้องถิ่นได้

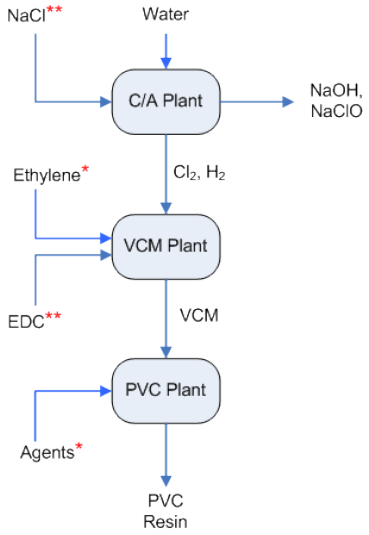
การประเมินปริมาณการใช้น้ำโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตจะถูกกล่าวในบทถัดไป ผลของการประเมินจะทำให้ทราบถึงลักษณะของการใช้น้ำทั้งการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมที่เกิดขึ้นของกรณีศึกษาซึ่งเป็นตัวแทนของกระบวนการทางอุตสาหกรรมในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จากนั้น ในส่วนท้ายของบทถัดไปจึงทำการสรุปถึงแนวทางการประเมินที่เหมาะสมในมุมมองของความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำท้องถิ่นซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้

บทที่ 3 การประเมินความต้องการในการใช้น้ำของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินกรณีศึกษา

ทีมวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตกระบวนการผลิต พีวีซีเรซินของ บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) ซึ่งตั้งอยู่ใน นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2556 โดยข้อมูลที่รวบรวมได้ถูกแบ่งออกเป็นรายละเอียดของขั้นตอนการผลิตซึ่งจะถูกกล่าวไว้ในส่วนนี้ของบทและ ประเภทและปริมาณของสารขาเข้าออกซึ่งจะถูกนำมาวิเคราะห์และแสดงในบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต

กระบวนการผลิตของพีวีซีเรซินสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนได้แก่ 1). Chlo-Alkaline Plant (C/A Plant) 2). Vinyl Chlorine Monomer Plant (VCM Plant) และ 3). Poly Vinyl Chlorine Plant (PVC Plant) ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1



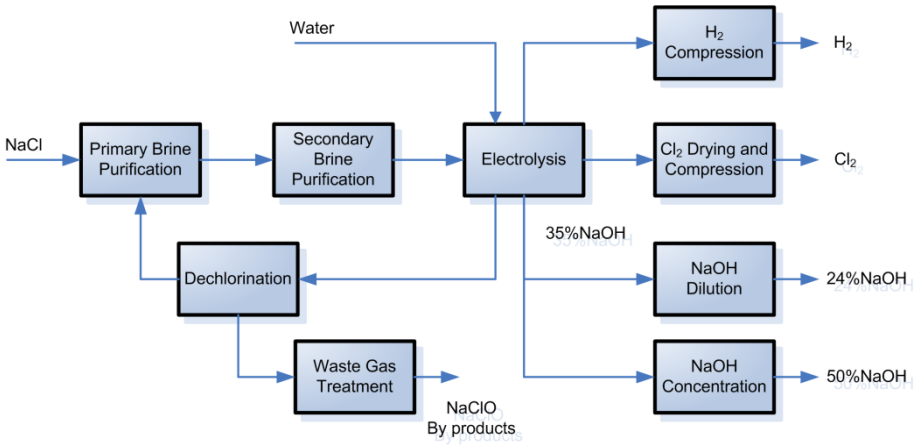
รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตพีวีซีเรซินของบริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

หมายเหตุ รูปกระบวนการผลิตนี้แสดงเฉพาะวัตถุดิบหลักเท่านั้น โดยยังไม่รวมถึงพลังงานไฟฟ้าซึ่งถูกผลิตขึ้นในนิคมฯ

*วัตถุดิบที่ก่อให้เกิดการใช้น้ำทางอ้อมจากแหล่งน้ำของนิคมฯ

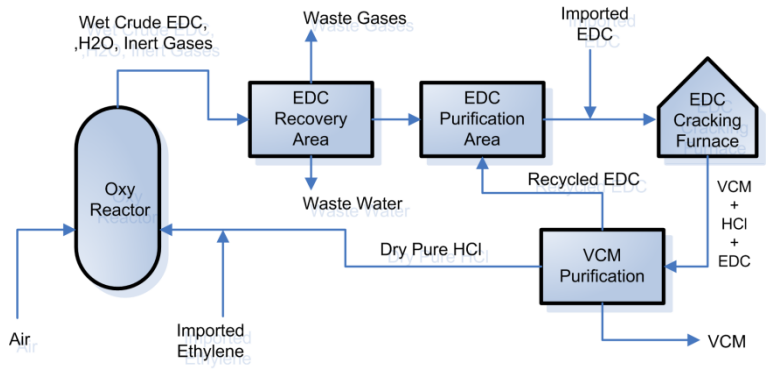
**วัตถุดิบที่ก่อให้เกิดการใช้น้ำทางอ้อมจากแหล่งน้ำอื่น

กระบวนการที่ C/A Plant ดังที่แสดงในรูปที่ 3.2 เริ่มด้วยการนำเกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ได้รับมาจาก จังหวัดนครราชสีมา มาละลายในน้ำร้อนแล้วทำการแยกสารแขวนลอยออกเพื่อให้ได้น้ำเกลือบริสุทธิ์ แล้วจึงนำน้ำเกลือบริสุทธิ์ที่ได้ส่งเข้าสู่กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) เพื่อทำการแยกน้ำเกลือด้วยกระแสไฟฟ้าก่อให้เกิดก๊าซคลอรีน (Cl_2) ซึ่งเป็นผลผลิตหลักและโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ (NaOH) ซึ่งมีความเข้มข้นที่ประมาณ 35% (ถูกนำไปผ่านกระบวนการต่อให้กลายเป็น NaOH เข้มข้นที่ 24% และ 50%) และกาซไฮโดรเจน (H_2) เป็นผลผลิตพลอยได้ ก๊าซคลอรีนที่ได้นั้นถูกส่งต่อไปยังส่วนการผลิตถัดไปคือ Vinyl Chloride Monomer Plant (VCM Plant)



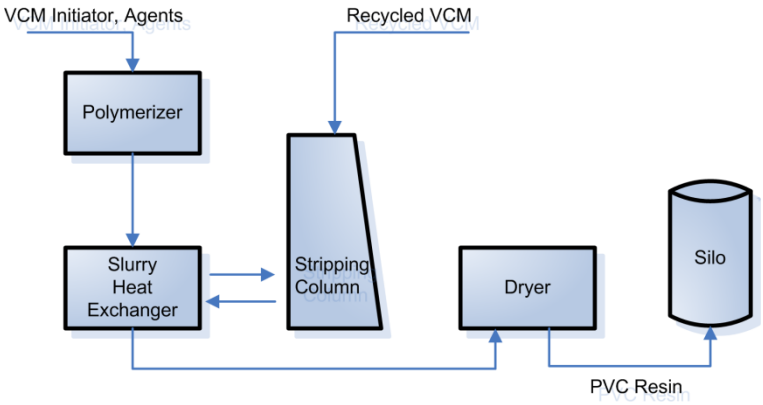
รูปที่ 3.2 Process Flow Diagram ของ C/A Plant

กระบวนการถัดมาคือกระบวนการของ VCM Plant ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3 VCM Plant นำก๊าซเอธีลีน (Ethylene) ที่รับมาจากโรงงานอื่นในนิคมฯและก๊าซคลอรีนที่ผลิตได้จาก C/A Plant มาผ่านกระบวนการเพื่อผลิตเป็น Ethylene Di-Chlorine (EDC) วิธีที่ทางโรงงานใช้ในการผลิต EDC มี 2 วิธี ได้แก่ 1) กระบวนการ Direct Chlorination (DC) ซึ่งนำก๊าซคลอรีนและก๊าซเอธีลีน จาก C/A Plant มาผ่านกระบวนการ Cracker ในเตาเผาความร้อนสูงจนได้เป็น Vinyl Chloride Monomer (VCM) และ 2) กระบวนการ Oxy Chlorination (OC) ซึ่งนำก๊าซคลอรีน ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) จาก C/A Plant และ ก๊าซเอธีลีน และ ก๊าซออกซิเจน (O_2) ซึ่งรับมาจากโรงงานอื่นในนิคมฯมาผ่านกระบวนการเผาด้วยความร้อนสูงเพื่อผลิตเป็น VCM



รูปที่ 3.3 Process Flow Diagram ของ VCM Plant

VCM ที่ได้จะถูกส่งไปยัง PVC Plant เพื่อนำไปผสมกับสารเคมีตัวทำปฏิกิริยาตัวอื่นๆ (Agents) และส่งเข้าสู่กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) เพื่อก่อให้เกิด พีวีซีในรูปของสารแขวนลอยซึ่งมีลักษณะเป็นสารสีขาวที่มีความชื้นและหนืด จากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อกำจัดความชื้น สารแขวนลอยพีวีซีจะกลายสภาพเป็นพีวีซีเรซินที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว จากนั้นจึงทำการคัดแยกเกรดของพีวีซีเรซินและส่งไปเก็บในถังเก็บเพื่อรอการบรรจุส่งให้ลูกค้าต่อไป กระบวนการของ PVC Plant ถูกแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 Process Flow Diagram ของ PVC Plant

ส่วนสุดท้ายคือ Utility Plant ซึ่งไม่ได้มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโดยตรงจึงไม่ถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 1 Utility Plant เป็นหน่วยงานที่ดูแลจัดการเกี่ยวกับระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ได้แก่ น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง และระบบบำบัดน้ำเสีย ให้แก่โรงงานย่อยทั้ง 3 ที่กล่าวมาข้างต้น ในช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล Utility Plant มีขีดความสามารถในการบำบัดน้ำเสียให้กลายเป็นน้ำดีก่อนที่ปล่อยออกสู่ภายนอกโรงงานที่ 240 ลูกบาศก์เมตรต่อ

ชั่วโมง จะเห็นได้ว่า กระบวนการผลิตพีวีซีเรซินกรณีศึกษาดังกล่าวก่อให้เกิดการใช้น้ำทางตรงซึ่งเป็นน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต และ การใช้น้ำทางอ้อมซึ่งเป็นน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต น้ำที่ใช้ทางอ้อมนี้บางส่วนเป็นน้ำที่มาจากแหล่งน้ำของนิคมฯซึ่งต้องนำมาพิจารณาในการบริหารจัดการเพื่อลดผลกระทบจากปัญหาการขาดแคลนน้ำในเขตนิคมฯ การวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำทั้งสองประเภทดังกล่าวโดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตจะถูกแสดงอยู่ในส่วนถัดไปของบทความ

3.2 การวิเคราะห์

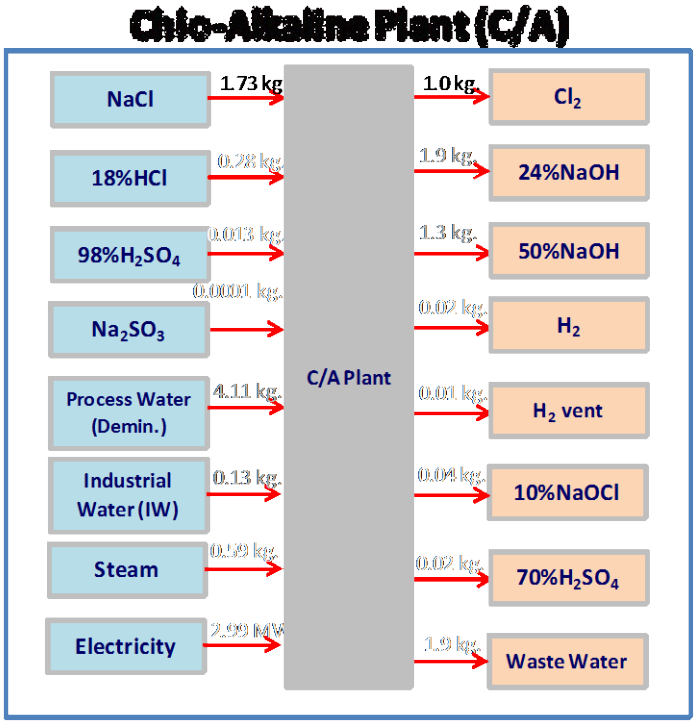
การประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินซึ่งเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้กระทำโดยใช้วิธีการประเมินแบบ Streamlined LCA ตามแบบของ SETAC กระบวนการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย 1). การกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา 2). การจัดทำบัญชีรายการ 3). การประเมินผลกระทบ และ 4). การแปลความหมายของผลการศึกษา

3.2.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

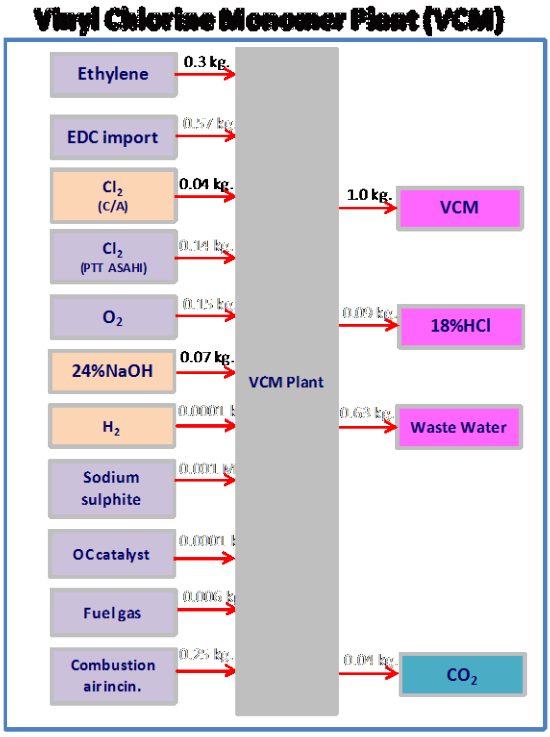
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประเมินปริมาณการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินที่เป็นกรณีศึกษา และ ทำการระบุถึงปริมาณการใช้น้ำที่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำของนิคมฯในแง่ของภาวะการขาดแคลนน้ำ ทั้งนี้ขอบเขตการศึกษาของ LCA ครอบคลุมกระบวนการทั้งหมดในส่วนต่างๆของกระบวนการผลิต พีวีซีเรซินของ บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น ข้อมูลสารขาเข้าขาออกทั้งหมดที่รวบรวมเพื่อทำการวิเคราะห์นั้นเป็นข้อมูลของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินประเภท S-PVC เรซิน งานวิจัยนี้ไม่ทำการแบ่งประเภทของน้ำออกเป็นสีต่างๆตามวิธีของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณน้ำเสียเป็นข้อมูลที่ทางบริษัทฯไม่อนุญาตให้เผยแพร่

3.2.2 บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต

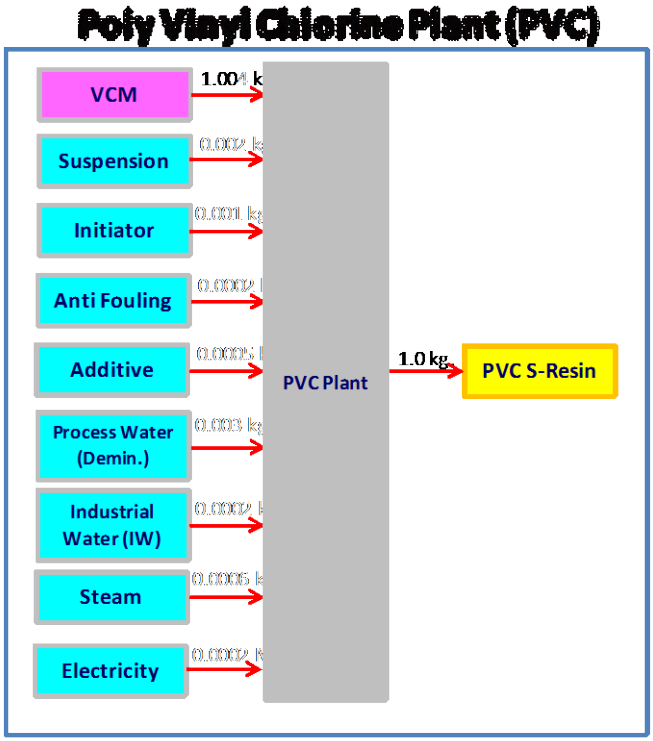
ในการจัดทำบัญชีรายการวัฏจักรชีวิตของพีวีซีเรซิน ทางทีมวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลรายการสารขาเข้าขาออกของแต่ละกระบวนการผลิตดังที่อธิบายในหัวข้อ 3.1 โดยข้อมูลทั้งหมดที่ทำการรวบรวมเป็นข้อมลค่าเฉลี่ยของปี พ.ศ. 2553 ข้อมูลปริมาณสารขาเข้าขาออกที่เป็นความลับของทางบริษัทจะไม่ถูกแสดงในที่นี้ ข้อมูลสารขาเข้าขาออกของแต่ละกระบวนการในรายละเอียดสำหรับ C/A Plant VCM Plant และ PVC Plant ถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 3.5-3.7 ส่วนข้อมูลสารขาเข้าขาออกในภาพรวมของทั้งกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินกรณีศึกษาได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.8



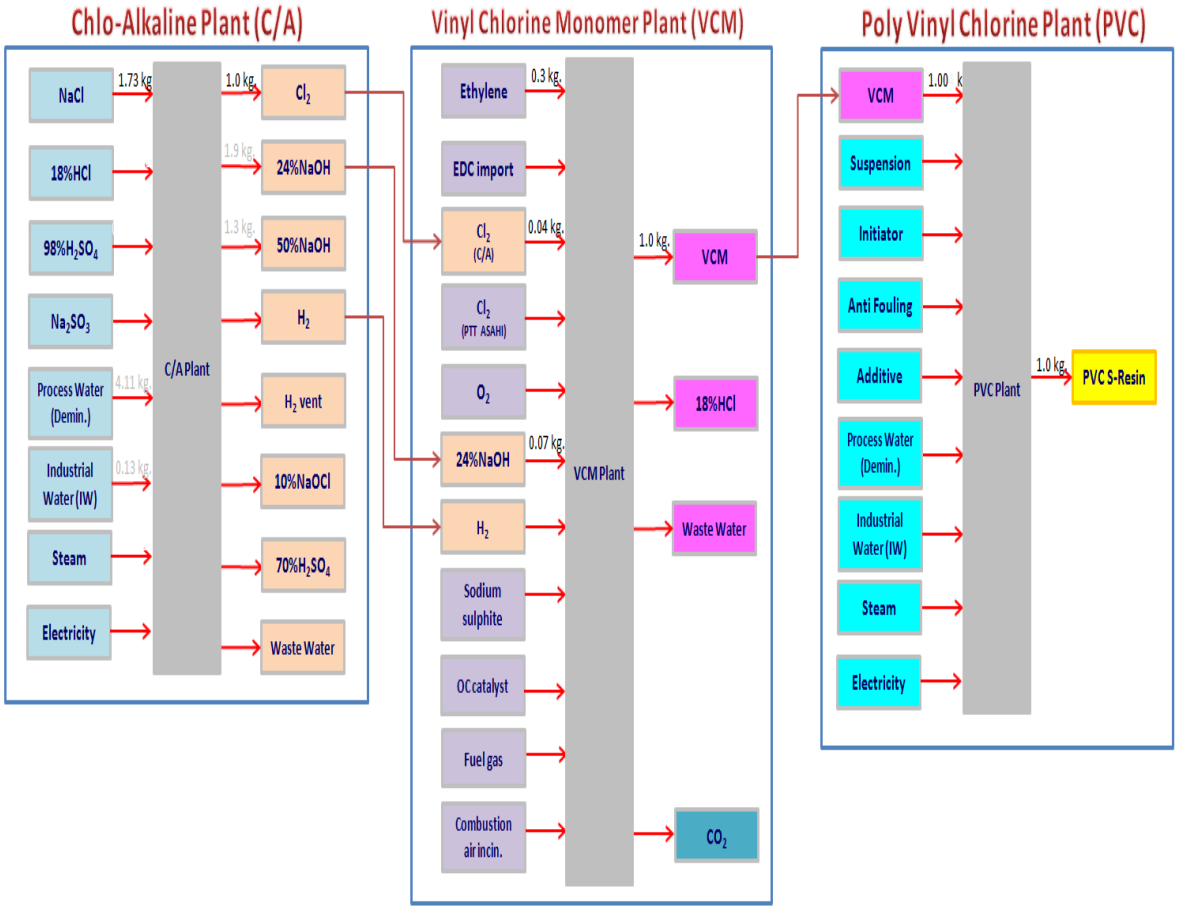
รูปที่ 3.5 C/A Plant Life Cycle Inventory



รูปที่ 3.6 VCM Plant Life Cycle Inventory



รูปที่ 3.7 PVC Plant Life Cycle Inventory



รูปที่ 3.8 Life Cycle Inventory ของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินกรณีศึกษา

ในการวิเคราะห์ ปริมาณของสารขาเข้าขาออกทุกประเภทจะถูกปรับเทียบ (Normalized) ให้เป็นปริมาณสารขาเข้าขาออกต่อ 1 หน่วยน้ำหนัก (1 Kg) ของผลผลิตของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน โดยถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 1 ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปวิเคราะห์ค่าผลกระทบซึ่งในที่นี้หมายถึงการประเมินปริมาณน้ำที่ต้องใช้ไปในการได้มาซึ่งทรัพยากรและการบำบัดมลพิษที่เป็นสารขาเข้าขาออก

ตารางที่ 3.1 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออก

ลำดับ	รายการสารขาเข้า	ปริมาณ (Kg)
1	NaCl	0.075613
2	Process Water (Demin)	0.352077
3	18% Hydrochloric acid	***
4	98% Sulfuric acid	***
5	Sodium Sulfite (Na2SO3)	***
6	Industrial Water	0.005934
7	Steam	0.025801
8	Ethylene	0.304748
9	Oxygen	0.148705
10	Fuel Gas	0.006105
11	Others	***

ลำดับ	รายการสารขาออก	ปริมาณ (Kg)
1	S-PVC	1.0
2	NaOH as 50%wt	0.056922
3	NaOH as 24%wt	0.010636
4	Waste Water	***
5	Waste Sludge	***
6	Others	***

หมายเหตุ ตารางที่ 3.1 แสดงเฉพาะรายการสารขาเข้า-ออกที่สามารถเปิดเผยได้ และเป็นค่าเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2553

*** ข้อมูลที่ไม่สามารถเปิดเผยได้ของทางบริษัทฯ

3.2.3 การประเมินผลกระทบ

การวิเคราะห์ LCA ในงานวิจัยนี้ทำโดยใช้โปรแกรม Gabi Education 4.4 ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย PE International ตามมาตรฐาน ISO14044 (ISO 2006) การวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำกระทำโดยใช้วิธี EDIP 1997 ซึ่งถูกคิดค้นเพื่อการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยปริมาณการใช้น้ำที่วิเคราะห์ได้ถูกแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตพีวีซีเรซินน้ำหนัก 1 Kg

Type of Water Use	Source		Unit (Kg)
Indirect Water Use	Feedstock	Hydrochloric Acid	0.48
		Ethylene	0.16
		Oxygen	0.06
		Chlorine	0.61
		EDC*	8.42
		Sodium Chloride*	0.08
	Energy	Electricity	0.25
Direct Water Use	Deionized Water		0.14
	Process Water		4.37
	Steam		0.02
Total			14.59

หมายเหตุ กระบวนการผลิต S-PVC เรซิน 1 หน่วย (1 Kg) ก่อให้เกิดปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำของนิคมฯเท่ากับ 8.5 Kg
*วัตถุดิบที่ก่อให้เกิดการใช้น้ำจากแหล่งน้ำในภูมิภาคอื่นนอกนิคมฯ

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตพีวีซีเรซินที่เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้น้ำทั้งหมด 14.59 Kg ต่อผลผลิตน้ำหนัก 1 Kg (14.59 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) ปริมาณน้ำที่ใช้ดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Katsoufis 2009) ซึ่งระบุว่า Polypropylene (PP) และ Polyethylene (PE) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์พลาสติกเช่นเดียวกันกับพีวีซีนั้นก่อให้เกิดปริมาณการใช้น้ำเท่ากับ 13.1 และ 13.7 ลูกบาศก์เมตรต่อตันตามลำดับ

3.2.4 การแปลผลการประเมินวัฏจักรชีวิต

ผลการศึกษา LCA ในงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่า กระบวนการผลิตพีวีซีเรซินกรณีศึกษาดังกล่าวซึ่งมีกำลังผลิตประมาณ 50,000 ตันต่อปี ก่อให้เกิดความต้องการในการใช้น้ำทั้งหมด 729,500 ลูกบาศก์เมตร ต่อปี โดยแบ่งเป็นการใช้น้ำจากแหล่งน้ำของนิคมฯ 425,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ การใช้น้ำจากแหล่งน้ำในภูมิภาคอื่น 304,500 ลูกบาศก์เมตร ต่อปีโดยประมาณ

จากปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด 14.59 Kg ในการผลิตพีวีซีเรซิน 1 Kg ปริมาณการใช้น้ำเกือบ 60% เกิดขึ้นจากการใช้ EDC ในส่วนที่นำเข้าจากภายนอกประเทศ การใช้ EDC ดังกล่าวไม่ได้ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำของนิคมฯ การใช้น้ำที่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำของนิคมฯมากที่สุดอันดับแรกของคือการใช้ Process Water ซึ่งเป็นน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆที่ต้องการน้ำที่มีค่าความบริสุทธิ์สูง

ดังนั้นการลดผลกระทบที่มีต่อแหล่งน้ำของนิคมฯควรจะเริ่มด้วยการลดปริมาณการใช้ Process Water ซึ่งมีปริมาณการใช้ถึง 4.37 Kg ต่อการผลิต PVC เรซิน 1 Kg โดยแนวทางในการลด Process Water ที่ทางโรงงานฯกำลังปฏิบัติอยู่ได้แก่ การรีไซเคิลน้ำด้วยวิธี Reverse Osmosis การเพิ่มกำลังการบำบัดน้ำเสีย การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้รดน้ำต้นไม้และสวน และ การปรับปรุงระบบน้ำหล่อเย็นในระบบทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

แนวทางอื่นๆที่ควรนำไปปฏิบัติเพื่อลดความเสี่ยงในการก่อให้เกิดผลกระทบด้านการขาดแคลนน้ำต่อแหล่งน้ำในนิคมได้แก่ การเลือกใช้วัตถุดิบหรือสารตั้งต้นที่ใช้น้ำในการผลิตลดลง เช่นในกรณีของ EDC ควรเลือกใช้สารทดแทนที่ใช้น้ำน้อยหรือปรับปรุงขั้นตอนการผลิตให้มีการใช้น้ำลดลง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้กระบวนการผลิตพีวีซีเรซินของทางโรงงานใช้น้ำจากแหล่งน้ำของนิคมฯในปริมาณที่สูงจนเกินไปในกรณีที่ทางโรงงานต้องผลิต EDC เองทั้งหมด

3.3 สรุปแนวทางการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน

การประเมินในหัวข้อ 3.2 นี้ชี้ให้เห็นว่า การวิเคราะห์แบบการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยไม่พิจารณาถึงผลกระทบปลายทางนั้นสามารถนำมาใช้ประเมินถึงปริมาณการใช้น้ำแฝงได้ อย่างไรก็ตาม ในการวิเคราะห์ความยั่งยืนของการใช้ทรัพยากรน้ำในท้องถิ่นของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด การประเมินวัฏจักรชีวิตจะต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของการใช้น้ำต่างๆซึ่งเป็นจุดเด่นของลักษณะการประเมินแบบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ดังที่ได้กล่าวไว้ในส่วนต้นของบทความ ในส่วนนี้ของบทความจะกล่าวทบทวนถึงคุณลักษณะต่างๆเหล่านี้อีกครั้ง และทำการแจกแจงระดับขั้นของการประเมินคุณลักษณะแต่ละด้านที่สามารถกระทำได้ และ ในส่วนสุดท้ายจะทำการสรุปถึงแนวทางการประเมินรวมทั้งประเภทของข้อมูลที่ต้องทำการรวบรวมรวมเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ในการประเมิน ทั้งนี้

เพื่อให้ทราบถึงภาระงานของการประเมินที่จะตามมาจากการกำหนดขอบเขตการประเมินที่ระดับต่างๆ และสามารถเลือกกำหนดขอบเขตการประเมินที่เหมาะสมได้ในการประเมินผลกระทบด้านทรัพยากรน้ำในอนาคต

3.3.1 การประเมินด้านปริมาณการใช้น้ำ

ทั้งวิธีการประเมินแบบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และการประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถนำมาใช้ในการประเมินเพื่อบ่งบอกถึงปริมาณการใช้น้ำทางตรงและปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมได้เหมือนกัน แต่ว่าความหมายของปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมของทั้งสองวิธีนั้นมีความแตกต่างกันโดย สำหรับการประเมินแบบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมหมายถึงปริมาณการใช้น้ำที่แฝงอยู่ในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบที่นำมาประกอบหรือแปรรูปเป็นตัวผลิตภัณฑ์ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วมักหมายถึงขั้นตอนการเพาะปลูกพืชและการเลี้ยงสัตว์ ซึ่งการประเมินแบบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีวิธีการประเมินปริมาณการใช้น้ำซึ่งเป็นน้ำประเภทน้ำสีเขียวโดยเฉพาะ สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมนั้นหมายถึงปริมาณการใช้น้ำที่แฝงมากับทรัพยากรที่ใช้ในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การประเมินด้วยวิธีนี้จะอาศัยฐานการประเมินผลของ LCA ซอร์ฟแวร์ซึ่งใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมเป็นหลักในการประเมิน ขอบเขตการประเมินของการประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถถูกกำหนดให้ครอบคลุมช่วงที่สนใจทำการศึกษาโดยอาจเริ่มตั้งแต่ในช่วงของการสกัดวัตถุดิบต้นทาง การผลิตวัตถุดิบ การขนส่ง การใช้งาน การกำจัดซาก และ การนำกลับมาใช้ใหม่ โดยสรุปแล้ว การประเมินวัฏจักรชีวิตจะมีมุมมองของการประเมินที่กว้างกว่าในแง่ของช่วงวัฏจักรชีวิตและมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้เห็นภาพของผลกระทบที่เกิดขึ้นในช่วงต่างๆของวัฏจักรชีวิตในเชิงเปรียบเทียบ

การกำหนดระดับขั้นของการประเมินเกี่ยวกับคุณลักษณะด้านปริมาณสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้น ได้แก่ 1. การพิจารณาเพียงการใช้น้ำทางตรง และ 2. การพิจารณาทั้งการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม สำหรับกระบวนการผลิต พีวีซีเรซินกรณีศึกษา การพิจารณาเพียงการใช้น้ำทางตรงนั้นไม่อาจเพียงพอ เพราะสารตั้งต้นและวัตถุดิบรวมถึงพลังงานที่ใช้บางส่วนนั้นถูกผลิตขึ้นในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดทำให้ปริมาณการใช้น้ำแฝงบางส่วนที่เกิดขึ้นในห่วงโซ่การผลิตเป็นปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำในท้องถิ่น แต่ในกรณีที่กระบวนการผลิตที่

ทำการศึกษาไม่ได้มีการใช้วัตถุดิบและพลังงานที่ผลิตขึ้นโดยอาศัยน้ำจากแหล่งน้ำในท้องที่ การประเมินโดยพิจารณาเฉพาะปริมาณการใช้น้ำทางตรงก็สามารถทำได้

3.3.2 การประเมินด้านประเภทการใช้น้ำ

การประเมินแบบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีการแบ่งประเภทการใช้น้ำออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ น้ำสีเขียว น้ำสีน้ำเงิน และ น้ำสีเทา และยังมีจุดเด่นที่มีวิธีการประเมินโดยเฉพาะสำหรับน้ำสีเขียวโดยสามารถคำนวณการใช้น้ำแบบ Evapotranspiration ของพืชได้ ปริมาณการใช้น้ำแต่ละประเภทที่ประเมินได้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำแต่ละประเภทที่มีในแหล่งน้ำเพื่อวิเคราะห์ถึงความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำ ถึงแม้การประเมินวัฏจักรชีวิตจะไม่มีหลักการแบ่งประเภทของการใช้น้ำในลักษณะดังกล่าว แต่ในการวิเคราะห์กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมก็สามารถแบ่งแยกปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดมลพิษซึ่งถือเป็นน้ำสีเทาออกมาได้เพื่อประโยชน์ด้านการบริหารจัดการ

การกำหนดระดับขั้นของการประเมินเกี่ยวกับคุณลักษณะด้านประเภทการใช้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้น ได้แก่ 1. การพิจารณาการใช้น้ำโดยไม่แบ่งประเภท และ 2. การพิจารณาการใช้น้ำโดยแบ่งประเภทการใช้น้ำออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ น้ำสีเขียว น้ำสีน้ำเงิน และ น้ำสีเทา การแบ่งประเภทของการใช้น้ำในการประเมินวัฏจักรชีวิตสามารถทำได้ โดยอาจแบ่งเป็นเพียง 2 ประเภทในกรณีที่ไม่มีการใช้น้ำสีเขียวก็ได้ การทราบถึงปริมาณน้ำสีเทาจะช่วยให้ทราบถึงสัดส่วนของปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดมลพิษทางอุตสาหกรรม

อย่างไรก็ตาม การจำแนกประเภทการใช้น้ำตามหลักการของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นไม่เป็นสิ่งจำเป็นนักสำหรับกระบวนการผลิต พีวีซีเรซินกรณีศึกษา และ กระบวนการอื่นๆในนิคมเนื่องจากน้ำที่ใช้ในการผลิตมาจากแหล่งกักเก็บน้ำในพื้นที่ทั้งสิ้นซึ่งถือได้ว่าเป็นน้ำผิวดินหรือน้ำสีน้ำเงิน แต่สำหรับกระบวนการผลิตใดที่มีการใช้วัตถุดิบที่มาจากภาคการเกษตรในบริเวณพื้นที่ที่ใช้น้ำจากแหล่งน้ำร่วมกันกับนิคมฯ ผู้ประเมินสามารถนำวิธีการคำนวณน้ำสีเขียวตามหลักการของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มาประยุกต์ใช้ได้

3.3.3 การประเมินด้านช่วงเวลาของการใช้น้ำ

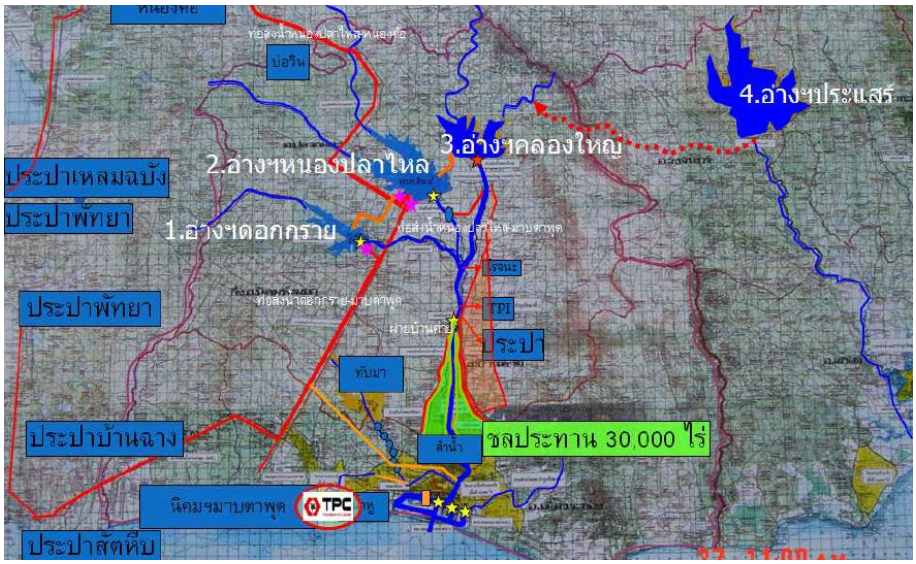
ในหัวข้อ 3.2 ผลการประเมินบอกให้ทราบถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตพีวีซีเรซิน 1 หน่วยน้ำหนัก ซึ่งเมื่อนำมาคูณกับผลผลิตต่อปีก็ทำให้ทราบถึงปริมาณการใช้น้ำต่อปี และ เมื่อนำปริมาณการใช้น้ำต่อปีของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินและกระบวนการผลิตอื่นๆที่ใช้น้ำจากแหล่งน้ำของนิคมฯมาเทียบกับปริมาณน้ำที่มีให้ใช้ต่อปีโดยที่ไม่กระทบกับระบบนิเวศและวิถีชีวิตของชุมชน ก็จะทำให้สามารถบ่งชี้ถึงความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำในท้องถิ่นได้

อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำกักเก็บในแหล่งน้ำของนิคมฯมีปริมาณที่ไม่เท่ากันตลอดทั้งปีดังที่แสดงในรูปที่ 1.1 ในบทที่ 1 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้และปริมาณน้ำที่สามารถใช้ได้ของทั้งปีนั้นอาจไม่เพียงพอต่อการพิจารณาถึงความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำในบริเวณนิคมฯได้ แนวทางการประเมินที่เหมาะสมคือการคำนวณและทำการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้และปริมาณน้ำที่มีให้ใช้ในแต่ละเดือนตลอดปี

การกำหนดระดับขั้นของการประเมินเกี่ยวกับคุณลักษณะด้านช่วงเวลาที่ความต้องการใช้น้ำเกิดขึ้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้น ได้แก่ 1. การพิจารณาเป็นรายปี และ 2. การพิจารณาเป็นรายเดือน โดยในกรณีของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินซึ่งเป็นกรณีศึกษานี้ ปริมาณการใช้น้ำในแต่ละเดือนสามารถคำนวณจากผลคูณระหว่างปริมาณการผลิตในหน่วยน้ำหนักของแต่ละเดือนมาคูณกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตพีวีซีเรซิน 1 หน่วยน้ำหนัก เมื่อทำการประเมินในลักษณะนี้กับทุกกระบวนการผลิตในนิคมฯก็จะทำให้ทราบถึงปริมาณความต้องการในการใช้น้ำของนิคมฯเป็นรายเดือนได้

3.3.4 การประเมินด้านตำแหน่งของแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดประกอบไปด้วยอ่างเก็บน้ำหลายแห่งได้แก่ อ่างเก็บน้ำดอกกราย หนองปลาไหล และ คลองใหญ่ แหล่งน้ำเหล่านี้มีที่ตั้งดังที่แสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งของแหล่งน้ำที่สำคัญของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

กระบวนการผลิต PVC เรซินของบริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่มีสัญลักษณ์ TPC ในรูป

การกำหนดระดับขั้นของการประเมินเกี่ยวกับคุณลักษณะด้านตำแหน่งของแหล่งน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้น ได้แก่ 1. การไม่พิจารณาถึงแหล่งน้ำ และ 2. การพิจารณาถึงแหล่งน้ำ ถึงแม้การระบุถึงแหล่งน้ำที่นำน้ำมาใช้ในแต่ละกระบวนการผลิตได้นั้นจะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่การบริหารจัดการได้ แต่ในทางปฏิบัติ การระบุถึงแหล่งน้ำที่กระบวนการผลิตนำน้ำมาใช้ในแต่ละช่วงเวลานั้นไม่อาจสามารถกระทำได้เนื่องจาก ถึงแม้โรงงานในแต่ละเขตในนิคมฯจะมีเส้นทางการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่ต่างกัน แต่น้ำในแหล่งน้ำต่างๆเหล่านี้มีการวางท่อเชื่อมต่อกันและมีการถ่ายเทน้ำเพื่อปรับระดับน้ำกักเก็บให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมอยู่เสมอ จึงเป็นการยากสำหรับองค์กรในการระบุถึงแหล่งน้ำที่ดึงน้ำมาใช้ในแต่ละช่วงเวลาให้ได้อย่างแม่นยำ การนิคมอุตสาหกรรมจะต้องเป็นผู้ช่วยศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบสูบส่งที่ลำเลียงน้ำสู่กระบวนการผลิตของโรงงานต่างๆในนิคมฯ

อย่างไรก็ตาม การระบุถึงแหล่งน้ำเพื่อการประเมินถึงภาระของแหล่งน้ำแต่ละแห่งแบบคร่าวๆนั้นสามารถกระทำได้ การบริหารจัดการเพื่อให้ปริมาณการใช้น้ำไม่เกินขีดความสามารถในการรองรับของอ่างเก็บน้ำแต่ละแห่งจะช่วยลดความเสี่ยงด้านการขาดแคลนน้ำในเขตพื้นที่ย่อยต่างๆและลดค่าใช้จ่ายในการสูบส่งน้ำไปมาระหว่างอ่างเก็บน้ำเหล่านี้

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในส่วนนี้ของบทที่ 3 เกี่ยวกับการประยุกต์การวิเคราะห์คุณลักษณะด้านต่างๆซึ่งเป็นลักษณะการประเมินของการประเมินแบบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เข้ากับการประเมินวัฏจักรชีวิต แนวทางการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินกรณีศึกษาและกระบวนการทางอุตสาหกรรมอื่นๆที่ตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดสามารถสรุปได้ดังที่แสดงในตารางที่ 3.3

ผลการประเมินปริมาณความต้องการในการใช้น้ำของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซินกรณีศึกษาซึ่งเป็นงานส่วนหนึ่งที่สำคัญของงานวิจัยนี้ได้ถูกเรียบเรียงให้อยู่ในรูปแบบของบทความวิจัยซึ่งถูกแสดงอยู่ในภาคผนวกซึ่งอยู่ในส่วนสุดท้ายของรายงานฉบับนี้ บทความงานวิจัยดังกล่าวได้รับการตอบรับเพื่อการนำเสนอผลงานใน The 5 th KKU International Engineering Conference 2014 (27 th to 29th March 2014. Khon Kaen) และลงตีพิมพ์ใน The proceedings and the journal of Advanced Materials Research

ตารางที่ 3.3 แนวทางการประเมินผลกระทบด้านการใช้น้ำของกระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน

ลักษณะการประเมิน	ระดับการประเมิน	ลักษณะของการประเมินและผลที่จะได้รับ
ปริมาณ	1. พิจารณาเพียงการใช้น้ำทางตรง	ง่ายต่อการประเมินและไม่ต้องใช้ LCA Software ผลการประเมินนำไปใช้คำนวณปริมาณการใช้น้ำ ในระดับนิคมได้แต่จะไม่ทราบถึงโครงสร้างของการ ใช้น้ำในห่วงโซ่การผลิต
	2. พิจารณาทั้งการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม	ต้องใช้ LCA Software ในการประเมิน มีความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายในการประเมิน แต่จะทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับการใช้น้ำที่เกิดขึ้นในห่วงโซ่การผลิต สามารถทำการปรับปรุงการผลิต เลือกใช้วัตถุดิบ เลือกสั่งซื้อวัตถุดิบ เพื่อลดความเสี่ยงเกี่ยวกับการขาดแคลนทรัพยากรน้ำที่มีผลต่อความต่อเนื่องในการดำเนินธุรกิจขององค์กรได้
ประเภท	1. ไม่แบ่งประเภท	ในระดับนิคมฯ ยังได้ข้อมูลที่พอเพียงต่อการวิเคราะห์ความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำ
	2. แบ่งประเภทการใช้น้ำออกเป็น น้ำสีเขียว น้ำสีน้ำเงิน และ น้ำสีเทา	เนื่องจากกระบวนการกรณีศึกษาไม่มีการใช้น้ำประเภทน้ำสีเขียว การจำแนกประเภทน้ำกระทำได้โดยทำการแบ่งปริมาณการใช้น้ำออกเป็นน้ำสีน้ำเงินและน้ำสีเทา ทางองค์กรจะต้องเริ่มทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่ใช้ว่าน้ำส่วนใดบ้างที่ถูกใช้เพื่อการบำบัดมลพิษ จากนั้นทางองค์กรจะมีข้อมูลในการบริหารจัดการเพื่อหาทางลดปริมาณการใช้น้ำสีเทาต่อไป
ช่วงเวลา	1. รายปี	เป็นการประเมินแบบคร่าวๆ ทำให้ทราบถึงปริมาณการใช้น้ำในระดับช่วงระยะเวลา 1 ปี
	2. รายเดือน	สามารถประเมินได้ไม่ยากและทำให้สามารถทำการการคาดการณ์ปริมาณการใช้น้ำต่อเดือนที่จะเกิดขึ้นในอนาคตตามแผนการผลิตที่วางไว้ และ ช่วยให้สามารถหลีกเลี่ยงผลกระทบด้านการขาดแคลนน้ำที่จะเกิดขึ้นได้
แหล่งน้ำ	1. ไม่ระบุแหล่งน้ำที่เป็นที่มาของน้ำที่ใช้	ไม่ทราบถึงปริมาณการดึงน้ำจากแหล่งน้ำแต่ละแห่งมาใช้
	2. ระบุแหล่งน้ำที่มา	การนิคมฯจะต้องศึกษาและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบสูบส่งน้ำที่ลำเลียงน้ำส่งเข้าสู่การผลิตของแต่ละโรงงาน ข้อมูลที่ได้จากการระบุแหล่งน้ำจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับผังของนิคมฯ เพื่อให้เกิดสมดุลระหว่างความต้องการในการใช้น้ำในแต่ละเขตของนิคมฯและปริมาณน้ำที่แหล่งน้ำมีให้ใช้

เอกสารอ้างอิง

Allan T., Virtual water: a long term solution for water short Middle Eastern economies. British Association Festival of Science, Water & Development Session - TUE.51, 14.45, Sep 9, 1997.

Brent A.C., "A Life Cycle Impact Assessment Procedure with Resource Groups as Areas of Protection", International Journal of Life Cycle Assessment (3), 172-179, 2004.

CIA (Central Intelligence Agency), "The World Fact Book, Total Renewable Water Resources", https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2201.html, assessed June 2013.

East Water (www.eastwater.com, รายงานสถานการร์น้ำรายเดือน)

Emmenegger et al. 2011 "Taking into account water use impacts in the LCA of biofuels: an Argentinean case study" The International Journal of Life Cycle Assessment, November 2011, Volume 16, Issue 9, pp 869-877.

FAO (http://www.fao.org)

Frischknecht, R., Steiner, R., Jungbluth, N. 2009: The Ecological Scarcity Method - Eco-Factors 2006: A method for impact assessment in LCA. Umwelt-Wissen Nr. 0906. Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), Bern.

Hauschild M., Wenzel H., (1998) Environmental Assessment of Products. Volume 2: Scientific background. Chapman and Hall. ISBN 0 412 80810 2. See http://www.wkap.nl/book.htm/0-412-80810-2

Hoekstra A.Y., "Virtual water trade", Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, IHE Delft, the Netherlands, 12-13 December 2002.

Hoekstra A.Y., Chapagain, A. K., Aldaya M. M., Mekonnen, M.M., "The water footprint assessment manual : setting the global standard", Washington, DC: World Bank, 2011. http://documents.worldbank.org/curated/en/2011/01/14416288/water-footprint-assessment-manual-setting-global-standard

IPCC/TEAP (2005) "Special Report on Ozone and Climate"

ISO (2006). Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines - ISO14044, ISO14044:2006, European Committee for Standards, rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels.

J. W. Owens "Water Resources in Life-Cycle Impact Assessment: Considerations in Choosing Category Indicators" Journal of Industrial Ecology Volume 5, Issue 2, pages 37–54, April 2001

Johnson B.N., "Inventory of land management inputs for producing absorbent fiber for diapers: A comparison of cotton and softwood land management", Forest Products Journal, 44, 39–45, 1994.

Katsoufis S., "Cradle-to-Gate Water Footprint Analysis of Borealis Group Polyolefin Value Chain", Master's thesis, KTH, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2009.

M. Goedkoop, R. Heijungs, M.A.J. Huijbregts, A. De Schryver, J. Struijs and R. van Zelm, ReCiPe 2008 - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, First edition, Report I: Characterisation, NL, 2009.

Milà i Canals L., Domènech X., Rieradevall J., Fullana P., Puig R., "Use of Life Cycle Assessment for the Establishment of the Ecological Criteria for the Catalan Eco-label of Leather", International Journal of Life Cycle Assessment, 7(1), 39-46, 2002.

PE International, "Handbook for Life Cycle Assessment (LCA) " (http://www.pe-international.com)

Pfister S., Koehler A., Hellweg S., "Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA", Environmental Science & Technology, 2009, 43 (11), pp 4098–4104.

Rebitzer G. and et al., "Life cycle assessment Part 1: Framework, goal scope definition, inventory analysis, and impact analysis" Environ Int., 30(5), 701-20, 2004.

Rees W.E., "Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out", Environment and Urbanisation, 4(2), 121-130 , October 1992.

Sauer B.J., Hilderbrandt C.C., Franklin W.E., Hunt R.G., "Resource and environmental profile analysis of children's diaper systems", Environmental Toxicology and Chemistry, 13, 1003-1009, 1994.

SETAC, A Technical Framework for Life-cycle Assessment. Washington, DC, (1991).

Wenzel H., Hauschild M., Alting L. (1997) Environmental Assessment of Products. Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development. Chapman and Hall. ISBN 0 412 80800 5. See http://www.wkap.nl/book.htm/0-7923-7859-8.

WRSRU (Water Resources System Research Unit), Water Resources Engineering Department, Chulalongkorn University, "Thailand Water Account (2005-2007)", March 2012.

จันทิมา อุทะกะ "เอกสารประกอบการสอน การประเมินวัฏจักรชีวิต" ศูนย์เฉพาะทางด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ, MTEC

ภาคผนวก

บทความที่ใช้ในการเผยแพร่ผลงานวิจัย

Assessing Water Consumption of S-PVC Resin Manufacturing Process by Life Cycle Assessment

Sun Olapiriyakul

Industrial Engineering Department, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap,
Ubon Ratchathani 34190, Thailand
sun_ola@hotmail.com

Keywords: Resource Management, LCA, Virtual Water, Water Footprint, PVC

Abstract. The rapid growth of industry has resulted in increased severity of water scarcity in the Eastern region of Thailand over the past decade. The assessment of water use by industrial manufacturing processes located in areas experiencing water stress is necessary to ensure a sustainable water resources management. The objective of this study is to demonstrate the use of life cycle assessment as a tool for assessing water use in an industrial manufacturing process. A case study of S-PVC resin manufacturing process located in Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong province, Thailand, is presented. The studying results indicate that the amount of water used to produce 1 Kg of S-PVC resin is 14.72 liters, of which 6.22 liters are withdrawn from local water resources. Additionally, the direct and indirect water use along the production supply chain is accounted for in a streamlined life cycle assessment.

Introduction

Thailand is not classified as a water scarce country, given the annual amount of freshwater supply of around 438,600 million cubic meters [1] and demand of almost 60,000 million cubic meters [2]. However, many areas of the country are vulnerable to water scarcity. In 2005, Map Ta Phut industrial estate and its surrounding communities located on the Eastern coast of Thailand were affected by severe water shortage. The competition over water resources occurred between industrial and other sectors including agricultural and residential. The water in major reservoirs, including Dokrai , Nongpralai, and Klong Yai reservoirs, became insufficient to satisfy local demand. Map Ta Phut and its surrounding areas eventually suffered a severe water scarcity crisis. The incident made organizations aware of the urgent need for a sound management of water resources and the need to assess their actual withdrawals from local water supply.

The primary objective of this research is to demonstrate the use of life cycle assessment (LCA) as a tool for assessing the impact of water use on local water resource. A case study of suspension PVC (S-PVC) resin manufacturing process located in Map Ta Phut Industrial Estate, a large-sized industrial park on the Eastern coast of Thailand, is presented. LCA is used to evaluate the actual water demand on local water resources due to direct and indirect use of water along the production supply chain of the S-PVC resin. The study also aims to identify opportunities for reducing water consumption in the S-PVC resin manufacturing process case study.

Background on the PVC Resin Manufacturing Process Case Study. The S-PVC resin manufacturing process case study comprises of three main stages: 1). Chlo-Alkaline Plant (C/A Plant) 2). Vinyl Chloride Monomer Plant (VCM Plant) and 3). Poly Vinyl Chloride Plant (PVC Plant), as shown in Fig. 1.

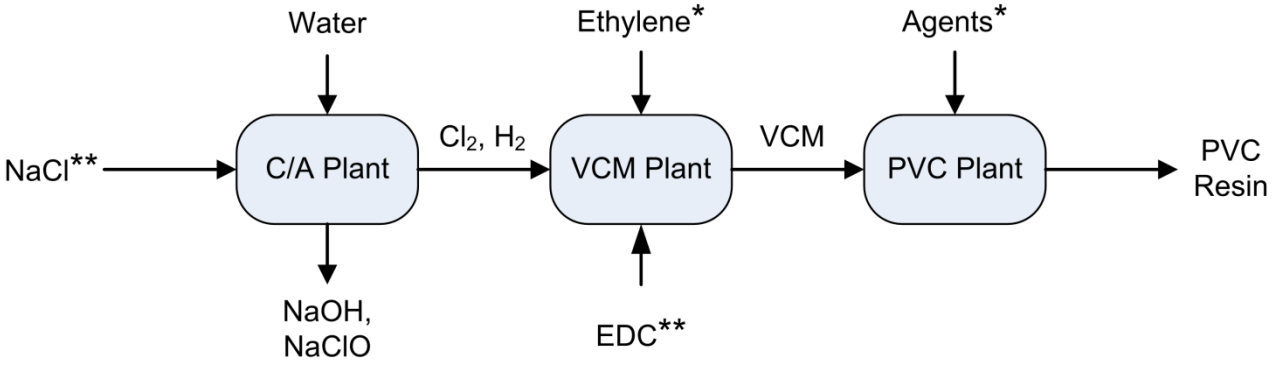


Fig. 1 Material Flow Diagram for the S-PVC Resin Manufacturing Process.

* Raw materials imported from manufacturers residing in Map Ta Phut industrial estate,
** Raw materials imported from manufacturers outside Map Ta Phut area

In the first process step, salt or sodium chloride (NaCl) received from Nakhon Ratchasima province is dissolved in hot water to form a salt solution at the C/A plant. The solution is then purified and decomposed electronically into chlorine (Cl_2) gas, hydrogen (H_2) gas, and sodium hydroxide (NaOH) solution via an electrolysis process.

In the VCM plant, ethylene (C_2H_4) and chlorine are used as a main feedstock to produce Ethylene Di-Chlorine (EDC), which is the precursor for VCM. The synthesis of EDC is carried out using two methods: 1) Direct Chlorination where only chlorine and ethylene are reacted exothermically to form EDC and 2) Oxy Chlorination where recycled hydrogen chloride (HCl) is used as a feedstock to form EDC with the aid of ethylene and oxygen (O_2). In addition to the internally produced EDC, another similar quantity of EDC is imported from abroad where they are thermally cracked at elevated temperatures to produce VCM.

In the PVC plant, the synthesized VCM is polymerized in batch reactors in the presence of water, catalysts, and additives to make S-PVC. The S-PVC is then converted into solid PVC particles and stored in silos before being shipped to customers.

It can be seen that several steps of the S-PVC resin manufacturing process are water intensive. Water used for plant operation and cooling is referred to as direct water use. At the same time, the use of chemicals and energy also results in indirect water use related to the total volume of water that is used to produce them.

For this case study, while the direct water use accounts for water withdrawn directly from the local reservoirs, indirect water use also imposes additional stress on the local reservoirs as some of the chemicals and energy used in the manufacturing process are produced by manufacturers residing in Map Ta Phut industrial estate. The volume of the direct and indirect water use associated with the S-PVC resin manufacturing process are analyzed in this study as it is crucial in developing a sound management of water resources.

Water Use Analysis

Research Methodology. Streamlined LCA approach outlined by the Society of Environmental Toxicology and Chemistry [3] is used in this study. The LCA approach is divided into four phases: goal and scope definition; inventory analysis; life cycle impact assessment; and interpretation.

Goal and Scope Definition. The purpose of the LCA is to evaluate the actual water demand on local water supply due to direct and indirect use of water along the production supply chain of the S-PVC resin. A streamlined LCA with cradle-to-gate boundary conditions is conducted. Water

consumption is selected as the only midpoint indicator similar to the way in which LCA is conducted by previous studies [4,5]. However, the study on the environmental impacts due to water resource depletion is beyond the scope of this study. The total volume of water used to produce S-PVC resin quantified in this study can alternatively be referred to as the virtual water content of the product, according to the virtual water concept introduced by Allan [6].

The functional unit of this study is the production of one Kg of S-PVC resin via the production method described in the previous section of this paper. The water consumption amount per one Kg of S-PVC resin is determined in this study.

Inventory Analysis. At this step, the data regarding input/output material and energy flows of the S-PVC resin manufacturing process collected in 2010 are analyzed. The resulting life cycle inventory data of the case study is presented in a consistent way to GaBi Education 4.4 background data as shown in Table 1. This LCI data will be used in the stage of life cycle impact assessment (LCIA) to understand the water use associated with the PVC production case study.

Table 1 Life Cycle Inventory Data of 1 Kg of PVC Resin

Order	Inputs	Quantity [Kg]	Order	Outputs	Quantity [Kg]
1	NaCl	0.075613	1	S-PVC	1.0
2	Process Water (Demin)	0.352077	2	NaOH as 50%wt	0.056922
3	18% Hydrochloric acid	***	3	NaOH as 24%wt	0.010636
4	98% Sulfuric acid	***	4	Waste Water	***
5	Sodium Sulfite (Na_2SO_3)	***	5	Waste Sludge	***
6	Industrial Water	0.005934	6	Others	***
7	Steam	0.025801	7		
8	Ethylene	0.304748			
9	Oxygen	0.148705			
10	Fuel Gas	0.006105			
11	Others	***			

*** Proprietary data

Impact Assessment and Interpretation. The LCA model is created using Gabi 4.4 Education developed by PE International. The LCIA is performed using a midpoint approach called the Environmental Design of Industrial Products 1997 (EDIP 97) method to gain insight into the impacts of the PVC resin manufacturing process on water use. Different LCIA methods such as ReCiPe [7] can alternatively be used to evaluate the volume of water use.

According to the analysis results shown in Table 2, the total volume of water that is used to produce 1 Kg of S-PVC resin is 14.72 liters, of which only 4.53 liters is considered as direct water use. The remaining of about 10.19 liters is considered as indirect water use, embedded in raw materials and energy. It can be observed that EDC imported from abroad is the only leading source of the indirect water use.

When evaluating the impact on local water supply, the amount of water withdrawal from local reservoirs can be calculated by subtracting the amount of water embedded in the imported EDC and salt from the total consumption amount of 14.72 liters. As a result, the amount of water withdrawal from local water reservoirs in Map Ta Phut is equal to 6.22 liters, of which 4.37 liters must be allocated to meet the demand for process water. While industrial water is mainly used for washing, cleaning, cooling and sanitation purposes, process water is water that is used by production processes and machines.

Table 2 Direct and Indirect Water Use of the S-PVC Resin Manufacturing Process

Type of Water Use	Source		Unit [Litres]
Indirect Water Use	Feedstock	Hydrochloric Acid	0.48
		Ethylene	0.16
		Oxygen	0.06
		Chlorine	0.61
		EDC*	8.42
		Sodium Chloride*	0.08
	Energy	Electricity	0.38
Direct Water Use	Industrial Water		0.14
	Process Water		4.37
	Steam		0.02
Total			14.72

* Imported raw materials that do not put stress on local water resources

At the current annual production capacity of about 530,000 tons, the S-PVC resin manufacturing process case study yields annual water withdrawals of about 3.3 million cubic meters from local reservoirs in Map Ta Phut. This amount represents about 1.6% of the total amount of water used by the entire industrial sector of Rayong province in 2007, which was reported to be around 206.32 million cubic meters [8]. Any reduction in the use of process water would effectively reflect in a smaller burden on local water resources caused by the S-PVC resin manufacturing process.

From a process point of view, water consumption associated with C/A plant, VCM plant, and PVC plant is analyzed as shown in Fig. 2. As expected, the amount of water consumption of the C/A plant is significant due to the use of water to form salt solution. Nonetheless, the VCM plant turns to be the most water intensive stage of the S-PVC manufacturing process, accounting for more than 65% of the total water consumption by the entire process. This is due to the water embedded in the production supply chain of feedstocks, in particular EDC used by the VCM plant.

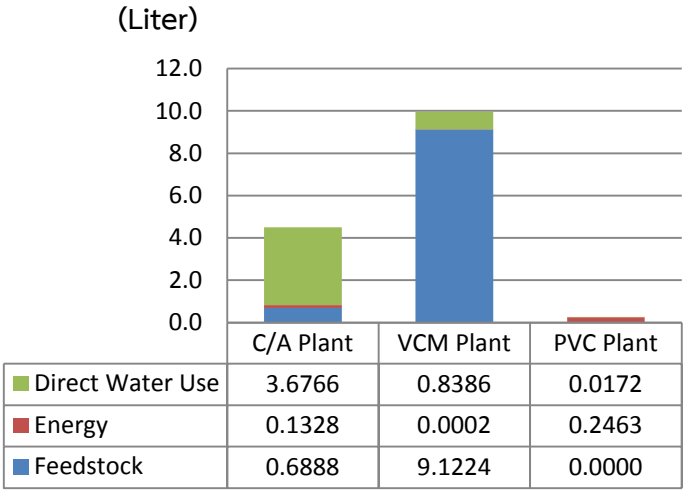


Fig. 2 Water Consumption at Each Stage of the PVC Resin Manufacturing Process

In conclusion, the reduction of direct water use at C/A plant should be set as the first priority for mitigating the impact of water use on the local reservoirs in Map Ta Phut. The water use efficiency of EDC production process at the VCM plant must also be improved to avoid the risk of drawing too much water from the local reservoirs in case where all EDC is needed to be produced internally. Outsourcing the production of EDC to other locations without water scarcity issues could be considered as well.

Discussion

This study demonstrates that LCA is a valuable tool for addressing the impact of an industrial manufacturing process on water use. The results of LCA provides insight into the source of water consumption related to both direct and indirect water use. Moreover, it provides a better understanding of the link between each stage of the manufacturing process and its impact on local water supply. It must be noted that the amount of water used to produce 1 Kg of PVC resin estimated in this study is more or less the same as that used for other thermoplastics as reported by previous research [9], 13.1 and 13.7 liters for 1 Kg of polypropylene (PP) and polyethylene (PE), respectively.

This study can be repeated with other manufacturing processes in Map To Phut industrial estate area to determine the actual amount of water withdrawals as well as the way to conserve the limited local water supply. In addition, the amount of water used to produce S-PVC resin determined in this case study can also be used as a reference value for any future water-impact study of PVC-containing products.

References

[1] CIA (Central Intelligence Agency). The World Fact Book, Total Renewable Water Resources, https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2201.html

[2] S. Koontanakulvong, P. Hoisungwan and W. Chaowiwat, Thailand Water Account (2005-2007). Water Resources System Research Unit, Thailand, (2012) 46.

[3] SETAC, A Technical Framework for Life−cycle Assessment. Washington, DC, (1991).

[4] S. Pfister, A. Koehler and S. Hellweg, Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA, Environmental Science & Technology. 43(11) (2009) 4098–4104.

[5] B.G. Ridoutt and S. Pfister, A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity, Global Environmental Change. 20(1) (2010) 113–120.

[6] T. Allan, Virtual water: a long term solution for water short Middle Eastern economies. British Association Festival of Science, Water & Development Session - TUE.51, 14.45, Sep 9, 1997.

[7] M. Goedkoop and et al., ReCiPe 2008 - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, First edition, Report I: Characterisation, NL, 2009.

[8] S. Koontanakulvong, P. Hoisungwan and W. Chaowiwat and C. Suthidhummajit, Thailand Water Situation (2007), Water Resources System Research Unit, Thailand, (2012) 3-12.

[9] S. Katsoufis, Cradle-to-Gate Water Footprint Analysis of Borealis Group Polyolefin Value Chain, Master's thesis, KTH, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, (2009).