

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป  
กรณีศึกษา : จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี

โดย

นางสาวนิมมานรดี เกตุเดชา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2556

**The Water Footprint of Rubber Wood Products Case Study:  
Nakhon Si Thammarat and Chanthaburi Province**

**By**

**Miss Nimmanoradee Ketdecha**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in  
Energy and Environmental Technology Management  
Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering  
Thammasat University**

**2013**

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวนิมมานรดี เกตุเดชา

เรื่อง

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป  
กรณีศึกษา : จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2556

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณิ์ แผงจันทิก )

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หาญพล พึ่งรัมย์ )

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

( อาจารย์ ดร.ไพรัช อุศุภรัตน์ )

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

( อาจารย์ ดร.บุญณมี สัจจกมล )

คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประภัสสร วังศกาญจน์)

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิมพริ้นต์ (Water Footprint; WF) สีเขียว สีน้ำเงินและสีเทาจากผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 กระบวนการหลัก คือกระบวนการเพาะปลูกยางพาราและกระบวนการแปรรูปในอุตสาหกรรม ซึ่งการศึกษานี้จะพิจารณาผลผลิตการเพาะปลูกเป็น 2 กรณี คือ น้ำยางสดเพียงอย่างเดียว และน้ำยางสดร่วมกับไม้ยางสดด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยนำข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาจากจังหวัด นครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี ตั้งแต่การเตรียมการเพาะปลูกยางพาราจนถึงยางพาราอายุ 25 ปี (ปี 2528-2553) ประเมินค่า WF โดยใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ส่วนของสีเขียวและสีน้ำเงินทางตรง ส่วนสีน้ำเงินทางอ้อมนั้นจัดทำข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory; LCI) และคำนวณ WF จากฐานข้อมูลในโปรแกรม SimaPro 7.3 การคำนวณ WF สีเทานั้นมีความสัมพันธ์จากปริมาณปุ๋ยในโตรเจนที่ใช้เพื่อการเพาะปลูกยางพารา ผลการศึกษาพบว่า กรณีที่ 1 WF น้ำยางสดจังหวัดนครศรีธรรมราชน้อยกว่าจังหวัดจันทบุรี โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ผลผลิต ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา ส่วนกรณีที่ 2 พบว่าค่า WF น้ำยางสดมีค่ามากกว่า WF ไม้ยางพาราสด ซึ่งไม้ยางพาราด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณมีค่ามากกว่าวิธีปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์ ทั้งนี้ WF สีเขียวมีค่ามากที่สุด ตามด้วย WF สีน้ำเงินและสีเทา เนื่องจากปัจจัยเชิงพื้นที่และเวลาของทั้งสองจังหวัดมีผลต่อค่า WF จึงควรมีการระบุผลผลิตและวิธีการปันส่วนที่เหมาะสมเพื่อการประเมินความรับผิดชอบต่อการใช้ที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต ในส่วนการศึกษา WF จากกระบวนการแปรรูปไม้ยางพารา กรณีศึกษาจากบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยพิจารณาวิธีประเมินปริมาณการใช้น้ำทางอ้อม 2 วิธี คือ ReCiPe Method กับ All Water in Process จากฐานข้อมูล Ecoinvent พบว่า WF ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราซึ่งประเมินน้ำสีน้ำเงินทางอ้อมด้วยวิธี ReCiPe Method มีค่าน้อยกว่า All Water in Process ทุกกรณีและปริมาณ WF ส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยวิธีพิจารณาน้ำที่สูญเสียไป (Water depletion: WD) ด้วย ReCiPe Method พบปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมที่ติดตัวผลิตภัณฑ์เข้าในกระบวนการแปรรูปไม้ยางพารามีปริมาณน้อย ในทางตรงข้าม WF ด้วยวิธี All Water in Process พบว่าปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากวัตถุดิบและพลังงานไฟฟ้าเข้าสำหรับแปรรูปผลิตภัณฑ์มีปริมาณมากกว่า WF ที่มาจากกระบวนการเพาะปลูก



## Abstract

This research was aimed to study the Water Footprint (WF) of rubber wood products, generated by cultivation and manufacturing processes. The rubber cultivation process are categorized in two ways, latex only and latex and para wood, that are further analytically apportioned into two aspects, quantity and economic views. This assessment is to utilize the spatially-explicit information of rubber cultivation from Nakhon Si Thammarat and Chanthaburi province, which has a timeline from a young period to mature stage (25 years; 1985-2010). The CROPWAT 8.0 program has been used to determine the green and blue WF under ideal growth condition. Meanwhile, the indirect blue WF contributes to the Life Cycle Inventory (LCI) and will be used to assess WF by SimaPro 7.3. Moreover, the grey WF has been quantified from Nitrogen fertilizer in rubber cultivation. The result of WF determination in cultivation demonstrated that the total number of WF from Nakhon Si Thammarat was less than the WF from Chanthaburi province in the case of latex only. It can be referred to a different amount of raining, yield and crop coefficient factor ( $K_c$ ) conducted in each research. The second case study showed that latex WF was more than fresh para wood WF. The fresh para wood WF by quantity allocation method is more than an amount of WF by economic allocation method that can be accounted for WF number on green, blue and grey colour respectively. The different factors between two provinces can be compared by looking at both time and geography, showing the types of rubber products and allocation methods respectfully in order to fully assess the WF's responsibility in the near future. The result of WF on manufacturing production originated from data collected by one factory in Nakhon Si Thammarat and comparing to the indirect blue WF's between the ReCiPe method and All Water in Process method. It showed that the indirect WF of parawood products by the ReCiPe method was less than measuring all the water in process of input products. The majority of total WF product differed was calculated through measuring the water depletion (WD) collected by ReCiPe method which found a small amount of water consumption in rubber manufacturing, but mainly from rubber cultivation, which proved opposite after evaluating All Water in Process method.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดีด้วยความเมตตาและความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หาญพล พึ่งรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ดร.ไพรัช อุศุภรัตน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ เทคนิคในการวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรณี แผงจันทิก ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และอาจารย์ดร.ปณณมี สัจจกมล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการทำการวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.กฤษดา สังข์สิงห์ นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ศูนย์วิจัยยางสุราษฎร์ธานี ผู้ให้คำปรึกษาด้านข้อมูลยางพาราและไม้ยางพาราอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย ขอขอบคุณสถาบันวิจัยยางที่ให้ข้อมูลยางพารา ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาและเจ้าหน้าที่กรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ข้อมูลด้านภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ศึกษาวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้องที่ช่วยเหลือในการสืบค้นข้อมูล แลกเปลี่ยนเรียนรู้ และเสนอแนะการศึกษาวิจัย

จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้สนับสนุนการวิจัย และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา กระทั่งการศึกษาวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และความดีอันเกิดจากการวิจัยครั้งนี้ ขอมอบแต่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวนิมมานดี เกตุเดชา

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2556

## สารบัญ

|                                                   | หน้า |
|---------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ .....                                    | (1)  |
| กิตติกรรมประกาศ.....                              | (3)  |
| สารบัญ .....                                      | (4)  |
| สารบัญตาราง.....                                  | (7)  |
| สารบัญภาพประกอบ .....                             | (9)  |
| บทที่                                             |      |
| 1. บทนำ .....                                     | 1    |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....                | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....                 | 4    |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย .....                          | 5    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....               | 6    |
| 2. ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ..... | 7    |
| 2.1 ยางพารา .....                                 | 7    |
| 2.1.1 การเพาะปลูกยางพารา .....                    | 7    |
| 2.1.2 การใช้น้ำของยางพารา.....                    | 11   |
| 2.1.3 ไม้ยางพารา.....                             | 14   |
| 2.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ .....                       | 16   |

## สารบัญ(ต่อ)

| บทที่                                                             | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| 2.2.1 ความหมายของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์.....                           | 16   |
| 2.2.2 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ .....                             | 21   |
| 2.2.3 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพืชและผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับพืช .....       | 22   |
| 2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิต.....                                   | 25   |
| 2.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต .....                             | 26   |
| 2.3.2 การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม .....                        | 27   |
| 2.3.3 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม .....                          | 28   |
| 2.3.4 การแปลผลการศึกษา .....                                      | 30   |
| 2.4 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์กับการประเมินวัฏจักรชีวิต.....               | 30   |
| 2.5 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์กับ ISO .....                                | 34   |
| 2.6 วิธีการประเมินปริมาณการใช้น้ำ .....                           | 35   |
| 3. การดำเนินการวิจัย .....                                        | 41   |
| 3.1 กำหนดขอบเขตการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์.....                     | 42   |
| 3.2 หน่วยหน้าที่การทำงาน .....                                    | 50   |
| 3.3 โปรแกรมที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการวิจัย.....                  | 51   |
| 3.4 การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม .....                          | 52   |
| 3.5 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา.....            | 53   |
| 3.6 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา.....  | 55   |
| 3.7 การดำเนินการวิจัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์..... | 58   |
| 4. ผลการวิจัย.....                                                | 60   |
| 4.1 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา.....                      | 60   |

## สารบัญ(ต่อ)

| บทที่                                                                       | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป.....                         | 65   |
| 4.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา .....        | 72   |
| 5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....                                         | 75   |
| 5.1 สรุป อภิปรายผลการดำเนินงาน.....                                         | 75   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....                                                         | 77   |
| บรรณานุกรม .....                                                            | 78   |
| <br>ภาคผนวก                                                                 |      |
| ก. ค่าตัวประกอบการปันส่วน.....                                              | 83   |
| ข. ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกแต่ละกระบวนการ .....                | 86   |
| ค. การคำนวณด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0.....                                     | 91   |
| ง. การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา .....                        | 111  |
| จ. แหล่งข้อมูลอ้างอิงจากโปรแกรม SimaPro 7.3.....                            | 120  |
| ฉ. การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา .....              | 124  |
| ช. การวิจัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา ..... | 135  |
| ประวัติการศึกษา.....                                                        | 137  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                                                    | หน้า |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1      | ข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดในประเทศและต่างประเทศ .....                                                                                                                                         | 4    |
| 2.1      | ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient, $K_c$ ) ของพืชอายุยาว .....                                                                                                                      | 12   |
| 2.2      | ปริมาณ (ลูกบาศก์เมตร) และมูลค่า (ล้านบาท) ของการส่งออกไม้ยางพารา<br>แปรรูปของไทยปี พ.ศ. 2549-2552 .....                                                                                            | 14   |
| 2.3      | เปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตกับการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ .....                                                                                                                              | 32   |
| 2.4      | การไหลของน้ำระดับปฐมภูมิ ค่าจำเพาะ และตัวอย่างกรณีกระบวนการเพาะ<br>ปลูกมันฝรั่ง .....                                                                                                              | 37   |
| 2.5      | สรุปคุณลักษณะของวิธีการประเมินการใช้น้ำตัวอย่าง .....                                                                                                                                              | 39   |
| 4.1      | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดที่ได้กับงานวิจัยต่างประเทศ .....                                                                                                                                         | 62   |
| 4.2      | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลผลิตจากการเพาะปลูกด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณ จังหวัด<br>นครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี ปีพ.ศ.2528-2553 แบบที่ 1 All Water<br>in Process System .....                            | 63   |
| 4.3      | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลผลิตจากการเพาะปลูกด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณ จังหวัด<br>นครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี ปีพ.ศ.2528-2553 แบบที่ 2 Water<br>depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 .....    | 63   |
| 4.4      | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลผลิตจากการเพาะปลูกด้วยวิธีปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์<br>จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี ปีพ.ศ.2528-2553<br>แบบที่ 1 All Water in Process System .....                        | 64   |
| 4.5      | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราด้วยวิธีปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์<br>จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี ปีพ.ศ.2528-2553<br>แบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 ..... | 64   |
| 4.6      | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณจากบริษัท<br>แห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช แบบที่ 1 All Water in Process System                                                     | 65   |



## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า                                                                                                                                                                                    |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.7      | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณจากบริษัท<br>แห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช แบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย<br>ReCiPe Midpoint (H) V1.06 ..... 67      |
| 4.8      | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราด้วยวิธีปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์จาก<br>บริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช แบบที่ 1 All Water in Process<br>System..... 68                          |
| 4.9      | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราด้วยวิธีปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์จาก<br>บริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช แบบที่ 2 Water depletion (WD)<br>ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 ..... 69 |
| 4.10     | ปริมาณการใช้น้ำจากโปรแกรม CROPWAT 8.0 เมื่อปัจจัยต่าง ๆ เปลี่ยนแปลง 74                                                                                                                  |



## สารบัญภาพประกอบ

| ภาพที่ |                                                                                                                              | หน้า |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1    | แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่ในการปลูกยางพาราในประเทศไทย .....                                                             | 10   |
| 2.2    | ขั้นตอนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แบบสมบูรณ์ .....                                                                           | 18   |
| 2.3    | กระบวนการการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์พื้นฐานสำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทุกชนิด .....                                              | 20   |
| 2.4    | การกระจายตัวของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์รวมของพืชทั่วโลกช่วงปี 2539-2548.....                                                        | 23   |
| 2.5    | ขั้นตอนการดำเนินงานของ LCA จากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 .....                                                                  | 26   |
| 2.6    | หลักการเก็บข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ .....                                                                    | 27   |
| 2.7    | การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ .....                                                                                         | 29   |
| 2.8    | ผังการไหลของน้ำในกระบวนการผลิต .....                                                                                         | 36   |
| 3.1    | การดำเนินการวิจัยวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป .....                                                            | 41   |
| 3.2    | กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปอย่างง่าย .....                                                                        | 42   |
| 3.3    | ขอบเขตการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา .....                                                                    | 43   |
| 3.4    | ขอบเขตกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา .....                                                                               | 44   |
| 3.5    | ขอบเขตกระบวนการเพาะปลูกไม้ยางพารา.....                                                                                       | 45   |
| 3.6    | ขอบเขตกระบวนการตัดโค่นต้นยาง .....                                                                                           | 46   |
| 3.7    | ขอบเขตกระบวนการทำไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง.....                                                                                 | 48   |
| 3.8    | ขอบเขตกระบวนการทำไม้ประสานและไม้อัดประสาน .....                                                                              | 49   |
| 3.9    | ขอบเขตกระบวนการทำไม้พาเลท.....                                                                                               | 50   |
| 3.10   | การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์วิธีการรวมสายโซ่.....                                                                   | 56   |
| 3.11   | การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์วิธีการแบบขั้นตอนสะสม .....                                                             | 57   |
| 4.1    | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี<br>ปีพ.ศ.2528-2553 (แบบ All Water in Process System) .....   | 61   |
| 4.2    | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี.....<br>ปีพ.ศ.2528-2553 (แบบ ReCiPe Midpoint (H) V1.06)..... | 61   |

## สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                                                                                                                                                                                                               | หน้า |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.3    | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ยางพาราด้วยการปันส่วนเชิงปริมาณจากบริษัท<br>แห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราชโดยวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อม<br>แบบที่ 1 All Water in Process System กับแบบที่ 2 Water depletion (WD)<br>ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 .....      | 71   |
| 4.4    | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ยางพาราด้วยการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์จาก<br>บริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราชโดยวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำทาง<br>อ้อมแบบที่ 1 All Water in Process System กับแบบที่ 2 Water depletion<br>(WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 ..... | 72   |
| 4.5    | การใช้น้ำจากการเพาะปลูกยางพาราจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันท<br>บุรี เมื่อค่า $K_c$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 .....                                                                                                                                              | 73   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันตลาดโลกให้ความสนใจต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและสุขภาพของโลกมากขึ้น อีกทั้งความต้องการสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงก่อให้เกิดมาตรฐานสินค้าต่าง ๆ ตามข้อตกลงและการดำเนินนโยบายการค้าเสรี เช่น มาตรฐานการเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practices: GAP) และนโยบายสินค้าครบวงจร (Integrated Product Policy: IPP) โดยพิจารณาตามแนวคิดการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

เครื่องมือที่ระบุในมาตรฐานนานาชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมคือ ISO 14000 เน้นด้านการป้องกันและลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด ประเทศที่พัฒนาแล้วหลายประเทศได้ใช้หลักการนี้ในการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและการค้าของประเทศ จึงอาจกล่าวได้ว่ามีการใช้ประเด็นสิ่งแวดล้อมนี้เป็นหนึ่งในมาตรการกีดกันทางการค้า ซึ่งในประเทศไทยได้ศึกษา วิจัยและประยุกต์ใช้ตามมาตรฐานดังกล่าว เช่น คาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ (ร่าง ISO 14067) และ คาร์บอนฟุตพริ้นต์ขององค์กร (ร่าง ISO 14069) โดยมีร่างมาตรฐานใหม่ที่กำลังจะเข้ามาในอนาคตอีกคือ วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ร่าง ISO 14046) (ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, 2554)

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Water Footprint; WF) เกิดจากสถานการณ์การขาดแคลนแหล่งน้ำจืดหรือความเครียดน้ำ (Water Stress) ในระดับโลก เพื่อช่วยในการจัดสรรทรัพยากรน้ำ แนวคิดการประเมินร่องรอยการใช้น้ำนี้ได้ถูกพัฒนาจนได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เป็นดัชนีชี้วัดปริมาณน้ำจืดที่มองครอบคลุมทั้งในส่วนของใช้น้ำโดยตรงและการใช้น้ำทางอ้อมของผู้บริโภคและหรือผู้ผลิต โดยคำนวณปริมาณการใช้น้ำตลอดทั้งห่วงโซ่การผลิตสินค้าหรือบริการ ทั้งปริมาณน้ำที่ใช้ไปและปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมา พร้อมทั้งแสดงให้เห็นพื้นที่และเวลาที่ดึงน้ำมาใช้ ทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นต์เป็นดัชนีชี้วัดที่ชัดเจนที่จะช่วยประเมินผลกระทบจากร่องรอยการใช้น้ำและสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการบริหารจัดการน้ำ โดยชนิดของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

1.1.1 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว (Green Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำฝนและน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกดึงไปใช้

1.1.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีน้ำเงิน (Blue Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติรวมทั้งแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน อันได้แก่ น้ำบาดาล น้ำจากอ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ น้ำจากชลประทานที่ถูกดึงไปใช้

1.1.3 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเทา (Gray Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น มีการกำหนดเป็นปริมาณน้ำจืดที่จำเป็นต้องใช้ในการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับมาตรฐานคุณภาพน้ำโดยรอบ (Hoekstra และคณะ, 2011)

ในขณะที่แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่เกิดจากผลิตภัณฑ์จาก cradle to grave (Finnveden และคณะ, 2009) โดยส่วนใหญ่การศึกษาตามแนวทาง LCA ได้คำนึงถึงการใช้ให้น้ำน้อยมากเนื่องจากได้รับการยกเว้น (Mila i Canals และคณะ, 2009) UNEP / SETAC และ ISO จึงได้ริเริ่มการพัฒนามาตรฐานหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ซึ่งมีจุดเด่นในการประเมินการใช้น้ำของสินค้า โดยเฉพาะความชัดเจนในการประเมินการใช้น้ำที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกษตร อีกทั้งวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์เป็นตัวชี้วัดในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยนำมาเป็นเครื่องมือที่ใช้แนวคิด LCA ซึ่งจะให้เห็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการใช้น้ำมากขึ้น

นอกจากนี้ในบริบทระดับโลกวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ถือเป็นตัวบ่งชี้ความขาดแคลนแหล่งน้ำจืดบนโลกที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางอย่างว่ามีเท่าไร ส่วนในระดับท้องถิ่นการหาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่ใดที่หนึ่งในช่วงเวลาหนึ่งอย่างชัดเจนสามารถนำไปวางซ้อนทับกับแผนที่ความตึงเครียดของแหล่งน้ำเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่สถานที่นั้น ในเวลาช่วงหนึ่งบนแผนที่ได้อย่างชัดเจน ผลกระทบเหล่านี้ควรนำมารวมไว้ด้วยกันเพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพรวมผลกระทบของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ให้ชัดเจน (Hoekstra และคณะ, 2011) จึงมีการเริ่มผลักดันและพัฒนามาตรฐานที่ครอบคลุมการทำบัญชีรายการใช้น้ำทั้งในส่วนบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของสินค้าและการประเมินผลกระทบ เพื่อเข้าสู่มาตรฐานกลุ่ม (ISO 14040 series) ในอนาคต

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*. Mull.) เป็นไม้ยืนต้นที่มีความสำคัญยิ่งของประเทศ เนื่องจากประเทศไทยมีการปลูกยางพาราจนกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรสวนยางและการนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและไม้ยางพาราซึ่งมีมูลค่าการส่งออกมหาศาลถึง 6.78 พันล้านบาทในปี 2553 ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีพื้นที่ปลูกยางรวมทั้งสิ้น 18.76 ล้านไร่ โดยพื้นที่

ปลูกยางพาราส่วนมากอยู่ทางภาคใต้ของประเทศ (ร้อยละ 76) รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกรวมภาคกลาง และภาคเหนือ ตามลำดับ (สถาบันวิจัยยาง, 2555)

สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง (สกย.) ได้กำหนดนโยบายและเงินกองทุนสงเคราะห์ สำหรับสวนยางที่มีอายุ 25 ปี ครอบคลุมตัดโค่นเพื่อปลูกทดแทนได้ในปี 2551-2554 เฉลี่ยปีละ 295,000 ไร่ การตัดโค่นต้นยางพาราในพื้นที่ 1 ไร่ จะได้ไม้ยางพาราคิดเป็นปริมาตรไม้ประมาณ 40 ลูกบาศก์เมตร ภาคอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์นำไม้ยางพาราไปทำผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เครื่องเรือน ของเล่นเด็ก แผ่นขึ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัดเพิ่มความหนาแน่นปานกลาง (MDF) กรอบรูป พื้นไม้ปาร์เกต์ เครื่องใช้ต่าง ๆ และทำเป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น ดังนั้นนอกจากการส่งออกยางพาราประเภทยางดิบและผลิตภัณฑ์ยาง ไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้ที่สามารถสร้างรายได้แก่เกษตรกรสวนยาง (สถาบันวิจัยยาง, 2555)

ในประเทศไทยมีโรงอบไม้ 55 แห่ง มีกำลังการผลิตร้อยละ 50 และมีโรงงานแปรรูปไม้ผลิตไม้ยางพาราแปรรูปประมาณ 540 แห่ง สามารถผลิตไม้ยางพาราแปรรูปได้ประมาณ 3 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี จำหน่ายให้กลุ่มผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์และเครื่องเรือนร้อยละ 40 ที่เหลือร้อยละ 60 ส่งออก อุตสาหกรรมไม้ยางพาราจึงเกี่ยวข้องกับคนหลายแสนคน ประกอบด้วย 3 กลุ่ม คือกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกยางพารา กลุ่มธุรกิจไม้ยางพาราแปรรูป และกลุ่มเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมเครื่องเรือนและผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพารา ตลาดในการส่งไม้ยางพาราของไทย ได้แก่ จีน มาเลเซีย ไต้หวัน และฮ่องกง (สถาบันวิจัยยาง, 2553)

Mekonnen, M.M. และ Hoekstra A.Y. (2010) ได้ศึกษาขอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพืชและผลิตภัณฑ์จากพืชกว่า 126 ชนิดจากข้อมูลผลผลิตและสัดส่วนผลผลิตจาก FAO (2003) ได้แก่ ข้าวสาลี 1827 ลบ.ม.ต่อตัน, ข้าว 1673 ลบ.ม.ต่อตัน, อ้อย 210 ลบ.ม.ต่อตัน, ปากน้ำตาลจากอ้อย 527 ลบ.ม.ต่อตัน, ปาล์มน้ำมัน 1098 ลบ.ม.ต่อตัน, น้ำมันปาล์ม 4971 ลบ.ม.ต่อตัน, ข้าวบาเลย์ 1423 ลบ.ม.ต่อตัน ยางธรรมชาติ 13748 ลบ.ม.ต่อตัน เป็นต้น ซึ่งการประเมินขอเตอร์ฟุตพริ้นต์ยางพาราที่เคยมีการศึกษามาก็คือเป็นขอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดเพียงอย่างเดียว พบว่ามีค่าเฉลี่ยขอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดโดยรวมเฉลี่ยของประเทศไทย (7,952 ลบ.ม.ต่อตัน) มีค่าน้อยกว่าขอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดโดยรวมเฉลี่ยของโลก (13,748 ลบ.ม.ต่อตัน) ซึ่งขอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดในต่างประเทศได้แก่ จีน มาเลเซีย บรูไน กัมพูชา มีค่าเท่ากับ 7,342, 21,182, 280,608 และ 11,547 ลบ.ม.ต่อตัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 1.1



ตารางที่ 1.1

ข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดในประเทศและต่างประเทศ

| พื้นที่        | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสด (ลบ.ม.ต่อตันน้ำยางสด) |           |       |         |
|----------------|-------------------------------------------------|-----------|-------|---------|
|                | สีเขียว                                         | สีน้ำเงิน | สีเทา | รวม     |
| โลก            | 12,964                                          | 361       | 422   | 13,748  |
| ประเทศไทย      | 6,909                                           | 715       | 328   | 7,952   |
| ประเทศจีน      | 5,971                                           | 359       | 1,016 | 7,346   |
| ประเทศมาเลเซีย | 20,758                                          | 2         | 422   | 21,182  |
| ประเทศบรูไน    | 279,397                                         | 26        | 1,185 | 280,608 |
| ประเทศกัมพูชา  | 11,521                                          | 0         | 26    | 11,547  |

ที่มา: Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y., (2010)

เนื่องจากยังไม่เคยมีการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ไม้ยางพาราและผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปมาก่อน อีกทั้งความสำคัญในการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่กำลังจะเกิดขึ้นเป็นหนึ่งในมาตรฐานทางการค้าด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและความสำคัญของยางพาราในภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา และการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา เปรียบเทียบวิธีการพิจารณาผลผลิตจากการเพาะปลูกยางพารา 2 กรณี กรณีผลผลิตคือน้ำยางสดเพียงอย่างเดียวและกรณีผลผลิตคือน้ำยางสดและไม้ยางพาราสดโดยการปันส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์ จากข้อมูลการเพาะปลูกยางพาราจากจันทบุรีและนครศรีธรรมราชช่วงปี 2528-2553



1.2.2 เพื่อศึกษาอวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป คือ ไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง ไม้ประสาน ไม้อัดประสาน ไม้พาเลท

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป โดยประยุกต์ใช้หลักการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Water Footprint: WF) และหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) พิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์โดยเริ่มตั้งแต่การหาวัตถุดิบจนถึงกระบวนการในโรงงาน (Cradle to Gate) หรือประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เริ่มตั้งแต่การเพาะปลูกยางพาราจนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป คือ ไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง ไม้ประสาน ไม้อัดประสาน ไม้พาเลท คำนวณออกมาในรูปแบบปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เป็นลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตันผลิตภัณฑ์ โดย

1.3.1 คำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา โดยพิจารณาข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาจากนครศรีธรรมราชและจันทบุรี ตั้งแต่การเตรียมการเพาะปลูกยางพาราจนถึงยางพาราอายุ 25 ปี (ปี 2528-2553) โดยใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวและสีน้ำเงินทางตรงโดยคำนึงการเจริญเติบโตของพืชแบบไม่จำกัด คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีน้ำเงินทางอ้อมจากข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory; LCI) และโปรแกรม SimaPro 7.3 และคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเทาสัมพันธ์กับปริมาณปุ๋ยในโตรเจนที่ใช้ โดยพิจารณาผลผลิตจากการเพาะปลูกเป็น 2 กรณี คือ 1.ผลผลิตคือน้ำยางสดเพียงอย่างเดียว 2. ผลผลิตคือน้ำยางสดร่วมกับไม้ยางสดด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์

1.3.2 คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป (ขั้นตอนตัดโค่นและการขนส่ง, ขั้นตอนแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป) โดยพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์จากข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราชและโปรแกรม SimaPro 7.3 ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปที่ศึกษาคือ ไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง ไม้ประสาน ไม้อัดประสาน ไม้พาเลท คำนวณออกมาในรูปแบบปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เป็นลูกบาศก์เมตรต่อตันผลิตภัณฑ์ (ลบ.ม./ตัน)

อีกทั้งหาปริมาณการใช้น้ำจากผลิตภัณฑ์สารขาเข้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราจากโปรแกรม SimaPro 7.3 ด้วยการวิเคราะห์หาค่าปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สารขาเข้า 2 แบบ คือ 1. All Water in Process system จาก Ecoinvent Version:

2.2 และ 2. Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H Method (Goedkoop และคณะ, 2009)

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบความแตกต่างของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารากรณีพิจารณาไม้ยางพาราสดเป็นผลผลิตร่วมกับน้ำยางสดด้วยวิธีการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์และเชิงปริมาณซึ่งยังไม่มีการศึกษามาก่อน เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของไม้ยางพาราและผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปในประเทศไทยต่อไป

1.4.2 ทราบวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป เปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปแต่ละชนิด ด้วยวิธีการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์และเชิงปริมาณ วิเคราะห์ที่มาของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากการผลิตผลิตภัณฑ์

1.4.3 เปรียบเทียบวิธีการคำนวณและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสด ตามวิธีการคำนวณในกรณีที่ 1 ผลผลิตคือน้ำยางสดเพียงอย่างเดียว และกรณีที่ 2 ผลผลิตคือน้ำยางสดร่วมกับไม้ยางพารา เพื่อใช้เป็นแนวทางการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดซึ่งเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย

1.4.4 เปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์เมื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำจากผลิตภัณฑ์สารขาเข้าด้วยวิธีแบบที่ 1 All Water in Process System และ แบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06

## บทที่ 2

### ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราในประเทศไทยเป็นงานวิจัยที่ยังไม่มีการศึกษามาก่อนและการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เป็นเรื่องใหม่ที่กำลังจะเกิดขึ้นในมาตรฐานนานาชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมในอนาคต คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ร่าง ISO 14046) ดังนั้นเพื่อให้เกิดความถูกต้องในการศึกษาวิจัยจึงมีการศึกษารวบรวมข้อมูล หลักการ งานเขียนและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องๆ ดังต่อไปนี้

#### 2.1 ยางพารา

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*. Mull.) เป็นไม้ยืนต้นที่มีความสำคัญยิ่งของประเทศ เนื่องจากประเทศไทยมีการปลูกยางพาราจนกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรสวนยางและการนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและไม้ยางพาราซึ่งมีมูลค่าการส่งออกมหาศาลถึง 6.78 พันล้านบาทในปี 2553 ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีพื้นที่ปลูกยางรวมทั้งสิ้น 18.76 ล้านไร่ โดยพื้นที่ปลูกยางพาราส่วนใหญ่อยู่ทางภาคใต้ของประเทศ (ร้อยละ 76) รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ตามลำดับ (สถาบันวิจัยยาง, 2555) ไทยพึ่งพาดตลาดส่งออกเป็นหลัก การส่งออกส่วนใหญ่อยู่ในรูปวัตถุดิบแปรรูปขั้นต้น (สมาคมยางพาราไทย, 2553)

##### 2.1.1 การเพาะปลูกยางพารา

ยางพาราเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตได้สูงนั้นเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายประการด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของต้นยาง สถาบันวิจัยยาง, (2555) ได้แนะนำการปลูกยางพาราและการพิจารณาการปลูกสร้างสวนยางต้องคำนึงถึงสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางที่สำคัญ คือ

###### 2.1.1.1 พื้นที่เหมาะสม

1. สภาพพื้นที่ พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยางควรเป็นพื้นที่ราบมีความลาดเอียงต่ำกว่า 35 องศา ถ้าความลาดเอียงเกิน 15 องศาต้องทำขั้นบันไดและ

ปลูกพืชคลุมดินเพื่อป้องกันการชะล้างดิน ไม่เป็นแหล่งน้ำท่วมขัง และพื้นที่ที่มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่ควรสูงเกิน 600 เมตร

2. ลักษณะดิน เป็นดินร่วนเหนียวถึงดินร่วนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ หน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตรขึ้นไป ไม่มีชั้นของหินแข็งหรือดินดานขัดขวางการเจริญเติบโตของรากมีการระบายน้ำดีและถ่ายเทอากาศได้ดี มีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่เหมาะสมคือมีค่าประมาณ 4.5-5.5 และไม่เป็นดินเค็ม

3. สภาพภูมิอากาศ ควรมีปริมาณน้ำฝนไม่ต่ำกว่า 1250 มิลลิเมตรต่อปีและมีจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยประมาณ 120-150 วัน อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 24-27 องศาเซลเซียสในฤดูหนาว ถ้าอากาศมีอุณหภูมิต่ำมากยางก็สามารถทนได้แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสหากอุณหภูมิต่ำกว่านี้ต้นยางจะแตกแต่โดยสภาพปกติต้นยางจะชอบบริเวณที่มีความชื้นสูงทั้งในดินและในอากาศ

4. แหล่งน้ำ การเติบโตของยางพาราโดยส่วนใหญ่อาศัยน้ำฝน อาจมีการให้น้ำในช่วงแล้งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในปีแรกหลังปลูก

#### 2.1.1.2 พันธุ์ยาง

กรมวิชาการเกษตรได้แบ่งพันธุ์ยางแนะนำให้ปลูกออกเป็น 3 กลุ่มตามวัตถุประสงค์ของการปลูกดังนี้

กลุ่มที่ 1 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางสูงเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูงเป็นหลัก การเลือกปลูกพันธุ์ยางในกลุ่มนี้มุ่งเน้นผลผลิตที่ปริมาณน้ำยาง ได้แก่ พันธุ์ สถาบันวิจัยยาง 408, สถาบันวิจัยยาง 251, สถาบันวิจัยยาง 226, บีพีเอ็ม 24, อาร์อาร์ไอเอ็ม 600

กลุ่มที่ 2 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้สูงเป็นพันธุ์ที่ให้ทั้งผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ โดยให้ผลผลิตน้ำยางสูงและมีการเจริญเติบโตดีลักษณะลำต้นตรงให้ปริมาณเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูงได้แก่ พันธุ์พีบี 235, อาร์อาร์ไอไอ 118, พีบี 255 และพีบี 260

กลุ่มที่ 3 พันธุ์ยางผลผลิตเนื้อไม้สูง เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเนื้อไม้สูงเป็นหลักมีการเจริญเติบโตดีมาก ลักษณะลำต้นตรงให้ปริมาณเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูงมาก ผลผลิตน้ำยางจะอยู่ในระดับต่ำกว่าพันธุ์ยางในกลุ่มที่ 1 และ 2 เหมาะสำหรับเป็นพันธุ์ที่จะปลูกเป็นสวนป่าเพื่อการผลิตเนื้อไม้ ได้แก่พันธุ์จะเชิงเทรา 50, แอฟรอส 2037, และบีพีเอ็ม 1

#### 2.1.1.3 การปลูกยางพารา

##### 1. การเตรียมพื้นที่

- ทำการไถพรวนและไถพรวนอย่างน้อย 2 ครั้ง พร้อมทั้งเก็บเศษไม้  
ตอไม้ และเศษวัชพืชให้หมด เพื่อปรับสภาพดิน หากสวนยางอยู่บนพื้นที่ลาดตั้งแต่ 15 องศา ขึ้น  
ไป ต้องวางแผนปลูกตามแนวระดับ และต้องทำขั้นบันไดกว้าง 2 เมตร ด้วย

- วางแนวปลูกตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก

- ระยะปลูกควรเป็น 2.5 x 7 เมตร หรือ 3 x 7 เมตร หรือ 3 x 6

เมตร

- ขนาดหลุมควรมีขนาดประมาณ กว้าง x ยาว x สูง 50x50x50  
ซม. โดยแยกดินชั้นบนและดินชั้นล่างไว้คนละด้านของหลุม ตากดินไว้ประมาณ 7-10 วัน ใส่ปุ๋ย  
หินฟอสเฟตหลุมละ 170 กรัม โดยใส่เป็นจุดแล้วคลุกเคล้าปุ๋ยอินทรีย์ 5 กก.ต่อต้น

## 2. วิธีการปลูก

- ปลูกในช่วงต้นฤดูฝน ใช้ต้นยางชำถุงขนาด 1-2 จัตุร ควรเลือก  
ต้นที่สมบูรณ์แข็งแรง ปราศจากโรคและแมลงศัตรู

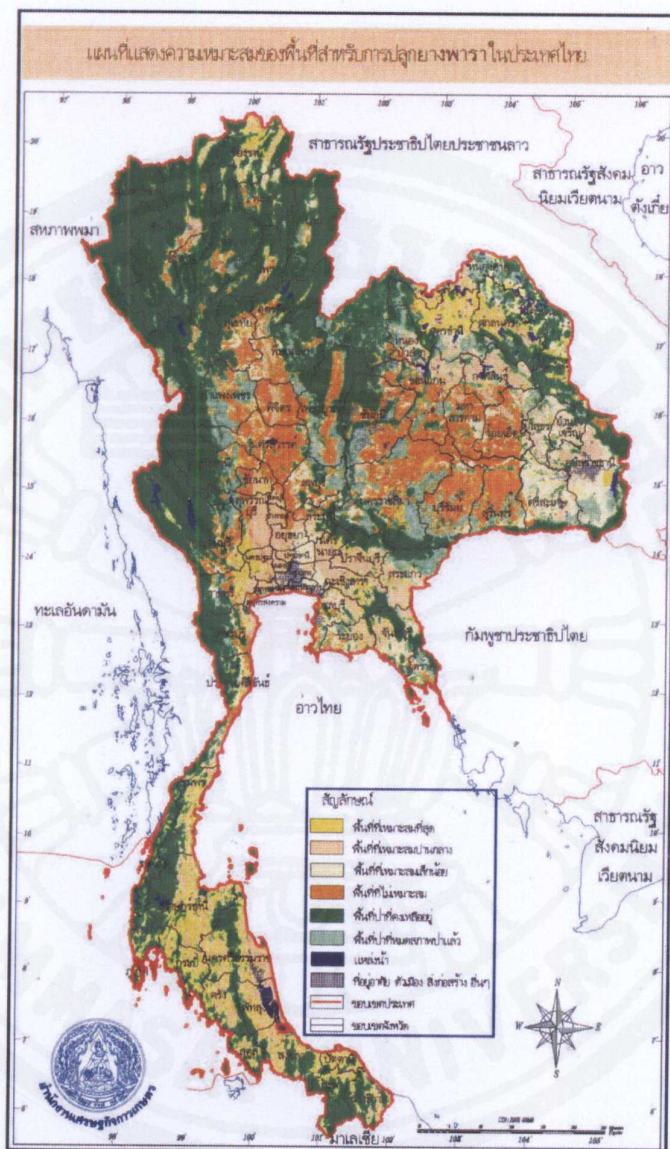
- ให้อยู่ระหว่างรากกับตาอยู่ระดับปากหลุม

- ใช้มีดเฉือนก้นถุงออกประมาณ 2-3 ซม. แล้วกรีดด้านข้างของถุง  
ให้ขาดออกจากกันแต่ยังไม่ดึงถุงออก นำไปวางในหลุมกลบดินลงหลุมจนเกือบเต็มหลุม แล้วดึง  
ถุงพลาสติกออกกระวังอย่าให้ดินในถุงพลาสติกแตก กลบดินจนเสมopakหลุมและอัดดินให้  
แน่น โดยให้ดินบริเวณโคนต้นยางสูงกว่าเล็กน้อย เพื่อมิให้น้ำขังในหลุมปลูก หากต้นยางตายหลัง  
ปลูก ควรปลูกซ่อมก่อนหมดฤดูฝนอย่างน้อย 2 เดือน และไม่ควรปลูกซ่อม เมื่อต้นยางอายุ 2 ปี  
ขึ้นไป

- ก่อนเข้าฤดูแล้ง ควรใช้เศษพืชคลุมบริเวณรอบโคนต้นยาง ห่าง  
จากต้นยางประมาณ 5-10 ซม.

บริเวณที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพาราในประเทศไทยโดย พื้นที่ที่  
มีสีเหลืองแสดงถึงพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการปลูกที่สุด และพื้นที่สีส้มคือพื้นที่ที่ไม่  
เหมาะสมต่อการปลูกยาง ภาพที่ 2.1





ภาพที่ 2.1

แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่ในการปลูกยางพาราในประเทศไทย

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)



### 2.1.2 การใช้น้ำของยางพารา

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำของยางพาราได้แก่อายุและพืชคลุมดินมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำของพืชจะเห็นได้จากการศึกษาของพัชร ประเสริฐกุล. (2549) ซึ่งได้เปรียบเทียบค่าความชื้นของดินระหว่างยางพาราอายุ 10 ปีและ 2 ปีพบว่าตลอดการศึกษาในแปลงปลูกยางพาราอายุ 10 ปีมีค่าความชื้นของดินสูงกว่ายางพาราอายุ 2 ปีเสมอซึ่งสอดคล้องกับการใช้น้ำของแปลงปลูกยางพาราอายุ 2 ปี มีปริมาณการคายระเหยน้ำสูงกว่าแปลงปลูกยางพาราอายุ 10 ปี เพราะแปลงปลูกยางพาราอายุ 10 ปี มีต้นยางปกคลุมเต็มพื้นที่ซึ่งช่วยปกป้องไม่ให้ผิวดินสัมผัสกับความร้อนในบรรยากาศโดยตรง

กฤษดา สังข์สิงห์ และพนัส แพนนะ (2548) ได้ศึกษาการให้น้ำต่อศักยภาพการผลิตยางพารากับยางพันธุ์ RRIM 600 อายุ 12 ปี พบว่าการผลิตยางพาราเมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นยางที่ให้น้ำเพิ่มเติมเมื่อมีการขาดน้ำกับต้นที่อาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียวมีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน โดยปัจจัยที่ทำให้ต้นยางมีอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกันคือ Subplot โดยต้นที่ไม่กรีดหรือใช้ระบบเจาะทำให้ต้นยางมีการเจริญเติบโตต่อเดือนมากที่สุด ส่วนต้นยางที่มีการใช้ระบบกรีด S/2 d/2 ร่วมกับการใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง ทำให้ต้นยางมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำของยางพารา คือช่วงเวลาที่แสงแดดจากการศึกษาการใช้น้ำของต้นยางด้วย Sapflow meter ในต้นที่มีการให้น้ำเพิ่มเติมกับต้นที่อาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียวของต้นที่มีขนาดเส้นรอบวง 75 ซม. วันที่มีแสงแดดจัด พบว่าต้นยางเริ่มมีการคายน้ำในช่วงเช้าซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มมีแสงแดด และอัตราจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีการคายน้ำสูงสุดในตอนเที่ยง หลังจากนั้นอัตราการคายน้ำก็ค่อย ๆ ลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ในช่วงเวลาหลังจาก 18 นาฬิกา และเมื่อคำนวณปริมาณการใช้น้ำในรอบวันพบว่ามี การใช้น้ำ 102-110 ลิตรต่อวันต่อต้น (กฤษดา สังข์สิงห์ และพนัส แพนนะ, 2548)

เนื่องจากในการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม CROPWAT ในการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำซึ่งที่มีปัจจัยสำคัญในการหาการใช้น้ำของพืชจากสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ( $K_c$ ) การรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับค่า  $K_c$  ของยางพาราในประเทศไทยและต่างประเทศจึงมีความสำคัญ ข้อมูลที่รวบรวมได้มีดังต่อไปนี้

งานวิจัยในประเทศไทย ได้แก่ การศึกษาปริมาณน้ำที่พืชต้องการตามทฤษฎีของยางพาราในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยโครงการระบบเครือข่ายน้ำในพื้นที่ภูพาน 19

พื้นที่ (กรมทรัพยากรน้ำ, 2554) เพื่อประเมินปริมาณความต้องการใช้น้ำในพื้นที่ โดยพิจารณาปริมาณน้ำที่พืชต้องการตามทฤษฎีจากสมการ

$$ET = K_c \cdot ET_p$$

โดยที่  $ET$  = ปริมาณความต้องการน้ำของพืชตามทฤษฎี

$K_c$  = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

$ET_p$  = ศักยภาพการคายระเหยน้ำของพืช

โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ( $K_c$ ) คำนวณโดยสูตรของ Penman Monteith ส่วนค่า Potential Evapotranspiration ( $ET_p$ ) คำนวณจากแบบจำลอง CROPWAT การประเมินความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานของพืชเศรษฐกิจหลักของโครงการ ได้แก่ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าวฟ่าง ถั่วเหลือง อ้อย มันสำปะหลัง รวมทั้งยางพารา พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพาราในรอบปีมีความแตกต่างกันในแต่ละเดือนเป็นดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1  
ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient,  $K_c$ ) ของพืชอายุยาว

| เดือนที่ | อ้อย | มันสำปะหลัง | ยางพารา |
|----------|------|-------------|---------|
| 1        | 0.65 | 0.3         | 0.65    |
| 2        | 0.86 | 0.3         | 0.86    |
| 3        | 1.13 | 0.3         | 1.13    |
| 4        | 1.35 | 0.8         | 1.35    |
| 5        | 1.56 | 1.1         | 1.56    |
| 6        | 1.29 | 1.1         | 1.29    |
| 7        | 1.2  | 1.1         | 1.2     |
| 8        | 0.93 | 0.5         | 0.93    |
| 9        | 0.63 | 0.5         | 0.63    |
| 10       | 0.52 | 0.5         | 0.52    |
| 11       |      | 0.5         | 0.52    |
| 12       |      | 0.5         | 0.52    |

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2554)

สมเจตน์ ประทุมมินทร์ (2543) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของสมมูลน้ำในดินกับ ผลผลิตยางพาราจากระบบสารสนเทศยางพารา: ฐานข้อมูลและการวิเคราะห์เพื่อพัฒนางานวิจัย สถาบันวิจัยยางจะเจียงเทร่า มีผลการศึกษาการใช้น้ำของไม้ยางพาราดังนี้

1. ปริมาณการเปลี่ยนแปลงน้ำสะสมในดินในพื้นที่ตัวอย่างพบว่าดินทรายมี อัตราการระเหยน้ำสูงกว่าดินเหนียวในแปลงยางอ่อนที่ปลูกใหม่และมีหญ้าปกคลุมมีอัตราการ ระเหยน้ำสูงสุดในขณะที่แปลงยางแก่ที่มีพุ่มใบชนกันและมีการผลัดใบเป็นประจำทุกมีอัตราการ ระเหยน้ำต่ำสุด

2. ระดับความสามารถในการดูดน้ำของรากยางพาราพบว่า รากของยางพารา มีการดูดน้ำที่รุนแรงอยู่ 2 ระดับคือที่ระดับ 20-30 ซม. ซึ่งเป็นระดับรากหาอาหารและที่ระดับ 60-90 ซม. เป็นระดับของรากแขนงและรากฝอยเป็นที่น่าสังเกตว่าผลงานวิจัยนี้มีความสัมพันธ์กับดิน ที่มีหน้าดินตื้นเช่นที่ศูนย์วิจัยยางจะเจียงเทร่าเมื่อรากไม่สามารถดูดน้ำได้ในระดับ 60-90 ซม. เนื่องจากมีแผ่นศิลาแลงปิดกั้นต้นยางแสดงอาการตายยอด (Die back)

3. อัตราการใช้น้ำของยางพาราในแปลงยางอ่อนเฉลี่ย 4.5 มม.ต่อวันและใน แปลงยางแก่เฉลี่ย 3.4 มม.ต่อวัน

4. ดัชนีความต้องการน้ำของยางพารา (Crop coefficient) จากการศึกษา พบว่าค่าดัชนีดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและมีความสัมพันธ์กับสภาพพื้นที่และการ ผลัดใบของยางพาราซึ่งการพบแนวทางวิเคราะห์ค่าดังกล่าวนี้กล่าวได้ว่ายังไม่เคยมีการเสนอ ผลงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศผลการศึกษาในภาคตะวันออกสรุปได้ดังนี้

- ค่า  $K_c$  ในช่วงฤดูยางผลัดใบมีค่า 0.48
- ค่า  $K_c$  ในช่วงยางผลิบถึงระยะที่ใบยางแก่มีค่า 0.80-0.98
- ค่า  $K_c$  ในช่วงฤดูใบยางแก่เต็มที่และในช่วงฤดูกรีดมีค่า 1.08
- ค่า  $K_c$  ในช่วงปลายฤดูการกรีด (ฤดูหนาว) มีค่า 0.63

งานวิจัยในต่างประเทศเกี่ยวกับการใช้น้ำของยางพารา FAO (1998) มี ฐานข้อมูลพืชทั่วโลก พบว่ายางพารามีค่าเฉลี่ย  $K_c$  (crop coefficient) คือ  $K_{c,initial}$  มีค่า 1.00,  $K_{c,mid}$  มีค่า 1.00  $K_{c,late}$  มีค่า 1.5 โดยข้อมูลน้ำยางสด (Natural Rubber) จากต้นยาง *Hevea brasiliensis* สามารถแปลงเป็นน้ำหนักแห้งได้ที่ร้อยละ 60 ความสูงเฉลี่ย 10 เมตร ความยาวราก 1.0-1.5 เมตร ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ค่า  $K_c$  ของสมเจตน์ ประทุมมินทร์ (2543)

### 2.1.3 ไม้ยางพารา

จากยุทธศาสตร์การพัฒนายางพาราพ.ศ. 2552-2556 กลยุทธ์หลักในการดำเนินการข้อที่ 3 การพัฒนาด้านอุตสาหกรรมแปรรูปยางผลิตภัณฑ์ยางและไม้ยางพารา กล่าวว่า นอกจากการกีดขายนํ้ายางของเกษตรกรแล้วไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้ที่ทำรายได้แก่เกษตรกร เมื่อถึงเวลาตัดโค่นต้นยางเก่าเพื่อปลูกแทน โดยสำหรับสวนยางที่มีอายุ 25 ปี ถือว่าถึงเวลาครบรอบตัดโค่นเพื่อปลูกทดแทนได้ในปี 2551-2554 เฉลี่ยปีละ 295,000 ไร่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายและเงินกองทุนสงเคราะห์ของสำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง (สกย.) (สมาคมยางพาราไทย, 2553)

การตัดโค่นต้นยางพาราในพื้นที่ 1 ไร่ จะได้ไม้ยางพาราคิดเป็นปริมาตรไม้ประมาณ 40 ลูกบาศก์เมตร ภาคอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์นำไม้ยางพาราไปทำผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เครื่องเรือน ของเล่นเด็ก แผ่นขึ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัดแข็งความหนาแน่นปานกลาง (MDF) กรอบรูป พื้นไม้ปาร์เกต์ เครื่องครัว เครื่องใช้ต่าง ๆ และทำเป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น ตลาดในการส่งออกไม้ยางพาราของไทย ได้แก่ จีน มาเลเซีย ไต้หวัน และฮ่องกง โดยมูลค่าการส่งออกไม้ยางพาราแปรรูปของไทยมีมูลค่าไม่น้อย ดังตารางที่ 2.2 (สถาบันวิจัยยาง, 2555)

ตารางที่ 2.2

ปริมาณ (ลูกบาศก์เมตร) และมูลค่า (ล้านบาท) ของการส่งออกไม้ยางพาราแปรรูป  
ของไทยปี พ.ศ. 2549-2552

| ประเทศ     | 2549      |         | 2550      |         | 2551    |         | 2552      |          |
|------------|-----------|---------|-----------|---------|---------|---------|-----------|----------|
|            | ปริมาณ    | มูลค่า  | ปริมาณ    | มูลค่า  | ปริมาณ  | มูลค่า  | ปริมาณ    | มูลค่า   |
| 1.จีน      | 802,347   | 6,973.2 | 1,296,814 | 6,539.4 | 745,925 | 6,955.0 | 1,681,593 | 10,396.4 |
| 2.มาเลเซีย | 352,424   | 2,068.9 | 616,187   | 1,593.8 | 164,518 | 1,296.3 | 328,924   | 1,030.8  |
| 3.เวียดนาม | 50,085    | 513.8   | 58,960    | 566.3   | 97,612  | 351.0   | 15,354    | 142.0    |
| 4.ไต้หวัน  | 6,082     | 64.2    | 5,000     | 53.6    | 5,213   | 52.4    | 4,691     | 45.1     |
| 5.ฮ่องกง   | 12,244    | 121.5   | 12,892    | 86.1    | 4,857   | 44.0    | 1,208     | 11.2     |
| 6.อื่นๆ    | 1,483     | 21.8    | 240,001   | 63.0    | 1,134   | 13.61   | 645       | 10.86    |
| รวม        | 1,224,705 | 9,763.3 | 2,229,854 | 8,902.2 | 8,712.3 | 8,712.3 | 2,032,415 | 11,636.4 |

ที่มา : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2553)

นายสุทัศน์ สุรวาณิช (2553) ได้สำรวจแหล่งไม้ยางพาราเพื่ออุตสาหกรรมแปรรูปไม้ โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 TM Band 2 Band 4 และ Band 5 ปี 2528, 2533, 2539 และ 2548 เพื่อแยกพื้นที่ยางตามอายุ ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยใช้วิธี Multi-tempora; Remote Sensing และ Change Detection Technique สามารถช่วยคำนวณเนื้อที่และจัดทำแผนที่อายุยางที่มีขนาดอายุตามภาคอุตสาหกรรมต้องการได้ จากการศึกษาพบว่ายางที่มีอายุมากกว่า 21 ปี ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีอยู่กระจุกกระจายทั่วไปทั้งจังหวัด สามารถนำข้อมูลนี้ไปวางแผนกำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาภาคอุตสาหกรรมแปรรูปและเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราของ จ.สุราษฎร์ธานีได้ นอกจากนี้ยังพบว่าโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ตั้งอยู่บริเวณอำเภอส่วนเหนือของ จ.สุราษฎร์ธานีจะมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าเนื่องจากโรงงานตั้งอยู่ไกลจากแหล่งวัตถุดิบ

นอกจากนี้การผลิตไม้ยางพาราแปรรูปได้มีการรวบรวมไว้โดย ภัคจิรา ชัยประสิทธิ์กุล และณิชา สุโขดมโชติ (2553) พบว่าหลังจากปลูกไม้ยางพาราและเก็บน้ำยางพาราประมาณ 25 ปี จะถึงเวลาที่ควรตัดโค่นต้นยางเพื่อนำไม้ยางพารามาผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยการแปรรูปในขั้นต้นจะได้ผลิตภัณฑ์หลายอย่าง คือ ไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง ไม้ประสาน ไม้อัดประสาน ไม้พาเลท ปีกไม้ ชี้อยู่ที่ได้มาจากการทำไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง ชี้อยู่ที่ได้มาจากการทำไม้พาเลท ชี้อยู่ที่ได้มาจากการทำไม้ประสาน และชี้อยู่ที่ได้มาจากการทำไม้อัดประสาน ซึ่งนิยามผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราเหล่านี้เป็นดังนี้

- ไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง คือผลิตภัณฑ์ที่เกิดระหว่างที่จะนำไม้ยางพารามาผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ หรือ ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยจะต้องนำท่อนไม้ยางพารามาแปรรูป แล้วนำไปอบน้ำยาและอบแห้ง ให้เป็นไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง

- ไม้ประสาน คือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการนำไม้ยางพารามาเชื่อมต่อกันทั้งด้านกว้าง และ ด้านยาวเพื่อเพิ่มขนาดไม้ให้สามารถนำไปใช้ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ (หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป)

- ไม้อัดประสาน คือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการประสานหน้าไม้ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยให้ขนาดเพียงพอใช้งานโดยการทากาว ที่ขอบสันความหนาของไม้แต่ละท่อนประกบติดกันจนได้หน้ากว้างที่ต้องการ

- ไม้พาเลท คือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง ในปัจจุบันไม้พาเลทมีบทบาทในแง่ของข้อกำหนดสำหรับวัสดุบรรจุภัณฑ์ไม้เพื่อการส่งออก หรือ ISPM 15



(International Standard for Phytosanitary Measures No. 15: Guidelines for Regulating Wood Packing Material in International Trade) หมายถึง มาตรฐานระหว่างประเทศว่าด้วย มาตรฐานการสุขอนามัยพืช ฉบับที่ 15 ซึ่งมาตรฐานฉบับนี้ กำหนดวิธีในการปฏิบัติเพื่อควบคุม กำจัดศัตรูพืชที่อาศัยอยู่ในวัสดุบรรจุภัณฑ์ไม้ที่ใช้ขนส่งไปต่างประเทศ รวมทั้งข้อปฏิบัติเพื่อขอ ใบรับรอง และ/หรือ ข้อประทับตราเครื่องหมายรับรองบนวัสดุบรรจุภัณฑ์ ซึ่งวัสดุบรรจุภัณฑ์ไม้ (Wood Packing Material) วิธีการที่ได้รับการรับรอง

- ปีกไม้ คือส่วนที่ถูกตัดจากท่อนไม้อย่างพาราการก่อนทำการแปรรูปซึ่งในส่วนนี้จะไม่ให้เป็นส่วนประกอบในการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นส่วนที่อยู่บริเวณภายนอกสุดของเปลือกไม้ ไม้บริเวณนี้ไม่สวยงามเพราะส่วนนี้จะเป็นส่วนที่มีแมลงกัดกิน
- ไม้เลื่อยที่ได้มาจากการทำไม้อย่างพาราการแปรรูปบดแห้ง คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนการไสไม้ของการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้อย่างพาราการแปรรูปบดแห้ง
- ไม้เลื่อยที่ได้มาจากการทำไม้พาเลทคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนการไสไม้ของการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้พาเลท
- ไม้เลื่อยที่ได้มาจากการทำไม้ประสานคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนการไสไม้ของการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ประสาน
- ไม้เลื่อยที่ได้มาจากการทำไม้อัดประสานคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนการไสไม้ของการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้อัดประสาน

ซึ่งในการศึกษานี้ทำการศึกษาลักษณะไม้พาราการแปรรูป คือ ไม้พาราการแปรรูปบดแห้ง ไม้ประสาน ไม้อัดประสาน ไม้พาเลท

## 2.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์

### 2.2.1 ความหมายของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์

Hoekstra และคณะ (2011) ได้ให้ความหมายของ "วอเตอร์ฟุตพริ้นต์" ไว้ว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ คือ ดัชนีชี้วัดปริมาณน้ำจืดที่มองครอบคลุมทั้งในส่วนการใช้น้ำโดยตรงและการ ใช้น้ำทางอ้อมของผู้บริโภคและหรือผู้ผลิต โดยคำนวณปริมาณการใช้น้ำตลอดทั้งห่วงโซ่การผลิต

สินค้าหรือบริการทั้งปริมาณน้ำที่ใช้ไปและปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมา พร้อมทั้งแสดงให้เห็นสถานที่และเวลาที่ดึงน้ำมาใช้ ทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นต์เป็นดัชนีชี้วัดที่ชัดเจน

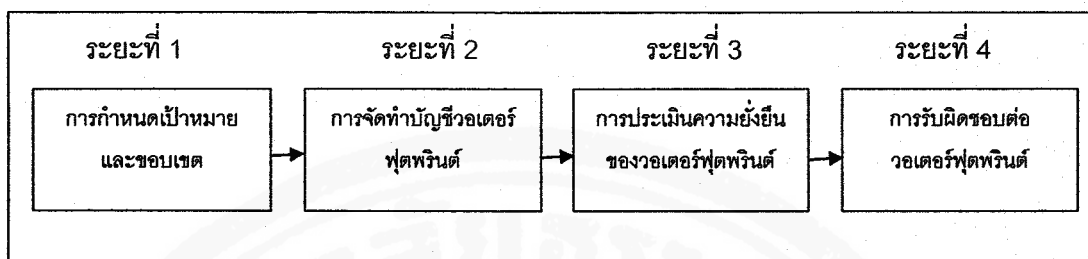
นอกจากนี้วอเตอร์ฟุตพริ้นต์โดยรวมเกิดจากการรวมวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทางตรง (Direct Water Footprint) และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทางอ้อม (Indirect Water Footprint) ของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 3 ชนิด คือวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีน้ำเงิน (blue water footprint) วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว (green water footprint) วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเทา (gray water footprint) โดยแต่ละชนิดมีความหมายดังนี้

1. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว (Green Water Footprint) หมายถึงปริมาณน้ำฝนและน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกดึงไปใช้

2. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีน้ำเงิน (Blue Water Footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติรวมทั้งแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินอันได้แก่ น้ำบาดาล น้ำจากอ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ น้ำจากชลประทานที่ถูกดึงไปใช้

3. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเทา (Gray Water Footprint) หมายถึงปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น มีการกำหนดเป็นปริมาณน้ำจืดที่จำเป็นต้องใช้ในการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับมาตรฐานคุณภาพน้ำโดยรอบ

ขั้นตอนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แบบสมบูรณ์ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Setting goals and scope) การจัดทำบัญชีวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Water footprint accounting) การประเมินความยั่งยืนของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Water footprint sustainability assessment) และสุดท้ายการรับมือกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Water footprint response formulation) ทั้งนี้การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดเพื่อกำหนดวัตถุประสงค์การศึกษาให้ชัดเจนและสามารถดำเนินการขั้นตอนต่อไปได้ตรงตามเป้าหมายการศึกษา (ภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2

### ขั้นตอนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แบบสมบูรณ์

ที่มา: คู่มือการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Hoekstra และคณะ, 2011)

รายละเอียดแต่ละขั้นตอนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ มีดังนี้

#### 2.2.1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Setting goals and scope)

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ได้อย่างหลากหลายและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับงานวิจัยในหลายรูปแบบ โดยการกำหนดแต่ละวัตถุประสงค์และขอบเขตนั้น วิธีการวิเคราะห์และการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์จะต้องสัมพันธ์กัน สิ่งสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการกำหนดเป้าหมาย คือ การระบุวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่สนใจ ได้แก่

1. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ (Water Footprint of a product) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งทางตรงและทางอ้อม

2. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของธุรกิจ (Water Footprint of a business) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการดำเนินงานของบริษัทธุรกิจทั้งทางตรงและทางอ้อม

3. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของประเทศ (Water Footprint of national consumption) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการตามความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศ

4. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผู้บริโภค (Water Footprint of consumer) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ผู้บริโภคบริโภคทั้งทางตรงและทางอ้อม

5. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของชุมชน (Water Footprint of community) หมายถึง ปริมาณน้ำที่สมาชิกในชุมชนบริโภคทั้งทางตรงและทางอ้อม

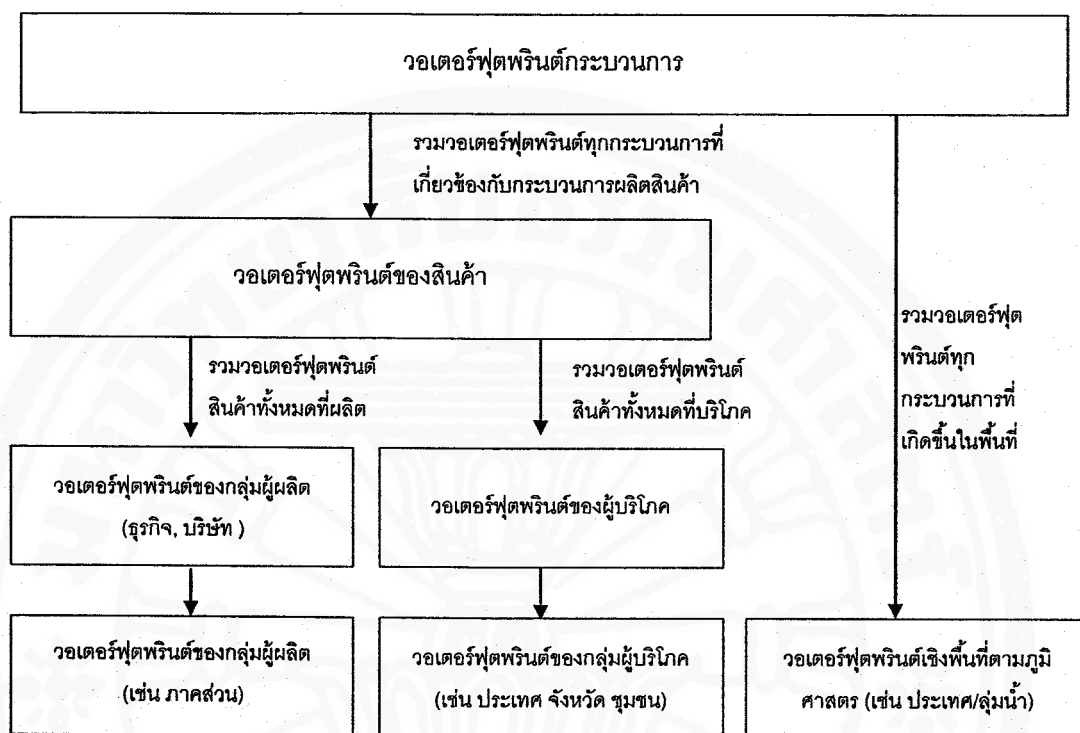
6. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทางภูมิศาสตร์ (Water Footprint of geographically) หมายถึง ปริมาณน้ำในกระบวนการทั้งหมดในเขตพื้นที่ทั้งหมด

การกำหนดขอบเขตการศึกษาควรมีความชัดเจน เช่น วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ชนิดใดที่พิจารณา วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว สีน้ำเงิน และหรือสีเทา ข้อมูลช่วงเวลาใดที่ศึกษา การกำหนดขอบเขตเชิงพื้นที่และเวลาที่พิจารณา ขอบเขตการศึกษาข้อมูลในส่วนของผู้ผลิตหรือผู้บริโภค กระบวนการใดในห่วงโซ่การผลิตหรือห่วงโซ่อุปทาน เป็นต้น

นอกจากนี้การกำหนดขอบเขตการประเมินความยั่งยืน เช่น พิจารณาความยั่งยืนในแง่ชนิดของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ ความยั่งยืนในงานสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจหรือสังคม หรือเพื่อการระบุจุด hotspot ที่สุดเพียงจุดเดียวหรือ 2 จุด และแนวทางการรับมือขอต่อวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ให้ชัดเจน ใครที่เป็นผู้รับผิดชอบ เช่น ผู้บริโภค เกษตรกร บริษัท นักลงทุน เป็นต้น

#### 2.2.1.2 การจัดทำบัญชีวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Water footprint accounting)

การจัดทำบัญชีวอเตอร์ฟุตพริ้นต์หรือการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เป็นขั้นตอนต่อจากการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต โดยการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์จำเป็นต้องทราบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่ต้องการศึกษาคืออะไร ศึกษาเพื่ออะไร วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ต้องทราบมีอะไรบ้าง เพื่อการรวบรวมและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ ศึกษาให้ครอบคลุมทุกกระบวนการในการจัดทำบัญชีวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ เริ่มจากทราบความสัมพันธ์ของการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน โดยทำการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เพียงขั้นตอนเดียวหรือที่ละกระบวนการย่อยโดยมีกระบวนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์พื้นฐานสำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทุกชนิด ซึ่งวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเกิดขึ้นจากการรวมวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ในแต่ละกระบวนการย่อยเข้าด้วยกัน ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3

กระบวนการการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พื้นฐานสำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทุกชนิด

ที่มา: คู่มือการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Hoekstra และคณะ, 2011)

### 2.2.1.3 การประเมินความยั่งยืนของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint sustainability assessment)

การประเมินความยั่งยืนของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีหลายรูปแบบ รายละเอียดแต่ละรูปแบบโดยสังเขปมีดังต่อไปนี้

1. ความยั่งยืนเชิงภูมิศาสตร์ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำหรือลุ่มน้ำ มิติในการพิจารณามี 3 ด้าน คือ ความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม ความยั่งยืนทางเศรษฐกิจ และความยั่งยืนทางสังคม

2. ความยั่งยืนเชิงกระบวนการที่จำเพาะเจาะจง มิติในการพิจารณามี 2 ด้าน คือ 1.พิจารณาความยั่งยืนในเชิงภูมิศาสตร์คือกระบวนการนั้นเกิดในบริเวณพื้นที่ที่เป็นจุด hotspot หรือไม่ 2.พิจารณาความยั่งยืนเชิงคุณลักษณะของกระบวนการนั้นเองว่ามีความ



ยั่งยืนหรือไม่ โดยไม่สัมพันธ์กับสภาพเชิงภูมิศาสตร์ โดยกระบวนการนั้นสามารถลดหรือหลีกเลี่ยงการเกิดวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ โดยสังคมยอมรับ

3. ความยั่งยืนของผลิตภัณฑ์ มิติในการพิจารณาคือ การระบุจุดวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องที่ไม่มีความยั่งยืน การเกิดผลกระทบต่อท้องถิ่นหรือไม่

4. ความยั่งยืนเชิงธุรกิจ พิจารณาผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ และระบุผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีความยั่งยืนของธุรกิจ

5. ความยั่งยืนเชิงผู้บริโภค พิจารณาจากผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ที่ใช้โดยผู้บริโภค ความยั่งยืนของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่เกิดจากผู้บริโภคจะขึ้นกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคใช้

#### 2.2.1.4 การรับผิดชอบต่อวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Water footprint response formulation)

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งของผู้บริโภคคือการรับผิดชอบต่อวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นรูปแบบของการรับผิดชอบต่อรวมกันในฐานะเป็นผู้ก่อให้เกิดวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทางอ้อม โดยผู้บริโภคควรมีบทบาทในการเลือกใช้สินค้าและบริการที่มีความยั่งยืนของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ ซึ่งจะเป็นแรงผลักดันให้ผู้ผลิตผลิตสินค้าได้คำนึงถึงความยั่งยืนของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ เช่นเดียวกันสำหรับนักลงทุนควรพิจารณาลงทุนโดยตัดสินใจจากความยั่งยืนของการใช้น้ำ ผลสุดท้ายเมื่อน้ำเป็นสาธารณูปโภคที่สำคัญ รัฐบาลควรมีการกำหนดกฎหมายหรือมาตรฐานกระบวนการใช้และการผลิตด้วยเช่นกัน

#### 2.2.2 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์

จากวิธีการในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน โดยในการคำนวณในแต่ละประเภทยังแบ่งชนิดของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ตามแหล่งที่มา โดยในการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ไม่ยากพาราแปรรูปถือเป็นการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์คำนวณได้จากการรวมวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทางตรง (Direct Water Footprint) และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทางอ้อม (Indirect Water Footprint) ของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 3 ชนิด คือวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีน้ำเงิน (blue water footprint) วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว (green water footprint) วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเทา (gray water footprint)

การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวและสีน้ำเงินจากกระบวนการเพาะปลูกพืชนิยมใช้โปรแกรม CROPWAT ซึ่งผริดา คุณีพงษ์ และคณะ (2541) ได้ให้ความหมายของ

CROPWAT ไว้ว่าหมายถึงซอฟต์แวร์ที่พัฒนาโดย FAO เมื่อปีพ.ศ. 2531 เพื่อคำนวณหาความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirement) บนชุดดินต่างๆ ปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Moisture availability) และปริมาณน้ำที่ต้องการเพิ่มเติม (Irrigation requirement) เพื่อให้ดินอยู่ในสภาพความชื้นที่พืชต้องการและการจัดชั้นความเหมาะสมของดินโดยอาศัยความชื้นเพียงอย่างเดียวโดยการคำนวณจากภูมิอากาศพืชและดิน CROPWAT จะคำนวณการคายระเหยจริง ( $ET_a$ : Actual Evapotranspiration) ศักยภาพในการคายระเหย ( $ET_m$ : Potential Evapotranspiration) ปริมาณน้ำฝนที่นำไปใช้ได้จริง (effective rainfall) และค่าความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirement) ตลอดจนเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่จะลดลงถ้าขาดน้ำและแผนการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ CROPWAT เป็นแบบจำลองที่ต้องใช้ข้อมูล (Data input) ดังนี้

- 1) ข้อมูลภูมิอากาศได้แก่อุณหภูมิความชื้นแสงอาทิตย์ความเร็วลมและปริมาณน้ำฝน
- 2) ข้อมูลพืชได้แก่ช่วงอายุของการเจริญเติบโต (Crop development stage) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop factors :  $K_c$ ) ความยาวของรากพืช (Rooting depth) และการตอบสนองต่อการขาดน้ำของพืช (Yield response factors)
- 3) ข้อมูลดินได้แก่ปริมาณน้ำในดินดินแต่ละชนิดมีปริมาณน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ได้ (Available water) ต่างกัน

### 2.2.3 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืชและผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับพืช

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว สีน้ำเงินและสีเทาของพืชได้มีการศึกษาอย่างจริงจังจากการศึกษาของ Mekonnen, M.M. และ Hoekstra A.Y. (2010) ซึ่งได้ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืชจำนวนถึง 126 ชนิดในปี 1996-2005 โดยใช้โมเดลสมมูลน้ำในเขตรากพืช ซึ่งต้องใช้ข้อมูลสมมูลน้ำในดิน ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และการปนเปื้อนมลพิษในน้ำที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจนที่ใช้ในกระบวนการเพาะปลูกพืช คำนวณอัตราการคายระเหยของพืชเพิ่มอีก 20 ชนิดโดยใช้โปรแกรม CROPWAT พร้อมทั้งยังประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่อีกกว่า 200 ผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้องกับพืชที่แตกต่างกัน ได้แก่ พืชประเภทให้แป้ง เครื่องดื่ม เส้นใย และเชื้อเพลิงชีวภาพโดยใช้การประเมินตามแนวทางเครือข่ายวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint Network) ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืชและผลิตภัณฑ์จากพืชในระดับโลกได้แก่ ข้าวสาลี 1,827 ลบ.ม.ต่อตัน, ข้าว 1,673 ลบ.ม.ต่อตัน, อ้อย 210 ลบ.ม.ต่อตัน, กากน้ำตาลจากอ้อย 527 ลบ.ม.ต่อตัน, ปาล์มน้ำมัน 1,098 ลบ.ม.ต่อตัน, น้ำมันปาล์ม 4,971 ลบ.ม.ต่อตัน, ข้าวบาเลย์ 1,423 ลบ.ม.

ต่อตัน, ยางธรรมชาติ 13,748 ลบ.ม.ต่อตันเป็นต้น การกระจายตัวของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์จากพืช ช่วงปี 2539-2548 ดังภาพที่ 2.4

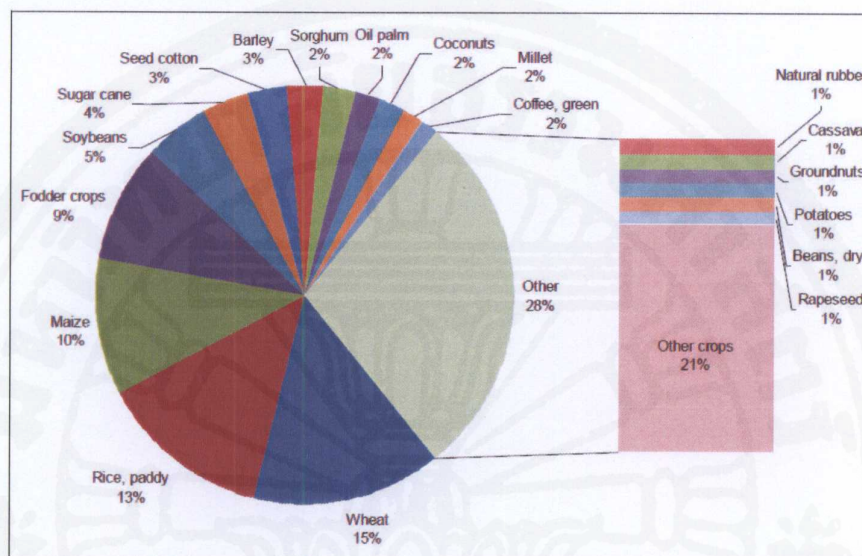


Figure 1. Contribution of different crops to the total water footprint of crop production. Period: 1996-2005.

#### ภาพที่ 2.4

การกระจายตัวของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์รวมของพืชทั่วโลกช่วงปี 2539-2548

ที่มา: Mekonnen, M.M. และHoekstra A.Y. (2010)

กรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกพืชในประเทศไทย ได้แก่

1. ทิพปภา สุขุมลชาติ และคณะ (2554) วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดนครสวรรค์ (677ลบ.ม.ต่อตัน) พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ยของทั้งโลก (909ลบ.ม.ต่อตัน) เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณที่แตกต่างจากค่าจริงในประเทศไทย เช่น ค่าสัมประสิทธิ์พืช ( $K_c$ ) ของข้าวโพดเลี้ยงโดย FAO มีค่า  $K_c$  สูงกว่าค่าจากกรมชลประทานของประเทศไทย นอกจากนี้ยังพบว่าในขั้นตอนการเพาะปลูกนั้นพบว่าการหาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวจากปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้วิธีวัดสมดุลน้ำในเขตรากพืช ซึ่งการใช้น้ำของพืชมีปัจจัยแวดล้อมหลายอย่าง โดยน้ำในเขตรากพืชอาจลดลงเนื่องจากการคายระเหย ถ้าน้ำพร่องลงต่ำกว่าระดับน้ำที่มีอยู่ที่ใช้การได้ (RAW) จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ความเครียดน้ำได้



2. ชินาธิปกรณ พงศ์กัญญะภาพ และ อัมรินทร์ มุ่งเจริญ (2554) พบว่าวอเดอร์ฟุตพริ้นต์ของมันเป็นค่าเท่ากับ 599.482 ลบ.ม.ต่อตันโดยเป็นวอเดอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวและสีน้ำเงินเท่ากับ 415.7 ลบ.ม.ต่อตันและ 183.8 ลบ.ม.ต่อตันจากค่านี้สัดส่วนวอเดอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวของประเทศไทยมีค่ามากกว่าประเทศไนจีเรียซึ่งมีค่าวอเดอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวเท่ากับร้อยละ 48 แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำฝนเพื่อเพาะปลูกมันสำปะหลังมากกว่าประเทศไนจีเรีย และจากคาดการณ์ปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตเอทานอลและปริมาณการใช้พื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี ของกระทรวงพลังงาน พบว่าหากมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังจาก 3.4 เป็น 8.0 ตันต่อไร่จะทำให้ค่าวอเดอร์ฟุตพริ้นต์ในกระบวนการเพาะปลูกลดลง

3. ฤดีมาศ งามยิ่งยวดและ วุฒิชัย รักซ้อน (2555) ศึกษาวอเดอร์ฟุตพริ้นต์ตลอดห่วงโซ่ของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันมีค่าวอเดอร์ฟุตพริ้นต์สีน้ำเงินทางตรง (Direct Blue Water Footprint) วอเดอร์ฟุตพริ้นต์สีน้ำเงินทางอ้อม (Indirect Blue Water Footprint) วอเดอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวและวอเดอร์ฟุตพริ้นต์สีเทาเท่ากับ 14.786 ลบ.ม.ต่อกิกะจูล, 10.466 ลบ.ม.ต่อกิกะจูล, 39.767 ลบ.ม.ต่อกิกะจูล และ 9.721 ลบ.ม.ต่อกิกะจูลโดยวอเดอร์ฟุตพริ้นต์รวมของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันด้วยวิธี chain-summation approach และวิธี step-wise accumulative approach มีค่าใกล้เคียงกันคือ 10.3613 ลบ.ม.ต่อกิกะจูลและ 10.3026 ลบ.ม.ต่อกิกะจูล ตามลำดับ

4. รมนี วังเมือง (2555) ได้ศึกษาเปรียบเทียบร่องรอยการใช้น้ำและการประเมินวัฏจักรชีวิตที่เกี่ยวข้องกับน้ำแบ่งข้าวของบริษัท 3 แห่งโดยเลือกใช้วิธีการคำนวณวอเดอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์แบบการรวมสายโซ่เนื่องจากการผลิตแบ่งข้าวมีการนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่กระบวนการเพียงผลิตภัณฑ์เดียวคือข้าวและได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเพียง 1 ผลิตภัณฑ์คือแบ่งเท่านั้น ผลการศึกษาพบว่า บริษัทกรณีศึกษา A มีร่องรอยการใช้น้ำทั้งหมดสูงที่สุดเท่ากับ 2,530.06 ลบ.ม.ต่อตันแบ่งรองลงมาคือบริษัทกรณีศึกษา C และ B เท่ากับ 2,055.60 และ 1,967.90 ลบ.ม.ต่อตันแบ่งตามลำดับโดยปริมาณการใช้น้ำส่วนใหญ่ของบริษัทกรณีศึกษามาจากขั้นตอนการเพาะปลูก ปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือใช้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงในการคำนวณซึ่งกับสภาพภูมิอากาศของจังหวัดหรือพื้นที่ศึกษา เช่น ถ้าโรงงานที่รับวัตถุดิบส่วนใหญ่มาจากบริเวณที่มีปริมาณฝนเฉลี่ยค่อนข้างสูง ค่าวอเดอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวก็จะมีค่าสูงอีกทั้งเป็นขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

5. Ratchayuda Kongboon และ Sate Sampattagul, (2012) ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของไบโอเอทานอลจากอ้อยในประเทศไทย จากแผนการพัฒนางานทางเลือกของไทย (AEDP) ที่สนับสนุนส่งผลให้การเพาะปลูกอ้อยและพืชอื่นๆ ที่ใช้ในการทำเอทานอลมีการเพิ่มสูงขึ้น โดยพิจารณาอ้อยฟุตพริ้นต์ออกเป็น 2 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการปลูกอ้อย และกระบวนการผลิตไบโอเอทานอลจากอ้อย ผลการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์อ้อยคือ 226 ลบ.ม. ต่อตัน และจาก AEDP ในปี 2554, 2559 และ 2565 มีเป้าหมายในการผลิตเอทานอล 3, 6.2 และ 9 ล้านลบ.ม.ต่อวัน ความต้องการใช้น้ำคาดว่าจะอยู่ที่ปริมาณ 18,041; 37,787 และ 54,853 ล้านลบ.ม.ต่อปีตามลำดับ การส่งเสริมการใช้เอทานอลดังกล่าวในประเทศ การเกษตรกรรมจะทำให้เกิดการแย่งแย่งแหล่งน้ำทั้งสำหรับการบริโภคของมนุษย์และการผลิตพลังงานสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับนโยบายในอนาคตที่เกี่ยวกับการจัดการน้ำและการผลิตเอทานอลเพื่อให้มีการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

### 2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) คือกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบกระบวนการผลิตการขนส่งและการแจกจ่ายการใช้งานผลิตภัณฑ์การใช้ใหม่หรือแปรรูปและการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขภาพของชุมชนเพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (SETAC-Europe, 2003)

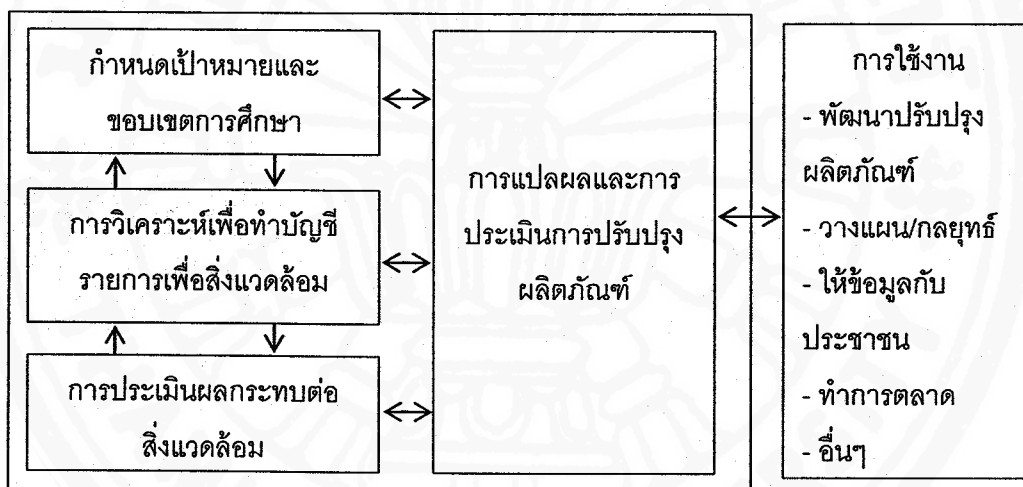
อรชума ดีศรีแก้ว, (2551) ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างระบบมาตรฐาน ISO14000 กับ LCA ว่า LCA เป็นเทคนิคในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่พิจารณาทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามลักษณะกลุ่มเป้าหมาย คือ การใช้ทรัพยากรสุขภาพของมนุษย์ และผลต่อระบบนิเวศ ซึ่ง ISO (International Standard for Organization) ได้ระบุ LCA เป็นการทำงานส่วนหนึ่งที่ถูกบรรจุในมาตรฐาน ISO14000 ว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Standard) ได้แก่ ISO14040:หลักการและข้อกำหนดสำหรับการศึกษา LCA ISO14041: คำแนะนำในการทำ Life



Cycle Inventory, LCI หรือบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ISO14042: คำแนะนำเรื่องโครงสร้างของผล การเก็บข้อมูล เป็นต้น

ขั้นตอนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตขอเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยกรอบ การดำเนินการวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังภาพที่ 2 (ISO14040, 2006) คือ

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and scope definition)
2. การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Inventory analysis)
3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)
4. การตีความและแปลผลการศึกษา (Interpretation)



ภาพที่ 2.5

ขั้นตอนการดำเนินงานของ LCA จากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2547)

รายละเอียดการดำเนินการในแต่ละขั้นตอนดังนี้

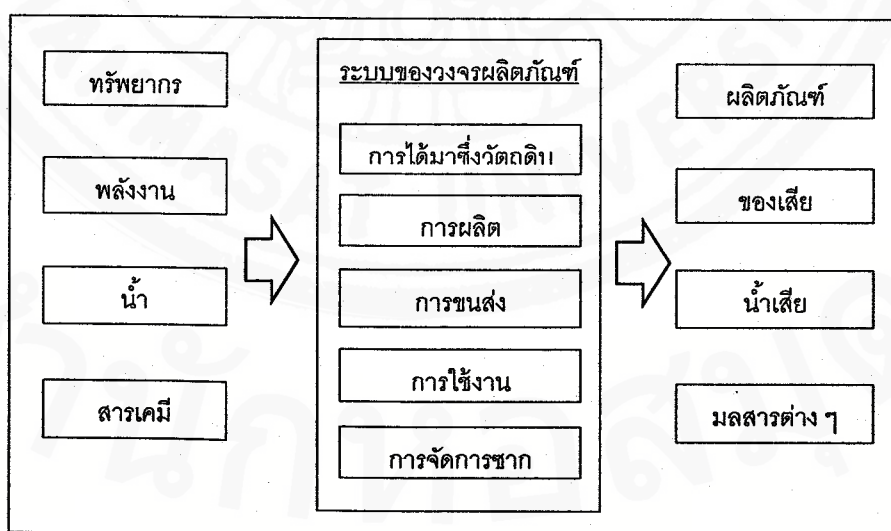
### 2.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญในการ ประเมินวัฏจักรชีวิตการกำหนดเป้าหมายเป็นการพิจารณาเหตุผลของการศึกษา การนำไป ประยุกต์ใช้และคำนึงถึงข้อจำกัดของการใช้ผลการศึกษา และในส่วนของขอบเขตการศึกษาโดยให้

สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากเป็นปัจจัยโดยตรงต่อความละเอียดในการศึกษาเพราะถ้ากำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ดีพอจะทำให้ผลที่ได้จากการประเมินนั้นไม่ถูกต้องและไม่มีประโยชน์ในการที่จะนำผลที่ได้ไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้นให้ดีขึ้น มีการกำหนดหน่วยหน้าที่การทำงาน (Functional unit) โดยดูจากหน้าที่การใช้งานหลักของผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นปริมาณอ้างอิงสำหรับการวางแผนการรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา

### 2.3.2 การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Inventory Analysis)

การจัดทำข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเป็นการรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการตามที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาโดยนำข้อมูลมาคำนวณหาปริมาณสารขาเข้า-ขาออกและสมดุลของมวลสาร (mass balance) โดยจำแนกข้อมูลการใช้วัตถุดิบ (น้ำ) และพลังงานรวมทั้งของเสียและมลพิษที่ปล่อยจากกิจกรรมการผลิตและขนส่งที่เกี่ยวข้องในทุกขั้นตอนเพื่อนำไปสู่การวางแผนการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องการใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์หลังจากนั้นทำการตรวจสอบปริมาณของมวลสาร-ขาเข้าโดยบันทึกข้อมูลในแผ่นตารางรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมซึ่งข้อมูลจากการจัดทำบัญชีรายการจะนำไปใช้ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป หลักการเก็บข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ แสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6

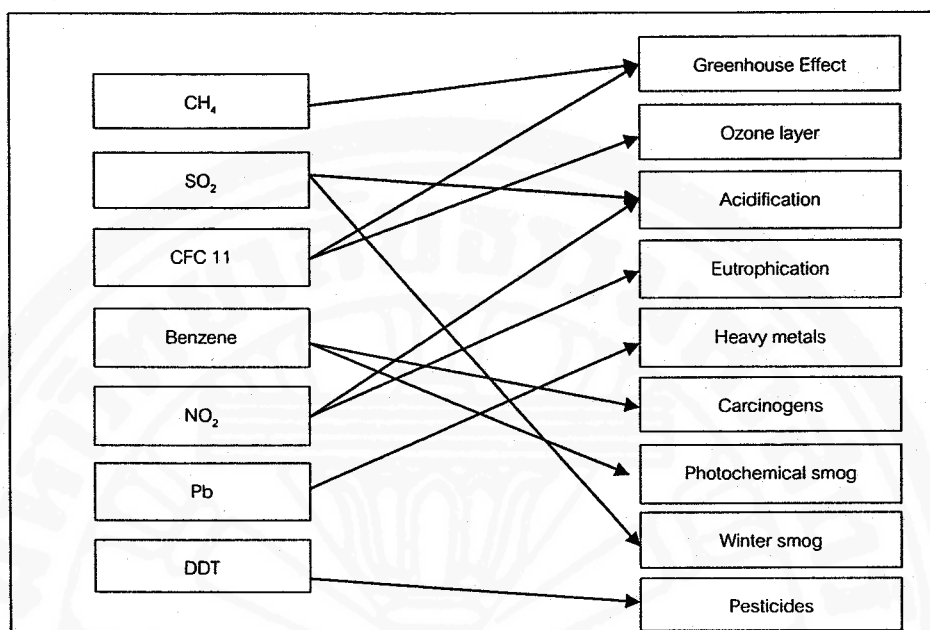
หลักการเก็บข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

### 2.3.3 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Impact Assessment)

ขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมมาคำนวณค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเริ่มจากการเลือกชนิดและประเภทผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา จำแนกข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมให้เข้ากลุ่มผลกระทบที่ทำการคัดเลือก (Classification) แล้วทำการประเมินผลกระทบเชิงปริมาณโดยให้อยู่ในรูปของดัชนีชี้วัดเพื่อนำไปเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าวกับสารอ้างอิงพื้นฐาน (Equivalent or characterization factors)

นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติมขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษาคือการเทียบหน่วย (Normalization) เพื่อให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์หรือกิจกรรมที่ศึกษาส่งผลกระทบในระดับโลกระดับทวีปหรือระดับประเทศเป็นค่าเท่าใดการจัดกลุ่ม (Grouping) เพื่อให้ทราบว่ากลุ่มผลกระทบใดมีความสำคัญหรือรุนแรงที่สุด การให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting) เพื่อให้ทราบว่ากลุ่มผลกระทบใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดหรือกลุ่มใดมีความสำคัญที่สุดและการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data quality analysis) เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่สามารถเชื่อถือได้ วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักดังนี้

2.3.3.1 การจำแนกข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Classification) เป็นการจำแนกสารขาเข้าและสารขาออกในข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ให้เข้ากลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ทำการคัดเลือกไว้แต่สารบางชนิดสามารถเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภทก็จำเป็นต้องจำแนกสู่ทุกกลุ่มผลกระทบที่สารนั้นก่อให้เกิดกลไกการเกิดผลกระทบสามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือผลกระทบแบบคู่ขนานหมายถึงการที่สารก่อให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภทเช่นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรดและผลกระทบแบบอนุกรมหรือแบบต่อเนื่องหมายถึงการที่สารก่อให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภทขึ้นไปแต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกันแต่เกิดต่อเนื่องกันไป เช่น ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ( $\text{NO}_x$ ) ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดโอโซนในระดับพื้นดิน (Ground-level ozone formation) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์จากนั้นเมื่อระเหยขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศจะก่อให้เกิดผลกระทบการเกิดโอโซนระดับชั้นบรรยากาศและภาวะความเป็นกรด



ภาพที่ 2.7

การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ

ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2547)

2.3.3.2 การกำหนดบทบาท (Characterization) ขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลในการแสดงประเภทของผลกระทบให้อยู่ในเทอมของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยทำการแปลงข้อมูลปริมาณของสารเข้าและสารออกในการทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกลุ่มเดียวกัน และทำการรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าวกับสารอ้างอิงพื้นฐาน โดยดัชนีชี้วัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เลือกพิจารณาสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$EP_j = \sum (Q_i \times EF_{ij})$$

โดยที่  $EP_j$  (environmental impact potential) คือค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท  $j$  ใดๆ (kg substance equivalent)

$Q_i$  (quantity of substance) คือปริมาณสารมลพิษ  $i$  ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (kg substance  $i$ )

EF<sub>ij</sub> (equivalent factor) คือค่าเทียบเท่าของสาร *i* ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม *j* (kg substance equivalent/kg substance *j*)

#### 2.3.4 การแปลผลการศึกษา (Interpretation)

การแปลผลการศึกษาเป็นการนำผลการศึกษาที่ได้มาวิเคราะห์หาตีความและแปลผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ซึ่งทำให้ทราบถึงขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รวมถึงขนาดและประเภทของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงและเสนอแนะแนวทางการแก้ไขด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จะสามารถบ่งบอกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม เช่น คาร์บอนฟุตพริ้นท์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งในการสื่อสารข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม

มาตรฐาน ISO14000 ได้ให้คำนิยามสำหรับการแปลผลไว้ 2 ความหมาย คือ เพื่อวิเคราะห์ผลเพื่อให้ได้ข้อสรุป สามารถอธิบายข้อจำกัดและข้อเสนอแนะโดยใช้ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตในลักษณะที่ชัดเจนและเพื่อนำเสนอผลของการประเมินวัฏจักรชีวิตและการวิเคราะห์ปัญหารายการที่สามารถเข้าใจได้ สมบูรณ์ ถูกต้องและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เป้าหมายของการศึกษาประเด็นหลัก ๆ ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการแปลผลนี้จะเกี่ยวข้องกับ 3 ประเด็น ได้แก่ การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม การประเมินผลที่สมบูรณ์ ละเอียดยิ่งตรง และการตรวจสอบบทสรุปว่าตรงกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายการศึกษา ข้อจำกัดและสมมติฐานอื่น ๆ หรือไม่ ถ้าสมบูรณ์แล้วทำรายงานบทสรุป แต่ถ้าไม่สมบูรณ์ต้องกลับไปเริ่มที่ระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมใหม่

#### 2.4 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กับการประเมินวัฏจักรชีวิต

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์สามารถเป็นตัวชี้วัดในการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของผลิตภัณฑ์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องมือที่ใช้แนวคิด LCA โดยจะทำให้เห็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการใช้น้ำมากขึ้น ทั้งนี้ในบริบทระดับโลกวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ถือเป็นตัวบ่งชี้ความขาดแคลนแหล่งน้ำจืดบนโลกที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางอย่างว่ามีเท่าไร ส่วนในระดับท้องถิ่นการหาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ใดที่หนึ่งในช่วงเวลานี้อย่างชัดเจน สามารถนำไปวางซ้อนทับกับแผนที่ความตึงเครียดของแหล่งน้ำ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่



สถานที่นั้น ในเวลาช่วงหนึ่งบนแผนที่ได้อย่างชัดเจน ผลกระทบเหล่านี้ควรนำมารวบรวมไว้ด้วยกัน เพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพรวมผลกระทบของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ให้ชัดเจน

Hoekstra และคณะ (2011) กล่าวว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์กับการประเมินวัฏจักรชีวิตมีวิธีการที่แตกต่างของการใช้แหล่งน้ำและผลกระทบสิ่งแวดล้อม ข้อมูลที่ LCA มีอาจไม่สัมพันธ์กันกับการศึกษาอวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เช่น ระบุบริเวณ hotspot หรือพื้นที่ที่มีความขาดแคลนน้ำในการผลิตสินค้า กลุ่มของผู้บริโภคหรือกลุ่มบริษัท และแผนการดำเนินการรับมือ โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นต์มีความละเอียดในการระบุชนิดของน้ำที่ใช้ สถานที่และช่วงเวลาใช้น้ำ ดังนั้นหากต้องการลดปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ จึงสามารถทำได้ด้วยการบูรณาการการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ในการทำ LCA ซึ่งเริ่มจากการเก็บข้อมูลรายการสิ่งแวดล้อมด้านน้ำนั้นต้องมีความละเอียดเพิ่มขึ้นโดยระบุชนิดของน้ำที่ใช้ สถานที่และช่วงเวลาใช้น้ำเป็นต้นดังนั้นหากต้องการวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จะต้องหาอวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ในแต่ละขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตผลิตภัณฑ์มารวมกัน

การศึกษา Jefferies และคณะ (2012) ได้สรุปหลักการในการประเมินการใช้น้ำมีด้วยกัน 2 วิธีที่สำคัญคือหลักการวอเตอร์ฟุตพริ้นต์และหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต แนวทางวอเตอร์ฟุตพริ้นต์โดยศาสตราจารย์ Hoekstra ที่กล่าวว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เป็นตัวบ่งชี้ของมนุษย์การจัดสรรทรัพยากรน้ำจืดที่ประกอบด้วยทั้งการใช้น้ำโดยตรงและโดยอ้อม การใช้งานของผู้บริโภคหรือผู้ผลิต วิธีการนี้มีการบังคับใช้ทั่วไปอย่างกว้างขวาง ความเป็นไปได้ที่จะนำอวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของแต่ละชุมชนธุรกิจหรือประเทศชาติมาศึกษา

หลักการวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ เป็นการรวมของปริมาณน้ำจืดที่ใช้ในการผลิตสินค้าจากขั้นตอนต่างๆ ของห่วงโซ่การผลิตมารวมกัน วอเตอร์ฟุตพริ้นต์จึงเป็นตัวบ่งชี้หลายมิติที่แสดงปริมาณการใช้น้ำตามแหล่งที่มาและปนเปื้อนโดยจำแนกตามประเภทของมลพิษส่วนประกอบทั้งหมดของการปล่อยน้ำรวมที่ระบุไว้ทางภูมิศาสตร์ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีน้ำเงินหมายถึงการใช้ทรัพยากรน้ำสีน้ำเงิน (พื้นผิวและพื้นน้ำ) พร้อมห่วงโซ่คุณค่าของผลิตภัณฑ์ 'การบริโภค' หมายถึงการสูญเสียน้ำจากการให้บริการปริมาณน้ำพื้นผิวในบริเวณที่กักเก็บน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำระเหยจะถูกรวมอยู่ในสินค้าหรือส่งกลับไปยังพื้นที่กักเก็บน้ำอื่นหรือทะเล วอเตอร์ฟุตพริ้นต์หมายถึงการบริโภคแหล่งน้ำสีเขียว (น้ำฝนที่เก็บไว้ในดินได้ความชื้นของดิน) วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเทาหมายถึงการปล่อยมลพิษและมีการกำหนดเป็นปริมาณน้ำจืดที่จำเป็นต้องใช้ในการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับมาตรฐานคุณภาพน้ำโดยรอบ

ในขณะที่แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่เกิดจากผลิตภัณฑ์จาก cradle to grave โดยส่วนใหญ่การศึกษาตามแนวทาง LCA ได้คำนึงถึงการใช้ให้น้ำน้อยมากเนื่องจากการได้รับการยกเว้น อย่างไรก็ตาม UNEP/SETAC และ ISO ได้ริเริ่มการประเมินวัฏจักรชีวิต การศึกษา LCA ในชุมชนมีการเริ่มผลักดันและพัฒนาวิธีการที่ครอบคลุมการทำบัญชีรายการใช้น้ำทั้งในส่วนของสินค้าคงคลังและการประเมินผลกระทบ ซึ่งในปัจจุบันพบว่าวิธีประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำใน LCA มีถึง 13 วิธี ที่แตกต่างกัน ซึ่งในที่นี้จะเปรียบเทียบการใช้น้ำการตามการประเมินวัฏจักรชีวิตกับการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3

เปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตกับการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์

| ด้าน              | การประเมินวัฏจักรชีวิต                                                                                                                      | การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| เป้าหมายและขอบเขต | <ul style="list-style-type: none"> <li>ผลกระทบจากผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต โดยการใช้ น้ำ ยกเว้น ประเด็นการปนเปื้อน</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>ผลรวมการบริโภคน้ำ (น้ำสีน้ำเงินและน้ำสีเขียว) ของผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตรวมทั้งน้ำสีเทาที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนโดยกระบวนการผลิต</li> <li>เน้นในการส่งเสริมการพัฒนาสู่ความยั่งยืน ความเป็นธรรม และประสิทธิภาพในการใช้แหล่งทรัพยากรน้ำจืดในระดับหรือขนาดที่แตกต่างกัน ได้แก่ ระดับท้องถิ่น, แม่น้ำ, ลุ่มน้ำ, ระดับประเทศ, ระดับสากล</li> </ul> |
| จุดแข็ง           | <ul style="list-style-type: none"> <li>การวิเคราะห์ระบบพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพ</li> <li>การวิเคราะห์ผลกระทบในแต่ละส่วนแบบองค์รวม</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>จุดแข็งคือการระบุข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบในระดับท้องถิ่น</li> <li>การสื่อสารที่มองเห็นได้ด้วยฟุตพริ้นต์</li> </ul>                                                                                                                                                                                                       |

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• การวิเคราะห์แบบ Cradle to grave</li> <li>• มีเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการคำนวณผลิตภัณฑ์ที่มีระบบขนาดใหญ่หรือมีความซับซ้อน</li> <li>• มีฐานข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ได้กับผลิตภัณฑ์และกระบวนการทุกชนิด</li> <li>• วิธีการ (อยู่ระหว่างการพัฒนา) สามารถนำไปประเมินผลกระทบการบริโภคในระดับภูมิภาคตามการความขาดแคลนน้ำและตัวแปรอื่นๆ</li> <li>• สำหรับหน่วยงาน เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรม เช่น นโยบายสินค้าครบวงจรในยุโรป</li> </ul> | <p>บนแผนที่ และแนวทางสำหรับผู้เข้าถึงบริเวณที่เป็นจุด hotspot</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• มีหลักการที่ดีในการคำนวณค่าการคายระเหยของน้ำ โดยเฉพาะในกระบวนการเพาะปลูกหรือการเกษตรกรรม</li> </ul>                                                                                                                                                           |
| จุดอ่อน | <ul style="list-style-type: none"> <li>• มีข้อมูลเรื่องพืชที่สามารถนำไปใช้ได้น้อยมาก</li> <li>• ไม่มีการรวมข้อมูลน้ำสีเขียวในข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้ได้</li> <li>• ข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้ได้ โดยมีข้อมูลน้ำสีฟ้าและข้อมูลการใช้น้ำเชิงพื้นที่น้อย</li> <li>• การวัดผลกระทบความละเอียดเชิงพื้นที่และเวลาที่จำกัด</li> </ul>                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ปัจจุบันยังขาดข้อมูลพื้นฐานสำหรับการใช้น้ำในกระบวนการผลิต</li> <li>• ความยุ่งยากในการประมวลผลกระทบเมื่อระบบมีขนาดใหญ่หรือมีความซับซ้อน</li> <li>• เครื่องมือในปัจจุบันอนุญาตให้วิเคราะห์แค่ cradle to gate แม้ว่าวิธีการนี้จะขยายผลการศึกษาไปได้</li> <li>• ความขาดแคลนน้ำในระดับภูมิภาคไม่ได้รวมในฟุตพริ้นท์สุดท้าย</li> </ul> |

ที่มา: Jefferies และคณะ (2012)

วัตถุประสงค์ในการพิจารณาตามแนวทางวอเตอร์ฟุตพริ้นต์และ LCA ที่เหมือนกัน คือการหาจุดวิกฤตเพื่อระบุกิจกรรมในวัฏจักรของผลิตภัณฑ์หรือบริการ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ การระบุภูมิภาคที่เกิดวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ที่มากที่สุดและพื้นที่ที่มีความขาดแคลนน้ำมาก ความแตกต่างที่สำคัญระหว่าง LCA และ WF คือการพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวที่ต่างกัน (Milà i Canals และคณะ, 2009) ในขณะที่ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ (น้ำสีเทา) จะถูกจัดการโดยวิธีการประเมินประเภทผลกระทบอื่น ๆ เช่น ต่อระบบนิเวศน์ eutrophication หรือน้ำจืดซึ่งในการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ไม่อย่างพาราแปรรูปนี้จะใช้การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวและวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีน้ำเงินด้วยโปรแกรม CROPWAT ตามหลักการวอเตอร์ฟุตพริ้นต์และใช้ข้อมูลจากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมในการพิจารณาอวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเทาเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนที่ใช้ในการเพาะปลูก อีกทั้งพิจารณาอวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทางตรงและทางอ้อมจากกระบวนการแปรรูปไม่อย่างพารา ตามแนวทาง LCA แต่การประเมินปริมาณผลกระทบการบริโภคน้ำในการศึกษานี้จะไม่กล่าวถึงประเภทผลกระทบอื่น ๆ ทั่วไป ตามแนวทาง LCA เช่น ภาวะโลกร้อน การเกิด acidification หรือ eutrophication

## 2.5 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์กับ ISO

Sebastien Humbert (2009) ได้กล่าวถึง ISO14046 ภายใต้ชื่อ Water footprint: requirements and guidelines เป็นแนวทางการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตโดย ISO ถูกพัฒนาขึ้นในปี 2009 โดยมีโครงการพัฒนาแนวทางการประเมินให้แล้วเสร็จภายในสิ้นปี 2012 ซึ่ง Laurel Standley (2011) คณะกรรมการ ISO TC 207 กล่าวว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตโดย ISO เกิดขึ้นเนื่องจากความต้องการแหล่งน้ำจืดที่สะอาดเช่นเดียวกับระบบนิเวศที่ทั่วโลกหาแหล่งทรัพยากรโดยต้องเพิ่มโอกาสและประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรให้คุ้มค่ายิ่งขึ้น แม้ในปัจจุบันจะมีการพัฒนาการจัดการทรัพยากรอย่างเข้มข้นขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศยังคงนำปัญหาความขาดแคลนน้ำมาเป็นอันดับต้นๆ สำหรับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเช่น ภาคธุรกิจที่ใช้สินค้าทางการเกษตร

นอกจากนี้แม้ว่าปัจจุบันมีความสนใจในการแข่งขันทางการค้าซึ่งต้องมีการวัดผลกระทบสะสมจากการใช้น้ำจืดที่มีอยู่อย่างจำกัด การใช้น้ำจืดในส่วนของวัตถุดิบหรือกระบวนการในการผลิตสินค้าก็ยังคงมีความซับซ้อนมากในการประเมินผลกระทบได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างเช่น



การดึงน้ำมาใช้แล้วนำมวลเดิมจากกลับไปยังระบบหรือแหล่งเก็บน้ำเดิมหรืออาจถูกการปนเปื้อนก่อนทิ้ง ในการปล่อยมลพิษหรือการปนเปื้อนนี้จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในพื้นที่รับน้ำได้โดยตรงจะเป็นผลต่อผู้เกี่ยวข้องที่ต้องรับผิดชอบในการเพิ่มงบประมาณในการบำบัดน้ำให้สะอาดก่อนที่จะทิ้งน้ำในกระบวนการผลิตสินค้าหรือบริการนั้น ดังนั้นการดึงน้ำมาใช้อาจมีผลด้านลบต่อผู้เกี่ยวข้องโดยตรงเมื่อน้ำถูกทิ้งในพื้นที่รับน้ำที่ต่างจากเดิม

ในทศวรรษที่ผ่านมา Hoekstra ผู้ร่วมก่อตั้งเครือข่ายของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Water Footprint Network) จึงได้มีการพัฒนาแนวคิดของการใช้น้ำ กรอบการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้แหล่งน้ำจืดในการผลิตสินค้าหรือเพื่อการดำเนินงานขององค์กร โดยวัดผลกระทบของการแย่งชิงทรัพยากรน้ำจืดในระดับโลก แต่ยังคงมีความกังวลคือการหาวิธีที่ดีที่สุดในการวัดหรือประเมินแนวโน้มการใช้น้ำที่จะส่งผลกระทบต่อท้องถิ่นและภูมิภาคนอกเหนือจากการดึงน้ำมาใช้แบบไม่ยั่งยืนที่อาจเกิดขึ้น ทำให้ช่วงสองสามปีที่ผ่านมากรรมการของ ISO เห็นความจำเป็นในการพัฒนามาตรฐานภายใต้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) มาตรฐานกลุ่ม ISO 14040 series เพื่อประเมินผลกระทบการบริโภคน้ำและมลพิษในลุ่มน้ำทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่

การพัฒนามาตรฐานนี้อยู่ในขั้นเริ่มต้นเมื่อมิถุนายน 2011 ในการประชุมที่เมืองออสโล นอร์เวย์ โดยกำหนดระยะเวลาสามปีนับจากนี้ การพิจารณาเกี่ยวกับกรอบมาตรฐานในบริบท LCA รวมทั้งการออกแบบชนิดผลกระทบที่ควรได้รับการประเมินและความพร้อมของเกณฑ์คุณภาพน้ำและการกำกับดูแล ความเสี่ยงจึงตกไปยังธุรกิจที่ต้องมีการแก้ไขปัญหาการใช้ทรัพยากรน้ำ รวมทั้งความกังวลเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือของห่วงโซ่อุปทานทั้งในแง่ของความพร้อมและคุณภาพของน้ำ การจัดการและการลดการใช้ทรัพยากรผ่านมาตรการที่มีประสิทธิภาพ การลดความเสี่ยงสามารถทำได้โดยการลดวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าและบริการได้ ซึ่งช่วยให้เกิดเงินออมผ่านค่าใช้จ่ายน้ำที่ลดลง ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการสูบน้ำ และค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำที่ลดลง (Laurel Standley, 2011)

ดังนั้นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ไม่เพียงพอในการปรับปรุงในงานวิจัยนี้ น่าจะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการน้ำในประเทศและแนวโน้มมาตรฐาน ISO14046 ที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต

## 2.6 วิธีการประเมินปริมาณการใช้น้ำ

Karin Flury และคณะ, (2011) ได้รวบรวมวิธีการประเมินการใช้น้ำกับแนวทาง LCA ซึ่งจะเข้าสู่มาตรฐานกลุ่ม ISO14040 ไว้หลายวิธี ซึ่งนิยามที่สำคัญของปริมาณการใช้น้ำตลอดวัฏ



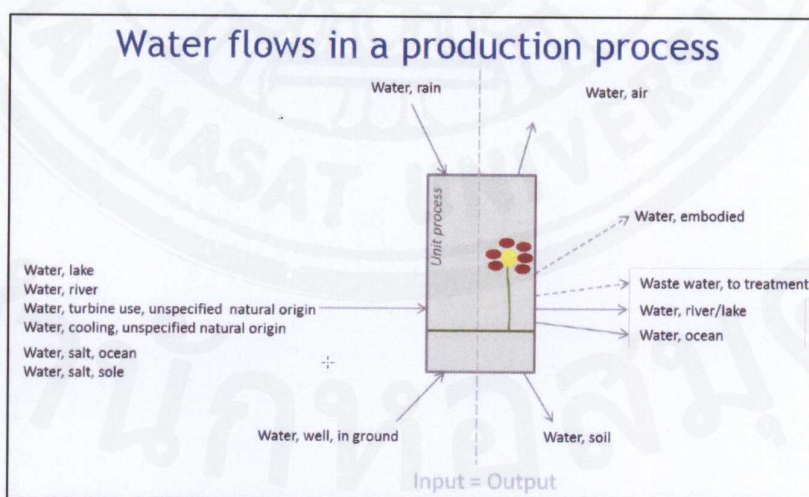
จักรชีวิตมีด้วยกัน 3 แบบคือ Water Footprint, Water Consumption และ Water Use โดยมีนิยามดังนี้

1. Water Footprint คือ ตัวชี้วัดปริมาณน้ำจืดที่ใช้ไม่ได้รวมแค่น้ำใช้ทางตรงของผู้ผลิตหรือผู้บริโภค แต่รวมน้ำใช้ทางอ้อมด้วย แบ่งออกได้เป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีน้ำเงิน สีเขียวและสีเทา

2. Water Use คือ น้ำที่ถูกดึงมาใช้ (WFN) และน้ำที่ถูกดึงกลับมาจากพื้นที่ลุ่มน้ำเดิมและอาจจะถูกใช้โดยผู้ใช้อื่นหลังจากที่ออกจากระบบ (Milà I Canals)

3. Water Consumption ถูกนิยามไว้หลายแบบได้แก่ 1. น้ำที่อ้างอิงมาจากน้ำที่สูญเสียจากน้ำผิวดินในอ่างเก็บน้ำ ที่คืนสู่แหล่งอ่างเก็บน้ำใหม่หรือทะเลหรือรวมอยู่ในตัวผลิตภัณฑ์ (WFN) 2. น้ำที่ถูกใช้และไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ในพื้นที่ (Milà I Canals และคณะ) 3. น้ำจืดที่ถูกดึงไปใช้ทั้งการระเหยไปหรือรวมในผลิตภัณฑ์หรือของเสีย หรืออาจถ่ายเทไปยังลุ่มน้ำใหม่หรืออาจจะไหลลงสู่ทะเล (Pfister et al.)

ผังการไหลของน้ำในกระบวนการผลิตเป็นดังภาพที่ 2.7 และคำอธิบายการไหลของน้ำแต่ละชนิดดังตารางที่ 2.4



ภาพที่ 2.7

ผังการไหลของน้ำในกระบวนการผลิต

ที่มา: Karin Flury และคณะ, (2011)

### ตารางที่ 2.4

การไหลของน้ำระดับปฐมภูมิ คำจำเพาะ และตัวอย่างกรณีกระบวนการเพาะปลูกมันฝรั่ง  
ที่มา: Karin Flury และคณะ, (2011)

|        | Elementary flow        | คำจำเพาะ                                                                      | ตัวอย่างกรณีกระบวนการ<br>เพาะปลูกมันฝรั่ง |
|--------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Input  | water, lake/river      | น้ำที่ดึงมาจากน้ำผิวดิน                                                       | น้ำใช้สำหรับการชลประทาน                   |
|        | Water turbine/cooling  | น้ำที่ถูกใช้ใน hydropower plant /ระบบหล่อเย็น<br>และอื่นๆ ที่ไม่สามารถระบุได้ | /                                         |
|        | water salt, ocean/sole | น้ำเกลือ จากมหาสมุทรหรือสารละลาย                                              | /                                         |
|        | Water, rain            | น้ำฝนในพื้นที่ที่ศึกษา                                                        | ไม่ได้นับ                                 |
|        | Water, embodied        | น้ำที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์                                              | น้ำในเมล็ดมันฝรั่ง                        |
| Output | Water, air             | น้ำที่ระเหยจากพื้นที่/โรงงาน                                                  | น้ำที่ระเหยจากพื้นที่ปลูก                 |
|        | Water, river/lake      | น้ำที่ไหลสู่แหล่งน้ำผิวดิน                                                    | น้ำไหลออกจากพื้นที่                       |
|        | Water ocean            | น้ำที่ไหลสู่มหาสมุทร                                                          | น้ำไหลออกจากพื้นที่                       |
|        | Water soil             | น้ำที่ไหลถูกระบายออกไป                                                        | น้ำที่แทรกซึมลงดิน                        |
|        | Water, embodied        | น้ำที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์                                              | น้ำที่ติดตัวมันฝรั่งที่เก็บเกี่ยว         |

ตัวอย่างวิธีประเมินปริมาณน้ำใช้และน้ำที่ถูกบริโภค (ตารางที่ 2.5) วิธีการประเมินตามแนวทางการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Impact Assessment methods) 3 วิธีและวิธีการอื่นๆ อีก 2 วิธี มีดังนี้

1. Ecological Scarcity Method 2006 มีวัตถุประสงค์ในการประเมินผลกระทบเชิงระยะทางสู่กลุ่มเป้าหมาย โดยมีคุณลักษณะเชิงบูรณาการด้วยการพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลายด้านขึ้นกับนโยบายประเทศสวีเดนแลนด์ มีขอบเขตการพิจารณาในระดับประเทศ และระดับพื้นที่ลุ่มน้ำ

2. ReCiPe ดูปริมาณการสูญเสียน้ำ (Water Depletion) ด้วย ReCiPe Midpoint method เกิดขึ้นจากปัญหาความขาดแคลนน้ำในหลายพื้นที่ แต่ในอีกหลายพื้นที่น้ำก็ยังเป็นทรัพยากรที่สมบูรณ์ ดังนั้นในระดับโลกยังไม่มี การสูญเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้ำที่สูงเกินไป ใน

ขณะเดียวกันในบางพื้นที่ที่แหล่งการใช้น้ำในพื้นที่อาจส่งผลกระทบอย่างใหญ่หลวงต่อระบบนิเวศและสุขภาพของมนุษย์ แต่จนถึงขณะนี้รูปแบบในการประเมินการใช้น้ำยังไม่ถึงระดับปลายทาง Mark Goedkoop และ An De Schryver (2008) จึงเสนอตัวบ่งชี้ที่จุดกึ่งกลางเพื่อแสดงปริมาณน้ำที่ใช้ไปทั้งหมด ประเด็นสำคัญในการพิจารณา ได้แก่ การระเหยของน้ำ การนำน้ำที่ระเหยกลับมาใช้ในอีกกระบวนการผลิต ซึ่งอาจสมมติให้น้ำหายไปจากการใช้น้ำ แต่ยังมีการโต้แย้งเนื่องจากน้ำจะไม่ได้มีการสูญหาย และยังมีกรณีที่น้ำที่นำมาใช้อาจไม่ส่งผลกระทบต่อความขาดแคลนน้ำใดๆ ซึ่งด้วยวิธีการศึกษานี้เสนอการใช้น้ำด้วยวิธี ตัวบ่งชี้ที่จุดกึ่งกลาง (The midpoint indicator) โดยเลือกน้ำ 5 ชนิด จากฐานข้อมูลใน ecoinvent เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด ทั้งนี้ในกรณีอื่นที่มีการใช้น้ำชนิดอื่นอีกควรจะรวมน้ำชนิดอื่นๆ เข้าไปด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ประเมินปริมาณการใช้น้ำจากสารขาเข้าในกระบวนการผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปด้วยวิธีนี้ด้วยเนื่องจากครอบคลุมปริมาณน้ำจืดที่ใช้ทั้งหมด

3. Pfister et al. มีการพิจารณาออกเป็น 3 ด้าน คือ สุขภาพของมนุษย์ คุณภาพของระบบนิเวศน์ และทรัพยากร โดยพิจารณามี Water stress index เท่ากับ  $f$  (ปริมาณการบริโภคน้ำ, ความขาดแคลนน้ำ ซึ่งการวิเคราะห์การใช้น้ำนี้ถือเป็นน้ำสิ้นน้ำเงินจากปริมาณน้ำใช้ 2 ชนิดของฐานข้อมูลคือน้ำทะเลสาบ และน้ำแม่น้ำ วิธีการนี้ปรับวิธีการประเมินผลกระทบจาก Eco-indicator 99 ซึ่งมีขอบเขตการพิจารณาเฉพาะพื้นที่ลุ่มน้ำ

4. Milà I Canals et al. เป็นวิธีการประเมิน 2 ด้าน คือ ผลกระทบต่อระบบ นิเวศน้ำจืดและการสูญเสียน้ำ โดยพิจารณามี Water stress index เท่ากับน้ำที่ถูกใช้ไปหารด้วยปริมาณน้ำที่มนุษย์สามารถนำใช้ได้หลังจากหักจากปริมาณน้ำที่จำเป็นต่อระบบนิเวศน์ ซึ่งน้ำที่นำมาวิเคราะห์จะมีน้ำสิ้นน้ำเงิน คือ น้ำที่ไหลมาจากแม่น้ำ ทะเลสาบ น้ำสีเขียวที่ไม่พิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงจากการใช้พื้นที่

5. Water Footprint เป็นดัชนีชี้วัดปริมาณบริโภคน้ำจืดทั้งทางตรงและทางอ้อมตลอดห่วงโซ่การผลิต ซึ่งมีขอบเขตการพิจารณาผลกระทบในระดับลุ่มน้ำ โดยวัดปริมาณน้ำ แต่ไม่ได้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย จึงไม่ใช่วิธีการวัดแบบ LCIA

## ตารางที่ 2.5

### สรุปคุณลักษณะของวิธีการประเมินการใช้น้ำตัวอย่าง

|                 |                                                | Water<br>Footprint | Milà I<br>Canals<br>et al. | Pfister<br>et al. | ReCiPe | Ecological<br>Scarcity<br>Method |
|-----------------|------------------------------------------------|--------------------|----------------------------|-------------------|--------|----------------------------------|
| Water flow, In  | Water, lake m3                                 | +                  | +                          | +                 | +      | +                                |
|                 | Water, river                                   | +                  | +                          | +                 | +      | +                                |
|                 | Water, turbine use, unspecified natural origin |                    |                            |                   | +      |                                  |
|                 | Water, cooling, unspecified natural origin/    |                    |                            |                   | +      | +                                |
|                 | Water, salt, sole                              |                    |                            |                   |        |                                  |
|                 | Water, salt, ocean                             |                    |                            |                   |        |                                  |
|                 | Water, well, in ground                         |                    |                            | +                 | +      | +                                |
|                 | Water, rain                                    |                    |                            | (+)               |        |                                  |
| Water flow, Out | water, air                                     |                    | +                          |                   |        |                                  |
|                 | water embodied                                 |                    | +                          |                   |        |                                  |
|                 | waste water, to treatment                      |                    | (+)                        |                   |        |                                  |
|                 | water, river/lake                              |                    | (+)                        |                   |        |                                  |
|                 | water, ocean                                   |                    | (+)                        |                   |        |                                  |
|                 | water, soil                                    |                    |                            |                   |        |                                  |
| Boundary        | Rever basin                                    |                    |                            | +                 |        |                                  |
|                 | Water shed                                     | +                  | +                          |                   | +      |                                  |
|                 | National level                                 |                    |                            |                   |        |                                  |
| Method          | Impact assessment                              |                    |                            | +                 | (+)    | +                                |
|                 | Other method                                   | +                  | +                          |                   |        |                                  |

ที่มา: Karin Flury และคณะ, (2011)

นอกจากนี้การประเมินผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำยังมีอีกหลายวิธีได้แก่ EDIP 1997 ของ Wenzel และคณะ, (2000) และ Bayart และคณะ ซึ่งหลักการในการประเมินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เช่น ปริมาณข้อมูลที่ต้องใช้ในการหาปริมาณน้ำด้วยวิธี EDIP 1997 ที่ต้องการข้อมูลน้อยกว่าวิธีของ Bayart และคณะ ซึ่งไม่ได้ถูกกล่าวในงานวิจัยนี้

Karin Flury และคณะ, (2011) ยังได้สรุปประเด็นที่น่าสนใจไว้ว่าการประเมินวงจรชีวิต โดยพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านทรัพยากรน้ำ ต้องมีการพิจารณาและ



อภิปรายนิยามเพื่อบรรจุลงในมาตรฐาน ISO ที่ชัดเจน ทั้งในเรื่องวิธีการพิจารณาและกรอบการประเมิน และข้อมูลทั่วไปที่จะต้องพิจารณา เช่น เชิงปริมาณน้ำ คุณภาพน้ำ ชนิดของทรัพยากรน้ำ ลักษณะพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ และช่วงเวลาที่มุ่งหมาย เป็นต้น

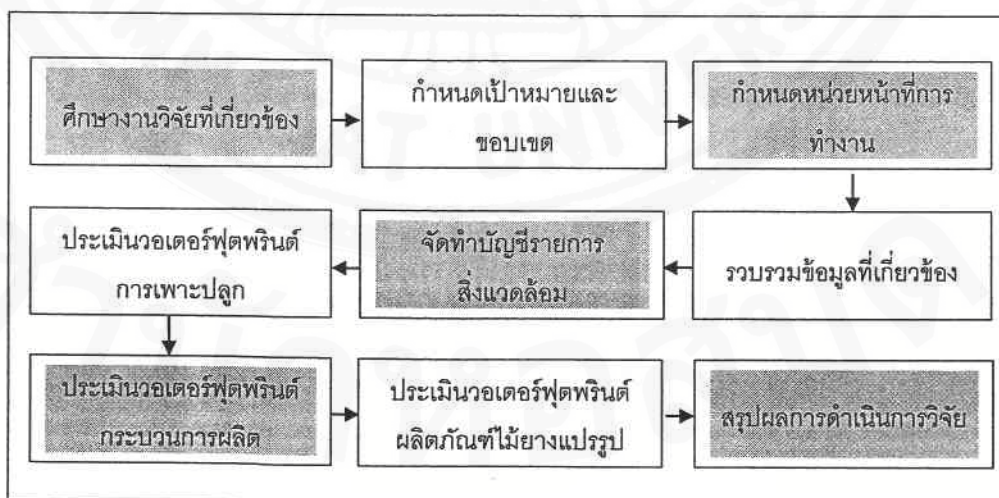




### บทที่ 3

#### การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป (ภาพที่ 3.1) กรณีศึกษา : นครศรีธรรมราชและจันทบุรี หลังจากศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์และการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) การวิจัยนี้ได้เริ่มต้นจากการกำหนดเป้าหมายขอบเขตการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์และหน่วยการคำนวณโดยพิจารณาตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ซึ่งในที่นี้คำนวณในหน่วยลบ.ม.ต่อตันผลผลิตในขอบเขตที่เรียกว่า Cradle to gate ประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์มา แต่จะไม่นรวมขั้นตอนการใช้งานและการกำจัดซาก จากนั้นจัดทำข้อมูลรายการสิ่งแวดล้อมของกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป และคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา ส่วนที่ 2 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์การผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป ทำการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปแบบขั้นตอนสะสม ทั้งวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว สีน้ำเงิน สีเทา และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์รวมและสรุปผลการดำเนินการวิจัย ทั้งนี้ในระหว่างการศึกษาได้ศึกษาทดลองเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์อีกด้วย

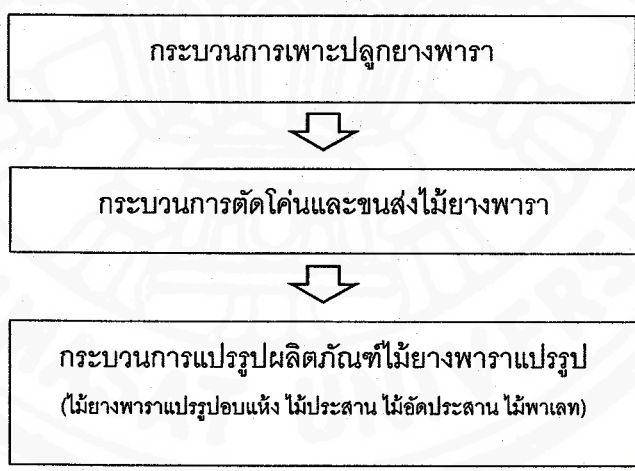


ภาพที่ 3.1

การดำเนินการวิจัยวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป

### 3.1 กำหนดขอบเขตการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป กรณีศึกษา : จังหวัด นครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี โดยประยุกต์ใช้หลักการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Water Footprint: WF) และหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) พิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์โดยเริ่มตั้งแต่การหาวัตถุดิบจนสิ้นสุดกระบวนการในโรงงาน (Candle to Gate) หรือประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เริ่มตั้งแต่การเพาะปลูกยางพาราจนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป คือ ไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง ไม้ประสาน ไม้อัดประสาน ไม้พาเลท (ขอบเขตกระบวนการที่พิจารณาเป็นดังภาพที่ 3.2) จากนั้นคำนวณในรูปปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เป็นลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตันผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ได้ 2 กระบวนการหลัก คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพาราและวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป

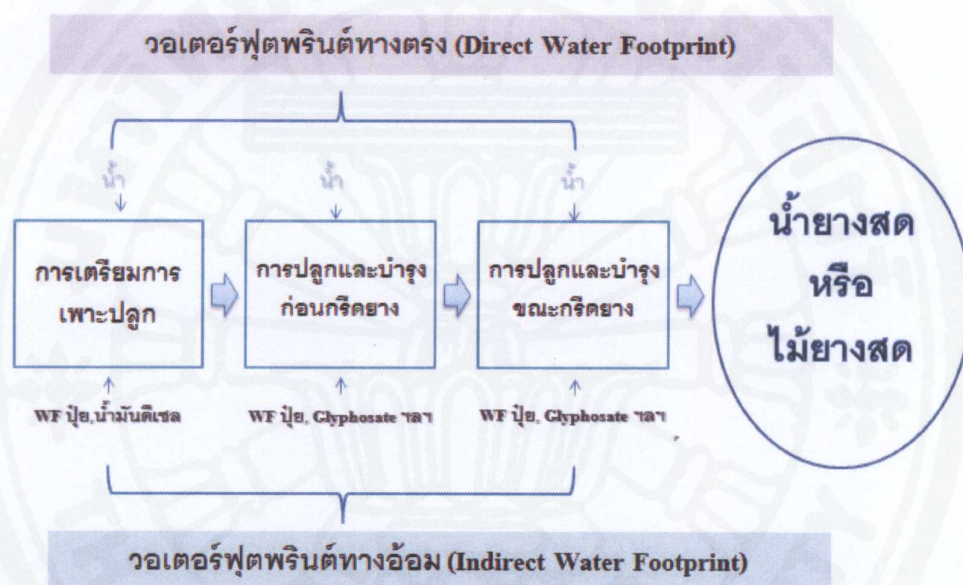


ภาพที่ 3.2

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปอย่างง่าย

3.1.1 คำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา โดยพิจารณาข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาจากจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรีตั้งแต่การเตรียมการเพาะปลูกยางพาราจนถึงยางพาราอายุ 25 ปี (ปี 2528-2553) โดยใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวและสีน้ำเงินทางตรงโดยคำนึงการเจริญเติบโตของพืชแบบไม่จำกัด คำนวณ

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่นำเงินทางอ้อมจากข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory; LCI) และโปรแกรม SimaPro 7.3 และคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่สัมพันธ์กับปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้โดยพิจารณาผลผลิตจากการเพาะปลูกเป็น 2 กรณี คือ 1.ผลผลิตคือน้ำยางสดเพียงอย่างเดียว 2.ผลผลิตคือน้ำยางสดร่วมกับไม้ยางสดด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์ (ภาพที่ 3.3)

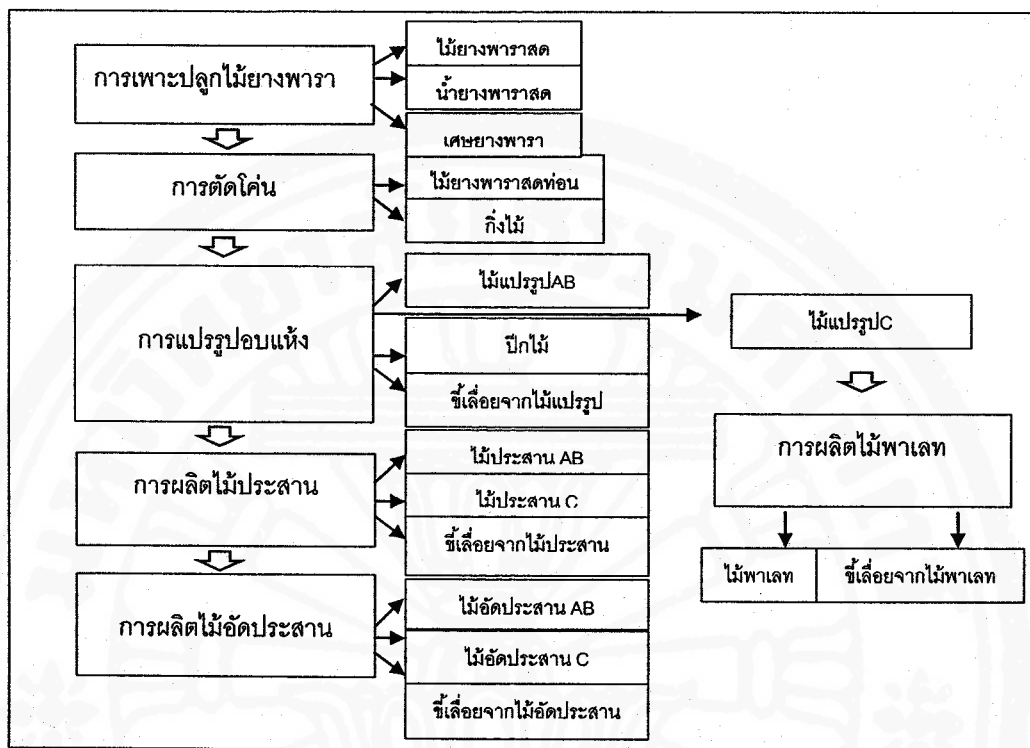


ภาพที่ 3.3

ขอบเขตการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา

3.1.2 คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป (ขั้นตอนตัดโค่นและการขนส่ง ขั้นตอนแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป) โดยพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป คือ ไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง ไม้ประสาน ไม้อัดประสาน ไม้พาเลทจากข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราชและฐานข้อมูลปริมาณการใช้น้ำจากโปรแกรม SimaPro 7.3



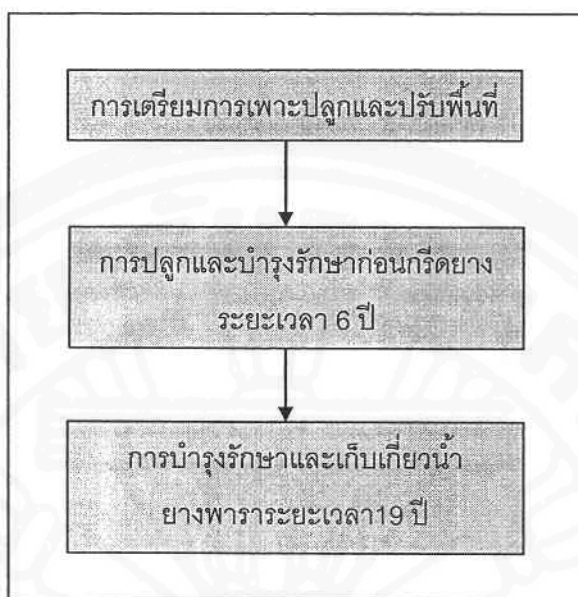


ภาพที่ 3.4

ขอบเขตกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา

ขั้นตอนและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป ได้ถูกรวบรวมไว้โดย กัดจิรา ชัยประสิทธิ์กุล และ นิชา สุโขดมโชติ (2553) มีรายละเอียดดังนี้

1. การเพาะปลูกไม้ยางพารา นับเป็นเป็นจุดเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์โดยเริ่มจากกลุ่มเกษตรกรปรับสภาพพื้นที่เพื่อเตรียมสำหรับการปลูกต้นยางพารา โดยการไถ พรวน ที่ดิน บางพื้นที่อาจมีการใช้สารกำจัดวัชพืชในช่วงนี้ร่วมด้วย หลังจากนั้นจึงเข้าสู่การปลูกและบำรุงรักษาต้นยางพาราก่อนการเปิดกรีด และบำรุงรักษาหลังการเปิดกรีด (เก็บเกี่ยวน้ำยางสด) จนกระทั่งหมดน้ำยาง ในช่วงนี้จะมีการใช้ปุ๋ย ทั้งที่เป็นแม่ปุ๋ย เช่น ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต: DAP, โพแทสเซียมคลอไรด์: MOP และยูเรีย เป็นต้น และปุ๋ยผสมสำเร็จรูป รวมถึงสารเคมี ทั้งยากำจัดวัชพืช ยาปราบศัตรูพืช และยากำจัดโรคพืช เช่น ไกลโฟเซต, พาราควอต และเมทาแลกซิล เป็นต้น โดยแผนภาพการปลูกไม้ ยางพารา แสดงดังภาพที่ 3.5 ทั้งนี้การเก็บข้อมูลสำหรับการปลูกไม้ยางพารา เก็บข้อมูลจากการพื้นที่เพาะปลูก จากจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี

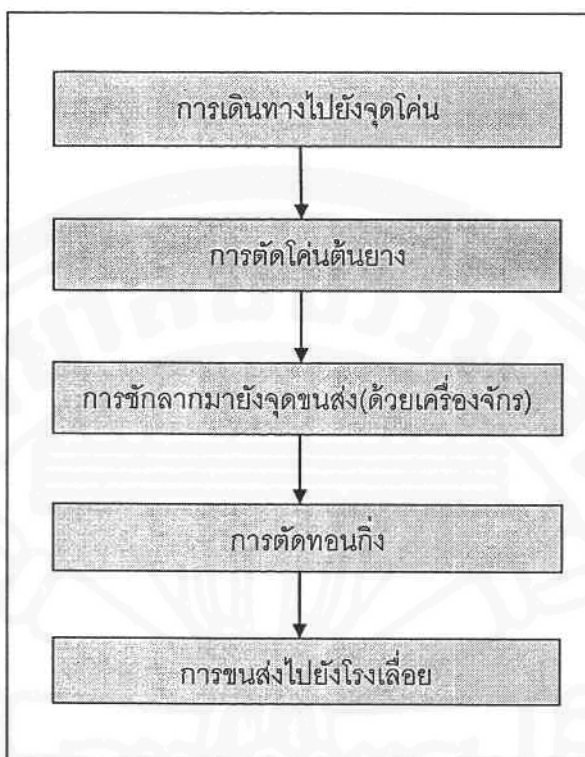


ภาพที่ 3.5

ขอบเขตกระบวนการเพาะปลูกไม้ยางพารา

2. การตัดโค่น เมื่อต้นยางพาราหมดอายุหรือไม่สามารถให้น้ำยางได้ส่วนใหญ่ มีอายุมากกว่า 25 ปีขึ้นไปกลุ่มเกษตรกรจะทำการตัดโค่นเพื่อขนส่งไปยังบริษัทแปรรูปไม้ต่อไป ในขั้นตอนของการตัดโค่นนี้ได้มีการเก็บข้อมูลจากโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช เมื่อทำการตัดโค่นแล้วจะได้ไม้ยางพาราท่อนและกิ่งไม้ (ภาพที่ 3.6)





ภาพที่ 3.6

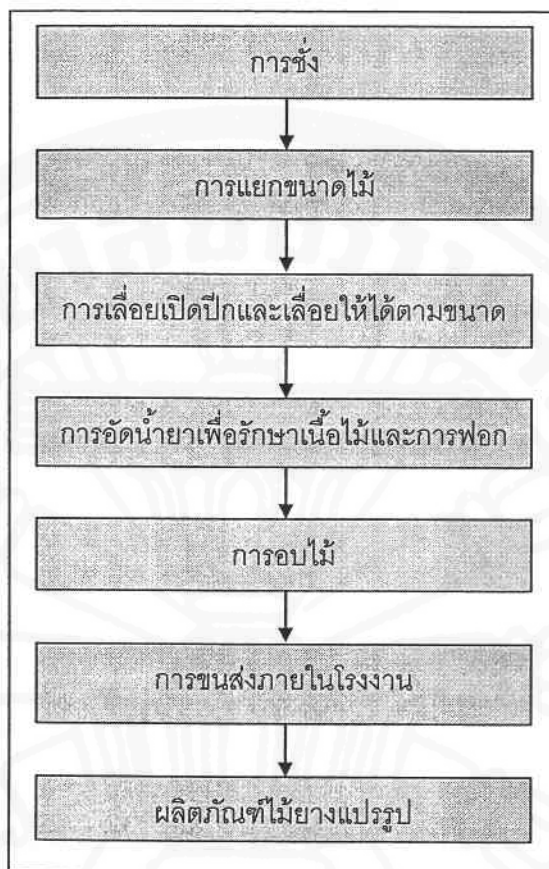
ขอบเขตกระบวนการการตัดโค่นต้นยาง

3. การทำไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง จัดอยู่ในอุตสาหกรรมกลางน้ำ โดยกระบวนการผลิต ไม้แปรรูปเริ่มจากการซอยไม้ให้ได้ขนาดตามต้องการ ก่อนนำไปอาบน้ำยาเพื่อถนอมเนื้อไม้ และ อบเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นจึงนำไม้ที่ได้มาจัดวางเรียงบนพาเลทเพื่อรอส่งมอบให้กับลูกค้าในสายใช้การผลิตลำดับต่อไป โดยผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปที่ได้แบ่งเป็น 2 เกรด ได้แก่ ไม้ยางพาราแปรรูปเกรด AB คือไม้ยางพาราแปรรูปที่มีช่วงความยาวที่ต้องไม่มีตำหนิใดๆ ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 ไม้ยางพาราแปรรูปเกรด C คือไม้ยางพาราแปรรูปที่มีช่วงความยาวที่ต้องไม่มีตำหนิใดๆ ไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 40 ในที่นี้อัตราส่วนไม้ยางพาราแปรรูปเกรด AB:C เท่ากับ 4:1

ในการตัดท่อนมักใช้เลื่อยโซ่ยนต์ ในการตัดท่อนไม้ยางแยกตามขนาดที่โรงงานรับซื้อ ได้แก่ ไม้ท่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกิน 8 นิ้ว และ 8-6 นิ้วยาวประมาณ 1.1 เมตร หรือ 1.3 เมตร สำหรับป้อนโรงเลื่อย ไม้ขนาดต่ำกว่า 6 นิ้ว สำหรับป้อนโรงงานผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดและแผ่นใยไม้อัด และเศษไม้สำหรับขายเป็นฟืนหรือนำไปใช้ผลิตถ่าน ไม้ที่ตัดได้มักถูกขนลำเลียงโดยใช้แรงงานคนขึ้นรถกระบะหรือรถบรรทุกทุกขนาดตามความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่เพื่อขนส่งต่อไปยังจุดหมายปลายทางที่ต้องการ

หลังจากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการแปรรูป โดยเริ่มจากการเลื่อยไม้ยางพารา ซึ่งการเลื่อยไม้ยางพาราแตกต่างจากการเลื่อยไม้ท่อนตรงทั่วไป เนื่องจากท่อนไม้ยางพารามีรูปร่างไม่แน่นอน มักมีความโค้ง ไม่ตรงตลอดท่อน และมีตาและตำหนิบนท่อนไม้มาก จึงยังไม่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการตัดซอยไม้โดยอัตโนมัติได้ รูปแบบการตัดซอยไม้ยางพาราสามารถทำได้หลายแบบ การเลือกแนวการตัดซอยไม้ยางพาราในไทยส่วนใหญ่อาศัยพิจารณาจากความชำนาญของนายไม้ ในการพลิกไม้หลบบริเวณที่มีตำหนิ และเลือกตัดไม้เพื่อให้ได้ไม้เกรดดีและไม้ที่ได้ราคาสูงในปริมาณมากที่สุด โดยการคัดเกรดไม้ยางพาราแปรรูปจะกำหนดตามปริมาณช่วงความยาวที่ไม่มีตำหนิ

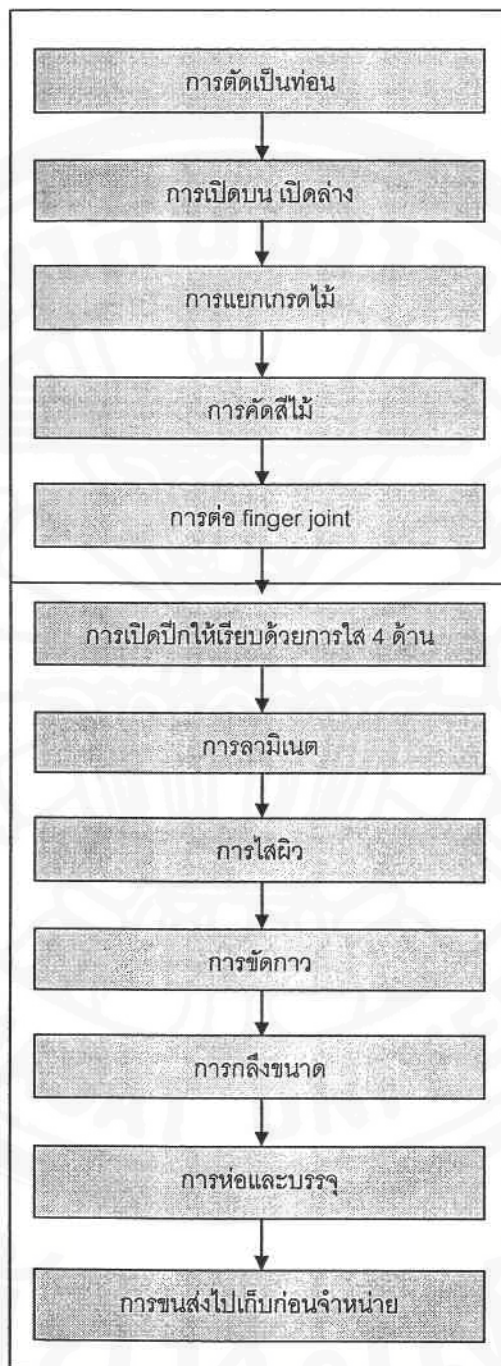
ไม้ยางพาราที่ผ่านการซอยและคัดเกรด จะถูกนำมาจัดเรียงลงพาเลท เพื่อนำไปอัดน้ำยาถนอมเนื้อไม้ โดยไม้ที่ตัดได้จะต้องนำไปอัดน้ำยาโดยเร็วเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเชื้อรา และเพื่อไม่ให้ไม้เปลี่ยนเป็นสีแดงซึ่งเป็นลักษณะสมบัติที่ลูกค้าไม่ต้องการ ปัจจุบัน มีสารเคมีที่สามารถใช้ถนอม เนื้อหลายชนิด แต่สารเคมีที่นิยมใช้กับไม้ยางพาราเป็นสารถนอมเนื้อไม้กลุ่มละลายน้ำ นั่นคือสารประกอบโบรอน หรือ "น้ำยาอัดขาว" เนื่องจากไม้ยางพารามีสมบัติดูดซับสารเคมีชนิดนี้ได้ดี ทั้งยังเป็นสารเคมีที่มีราคาถูกสามารถหาซื้อได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นสารเคมีในไม้ที่ชนิดที่ให้ผลทั้งในด้านการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและการป้องกันแมลงศัตรูไม้ ที่ใช้ได้กับไม้ยางพารา แต่การละลายน้ำและแพร่กระจายในเนื้อไม้ยางพาราได้ดีของสารละลายโบรอนก็เป็นข้อเสีย เพราะทำให้สารที่อัดเข้าไปในเนื้อไม้ ถูกชะออกมากจากเนื้อไม้ได้โดยง่ายเช่นกัน ทำให้ต้องมีการเคลือบผิวเพื่อป้องกันความชื้น และต้องจำกัดการใช้ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราเฉพาะในที่แห้ง ในอาคารและในงานที่ไม่สัมผัสอาหารหรือสัมผัสกับผิวหนังมนุษย์และสิ่งมีชีวิตมากนัก และเนื่องจากน้ำยาถนอมเนื้อไม้ที่ใช้เป็นสารละลายน้ำ ทำให้มีน้ำในเนื้อไม้มาก จึงจำเป็นต้องปรับความชื้นในเนื้อไม้ให้อยู่ในระดับสมดุลกับสภาวะอากาศ เพื่อให้ไม้คงรูป ไม่เกิดปัญหาการยืดหรือหดตัวของไม้ จนก่อให้เกิดปัญหาการแตกที่ผิวและภายในเนื้อไม้ (Cracking) การแตกตามหัวไม้ (Splitting) การบิดงอ (Warping) รวมถึงความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์และสิ่งก่อสร้าง การลดความชื้นในเนื้อไม้ ยังช่วยลดโอกาสเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยระดับความชื้นที่เหมาะสมที่หน่วยงานต่างๆ แนะนำอยู่ที่ ประมาณร้อยละ 8 ถึง 16 โดยส่วนใหญ่โรงเลื่อยจะควบคุมความชื้นของไม้ในระดับไม่เกิน ร้อยละ 12 ทั้งนี้แผนภาพกระบวนการผลิตไม้แปรรูปดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7

ขอบเขตกระบวนการทำไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง

4. การทำไม้ประสานและไม้อัดประสาน โดยไม้ประสาน หมายถึงผลิตภัณฑ์ไม้ที่เกิดจากการนำไม้ชิ้นเล็กมาประกบกันด้วยกาว โดยให้เส้นไม้ของชิ้นที่ติดอยู่ในแนวเดียวกัน เนื่องจากไม้ยางพาราเป็นไม้โตเร็ว มีตำหนิจากตา การโก่ง บิดงอ การประสานจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการทำให้เป็นแผ่นใหญ่หรือท่อนยาวมากขึ้น เช่น หน้าโต๊ะ พนักเตียง พื้นบันได เป็นต้น โดยมี ไฟฟ้า และกาวเป็นปัจจัยหลักของการผลิต และไม้อัดประสาน ซึ่งหมายถึง ไม้ที่มีการประสานหน้าไม้เพื่อให้ไม้มีขนาดใหญ่ขึ้น และกว้างขึ้นเพื่อการใช้งานต่อไป ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ร่วมที่เกิดจากการผลิต อาทิเช่น ชี้อัดจากกระบวนการต่างๆ และปีกไม้ เป็นต้น มักใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในโรงงาน แต่ในบางกรณีจะขายให้กับลูกค้า เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงด้วยเช่นกัน โดยแผนภาพของการผลิตไม้ ประสานและไม้อัดประสาน แสดงดังภาพที่ 3.8

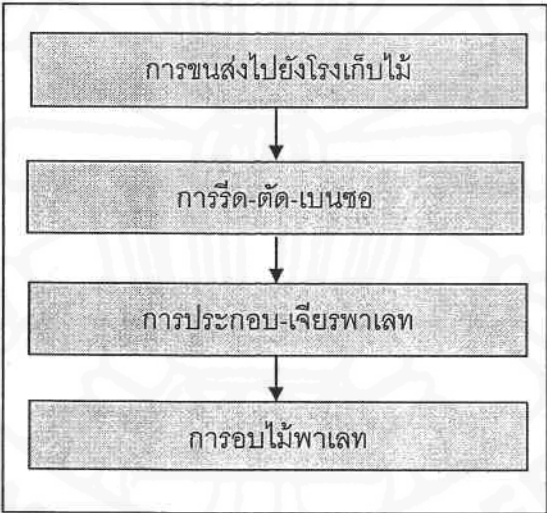


ภาพที่ 3.8

ขอบเขตกระบวนการทำให้ประสานและไม้อัดประสาน



5. การทำไม้พาเลท ไม้พาเลทผลิตจากไม้แปรรูป C ซึ่งในปัจจุบัน ไม้พาเลทมีบทบาทในแง่ของข้อกำหนดสำหรับวัสดุบรรจุภัณฑ์ไม้เพื่อการส่งออก ตามมาตรฐานระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานการสุขอนามัยพืช ฉบับที่ 15 กำหนดวิธีในการปฏิบัติเพื่อควบคุมกำจัดศัตรูพืชที่อาศัยอยู่ในวัสดุบรรจุภัณฑ์ไม้ที่ใช้ขนส่งไปต่างประเทศ รวมทั้งข้อปฏิบัติเพื่อขอใบรับรองและ/หรือ ข้อประทับตราเครื่องหมายรับรองบนวัสดุบรรจุภัณฑ์ ซึ่งวัสดุบรรจุภัณฑ์ไม้ ขั้นตอนการทำไม้พาเลท ประกอบด้วย การรีด-ตัด-เบนซอ การประกอบ-เจียรพาเลท การอบไม้พาเลท (ภาพที่ 3.9) ซึ่งกำหนดให้ได้ไม้พาเลทขนาดมาตรฐาน 100x120 ซม. ความหนาบน 15 มม. ความหนากลาง 15 มม. ความหนาล่าง 15 มม. ไม้พาเลท 1 ชั้น หนัก 20 กก.



ภาพที่ 3.9  
ขอบเขตกระบวนการทำไม้พาเลท

3.2 หน่วยหน้าที่การทำงาน

คำนวณวอเดอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว สีน้ำเงิน สีเทา และวอเดอร์ฟุตพริ้นต์รวม โดยคำนวณในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต (m<sup>3</sup>/ton) ดังนี้

3.2.1 วอเดอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว สีน้ำเงิน สีเทา และวอเดอร์ฟุตพริ้นต์รวมการเพาะปลูกยางพาราคำนวณในหน่วย ลบ.ม.ต่อตันน้ำยางสด และลบ.ม.ต่อตันไม้ยางพาราสด



3.2.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว สีนํ้าเงิน สีเทา และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์รวมผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปในหน่วยลบ.ม.ต่อตันไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้งลบ.ม.ต่อตันไม้ประสานลบ.ม.ต่อตันไม้อัดประสาน และลบ.ม.ต่อตันไม้พาเลท

### 3.3 โปรแกรมที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการวิจัย

3.3.1 โปรแกรม CROPWAT 8.0 ในการหาค่าการคายระเหยน้ำของพืช (Rainwater Evapotranspiration:ET<sub>e</sub>) และปริมาณน้ำฝนใช้การ (Effective Rainfall: P<sub>eff</sub>)เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ในส่วนการปลูกยางพาราโดยรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมหาดังต่อไปนี้

3.3.1.1 ข้อมูลภูมิอากาศได้แก่ค่าต่ำสุด-สูงสุดของอุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน, ช่วงเวลาที่แสงแดดเฉลี่ยรายเดือน, ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนและปริมาณน้ำฝนรายเดือนจากกรมอุตุนิยมวิทยาปี 2528-2553

3.3.1.2 ข้อมูลพืชได้แก่ช่วงอายุของการเจริญเติบโต (Crop Development Stage) สัมประสิทธิ์พืช (Crop Factors :K<sub>c</sub>;K<sub>c,initial</sub>, K<sub>c,mid</sub>,K<sub>c,late</sub>) ความยาวของรากพืชช่วงอายุ ความสูงและการตอบสนองต่อการขาดน้ำของพืช (Yield response factors) (ภาคผนวก ค)

3.3.1.3 ข้อมูลดินได้แก่ชนิดของดินที่ใช้ปลูกยางพารา

3.3.2 โปรแกรม SimaPro 7.3 หาปริมาณน้ำใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปเขียนข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) (ภาคผนวก ข) โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของสารขาเข้าและสารขาออกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ด้วย 2 วิธีคือ

3.3.2.1 All Water in Process system จาก Ecoinvent Version: 2.2 มีข้อมูลทรัพยากรน้ำทั้งสิ้น 8 ชนิด 1.cooling unspecified natural origin/m<sup>3</sup> 2.lake 3.river 4.salt ocean 5.salt sole 6.turbine use, unspecified natural origin 7.unspecified natural origin/m<sup>3</sup> 8.well, in ground

3.3.2.2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 จากโปรแกรมSimaPro 7.3 ซึ่งรวมข้อมูลทรัพยากรน้ำขาเข้าทั้งสิ้น 5 ชนิดจาก 1.lake 2.river 3.cooling unspecified natural origin/m<sup>3</sup> 4.turbine use, unspecified natural origin 5. Water in ground (Goedkoop และคณะ, 2009)

### 3.4 การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

การทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมโดยเริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลทั้งข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิ โดยข้อมูลส่วนแรกการปลูกยางพาราเริ่มตั้งแต่การเพาะปลูกยางพาราจนถึง ยางพาราอายุ 25 ปี โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

1. ขั้นตอนการเตรียมเพาะปลูกและการปรับพื้นที่
2. ขั้นตอนการปลูกและการบำรุงก่อนกรีดยาง (6 ปี)
3. ขั้นตอนการปลูกและการบำรุงรักษาขณะกรีดยาง (19 ปี)

จากแบบสอบถามกับสำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง หรือ สกย. ของ จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรีเป็นฐานข้อมูลซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลในปี 2553 ตัวอย่าง ข้อมูลในการจัดเก็บได้แก่ ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ให้แก่ยางพารา ปริมาณการใช้พลังงาน ข้อมูลผลผลิต เฉลี่ยน้ำยางแห้งและของจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี ข้อมูลปริมาณเนื้อยางใน ธรรมชาติจาก สถาบันวิจัยยาง (2555) และข้อมูลปริมาณไม้ยางพาราสดเฉลี่ยต่อไร่จาก ภาควิชา ชัยประสิทธิภาพ และนิชา สุโขดมโชติ (2553) จากนั้นจัดทำบัญชีสารขาเข้าและสารขาออกการ เพาะปลูกยางพารา และดำเนินการปันส่วนทั้งเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์แก่ผลิตภัณฑ์ที่ เกี่ยวข้อง

การจัดรวมรวบข้อมูลส่วนที่ 2 กระบวนการผลิตในโรงงาน รวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป คือ ไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง ไม้ประสาน ไม้อัด ประสาน ไม้พาเลทจัดทำบัญชีสารขาเข้าและสารขาออกของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัด นครศรีธรรมราช ค่าการปันส่วนทั้งเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์แก่ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง (ภาคผนวก ก)

เมื่อรวบรวมบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเรียบร้อยแล้วจึงทำการตรวจสอบความ เหมาะสมและการยอมรับของข้อมูลจัดทำข้อมูลแบบ Gate to Gate แต่ละกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่สนใจ โดยในงานวิจัยนี้ในส่วนบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมพิจารณาสารขาออกเฉพาะ สารที่มีปริมาณเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์โดยตรงเท่านั้น ไม่ได้ประเมินรวมมลสารที่เกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิต (ภาคผนวก ข)

### 3.5 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา

วิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพาราสามารถศึกษาจากคู่มือการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (Hoekstra A.Y. และคณะ, 2011) และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์กระบวนการเพาะปลูกพืชจากงานวิจัยวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว สีน้ำเงิน และสีเทาของพืชและผลิตภัณฑ์จากพืช (Mekonnen M.M. และ Hoekstra A.Y., 2010) โดยค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์กระบวนการปลูกพืชรวม ( $WF_{proc}$ ) มาจากผลรวมค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 3 ส่วน คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว ( $WF_{proc\ green}$ ) วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำเงิน ( $WF_{proc\ blue}$ ) และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเทา ( $WF_{proc\ grey}$ ) ดังสมการที่ 1

$$WF_{proc} = WF_{proc\ green} + WF_{proc\ blue} + WF_{proc\ grey} \quad (1)$$

โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำที่พืชใช้ (Crop Water Use, CWU) และปริมาณผลผลิต (Crop Yield, Y) ดังสมการที่ 2

$$WF_{proc} = \frac{CWU_{green} + CWU_{blue} + CWU_{grey}}{Y} \quad (2)$$

#### 3.5.1 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว (Green Water Footprint)

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว (Green Water Footprint) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$WF_{proc, green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (3)$$

โดยที่  $CWU_{green}$  = ปริมาณน้ำสีเขียวที่พืชใช้คำนวณได้จากสมการที่ 4

$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgP} ET_{green} \quad (4)$$

$$ET_{green} = \min(ET_c, P_{eff}) \quad (5)$$

เมื่อ  $ET_{green}$  คือ ค่าการคายระเหยน้ำสีเขียวของพืช (Green Water Evapotranspiration) หากค่าที่น้อยกว่าระหว่าง  $ET_c$  คือ ค่าการคายระเหยน้ำของพืช (Rainwater Evapotranspiration) และ  $P_{eff}$  คือ ปริมาณน้ำฝนใช้การ (Effective Rainfall) ซึ่งได้จากโปรแกรม CROPWAT 8.0

$$Y = \text{ผลผลิต (ตัน)}$$

### 3.5.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีฟ้า (Blue Water Footprint)

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีฟ้า (Blue Water Footprint) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$WF_{proc,blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad (6)$$

โดยที่

$$CWU_{blue} = \text{ปริมาณน้ำสีฟ้าที่พืชใช้คำนวณได้จากสมการที่ 7}$$

$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{blue} \quad (7)$$

$$ET_{blue} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \quad (8)$$

เมื่อ  $ET_{blue}$  คือ ค่าการคายระเหยน้ำสีเขียวของพืช (Green Water Evapotranspiration) หากค่าที่มากกว่าระหว่าง 0 และ  $ET_c$  คือ ค่าการคายระเหยน้ำของพืช (Rainwater Evapotranspiration) ลบด้วย  $P_{eff}$  คือ ปริมาณน้ำฝนใช้การ (Effective Rainfall) ซึ่งได้จากโปรแกรม CROPWAT 8.0

$$Y = \text{ผลผลิต (ตัน)}$$

### 3.5.3 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเทา (Grey Water Footprint)

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเทา (Grey Water Footprint) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 9

$$WF_{\text{proc, grey}} = \frac{CWU_{\text{grey}}}{Y} \quad (9)$$

โดยที่  $CWU_{\text{grey}}$  = ปริมาณน้ำสีเทาที่พืชใช้คำนวณได้จากสมการที่ 10

$$CWU_{\text{grey}} = (\alpha \times AR) / (c_{\text{max}} - c_{\text{nat}}) \quad (10)$$

เมื่อ  $(\alpha \times AR)$  = 10% ของปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ให้กับยางพารา

$C_{\text{max}}$  คือ ค่ามาตรฐานความเข้มข้นมากที่สุดของไนโตรเจนที่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อมพ.ศ. 2535 คือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

$C_{\text{nat}}$  = ค่าความเข้มข้นไนโตรเจนของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ สมมุติเท่ากับ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร

$Y$  = ผลผลิต (ตัน)

เมื่อคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว สีนํ้าเงิน สีเทา ในส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทางตรง (Direct Water Footprint) แล้ว และหาปริมาณน้ำของสารที่เกี่ยวข้องจากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของกระบวนการเพาะปลูกยางพาราโดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.3 ซึ่งส่วนนี้จะถือวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทางอ้อม (Indirect Water Footprint) จากนั้นคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แบบขั้นตอนสะสม ค่าคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกรวมเป็นลูกบาศก์เมตรต่อตันผลผลิต โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ผลผลิตคือนํ้ายางสดเพียงอย่างเดียว และกรณีที่ 2 ผลผลิตคือนํ้ายางสดร่วมกับนํ้ายางสดโดยนํ้ามาบั่นส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์

### 3.6 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การแปรรูปผลิตภัณฑ์นํ้ายางพารา

ศึกษาการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่เกี่ยวข้องกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นํ้ายางพาราแปรรูป จาก Hoekstra A.Y. และคณะ (2011) ซึ่งสรุปวิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ได้ 2 วิธีการดังนี้

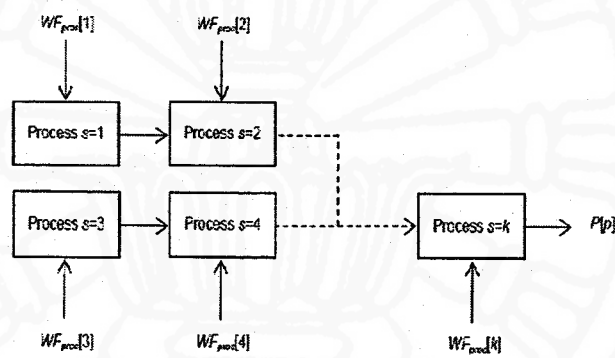
3.6.1 การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์วิธีการรวมสายโซ่ (chain-summation approach) เป็นการคำนวณค่าปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์โดยรวม



ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แต่ละกระบวนการในห่วงโซ่การผลิตที่ใช้ในกรณีผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมามีเพียงชนิดเดียว มีสมการการคำนวณดังนี้

$$WF_{prod}[p] = \sum_{s=1}^k \frac{WF_{proc}[s]}{P[p]} \tag{11}$$

โดยที่  $WF_{prod}[p]$  = ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์ p  
 $WF_{proc}[s]$  = ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ในกระบวนการย่อย s  
 $P[p]$  = ปริมาณผลิตภัณฑ์ p ที่ผลิตได้ (ตัน)



รูปที่ 3.10  
การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์วิธีการรวมสายโซ่  
(chain-summation approach)  
ที่มา: Hoekstra และคณะ (2011)

3.6.2 การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์วิธีการแบบขั้นตอนสะสม (step-wise accumulative approach) เป็นการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ โดยการรวมวอเตอร์ฟุตพริ้นต์วัตถุดิบเข้าทุกชนิดตามสัดส่วนปริมาณที่ใช้กับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ใช้ในกรณีผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลายชนิดมีสมการการคำนวณดังนี้

$$WF_{prod}[p] = (WF_{proc}[p] + \sum_{i=1}^v \frac{WF_{prod}[i]}{fp[p,i]} \times fv[p]) \tag{12}$$

$$fp[p,i] = \frac{w[p]}{w[i]}$$

(13)

$$fv[p] = \frac{price[p] \times w[p]}{\sum_{p=1}^z (price[p] \times w[p])}$$

(14)

- โดยที่
- $WF_{prod}[p]$

$WF_{prod}[i]$

$WF_{proc}[p]$

$f_p[p,i]$

$f_v[p]$

$w[p]$

$w[i]$

$price[p]$

= ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลิตภัณฑ์(ปริมาตรต่อน้ำหนัก)

= ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์วัตถุดิบเข้า i

= ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของกระบวนการแปรรูปจากวัตถุดิบเป็นผลิตภัณฑ์ (ปริมาตรต่อน้ำหนัก)

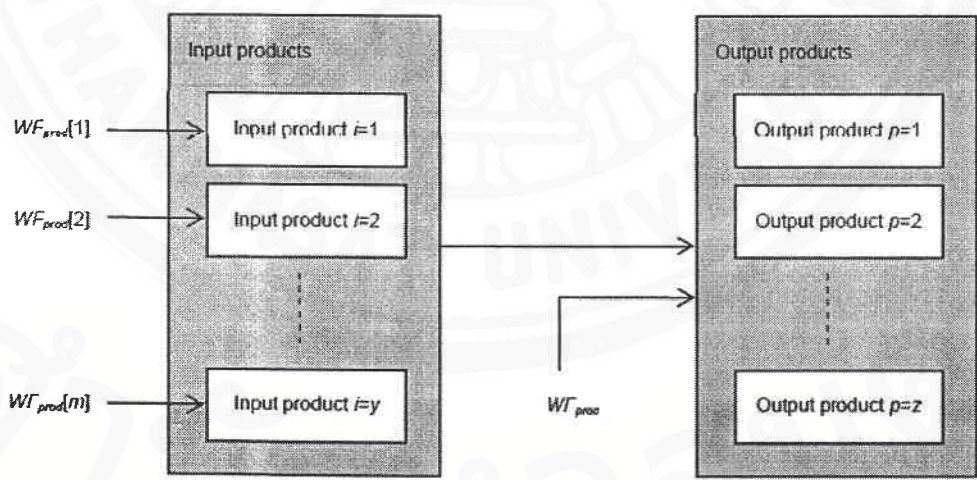
= ผลิตภาพของผลิตภัณฑ์

= ผลิตภาพของมูลค่าของผลิตภัณฑ์

= ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาออก

= ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาเข้า

= ราคาของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 3.11

การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์วิธีการแบบขั้นตอนสะสม  
(step-wise accumulative approach)  
ที่มา: Hoekstra และคณะ (2011)

รูปแบบอย่างง่ายของวิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แบบขั้นตอนสะสมของผลิตภัณฑ์เมื่อการนำผลิตภัณฑ์หนึ่งผลิตภัณฑ์เข้าสู่กระบวนการผลิตและได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเพียงผลิตภัณฑ์เดียวสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$WF_{prod}[p] = WF_{proc}[p] + \frac{WF_{prod}[i]}{fp[p,i]} \quad (15)$$

ซึ่งในการดำเนินการวิจัยนี้ได้รับรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI) มาวิเคราะห์หาข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นต์โดยรวมผลิตภัณฑ์ไม่แยกการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แบบขั้นตอนสะสม โดยแบ่งออกเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทางตรง (Direct Water Footprint) และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ทางอ้อม (Indirect Water Footprint) และใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 ในการหาข้อมูลการใช้น้ำของวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไม่แยกการคำนวณ

$$\sum_{s=1}^k WF_{proc}[s] = \text{Direct Water Footprint} + \text{Indirect Water Footprint} \quad (16)$$

โดย  $\sum_{s=1}^k WF_{proc}[s] = \text{วอเตอร์ฟุตพริ้นต์โดยรวมของกระบวนการผลิต } s$

### 3.7 การดำเนินการวิจัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์

เนื่องจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ในส่วนของโปรแกรม CROPWAT ได้แก่ ช่วงอายุของการเจริญเติบโต (Crop Development Stage) สัมประสิทธิ์พืช (Crop Factors :  $K_c; K_{c,initial}, K_{c,mid}, K_{c,late}$ ) ความยาวของรากพืชช่วงอายุ ความสูงและการตอบสนองต่อการขาดน้ำของพืช (Yield response factors) รวมทั้งชนิดของดิน ในกรณีของยางพารามีข้อมูลสามารถอ้างอิงจากหลายแหล่งที่มาซึ่งแตกต่างกัน เช่น ข้อมูลของ FAO (1998) ข้อมูลงานวิจัยในประเทศ (สมเจตน์ ประทุมมิตร, 2543) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ จึงได้ดำเนินการทดลองผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ เหล่านี้ ดังนี้

1. วิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำของยางพารา เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า  $K_c$  เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 กับข้อมูลการปลูกยางพารารายปีตั้งแต่ปี 2528-2553กับทั้งนครศรีธรรมราชและจันทบุรี (ภาคผนวก ข)

2. วิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำของยางพารากับข้อมูลค่าเฉลี่ยปี 2528-2553 เทียบเป็นข้อมูลชุดเดียวเพื่อคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำของการเพาะปลูกยางพารา 25 ปี โดยใช้ฐานข้อมูลจังหวัดนครศรีธรรมราช

2.1 เปลี่ยนช่วงอายุของการเจริญเติบโตเปลี่ยนแปลง (Crop Development Stage)

2.2 สัมประสิทธิ์พืช (Crop Factors :  $K_c; K_{c,initial}, K_{c,mid}, K_{c,late}$ )

2.3 ค่าความยาวของรากพืชเพิ่มขึ้น

2.4 ค่าเฉลี่ยความสูงยางลดลง

2.5 การเพิ่มหรือลดการตอบสนองต่อการขาดน้ำของพืช (Yield response factors)

2.6 เปลี่ยนชนิดของดิน

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

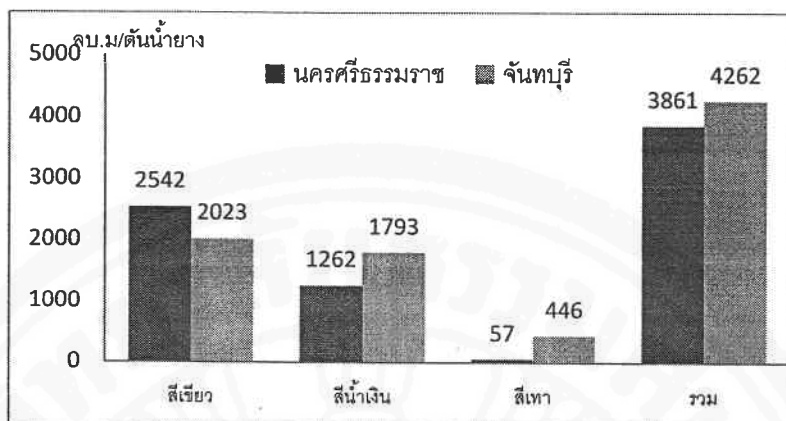
จากการดำเนินการศึกษา รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป ผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เป็นดังนี้

#### 4.1 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา

ผลการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา โดยพิจารณาข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาจากจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี ตั้งแต่การเตรียมการเพาะปลูกยางพาราจนถึงยางพาราอายุ 25 ปี (ปี 2528-2553) การรวบรวมและจัดทำข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory; LCI) (ภาคผนวก ข) คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวและสีน้ำเงินทางตรงโดยใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 (ภาคผนวก ค) และการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีน้ำเงินทางอ้อม ใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro 7.3 ในการหาปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตของสารขาเข้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ (ภาคผนวก จ) และคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเทาสัมพันธ์กับปริมาณปุ๋ยในโตรเจนที่ใช้โดยพิจารณาผลผลิตจากการเพาะปลูกเป็น 2 กรณี คือ 1.ผลผลิตคือน้ำยางสดเพียงอย่างเดียว 2.ผลผลิตคือน้ำยางสดร่วมกับไม้ยางพาราสด ด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณและปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์ (ภาคผนวก ก)

ผลการศึกษาพบว่ากรณีที่ 1 พิจารณาผลผลิตน้ำยางสดเป็นผลผลิตจากการเพาะปลูกเพียงอย่างเดียวโดยถือว่าไม้ยางพาราสดเป็นผลพลอยได้ไม่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ และวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำจากสารขาเข้าในกระบวนการเพาะปลูกจากแบบที่ 1 All Water in Process System จะได้วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดรวมจากนครศรีธรรมราชและจันทบุรีคือ 3861 ลบ.ม.ต่อตันน้ำยางสด และ 4262 ลบ.ม.ต่อตันน้ำยางสด (ภาพที่ 4.1) โดยนครศรีธรรมราชมีการปริมาณน้ำฝนใช้การหรือค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียวการมากกว่าจันทบุรี (วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง)

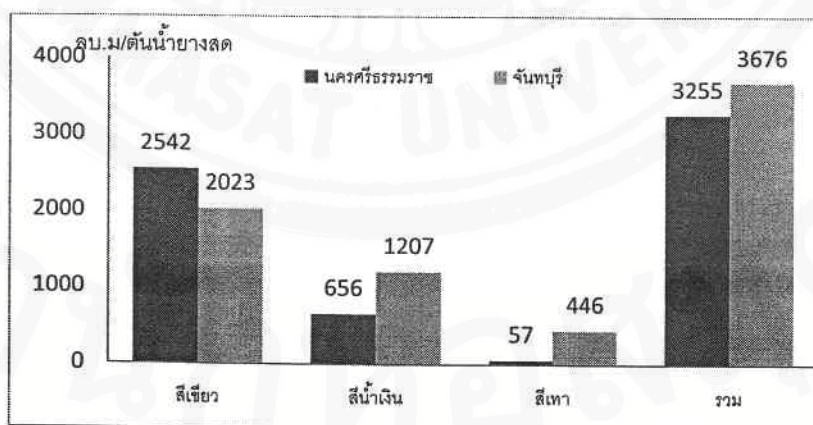




ภาพที่ 4.1

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี  
ปีพ.ศ.2528-2553 (แบบ All Water in Process System)

พิจารณาผลผลิตน้ำยางสดเป็นผลผลิตจากการเพาะปลูกเพียงอย่างเดียวโดยถือว่าไม่ยางพาราสดเป็นผลพลอยได้ไม่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ และคิดปริมาณการใช้น้ำจากสารขาเข้าในกระบวนการเพาะปลูกจากแบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H \_Method จะได้วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางพาราสดรวมจากนครศรีธรรมราชและจันทบุรีคือ 3255 และ 3676 ลบ.ม.ต่อตันน้ำยางสด (ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี  
ปีพ.ศ.2528-2553 (แบบ ReCiPe Midpoint (H) V1.06)

เมื่อเปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดจากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Mekonnen และ Hoekstra, (2010) พบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดจังหวัดนครศรีธรรมราชและ จังหวัดจันทบุรีน้อยกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดของโลก จีน กัมพูชา มาเลเซีย และบรูไน (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1  
วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดที่ได้กับงานวิจัยต่างประเทศ

| พื้นที่                       | ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดรวม (ลบ.ม.ต่อตัน) |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|
| นครศรีธรรมราช (All Water)     | 3861                                          |
| จันทบุรี (All Water)          | 4262                                          |
| นครศรีธรรมราช (ReCiPe Method) | 3266                                          |
| จันทบุรี (ReCiPe Method)      | 3676                                          |
| โลก                           | 13748                                         |
| ไทย                           | 7952                                          |
| จีน                           | 7346                                          |
| กัมพูชา                       | 11547                                         |
| มาเลเซีย                      | 21182                                         |
| บรูไน                         | 280608                                        |

กรณีที่ 2 พิจารณาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสด ไนยางพาราสด และเศษยางพาราด้วยวิธีปันส่วน 2 แบบ การปันส่วนเชิงปริมาณ และการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งค่าตัวประกอบการปันส่วนแสดงในภาคผนวก ก ผลการดำเนินการศึกษาเป็นดังนี้

การปันส่วนเชิงปริมาณ พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลผลิตจากการเพาะปลูกจากจังหวัดนครศรีธรรมราช ผลผลิตที่เกิดขึ้นคือ ยางพาราสด น้ำยางสด และเศษยาง มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์โดยรวมของผลผลิตจากจังหวัดนครศรีธรรมราชน้อยกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลผลิตจากการเพาะปลูกจากจังหวัดจันทบุรี ทั้งการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำจากสาร

เข้าในกระบวนการเพาะปลูกจากแบบที่ 1 All Water in Process System และ แบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 ดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลผลิตจากการเพาะปลูกด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณ จังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดจันทบุรี ปีพ.ศ.2528-2553 แบบที่ 1 All Water in Process System

| พื้นที่       | ผลผลิต       | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน) |           |       |                  |      |
|---------------|--------------|---------------------------------|-----------|-------|------------------|------|
|               |              | สีเขียว                         | สีน้ำเงิน | สีเทา | สีน้ำเงินทางอ้อม | รวม  |
| นครศรีธรรมราช | ไม้ยางพาราสด | 613                             | 157       | 14    | 147              | 931  |
|               | น้ำยางสด     | 613                             | 157       | 14    | 147              | 931  |
|               | เศษยาง       | 593                             | 157       | 13    | 142              | 906  |
| จันทบุรี      | ไม้ยางพาราสด | 493                             | 293       | 109   | 144              | 1038 |
|               | น้ำยางสด     | 486                             | 289       | 107   | 142              | 1023 |

ตารางที่ 4.3

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลผลิตจากการเพาะปลูกด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณ จังหวัดนครศรีธรรมราชและ จังหวัดจันทบุรี ปีพ.ศ.2528-2553 แบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06

| พื้นที่       | ผลผลิต       | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน) |           |       |                  |      |
|---------------|--------------|---------------------------------|-----------|-------|------------------|------|
|               |              | สีเขียว                         | สีน้ำเงิน | สีเทา | สีน้ำเงินทางอ้อม | รวม  |
| นครศรีธรรมราช | ไม้ยางพาราสด | 613                             | 157       | 14    | 98               | 883  |
|               | น้ำยางสด     | 613                             | 157       | 14    | 98               | 883  |
|               | เศษยาง       | 593                             | 157       | 13    | 95               | 854  |
| จันทบุรี      | ไม้ยางพาราสด | 493                             | 293       | 109   | 150              | 1045 |
|               | น้ำยางสด     | 486                             | 289       | 107   | 148              | 1029 |

การปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดมากกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ไม้ยางพาราสดทั้งจากนครศรีธรรมราชและจันทบุรี โดยชนิดของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว สีส้ม และสีเทา ตามลำดับ ตารางที่ (4.4 - 4.5)

ตารางที่ 4.4

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลผลิตจากการเพาะปลูกด้วยวิธีปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์ จังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดจันทบุรี ปีพ.ศ.2528-2553 แบบที่ 1 All Water in Process System

| พื้นที่       | ผลผลิต       | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน) |       |       |                 |      |
|---------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|-----------------|------|
|               |              | สีเขียว                         | สีส้ม | สีเทา | สีน้ำตาลทางอ้อม | รวม  |
| นครศรีธรรมราช | ไม้ยางพาราสด | 44                              | 11    | 1     | 10              | 66   |
|               | น้ำยางสด     | 2338                            | 603   | 53    | 563             | 3557 |
|               | เศษยาง       | 2175                            | 563   | 49    | 526             | 3313 |
| จันทบุรี      | ไม้ยางพาราสด | 32                              | 19    | 7     | 9               | 68   |
|               | น้ำยางสด     | 1922                            | 1143  | 423   | 561             | 4049 |

ตารางที่ 4.5

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลผลิตจากการเพาะปลูกด้วยวิธีปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์ จังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดจันทบุรี ปีพ.ศ.2528-2553 แบบที่ 2 Water depletion (WD)

ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06

| พื้นที่       | ผลผลิต       | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน) |       |       |                 |      |
|---------------|--------------|---------------------------------|-------|-------|-----------------|------|
|               |              | สีเขียว                         | สีส้ม | สีเทา | สีน้ำตาลทางอ้อม | รวม  |
| นครศรีธรรมราช | ไม้ยางพาราสด | 44                              | 11    | 1     | 7               | 63   |
|               | น้ำยางสด     | 2338                            | 603   | 53    | 377             | 3366 |
|               | เศษยาง       | 2175                            | 563   | 49    | 352             | 3131 |
| จันทบุรี      | ไม้ยางพาราสด | 32                              | 19    | 7     | 10              | 69   |
|               | น้ำยางสด     | 1922                            | 1143  | 423   | 585             | 4073 |

4.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปจากข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช และใช้ข้อมูลการเพาะปลูกยางพาราของจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยบัญชีรายการสาขาเข้าและสาขาออกแต่ละกระบวนการแสดงในภาคผนวก ข คำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราโดยการการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์และเชิงปริมาณแต่ละกระบวนการผลิต (ภาคผนวก ข) ผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแสดงดังนี้

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปด้วยวิธีการปันส่วนเชิงปริมาณและวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำจากสาขาเข้าในกระบวนการเพาะปลูกจากแบบที่ 1 All Water in Process System เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก ไม้แปรรูป AB (2581 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้แปรรูป C (2581 ลบ.ม.ต่อตัน), ซี้เลื่อยจากไม้แปรรูป (2581 ลบ.ม.ต่อตัน), ปีกไม้ (2581 ลบ.ม.ต่อตัน), ซี้เลื่อยจากไม้พาเลท (2879 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้พาเลท (2880), ไม้ประสาน AB (3396 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้ประสาน C (3396 ลบ.ม.ต่อตัน), ซี้เลื่อยจากไม้ประสาน (3396 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้อัดประสาน C (4015 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้อัดประสาน AB (4016 ลบ.ม.ต่อตัน), ซี้เลื่อยจากไม้อัดประสาน (4017 ลบ.ม.ต่อตัน), ตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ แสดงตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณ  
จากบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช แบบที่ 1 All Water in Process System

| ผลิตภัณฑ์              | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน) |           |       |                  |      |
|------------------------|---------------------------------|-----------|-------|------------------|------|
|                        | สีเขียว                         | สีน้ำเงิน | สีเทา | สีน้ำเงินทางอ้อม | รวม  |
| <b>การตัดโค่น</b>      |                                 |           |       |                  |      |
| ไม้ยางพาราสดท่อน       | 613                             | 157       | 14    | 1347             | 2131 |
| กิ่งไม้                | 613                             | 157       | 14    | 1347             | 2131 |
| <b>การแปรรูปอบแห้ง</b> |                                 |           |       |                  |      |
| ไม้แปรรูป AB           | 613                             | 157       | 14    | 1797             | 2581 |
| ไม้แปรรูป C            | 613                             | 157       | 14    | 1797             | 2581 |



ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

| ผลิตภัณฑ์                | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน) |           |       |                  |      |
|--------------------------|---------------------------------|-----------|-------|------------------|------|
|                          | สีเขียว                         | สีน้ำเงิน | สีเทา | สีน้ำเงินทางอ้อม | รวม  |
| ซีลี้อยจากไม้แปรรูป      | 613                             | 157       | 14    | 1797             | 2581 |
| ปีกไม้                   | 613                             | 157       | 14    | 1797             | 2581 |
| <u>การทำไม้ประสาน</u>    |                                 |           |       |                  |      |
| ไม้ประสาน AB             | 613                             | 157       | 14    | 2612             | 3396 |
| ไม้ประสาน C              | 613                             | 157       | 14    | 2612             | 3396 |
| ซีลี้อยจากไม้ประสาน      | 613                             | 157       | 14    | 2612             | 3396 |
| <u>การทำไม้อัดประสาน</u> |                                 |           |       |                  |      |
| ไม้อัดประสาน AB          | 613                             | 157       | 14    | 3232             | 4016 |
| ไม้อัดประสาน C           | 613                             | 157       | 14    | 3231             | 4015 |
| ซีลี้อยจากไม้อัดประสาน   | 613                             | 157       | 14    | 3232             | 4017 |
| <u>การทำไม้พาเลท</u>     |                                 |           |       |                  |      |
| ไม้พาเลท                 | 613                             | 157       | 14    | 2096             | 2880 |
| ซีลี้อยจากไม้พาเลท       | 613                             | 157       | 14    | 2095             | 2879 |
| ซีลี้อย (ค่าเฉลี่ย)      | 613                             | 157       | 14    | 2434             | 3218 |

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปด้วยวิธีการป็นส่วนเชิงปริมาณ และวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำจากสาขาเข้าในกระบวนการเพาะปลูกจากแบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H \_Method เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก ซีลี้อยจากไม้แปรรูป (931 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้แปรรูป AB (931 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้แปรรูป C (931 ลบ.ม.ต่อตัน), ปีกไม้ (931 ลบ.ม.ต่อตัน), ซีลี้อยจากไม้พาเลท (932 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้พาเลท (932), ไม้ประสาน AB (932 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้ประสาน C (932 ลบ.ม.ต่อตัน), ซีลี้อยจากไม้ประสาน (932 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้อัดประสาน C (933 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้อัดประสาน AB (934 ลบ.ม.ต่อตัน), ซีลี้อยจากไม้อัดประสาน (934 ลบ.ม.ต่อตัน), ตามลำดับ ซึ่งค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ แสดงตารางที่ 4.7

## ตารางที่ 4.7

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณจากบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัด  
นครศรีธรรมราชแบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06

| ผลิตภัณฑ์                | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน) |           |       |                  |     |
|--------------------------|---------------------------------|-----------|-------|------------------|-----|
|                          | สีเขียว                         | สีน้ำเงิน | สีเทา | สีน้ำเงินทางอ้อม | รวม |
| <u>การตัดโค่น</u>        |                                 |           |       |                  |     |
| ไม้ยางพาราสดท่อน         | 613                             | 157       | 14    | 8                | 792 |
| กิ่งไม้                  | 613                             | 157       | 14    | 8                | 792 |
| <u>การแปรรูปอบแห้ง</u>   |                                 |           |       |                  |     |
| ไม้แปรรูป AB             | 613                             | 157       | 14    | 147              | 931 |
| ไม้แปรรูป C              | 613                             | 157       | 14    | 147              | 931 |
| ซีลี้อยจากไม้แปรรูป      | 613                             | 157       | 14    | 147              | 931 |
| ปึกไม้                   | 613                             | 157       | 14    | 147              | 931 |
| <u>การทำไม้ประสาน</u>    |                                 |           |       |                  |     |
| ไม้ประสาน AB             | 613                             | 157       | 14    | 148              | 932 |
| ไม้ประสาน C              | 613                             | 157       | 14    | 148              | 932 |
| ซีลี้อยจากไม้ประสาน      | 613                             | 157       | 14    | 148              | 932 |
| <u>การทำไม้อัดประสาน</u> |                                 |           |       |                  |     |
| ไม้อัดประสาน AB          | 613                             | 157       | 14    | 149              | 934 |
| ไม้อัดประสาน C           | 613                             | 157       | 14    | 149              | 933 |
| ซีลี้อยจากไม้อัดประสาน   | 613                             | 157       | 14    | 149              | 934 |
| <u>การทำไม้พาเลท</u>     |                                 |           |       |                  |     |
| ไม้พาเลท                 | 613                             | 157       | 14    | 148              | 932 |
| ซีลี้อยจากไม้พาเลท       | 613                             | 157       | 14    | 147              | 932 |
| ซีลี้อย เฉลี่ย           | 613                             | 157       | 14    | 148              | 932 |

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราด้วยวิธีการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์  
แสดงตารางที่ 4.8 -4.9

ตารางที่ 4.8

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราด้วยวิธีปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์  
จากบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช แบบที่ 1 All Water in Process System

| ผลิตภัณฑ์                | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน) |           |       |                  |      |
|--------------------------|---------------------------------|-----------|-------|------------------|------|
|                          | สีเขียว                         | สีน้ำเงิน | สีเทา | สีน้ำเงินทางอ้อม | รวม  |
| <u>การตัดโค่น</u>        |                                 |           |       |                  |      |
| ไม้ยางพาราสดท่อน         | 47                              | 12        | 1     | 1316             | 1377 |
| กิ่งไม้                  | 28                              | 7         | 1     | 789              | 826  |
| <u>การแปรรูปอบแห้ง</u>   |                                 |           |       |                  |      |
| ไม้แปรรูป AB             | 102                             | 26        | 2     | 3784             | 3914 |
| ไม้แปรรูป C              | 47                              | 12        | 1     | 1765             | 1826 |
| ซีลี้อยจากไม้แปรรูป      | 5                               | 1         | 0     | 195              | 202  |
| ปึกไม้                   | 6                               | 1         | 0     | 208              | 215  |
| <u>การทำไม้ประสาน</u>    |                                 |           |       |                  |      |
| ไม้ประสาน AB             | 139                             | 36        | 3     | 6428             | 6606 |
| ไม้ประสาน C              | 74                              | 19        | 2     | 3444             | 3539 |
| ซีลี้อยจากไม้ประสาน      | 3                               | 1         | 0     | 129              | 132  |
| <u>การทำไม้อัดประสาน</u> |                                 |           |       |                  |      |
| ไม้อัดประสาน AB          | 162                             | 42        | 4     | 8304             | 8512 |
| ไม้อัดประสาน C           | 87                              | 22        | 2     | 3775             | 3886 |
| ซีลี้อยจากไม้อัดประสาน   | 3                               | 1         | 0     | 167              | 171  |
| <u>การทำไม้พาเลท</u>     |                                 |           |       |                  |      |
| ไม้พาเลท                 | 54                              | 14        | 1     | 2351             | 2420 |
| ซีลี้อยจากไม้พาเลท       | 3                               | 1         | 0     | 150              | 155  |
| ซีลี้อย                  | 4                               | 1         | 0     | 160              | 165  |

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปด้วยวิธีการบั่นส่วนเชิงเศรษฐกิจและวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำจากสาขาเข้าในระบบการเพาะปลูกจากแบบที่ 1 All Water in Process System เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก ซึ่งได้มาจากไม้ประสาน (132 ลบ.ม. ต่อตัน), ซึ่งได้มาจากไม้พาลา (155 ลบ.ม.ต่อตัน), ซึ่งได้มาจากไม้อัดประสาน (171 ลบ.ม.ต่อตัน), ซึ่งได้มาจากไม้แปรรูป (202 ลบ.ม.ต่อตัน), ปีกไม้ (215 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้แปรรูป C (1826 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้พาลา (2420), ไม้ประสานC (3539 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้อัดประสานC (3886 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้แปรรูป AB ( 3914 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้ประสาน AB (6606 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้อัดประสาน AB (8512 ลบ.ม.ต่อตัน), ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราด้วยวิธีบั่นส่วนเชิงเศรษฐกิจจากบริษัทแห่งหนึ่งใน  
จังหวัดนครศรีธรรมราชแบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint

| ผลิตภัณฑ์                | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน) |           |       |                  |     |
|--------------------------|---------------------------------|-----------|-------|------------------|-----|
|                          | สีเขียว                         | สีน้ำเงิน | สีเทา | สีน้ำเงินทางอ้อม | รวม |
| <b>การตัดโค่น</b>        |                                 |           |       |                  |     |
| ไม้ยางพาราสดท่อน         | 47                              | 12        | 1     | 8                | 69  |
| กิ่งไม้                  | 28                              | 7         | 1     | 5                | 41  |
| <b>การแปรรูปอบแห้ง</b>   |                                 |           |       |                  |     |
| ไม้แปรรูป AB             | 102                             | 26        | 2     | 315              | 445 |
| ไม้แปรรูป C              | 47                              | 12        | 1     | 147              | 208 |
| ซึ่งได้มาจากไม้แปรรูป    | 5                               | 1         | 0     | 16               | 23  |
| ปีกไม้                   | 6                               | 1         | 0     | 17               | 24  |
| <b>การทำไม้ประสาน</b>    |                                 |           |       |                  |     |
| ไม้ประสาน AB             | 139                             | 36        | 3     | 431              | 609 |
| ไม้ประสาน C              | 74                              | 19        | 2     | 231              | 326 |
| ซึ่งได้มาจากไม้ประสาน    | 3                               | 1         | 0     | 9                | 12  |
| <b>การทำไม้อัดประสาน</b> |                                 |           |       |                  |     |
| ไม้อัดประสาน AB          | 162                             | 42        | 4     | 505              | 712 |

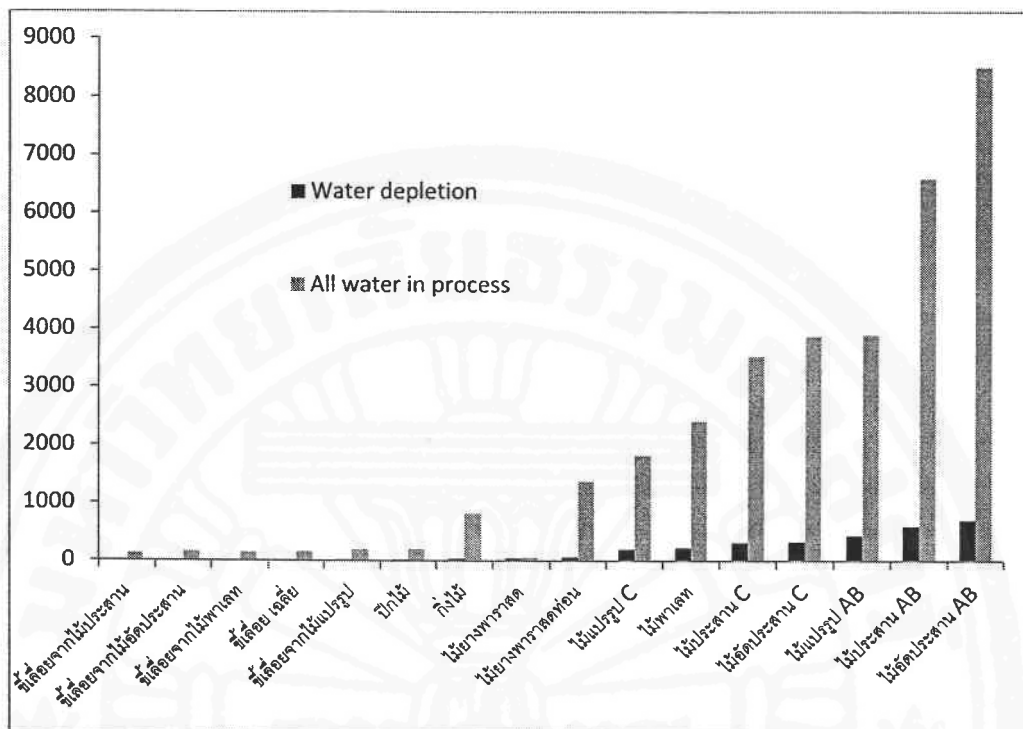
ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

| ผลิตภัณฑ์              | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน) |           |       |                  |     |
|------------------------|---------------------------------|-----------|-------|------------------|-----|
|                        | สีเขียว                         | สีน้ำเงิน | สีเทา | สีน้ำเงินทางอ้อม | รวม |
| ไม้อัดประสาน C         | 87                              | 22        | 2     | 230              | 341 |
| ซีเมนต์จากไม้อัดประสาน | 3                               | 1         | 0     | 10               | 14  |
| <b>การทำไม้พาเลท</b>   |                                 |           |       |                  |     |
| ไม้พาเลท               | 54                              | 14        | 1     | 168              | 237 |
| ซีเมนต์จากไม้พาเลท     | 3                               | 1         | 0     | 11               | 15  |
| ซีเมนต์                | 4                               | 1         | 0     | 11               | 16  |

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปด้วยวิธีการบั่นส่วนเชิงเศรษฐกิจและวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำจากสารขาเข้าในกระบวนการเพาะปลูกจากแบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H \_Method เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก ซีเมนต์จากไม้ประสาน (12 ลบ.ม.ต่อตัน), ซีเมนต์จากไม้อัดประสาน (14 ลบ.ม.ต่อตัน), ซีเมนต์จากไม้พาเลท (15 ลบ.ม.ต่อตัน), ซีเมนต์จากไม้แปรรูป (23 ลบ.ม.ต่อตัน), ปีกไม้ (24 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้แปรรูป C (208 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้พาเลท (237), ไม้ประสาน C (326 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้อัดประสาน C (341 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้แปรรูป AB (445 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้ประสาน AB (609 ลบ.ม.ต่อตัน), ไม้อัดประสาน AB (712 ลบ.ม.ต่อตัน), ตามลำดับ







ภาพที่ 4.4

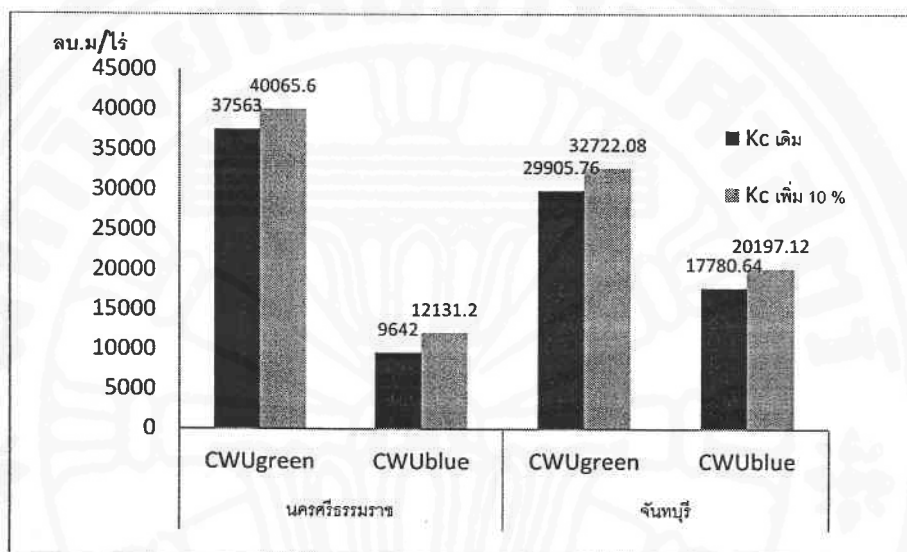
วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ยางพาราด้วยการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์ จากบริษัทแห่งหนึ่งใน จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมแบบที่ 1 All Water in Process System กับแบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06

#### 4.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ในส่วนของการโปรแกรม CROPWAT ใน ส่วนข้อมูลพืช ได้แก่ ช่วงอายุของการเจริญเติบโต (Crop Development Stage) สัมประสิทธิ์การ ใช้น้ำของพืช (Crop Factors :  $K_c$ ;  $K_{c,initial}$ ,  $K_{c,mid}$ ,  $K_{c,late}$ ) ความยาวของรากพืช ความสูง และการ ตอบสนองต่อการขาดน้ำของพืช (Yield response factors) รวมทั้งชนิดของดินมีข้อมูลอ้างอิงจาก หลายแหล่งที่มาด้วยซึ่งแตกต่างกัน จึงได้ดำเนินการทดลองผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวใน ขั้นตอนหาค่าการใช้น้ำของยางพาราจากโปรแกรม CROPWAT

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ( $K_c$ ) โดยพิจารณาค่าการใช้น้ำของยางพาราสีเขียว และสีน้ำตาลของยางพาราจากจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี (2528-2553) ผลการ เปลี่ยนแปลงค่าการใช้น้ำของยางพาราจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี (2528-2553)

เมื่อค่า  $K_c$  เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 จากเดิมใช้ค่า  $K_{c,initial} = 0.48$ ,  $K_{c,mid} = 0.98$ ,  $K_{c,late} = 0.63$  (สมเจตต์, 2543) เป็น  $K_{c,initial} = 0.53$ ,  $K_{c,mid} = 1.08$ ,  $K_{c,late} = 0.69$  พบว่า ค่าการใช้น้ำของยางพาราสีเขียว และสีน้ำเงินของยางพาราจากจันทบุรีและนครศรีธรรมราชมีค่าเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.5 โดยตารางการคำนวณค่าการใช้น้ำของยางพาราแสดงในภาคผนวก ข



ภาพที่ 4.5

การใช้น้ำของการเพาะปลูกยางพาราจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี  
ปีพ.ศ.2528-2553 เมื่อค่า  $K_c$  เพิ่มขึ้นร้อยละ 10

พิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ในส่วนของโปรแกรม CROPWAT ในส่วนข้อมูลพืช ได้แก่ ช่วงอายุของการเจริญเติบโต (Crop Development Stage) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Factors :  $K_c$ ;  $K_{c,initial}$ ,  $K_{c,mid}$ ,  $K_{c,late}$ ) ความยาวของรากพืช ความสูง และการตอบสนองต่อการขาดน้ำของพืช (Yield response factors) รวมทั้งชนิดของดิน โดยใช้ฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาปี 2528-2553 มาเฉลี่ยเป็นข้อมูลชุดเดียว ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าน้ำในโปรแกรม CROPWAT 8.0 พบว่า เมื่อค่า  $K_c$  เพิ่ม ค่าการใช้น้ำยางพาราจะเพิ่มขึ้น ถ้าเพิ่มระยะวัน initial และ development stage ค่าการใช้น้ำยางพาราจะลดลง นอกจากนี้การเพิ่มหรือลดค่าความยาวราก ค่า Yield response และชนิดของดิน ไม่ส่งผลต่อค่าการใช้น้ำของยางพารา (ตารางที่ 4.6) ด้วยการวิเคราะห์ของโปรแกรม CROPWAT 8.0 วิธี FAO/AGLW formula วิเคราะห์ค่าการใช้น้ำจากปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ ด้วยการเจริญเติบโตของพืชแบบไม่จำกัด

## ตารางที่ 4.10

ปริมาณการใช้น้ำจากโปรแกรม CROPWAT 8.0 เมื่อปัจจัยต่างๆ เปลี่ยนแปลง

| กรณี<br>ที่ | รายละเอียดตัวแปรปัจจัย<br>ที่พิจารณา                                                                                                                                                              | CWU <sub>สีเขียว</sub> | CWU <sub>สีน้ำเงิน</sub> | หมายเหตุ                                       |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|
|             |                                                                                                                                                                                                   | ลบ.ม.ต่อไร่            | ลบ.ม.ต่อไร่              |                                                |
| 1           | เมื่อ $K_{c,initial} = 0.48$ , $K_{c,mid} = 0.98$ $K_{c,late} = 0.63$ ความยาวราก 0.3-0.9 ม. ความสูงเฉลี่ย 10 ม.stage (initial, dev, mid, late season) 30 30 240 65 วัน, ชนิดของดิน Red sandy loam | 42912                  | 1712                     | ข้อมูลปัจจัย<br>ควบคุมที่ใช้<br>เป็นตัวอ้างอิง |
| 2           | เพิ่มค่าความยาวราก 1.0-1.5 ม. (FAO, 1998)                                                                                                                                                         | 42912                  | 1712                     | ไม่เปลี่ยนแปลง<br>จากกรณีที่ 1                 |
| 3           | ปรับ Yield response จาก 1 เป็น 0.5 หรือ 1.5                                                                                                                                                       | 42912                  | 1712                     | ไม่เปลี่ยนแปลง<br>จากกรณีที่ 1                 |
| 4           | ความสูงเฉลี่ยลดลงเหลือ 5 เมตร                                                                                                                                                                     | 43388                  | 2068                     | CWU เพิ่มขึ้น<br>จากกรณีที่ 1                  |
| 5           | เพิ่ม $K_c$ 10% ( $K_{c,initial} = 0.53$ , $K_{c,mid} = 1.08$ $K_{c,late} = 0.69$ )                                                                                                               | 45668                  | 3956                     | CWU เพิ่มขึ้น<br>จากกรณีที่ 1                  |
| 6           | ปรับ stage (initial, dev, mid, late season) 60 60 210 35 วัน                                                                                                                                      | 40664                  | 1580                     | CWU ลดลง<br>จากกรณีที่ 1                       |
| 7           | เปลี่ยนชนิดดิน เป็น Black clay soil, Red loamy, Red sandy                                                                                                                                         | 42912                  | 1712                     | ไม่เปลี่ยนแปลง<br>จากกรณีที่ 1                 |

นอกจากนี้ปัจจัยสำคัญต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์คือปริมาณผลผลิตที่แปรผกผันกับปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ จากสูตรการคำนวณ  $WF = CWU/Y$  เมื่อ WF คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพืช CWU คือ การใช้น้ำของพืช และ Y คือ ปริมาณผลผลิตของพืช ในงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณผลผลิตอ้างอิงจากข้อมูลดิบจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรีน้ำยางสดตลอดวัฏจักรชีวิตเท่ากัน คือ 14.78 ตันน้ำยางสดต่อไร่ มากกว่าผลผลิตค่าน้ำยางสดเฉลี่ยของโลกซึ่งเท่ากับ 7.42 ตันน้ำยางสดต่อไร่ (Mekonnen, M.M. และHoekstra A.Y.,2010)



## สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุป อภิปรายผลการดำเนินงาน

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์สีเขียว สีน้ำเงิน และสีเทาจากกระบวนการเพาะปลูกยางพาราจาก จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรีที่แตกต่างกันแสดงให้เห็นถึงปัจจัยแวดล้อมเชิงพื้นที่ในช่วงเวลาที่พิจารณามีผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผลผลิต เนื่องจากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำที่ ยางพาราด้วยการใช้จากโปรแกรม CROPWAT 8.0 วิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนใช้การของพืชจาก ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้านอุตุนิยมวิทยา แม้วอเตอร์ฟุตพริ้นต์คำนวณจากปริมาณผลผลิตโดยตรง แต่ เนื่องจากผลผลิตของจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรีมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นความ แตกต่างของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์แต่ละชนิดที่เกิดขึ้น จึงเป็นผลมาจากปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยตรง และปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากสาขาเข้าของผลิตภัณฑ์อื่นได้แก่ปุ๋ยและยาฆ่าแมลงที่ เกษตรกรใช้ในกระบวนการเพาะปลูกยางพารา

กรณีพิจารณาน้ำยางสดเป็นผลผลิตจากการเพาะปลูกยางพาราเพียงอย่างเดียว พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางพาราสดนครศรีธรรมราชและจันทบุรีปี 2528-2553 (3861 ลบ.ม. ต่อตัน , 3676 ลบ.ม.ต่อตัน นครศรีธรรมราชและจันทบุรี ตามลำดับ) เปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ น้ำยางพาราสดกับงานวิจัยของ Mekonnen และ Hoekstra, (2010) พบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำ ยางสดที่ได้น้อยกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดของไทย โลก จีน มาเลเซีย บรูไน กัมพูชา (7,952 ลบ.ม.ต่อตัน, 13748 ลบ.ม.ต่อตัน, 7342 ลบ.ม.ต่อตัน, 21182 ลบ.ม.ต่อตัน, 280608ลบ.ม.ต่อ ตัน และ 11547 ลบ.ม.ต่อตัน ตามลำดับ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ได้แก่ ปริมาณ น้ำฝนในพื้นที่ ช่วงเวลาที่พิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา  $K_c$  ประสิทธิภาพการใช้น้ำของยางพารา ปริมาณผลผลิตจากการเพาะปลูก เป็นต้น

กรณีพิจารณาวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ไม้ยางพาราสดซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่เกิดจากการปลูก ยางพารา พบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของน้ำยางพาราสดจากมีค่าน้อยลงมากเมื่อคำนวณวอเตอร์ ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดด้วยวิธีปันส่วนเชิงปริมาณ (931 ลบ.ม.ต่อตัน , 1023 ลบ.ม.ต่อตัน นครศรีธรรมราชและจันทบุรี ตามลำดับ) ในขณะที่วิธีการปันส่วนที่ใช้หากพิจารณาด้วยวิธีการปัน ส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์จะทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดมีค่ามากกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ไม้ ยางพาราสดและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดด้วยวิธีการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์ (3313 ลบ.ม.



ต่อต้าน , 4049 ลบ.ม.ต่อต้าน นครศรีธรรมราชและจันทบุรี ตามลำดับ) จะใกล้เคียงกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เลือกพิจารณาผลผลิตจากการเพาะปลูกยางพาราเป็นน้ำยางสดเพียงอย่างเดียว เนื่องจากราคาของน้ำยางพาราสดสูงกว่าไม้ยางพาราสดมาก

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิตด้วยการปันส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทางตรงมาจากกระบวนการเพาะปลูกเป็นหลัก โดยปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมมาจากวัตถุดิบขาเข้าที่ส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยรวมสุดท้ายผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราอย่างยิ่ง เมื่อนำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ยางพาราด้วยการปันส่วนเชิงปริมาณและปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมโดยใช้ฐานข้อมูลในโปรแกรม SimaPro 7.3 ด้วยวิธีแบบที่ 1 All Water in Process System และแบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H \_Method พบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทางอ้อมแบบที่ 1 ส่งผลให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สุดท้ายของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าแบบที่ 2 มาก ซึ่งวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการประเมินปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมด้วยวิธีที่ 1 ส่งผลให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ส่วนใหญ่มาจากปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากสารขาเข้าในกระบวนการแปรรูปไม้ยางพารา ในทางกลับกันวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ด้วยวิธีที่ 2 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกิดขึ้นในส่วนกระบวนการเพาะปลูก โดยพบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทางอ้อมที่เกิดในกระบวนการแปรรูปน้อยมาก โดยมีผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการแปรรูปที่มีการใช้น้ำทางตรงมี กระบวนการเดียวคือ กระบวนการแปรรูปอบแห้ง

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปด้วยวิธีการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์และเชิงปริมาณจากผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา คือ ไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง ไม้ประสาน ไม้อัดประสาน ไม้พาเลท ด้วยการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์โดยการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมโดยใช้ฐานข้อมูลในโปรแกรม SimaPro 7.3 ด้วยวิธีแบบที่ 1 All Water in Process System และแบบที่ 2 Water depletion; WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 พบว่า ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยสุดคือ ไม้แปรรูป C และผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ ไม้อัดประสาน AB ส่วนการวิเคราะห์โดยวิธีการปันส่วนเชิงปริมาณ พบว่า ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยสุดมี 3 ชนิด คือ ไม้พาเลท ไม้ประสาน AB และไม้ประสาน C และผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ ไม้อัดประสาน AB

โดยเมื่อพิจารณาในภาพรวม ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปที่ผ่านกระบวนการที่ซับซ้อนมากขึ้นจะมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เพิ่มขึ้น ทั้งการวิเคราะห์ด้วยการปันส่วนเชิงปริมาณและการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์โดยการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมโดยใช้ฐานข้อมูลในโปรแกรม

SimaPro 7.3 ด้วยวิธีแบบที่ 1 All Water in Process System และแบบที่ 2 Water depletion; WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเลือกวิธีการปันส่วนสำหรับผลผลิตของยางพาราซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของคนไทย ควรมีการระบุผลผลิตและวิธีการปันส่วนอย่างชัดเจน ตามวัตถุประสงค์การนำข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ไปใช้ เนื่องจากวอเตอร์ฟุตพริ้นต์มีสมการคำนวณจากผลผลิตโดยตรง คือปริมาณน้ำที่ใช้ต่อตันผลิตภัณฑ์ ทำให้ความแตกต่างของน้ำยางสดและไม้ยางสดมีความแตกต่างกันมาก การกำหนดวิธีการพิจารณาผลผลิตในกรณียางพาราจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

2. ข้อมูลอ้างอิงในส่วนของวอเตอร์ฟุตพริ้นต์หรือปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากวัตถุดิบขาเข้าและข้อมูลของผลิตภัณฑ์ในประเทศไทยมีอยู่อย่างจำกัด ฐานข้อมูลในการวิจัยนี้ใช้จากโปรแกรม SimaPro 7.3 มีความสะดวกในการนำข้อมูลมาใช้แต่วิธีการคิดปริมาณการใช้น้ำยังมีอีกหลายวิธีการ เช่น ซึ่งผลจากปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมด้วยวิธีการที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์สุดท้ายที่แตกต่างกัน จึงควรมีการวิจัยวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ด้วยฐานข้อมูลต่าง ๆ ต่อไป

3. แนวทางการลดปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ สามารถทำได้การเพิ่มให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำการเพาะปลูกยางพารา เช่น การวิจัยพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตน้ำยางและหรือเนื้อไม้ยางพารามากยิ่งขึ้น รวมทั้งการวางแผนการจัดการน้ำและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการเพาะปลูก

4. การบริโภคน้ำและปริมาณน้ำใช้กำลังจะเป็นประเด็นสำคัญในอนาคต ซึ่งยังคงอยู่ระหว่างการอภิปรายทั้งเรื่องนิยาม วิธีการ และหลักการที่ยังไม่ได้ข้อสรุปที่ชัดเจน การศึกษาวิธีการต่างๆ ของงานวิจัยต่างประเทศ การศึกษากรณีตัวอย่างในประเทศไทย เพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อย และอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการศึกษาแต่ละวิธีการ จึงเป็นเรื่องที่ควรมีการศึกษาเป็นวงกว้างมากยิ่งขึ้น เพื่อการวางแผนรองรับต่อมาตรฐานสิ่งแวดล้อมที่กำลังจะเกิดขึ้นและสามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการน้ำได้อย่างเหมาะสม

## บรรณานุกรม

### หนังสือและบทความในหนังสือ

- กรมทรัพยากรน้ำ. (2554). รายงานเกณฑ์กำหนดในการศึกษาปริมาณความต้องการใช้น้ำ การศึกษาความเหมาะสมของโครงการ โครงการระบบเครือข่ายน้ำในพื้นที่วิกฤตน้ำ 19 พื้นที่.
- กฤษดา สังขสิงห์ และพนัส แพชนะ. (2548). ผลของการให้น้ำต่อศักยภาพการผลิตพารา. ศูนย์วิจัยยางสุราษฎร์ธานี/กลุ่มวิจัย. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7.
- ชินาธิปกรณ พงศ์ปัญญาญาณ และ อัมพรรัตน์ มุ่งเจริญ. (2554). วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย. วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 75, 41-52.
- รมณี วังเมือง. (2555). การเปรียบเทียบร่องรอยการใช้น้ำและการประเมินวัฏจักรชีวิตที่เกี่ยวข้องกับน้ำแบ่งข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทิพย์ปภา สุขมาลาชาติ, อติชัย พรพรหมินทร์ และสุรัชย์ ลิปิวัฒนาการ. (2554). วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จังหวัดนครสวรรค์. เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16.
- อัมพรรัตน์ มุ่งเจริญ. (2554). วิศวกรรมการป้องกันมลพิษในประเทศไทย. วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 75 ปีที่ 24
- ผริดา คุณิพงษ์, บุรี บุญสมภพพันธุ์ เสรี, จินจิณิรันดร์ และ ผุสดี เพ็ญวงษ์. (2541). คู่มือการให้น้ำแก่พืชเศรษฐกิจในดินไร่ที่จังหวัดลพบุรี. เอกสารวิชาการเล่มที่ 431. กลุ่มวิจัยและประเมินกำลังผลิตของดิน กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 32 น.
- พัชร ประเสริฐกุล. (2549). การหาปริมาณการใช้น้ำในระดับแปลงปลูกของยางพาราอายุ 10 ปี และ 2 ปี โดยวิธีตัดส่วนของใบเวน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 106 หน้า. ISBN 974-16-2536-7.
- ภาคจิรา ชัยประสิทธิ์กุล และ นิชา สุโขดมโชติ. (2553). การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมไม้ยางพารา. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ฤดีมาศ งามยิ่งยวด และ วุฒกร รักซ้อน. (2555). วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตไบโอดีเซลจาก  
ปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สมาคมยางพาราไทย, (2553). สารจากนายกสมาคม: สถานการณ์ยางพาราปี 2552 และแนวโน้ม  
ปี 2553

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2553). ข้อมูลวิชาการยางพารา. โรงพิมพ์ชุมนุม  
การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2554). คำแนะนำการปลูกยางพารา. โรงพิมพ์ชุมนุม  
สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. (2555). ข้อมูลวิชาการยางพารา 2555. โรงพิมพ์ชุมนุม  
สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2547). คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. ภายใต้  
โครงการจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการ  
จัดการสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

อรชุนา ดีศรีแก้ว. 2551 การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏ  
จักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

#### บทความวารสาร

สุทัศน์ สุรวาณิช. (2553). การสำรวจไม้ยางพาราจากข้อมูลดาวเทียมเพื่ออุตสาหกรรมแปรรูปไม้.  
วารสารยางพารา 31(2): 4-12. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

#### เอกสารอื่น ๆ

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2528-2553). ข้อมูลน้ำฝนรายเดือน อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด-สูงสุดรายเดือน  
เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ย ชั่วโมงที่มีแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน ความเร็วลม  
เฉลี่ยรายเดือนของสถานีนครศรีธรรมราชและจันทบุรี

สมเจตน์ ประทุมมิตร. (2543). เอกสารประกอบการประชุมวิชาการยางพาราประจำปี 2543.  
ระบบสารสนเทศยางพารา: ฐานข้อมูล และการวิเคราะห์เพื่อพัฒนางานวิจัย.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2553). แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่ในการปลูกยางพาราในประเทศไทย. สืบค้นข้อมูลออนไลน์จาก [http://www.mof.or.th/economic\\_plant/eco\\_plant\\_pararubber.html](http://www.mof.or.th/economic_plant/eco_plant_pararubber.html). (10 สิงหาคม 2555).

## Books

FAO. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirement- FAO Irrigation and drainage paper 56.

Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S. Koehler, A., Pennington, D. and Suh, S. (2009). *Recent developments in life Cycle Assessment. Journal of Environmental Management*, 91 (1),1-21.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. and Mekonnen, M. M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual: Setting the global standard, Earthscan, 203.

Jefferies D, Muñoz I, Hodges J, King VJ, Aldaya M, Ercin AE, Milà i Canals L and Hoekstra A.Y. (2012). Water footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine, *Journal of Cleaner Production*

Mekonnen, M.M. and Hoekstra A.Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Ratchayuda Kongboon and Sate Sampattagul. (2012). Water Footprint of Bioethanol Production from sugarcane in Thailand. *Journal of Environment and Earth Science* Vol 2 No 11, 2012

Milà i Canals, L., Chenoweth, J., Chapagain, A., Orr, S., Anton, A. and Clift, R. (2009). Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I – inventory modeling and characterization factor for main impact pathways. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14 (1), 28-42.

SETAC-Europe Working Group. (2003). *Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programmes*.



## Other Materials

Goedkoop M.J., Heijungs R, Huijbregts M., De Schryver A.;Struijs J.; Van Zelm R (2009) *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*. <http://www.lcia-recipe.net> (24 เมษายน 2556)

Karin Flury, Niels Jungbluth, Rolf Frischknecht ESU-services GmbH, Uster (2011) *Water Footprint: Methods, State of the Art, Outlook*. Presentation and Discussion. [www.esu-services.ch](http://www.esu-services.ch) (24 เมษายน 2556)

Laurel Standley, (2011) ISO's Development of a Water Footprint Assessment in a Life Cycle Assessment Context. *A 2degrees Blog for World Water Week 2011*. สืบค้นข้อมูลจาก <http://www.2degreesnetwork.com/groups/water-risk-and-strategy/resources/isos-development-water-footprint-assessment>. (5 กรกฎาคม 2555)

Sebastien Humbert, (2009). ISO standard on Water Footprint: Principles, Requirements and Guidelines. *Water footprint: requirements and guidelines*. UNEP Water Accounting and Efficiency Stocktaking workshop 23 November 2009. สืบค้นข้อมูลจาก <http://www.unep.fr/scp/water/documents/Presentations/ISO%20Activities20on20Water%20Accounting%20%28Sebastien%20Humbert%29.pdf>. (5 กรกฎาคม 2555)

Pfister S., Koehler A. and Hellweg S. (2009) Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. In: *Environ. Sci. Technol.*, 43(11), pp. 4098–4104, retrieved from: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es802423e>. (24 เมษายน 2556)



ภาคผนวก

เจ้าหน้าที่หอสมุด

## ภาคผนวก ก

## ค่าตัวประกอบการปันส่วน

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอวตอร์ฟุตพรินต์ด้วยการปันส่วน 2 รูปแบบ ได้แก่ การปันส่วนเชิงปริมาณ และการปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยค่าตัวประกอบการปันส่วนดังตารางที่ ก-1-ก-2 โดยอ้างอิงราคาที่ใช้ในการศึกษาดังตารางที่ ก-3

## ตารางที่ ก-1

## ค่าตัวประกอบการปันส่วนเชิงปริมาณ (Mass allocation)

| ผลิตภัณฑ์                    | หน่วย      | ปริมาณ     | ค่าตัวประกอบ |
|------------------------------|------------|------------|--------------|
| น้ำยางสด (จันทร์บุรี)        | ตัน/ 25 ปี | 14.7800    | 0.2427       |
| ไม้ยางพาราสด (จันทร์บุรี)    | ตัน/ 25 ปี | 46.1100    | 0.7573       |
| น้ำยางสด (นครศรีธรรมราช)     | ตัน/ 25 ปี | 14.7800    | 0.2412       |
| ไม้ยางพาราสด (นครศรีธรรมราช) | ตัน/ 25 ปี | 46.1100    | 0.7526       |
| เศษยาง (นครศรีธรรมราช)       | ตัน/ 25 ปี | 0.3800     | 0.0062       |
| ไม้ยางพาราสดท่อน             | ตัน/ ปี    | 187.2000   | 0.8000       |
| กิ่งไม้                      | ตัน/ ปี    | 46.8000    | 0.2000       |
| ไม้แปรรูป AB                 | ตัน/ ปี    | 74880.0000 | 0.4000       |
| ไม้แปรรูป C                  | ตัน/ ปี    | 18720.0000 | 0.1000       |
| ที่เหลือจากไม้แปรรูป         | ตัน/ ปี    | 18720.0000 | 0.1000       |
| ปีกไม้                       | ตัน/ ปี    | 74880.0000 | 0.4000       |
| ไม้ประสาน AB                 | ตัน/ ปี    | 2994.4432  | 0.5629       |
| ไม้ประสาน C                  | ตัน/ ปี    | 748.6108   | 0.1407       |
| ที่เหลือจากไม้ประสาน         | ตัน/ ปี    | 1576.9460  | 0.2964       |
| ไม้อัดประสาน AB              | ตัน/ ปี    | 2554.8560  | 0.6826       |
| ไม้อัดประสาน C               | ตัน/ ปี    | 638.7140   | 0.1706       |
| ที่เหลือจากไม้อัดประสาน      | ตัน/ ปี    | 549.4300   | 0.1468       |
| ไม้พาเลท                     | ตัน/ ปี    | 1200.0000  | 0.8696       |
| ที่เหลือจากไม้พาเลท          | ตัน/ ปี    | 180.0000   | 0.1304       |

## ตารางที่ ก-2

ค่าตัวประกอบการบินส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic allocation)

| ผลิตภัณฑ์                    | หน่วย      | ปริมาณ     | ค่าตัวประกอบ |
|------------------------------|------------|------------|--------------|
| น้ำยางสด (จันทบุรี)          | ตัน/ 25 ปี | 14.7800    | 0.9453       |
| ไม้ยางพาราสด (จันทบุรี)      | ตัน/ 25 ปี | 46.1100    | 0.0547       |
| น้ำยางสด (นครศรีธรรมราช)     | ตัน/ 25 ปี | 14.7800    | 0.9243       |
| ไม้ยางพาราสด (นครศรีธรรมราช) | ตัน/ 25 ปี | 46.1100    | 0.0535       |
| เศษยาง                       | ตัน/ 25 ปี | 0.3800     | 0.0222       |
| ไม้ยางพาราสดท่อน             | ตัน/ ปี    | 187.2000   | 0.8696       |
| กิ่งไม้                      | ตัน/ ปี    | 46.8000    | 0.1304       |
| ไม้แปรรูป AB                 | ตัน/ ปี    | 74880.0000 | 0.8373       |
| ไม้แปรรูป C                  | ตัน/ ปี    | 18720.0000 | 0.1047       |
| ที่เหลือจากไม้แปรรูป         | ตัน/ ปี    | 18720.0000 | 0.0111       |
| ปีกไม้                       | ตัน/ ปี    | 74880.0000 | 0.0470       |
| ไม้ประสาน AB                 | ตัน/ ปี    | 2994.4432  | 0.8738       |
| ไม้ประสาน C                  | ตัน/ ปี    | 748.6108   | 0.1170       |
| ที่เหลือจากไม้ประสาน         | ตัน/ ปี    | 1576.9460  | 0.0092       |
| ไม้อัดประสาน AB              | ตัน/ ปี    | 2554.8560  | 0.8786       |
| ไม้อัดประสาน C               | ตัน/ ปี    | 638.7140   | 0.1177       |
| ที่เหลือจากไม้อัดประสาน      | ตัน/ ปี    | 549.4300   | 0.0038       |
| ไม้พาเลท                     | ตัน/ ปี    | 1200.0000  | 0.9905       |
| ที่เหลือจากไม้พาเลท          | ตัน/ ปี    | 180.0000   | 0.0095       |

ตารางที่ ก-3  
ราคาผลิตภัณฑ์และแหล่งข้อมูลอ้างอิงที่ใช้ในการวิจัย

| ผลิตภัณฑ์                                                                                          | มูลค่า   | หน่วย     | แหล่งข้อมูลอ้างอิง                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|------------------------------------|
| น้ำยางสด (จันทบุรี)                                                                                | 92.65    | บาท/กก.   | ราคาเฉลี่ยย้อนหลัง 5 ปี สกย., 2555 |
| ไม้ยางพาราสด (จันทบุรี)                                                                            | 1.72     | บาท/กก.   | ราคาเฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปี สกย., 2555 |
| น้ำยางสด (นครศรีธรรมราช)                                                                           | 92.65    | บาท/กก.   | ราคาเฉลี่ยย้อนหลัง 5 ปี สกย., 2555 |
| ไม้ยางพาราสด (นครศรีธรรมราช)                                                                       | 1.72     | บาท/กก.   | ราคาเฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปี สกย., 2555 |
| เศษยาง                                                                                             | 86.49    | บาท/กก.   | สมาคมไม้ยางพารา, 2555              |
| ไม้ยางพาราสดท่อน                                                                                   | 2.00     | บาท/กก.   | สกย., 2555                         |
| กิ่งไม้                                                                                            | 1.20     | บาท/กก.   | สมาคมไม้ยางพารา, 2555              |
| ไม้แปรรูป AB                                                                                       | 300.00   | บาท/ลบ.ฟ  | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ไม้แปรรูป C                                                                                        | 150.00   | บาท/ลบ.ฟ  | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ซีเลื่อยจากไม้แปรรูป                                                                               | 0.80     | บาท/กก.   | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ปึกไม้                                                                                             | 0.85     | บาท/กก.   | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ไม้ประสาน AB                                                                                       | 28000.00 | บาท/ลบ.ม. | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ไม้ประสาน C                                                                                        | 15000.00 | บาท/ลบ.ม. | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ซีเลื่อยจากไม้ประสาน                                                                               | 0.80     | บาท/กก.   | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ไม้อัดประสาน AB                                                                                    | 28000.00 | บาท/ลบ.ม. | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ไม้อัดประสาน C                                                                                     | 15000.00 | บาท/ลบ.ม. | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ซีเลื่อยจากไม้อัดประสาน                                                                            | 0.80     | บาท/กก.   | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ไม้พาเลท                                                                                           | 250.00   | บาท/ตัว   | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ซีเลื่อยจากไม้พาเลท                                                                                | 0.80     | บาท/กก.   | สมาคมไม้ยางพารา, 2553              |
| ความหนาแน่นไม้ 700 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร , 1 ลูกบาศก์เมตร = 35.32 ลูกบาศก์ฟุต, ไม้พาเลท 20 กก/ ตัว |          |           |                                    |



## ภาคผนวก ข

## ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกแต่ละกระบวนการ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปเพื่อการศึกษาอวเตอรืพตพริณต์ผลิตภณท์ไม้ยางพารา ในขั้นตอนนี้เป็น การคำนวณปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องและทำการตรวจสอบข้อมูลในแต่ละกระบวนการให้เสร็จสิ้นก่อน ก่อนเข้าสู่กระบวนการพิจารณาค่าการใช้ น้ำหรืออวเตอรืพตพริณต์ของวัตถุดิบและผลิตภณท์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยนำมาบ้นส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์ในภายหลัง กระบวนการที่เกี่ยวข้องคือ การปลูกไม้ยางพารา การตัดโค่น การแปรรูปอบแห้ง การทำไม้ประสาน การทำไม้อัดประสาน การทำไม้พาเลท ดังกล่าวในบทที่ 3 ข้อมูลบัญชีสารขาเข้าและสารขาออกแต่ละกระบวนการดังตารางที่ ข-15 ถึง ข-7

## ตารางที่ ข-1

## ข้อมูลสารขาเข้า-สารขาออกกระบวนการปลูกยางพารา 25 ปี

## จังหวัดจันทบุรี

| สารขาเข้า      | ปริมาณ | หน่วย        | ปี<br>กระบวนการปลูกยางพารา 25 ปี | สารขาออก     | ปริมาณ | หน่วย   |
|----------------|--------|--------------|----------------------------------|--------------|--------|---------|
| ต้นยาง         | 76     | ต้นต่อไร่    |                                  | น้ำยางพาราสด | 14.78  | ตัน/ไร่ |
| น้ำมันดีเซล*   | 2.10   | กิโลกรัม/ไร่ |                                  | ไม้ยางพาราสด | 46.11  | ตัน/ไร่ |
| Glyphosate     | 44.20  | กิโลกรัม/ไร่ |                                  |              |        |         |
| Paraquat       | 1.25   | กิโลกรัม/ไร่ |                                  |              |        |         |
| ปุ๋ย สูตร N    | 329.30 | กิโลกรัม/ไร่ |                                  |              |        |         |
| ปุ๋ย สูตร P2O5 | 270.14 | กิโลกรัม/ไร่ |                                  |              |        |         |
| ปุ๋ย สูตร K2O  | 289.32 | กิโลกรัม/ไร่ |                                  |              |        |         |

## ตารางที่ ข-2

ข้อมูลสารขาเข้า-สารขาออกกระบวนการปลูกยางพารา 25 ปี

จังหวัดนครศรีธรรมราช

| สารขาเข้า                 | ปริมาณ | หน่วย        | กระบวนการปลูกยางพารา 25 ปี | สารขาออก | ปริมาณ | หน่วย        |
|---------------------------|--------|--------------|----------------------------|----------|--------|--------------|
| ต้นยาง                    | 75.45  | ต้นต่อไร่    |                            | น้ำยางสด | 14.78  | ตัน/ไร่      |
| น้ำมันดีเซล               | 9.72   | กิโลกรัม/ไร่ |                            | ไม้ยาง   | 46.78  | ตัน/ไร่      |
| น้ำมันเครื่อง             | 1.37   | กิโลกรัม/ไร่ |                            | เศษยาง   | 380.00 | กิโลกรัม/ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร N               | 42.44  | กิโลกรัม/ไร่ |                            |          |        |              |
| ปุ๋ย สูตร P2O5            | 11.76  | กิโลกรัม/ไร่ |                            |          |        |              |
| ปุ๋ย สูตร K2O             | 34.65  | กิโลกรัม/ไร่ |                            |          |        |              |
| Glyphosate                | 20.28  | กิโลกรัม/ไร่ |                            |          |        |              |
| Paraquat                  | 34.01  | กิโลกรัม/ไร่ |                            |          |        |              |
| Metalaxyl                 | 1.08   | กิโลกรัม/ไร่ |                            |          |        |              |
| DAP (Diamonium Phosphate) | 119.49 | กิโลกรัม/ไร่ |                            |          |        |              |
| ยูเรีย                    | 526.15 | กิโลกรัม/ไร่ |                            |          |        |              |
| MOP (Potassium Chloride)  | 388.22 | กิโลกรัม/ไร่ |                            |          |        |              |
| Ethyphon                  | 0.35   | กิโลกรัม/ไร่ |                            |          |        |              |
| อีเทรล                    | 434.97 | กิโลกรัม/ไร่ |                            |          |        |              |
| ลิมโฟ                     | 30.89  | ลิตร/ไร่     |                            |          |        |              |

หมายเหตุ: ความหนาแน่น

น้ำมันดีเซล เท่ากับ 0.84 g/cm<sup>3</sup>น้ำมันเครื่อง เท่ากับ 0.99 g/cm<sup>3</sup>Glyphosate เท่ากับ 1.7 g/cm<sup>3</sup>Paraquat เท่ากับ 1.25 g/cm<sup>3</sup>

ตารางที่ ข-3  
 ข้อมูลสารขาเข้า-สารขาออกกระบวนการตัดโค่น

| สารขาเข้า             | ปริมาณ | หน่วย  | กระบวนการตัดโค่น | สารขาออก         | ปริมาณ | หน่วย  |
|-----------------------|--------|--------|------------------|------------------|--------|--------|
| ไม้ยางพาราสด          | 234.00 | ตัน/ปี |                  | ไม้ยางพาราสดท่อน | 187.20 | ตัน/ปี |
| น้ำมันดีเซล(ขนส่ง)    | 332.64 | ตัน/ปี |                  | กิ่งไม้          | 46.80  | ตัน/ปี |
| น้ำมันดีเซล(เล็กน้อย) | 39.40  | ตัน/ปี |                  |                  |        |        |
| น้ำมันเครื่อง         | 3.89   | ตัน/ปี |                  |                  |        |        |

ตารางที่ ข-4  
 ข้อมูลสารขาเข้า-สารขาออกกระบวนการแปรรูปอบแห้ง

| สารขาเข้า             | ปริมาณ     | หน่วย    | กระบวนการแปรรูปอบแห้ง | สารขาออก   | ปริมาณ   | หน่วย    |
|-----------------------|------------|----------|-----------------------|------------|----------|----------|
| ไม้ยางพาราสดท่อน      | 187200.00  | ตัน/ปี   |                       | ไม้แปรรูป  | 93600.00 | ตัน/ปี   |
| ไฟฟ้า                 | 4645344.85 | kWh/ปี   |                       | ปึกไม้     | 74880.00 | ตัน/ปี   |
| สีน้ำพลาสติก          | 3744.29    | ลิตร/ปี  |                       | ซีเล็กน้อย | 18720.00 | ตัน/ปี   |
| น้ำมันดีเซล(เล็กน้อย) | 7862.40    | กก./ปี   |                       | ซีเก่า     | 2920.00  | ตัน/ปี   |
| น้ำมันดีเซล(ขนส่ง)    | 23587.20   | กก./ปี   |                       | น้ำระเหย   | 16398.00 | ลบ.ม./ปี |
| ไบเล็กน้อย            | 6240.00    | กก./ปี   |                       |            |          |          |
| Boron                 | 91728.00   | กก./ปี   |                       |            |          |          |
| Calcium Hypochloride  | 6552.00    | กก./ปี   |                       |            |          |          |
| น้ำ                   | 474.00     | ลบ.ม./ปี |                       |            |          |          |
| น้ำ (ผลิตไอน้ำ)       | 16398.00   | ลบ.ม./ปี |                       |            |          |          |
| เศษไม้                | 26208.00   | ตัน/ปี   |                       |            |          |          |
| ซีเล็กน้อย            | 6552.00    | ตัน/ปี   |                       |            |          |          |
| Hydroguard            | 4361.00    | ตัน/ปี   |                       |            |          |          |

อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้ ไม้แปรรูปอบแห้ง AB:C:ปึกไม้:ซีเล็กน้อย เท่ากับ 4:1:4:1

ตารางที่ ข-5

ข้อมูลสารขาเข้า-สารขาออกกระบวนการทำไม้ประสานปี 2553  
โรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช ปี 2553

| สารขาเข้า     | ปริมาณ       | หน่วย  | กระบวนการทำไม้ประสาน | สารขาออก  | ปริมาณ  | หน่วย  |
|---------------|--------------|--------|----------------------|-----------|---------|--------|
| ไม้แปรรูป     | 5,320.00     | ตัน/ปี |                      | ไม้ประสาน | 3743.00 | ตัน/ปี |
| ไฟฟ้า         | 1,693,356.00 | kWh/ปี |                      | ซีลี้อย   | 1577.00 | ตัน/ปี |
| น้ำมันเครื่อง | 42.06        | ตัน/ปี |                      |           |         |        |
| กาก           | 43.00        | ตัน/ปี |                      |           |         |        |

อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้ ไม้ประสาน AB:C เท่ากับ 4:1

ตารางที่ ข-6

ข้อมูลสารขาเข้า-สารขาออกกระบวนการทำไม้อัดประสาน  
โรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช ปี 2553

| สารขาเข้า             | ปริมาณ    | หน่วย  | การทำไม้อัดประสาน | สารขาออก     | ปริมาณ  | หน่วย  |
|-----------------------|-----------|--------|-------------------|--------------|---------|--------|
| ไม้ประสาน             | 3743.00   | ตัน/ปี |                   | ไม้อัดประสาน | 3194.00 | ตัน/ปี |
| ไฟฟ้า                 | 884282.02 | kWh    |                   | ซีลี้อย      | 549.00  | ตัน/ปี |
| น้ำมันเครื่อง         | 0.15      | ตัน/ปี |                   |              |         |        |
| Polystyrene-butadiene | 45.40     | ตัน/ปี |                   |              |         |        |
| Hardener              | 6.60      | ตัน/ปี |                   |              |         |        |
| กระดาษทราย            | 0.92      | ตัน/ปี |                   |              |         |        |
| พลาสติก PE            | 3.59      | ตัน/ปี |                   |              |         |        |
| กระดาษลูกฟูก          | 14.47     | ตัน/ปี |                   |              |         |        |
| น้ำมันดีเซล           | 2.02      | ตัน/ปี |                   |              |         |        |

อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้ ไม้อัดประสาน AB:C เท่ากับ 4:1

ตารางที่ ข-7

ข้อมูลสารขาเข้า-สารขาออกกระบวนการทำไม้ปาเลท

โรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราช ปี 2553

| สารขาเข้า     | ปริมาณ    | หน่วย  | การทำให้อัดประสาน | สารขาออก | ปริมาณ  | หน่วย  |
|---------------|-----------|--------|-------------------|----------|---------|--------|
| ไม้ประสาน C   | 1380.00   | ตัน/ปี |                   | ไม้ปาเลท | 1200.00 | ตัน/ปี |
| น้ำมันดีเซล   | 6.30      | ตัน/ปี |                   | ซีล้อย   | 180.00  | ตัน/ปี |
| น้ำมันเครื่อง | 0.50      | ตัน/ปี |                   |          |         |        |
| ไฟฟ้า         | 128000.00 | kWh/ปี |                   |          |         |        |
| ใบเลื่อย      | 20.00     | อัน    |                   |          |         |        |
| ตะปู          | 10.00     | ตัน/ปี |                   |          |         |        |



## ภาคผนวก ค

### การคำนวณด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0

การคำนวณหาค่า  $ET_c$  และ  $P_{eff}$  จากโปรแกรม CROPWAT 8.0 เพื่อนำมาคำนวณค่า  
วอเตอร์ฟุตพริ้นต์กระบวนการปลูกยางพาราสามารถหาได้โดยต้องใส่ข้อมูล 4 ส่วนดังนี้

#### ค-1 CROPWAT 8.0 ส่วน Climate/ $ET_0$

การใส่ข้อมูลในส่วน Climate/ $ET_0$  ต้องมีข้อมูลดังต่อไปนี้

1. Altitude, Latitude และ Longitude
2. ค่าต่ำสุด-สูงสุดของอุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส, C)
3. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (เปอร์เซ็นต์, %)
4. ช่วงแสงแดดในแต่ละวัน (ช่วงเวลาที่มืดในแต่ละวัน, ชั่วโมง)
5. ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อวัน, km/day)

ขอข้อมูลดังกล่าวของจังหวัดจันทบุรีและจังหวัดนครศรีธรรมราชจากกรม  
อุตุนิยมวิทยาแสดงดังตารางที่ ค 1.1 ถึง ค 1.6

ตารางที่ ค 1-1

ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม CROPWAT จากอุตุนิยมหาวิทยาลัยจันทรบุรี พ.ศ.2528-2553

|       | ค่าสูงสุดของอุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส, C)(extrmaxtemp) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| month | 1985                                                     | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1     | 34.6                                                     | 33.8 | 35.5 | 34.6 | 34.6 | 34   | 34.8 | 33.7 | 34.3 | 35.4 | 35.2 | 34.4 | 33   | 36.6 | 36.1 | 35   | 34.7 | 34.6 | 36.2 | 34.8 | 35.9 | 34.8 | 35.7 | 35.2 | 34   | 34.8 |
| 2     | 34.1                                                     | 35   | 34.5 | 34.7 | 33.9 | 34.1 | 35.6 | 34   | 34   | 35.1 | 33.3 | 34   | 34   | 34.9 | 36.3 | 35.4 | 35.5 | 35.5 | 36.1 | 34.1 | 35   | 35.8 | 33.9 | 34.4 | 35.3 | 34.9 |
| 3     | 35.6                                                     | 35.2 | 34.7 | 34.9 | 34.2 | 34.2 | 36.5 | 34.3 | 33.8 | 36.1 | 35.9 | 35.2 | 34.8 | 35.8 | 35.5 | 35.3 | 35.4 | 35.8 | 34.9 | 36.4 | 35.6 | 35.2 | 34.9 | 34.4 | 35.3 | 36.5 |
| 4     | 35.3                                                     | 35.6 | 35.3 | 35   | 35   | 35.8 | 36   | 36   | 35.2 | 35.6 | 35.5 | 35.7 | 35   | 36.4 | 34.7 | 35.5 | 35.3 | 35.2 | 36.5 | 36.2 | 35.8 | 35.8 | 35.5 | 35.2 | 36.2 | 35.8 |
| 5     | 34.1                                                     | 34.7 | 35.2 | 34.2 | 34.9 | 35.4 | 35.1 | 35.7 | 35.6 | 35.3 | 34.7 | 35.4 | 35.6 | 36.7 | 33.4 | 34.9 | 34.8 | 35.5 | 36.6 | 35.4 | 35.5 | 35.5 | 34.6 | 34.1 | 35.3 | 36.6 |
| 6     | 32.8                                                     | 33   | 34.5 | 33.8 | 34.1 | 33.5 | 34.2 | 34.2 | 35   | 32.5 | 34.1 | 34.6 | 34.5 | 33.9 | 33.4 | 33.5 | 35   | 33.6 | 34.4 | 34   | 34   | 33.9 | 34.9 | 33.8 | 33.9 | 34.5 |
| 7     | 32.4                                                     | 33   | 33.3 | 34.6 | 33.2 | 33.9 | 33.2 | 34.7 | 33.3 | 32.2 | 33.2 | 34.2 | 32.7 | 34.2 | 32.6 | 32.5 | 32.7 | 33.4 | 34.3 | 33.9 | 36   | 32.8 | 35.2 | 32.9 | 33.8 | 34.3 |
| 8     | 31.8                                                     | 31.8 | 34.2 | 33.1 | 32.5 | 32.9 | 33.2 | 32.7 | 32.4 | 32.6 | 33.7 | 34.1 | 33   | 34.3 | 33.5 | 33.2 | 32.9 | 33   | 35.7 | 33.4 | 33.9 | 33.2 | 33.4 | 34.1 | 34.8 | 34.2 |
| 9     | 33.5                                                     | 33.5 | 34.5 | 34.1 | 34.5 | 33   | 33   | 33.6 | 32.7 | 33.1 | 33.4 | 33.5 | 34.1 | 33.5 | 33.8 | 34.2 | 33.6 | 33.2 | 35   | 35.5 | 33.4 | 34.1 | 34.4 | 33.8 | 33.7 | 35.3 |
| 10    | 34.6                                                     | 34.1 | 35   | 33.4 | 34.2 | 33.9 | 32.9 | 33.8 | 33.5 | 34.8 | 34.5 | 34.2 | 34.7 | 35   | 34.9 | 33.9 | 34.7 | 35   | 34.5 | 35.3 | 34.7 | 35.1 | 34.4 | 35.4 | 34.8 | 34.2 |
| 11    | 34.3                                                     | 33.5 | 34   | 33.7 | 33.6 | 34   | 34.5 | 34.1 | 34.8 | 34.6 | 34.3 | 34.6 | 35.5 | 35   | 34.8 | 34.2 | 34.6 | 35.8 | 36.2 | 36.1 | 34.5 | 36.3 | 33.9 | 34   | 35.4 | 34.8 |
| 12    | 34.4                                                     | 33.8 | 33.9 | 33.7 | 34.7 | 34.5 | 34.1 | 33.8 | 35   | 34.8 | 33.7 | 33.4 | 35.4 | 34   | 34.4 | 34.3 | 34.7 | 35.2 | 34.1 | 34.5 | 33.9 | 35.3 | 35.5 | 33.7 | 35.2 | 34.4 |
|       | ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส, C)(extrmintemp) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| month | 1985                                                     | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1     | 17.8                                                     | 16.7 | 18.1 | 18.4 | 20   | 19.8 | 20   | 16.4 | 17.1 | 17.3 | 15.8 | 16.9 | 15   | 20.2 | 15.9 | 19.4 | 18.9 | 18   | 18.4 | 18.4 | 16.4 | 19.9 | 18.3 | 17.9 | 16.1 | 20.8 |
| 2     | 20                                                       | 19.5 | 17.4 | 19.6 | 18.9 | 20.7 | 20.5 | 18.4 | 18.6 | 20.1 | 17.2 | 19.5 | 20.1 | 23   | 18.6 | 16.7 | 19.2 | 20   | 19.3 | 18.4 | 22.4 | 21.9 | 16.5 | 20.6 | 20.5 | 23.2 |
| 3     | 21.8                                                     | 14.5 | 21.6 | 23   | 21.4 | 22.1 | 22.5 | 20.7 | 22   | 21.3 | 22.5 | 20.8 | 20.3 | 22.1 | 20.7 | 20.5 | 21.3 | 21.1 | 21.9 | 21.4 | 17.7 | 22.6 | 22.8 | 21.4 | 22.5 | 21.8 |
| 4     | 22.9                                                     | 22.8 | 23.1 | 23.8 | 22.7 | 23   | 22.5 | 23.5 | 22.2 | 22.5 | 22.4 | 23.5 | 22.2 | 23.6 | 23.3 | 22.9 | 23.6 | 23.1 | 22.4 | 23.1 | 23.4 | 23.2 | 22.6 | 23.4 | 23   | 23.8 |
| 5     | 22.3                                                     | 23.3 | 23.7 | 23.8 | 23.4 | 23.2 | 24.1 | 22.1 | 22.8 | 23.1 | 22.1 | 23.1 | 22.6 | 23.8 | 22.7 | 22.9 | 23.2 | 22.4 | 23.4 | 23.6 | 24.1 | 23.3 | 23.2 | 23.4 | 23.8 | 23.7 |
| 6     | 22.3                                                     | 23.4 | 23.3 | 23.2 | 22.5 | 24   | 23   | 22.7 | 22.6 | 22.8 | 23.4 | 22.7 | 21.9 | 23.1 | 22.7 | 22.8 | 22.6 | 23.6 | 22.4 | 22   | 24   | 23.2 | 23.6 | 22.9 | 24   | 23.9 |
| 7     | 23.1                                                     | 22.6 | 22.7 | 23.4 | 23.2 | 23   | 23.2 | 21.4 | 22.6 | 23.3 | 22.5 | 23.3 | 23.7 | 22.9 | 22.1 | 22.9 | 23.2 | 22.5 | 21.7 | 22.4 | 23   | 24   | 22.9 | 22.8 | 23   | 23.9 |
| 8     | 23                                                       | 22.5 | 23.2 | 23   | 23   | 22.6 | 22.6 | 22   | 22.2 | 22.4 | 22.4 | 23.2 | 21.4 | 23.1 | 22.6 | 22.1 | 23.4 | 23.1 | 22.4 | 22.3 | 23.8 | 21.9 | 22.4 | 22.9 | 23.5 | 23.1 |
| 9     | 22.5                                                     | 22.8 | 22.8 | 23.9 | 22.3 | 22.3 | 22.5 | 22.8 | 22.1 | 22.5 | 22.1 | 23.6 | 22.2 | 22.7 | 22.8 | 22.5 | 22.6 | 23.4 | 22.7 | 23.1 | 23   | 22.5 | 22.9 | 22.6 | 23   | 23.5 |
| 10    | 22.5                                                     | 23.3 | 22.5 | 21.5 | 22.4 | 22.6 | 18.7 | 21.9 | 21.8 | 20.3 | 23   | 21.5 | 22.6 | 21.6 | 22.1 | 22.7 | 23.1 | 21.1 | 22.6 | 22   | 22.9 | 22.6 | 21.6 | 23.4 | 22.3 | 20.3 |
| 11    | 21.3                                                     | 20.5 | 21.8 | 19.7 | 19.2 | 18.8 | 19.7 | 18.2 | 19.6 | 22   | 19.9 | 21   | 21.1 | 20.6 | 20.2 | 16.5 | 18.9 | 21.1 | 20.8 | 21.9 | 19.9 | 21.5 | 18.3 | 20.4 | 19   | 21.4 |
| 12    | 16.3                                                     | 17.5 | 16.1 | 17.2 | 17.4 | 17.9 | 18.6 | 18.7 | 17.1 | 18.7 | 16.2 | 15.3 | 19.2 | 18.5 | 18   | 19.8 | 17   | 22.3 | 17.4 | 18.1 | 16.6 | 17.5 | 18.5 | 18.4 | 19.3 | 19.7 |

ตารางที่ ค 1-2

ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม CROPWAT จากอุตุนิยมหาวิทยาลัยจันทรบุรี พ.ศ.2528-2553

|       | ช่วงเวลาที่มีแดดในแต่ละวัน, ชั่วโมง (avg sunshine/day) |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| month | 1985                                                   | 1986  | 1987  | 1988  | 1989  | 1990 | 1991  | 1992  | 1993  | 1994 | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  |
| 1     | 9.3                                                    | 9.3   | 9.8   | 9.6   | 7.6   | 9    | 9.3   | 8.3   | 7.8   | 6.1  | 5.5   | 7.9   | 8.2   | 8.4   | 7.3   | 7.7   | 8.1   | 8.3   | 9     | 7     | 7.2   | 8.1   | 8.1   | 8.1   | 8.1   | 8.1   |
| 2     | 8.5                                                    | 8.9   | 9.1   | 8.1   | 8.1   | 8.9  | 9.1   | 8.3   | 8.9   | 6.2  | 6.5   | 8.6   | 7.2   | 8.8   | 8     | 7.9   | 7.8   | 7.3   | 8.1   | 7.3   | 8.6   | 8.1   | 8.1   | 8.1   | 8.1   | 8.1   |
| 3     | 8                                                      | 8.3   | 7.1   | 7.7   | 8.4   | 8.3  | 8.2   | 9.2   | 6.8   | 5.9  | 5.4   | 8.5   | 8.5   | 8.1   | 7.6   | 7.1   | 5.3   | 6.9   | 5.8   | 7.7   | 7.3   | 7.4   | 7.4   | 7.4   | 7.4   | 7.4   |
| 4     | 7.1                                                    | 7     | 7.7   | 6.3   | 9.1   | 8.2  | 8.2   | 9     | 8.1   | 9.1  | 5.7   | 7     | 7.7   | 7.8   | 4.5   | 6.8   | 7.8   | 7.2   | 8.4   | 8.5   | 6.9   | 7.5   | 7.5   | 7.5   | 7.5   | 7.5   |
| 5     | 5                                                      | 4.8   | 6.4   | 5.5   | 4.8   | 5.7  | 5.2   | 5.9   | 6     | 2.9  | 3.3   | 4.8   | 6.2   | 5.5   | 3.4   | 4.9   | 4.6   | 4.3   | 4.5   | 5.2   | 4.9   | 4.9   | 4.9   | 4.9   | 4.9   | 4.9   |
| 6     | 2.4                                                    | 3.9   | 4.7   | 4     | 4.8   | 4    | 3.4   | 3.4   | 4.3   | 1.2  | 3.3   | 4.8   | 5.1   | 4     | 3.9   | 3.1   | 3.6   | 4.1   | 4.7   | 3.9   | 4.5   | 3.9   | 3.9   | 3.9   | 3.9   | 3.9   |
| 7     | 4.1                                                    | 4.4   | 4.3   | 4.9   | 4.5   | 5.8  | 2.9   | 3.9   | 4.6   | 2.2  | 2.5   | 3.1   | 2.5   | 4.8   | 3.9   | 3.6   | 4.3   | 5.5   | 3.6   | 3.9   | 2.7   | 3.9   | 3.9   | 3.9   | 3.9   | 3.9   |
| 8     | 4.2                                                    | 3.3   | 5.2   | 4     | 4.4   | 3.7  | 3.2   | 3.2   | 3.1   | 2.3  | 2.5   | 4.6   | 4.7   | 4.5   | 4.1   | 4.3   | 3.3   | 1.5   | 4     | 3.7   | 3.9   | 3.7   | 3.7   | 3.7   | 3.7   | 3.7   |
| 9     | 3.6                                                    | 4.7   | 3.9   | 5.3   | 4.1   | 4.5  | 3     | 4.9   | 2.3   | 2    | 1.7   | 2     | 4.2   | 2.7   | 5.4   | 3.5   | 3.8   | 3.7   | 2.5   | 3.5   | 3     | 3.5   | 3.5   | 3.5   | 3.5   | 3.5   |
| 10    | 5.1                                                    | 5.4   | 6.7   | 4.5   | 5.6   | 5.8  | 4.7   | 4.7   | 4.9   | 4.5  | 3.4   | 5.1   | 6.2   | 4.5   | 6     | 4.3   | 5     | 6.8   | 5     | 7.7   | 5.7   | 5.3   | 5.3   | 5.3   | 5.3   | 5.3   |
| 11    | 7.3                                                    | 7.4   | 6.9   | 7.3   | 8.4   | 7.9  | 6.2   | 8.8   | 8.2   | 9.2  | 5.8   | 5.7   | 7.8   | 5.6   | 7.3   | 7.4   | 7     | 6.8   | 8.4   | 8.2   | 6     | 7.3   | 7.3   | 7.3   | 7.3   | 7.3   |
| 12    | 9.5                                                    | 8.6   | 9.9   | 9.8   | 9.4   | 9.6  | 6.1   | 8.1   | 8     | 5.8  | 5.7   | 6.8   | 9.7   | 6.6   | 7.9   | 7.7   | 8.1   | 7.6   | 8     | 8.9   | 5     | 7.9   | 7.9   | 7.9   | 7.9   | 7.9   |
|       | ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร, mm)(TOTALRAIN)                 |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| month | 1985                                                   | 1986  | 1987  | 1988  | 1989  | 1990 | 1991  | 1992  | 1993  | 1994 | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  |
| 1     | 25.1                                                   | 0     | 0     | 0     | 40.3  | 8.7  | 4.5   | 14.6  | 37.4  | 0    | 20.3  | 5.1   | 6.6   | 0     | 1.1   | 20.4  | 70.9  | 1.1   | 0     | 157.6 | 23.5  | 0     | 19.1  | 43    | 0.5   | 30.2  |
| 2     | 22.6                                                   | 0.9   | 16.1  | 33.1  | 28.3  | 3.2  | 59.6  | 2     | 7.5   | 48.5 | 48.7  | 59.1  | 90.4  | 22    | 25.4  | 28    | 12.2  | 2.7   | 55.4  | 17.8  | 0.6   | 59.4  | 26.4  | 91.5  | 0.1   | 100.2 |
| 3     | 71.8                                                   | 0.1   | 18.5  | 33.3  | 89.8  | 167  | 26.4  | 6.3   | 164.8 | 132  | 53.4  | 14.7  | 150   | 3.4   | 55.8  | 25.5  | 208.5 | 36.6  | 40    | 44.6  | 50.3  | 60.1  | 161.9 | 55.5  | 243.2 | 77    |
| 4     | 164                                                    | 81.4  | 31.4  | 137.7 | 68.1  | 111  | 94.6  | 34.5  | 59.8  | 45.8 | 68.3  | 122.6 | 78.1  | 21.4  | 463.4 | 179.8 | 180.2 | 77.9  | 91.1  | 74.5  | 171.7 | 101.7 | 272.1 | 164.5 | 186.2 | 159.1 |
| 5     | 262                                                    | 625.1 | 138.4 | 389.8 | 311.2 | 445  | 272.8 | 189   | 203.3 | 301  | 385   | 372.6 | 204.9 | 499.8 | 480.4 | 382.1 | 495.5 | 556.4 | 129.2 | 389.8 | 330.9 | 466.2 | 578.4 | 766.2 | 633.3 | 281.6 |
| 6     | 450                                                    | 649.8 | 835.4 | 733.4 | 272.2 | 376  | 307.1 | 396.1 | 396.4 | 773  | 705.4 | 378   | 165.9 | 867.7 | 394   | 720.3 | 254.5 | 504.7 | 462.2 | 489.5 | 623.7 | 509   | 548.2 | 458.8 | 258.1 | 492.8 |
| 7     | 413                                                    | 262   | 313.5 | 597.2 | 299.3 | 374  | 455.1 | 420.4 | 308.5 | 231  | 529.9 | 417.3 | 512   | 520.3 | 731.4 | 516.7 | 337.7 | 317.5 | 599.2 | 904.3 | 362.9 | 585.1 | 851.9 | 514.8 | 543.4 | 567.4 |
| 8     | 367                                                    | 461.3 | 610.2 | 418.2 | 500   | 643  | 579.7 | 576.4 | 545.5 | 715  | 736.9 | 325.5 | 378.9 | 443.4 | 331.7 | 488.8 | 301.5 | 445.7 | 580.7 | 512.7 | 442.8 | 626.3 | 299.8 | 357.1 | 236.7 | 512.7 |
| 9     | 375                                                    | 273.3 | 367.7 | 334.5 | 291.1 | 745  | 962.9 | 359.4 | 889.1 | 716  | 699.4 | 512   | 436.2 | 569.9 | 494.9 | 325.1 | 360.6 | 376.5 | 377.2 | 233.2 | 457.9 | 581   | 519.9 | 685.9 | 689.4 | 225.9 |
| 10    | 374                                                    | 297.9 | 246.9 | 531.6 | 274.7 | 388  | 313.5 | 222.7 | 261.2 | 133  | 350.2 | 303.2 | 257.8 | 168.6 | 308.5 | 235.5 | 276.4 | 237.3 | 137   | 137.6 | 239.9 | 829.7 | 144.1 | 231.1 | 307.7 | 375.3 |
| 11    | 20.1                                                   | 81.6  | 220.4 | 4.2   | 82.8  | 43.8 | 0     | 0     | 13.2  | 9    | 10.7  | 120.7 | 42.5  | 18.2  | 97.8  | 74.9  | 27.5  | 40.2  | 0.9   | 27.2  | 179.5 | 90.7  | 13.1  | 74    | 0.5   | 5.7   |
| 12    | 0                                                      | 1.4   | 0     | 0     | 8     | 0    | 0     | 30.9  | 0.4   | 3.2  | 1.9   | 0     | 0     | 17    | 28.2  | 18.8  | 3.1   | 52.4  | 0     | 0     | 7.4   | 1.3   | 0     | 0     | 0     | 28.2  |

ตารางที่ ค 1-3

ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม CROPWAT จากอุตุนิยมวิทยาจังหวัดจันทบุรี พ.ศ.2528-2553

|       | ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (เปอร์เซ็นต์, %) (avgrh) |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------|---------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| month | 1985                                              | 1986   | 1987   | 1988   | 1989   | 1990  | 1991   | 1992   | 1993   | 1994  | 1995   | 1996   | 1997   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   |
| 1     | 69                                                | 63     | 64     | 68     | 73     | 73    | 70     | 68     | 70     | 71    | 66     | 70     | 72     | 74     | 66     | 71     | 74     | 70     | 63     | 72     | 73     | 68     | 61     | 65     | 62     | 72     |
| 2     | 76                                                | 74     | 70     | 73.6   | 78     | 75    | 69     | 74     | 71     | 77    | 71     | 65     | 79     | 78     | 71     | 71     | 74     | 76     | 74     | 72     | 79     | 72     | 72     | 70     | 74     | 78     |
| 3     | 73                                                | 69     | 76     | 75     | 74     | 78    | 74     | 74     | 80     | 77    | 77     | 76     | 81     | 75     | 79     | 76     | 81     | 76     | 78     | 75     | 74     | 75     | 78     | 74     | 77     | 74     |
| 4     | 79                                                | 78     | 77     | 78     | 77     | 75    | 75     | 74     | 77     | 77    | 77     | 78     | 80     | 76     | 84     | 82     | 80     | 78     | 75     | 77     | 78     | 77     | 80     | 80     | 78     | 76     |
| 5     | 82                                                | 82     | 80     | 83     | 81     | 81    | 82     | 78     | 80     | 84    | 81     | 83     | 81     | 81     | 87     | 82     | 84     | 86     | 82     | 81     | 83     | 80     | 85     | 85     | 83     | 78     |
| 6     | 82                                                | 85     | 83     | 84     | 82     | 82    | 82     | 82     | 85     | 87    | 84     | 84     | 82     | 86     | 84     | 85     | 82     | 84     | 83     | 84     | 84     | 83     | 83     | 83     | 79     | 84     |
| 7     | 82                                                | 82     | 82     | 84     | 83     | 81    | 84     | 82     | 82     | 83    | 85     | 86     | 84     | 84     | 85     | 85     | 83     | 81     | 86     | 84     | 84     | 83     | 84     | 83     | 82     | 84     |
| 8     | 81                                                | 85     | 84     | 85     | 83     | 83    | 84     | 84     | 85     | 85    | 86     | 84     | 84     | 84     | 85     | 83     | 84     | 87     | 84     | 84     | 83     | 84     | 83     | 81     | 81     | 86     |
| 9     | 83                                                | 84     | 85     | 84     | 84     | 84    | 86     | 82     | 87     | 86    | 88     | 87     | 86     | 87     | 84.9   | 84     | 86     | 85     | 85     | 84     | 86     | 84     | 84     | 85     | 85     | 82     |
| 10    | 83                                                | 84     | 81     | 83     | 81     | 81    | 82     | 79     | 84     | 77    | 83     | 83     | 83     | 81     | 83     | 85     | 85     | 78     | 80     | 74     | 80     | 81     | 79     | 81     | 84     | 82     |
| 11    | 74                                                | 73     | 81     | 65     | 71     | 74    | 68     | 67     | 71     | 67    | 71     | 79     | 76     | 73     | 77     | 68     | 71     | 73     | 70     | 67     | 76     | 72     | 64     | 71     | 69     | 67     |
| 12    | 63                                                | 67     | 63     | 63     | 67     | 66    | 64     | 67     | 63     | 68    | 65     | 66     | 68     | 68     | 65.6   | 67     | 67     | 73     | 62     | 62     | 68     | 62     | 66     | 61     | 68     | 67     |
|       | ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อวัน, km/day)(wind speed)   |        |        |        |        |       |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| month | 1985                                              | 1986   | 1987   | 1988   | 1989   | 1990  | 1991   | 1992   | 1993   | 1994  | 1995   | 1996   | 1997   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   |
| 1     | 53.34                                             | 102.23 | 88.90  | 62.23  | 66.67  | 48.89 | 44.45  | 75.56  | 48.89  | 44.45 | 57.78  | 44.45  | 66.67  | 48.89  | 111.12 | 80.01  | 53.34  | 75.56  | 88.90  | 44.45  | 71.12  | 88.90  | 124.45 | 120.01 | 186.68 | 88.90  |
| 2     | 44.45                                             | 35.56  | 53.34  | 54.23  | 53.34  | 53.34 | 62.23  | 44.45  | 40.00  | 35.56 | 53.34  | 88.90  | 26.67  | 22.22  | 57.78  | 53.34  | 57.78  | 26.67  | 40.00  | 62.23  | 57.78  | 66.67  | 71.12  | 93.34  | 75.56  | 80.01  |
| 3     | 44.45                                             | 71.12  | 53.34  | 53.34  | 66.67  | 48.89 | 57.78  | 57.78  | 31.11  | 44.45 | 26.67  | 35.56  | 13.33  | 35.56  | 31.11  | 53.34  | 48.89  | 48.89  | 31.11  | 57.78  | 80.01  | 62.23  | 62.23  | 71.12  | 71.12  | 80.01  |
| 4     | 40.00                                             | 26.67  | 35.56  | 35.56  | 53.34  | 53.34 | 62.23  | 48.89  | 31.11  | 44.45 | 22.22  | 31.11  | 26.67  | 31.11  | 22.22  | 31.11  | 44.45  | 35.56  | 40.00  | 44.45  | 53.34  | 44.45  | 44.45  | 44.45  | 66.67  | 66.67  |
| 5     | 22.22                                             | 44.45  | 31.11  | 40.00  | 48.89  | 40.00 | 17.78  | 31.11  | 31.11  | 35.56 | 17.78  | 8.89   | 26.67  | 31.11  | 22.22  | 31.11  | 48.89  | 35.56  | 35.56  | 40.00  | 35.56  | 40.00  | 44.45  | 48.89  | 62.23  | 66.67  |
| 6     | 71.12                                             | 31.11  | 48.89  | 35.56  | 57.78  | 53.34 | 48.89  | 35.56  | 22.22  | 31.11 | 22.22  | 13.33  | 31.11  | 8.89   | 44.45  | 31.11  | 75.56  | 48.89  | 31.11  | 62.23  | 66.67  | 31.11  | 44.45  | 71.12  | 115.56 | 62.23  |
| 7     | 35.56                                             | 53.34  | 44.45  | 35.56  | 57.78  | 44.45 | 40.00  | 35.56  | 48.89  | 53.34 | 26.67  | 22.22  | 35.56  | 22.22  | 53.34  | 57.78  | 75.56  | 102.23 | 35.56  | 40.00  | 57.78  | 88.90  | 71.12  | 84.45  | 97.79  | 66.67  |
| 8     | 62.23                                             | 48.89  | 44.45  | 40.00  | 62.23  | 48.89 | 57.78  | 35.56  | 40.00  | 40.00 | 22.22  | 22.22  | 48.89  | 22.22  | 35.56  | 57.78  | 71.12  | 40.00  | 53.34  | 62.23  | 57.78  | 62.23  | 53.34  | 102.23 | 80.01  | 57.78  |
| 9     | 31.11                                             | 35.56  | 31.11  | 31.11  | 44.45  | 35.56 | 40.00  | 31.11  | 13.33  | 22.22 | 13.33  | 17.78  | 8.89   | 17.78  | 35.03  | 48.89  | 40.00  | 48.89  | 26.67  | 31.11  | 44.45  | 40.00  | 44.45  | 71.12  | 48.89  | 57.78  |
| 10    | 26.67                                             | 31.11  | 40.00  | 48.89  | 48.89  | 53.34 | 40.00  | 44.45  | 35.56  | 57.78 | 48.89  | 44.45  | 31.11  | 53.34  | 84.45  | 31.11  | 44.45  | 57.78  | 62.23  | 88.90  | 75.56  | 62.23  | 124.45 | 71.12  | 48.89  | 106.68 |
| 11    | 44.45                                             | 120.01 | 57.78  | 226.68 | 115.56 | 80.01 | 97.79  | 111.12 | 93.34  | 97.79 | 124.45 | 106.68 | 124.45 | 115.56 | 124.45 | 160.01 | 182.24 | 111.12 | 84.45  | 124.45 | 106.68 | 80.01  | 213.35 | 217.80 | 173.35 | 195.57 |
| 12    | 84.45                                             | 106.68 | 177.79 | 142.23 | 88.90  | 93.34 | 111.12 | 66.67  | 155.57 | 57.78 | 160.01 | 151.12 | 93.34  | 164.46 | 244.46 | 124.45 | 142.23 | 75.56  | 133.34 | 111.12 | 186.68 | 168.90 | 106.68 | 204.46 | 93.34  | 128.90 |



ตารางที่ ค 1-4

ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม CROPWAT จากอุตุนิยมวิทยาจังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ.2528-2553

|       | ช่วงเวลาที่บันทึกในแต่ละวัน, ชั่วโมง (avgsunshine/day) |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |        |
|-------|--------------------------------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| month | 1985                                                   | 1986  | 1987  | 1988   | 1989  | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  | 2000   | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008   | 2009  | 2010   |
| 1     | 8.7                                                    | 5.5   | 6.1   | 6.6    | 6.5   | 7.9   | 7.6   | 6.5   | 7.5   | 7.9   | 6.2   | 7.6   | 8.5   | 8     | 5.8   | 6.2    | 6.8   | 6.8   | 7.1   | 7.9   | 6.8   | 6.3   | 3.6   | 6.6    | 5.8   | 6.3    |
| 2     | 7.8                                                    | 8.3   | 8.9   | 8.1    | 8.8   | 9.2   | 8.5   | 8     | 8.4   | 8.2   | 7.9   | 7.5   | 6.6   | 8.7   | 6.9   | 7.3    | 8.5   | 9.2   | 8.7   | 7.5   | 9.8   | 7.3   | 6.6   | 5.9    | 8.5   | 8.8    |
| 3     | 7.1                                                    | 8.1   | 8     | 7.6    | 7.9   | 9     | 8.5   | 9.2   | 6.6   | 5.8   | 7.3   | 9.3   | 8.5   | 6.7   | 7.9   | 6.2    | 5.7   | 8     | 6.8   | 6.8   | 7.7   | 6.7   | 6     | 7.5    | 5.7   | 5.7    |
| 4     | 6.6                                                    | 7.2   | 7.6   | 5.9    | 7.1   | 7.1   | 7.4   | 7.7   | 7     | 6.2   | 7.9   | 5.9   | 6.5   | 6.6   | 5.2   | 6.2    | 8.4   | 7.1   | 8.9   | 6.4   | 9.2   | 6.9   | 7.8   | 6.4    | 5.4   | 6.1    |
| 5     | 5.5                                                    | 5.5   | 6     | 4.6    | 4.8   | 5.3   | 5.9   | 6.4   | 6.3   | 5.5   | 5.8   | 5.8   | 6     | 4.5   | 5.6   | 6.1    | 6.4   | 6.1   | 5.4   | 5.2   | 5.8   | 3.9   | 5.6   | 5      | 3.9   | 4.7    |
| 6     | 5.2                                                    | 5.8   | 5.5   | 5.8    | 6.8   | 6.7   | 5.2   | 4.8   | 6.2   | 4.2   | 4.6   | 5.1   | 6.6   | 3.1   | 5     | 4      | 5.3   | 5.8   | 6.5   | 4.6   | 5.9   | 4     | 5.9   | 4.6    | 5.7   | 3.5    |
| 7     | 6.5                                                    | 5.9   | 6.4   | 5      | 5.6   | 6.6   | 4.1   | 5.6   | 4.8   | 4.3   | 3.7   | 4.2   | 4.6   | 4.3   | 5.7   | 5.7    | 6.9   | 6.8   | 5.4   | 5.1   | 5.1   | 3.6   | 4.6   | 5.1    | 4.1   | 3.1    |
| 8     | 6.2                                                    | 3.9   | 5.2   | 5.6    | 5.7   | 6.6   | 4.3   | 4.6   | 6.3   | 3.7   | 4.5   | 5.2   | 5     | 3.8   | 6.4   | 4.8    | 6.1   | 5.3   | 6.2   | 5.4   | 6.5   | 4.4   | 5.4   | 6      | 4.4   | 3.5    |
| 9     | 4.6                                                    | 4.3   | 6.1   | 3.7    | 6.4   | 5.3   | 4.6   | 5.9   | 5.3   | 4.1   | 4.4   | 4.1   | 3.4   | 3.6   | 6.4   | 5.1    | 6.3   | 5.5   | 6     | 4.7   | 5.2   | 3.8   | 5.9   | 4.4    | 3.9   | 5.1    |
| 10    | 4.2                                                    | 4.2   | 6.1   | 3.8    | 4.8   | 4.9   | 5.3   | 3.6   | 4.3   | 5.3   | 4.8   | 4.4   | 4.3   | 3.3   | 4.6   | 3.9    | 3.9   | 6.3   | 3.9   | 4.6   | 3.5   | 3.4   | 3.8   | 5.4    | 4.1   | 4.6    |
| 11    | 3.8                                                    | 4.6   | 5.3   | 2.3    | 5.3   | 5.1   | 5.1   | 4.6   | 4.9   | 4     | 4.2   | 4.3   | 4.1   | 3.7   | 3.9   | 3.5    | 4.2   | 4.4   | 5.5   | 5.2   | 4.1   | 4.3   | 5.6   | 2.6    | 4.5   | 3.1    |
| 12    | 4.4                                                    | 5.7   | 4.2   | 4.6    | 7.3   | 6.8   | 4.8   | 5.4   | 4.3   | 6.8   | 5.1   | 3.5   | 4.8   | 3.8   | 4.9   | 5      | 6.1   | 5.5   | 4.3   | 4.3   | 1.8   | 4.1   | 5.9   | 3.5    | 5.6   | 3.8    |
|       | ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร, mm)(TOTALRAIN)                 |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |        |
| month | 1985                                                   | 1986  | 1987  | 1988   | 1989  | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  | 2000   | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008   | 2009  | 2010   |
| 1     | 46.6                                                   | 56.5  | 196.8 | 233.7  | 153.6 | 60    | 90.1  | 103.8 | 313.8 | 34.5  | 99    | 176   | 12    | 37.6  | 273.6 | 184.1  | 242.7 | 38.9  | 239.3 | 61.3  | 85.7  | 194.3 | 211.4 | 455.8  | 217.6 | 175.4  |
| 2     | 50.9                                                   | 4.1   | 2.7   | 74.2   | 0.8   | 6.5   | 32.7  | 8.6   | 9.7   | 24.4  | 30.2  | 131.5 | 115.3 | 0.6   | 604.1 | 180.1  | 16.7  | 0.1   | 18.2  | 180.3 | 0     | 322.2 | 5.7   | 88.5   | 13.7  | 7.1    |
| 3     | 88.2                                                   | 10.7  | 4.5   | 19.8   | 46.2  | 27    | 70.2  | 0.8   | 101.5 | 329.3 | 69.5  | 0     | 60.6  | 5.9   | 16.1  | 306.6  | 340.5 | 94.8  | 142.2 | 35.9  | 241.5 | 48.2  | 133.6 | 97.5   | 104   | 79.4   |
| 4     | 117.2                                                  | 43.2  | 28.2  | 109.3  | 168   | 84.2  | 199.5 | 13.4  | 214.2 | 98.7  | 93.1  | 99.1  | 121.1 | 5.7   | 175.9 | 169.1  | 45.3  | 68.6  | 36.2  | 36.3  | 12.4  | 96.5  | 173.4 | 171.7  | 319.2 | 22.1   |
| 5     | 182.4                                                  | 328.7 | 154.7 | 228.7  | 135.5 | 123   | 268.1 | 276.9 | 225.7 | 190.2 | 64.4  | 157.1 | 90.2  | 129.4 | 265.2 | 77.7   | 155.8 | 102.9 | 167   | 117.1 | 132.2 | 177.3 | 261.9 | 180.1  | 227.9 | 123.2  |
| 6     | 111.6                                                  | 156.4 | 75.5  | 103.7  | 155.6 | 17.9  | 94.2  | 67    | 64.6  | 64.3  | 123.4 | 174.5 | 248.5 | 97.1  | 77.4  | 59.8   | 131.9 | 149.7 | 163.8 | 93.5  | 121.2 | 297.6 | 188   | 50.7   | 22.3  | 175.4  |
| 7     | 137.9                                                  | 87.9  | 70.2  | 126.1  | 136.7 | 69.2  | 151.8 | 121.7 | 46.6  | 35.5  | 320.7 | 116.2 | 140.4 | 206.8 | 99.4  | 74.8   | 169.7 | 87.5  | 116.3 | 102.3 | 147.1 | 38.9  | 126.8 | 89.8   | 117.6 | 132    |
| 8     | 34.3                                                   | 55.6  | 253.8 | 151.9  | 70.8  | 84.2  | 130.5 | 64.2  | 107   | 187.4 | 144.1 | 183   | 155.2 | 227.9 | 148.6 | 198.1  | 59.3  | 175.2 | 66    | 82.1  | 65.2  | 211   | 104.2 | 176.8  | 151.1 | 128.9  |
| 9     | 247.8                                                  | 220.2 | 193.8 | 134.6  | 85.9  | 101.2 | 134.6 | 102.2 | 193.2 | 127.4 | 87.7  | 123.6 | 221.4 | 247.5 | 158.7 | 140.7  | 213.4 | 97.2  | 175.7 | 177.2 | 136.5 | 224.3 | 160.2 | 140.6  | 172.1 | 109.2  |
| 10    | 260.3                                                  | 477.7 | 212.5 | 209.5  | 270.5 | 732.3 | 128.1 | 375.2 | 328   | 327.4 | 240.1 | 212.8 | 434.1 | 466.1 | 346.7 | 209.5  | 122.7 | 213.3 | 390   | 258.9 | 384.4 | 340.3 | 316   | 287.2  | 96.2  | 272.2  |
| 11    | 558.1                                                  | 617.5 | 346.5 | 1640.5 | 441.5 | 505.6 | 300.3 | 402.8 | 580.6 | 831.7 | 917.8 | 482.3 | 447.4 | 393.2 | 337.6 | 1213.2 | 635.9 | 810.4 | 565.8 | 421.1 | 643.1 | 417.8 | 619.5 | 1207.6 | 486.8 | 1043.3 |
| 12    | 559.6                                                  | 229.7 | 838.1 | 198.6  | 48.1  | 280.7 | 600.2 | 387.8 | 665.9 | 194.3 | 236.7 | 749.9 | 380.6 | 651.6 | 461.5 | 594.8  | 399.1 | 807.7 | 751.1 | 283.8 | 927.9 | 422.5 | 297.9 | 305.1  | 247   | 479.7  |



ตารางที่ ค 1-5

ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม CROPWAT จากอุตุนิยมวิทยาจังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ.2528-2553

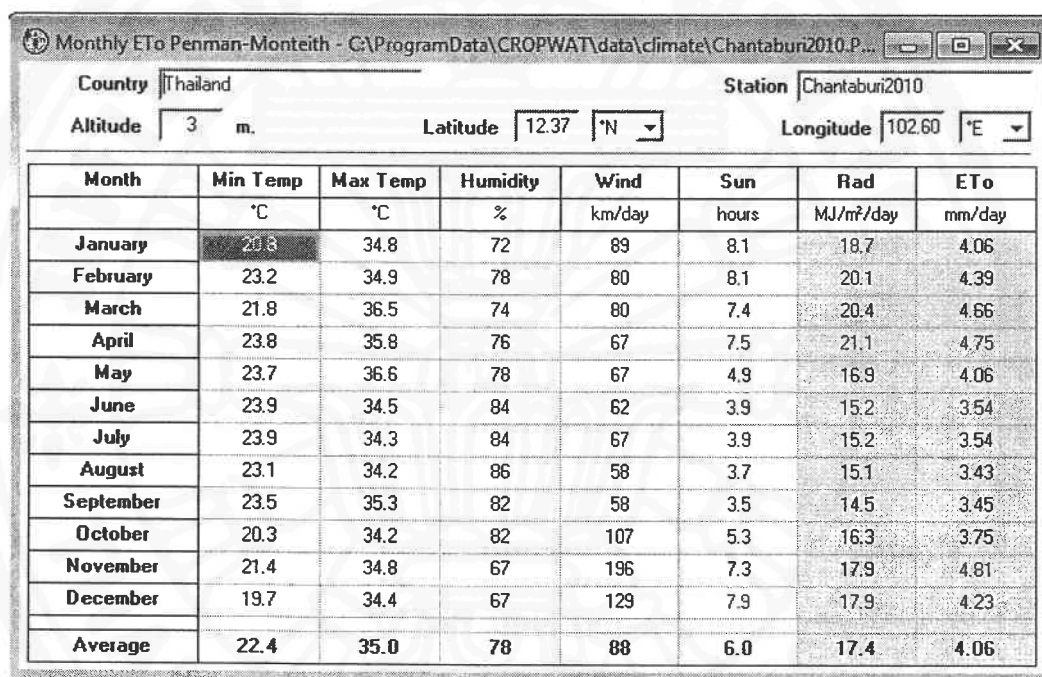
|       | ค่าสูงสุดของอุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส, C)(extrmaxtemp) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| month | 1985                                                     | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1     | 31                                                       | 32   | 31   | 32.1 | 32.1 | 32.3 | 32   | 31.7 | 31.8 | 32.1 | 32.4 | 32.2 | 32.2 | 34.4 | 31.3 | 31.6 | 34.4 | 31.2 | 31.4 | 31.7 | 33.1 | 32   | 32   | 32   | 31.6 | 32.8 |
| 2     | 33.1                                                     | 33.1 | 32.1 | 33.3 | 32.7 | 33.7 | 34.4 | 33.1 | 32.5 | 34.9 | 33   | 33.4 | 34   | 35.5 | 31.6 | 32.4 | 33.7 | 32.4 | 32.9 | 32.2 | 34.2 | 32.2 | 33.2 | 32.7 | 34.1 | 34.5 |
| 3     | 35.6                                                     | 36.5 | 35.5 | 37.6 | 34.2 | 36.2 | 34.5 | 35.2 | 34.7 | 34.5 | 35   | 36.5 | 34.4 | 36.9 | 34.3 | 33.1 | 34.4 | 33.8 | 34.6 | 33.8 | 33.9 | 34.4 | 35   | 34.2 | 34.8 | 35.2 |
| 4     | 36.2                                                     | 35.3 | 37   | 35.4 | 36.3 | 37.7 | 35.5 | 37.7 | 34.8 | 35.1 | 36.6 | 36.4 | 35.3 | 38.9 | 34.5 | 34.7 | 36.4 | 34.8 | 35.4 | 36.3 | 36.7 | 35   | 35   | 35.9 | 37   | 36.7 |
| 5     | 35.7                                                     | 35.4 | 37.1 | 36   | 35.5 | 35.5 | 35   | 36.6 | 35.6 | 35.2 | 37   | 35.9 | 36.5 | 38.1 | 35.3 | 36   | 35.7 | 36.4 | 35.8 | 36.3 | 36.9 | 34.5 | 35.7 | 35.7 | 36   | 37.5 |
| 6     | 35                                                       | 34.9 | 36   | 36   | 35.5 | 37.8 | 35.8 | 35.6 | 35.6 | 35.5 | 36.2 | 35.1 | 35.8 | 37.4 | 34.8 | 34.7 | 34.7 | 36   | 36.1 | 35.4 | 36.4 | 34.8 | 35.8 | 35.7 | 37   | 36.5 |
| 7     | 36.1                                                     | 35.5 | 37.6 | 34.4 | 35.7 | 38.5 | 35.5 | 36.2 | 36.4 | 36   | 36.7 | 35.8 | 35   | 36   | 35.1 | 35.2 | 35   | 36.7 | 34.6 | 35.2 | 35.5 | 35.6 | 36.8 | 36.2 | 36.3 | 36.3 |
| 8     | 37.6                                                     | 36   | 35.1 | 35.8 | 36.2 | 37.3 | 36   | 35.3 | 36.7 | 35   | 34.4 | 35.8 | 36.1 | 35   | 35.5 | 34.7 | 35.8 | 36.7 | 35.7 | 35.8 | 36   | 35.4 | 37   | 35.8 | 36.5 | 35.9 |
| 9     | 36                                                       | 35.5 | 35.4 | 34.5 | 35.5 | 37.7 | 35.3 | 36.6 | 34.7 | 34.2 | 35.2 | 34.8 | 34.4 | 34.5 | 35.3 | 35.3 | 35.5 | 35.5 | 35.6 | 34.6 | 35.2 | 33.8 | 35.5 | 36   | 36.5 | 35.5 |
| 10    | 33.9                                                     | 33.6 | 34.5 | 34.8 | 34.4 | 33.9 | 34.7 | 34.3 | 33.7 | 34.2 | 34   | 34   | 34   | 34.9 | 33.8 | 34   | 33.9 | 35   | 34   | 32.5 | 34.7 | 33.7 | 34.5 | 34.8 | 34.4 | 35   |
| 11    | 32.2                                                     | 32.8 | 35.4 | 31.8 | 32.3 | 34.5 | 33   | 32   | 32.9 | 31.8 | 33.3 | 33.7 | 33   | 33.7 | 32.3 | 32   | 31.8 | 32.7 | 32.1 | 32   | 33.5 | 32.6 | 31.5 | 34   | 33.7 | 31.7 |
| 12    | 31.5                                                     | 31   | 31   | 30.5 | 32   | 31.2 | 31.7 | 31.2 | 32.3 | 32.5 | 32.3 | 30.8 | 32.7 | 31.2 | 31.7 | 31.7 | 32   | 32.4 | 31   | 31.5 | 31   | 32.5 | 31.9 | 31.2 | 32.5 | 32   |
|       | ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส, C)(extrmintemp) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| month | 1985                                                     | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1     | 19.8                                                     | 20.1 | 20.8 | 21.8 | 20.1 | 20.3 | 21.2 | 20.5 | 20.1 | 19.6 | 20.6 | 19.5 | 18.8 | 19.8 | 18   | 20   | 20.7 | 20.5 | 20.8 | 21.3 | 18.7 | 20.1 | 19.5 | 20.5 | 18.4 | 20.7 |
| 2     | 21.6                                                     | 20.4 | 19.5 | 20   | 17.6 | 20   | 20.7 | 20   | 18.5 | 17.7 | 20   | 21.4 | 20   | 21.8 | 21.2 | 18.8 | 20.5 | 19.5 | 20.6 | 20.5 | 19   | 21.8 | 20.1 | 19.9 | 19.5 | 20   |
| 3     | 22                                                       | 20   | 19.9 | 20.6 | 20.8 | 19.1 | 19.6 | 20   | 19.7 | 21.7 | 20.6 | 19.2 | 20   | 20.5 | 21.9 | 21.2 | 21.3 | 20.5 | 21.2 | 20.5 | 19.4 | 20.8 | 18.3 | 20.5 | 20.5 | 20.3 |
| 4     | 21.2                                                     | 23   | 22   | 23.1 | 22.2 | 22   | 21.7 | 21.5 | 21.5 | 21.1 | 22   | 22.5 | 21.5 | 23   | 22.5 | 22.8 | 22.8 | 21.3 | 21.5 | 22.2 | 21.7 | 22.3 | 22.7 | 21   | 22.5 | 22.5 |
| 5     | 22.5                                                     | 22.9 | 22.2 | 23.9 | 23   | 23   | 22.9 | 22.3 | 22.1 | 22.9 | 21.1 | 22.8 | 22.2 | 22.5 | 22.7 | 22.7 | 23   | 22.5 | 22.7 | 22   | 23   | 21.1 | 23   | 22.5 | 23   | 23   |
| 6     | 22.2                                                     | 22.8 | 23   | 23   | 22.1 | 23.1 | 19.6 | 21.7 | 22   | 22.4 | 22.3 | 22.8 | 22   | 22.6 | 22   | 21.7 | 23   | 23   | 22   | 22.2 | 22.7 | 22.3 | 22.7 | 22.4 | 22.5 | 22.6 |
| 7     | 20.1                                                     | 21.8 | 22.6 | 22.7 | 22.5 | 21.7 | 22.8 | 21.3 | 22   | 22   | 21.1 | 22.3 | 22   | 22.5 | 21.7 | 21.7 | 22.5 | 21.5 | 22   | 21.8 | 22   | 22.3 | 22.3 | 21.8 | 22   | 22.5 |
| 8     | 21                                                       | 22.1 | 22.5 | 23   | 21.9 | 21.1 | 22.7 | 21.4 | 21.4 | 21   | 22   | 21.5 | 21.1 | 22.2 | 21.7 | 21.8 | 22.9 | 22.2 | 22.8 | 22.3 | 21.8 | 22.5 | 22   | 22   | 21.5 | 22.5 |
| 9     | 21.9                                                     | 21.6 | 23.2 | 22.4 | 22   | 21.5 | 22.6 | 20.5 | 21.2 | 21.6 | 22.3 | 22   | 22.5 | 21.8 | 22   | 20   | 22.2 | 22   | 22.4 | 21.9 | 22.5 | 22.3 | 22.8 | 22   | 22.5 | 22   |
| 10    | 22.1                                                     | 22.1 | 22.5 | 22.5 | 22.1 | 21.6 | 22   | 21.2 | 21.7 | 21.3 | 22   | 22   | 22.5 | 22.1 | 21.9 | 22   | 22.3 | 22.5 | 22.3 | 21.9 | 22.3 | 22   | 21.5 | 22.5 | 22   | 21.5 |
| 11    | 21.5                                                     | 21.4 | 22.8 | 22.1 | 22.5 | 22.5 | 21.8 | 21.5 | 20.9 | 21.8 | 21.7 | 21.7 | 22   | 22.4 | 21.5 | 21.5 | 20.5 | 21.5 | 21.3 | 21.5 | 22   | 20.7 | 18.9 | 22.1 | 21.4 | 21.8 |
| 12    | 20.7                                                     | 21.1 | 22.4 | 20.7 | 20.9 | 21.3 | 21.6 | 20.7 | 20.1 | 20.5 | 19.5 | 19.5 | 21   | 21.2 | 20.7 | 20.5 | 20.4 | 22.4 | 20.3 | 19.7 | 21   | 21   | 19.7 | 20.5 | 19.8 | 20.5 |

ตารางที่ ค 1-6

ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม CROPWAT จากอุตุนิยมหาวิทยาลัยนครศรีธรรมราช พ.ศ.2528-2553

|       | ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (เปอร์เซ็นต์, %) (avgrh)   |        |        |       |        |        |       |       |       |       |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
|-------|-----------------------------------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| month | 1985                                                | 1986   | 1987   | 1988  | 1989   | 1990   | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  | 1995   | 1996   | 1997  | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  |
| 1     | 83                                                  | 80     | 88     | 86    | 82     | 81     | 83    | 83    | 84    | 82    | 82     | 82     | 79    | 81     | 85     | 84     | 84     | 81     | 82     | 81     | 80     | 83     | 84    | 84    | 81    | 82    |
| 2     | 84                                                  | 80     | 80     | 80    | 80     | 79     | 81    | 82    | 81    | 81    | 82     | 82     | 81    | 77     | 82     | 82     | 79     | 79     | 79     | 81     | 77     | 82     | 79    | 79    | 77    | 78    |
| 3     | 83                                                  | 77     | 78     | 79    | 80     | 75     | 80    | 77    | 83    | 83    | 80     | 77     | 80    | 75     | 80     | 83     | 83     | 79     | 80     | 79     | 79     | 79     | 78    | 80    | 80    | 77    |
| 4     | 82                                                  | 78     | 76     | 81    | 79     | 77     | 81    | 76    | 82    | 81    | 78     | 80     | 80    | 72     | 80     | 83     | 79     | 78     | 77     | 78     | 77     | 81     | 80    | 80    | 81    | 77    |
| 5     | 84                                                  | 80     | 81     | 83    | 80     | 81     | 83    | 79    | 82    | 83    | 77     | 81     | 78    | 77     | 82     | 79     | 80     | 80     | 79     | 76     | 78     | 83     | 83    | 81    | 82    | 76    |
| 6     | 78                                                  | 80     | 78     | 77    | 77     | 71     | 78    | 78    | 79    | 79    | 77     | 82     | 79    | 79     | 78     | 81     | 79     | 78     | 79     | 76     | 76     | 82     | 80    | 79    | 73    | 78    |
| 7     | 78                                                  | 78     | 73     | 82    | 81     | 75     | 80    | 78    | 75    | 74    | 82     | 78     | 79    | 80     | 76     | 76     | 80     | 74     | 80     | 80     | 76     | 78     | 79    | 78    | 77    | 79    |
| 8     | 76                                                  | 78     | 80     | 81    | 76     | 72     | 79    | 78    | 76    | 80    | 80     | 80     | 79    | 83     | 77     | 76     | 74     | 76     | 78     | 78     | 76     | 78     | 75    | 78    | 78    | 79    |
| 9     | 83                                                  | 84     | 82     | 83    | 80     | 78     | 81    | 79    | 82    | 84    | 82     | 79     | 85    | 84     | 81     | 82     | 81     | 78     | 82     | 82     | 78     | 82     | 80    | 79    | 78    | 82    |
| 10    | 87                                                  | 88     | 84     | 83    | 84     | 85     | 83    | 87    | 86    | 85    | 85     | 86     | 86    | 86     | 84     | 83     | 86     | 83     | 86     | 84     | 86     | 83     | 85    | 83    | 82    | 83    |
| 11    | 89                                                  | 87     | 86     | 90    | 85     | 86     | 85    | 86    | 86    | 88    | 90     | 87     | 88    | 86     | 85     | 88     | 86     | 87     | 86     | 85     | 85     | 85     | 84    | 88    | 82    | 90    |
| 12    | 87                                                  | 89     | 87     | 85    | 81     | 85     | 85    | 87    | 86    | 84    | 83     | 85     | 86    | 87     | 85     | 86     | 83     | 85     | 85     | 83     | 89     | 83     | 83    | 86    | 84    | 86    |
|       | ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง, km/day)(wind speed) |        |        |       |        |        |       |       |       |       |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| month | 1985                                                | 1986   | 1987   | 1988  | 1989   | 1990   | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  | 1995   | 1996   | 1997  | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  |
| 1     | 80.01                                               | 53.34  | 53.34  | 48.89 | 44.45  | 35.56  | 17.78 | 26.67 | 26.67 | 22.22 | 53.34  | 22.22  | 40.00 | 62.23  | 84.45  | 97.79  | 120.01 | 120.01 | 71.12  | 102.23 | 111.12 | 66.67  | 93.34 | 57.78 | 84.45 | 66.67 |
| 2     | 66.67                                               | 57.78  | 57.78  | 69.34 | 53.34  | 57.78  | 31.11 | 17.78 | 26.67 | 26.67 | 53.34  | 31.11  | 31.11 | 57.78  | 75.56  | 102.23 | 93.34  | 124.45 | 115.56 | 106.68 | 120.01 | 102.23 | 93.34 | 88.90 | 66.67 | 75.56 |
| 3     | 75.56                                               | 75.56  | 75.56  | 48.89 | 71.12  | 53.34  | 40.00 | 31.11 | 17.78 | 40.00 | 40.00  | 35.56  | 44.45 | 62.23  | 106.68 | 93.34  | 93.34  | 106.68 | 106.68 | 102.23 | 97.79  | 88.90  | 88.90 | 80.01 | 71.12 | 80.01 |
| 4     | 62.23                                               | 75.56  | 75.56  | 48.89 | 48.89  | 44.45  | 22.22 | 31.11 | 17.78 | 13.33 | 53.34  | 31.11  | 31.11 | 62.23  | 62.23  | 75.56  | 80.01  | 93.34  | 62.23  | 88.90  | 88.90  | 62.23  | 88.90 | 53.34 | 48.89 | 62.23 |
| 5     | 142.23                                              | 62.23  | 62.23  | 40.00 | 66.67  | 57.78  | 17.78 | 22.22 | 17.78 | 26.67 | 44.45  | 44.45  | 53.34 | 62.23  | 57.78  | 80.01  | 80.01  | 71.12  | 53.34  | 84.45  | 53.34  | 40.00  | 53.34 | 35.56 | 35.56 | 57.78 |
| 6     | 84.45                                               | 142.23 | 142.23 | 57.78 | 66.67  | 106.68 | 57.78 | 62.23 | 35.56 | 48.89 | 71.12  | 35.56  | 40.00 | 53.34  | 75.56  | 71.12  | 84.45  | 48.89  | 53.34  | 57.78  | 48.89  | 53.34  | 48.89 | 44.45 | 53.34 | 40.00 |
| 7     | 111.12                                              | 93.34  | 93.34  | 71.12 | 62.23  | 53.34  | 62.23 | 40.00 | 97.79 | 93.34 | 57.78  | 124.45 | 71.12 | 40.00  | 88.90  | 71.12  | 80.01  | 71.12  | 53.34  | 48.89  | 53.34  | 48.89  | 57.78 | 40.00 | 40.00 | 31.11 |
| 8     | 115.56                                              | 111.12 | 111.12 | 62.23 | 102.23 | 142.23 | 97.79 | 88.90 | 66.67 | 93.34 | 120.01 | 48.89  | 71.12 | 26.67  | 80.01  | 71.12  | 88.90  | 71.12  | 71.12  | 53.34  | 71.12  | 40.00  | 80.01 | 35.56 | 35.56 | 44.45 |
| 9     | 88.90                                               | 35.56  | 35.56  | 48.89 | 53.34  | 48.89  | 57.78 | 35.56 | 17.78 | 22.22 | 40.00  | 75.56  | 31.11 | 31.11  | 48.89  | 71.12  | 62.23  | 62.23  | 48.89  | 62.23  | 40.00  | 44.45  | 62.23 | 40.00 | 48.89 | 53.34 |
| 10    | 40.00                                               | 35.56  | 35.56  | 48.89 | 44.45  | 22.22  | 26.67 | 13.33 | 8.89  | 35.56 | 26.67  | 22.22  | 31.11 | 22.22  | 71.12  | 71.12  | 62.23  | 62.23  | 40.00  | 62.23  | 48.89  | 35.56  | 62.23 | 40.00 | 40.00 | 53.34 |
| 11    | 57.78                                               | 26.67  | 26.67  | 71.12 | 40.00  | 22.22  | 35.56 | 44.45 | 17.78 | 44.45 | 13.33  | 26.67  | 22.22 | 35.56  | 102.23 | 102.23 | 137.79 | 57.78  | 48.89  | 75.56  | 71.12  | 48.89  | 62.23 | 62.23 | 80.01 | 44.45 |
| 12    | 75.56                                               | 84.45  | 84.45  | 44.45 | 40.00  | 44.45  | 26.67 | 35.56 | 26.67 | 35.56 | 57.78  | 40.00  | 44.45 | 102.23 | 88.90  | 88.90  | 124.45 | 88.90  | 93.34  | 88.90  | 75.56  | 111.12 | 80.01 | 80.01 | 57.78 | 35.56 |

ตัวอย่างการกรอกข้อมูลลงใน CROPWAT 8.0 ส่วน Climate/ $ET_0$  จังหวัดจันทบุรี ตำแหน่งความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 3 เมตร ละติจูด 12.37 N และ ลองจิจูด 102.60 โดยใช้ข้อมูลจากอุตุนิยมวิทยาปี ค.ศ. 2010 หรือพ.ศ. 2553 แสดงดังภาพที่ ค1.1 ค่าที่โปรแกรมคำนวณออกมาให้จะได้ค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Reference crop evapotranspiration:  $ET_0$ )



| Month     | Min Temp<br>°C | Max Temp<br>°C | Humidity<br>% | Wind<br>km/day | Sun<br>hours | Rad<br>MJ/m²/day | ETo<br>mm/day |
|-----------|----------------|----------------|---------------|----------------|--------------|------------------|---------------|
| January   | 20.3           | 34.8           | 72            | 89             | 8.1          | 18.7             | 4.06          |
| February  | 23.2           | 34.9           | 78            | 80             | 8.1          | 20.1             | 4.39          |
| March     | 21.8           | 36.5           | 74            | 80             | 7.4          | 20.4             | 4.66          |
| April     | 23.8           | 35.8           | 76            | 67             | 7.5          | 21.1             | 4.75          |
| May       | 23.7           | 36.6           | 78            | 67             | 4.9          | 16.9             | 4.06          |
| June      | 23.9           | 34.5           | 84            | 62             | 3.9          | 15.2             | 3.54          |
| July      | 23.9           | 34.3           | 84            | 67             | 3.9          | 15.2             | 3.54          |
| August    | 23.1           | 34.2           | 86            | 58             | 3.7          | 15.1             | 3.43          |
| September | 23.5           | 35.3           | 82            | 58             | 3.5          | 14.5             | 3.45          |
| October   | 20.3           | 34.2           | 82            | 107            | 5.3          | 16.3             | 3.75          |
| November  | 21.4           | 34.8           | 67            | 196            | 7.3          | 17.9             | 4.81          |
| December  | 19.7           | 34.4           | 67            | 129            | 7.9          | 17.9             | 4.23          |
| Average   | 22.4           | 35.0           | 78            | 88             | 6.0          | 17.4             | 4.06          |

ภาพที่ ค 1.1

การกรอกข้อมูลลงใน CROPWAT 8.0 ส่วน Climate/ $ET_0$  จังหวัดจันทบุรี ปี 2010

## ค-2 CROPWAT 8.0 ส่วน Rain

การใส่ข้อมูลในส่วน Rain ต้องมีข้อมูลดังต่อไปนี้

### 1. ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร, mm)

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา นำมากรอกข้อมูลลงใน CROPWAT 8.0 ส่วน Rain ค่าที่ได้ออกจากโปรแกรมคือค่าปริมาณน้ำฝนใช้การ (Effective precipitation:  $P_{eff}$  หรือ Effective rainfall:  $Eff_{rain}$ ) แสดงดังภาพที่ ค 2.1



Monthly rain - C:\ProgramData\CROPWAT\data\rain\Chantabun2010.CRM

Station  Eff. rain method

|           | Rain   | Eff rain |
|-----------|--------|----------|
|           | mm     | mm       |
| January   | 30.2   | 8.1      |
| February  | 100.2  | 56.2     |
| March     | 77.0   | 37.6     |
| April     | 159.1  | 103.3    |
| May       | 281.6  | 201.3    |
| June      | 492.8  | 370.2    |
| July      | 567.4  | 429.9    |
| August    | 512.7  | 386.2    |
| September | 225.9  | 156.7    |
| October   | 375.3  | 276.2    |
| November  | 5.7    | 0.0      |
| December  | 28.2   | 6.9      |
| Total     | 2856.1 | 2032.6   |

ภาพที่ ค 2.1

การกรอกข้อมูลลงใน CROPWAT 8.0 ส่วน Rain

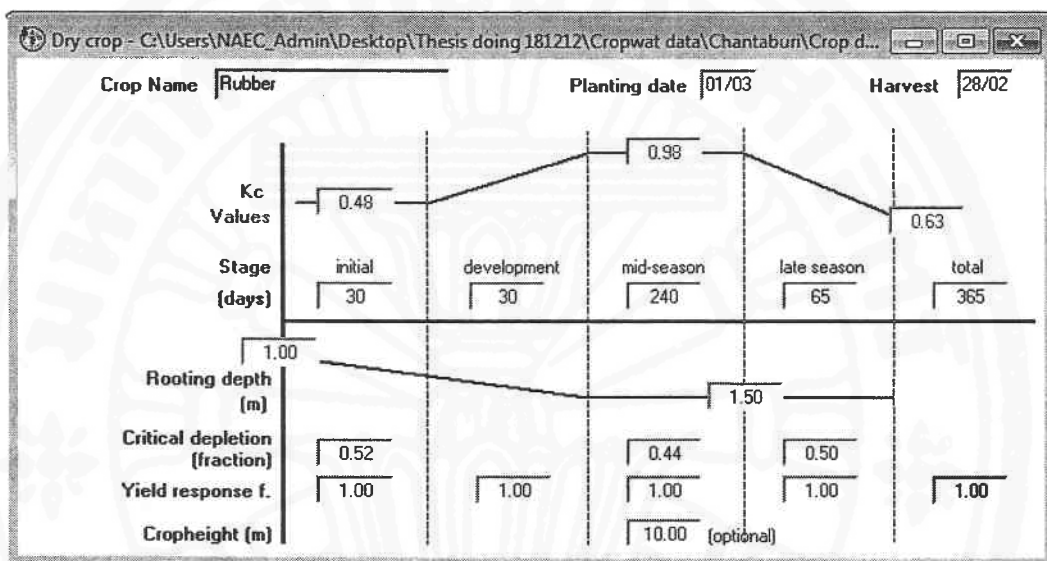
### ค-3 CROPWAT 8.0 ส่วน Crop

การใส่ข้อมูลในส่วน Crop ต้องมีข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ค่าของ  $K_c$  (crop coefficient) ค่า  $K_{c,initial} = 0.48$ ,  $K_{c,mid} = 0.98$   $K_{c,late} = 0.63$  ของสมเจตต์, (2543)
2. ค่าของ Stage (ระยะการเจริญเติบโต, 30 30 240 65 วัน) สัมพันธ์กับค่า  $K_c$  (สมเจตต์, 2543)
3. ค่าของ Rooting depth (ความยาวราก, เมตร) ช่วงปี 1-15 ใช้ความยาวราก 0.3 0.9 (สมเจตต์, 2543) ช่วง 16-25 ใช้ความยาวราก 1-1.5 เมตร (FAO, 2010)
4. ค่าของ Critical depletion fraction (สัดส่วนน้ำที่พืชใช้ได้) คำนวณจากค่า  $ET_0$  ที่ได้จากการกรอกข้อมูล climate และน้ำฝน ในโปรแกรม CROPWAT ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2528-2553 ของจังหวัดจันทบุรีและนครศรีธรรมราช ค่าสัดส่วนน้ำที่พืชใช้ได้ แสดงดังตารางที่
5. ค่าของ Yield response factor แทนค่าเท่ากับ 1 (FAO, 2010)

6. ค่าความสูงเฉลี่ยยางพาราเมตร (Cropheight) ช่วง 1-6 ปีแรก 2.5 เมตร ช่วง 7-10 ปี = 5 เมตร ช่วง 11-25 ปี = 10 เมตร (FAO, 2010)

กรอกข้อมูลดังกล่าวใส่ตาราง ใส่วันที่ปลูก (Planting date) คือ 1 เดือนมีนาคม การกรอกข้อมูล ลงใน CROPWAT 8.0 ส่วน Crop แสดงดังภาพที่ ค 3.1



ภาพที่ ค 3.1

การกรอกข้อมูลลงใน CROPWAT 8.0 ส่วน Crop

#### ค-4 CROPWAT 8.0 ส่วน Soil

การใส่ข้อมูลในส่วน Soil เปิดข้อมูล Red Sandy LOAM soil หรือ ดินร่วนปนทราย จาก File ทั้งนี้สำหรับกระบวนการเพาะปลูกยางพาราทั้งจังหวัดจันทบุรีและนครศรีธรรมราชใช้ข้อมูลดินเป็นชนิดเดียวกันแสดงดังภาพที่ ค-4.1



| General soil data                          |       |             |
|--------------------------------------------|-------|-------------|
| Total available soil moisture (FC - WP)    | 140.0 | mm/meter    |
| Maximum rain infiltration rate             | 30    | mm/day      |
| Maximum rooting depth                      | 900   | centimeters |
| Initial soil moisture depletion (as % TAM) | 0     | %           |
| Initial available soil moisture            | 140.0 | mm/meter    |

ภาพที่ ค-4.1 การกรอกข้อมูลลงใน CROPWAT 8.0 ส่วน Soil

ค-5 การคำนวณหาค่า  $ET_c$  ในแต่ละ Stage

การคำนวณหาค่า  $ET_c$  ในแต่ละ Stage เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า Critical depletion factor (P) คำนวณได้ดังสมการที่ ค-5.1

$$ET_c = K_c \times ET_o \times K_s \tag{ค-5.1}$$

โดย  $ET_c$  = ปริมาณการใช้น้ำสูงสุด (crop evapotranspiration)

$ET_o$  = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration)

= 3.92 ซึ่งได้จากโปรแกรม CROPWAT 8.0

$K_c$  = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop coefficient)

โดยยางพารามีค่า  $K_{c,ini} = 0.48$ ,  $K_{c,mid} = 0.98$ ,  $K_{c,end} = 0.63$  (สมเจตน์ ประทุมมินทร์, 2543)

$K_s$  = ค่าสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช (Water stress coefficient)

ซึ่ง ยางพารามีค่า  $K_s = 1$  เนื่องจากยางพาราได้รับน้ำอย่างเพียงพอ (FAO Irrigation and Drainage Paper, 1998)

นำมาคำนวณหาค่า  $ET_c$  ใน Initial stage ,Mid-season stage และEnd-season stage แสดงผลการคำนวณของจังหวัดจันทบุรีและจังหวัดนครศรีธรรมราช ดังตาราง ค 6.1 และ ค 6.2

ค-6 หาค่า Critical depletion factor (P)

การคำนวณหาค่า  $ET_c$  ในแต่ละ Stage เพื่อนำไปใช้ในโปรแกรม CROPWAT 8.0  
คำนวณได้ดังสมการที่ ค-6.1

$$P = P_{table} + [0.04 \times (5 - ET_c)] \quad (ค-6.1)$$

ซึ่ง  $P_{table} = 0.40$  (FAO Irrigation and Drainage Paper ,1998)

นำมาคำนวณหาค่า Critical depletion factor (P) ใน Initial stage ,Mid-season stage และ End-season stage ได้ดังตาราง ค 6.1 และ ค 6.2

ตาราง ค 6.1

ค่า  $K_c$  ค่า  $ET_c$  และค่า  $P$  ในแต่ละ Stage จังหวัดจันทบุรี ปี 2528-2553

| จังหวัด จันทบุรี |        |                            |             |             |                                           |              |              |                                   |           |           |
|------------------|--------|----------------------------|-------------|-------------|-------------------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------------|-----------|-----------|
| year             | $ET_0$ | Crop coefficient ( $K_c$ ) |             |             | Actual crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) |              |              | Critical depletion factor ( $P$ ) |           |           |
|                  |        | $K_{c,in}$                 | $K_{c,mid}$ | $K_{c,end}$ | $ET_{c,in}$                               | $ET_{c,mid}$ | $ET_{c,end}$ | $P_{in}$                          | $P_{mid}$ | $P_{end}$ |
| 1985             | 3.78   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.81                                      | 3.70         | 2.38         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1986             | 3.89   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.87                                      | 3.81         | 2.45         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1987             | 4.07   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.95                                      | 3.99         | 2.56         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 1988             | 4.02   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.93                                      | 3.94         | 2.53         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 1989             | 3.99   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.92                                      | 3.91         | 2.51         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 1990             | 3.99   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.92                                      | 3.91         | 2.51         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 1991             | 3.81   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.83                                      | 3.73         | 2.40         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1992             | 3.90   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.87                                      | 3.82         | 2.46         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1993             | 3.82   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.83                                      | 3.74         | 2.41         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1994             | 3.47   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.67                                      | 3.40         | 2.19         | 0.53                              | 0.46      | 0.51      |
| 1995             | 3.40   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.63                                      | 3.33         | 2.14         | 0.53                              | 0.47      | 0.51      |
| 1996             | 3.76   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.80                                      | 3.68         | 2.37         | 0.53                              | 0.45      | 0.51      |
| 1997             | 3.89   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.87                                      | 3.81         | 2.45         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1998             | 3.88   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.86                                      | 3.80         | 2.44         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1999             | 3.83   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.84                                      | 3.75         | 2.41         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 2000             | 3.77   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.81                                      | 3.69         | 2.38         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 2001             | 3.86   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.85                                      | 3.78         | 2.43         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 2002             | 3.81   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.83                                      | 3.73         | 2.40         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 2003             | 3.90   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.87                                      | 3.82         | 2.46         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 2004             | 4.00   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.92                                      | 3.92         | 2.52         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 2005             | 3.85   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.85                                      | 3.77         | 2.43         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 2006             | 3.96   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.90                                      | 3.88         | 2.49         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 2007             | 4.02   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.93                                      | 3.94         | 2.53         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 2008             | 4.08   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.96                                      | 4.00         | 2.57         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 2009             | 4.07   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.95                                      | 3.99         | 2.56         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 2010             | 4.06   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.95                                      | 3.98         | 2.56         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| Avg              | 3.88   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.86                                      | 3.80         | 2.44         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1985-2010        | 3.87   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.86                                      | 3.81         | 2.45         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |

ตาราง ค 6.2

ค่า  $K_c$  ค่า  $ET_c$  และค่า  $P$  ในแต่ละ Stage จังหวัดนครราชสีมา ปี 2528-2553

| จังหวัด นครราชสีมา |        |                            |             |             |                                           |              |              |                                   |           |           |
|--------------------|--------|----------------------------|-------------|-------------|-------------------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------------|-----------|-----------|
| year               | $ET_0$ | Crop coefficient ( $K_c$ ) |             |             | Actual crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) |              |              | Critical depletion factor ( $P$ ) |           |           |
|                    |        | $K_{c,in}$                 | $K_{c,mid}$ | $K_{c,end}$ | $ET_{c,in}$                               | $ET_{c,mid}$ | $ET_{c,end}$ | $P_{in}$                          | $P_{mid}$ | $P_{end}$ |
| 1985               | 3.95   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.90                                      | 3.87         | 2.49         | 0.52                              | 0.45      | 0.50      |
| 1986               | 3.88   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.86                                      | 3.80         | 2.44         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1987               | 4.08   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.96                                      | 4.00         | 2.57         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 1988               | 3.71   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.78                                      | 3.64         | 2.34         | 0.53                              | 0.45      | 0.51      |
| 1989               | 4.00   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.92                                      | 3.92         | 2.52         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 1990               | 4.19   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 2.01                                      | 4.11         | 2.64         | 0.52                              | 0.44      | 0.49      |
| 1991               | 3.83   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.84                                      | 3.75         | 2.41         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1992               | 3.83   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.84                                      | 3.75         | 2.41         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1993               | 3.79   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.82                                      | 3.71         | 2.39         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1994               | 3.68   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.77                                      | 3.61         | 2.32         | 0.53                              | 0.46      | 0.51      |
| 1995               | 3.77   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.81                                      | 3.69         | 2.38         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1996               | 3.75   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.80                                      | 3.68         | 2.36         | 0.53                              | 0.45      | 0.51      |
| 1997               | 3.76   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.80                                      | 3.68         | 2.37         | 0.53                              | 0.45      | 0.51      |
| 1998               | 3.69   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.77                                      | 3.62         | 2.32         | 0.53                              | 0.46      | 0.51      |
| 1999               | 3.81   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.83                                      | 3.73         | 2.40         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 2000               | 3.75   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.80                                      | 3.68         | 2.36         | 0.53                              | 0.45      | 0.51      |
| 2001               | 4.08   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.96                                      | 4.00         | 2.57         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 2002               | 4.09   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.96                                      | 4.01         | 2.58         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 2003               | 3.97   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.91                                      | 3.89         | 2.50         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 2004               | 3.84   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.84                                      | 3.76         | 2.42         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 2005               | 3.97   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.91                                      | 3.89         | 2.50         | 0.52                              | 0.44      | 0.50      |
| 2006               | 3.58   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.72                                      | 3.51         | 2.26         | 0.53                              | 0.46      | 0.51      |
| 2007               | 3.84   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.84                                      | 3.76         | 2.42         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 2008               | 3.69   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.77                                      | 3.62         | 2.32         | 0.53                              | 0.46      | 0.51      |
| 2009               | 3.68   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.77                                      | 3.61         | 2.32         | 0.53                              | 0.46      | 0.51      |
| 2010               | 3.62   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.74                                      | 3.55         | 2.28         | 0.53                              | 0.46      | 0.51      |
| Avg                | 3.84   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.84                                      | 3.76         | 2.42         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |
| 1985-2010          | 3.83   | 0.48                       | 0.98        | 0.63        | 1.84                                      | 3.76         | 2.42         | 0.53                              | 0.45      | 0.50      |



### ค-7 การแสดงผลจากโปรแกรม CROPWAT 8.0

ผลจากการใส่ข้อมูลลงในโปรแกรม CROPWAT 8.0 จังหวัดจันทบุรีปี 2553 ได้ผลดังภาพที่ ค-7.1 ค่าที่จะนำไปใช้ในการคำนวณส่วนการปลูกยางพารา คือค่า  $ET_c$  ค่า  $Eff_{rain}$  และค่า  $I_{eff}$  ทุก 10 วัน ซึ่งมีหน่วยเป็น mm/dec

| Crop Water Requirements                |        |       |                |                     |                 |                     |           |
|----------------------------------------|--------|-------|----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------|
| ET <sub>o</sub> station Chantaburi2010 |        |       |                | Crop Rubber         |                 |                     |           |
| Rain station Chantaburi2010            |        |       |                | Planting date 01/03 |                 |                     |           |
| Month                                  | Decade | Stage | K <sub>c</sub> | ET <sub>c</sub>     | ET <sub>c</sub> | Eff <sub>rain</sub> | Irr. Req. |
|                                        |        |       | coeff          | mm/day              | mm/dec          | mm/dec              | mm/dec    |
| Mar                                    | 1      | Init  | 0.48           | 2.19                | 21.9            | 12.0                | 10.0      |
| Mar                                    | 2      | Init  | 0.48           | 2.24                | 22.4            | 8.6                 | 13.8      |
| Mar                                    | 3      | Deve  | 0.48           | 2.26                | 24.8            | 17.2                | 7.6       |
| Apr                                    | 1      | Deve  | 0.57           | 2.70                | 27.0            | 26.1                | 0.9       |
| Apr                                    | 2      | Deve  | 0.71           | 3.38                | 33.8            | 32.9                | 0.9       |
| Apr                                    | 3      | Mid   | 0.85           | 3.85                | 38.5            | 44.3                | 0.0       |
| May                                    | 1      | Mid   | 0.90           | 3.87                | 38.7            | 54.0                | 0.0       |
| May                                    | 2      | Mid   | 0.90           | 3.66                | 36.6            | 63.7                | 0.0       |
| May                                    | 3      | Mid   | 0.90           | 3.51                | 38.6            | 83.6                | 0.0       |
| Jun                                    | 1      | Mid   | 0.90           | 3.35                | 33.5            | 108.1               | 0.0       |
| Jun                                    | 2      | Mid   | 0.90           | 3.19                | 31.9            | 128.6               | 0.0       |
| Jun                                    | 3      | Mid   | 0.90           | 3.20                | 32.0            | 133.5               | 0.0       |
| Jul                                    | 1      | Mid   | 0.90           | 3.20                | 32.0            | 139.9               | 0.0       |
| Jul                                    | 2      | Mid   | 0.90           | 3.20                | 32.0            | 148.2               | 0.0       |
| Jul                                    | 3      | Mid   | 0.90           | 3.16                | 34.8            | 141.7               | 0.0       |
| Aug                                    | 1      | Mid   | 0.90           | 3.13                | 31.3            | 139.4               | 0.0       |
| Aug                                    | 2      | Mid   | 0.90           | 3.09                | 30.9            | 137.5               | 0.0       |
| Aug                                    | 3      | Mid   | 0.90           | 3.10                | 34.1            | 109.1               | 0.0       |
| Sep                                    | 1      | Mid   | 0.90           | 3.10                | 31.0            | 66.7                | 0.0       |
| Sep                                    | 2      | Mid   | 0.90           | 3.11                | 31.1            | 35.6                | 0.0       |
| Sep                                    | 3      | Mid   | 0.90           | 3.20                | 32.0            | 54.5                | 0.0       |
| Oct                                    | 1      | Mid   | 0.90           | 3.29                | 32.9            | 91.3                | 0.0       |
| Oct                                    | 2      | Mid   | 0.90           | 3.39                | 33.9            | 110.9               | 0.0       |
| Oct                                    | 3      | Mid   | 0.90           | 3.70                | 40.7            | 73.9                | 0.0       |
| Nov                                    | 1      | Mid   | 0.90           | 4.14                | 41.4            | 0.1                 | 41.3      |
| Nov                                    | 2      | Mid   | 0.90           | 4.52                | 45.2            | 0.0                 | 45.2      |
| Nov                                    | 3      | Mid   | 0.90           | 4.28                | 42.8            | 0.0                 | 42.8      |
| Dec                                    | 1      | Mid   | 0.90           | 3.99                | 39.9            | 1.7                 | 38.2      |
| Dec                                    | 2      | Mid   | 0.90           | 3.82                | 38.2            | 2.6                 | 35.6      |
| Dec                                    | 3      | Late  | 0.89           | 3.73                | 41.0            | 2.6                 | 38.4      |
| Jan                                    | 1      | Late  | 0.84           | 3.47                | 34.7            | 1.1                 | 33.6      |
| Jan                                    | 2      | Late  | 0.79           | 3.21                | 32.1            | 0.5                 | 31.6      |
| Jan                                    | 3      | Late  | 0.74           | 3.07                | 33.7            | 6.6                 | 27.1      |
| Feb                                    | 1      | Late  | 0.68           | 2.91                | 29.1            | 15.5                | 13.6      |
| Feb                                    | 2      | Late  | 0.63           | 2.76                | 27.6            | 21.9                | 5.7       |
| Feb                                    | 3      | Late  | 0.58           | 2.61                | 20.8            | 18.8                | 2.1       |
|                                        |        |       |                |                     | 1203.1          | 2032.7              | 388.5     |

ภาพที่ ค-7.1

ผลจากการใส่ข้อมูลลงในโปรแกรม CROPWAT 8.0



## ค-8 การคำนวณหาค่าความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirement: CWR)

นำค่า  $ET_c$ , ค่า  $Eff_{rain}$  หรือ  $P_{eff}$  จากโปรแกรม CROPWAT 8.0 ไปใช้ในการคำนวณหาความต้องการน้ำของพืช หรือ Crop Water Requirement (CWR) โปรแกรม CROPWAT 8.0 ส่วนการปลูกไม้ยางพาราจากจังหวัดจันทบุรีและจังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่ปี 2528-2553 และหาค่าความต้องการน้ำของพืชโดยสมมุติ  $CWR = ET_c$

ดังต่อไปนี้

### 8.1 การหาค่าการคายระเหยสีเขียว Green water evapotranspiration ( $ET_{green}$ )

$$ET_{green} = \min(ET_c, P_{eff}) \quad (ค-8.1)$$

$ET_{green}$  เท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง  $ET_c$  กับ  $P_{eff}$

ค่าการคายระเหยน้ำฝน = evapotranspiration of rainfall

### 8.2 หาค่าการคายระเหยน้ำชลประทาน Blue water evapotranspiration ( $ET_{blue}$ )

$$ET_{blue} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \quad (ค-8.2)$$

$ET_{blue}$  เท่ากับค่าที่มากกว่าระหว่าง 0 กับ ค่า  $ET_c - P_{eff}$

ค่าการคายระเหยน้ำสีฟ้า = field-evapotranspiration of irrigation water

ตัวอย่างการหาค่า  $ET_{green}$  และ  $ET_{blue}$  จังหวัดจันทบุรีปีค.ศ. 1985 หรือปีพ.ศ. 2528 แสดงดังตารางที่ ค-8.1 ค่า  $ET_{green}$  และ  $ET_{blue}$  จังหวัดจันทบุรีปีค.ศ. 1985 นำค่าทุก 10 วันที่ได้มารวมกันจะได้ 1 ค่า  $ET_{green}$  และ  $ET_{blue}$  ปี 1985 เท่ากับ 702.1, 413.8 mm/dec ตามลำดับ



ค-9 การคำนวณหาปริมาณน้ำที่พืชใช้ (Crop Water Use, CWU)

นำค่า  $ET_{green}$  และ  $ET_{blue}$  มาคำนวณ  $CWU_{green}$  และ  $CWU_{blue}$  จังหวัดจันทบุรีและ  
จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่ปี 2528-2553

จากสมการปริมาณน้ำที่พืชใช้ (Crop Water Use, CWU) ดังนี้

$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET_{green}$$
 (ค-9.1)

$$CWU_{blue} = 10 \times \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET_{blue}$$
 (ค-9.2)

อัตราส่วนที่ใช้ 1 ha (เฮกตาร์) = 6.25 ไร่

ตารางที่ ค-9.1

ค่า  $CWU_{green}$  และ  $CWU_{blue}$  จังหวัดจันทบุรีตั้งแต่ปี 2528-2553

| จังหวัด จันทบุรี |        |          |           |         |         |                      |                     |                      |                     |
|------------------|--------|----------|-----------|---------|---------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Year             | ETc    | Eff rain | Irr. Req. | ETgreen | ETblue  | CWU <sub>green</sub> | CWU <sub>blue</sub> | CWU <sub>green</sub> | CWU <sub>blue</sub> |
|                  | mm/dec | mm/dec   | mm/dec    | mm/dec  | mm/dec  | m <sup>3</sup> /ha   | m <sup>3</sup> /ha  | m <sup>3</sup> /rai  | m <sup>3</sup> /rai |
| 1985             | 1115.9 | 1801.4   | 413.8     | 702.1   | 413.8   | 7021                 | 4138                | 1123.36              | 662.08              |
| 1986             | 1156.7 | 1994.1   | 495.2     | 661.2   | 495.6   | 6612                 | 4956                | 1057.92              | 792.96              |
| 1987             | 1229.4 | 2028.4   | 551.6     | 677.9   | 551.9   | 6779                 | 5519                | 1084.64              | 883.04              |
| 1988             | 1212.4 | 2366.2   | 508.6     | 703.9   | 508.5   | 7039                 | 5085                | 1126.24              | 813.6               |
| 1989             | 1198.3 | 1226.8   | 307.3     | 890.9   | 307.4   | 8909                 | 3074                | 1425.44              | 491.84              |
| 1990             | 1192.3 | 2423     | 425.6     | 766.8   | 425.6   | 7668                 | 4256                | 1226.88              | 680.96              |
| 1991             | 1112.5 | 2252.6   | 476.2     | 636.3   | 476.2   | 6363                 | 4762                | 1018.08              | 761.92              |
| 1992             | 1156.1 | 1035.2   | 495.6     | 660.4   | 495.7   | 6604                 | 4957                | 1056.64              | 793.12              |
| 1993             | 1132.6 | 1233.8   | 393.1     | 739.4   | 393     | 7394                 | 3930                | 1183.04              | 628.8               |
| 1994             | 1015.9 | 1204.2   | 380.5     | 638.5   | 380.6   | 6385                 | 3806                | 1021.6               | 608.96              |
| 1995             | 989.3  | 1277.3   | 310.5     | 678.8   | 310.7   | 6788                 | 3107                | 1086.08              | 497.12              |
| 1996             | 1079.9 | 1249.7   | 285.5     | 794.6   | 285.3   | 7946                 | 2853                | 1271.36              | 456.48              |
| 1997             | 1129.1 | 1224.1   | 306.7     | 822.4   | 306.6   | 8224                 | 3066                | 1315.84              | 490.56              |
| 1998             | 1112.9 | 1117.6   | 471       | 641.7   | 471     | 6417                 | 4710                | 1026.72              | 753.6               |
| 1999             | 1137   | 2126.9   | 495.8     | 641.1   | 496     | 6411                 | 4960                | 1025.76              | 793.6               |
| 2000             | 1105.2 | 2171.2   | 405.5     | 700     | 405.3   | 7000                 | 4053                | 1120                 | 648.48              |
| 2001             | 1145.1 | 1779.3   | 375.4     | 777.4   | 367.8   | 7774                 | 3678                | 1243.84              | 588.48              |
| 2002             | 1106.7 | 1892.5   | 450.4     | 656.1   | 450.8   | 6561                 | 4508                | 1049.76              | 721.28              |
| 2003             | 1155   | 1770.5   | 564       | 591.1   | 564     | 5911                 | 5640                | 945.76               | 902.4               |
| 2004             | 1179.8 | 2151.6   | 465       | 714.8   | 465.2   | 7148                 | 4652                | 1143.68              | 744.32              |
| 2005             | 1122.9 | 2080     | 329.8     | 792.9   | 330     | 7929                 | 3300                | 1268.64              | 528                 |
| 2006             | 1158.2 | 2891.7   | 442.6     | 715.6   | 442.7   | 7156                 | 4427                | 1144.96              | 708.32              |
| 2007             | 1213.3 | 2516.6   | 483.2     | 730.2   | 483.1   | 7302                 | 4831                | 1168.32              | 772.96              |
| 2008             | 1220.4 | 2506.6   | 434.8     | 785.7   | 434.8   | 7857                 | 4348                | 1257.12              | 695.68              |
| 2009             | 1219.7 | 2286.8   | 463       | 756.6   | 463.1   | 7566                 | 4631                | 1210.56              | 740.96              |
| 2010             | 1203.1 | 2032.7   | 388.5     | 814.7   | 388.2   | 8147                 | 3882                | 1303.52              | 621.12              |
|                  |        |          |           | 18691.1 | 11112.9 | 186911               | 111129              | 29905.76             | 17780.64            |

จากตารางที่ ค-9.1 จังหวัดจันทบุรีปีพ.ศ. 2528-2553 จะได้ค่า  $CWU_{green}$  เท่ากับ 29,905.76 ลบ.ม.ต่อไร่ และ  $CWU_{blue}$  เท่ากับ 17,780.64 ลบ.ม.ต่อไร่ ซึ่งวิธีการคำนวณอย่างละเอียดดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } CWU_{green} &= 10 \times \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET_{green} \\
 &= 10 \times 186911 \\
 &= 18691.1 \text{ (m3/ha)} \\
 &= 18691.1/6.25 \text{ (m3/rai)} \\
 &= 29905.76 \text{ (m3/rai)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } CWU_{blue} &= 10 \times \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET_{blue} \\
 &= 10 \times 11112.9 \\
 &= 111129 \text{ (m3/ha)} \\
 &= 111129/6.25 \text{ (m3/rai)} \\
 &= 17780.64 \text{ (m3/rai)}
 \end{aligned}$$

คำนวณด้วยวิธีการเดียวกันกับจังหวัดนครศรีธรรมราชปีพ.ศ. 2528-2553 จะได้ค่า  $CWU_{green}$  เท่ากับ 37,563.52 ลบ.ม.ต่อไร่ และ  $CWU_{blue}$  เท่ากับ 9,642.08 ลบ.ม.ต่อไร่ ดังตารางที่ ค-9.2

ตารางที่ ค-9.2

ค่า  $CWU_{green}$  และ  $CWU_{blue}$  จังหวัดนครศรีธรรมราชปี 2528-2553

| จังหวัด นครศรีธรรมราช |        |          |           |         |        |                    |                    |                     |                     |
|-----------------------|--------|----------|-----------|---------|--------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Year                  | ETc    | Eff rain | Irr. Req. | ETgreen | ETblue | $CWU_{green}$      | $CWU_{blue}$       | $CWU_{green}$       | $CWU_{blue}$        |
|                       | mm/dec | mm/dec   | mm/dec    | mm/dec  | mm/dec | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /ha | m <sup>3</sup> /rai | m <sup>3</sup> /rai |
| 1985                  | 1213.3 | 1643.6   | 399.3     | 813.8   | 399.4  | 8138               | 3994               | 1302.08             | 639.04              |
| 1986                  | 1164.4 | 1590.2   | 469.8     | 694.6   | 469.8  | 6946               | 4698               | 1111.36             | 751.68              |
| 1987                  | 1232.8 | 1665     | 458.4     | 774.2   | 458.6  | 7742               | 4586               | 1238.72             | 733.76              |
| 1988                  | 1094.9 | 1512.8   | 238.1     | 856.7   | 238.4  | 8567               | 2384               | 1370.72             | 381.44              |
| 1989                  | 1203.9 | 1114.2   | 270       | 934.1   | 269.9  | 9341               | 2699               | 1494.56             | 431.84              |
| 1990                  | 1275   | 1021.6   | 487.2     | 787.9   | 487.2  | 7879               | 4872               | 1260.64             | 779.52              |
| 1991                  | 1117.6 | 1303.9   | 97.6      | 1019.8  | 97.8   | 10198              | 978                | 1631.68             | 156.48              |
| 1992                  | 1129   | 1054.2   | 354.8     | 774.4   | 354.8  | 7744               | 3548               | 1239.04             | 567.68              |
| 1993                  | 1122.8 | 1391.4   | 213.2     | 909.6   | 213.3  | 9096               | 2133               | 1455.36             | 341.28              |
| 1994                  | 1087.9 | 1253.3   | 232.1     | 856.1   | 232    | 8561               | 2320               | 1369.76             | 371.2               |
| 1995                  | 1103.9 | 1265     | 164.5     | 940.1   | 164.3  | 9401               | 1643               | 1504.16             | 262.88              |
| 1996                  | 1080   | 1393.5   | 93.3      | 990.5   | 93.6   | 9905               | 936                | 1584.8              | 149.76              |
| 1997                  | 1088.2 | 1354.5   | 130.3     | 957.8   | 129.2  | 9578               | 1292               | 1532.48             | 206.72              |
| 1998                  | 1058.2 | 1190.7   | 310.6     | 747.6   | 310.7  | 7476               | 3107               | 1196.16             | 497.12              |
| 1999                  | 1124.8 | 1504     | 125.7     | 999.1   | 125.7  | 9991               | 1257               | 1598.56             | 201.12              |
| 2000                  | 1110   | 1483     | 138       | 971.9   | 138.1  | 9719               | 1381               | 1555.04             | 220.96              |
| 2001                  | 1215.6 | 1356.7   | 222.9     | 996.3   | 223    | 9963               | 2230               | 1594.08             | 356.8               |
| 2002                  | 1203.8 | 1214     | 278.6     | 937.7   | 278.6  | 9377               | 2786               | 1500.32             | 445.76              |
| 2003                  | 1143.7 | 1378     | 200.6     | 943.2   | 200.9  | 9432               | 2009               | 1509.12             | 321.44              |
| 2004                  | 1119   | 1181.4   | 222.2     | 896.8   | 222    | 8968               | 2220               | 1434.88             | 355.2               |
| 2005                  | 1155.3 | 1284.5   | 313.7     | 841.4   | 313.9  | 8414               | 3139               | 1346.24             | 502.24              |
| 2006                  | 1023.8 | 1511.8   | 88        | 935.8   | 88.1   | 9358               | 881                | 1497.28             | 140.96              |
| 2007                  | 1140   | 1463.8   | 104.4     | 1035.5  | 104.4  | 10355              | 1044               | 1656.8              | 167.04              |
| 2008                  | 1068.5 | 1439.9   | 79.1      | 1066    | 79.1   | 10660              | 791                | 1705.6              | 126.56              |
| 2009                  | 1083.5 | 1304     | 169.7     | 913.8   | 169.8  | 9138               | 1698               | 1462.08             | 271.68              |
| 2010                  | 1046   | 1260.1   | 163.7     | 882.5   | 163.7  | 8825               | 1637               | 1412                | 261.92              |
|                       |        |          |           | 23477.2 | 6026.3 | 234772             | 60263              | 37563.52            | 9642.08             |



ภาคผนวก ง.

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา

ง-1 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพาราทางตรง

สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ง-1.1 การคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เขียว (Green Water Footprint)

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เขียว (Green Water Footprint) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่

$$WF_{proc,green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \tag{ง-1.1}$$

โดยที่  $CWU_{green}$  = Green water use  
 $Y$  = ผลผลิต (crop yield)

วิธีการคำนวณ  $WF_{proc,green}$  ยกตัวอย่างจังหวัดจันทบุรีปีพ.ศ. 2528-2553 จากภาคผนวก ค-9 มีค่า  $CWU_{green}$  เท่ากับ 29,905.76 ลบ.ม.ต่อไร่ และ  $CWU_{blue}$  เท่ากับ 17,780.64 ลบ.ม.ต่อไร่ และจากภาคผนวก ก ผลผลิตของน้ำยางสดและไม้ยางพาราสดจังหวัดจันทบุรีเท่ากับ 14.78 ตันต่อไร่และ 46.11 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ค่าการปันส่วนเชิงปริมาณและค่าปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์น้ำยางสดและไม้ยางพาราสด คำนวณ  $WF$  ได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ผลผลิตคือน้ำยางสดอย่างเดียว

หาค่า  $WF_{proc,greenน้ำยางสด} = 29905.76/14.78$   
จะได้  $WF_{proc,greenน้ำยางสด} = 2023.39$  ลบ.ม.ต่อตัน

กรณีที่ 2 ปันส่วนเชิงปริมาณ

หาค่า  $WF_{proc,greenน้ำยางสด} = (29905.76 \times 0.24)/14.78$   
จะได้  $WF_{proc,greenน้ำยางสด} = 485.61$  ลบ.ม.ต่อตัน  
หาค่า  $WF_{proc,greenไม้ยางพาราสด} = (29905.76 \times 0.76)/46.11$   
จะได้  $WF_{proc,greenไม้ยางสด} = 492.92$  ลบ.ม.ต่อตัน

### กรณีที่ 2 บັນส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์

$$\text{ค่า } WF_{\text{proc,greenน้ำยางสด}} = (29905.76 \times 0.95) / 14.78$$

$$\text{จะได้ } WF_{\text{proc,greenน้ำยางสด}} = 1922.22 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$$

$$\text{ค่า } WF_{\text{proc,greenไม่ยางพาราสด}} = (29905.76 \times 0.05) / 46.11$$

$$\text{จะได้ } WF_{\text{proc,greenไม่ยางพาราสด}} = 32.43 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$$

### ง-1.2 การคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำเงิน (Blue Water Footprint)

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำเงิน (Blue Water Footprint) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ ง-1.2

$$WF_{\text{proc,blue}} = \frac{CWU_{\text{blue}}}{Y} \quad (\text{ง-1.2})$$

$$\text{โดยที่ } CWU_{\text{blue}} = \text{Blue water use}$$

### กรณีที่ 1 ผลผลิตคือน้ำยางสดอย่างเดียว

$$\text{หาค่า } WF_{\text{proc,blueน้ำยางสด}} = 17,780.64 / 14.78$$

$$\text{จะได้ ค่า } WF_{\text{proc,blueน้ำยางสด}} = 1203.02 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$$

### กรณีที่ 2 บັນส่วนเชิงปริมาณ

$$\text{หาค่า } WF_{\text{proc,blueน้ำยางสด}} = (17,780.64 \times 0.24) / 14.78$$

$$\text{จะได้ } WF_{\text{proc,blueน้ำยางสด}} = 288.72 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$$

$$\text{หาค่า } WF_{\text{proc,blueไม่ยางพาราสด}} = (17,780.64 \times 0.76) / 46.11$$

$$\text{จะได้ } WF_{\text{proc,blueไม่ยางพาราสด}} = 293.06 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$$

### กรณีที่ 2 บັນส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์

$$\text{หาค่า } WF_{\text{proc,blueน้ำยางสด}} = (17,780.64 \times 0.95) / 14.78$$

$$\text{จะได้ } WF_{\text{proc,blueน้ำยางสด}} = 1142.86 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$$

$$\text{หาค่า } WF_{\text{proc,blueไม่ยางพาราสด}} = (17,780.64 \times 0.05) / 46.11$$

$$\text{จะได้ } WF_{\text{proc,blueไม่ยางพาราสด}} = 19.28 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$$

### ง-1.3 การคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เทา (Grey Water Footprint)

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เทา (Grey Water Footprint) สามารถคำนวณได้ดัง  
สมการที่ ง-1.3

$$WF_{\text{proc, grey}} = \frac{\text{Grey water use}}{Y} \quad (\text{ง-1.3})$$

โดยที่ Grey water use = CWU grey

$$CWU_{\text{grey}} = (\alpha \times AR) / (c_{\text{max}} - c_{\text{nat}})$$

$\alpha \times AR$  เท่ากับ 10% ของไนโตรเจนที่ใส่ให้กับยางพารา

$c_{\text{max}}$  คือ จากค่ามาตรฐานความเข้มข้นมากที่สุดของไนโตรเจนที่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535

$c_{\text{nat}}$  คือ ความเข้มข้นไนโตรเจนของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ สมมุติเท่ากับ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีการคำนวณ ค่า Grey water use จากภาคผนวก ข จังหวัดจันทบุรีปีพ.ศ. 2528-2553 มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนให้กับยางพาราทั้งหมด 329.3 กก.ต่อไร่

หาค่า ค่า Grey water use =  $(10\% \times 329.3 \text{ กก.ต่อไร่}) / (5 \text{ มก.ต่อลิตร})$

จะได้ Grey water use = 6,585,000 ลิตร

1000 ลิตร = 1 ลบ.ม. จะได้ Grey water use = 6,585 ลบ.ม.

กรณีที่ 1 ผลผลิตคือน้ำยางสดอย่างเดียว

หาค่า  $WF_{\text{proc, grey น้ำยางสด}} = 6,585 \text{ ลบ.ม.ต่อไร่} / 14.78 \text{ ตันต่อไร่}$

จะได้ ค่า  $WF_{\text{proc, grey น้ำยางสด}} = 445.53 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$

กรณีที่ 2 บั่นส่วนเชิงปริมาณ

หาค่า  $WF_{\text{proc, grey น้ำยางสด}} = (6,585 \text{ ลบ.ม.ต่อไร่} \times 0.24) / 14.78 \text{ ตันต่อไร่}$

จะได้  $WF_{\text{proc, blue น้ำยางสด}} = 106.93 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$

หาค่า  $WF_{\text{proc, blue ไม่ยางพาราสด}} = (6,585 \times 0.76) / 46.11$

จะได้  $WF_{\text{proc, blue ไม่ยางพาราสด}} = 108.54 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$

กรณีที่ 2 บั่นส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์

หาค่า  $WF_{proc,blue\text{น้ำยางสด}} = (6,585 \times 0.95)/14.78$

จะได้  $WF_{proc,blue\text{น้ำยางสด}} = 423.26 \text{ลบ.ม.ต่อตัน}$

หาค่า  $WF_{proc,blue\text{น้ำยางพาราสด}} = (6,585 \times 0.05)/46.11$

จะได้  $WF_{proc,blue\text{น้ำยางพาราสด}} = 7.14 \text{ลบ.ม.ต่อตัน}$

คำนวณค่า WF ผลผลิตจากการเพาะปลูกยางพาราของจังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ.2528-2553 ด้วยวิธีการเดียวกัน

ง-2 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพาราทางอ้อม

ในการวิจัยนี้ใช้การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์วิธีการแบบขั้นตอนสะสม (step-wise accumulative approach) เป็นการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ โดยการรวมวอเตอร์ฟุตพริ้นต์วัตถุดิบเข้าทุกชนิด (ภาคผนวก ข)ตามสัดส่วนปริมาณที่ใช้กับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของสารเข้า

จากข้อมูลสารเข้า-สารขาออกการเพาะปลูกยางพารา 25 ปี ปริมาณการใช้น้ำจากสารเข้าการเพาะปลูกยางพาราจันทบุรีและนครศรีธรรมราช 2 แบบ คือ ดังตารางที่ ง 2.1-2.4

ตารางที่ ง 2.1

ปริมาณการใช้น้ำของสารเข้าการเพาะปลูกยางพารา จังหวัดจันทบุรี

แบบที่ 1 All Water in Process System

| สารเข้า                        | ปริมาณ | หน่วย        | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ | หน่วย     |
|--------------------------------|--------|--------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| ต้นยาง                         | 76     | ต้นต่อไร่    |                             | ไม่ได้คิด | ลบ.ม./ไร่ |
| น้ำมันดีเซล                    | 2.1    | กิโลกรัม/ไร่ | 0.7262                      | 1.53      |           |
| Glyphosate                     | 44.2   | กิโลกรัม/ไร่ | 55.3960                     | 2448.50   | ลบ.ม./ไร่ |
| Paraquat                       | 1.25   | กิโลกรัม/ไร่ | 122.3364                    | 152.92    | ลบ.ม./ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร N                    | 329.3  | กิโลกรัม/ไร่ | 4.6713                      | 1538.25   | ลบ.ม./ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร P2O5                 | 270.14 | กิโลกรัม/ไร่ | 12.9043                     | 3485.97   | ลบ.ม./ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร K2O                  | 289.32 | กิโลกรัม/ไร่ | 3.7986                      | 1099.02   | ลบ.ม./ไร่ |
| ผลรวมปริมาณการใช้น้ำจากสารเข้า |        |              |                             | 8726.18   | ลบ.ม./ไร่ |

ตารางที่ ง 2.2

ปริมาณการใช้น้ำของสารขาเข้าการเพาะปลูกยางพารา จังหวัดจันทบุรี  
แบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06

| สารขาเข้า                        | ปริมาณ | หน่วย        | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ | หน่วย     |
|----------------------------------|--------|--------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| ต้นยาง                           | 76     | ต้นต่อไร่    |                             | ไม่ได้คิด | ลบ.ม./ไร่ |
| น้ำมันดีเซล                      | 2.1    | กิโลกรัม/ไร่ | 0.00448                     | 0.01      | ลบ.ม./ไร่ |
| Glyphosate                       | 44.2   | กิโลกรัม/ไร่ | 0.09449                     | 4.18      | ลบ.ม./ไร่ |
| Paraquat                         | 1.25   | กิโลกรัม/ไร่ | 0.07799                     | 0.10      | ลบ.ม./ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร N                      | 329.3  | กิโลกรัม/ไร่ | 0.01357                     | 4.47      | ลบ.ม./ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร P2O5                   | 270.14 | กิโลกรัม/ไร่ | 0.10794                     | 29.16     | ลบ.ม./ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร K2O                    | 289.32 | กิโลกรัม/ไร่ | 0.06654                     | 19.25     | ลบ.ม./ไร่ |
| ผลรวมปริมาณการใช้น้ำจากสารขาเข้า |        |              |                             | 57.16     | ลบ.ม./ไร่ |

จากข้อมูลสารขาเข้า-สารขาออกกระบวนการเพาะปลูกยางพารา 25 ปี (ภาคผนวก ข)  
ปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตของสารขาเข้าที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกยางพารา  
นครศรีธรรมราช 2 แบบ คือ แบบที่ 1 All Water in Process System และ แบบที่ 2 Water  
depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 ดังตารางที่ ง 2.3 -2.4

ตารางที่ ง 2.3

ปริมาณการใช้น้ำของสารขาเข้าการเพาะปลูกยางพารา จังหวัดนครศรีธรรมราช  
แบบที่ 1 All Water in Process System

| สารขาเข้า     | ปริมาณ | หน่วย        | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ | หน่วย     |
|---------------|--------|--------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| ต้นยาง        | 75.45  | ต้นต่อไร่    |                             | ไม่ได้คิด |           |
| น้ำมันดีเซล   | 9.72   | กิโลกรัม/ไร่ | 0.7262                      | 7.06      | ลบ.ม./ไร่ |
| น้ำมันเครื่อง | 1.37   | กิโลกรัม/ไร่ | 2.7365                      | 3.75      | ลบ.ม./ไร่ |



| สารขาเข้า                        | ปริมาณ | หน่วย        | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ | หน่วย     |
|----------------------------------|--------|--------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| ปุ๋ย สูตร N                      | 42.44  | กิโลกรัม/ไร่ | 4.6713                      | 198.27    | ลบ.ม./ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร P2O5                   | 11.76  | กิโลกรัม/ไร่ | 12.9043                     | 151.73    | ลบ.ม./ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร K2O                    | 34.61  | กิโลกรัม/ไร่ | 3.7986                      | 131.49    | ลบ.ม./ไร่ |
| Glyphosate                       | 20.28  | กิโลกรัม/ไร่ | 55.3960                     | 1123.18   | ลบ.ม./ไร่ |
| Paraquat                         | 34.01  | กิโลกรัม/ไร่ | 122.3364                    | 4160.80   | ลบ.ม./ไร่ |
| Metalaxyl                        | 1.08   | กิโลกรัม/ไร่ | 122.3364                    | 131.74    | ลบ.ม./ไร่ |
| DAP (Diamonium Phosphate)        | 119.49 | กิโลกรัม/ไร่ | 3.8475                      | 459.72    | ลบ.ม./ไร่ |
| ยูเรีย                           | 526.15 | กิโลกรัม/ไร่ | 4.1033                      | 2158.95   | ลบ.ม./ไร่ |
| MOP (Potassium Chloride)         | 388.22 | กิโลกรัม/ไร่ | 1.2372                      | 480.30    | ลบ.ม./ไร่ |
| Ethyphon                         | 0.35   | กิโลกรัม/ไร่ |                             | ไม่ได้คิด | ลบ.ม./ไร่ |
| อีเทอร์ล                         | 434.97 | กิโลกรัม/ไร่ |                             | ไม่ได้คิด | ลบ.ม./ไร่ |
| ลิมโฟ                            | 30.89  | ลิตร/ไร่     |                             | ไม่ได้คิด | ลบ.ม./ไร่ |
| ผลรวมปริมาณการใช้น้ำจากสารขาเข้า |        |              |                             | 9007      | ลบ.ม./ไร่ |

วิธีการคำนวณการหาปริมาณการใช้น้ำของสารขาเข้าเท่ากับปริมาณสารขาเข้าคูณกับปริมาณน้ำในการผลิต เช่น น้ำมันดีเซล ในตารางที่ ง 2.3 หาได้ดังต่อไปนี้

ปริมาณการใช้น้ำของน้ำมันดีเซล = 9.72 x 0.7262  
= 7.06 ลบ.ม./ไร่

ตารางที่ ง 2.4

ปริมาณการใช้น้ำของสารขาเข้าการเพาะปลูกยางพารา จังหวัดนครศรีธรรมราช  
แบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H\_Method

| สารขาเข้า   | ปริมาณ | หน่วย        | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ | หน่วย     |
|-------------|--------|--------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| ต้นยาง      | 75.45  | ต้นต่อไร่    |                             | ไม่ได้คิด |           |
| น้ำมันดีเซล | 9.72   | กิโลกรัม/ไร่ | 0.004484                    | 0.04      | ลบ.ม./ไร่ |

| สารขาเข้า                        | ปริมาณ | หน่วย        | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ | หน่วย     |
|----------------------------------|--------|--------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| น้ำมันเครื่อง                    | 1.37   | กิโลกรัม/ไร่ | 0.007999                    | 0.01      | ลบ.ม./ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร N                      | 42.44  | กิโลกรัม/ไร่ | 0.013567                    | 0.58      | ลบ.ม./ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร P2O5                   | 11.76  | กิโลกรัม/ไร่ | 0.107945                    | 1.27      | ลบ.ม./ไร่ |
| ปุ๋ย สูตร K2O                    | 34.61  | กิโลกรัม/ไร่ | 0.066541                    | 2.30      | ลบ.ม./ไร่ |
| Glyphosate                       | 20.28  | กิโลกรัม/ไร่ | 0.094488                    | 1.92      | ลบ.ม./ไร่ |
| Paraquat                         | 34.01  | กิโลกรัม/ไร่ | 0.077995                    | 2.65      | ลบ.ม./ไร่ |
| Metalaxyl                        | 1.08   | กิโลกรัม/ไร่ | 0.077995                    | 0.08      | ลบ.ม./ไร่ |
| DAP (Diamonium Phosphate)        | 119.49 | กิโลกรัม/ไร่ | 0.007623                    | 0.91      | ลบ.ม./ไร่ |
| ยูเรีย                           | 526.15 | กิโลกรัม/ไร่ | 0.007630                    | 4.01      | ลบ.ม./ไร่ |
| MOP (Potassium Chloride)         | 388.22 | กิโลกรัม/ไร่ | 0.007061                    | 2.74      | ลบ.ม./ไร่ |
| Ethyphon                         | 0.35   | กิโลกรัม/ไร่ | 0.077995                    | 0.03      | ลบ.ม./ไร่ |
| อีเทรล                           | 434.97 | กิโลกรัม/ไร่ | 0.077995                    | 33.93     | ลบ.ม./ไร่ |
| ลิมโฟ                            | 30.89  | ลิตร/ไร่     | 0.077995                    | 2.41      | ลบ.ม./ไร่ |
| ผลรวมปริมาณการใช้น้ำจากสารขาเข้า |        |              |                             | 53        | ลบ.ม./ไร่ |

ง-3 การคำนวณปริมาณการใช้น้ำการเพาะปลูกยางพารารวม

ปริมาณการใช้น้ำจากการเพาะปลูกยางพารารวมของจังหวัดจันทบุรีและจังหวัดนครศรีธรรมราช (2528-2553) เกิดจากการคำนวณผลรวมของปริมาณการใช้น้ำทางตรงและปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมทุกชนิดในกระบวนการ

$$CWU_{Total} = CWU_{green} + CWU_{blue} + Grey\ water\ Use + CWU_{indirect\ blue}$$

ซึ่งแต่ละชนิดได้แสดงวิธีคำนวณแล้วนั้น ปริมาณการใช้น้ำจากการเพาะปลูกยางพารารวมสรุปได้ดังตารางที่ ง-3.1

ตารางที่ ง-3.1  
ปริมาณการใช้น้ำในการเพาะปลูกยางพารา

| จังหวัด       | วิธี<br>คำนวณ<br>CWU<br><br>indirect blue | ปริมาณการใช้น้ำในการเพาะปลูกยางพารา<br>(ลบ.ม./ไร่) |                     |                   |                              | CWU <sub>Total</sub><br>(ลบ.ม./<br>ไร่) |
|---------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
|               |                                           | CWU <sub>green</sub>                               | CWU <sub>blue</sub> | Grey water<br>Use | CWU <sub>indirect blue</sub> |                                         |
| จันทบุรี      | 1                                         | 29905.76                                           | 17780.64            | 6586.00           | 8726.16                      | 62999                                   |
| นครศรีธรรมราช | 1                                         | 37563.52                                           | 9642.0.8            | 848.80            | 9006.99                      | 57061                                   |
| จันทบุรี      | 2                                         | 29905.76                                           | 17780.64            | 6586.00           | 57.16                        | 54330                                   |
| นครศรีธรรมราช | 2                                         | 37563.52                                           | 9642.0.8            | 848.80            | 52.88                        | 48107                                   |

จากตารางที่ ง-3.1 เมื่อปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตของสารขาเข้าที่เกี่ยวข้อง (CWU<sub>indirect blue</sub>) กับการเพาะปลูกยางพารานครศรีธรรมราช 2 แบบ คือ แบบที่ 1 All Water in Process System และ แบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H\_Method

ตัวอย่างวิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์น้ำยางสดรวมจังหวัดนครศรีธรรมราช และปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตของสารขาเข้าแบบที่ 1 All Water in Process System

$$\begin{aligned} \text{วอเตอร์ฟุตพริ้นต์รวม}_{\text{น้ำยางสด}} &= \text{ปริมาณการใช้น้ำรวม/ปริมาณผลผลิต} \\ &= 57061 \text{ ลบ.ม.ต่อไร่} / 14.78 \text{ ตันต่อไร่} \\ &= 3861 \text{ ลบ.ม.ต่อตันน้ำยางสด} \end{aligned}$$

ตัวอย่างวิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของไม้ยางพาสดโดยทำการปันส่วนเชิงปริมาณ และเชิงเศรษฐศาสตร์ให้กับน้ำยางสด โดยยกตัวอย่างข้อมูลจังหวัดนครศรีธรรมราช และปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตของสารขาเข้าแบบที่ 1 All Water in Process System ค่าปริมาณการใช้น้ำในการเพาะปลูกยางพารารวม (CWU total) ในตารางที่ ง-3.1 และค่าการตัวประกอบการปันส่วน และปริมาณผลผลิต ในภาคผนวก ก

$CWU_{\text{ไม่ยางพาราสด}} = CWU_{\text{การเพาะปลูกยางรวม}} \times \text{ค่าการตัวประกอบการปันส่วน}_{\text{ไม่ยางพาราสด}}$   
จะได้

ปันส่วนเชิงปริมาณ:  $CWU_{\text{ไม่ยางพาราสด}} = 57061 \times 0.7526 = 42,944 \text{ (ลบ.ม./ไร่)}$

ปันส่วนเศรษฐศาสตร์:  $CWU_{\text{ไม่ยางพาราสด}} = 54081 \times 0.0535 = 3,053 \text{ (ลบ.ม./ไร่)}$

ดังนั้น เมื่อ วอเตอร์ฟุตพริ้นต์รวม ( $WF_{\text{total}}$ ) = ค่าปริมาณการใช้น้ำรวม/ผลผลิต จะได้

ปันส่วนเชิงปริมาณ:  $WF_{\text{ไม่ยางพาราสด}} = 42,944 \text{ (ลบ.ม./ไร่)} / 46.11 \text{ (ตันต่อไร่)}$

$WF_{\text{ไม่ยางพาราสด}} = 931 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$

ปันส่วนเชิงเศรษฐศาสตร์:  $WF_{\text{ไม่ยางพาราสด}} = 3,053 \text{ (ลบ.ม./ไร่)} / 46.11 \text{ (ตันต่อไร่)}$

$WF_{\text{ไม่ยางพาราสด}} = 66 \text{ ลบ.ม.ต่อตัน}$

ชำนาญกหอสมุด

ภาคผนวก จ

แหล่งข้อมูลอ้างอิงจากโปรแกรม SimaPro 7.3

ในการวิจัยนี้ใช้โปรแกรม SimaPro 7.3 เป็นฐานข้อมูลหลักปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตจาก 2 วิธีการคือ 1. All Water in Process system: ปริมาณการให้ทรัพยากรส่วนที่เป็นน้ำทั้งหมดจาก Ecoinvent Version: 2.2 และ 2. Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H \_Method เพื่อคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นตีสีน้ำเงินทางอ้อมกับข้อมูลรายการสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลการใช้น้ำของสารที่เกี่ยวข้องเป็น ลบ.ม.ต่อ กก.

วิธีการแบบที่ 1 All Water in Process system ตัวอย่างการหาปริมาณการให้ทรัพยากรน้ำทั้งหมดในกระบวนการผลิตของ ดีเซล 1 กิโลกรัม ได้ดังตารางที่ จ-1

ตารางที่ จ-1

ปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตดีเซล 1 กิโลกรัม  
All Water in Process system จาก Ecoinvent Version: 2.2

| Resources                                      | Water in Process System (m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Water, cooling, unspecified natural origin/m3  | 0.0069641                                 |
| Water, lake                                    | 6.0125E-06                                |
| Water, river                                   | 0.0012789                                 |
| Water, salt, ocean                             | 0.00029756                                |
| Water, salt, sole                              | 0.00072832                                |
| Water, turbine use, unspecified natural origin | 0.71377                                   |
| Water, unspecified natural origin/m3           | 0.0030217                                 |
| Water, well, in ground                         | 0.00017729                                |
| Sum Water                                      | 0.726243883                               |

ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดในกระบวนการผลิตของดีเซล 1 กิโลกรัม = 0.726243883 ลบ.ม.



แหล่งข้อมูลอ้างอิงปริมาณการใช้น้ำของสารที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ยางพารา ด้วย  
วิธีการแบบที่ 1 All Water in Process system เป็นดังตารางที่จ-2

ตารางที่ จ-2

ปริมาณการใช้น้ำของสารที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ยางพารา

All Water in Process system จาก Ecoinvent Version: 2.2

| ผลิตภัณฑ์                 | ปริมาณน้ำที่ใช้ | หน่วย     | อ้างอิง                                                                                               |
|---------------------------|-----------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| น้ำมันดีเซล               | 0.726243883     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Diesel, at regional storage/CH S                                                                 |
| น้ำมันเครื่อง             | 2.736533587     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Lubricating oil, at plant/RER S                                                                  |
| ปุ๋ย สูตร N               | 4.671264176     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER S                                             |
| ปุ๋ย สูตร P2O5            | 12.9043196      | ลบ.ม./กก. | 1 kg Single superphosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER S                                     |
| ปุ๋ย สูตร K2O             | 3.798619442     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Potassium sulphate, as K2O, at regional storehouse/RER S                                         |
| Glyphosate                | 55.39597594     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Glyphosate, at regional storehouse/CH S                                                          |
| Paraquat                  | 122.3364213     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH S                                               |
| Metalaxyl                 | 122.3364213     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH S                                               |
| DAP (Diamonium Phosphate) | 3.847473751     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Diamonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER S                                          |
| ยูเรีย                    | 4.103262209     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Urea, as N, at regional storehouse/RER S                                                         |
| MOP (Potassium Chloride)  | 1.237191837     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Potassium chloride, as K2O, at regional storehouse/RER S                                         |
| ไฟฟ้า                     | 2.467924        | ลบ.ม./kWh | คิดจากอัตราส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้าไทย                                                                   |
| Boron                     | 19.72062048     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Boron trifluoride, at plant/GLO S                                                                |
| Calcium Hypochloride      | 2.812397682     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Calcium chloride, CaCl2, at regional storage/CH S                                                |
| น้ำ*                      | 0.250000        | ลบ.ม./กก. | ค่าน้ำสูญเสีย สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ                                      |
| Polystyrene-butadiene     | 0.224568        | ลบ.ม./กก. | 1 kg Polystyrene, high impact, HIPS, at plant/RER S+ 1 kg Polystyrene, extruded (XPS), at plant/RER S |
| พลาสติก PE                | 0.0556751       | ลบ.ม./กก. | 1 kg Polypropylene, granulate, at plant/RER S                                                         |
| Ethphon                   | 122.3364213     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH S                                               |
| อีเทรล                    | 122.3364213     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH S                                               |
| ลิมโฟ                     | 122.3364213     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH S                                               |
| สีน้ำพลาสติก              | 6.961291916     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Vinyl acetate, at plant/RER S                                                                    |
| ใบเลื่อย                  | 8.876197195     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Steel product manufacturing, average metal working/RER S                                         |
| Hydroguard                | 0.991077509     | ลบ.ม./กก. | 1 m3 Glued laminated timber, outdoor use, at plant/RER S (สมมุติความหนาแน่นเท่ากับน้ำ)                |
| กระดาษลูกฟูก              | 7.769360588     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Kraft paper, bleached, at plant/RER S                                                            |
| กระดาษทราย                | 7.769360588     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Kraft paper, bleached, at plant/RER S                                                            |
| ตะปู                      | 0.0259536       | ลบ.ม./กก. | 1 kg Steel product manufacturing, average metal working/RER S                                         |
| กาว                       | 0.991077509     | ลบ.ม./กก. | 1 m3 Glued laminated timber, outdoor use, at plant/RER S (สมมุติความหนาแน่นเท่ากับน้ำ)                |

วิธีการแบบที่ 2 Water depletion (WD) ด้วย ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H \_Method ตัวอย่างการหาปริมาณการใช้ทรัพยากรน้ำทั้งหมดในกระบวนการผลิตของดีเซล 1 กิโลกรัม ได้ดังตารางที่ จ-3 และแหล่งข้อมูลอ้างอิงปริมาณการใช้น้ำของสารที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ยางพารา ตารางที่ จ-4

ตารางที่ จ-3  
ปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตดีเซล 1 กิโลกรัม  
ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H \_Method

|                                   |                                                                               |          |                                  |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------|
| Calculation:                      | Analyze                                                                       |          |                                  |
| Results:                          | Impact assessment                                                             |          |                                  |
| Product:                          | 1 kg Diesel, at regional storage/CH S (of project Ecoinvent system processes) |          |                                  |
| Method:                           | ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H                                    |          |                                  |
| Indicator:                        | Characterization                                                              |          |                                  |
| Unit:                             | %                                                                             |          |                                  |
| Skip categories:                  | Never                                                                         |          |                                  |
| Exclude infrastructure processes: | No                                                                            |          |                                  |
| Exclude long-term emissions:      | No                                                                            |          |                                  |
| Sorted on item:                   | Impact category                                                               |          |                                  |
| Sort order:                       | Ascending                                                                     |          |                                  |
| Impact category                   | Unit                                                                          | Total    | Diesel, at regional storage/CH S |
| Climate change                    | kg CO2 eq                                                                     | 0.599575 | 0.599574642                      |
| Ozone depletion                   | kg CFC-11 eq                                                                  | 5.71E-07 | 5.70962E-07                      |
| Human toxicity                    | kg 1,4-DB eq                                                                  | 0.106638 | 0.106637502                      |
| Photochemical oxidant formation   | kg NMVOC                                                                      | 0.004718 | 0.004717848                      |
| Particulate matter formation      | kg PM10 eq                                                                    | 0.001328 | 0.001327633                      |
| Ionising radiation                | kg U235 eq                                                                    | 0.07029  | 0.070289925                      |
| Terrestrial acidification         | kg SO2 eq                                                                     | 0.004324 | 0.004323634                      |
| Freshwater eutrophication         | kg P eq                                                                       | 8.57E-05 | 8.56732E-05                      |
| Marine eutrophication             | kg N eq                                                                       | 0.000119 | 0.000118906                      |
| Terrestrial ecotoxicity           | kg 1,4-DB eq                                                                  | 0.000218 | 0.000218204                      |
| Freshwater ecotoxicity            | kg 1,4-DB eq                                                                  | 0.002964 | 0.002963727                      |
| Marine ecotoxicity                | kg 1,4-DB eq                                                                  | 0.002843 | 0.002843277                      |
| Agricultural land occupation      | m2a                                                                           | 0.002129 | 0.002128679                      |
| Urban land occupation             | m2a                                                                           | 0.005915 | 0.005914592                      |
| Natural land transformation       | m2                                                                            | 0.00135  | 0.00135045                       |
| Water depletion                   | m3                                                                            | 0.004484 | 0.004483903                      |
| Metal depletion                   | kg Fe eq                                                                      | 0.013704 | 0.013704405                      |
| Fossil depletion                  | kg oil eq                                                                     | 1.290497 | 1.290497445                      |

## ตารางที่ จ-3

แหล่งข้อมูลอ้างอิงปริมาณการใช้ของสารที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ยางพารา ReCiPe Midpoint  
(H) V1.06 / World ReCiPe H\_Method

| ผลิตภัณฑ์                 | ปริมาณที่ใช้ | หน่วย     | อ้างอิง                                                                                               |
|---------------------------|--------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| น้ำมันดีเซล               | 0.004483903  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Diesel, at regional storage/CH S                                                                 |
| น้ำมันเครื่อง             | 0.007998947  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Lubricating oil, at plant/RER S                                                                  |
| ปุ๋ย สูตร N               | 0.013567336  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER S                                             |
| ปุ๋ย สูตร P2O5            | 0.107944753  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Single superphosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER S                                     |
| ปุ๋ย สูตร K2O             | 0.066540542  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Potassium sulphate, as K2O, at regional storehouse/RER S                                         |
| Glyphosate                | 0.0944876    | ลบ.ม./กก. | 1 kg Glyphosate, at regional storehouse/CH S                                                          |
| Paraquat                  | 0.0779946    | ลบ.ม./กก. | 1 kg Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH S                                               |
| Metalaxyl                 | 0.0779946    | ลบ.ม./กก. | 1 kg Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH S                                               |
| DAP (Diamonium Phosphate) | 0.007623141  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Diammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER S                                         |
| ยูเรีย                    | 0.007629559  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Urea, as N, at regional storehouse/RER S                                                         |
| MOP (Potassium Chloride)  | 0.007061111  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Potassium chloride, as K2O, at regional storehouse/RER S                                         |
| ไฟฟ้า                     | 0.002828     | ลบ.ม./กWh | คิดจากอัตราส่วนแหล่งพลังงานไฟฟ้าไทย                                                                   |
| Boron                     | 0.326618714  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Boron trifluoride, at plant/GLO S                                                                |
| Calcium Hypochloride      | 0.058345344  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Calcium chloride, CaCl2, at regional storage/CH S                                                |
| น้ำ                       | 0.250000     | ลบ.ม./กก. | ค่าน้ำสูญเสีย สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ                                      |
| Polystyrene-butadiene     | 0.028589     | ลบ.ม./กก. | 1 kg Polystyrene, high impact, HIPS, at plant/RER S+ 1 kg Polystyrene, extruded (XPS), at plant/RER S |
| พลาสติก PE                | 0.004709953  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Polypropylene, granulate, at plant/RER S                                                         |
| Ethiphon                  | 0.0779946    | ลบ.ม./กก. | 1 kg Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH S                                               |
| อีเทรล                    | 0.0779946    | ลบ.ม./กก. | 1 kg Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH S                                               |
| ลิมโฟ                     | 0.0779946    | ลบ.ม./กก. | 1 kg Pesticide unspecified, at regional storehouse/CH S                                               |
| สีน้ำพลาสติก              | 0.021929206  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Vinyl acetate, at plant/RER S                                                                    |
| ใบเลื่อย                  | 0.0259536    | ลบ.ม./กก. | 1 kg Steel product manufacturing, average metal working/RER S                                         |
| Hydroguard                | 0.001565911  | ลบ.ม./กก. | 1 m3 Glued laminated timber, outdoor use, at plant/RER S (สมมุติความหนาแน่นเท่ากับน้ำ)                |
| กระดาษลูกฟูก              | 0.065848868  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Kraft paper, bleached, at plant/RER S                                                            |
| กระดาษทราย                | 0.065848868  | ลบ.ม./กก. | 1 kg Kraft paper, bleached, at plant/RER S                                                            |
| ตะปู                      | 0.0259536    | ลบ.ม./กก. | 1 kg Steel product manufacturing, average metal working/RER S                                         |
| กาว                       | 0.001565911  | ลบ.ม./กก. | 1 m3 Glued laminated timber, outdoor use, at plant/RER S (สมมุติความหนาแน่นเท่ากับน้ำ)                |

ภาคผนวก จ

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา

จากภาคผนวก ง คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์กระบวนการเพาะปลูกยางพารา โดยทำการปันส่วนทั้งเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์ของจังหวัดนครศรีธรรมราช ดังตารางที่ จ-1 ซึ่งในงานวิจัยใช้ไม้ยางพาราสดมีวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ไม้ยางพาราสดเชิงปริมาณ และวอเตอร์ฟุตพริ้นต์เชิงเศรษฐศาสตร์ที่ได้ไปใช้ในการคำนวณในกระบวนการผลิตขั้นต่อไป

ตารางที่ จ-1

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ไม้ยางพารา

| ผลิตภัณฑ์                                                 | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)<br>เชิงปริมาณ |           |       |     | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)<br>เชิงเศรษฐศาสตร์ |           |       |      |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------|-------|-----|----------------------------------------------------|-----------|-------|------|
|                                                           | สีเขียว                                       | สีน้ำเงิน | สีเทา | รวม | สีเขียว                                            | สีน้ำเงิน | สีเทา | รวม  |
| 1. All Water in Process system จาก Ecoinvent Version: 2.2 |                                               |           |       |     |                                                    |           |       |      |
| ไม้ยางพาราสด                                              | 613                                           | 304       | 14    | 931 | 44                                                 | 22        | 1     | 66   |
| น้ำยางสด                                                  | 613                                           | 304       | 14    | 931 | 2338                                               | 1161      | 53    | 3552 |
| เศษยาง                                                    | 593                                           | 294       | 13    | 901 | 2175                                               | 1080      | 49    | 3304 |
| 2. ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H _Method     |                                               |           |       |     |                                                    |           |       |      |
| ไม้ยางพาราสด                                              | 613                                           | 158       | 14    | 785 | 44                                                 | 11        | 1     | 56   |
| น้ำยางสด                                                  | 613                                           | 158       | 14    | 785 | 2338                                               | 603       | 53    | 2994 |
| เศษยาง                                                    | 593                                           | 153       | 13    | 760 | 2175                                               | 561       | 49    | 2785 |



จ-1 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การตัดโค่น

จากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการตัดโค่นภาคผนวก ข และค่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงคำนวณปริมาณภาคผนวก จ ปริมาณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโค่นยางพาราได้ ดังตารางที่ จ-1.1, จ 1.3

ตารางที่ จ-1.1

คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากสารขาเข้ากระบวนการโค่นยางพารา

All Water in Process system จาก Ecoinvent Version: 2.2

| สารขาเข้า                                       | ปริมาณ<br>(ตัน/ปี) | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ | หน่วย    |
|-------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------|----------|
| ไม้ยางพาราสด (WF เสิงปริมาณ)                    | 234.00             | 0.931287                    | 217921.17 | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันดีเซล(ขนส่ง)                              | 332.64             | 0.726244                    | 241578.99 | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันดีเซล(เลื่อย)                             | 39.40              | 0.726244                    | 28611.10  | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันเครื่อง                                   | 3.89               | 2.736534                    | 10649.74  | ลบ.ม./ปี |
| ปริมาณการให้น้ำของสารขาเข้ากระบวนการโค่นยางพารา |                    |                             | 498761.00 | ลบ.ม./ปี |

จากการทำบัญชีรายการในภาคผนวก ข มีวัตถุดิบหลักที่เข้าสู่กระบวนการคือ ไม้ยางพาราสด พิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์จากปริมาณไม้ยางพาราสดที่ส่งเข้ากระบวนการรวมกับค่าปริมาณการใช้น้ำของสารขาเข้ากระบวนการโค่นยางพารา แล้วทำการปันส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์แก่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ หารด้วยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ: วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ปันส่วนเชิงปริมาณ

ปริมาณการใช้น้ำจากไม้ยางพาราสด = 234 ตันต่อปี x 0.931287 ลบ.ม.ต่อตัน  
= 217921 ลบ.ม.ต่อปี



ปริมาณการใช้น้ำรวม = ปริมาณการใช้น้ำจากไม้ยางพาราสด+ปริมาณการใช้น้ำ  
จากสารขาเข้า

= 217921 ลบ.ม.ต่อปี + 280840 ลบ.ม.ต่อปี

= 498761 ลบ.ม.ต่อปี

วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ไม้ยางพาราสดก่อน = (ปริมาณการใช้น้ำรวมกระบวนการ x ตัว  
ประกอบการปันส่วน) / ปริมาณไม้ยางพารา  
สดก่อน

= (498761ลบ.ม.ต่อปี x0.8) /187.2 ตันต่อปี

= 2131 ลบ.ม.ต่อตัน

ตารางที่ จ-1.2

การคำนวณปริมาณการใช้น้ำกระบวนการตัดโค่นและวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์จากการตัดโค่น

All Water in Process system จาก Ecoinvent Version: 2.2

| รายการ             | การใช้น้ำกระบวนการตัดโค่น (ลบ.ม.ต่อปี) |           |       |                  |        |
|--------------------|----------------------------------------|-----------|-------|------------------|--------|
|                    | ปันส่วนเชิงปริมาณ                      |           |       |                  |        |
|                    | สีเขียว                                | สีน้ำเงิน | สีเทา | สีน้ำเงินทางอ้อม | รวม    |
| ไม้ยางพาราสด       | 143467                                 | 36825     | 3231  | 34399            | 217921 |
| สารขาเข้า          | 0                                      | 0         | 0     | 280840           | 280840 |
| ปริมาณการใช้น้ำรวม | 143467                                 | 36825     | 3231  | 315239           | 498761 |
| ผลิตภัณฑ์          | วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)        |           |       |                  |        |
|                    | สีเขียว                                | สีน้ำเงิน | สีเทา | สีน้ำเงินทางอ้อม | รวม    |
| ไม้ยางพาราสดก่อน   | 613                                    | 157       | 14    | 1347             | 2131   |
| กิ่งไม้            | 613                                    | 157       | 14    | 1347             | 2131   |

ตารางที่ จ-1.3

คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากสารขาเข้ากระบวนการโค่นยางพารา  
ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H\_Method

| สารขาเข้า                                       | ปริมาณ<br>(ตัน/ปี) | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ | หน่วย    |
|-------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------|----------|
| ไม้ยางพาราสด (WF เสิ้งปริมาณ)                   | 234.00             | 0.06622                     | 15495.32  | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันดีเซล(ขนส่ง)                              | 332.64             | 0.72624                     | 241578.99 | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันดีเซล(เล็กน้อย)                           | 39.40              | 0.72624                     | 28611.10  | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันเครื่อง                                   | 3.89               | 2.73653                     | 10649.74  | ลบ.ม./ปี |
| ปริมาณการใช้น้ำของสารขาเข้ากระบวนการโค่นยางพารา |                    |                             | 296335.15 | ลบ.ม./ปี |

จ-2 การแปรรูปอบแห้ง

จากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการแปรรูปอบแห้งภาคผนวก ข และค่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงคำนวณปริมาณภาคผนวก จ คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ดังตารางที่ จ-2.1-จ-2.2

ตารางที่ จ-2.1

คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากสารขาเข้ากระบวนการแปรรูปอบแห้ง  
All Water in Process system จาก Ecoinvent Version: 2.2

| สารขาเข้า             | ปริมาณ     | หน่วย  | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ | หน่วย    |
|-----------------------|------------|--------|-----------------------------|-----------|----------|
| ไม้ยางพาราสดท่อน      | 187200     | ตัน/ปี | 2.1315                      | 399008796 | ลบ.ม./ปี |
| ไฟฟ้า                 | 4645344.85 | kWh/ปี | 2.4679                      | 11464358  | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันดีเซล(เล็กน้อย) | 7862.40    | กก./ปี | 0.7262                      | 5710      | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันดีเซล(ขนส่ง)    | 23587.20   | กก./ปี | 0.7262                      | 17130     | ลบ.ม./ปี |
| ไบโอดีเซล             | 6240.00    | กก./ปี | 8.8762                      | 55387     | ลบ.ม./ปี |

| สารขาเข้า                                   | ปริมาณ   | หน่วย    | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ | หน่วย    |
|---------------------------------------------|----------|----------|-----------------------------|-----------|----------|
| Boron                                       | 91728.00 | กก./ปี   | 19.7206                     | 1808933   | ลบ.ม./ปี |
| Calcium Hypochloride                        | 6552.00  | กก./ปี   | 2.8124                      | 18427     | ลบ.ม./ปี |
| น้ำ *                                       | 474.00   | ลบ.ม./ปี | 0.2500                      | 119       | ลบ.ม./ปี |
| น้ำ (ผลิตไอน้ำ)*                            | 16398.00 | ลบ.ม./ปี | 0.2500                      | 4100      | ลบ.ม./ปี |
| เศษไม้                                      | 26208.00 | ตัน/ปี   | 2.1604                      | 56619945  | ลบ.ม./ปี |
| ซีลี้อย                                     | 6552.00  | ตัน/ปี   | 2.1604                      | 14154986  | ลบ.ม./ปี |
| ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมกระบวนการแปรรูปอบแห้ง |          |          |                             | 483157891 | ลบ.ม./ปี |

ตารางที่ จ-2.2

คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากสารขาเข้ากระบวนการแปรรูปอบแห้ง

ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H\_Method

| สารขาเข้า                                   | ปริมาณ     | หน่วย    | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ   | หน่วย    |
|---------------------------------------------|------------|----------|-----------------------------|-------------|----------|
| ไม้ยางพาราสดท่อน                            | 187200     | ตัน/ปี   | 0.7924                      | 148338647.3 | ลบ.ม./ปี |
| ไฟฟ้า                                       | 4645344.85 | kWh/ปี   | 0.0028                      | 13136       | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันดีเซล(เลื่อย)                         | 7862.40    | กก./ปี   | 0.0045                      | 35          | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันดีเซล(ขนส่ง)                          | 23587.20   | กก./ปี   | 0.0045                      | 106         | ลบ.ม./ปี |
| ไบโอเลื่อย                                  | 6240.00    | กก./ปี   | 0.0260                      | 162         | ลบ.ม./ปี |
| Boron                                       | 91728.00   | กก./ปี   | 0.3266                      | 29960       | ลบ.ม./ปี |
| Calcium Hypochloride                        | 6552.00    | กก./ปี   | 0.0583                      | 382         | ลบ.ม./ปี |
| น้ำ *                                       | 474.00     | ลบ.ม./ปี | 0.2500                      | 119         | ลบ.ม./ปี |
| น้ำ (ผลิตไอน้ำ)*                            | 16398.00   | ลบ.ม./ปี | 0.2500                      | 4100        | ลบ.ม./ปี |
| เศษไม้                                      | 26208.00   | ตัน/ปี   | 0.7924                      | 20768310    | ลบ.ม./ปี |
| ซีลี้อย                                     | 6552.00    | ตัน/ปี   | 0.7924                      | 5192077     | ลบ.ม./ปี |
| ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมกระบวนการแปรรูปอบแห้ง |            |          |                             | 174347034   | ลบ.ม./ปี |

\* คำนวณปริมาณน้ำสูญเสียจากการผลิตน้ำไม่เกิน 25 %

จากบัญชีรายการในภาคผนวก ข กระบวนการแปรรูปอบแห้งมีวัตถุดิบหลักที่เข้าสู่กระบวนการคือ ไม้ยางพาราสดท่อน พิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์จากปริมาณไม้ยางพาราสดท่อนที่ส่งเข้ากระบวนการรวมกับค่าปริมาณการใช้น้ำของสารขาเข้าที่เกี่ยวข้อง แล้วทำการปันส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์แก่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ หารด้วยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยในการศึกษานี้กำหนดให้อัตราส่วนของไม้แปรรูปที่ได้เป็นไม้แปรรูป AB:C เท่ากับ 4:1 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ต่อตันผลิตภัณฑ์

ฉ-3 การทำไม้ประสาน

จากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการทำไม้ประสาน ภาคผนวก ข และค่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงคำนวณปริมาณภาคผนวก จ คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ดังตารางที่ ฉ-3.1- ฉ-3.2

ตารางที่ ฉ-3.1

คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมสารขาเข้ากระบวนการทำไม้ประสาน

All Water in Process system จาก Ecoinvent Version: 2.2

| สารขาเข้า                                  | ปริมาณ  | หน่วย  | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ   | หน่วย    |
|--------------------------------------------|---------|--------|-----------------------------|-------------|----------|
| ไม้แปรรูป                                  | 5,320   | ตัน/ปี | 2.5811                      | 13731248.62 | ลบ.ม./ปี |
| ไฟฟ้า                                      | 1693356 | kWh/ปี | 2.4679                      | 4179073.99  | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันเครื่อง                              | 42.0594 | ตัน/ปี | 2.7365                      | 115096.96   | ลบ.ม./ปี |
| กาว                                        | 43      | ตัน/ปี | 0.9911                      | 42616.33    | ลบ.ม./ปี |
| ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมกระบวนการทำไม้ประสาน |         |        |                             | 18068036    | ลบ.ม./ปี |

ตารางที่ จ-3.2

คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมสาขาเข้ากระบวนการทำไม้ประสาน

ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H \_Method

| สาขาเข้า                                   | ปริมาณ       | หน่วย  | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.) | การใช้น้ำ  | หน่วย    |
|--------------------------------------------|--------------|--------|-----------------------------|------------|----------|
| ไม้แปรรูป                                  | 5320.0000    | ตัน/ปี | 0.9314                      | 4955213.56 | ลบ.ม./ปี |
| ไฟฟ้า                                      | 1693356.0000 | kWh/ปี | 0.0028                      | 4788.40    | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันเครื่อง                              | 42.0594      | ตัน/ปี | 0.0080                      | 336.43     | ลบ.ม./ปี |
| กาว                                        | 43.0000      | ตัน/ปี | 0.0016                      | 67.33      | ลบ.ม./ปี |
| ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมกระบวนการทำไม้ประสาน |              |        |                             | 4960406    | ลบ.ม./ปี |

จากบัญชีรายการในภาคผนวก ข การทำไม้ประสาน มีวัตถุดิบหลักที่เข้าสู่กระบวนการคือ ไม้ยางพาราแปรรูป พิจารณาค่าอิมเพกต์ฟุตพริ้นต์จากปริมาณไม้ยางพาราแปรรูปที่ส่งเข้ากระบวนการรวมกับค่าปริมาณการใช้น้ำของสารที่เกี่ยวข้อง แล้วทำการปันส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์แก่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ หารด้วยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยในการศึกษานี้กำหนดให้อัตราส่วนของไม้ประสานที่ได้เป็นไม้ประสาน AB:C เท่ากับ 4:1 จะได้ค่าอิมเพกต์ฟุตพริ้นต์ต่อตันผลิตภัณฑ์

จ-4 การทำไม้อัดประสาน

จากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการทำไม้อัดประสาน ภาคผนวก ข และค่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงคำนวณปริมาณภาคผนวก จ คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ดังตารางที่ จ-4.1-4.2



ตารางที่ จ-4.1

คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมสารขาเข้ากระบวนการทำไม้อัดประสาน

All Water in Process system จาก Ecoinvent Version: 2.2

| สารขาเข้า                                     | ปริมาณ  | หน่วย  | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.,kWh) | การใช้น้ำ   | หน่วย |
|-----------------------------------------------|---------|--------|---------------------------------|-------------|-------|
| ไม้ประสาน                                     | 3743    | ตัน/ปี | 3.396247                        | 12712153.83 | ลบ.ม. |
| ไฟฟ้า                                         | 884282  | kWh    | 2.467924                        | 2182340.85  | ลบ.ม. |
| น้ำมันเครื่อง                                 | 0.1445  | ตัน/ปี | 2.736534                        | 395.54      | ลบ.ม. |
| Polystyrene-butadiene                         | 45.4000 | ตัน/ปี | 0.224568                        | 10195.39    | ลบ.ม. |
| กระดาษลูกฟูก                                  | 14.4770 | ตัน/ปี | 7.769361                        | 112477.03   | ลบ.ม. |
| กระดาษทราย                                    | 0.9150  | ตัน/ปี | 7.769361                        | 7108.96     | ลบ.ม. |
| พลาสติก PE                                    | 3.5940  | ตัน/ปี | 0.055675                        | 200.10      | ลบ.ม. |
| น้ำมันดีเซล                                   | 2.0160  | ตัน/ปี | 0.726244                        | 1464.11     | ลบ.ม. |
| Hardener                                      | 6.6000  | ตัน/ปี | 0.991078                        | 6541.11     | ลบ.ม. |
| ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมกระบวนการทำไม้อัดประสาน |         |        |                                 | 18068036    | ลบ.ม. |

ตารางที่ จ-4.2

คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมสารขาเข้ากระบวนการทำไม้อัดประสาน

ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H \_Method

| สารขาเข้า                                     | ปริมาณ  | หน่วย  | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.,kWh) | การใช้น้ำ  | หน่วย |
|-----------------------------------------------|---------|--------|---------------------------------|------------|-------|
| ไม้ประสาน                                     | 3743    | ตัน/ปี | 0.9324                          | 3489999.74 | ลบ.ม. |
| ไฟฟ้า                                         | 884282  | kWh    | 0.0028                          | 2500.54    | ลบ.ม. |
| น้ำมันเครื่อง                                 | 0.1445  | ตัน/ปี | 0.0080                          | 1.16       | ลบ.ม. |
| Polystyrene-butadiene                         | 45.4000 | ตัน/ปี | 0.0286                          | 1297.93    | ลบ.ม. |
| กระดาษลูกฟูก                                  | 14.4770 | ตัน/ปี | 0.0658                          | 953.29     | ลบ.ม. |
| กระดาษทราย                                    | 0.9150  | ตัน/ปี | 0.0658                          | 60.25      | ลบ.ม. |
| พลาสติก PE                                    | 3.5940  | ตัน/ปี | 0.0047                          | 16.93      | ลบ.ม. |
| น้ำมันดีเซล                                   | 2.0160  | ตัน/ปี | 0.0045                          | 9.04       | ลบ.ม. |
| Hardener                                      | 6.6000  | ตัน/ปี | 0.0016                          | 10.34      | ลบ.ม. |
| ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมกระบวนการทำไม้อัดประสาน |         |        |                                 | 3494849    | ลบ.ม. |

จากบัญชีรายการในภาคผนวก ข การทำไม้อัดประสาน มีวัตถุดิบหลักที่เข้าสู่กระบวนการคือ ไม้ประสาน พิจารณาค่าอัตรการดูดซับน้ำจากปริมาณไม้ประสานที่ส่งเข้ากระบวนการรวมกับค่าปริมาณการใช้น้ำของสารที่เกี่ยวข้อง แล้วทำการปันส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์แก่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ หารด้วยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยในการศึกษานี้ กำหนดให้อัตราส่วนของไม้อัดประสานที่ได้เป็นไม้อัดประสาน AB:C เท่ากับ 4:1 จะได้ค่าอัตรการดูดซับน้ำต่อตันผลิตภัณฑ์

จ-5 การทำไม้พาเลท

จากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมการทำไม้พาเลท ภาคผนวก ข และค่าปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงคำนวณปริมาณภาคผนวก จ คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมจากสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ดังตารางที่ จ-5.1- จ-5.2

## ตารางที่ จ-5.1

คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมสารขาเข้ากระบวนการทำไม้ปาเลท

All Water in Process system จาก Ecoinvent Version: 2.2

| สารขาเข้า                                 | ปริมาณ    | หน่วย  | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.,kWh) | การใช้น้ำ   | หน่วย    |
|-------------------------------------------|-----------|--------|---------------------------------|-------------|----------|
| ไม้ประสาน C                               | 1380.00   | ตัน/ปี | 2.5811                          | 3561865.243 | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันดีเซล                               | 6.30      | ตัน/ปี | 0.7262                          | 4575.3365   | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันเครื่อง                             | 0.50      | ตัน/ปี | 2.7365                          | 1354.5841   | ลบ.ม./ปี |
| ไฟฟ้า                                     | 128000.00 | kWh/ปี | 2.4679                          | 315894.2779 | ลบ.ม./ปี |
| ใบเลื่อย                                  | 20.00     | อัน    | 8.8762                          | 1681.1517   | ลบ.ม./ปี |
| ตะปู                                      | 10.00     | ตัน/ปี | 8.8762                          | 88761.97195 | ลบ.ม./ปี |
| ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมกระบวนการทำไม้ปาเลท |           |        |                                 | 3974133     | ลบ.ม./ปี |

\* ใบเลื่อย ขนาด 24 ฟุต 3 นิ้ว น้ำหนัก 9.47 กิโลกรัมต่ออัน

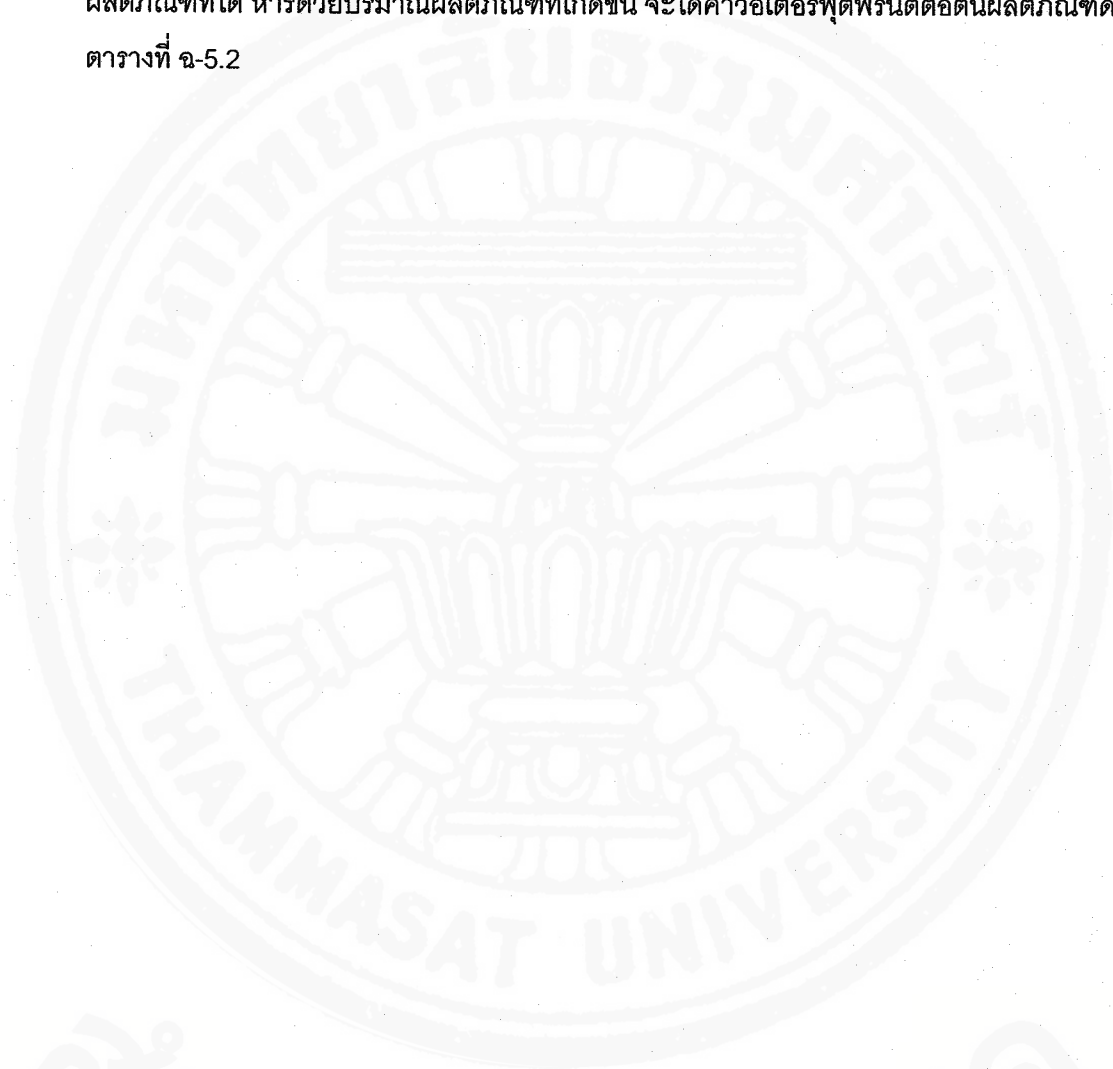
## ตารางที่ จ-5.2

คำนวณปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมสารขาเข้ากระบวนการทำไม้ปาเลท

ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H \_Method

| สารขาเข้า                                 | ปริมาณ    | หน่วย  | น้ำในการผลิต<br>(ลบ.ม./กก.,kWh) | การใช้น้ำ   | หน่วย    |
|-------------------------------------------|-----------|--------|---------------------------------|-------------|----------|
| ไม้ประสาน C                               | 1380.00   | ตัน/ปี | 0.9314                          | 1285374.947 | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันดีเซล                               | 6.30      | ตัน/ปี | 0.0045                          | 28.2486     | ลบ.ม./ปี |
| น้ำมันเครื่อง                             | 0.50      | ตัน/ปี | 0.0080                          | 3.9595      | ลบ.ม./ปี |
| ไฟฟ้า                                     | 128000.00 | kWh/ปี | 0.0028                          | 361.9530    | ลบ.ม./ปี |
| ใบเลื่อย                                  | 20.00     | อัน    | 0.0259                          | 4.9156      | ลบ.ม./ปี |
| ตะปู                                      | 10.00     | ตัน/ปี | 0.0260                          | 259.536     | ลบ.ม./ปี |
| ปริมาณการใช้น้ำทางอ้อมกระบวนการทำไม้ปาเลท |           |        |                                 | 1286034     | ลบ.ม./ปี |

จากบัญชีรายการในภาคผนวก ข การทำไม้ปาเลท มีวัตถุประสงค์หลักที่เข้าสู่กระบวนการ คือ ไม้แปรรูป C พิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์จากปริมาณไม้ประสารานที่ส่งเข้ากระบวนการรวมกับ ค่าปริมาณการใช้น้ำของสารที่เกี่ยวข้อง แล้วทำการปันส่วนเชิงปริมาณและเชิงเศรษฐศาสตร์แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ หารด้วยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น จะได้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ต่อตันผลิตภัณฑ์ดัง ตารางที่ ข-5.2



จํานักรหัสสมุด

ภาคผนวก ข

การวิจัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา

ในงานวิจัยนี้ศึกษาได้ทำการทดลองผลจากข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม CROPWAT 8.0 ดังนี้  
การทดลองเพิ่มค่า K<sub>c</sub> 10 % ทำให้ค่าการใช้น้ำของยางพาราเพิ่มขึ้นกับจังหวัดจันทบุรีและจังหวัด  
นครศรีธรรมราช แสดงผลดังตารางที่ ข-1และ ข-2

ตารางที่ ข-1

ค่าการใช้น้ำของยางพาราจังหวัดจันทบุรี(2528-2553) เมื่อ K<sub>c</sub> เพิ่ม 10%

| จังหวัด จันทบุรี |        |          |           |         |        |                      |                     |                      |                     |
|------------------|--------|----------|-----------|---------|--------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Year             | ETc    | Eff rain | Irr. Req. | ETgreen | ETblue | CWU <sub>green</sub> | CWU <sub>blue</sub> | CWU <sub>green</sub> | CWU <sub>blue</sub> |
|                  | mm/dec | mm/dec   | mm/dec    | mm/dec  | mm/dec | m <sup>3</sup> /ha   | m <sup>3</sup> /ha  | m <sup>3</sup> /rai  | m <sup>3</sup> /rai |
| 1985             | 1238   | 1801.2   | 464.3     | 773.7   | 464.4  | 7737                 | 4644                | 1237.92              | 743.04              |
| 1986             | 1283   | 1994.1   | 553       | 730     | 553.2  | 7300                 | 5532                | 1168                 | 885.12              |
| 1987             | 1362.5 | 2028.4   | 615.8     | 746.6   | 616    | 7466                 | 6160                | 1194.56              | 985.6               |
| 1988             | 1343.6 | 2366.2   | 569.4     | 774.4   | 569.2  | 7744                 | 5692                | 1239.04              | 910.72              |
| 1989             | 1328.1 | 1226.8   | 365.7     | 962.7   | 365.7  | 9627                 | 3657                | 1540.32              | 585.12              |
| 1990             | 1322.4 | 2423     | 479       | 843.3   | 478.9  | 8433                 | 4789                | 1349.28              | 766.24              |
| 1991             | 1235.3 | 2252.6   | 537.2     | 697.9   | 537.1  | 6979                 | 5371                | 1116.64              | 859.36              |
| 1992             | 1282.7 | 1035.2   | 566.2     | 716.3   | 566.3  | 7163                 | 5663                | 1146.08              | 906.08              |
| 1993             | 1257   | 1233.8   | 454.9     | 802.2   | 455.1  | 8022                 | 4551                | 1283.52              | 728.16              |
| 1994             | 1128.9 | 1204.2   | 434.1     | 695     | 418.7  | 6950                 | 4187                | 1112                 | 669.92              |
| 1995             | 1118.7 | 1277.3   | 373.1     | 745.5   | 373.2  | 7455                 | 3732                | 1192.8               | 597.12              |
| 1996             | 1201.4 | 1249.7   | 332       | 869.5   | 332    | 8695                 | 3320                | 1391.2               | 531.2               |
| 1997             | 1256   | 1224.1   | 358.6     | 897.5   | 358.4  | 8975                 | 3584                | 1436                 | 573.44              |
| 1998             | 1238.2 | 1117.6   | 535.8     | 702.2   | 535.8  | 7022                 | 5358                | 1123.52              | 857.28              |
| 1999             | 1262.4 | 2126.9   | 558.3     | 704     | 558.3  | 7040                 | 5583                | 1126.4               | 893.28              |
| 2000             | 1228.3 | 2171.2   | 456.6     | 772     | 456.5  | 7720                 | 4565                | 1235.2               | 730.4               |
| 2001             | 1271.7 | 1779.3   | 423.9     | 847.5   | 412.4  | 8475                 | 4124                | 1356                 | 659.84              |
| 2002             | 1231.1 | 1892.5   | 511.2     | 719.8   | 511.3  | 7198                 | 5113                | 1151.68              | 818.08              |
| 2003             | 1282.2 | 1770.5   | 642.6     | 639.6   | 642.5  | 6396                 | 6425                | 1023.36              | 1028                |
| 2004             | 1310.2 | 2151.6   | 538.1     | 771.9   | 538.3  | 7719                 | 5383                | 1235.04              | 861.28              |
| 2005             | 1247.3 | 2080     | 373       | 874.2   | 373.2  | 8742                 | 3732                | 1398.72              | 597.12              |
| 2006             | 1287.2 | 2891.7   | 498.3     | 788.9   | 498.3  | 7889                 | 4983                | 1262.24              | 797.28              |
| 2007             | 1345.2 | 2516.6   | 539.7     | 805.7   | 539.6  | 8057                 | 5396                | 1289.12              | 863.36              |
| 2008             | 1353.5 | 2506.6   | 501.7     | 851.8   | 501.6  | 8518                 | 5016                | 1362.88              | 802.56              |
| 2009             | 1353   | 2286.8   | 520.3     | 832.6   | 518.3  | 8326                 | 5183                | 1332.16              | 829.28              |
| 2010             | 1335.4 | 2032.7   | 449.2     | 886.5   | 448.9  | 8865                 | 4489                | 1418.4               | 718.24              |
|                  |        |          |           |         |        | 204513               | 126232              | 32722.08             | 20197.12            |



ตารางที่ ข-2

ค่าการใช้น้ำของยางพาราจังหวัดนครศรีธรรมราช (2528-2553) เมื่อ Kc เพิ่ม 10%

| จังหวัด นครศรีธรรมราช |        |          |           |         |        |                      |                     |                      |                     |
|-----------------------|--------|----------|-----------|---------|--------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Year                  | ETc    | Eff rain | Irr. Req. | ETgreen | ETblue | CWU <sub>green</sub> | CWU <sub>blue</sub> | CWU <sub>green</sub> | CWU <sub>blue</sub> |
|                       | mm/dec | mm/dec   | mm/dec    | mm/dec  | mm/dec | m <sup>3</sup> /ha   | m <sup>3</sup> /ha  | m <sup>3</sup> /rai  | m <sup>3</sup> /rai |
| 1985                  | 1342.4 | 1643.6   | 483.6     | 858.8   | 481.7  | 8588                 | 4817                | 1374.08              | 770.72              |
| 1986                  | 1290   | 1590.2   | 545.1     | 745     | 545.1  | 7450                 | 5451                | 1192                 | 872.16              |
| 1987                  | 1365.8 | 1665     | 531.1     | 834.4   | 530    | 8344                 | 5300                | 1335.04              | 848                 |
| 1988                  | 1214.9 | 1512.8   | 312.6     | 902.1   | 310    | 9021                 | 3100                | 1443.36              | 496                 |
| 1989                  | 1334.3 | 1114.2   | 359.5     | 974.9   | 359.4  | 9749                 | 3594                | 1559.84              | 575.04              |
| 1990                  | 1411.5 | 1021.6   | 587.8     | 823.8   | 587.8  | 8238                 | 5878                | 1318.08              | 940.48              |
| 1991                  | 1233.3 | 1303.9   | 149       | 1084.4  | 149.1  | 10844                | 1491                | 1735.04              | 238.56              |
| 1992                  | 1245.5 | 1054.2   | 423.2     | 822.4   | 423.3  | 8224                 | 4233                | 1315.84              | 677.28              |
| 1993                  | 1239   | 1391.4   | 257.2     | 982.1   | 257.1  | 9821                 | 2571                | 1571.36              | 411.36              |
| 1994                  | 1200.1 | 1253.3   | 280.9     | 919.3   | 280.7  | 9193                 | 2807                | 1470.88              | 449.12              |
| 1995                  | 1237.9 | 1265     | 236.6     | 1001.3  | 236.3  | 10013                | 2363                | 1602.08              | 378.08              |
| 1996                  | 1201.5 | 1393.5   | 133.1     | 1068.2  | 133    | 10682                | 1330                | 1709.12              | 212.8               |
| 1997                  | 1210.7 | 1354.5   | 175.3     | 1035.5  | 175.6  | 10355                | 1756                | 1656.8               | 280.96              |
| 1998                  | 1176.7 | 1190.7   | 365.4     | 811.2   | 365.4  | 8112                 | 3654                | 1297.92              | 584.64              |
| 1999                  | 1249.6 | 1504     | 172.6     | 1076.8  | 172.7  | 10768                | 1727                | 1722.88              | 276.32              |
| 2000                  | 1232.2 | 1483     | 183.3     | 1048.7  | 183.3  | 10487                | 1833                | 1677.92              | 293.28              |
| 2001                  | 1349.3 | 1356.7   | 291.9     | 1057.4  | 291.9  | 10574                | 2919                | 1691.84              | 467.04              |
| 2002                  | 1336.9 | 1214     | 365.3     | 971.5   | 365.3  | 9715                 | 3653                | 1554.4               | 584.48              |
| 2003                  | 1272.3 | 1378     | 255.8     | 1016.3  | 255.9  | 10163                | 2559                | 1626.08              | 409.44              |
| 2004                  | 1243.8 | 1181.4   | 298.4     | 945.3   | 298.3  | 9453                 | 2983                | 1512.48              | 477.28              |
| 2005                  | 1283.4 | 1284.5   | 389       | 894.1   | 389    | 8941                 | 3890                | 1430.56              | 622.4               |
| 2006                  | 1139.4 | 1511.8   | 113.3     | 1026.1  | 113.3  | 10261                | 1133                | 1641.76              | 181.28              |
| 2007                  | 1265.8 | 1463.8   | 141.4     | 1124.5  | 141.2  | 11245                | 1412                | 1799.2               | 225.92              |
| 2008                  | 1188.4 | 1439.9   | 111.7     | 1076.8  | 111.9  | 10768                | 1119                | 1722.88              | 179.04              |
| 2009                  | 1203.6 | 1304     | 210.6     | 992.7   | 210.5  | 9927                 | 2105                | 1588.32              | 336.8               |
| 2010                  | 1163.2 | 1260.1   | 215.8     | 947.4   | 214.2  | 9474                 | 2142                | 1515.84              | 342.72              |
|                       |        |          |           |         |        | 250410               | 75820               | 40065.6              | 12131.2             |

## ประวัติการศึกษา

ชื่อ นางสาวนิมมานรดี เกตุเดชา  
วันเดือนปีเกิด 27 เมษายน 2528  
วุฒิการศึกษา ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ตำแหน่ง นักศึกษาปริญญาโท  
ผลงานทางวิชาการ นิมมานรดี เกตุเดชา, ไพรัช อุศุภรัตน์, และหาญพล พึ่งรัมย์.  
(2556). การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์การเพาะปลูกยางพารา.  
งานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 12 "สิ่งแวดล้อม  
ก้าวต่อไป สู่ความยั่งยืน" ระหว่างวันที่ 27-29 มีนาคม 2556 ณ  
โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออริคิด จังหวัดขอนแก่น