โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 10/2562

เรื่อง

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

กรณีศึกษา : พื้นที่ปลูกยางพารา หมู่ 3 และ 4 อำเภอสังขะ

A study of rubber trees cultivation water footprint in Surin Province.

Case Study: Cultivation area Moo.3 and 4 Amphoe. Sang Kha

โดย

นางสาว ณัฐกานต์ แท่นแก้ว 5920503084

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตร์ศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2562

(ชื่อภาษาไทย) การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

กรณีศึกษา : พื้นที่ปลูกยางพารา หมู่ 3 และ 4 อำเภอสังขะ

(ชื่อภาษาอังกฤษ) A study of rubber trees cultivation water footprint in Surin Province.

Case Study: Cultivation area Moo.3 and 4 Amphoe. Sang Kha

โดย

นางสาว ณัฐกานต์ แท่นแก้ว 5920503084

โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมชลประทาน

ใบรับร้องโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรื่อง : การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

กรณีศึกษา : พื้นที่ปลูกยางพารา หมู่ 3 และ 4 อำเภอสังขะ

Title : A study of rubber trees cultivation water footprint in Surin Province.

Case Study: Cultivation area Moo.3 and 4 Amphoe. Sang Kha

นามผู้จัดทำ นางสาว ณัฐกานต์ แท่นแก้ว

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน .....

(รศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์)

.....03..../.....05..../.....63.....

กรรมการ .....

(อ.ดร.ทรงศักดิ์ ภัทราวุฒิชัย)

....03...../.....05...../.....63.....

กรรมการ .....

(อ.ดร.เกศวรา สิทธิโชค)

....03...../....05...../....63....

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์)

...../...../.....

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

กรณีศึกษา : พื้นที่ปลูกยางพารา หมู่ 3 และ 4 อำเภอสังขะ

โดย : นางสาว ณัฐกานต์ แท่นแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน : .....

(รศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์)

.....3..../...05..../..63....

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในจังหวัดสุรินทร์ โดยใช้โปรแกรม CROPWAT8.0 ในการคำนวณค่าความต้องการน้ำของยางพารา เปรียบเทียบความเหมาะสมของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์กับที่อื่น ๆที่มีการศึกษามาก่อนแล้ว โดยใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นดัชนีชี้วัดการใช้น้ำในการผลิตน้ำยางสด 1 ตัน ผลการศึกษาพบว่า พันธ์ยางพาราที่ปลูกมากในจังหวัด สุรินท์คือพันธุ์ RRIM600 น้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกมาจากน้ำฝน น้ำคลองธรรมชาติ และน้ำบ่อขุด เกษตรกรที่ทำสวนยางพาราในจังหวัดสุรินท์ใช้น้ำฝนเป็นหลักในการเพาะปลูก แต่มีปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปีเพียง 1,463.95 มิลลิเมตร/ปี บางปีมากบางปีน้อยขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลมพายุในทะเลจีนใต้ และมีปริมาณฝนใช้การ 919 มิลลิเมตร/ปี (ข้อมูลเฉลี่ยปี พ.ศ.2538-2562) ซึ่งความต้องการน้ำของยางพารา เท่ากับ 1,543 มิลลิเมตร/ปี หรือ 2,469 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ซึ่งปริมาณฝนใช้การน้อยกว่าความต้องการใช้น้ำของต้นยางพารา ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการปลูกยางพาราใน 25 ปี โดยใช้น้ำฝนเป็นหลักมีค่า 5,377 ลูกบาศก์เมตร/ตันยางสด และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการปลูกยางพาราใน 25 ปี เมื่อให้น้ำอย่างเหมาะสมมีค่า 4,717 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด หากปลูกต้นยางในพื้นที่แล้งน้ำต้องมีระบบการให้น้ำ ใส่ปุ๋ยและจัดการสวนยางอย่างเหมาะสม จะทำให้ผลผลิตน้ำยางพาราสดเพิ่มขึ้น สามารถลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราได้

คำสำคัญ : ยางพารา; ความต้องการน้ำของพืช; โปรแกรมCROPWAT8.0; วอเตอร์ฟุตพริ้นท์; น้ำยางสด

Abstract

Title : A study of rubber trees cultivation water footprint in Surin Province.

Case Study: Cultivation area Moo.3 and 4 Amphoe. Sang Kha

By : Miss. Nuttakan Tankeaw

Project Adviser : .....

(Assoc.Prof.Dr. Chaisri Suksaroj)

....3..../..05../..2020...

This paper aims to research the water footprint of rubber trees cultivation in the study area, Surin Province. The objective is to find the water footprint of rubber trees cultivation by using the CROPWAT8.0 program to calculate the water demand of rubber trees to compare the suitability of rubber trees cultivation in the study area with other places that have been studied before. The water footprint is an indicator index of water consumption for 1 ton of fresh latex. The result showed that most favor the cultivation of rubber species in Surin Province is RRIM600. The irrigation water used for cultivation comes from rain, natural canal, and pond. The rubber cultivation in Surin Province uses rainwater as the main water source but the average annual rainfall is 1,463.95 millimeters per year, it depends on the storm in the South China Sea and the average effective rainfall is 919 millimeters per year (data from 1995-2019). While the water demand of rubber trees is 1,543 millimeters per year or 2,469 cubic meter per rai per year, which the amount of effective rainfall is less than the water demand for rubber trees. The total water footprint of rubber trees cultivation in 25 years, which uses essentially the rainfall for cultivation is 5,377 cubic meters per ton of fresh latex. The total water footprint that has appropriately irrigated water is 4,717 cubic meters per ton of fresh latex. If planting rubber trees in a drought area, water systems must be provided, fertilizer and manage rubber plantations appropriately, which will increase the production of fresh latex that can reduce the water footprint of rubber trees cultivation.

Keywords: Hevea brasiliensis; Crop Water Requirement; CROPWAT8.0; Water Footprint; Fresh latex

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงงานวิศวกรรมชลประทานสำเร็จลุล่วงด้วยดีนั้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์ ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย ที่ได้ให้คำปรึกษาแนวทางในการจัดทำงานวิจัย กระบวนการสืบค้นข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งช่วยให้คำแนะนำให้รายงานโครงการวิศวกรรมชลประทานเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณ อ.ดร.ทรงศักดิ์ ภัทราวุฒิชัย และ อ.ดร.เกศวรา สิทธิโชค ที่ให้ความรู้ และสละเวลามาเป็นกรรมการในการทำโครงงานในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณกรมอุตุนิยมวิทยา เขตบางนา ที่อนุเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายเดือนย้อนหลัง 25 ปี ของจังหวัดสุรินทร์ (พ.ศ.2538-2562) เพื่อใช้สำหรับคำนวณความต้องการน้ำของยางพารา

ขอบพระคุณการยางแห่งประเทศไทย จังหวัดสุรินทร์ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลของเกษตรกร ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกยางพาราในจังหวัดสุรินทร์ ข้อมูลผลผลิต และข้อมูลจำนวนเกษตรกรที่ปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา และเกษตรกรสวนยางพาราในพื้นที่ศึกษาทุกท่านที่สละเวลาให้ข้อมูล เพื่อนำไปคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของยางพาราในพื้นที่ศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในด้านต่าง ๆในการทำงานวิจัย และขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากร ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่คอยให้ความรู้และให้คำปรึกษาในการทำโครง และขอขอบคุณเพื่อน ๆนิสิตที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ทำให้โครงงานวิศวกรรมเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ณัฐกานต์ แท่นแก้ว

ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	vi
สารบัญภาพ	ix
สารบัญตาราง	xi
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	xii
1. บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา	4
2. ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 พื้นที่ศึกษา	5
2.2 การกำหนดกลุ่มประชากร	5
2.3 ยางพารา	6
2.3.1 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม	6
2.3.2 พันธุ์ยางพารา	9
2.3.3 การปลูกยางพารา	11
2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิต	13
2.4.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์	13
2.4.2 ความสำคัญของบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต	13
2.4.3 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต	14

หน้า

2.5 การใช้น้ำของพืช 17

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช 18

2.5.2 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง 19

2.5.3 ปริมาณการใช้น้ำของพืชในสภาพมาตรฐาน 20

2.6 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 21

2.6.1 คำนิยามของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 21

2.6.2 ความสำคัญของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 23

2.6.3 ขั้นตอนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 25

2.6.4 การคำนวณวอเตอ์ฟุตพริ้นท์ 27

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28

3.เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงงาน 31

4.วิธีการดำเนินโครงงาน

4.1 วิธีการศึกษา 35

4.2 วิธีการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 37

4.3 แหล่งที่มาของข้อมูล 40

5.ผลการดำเนินโครงงานและวิจารณ์

5.1 การคายระเหยน้ำของยางพารา 42

5.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของยางพารา 44

6.สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปและอภิปรายผลการดำเนินงาน 49

หน้า

6.2 ข้อเสนอแนะ 49

7.บรรณานุกรม 51

8.ภาคผนวก 53

ประวัตินิสิต 80

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1-1 แสดงพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา	2
2-1 แสดงแผนที่จังหวัดสุรินทร์	5
2-2 การกำหนดระยะปลูกยางพารา	12
2-3 การขุดหลุมปลูกยางพารา	13
2-4 การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate	16
2-5 การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave	16
2-6 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช	18
2-7 การใช้น้ำของพืชอ้างอิง	20
2-8 การใช้น้ำของพืช	21
2-9 ภาพรวมขององค์ประกอบของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	22
2-10 ตัวอย่างค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์	25
3-1 แสดง ICONของโปรแกรม CROPWAT8.0และCLIMWAT2.0	31
3-2 หน้าจอเมื่อใช้งานโปรแกรม CROPWAT8.0	32
3-3 การใส่ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	32
3-4 หน้าต่างการใส่ข้อมูลพืช	33
3-5 การใส่ข้อมูลดิน	33
3-6 หน้าต่างการวิเคราะห์ผลการคำนวณ	34
4-1แสดงรายงานเกษตรกรสวนยางพาราในพื้นที่ศึกษา	36
4-2 แสดงรายงานเกษตรกรสวนยางพาราในพื้นที่ศึกษา	37

หน้า

4-3 ขั้นตอนการดำเนินงาน 41

5-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ช่วงอายุต้นยาง กับปริมาณฝนใช้การปริมาณน้ำชลประทาน 43
ที่ได้จากโปรแกรมCROPWAT8.0 (ก.)และปริมาณน้ำที่ให้ในการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา (ข.)

5-2 แสดงวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว สีน้ำเงิน และสีเทา 47

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพาราตามช่วงต่าง ๆ 38

ตารางที่ 4-2 บัญชีรายการระบบปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา 40

ตารางที่ 4-3 ที่มาและแหล่งข้อมูล 40

ตารางที่ 5-1 การคายระเหยน้ำ ปริมาณฝนใช้การและปริมาณน้ำชลประทานของ 44
การเพาะปลูก ยางพารา

ตารางที่ 5-2 ปริมาณผลผลิต ความต้องการน้ำ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงิน 45
ของการเพาะปลูกยางพารา

ตารางที่ 5-3 ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาของการเพาะปลูก 46
ยางพารา

ตารางที่ 5-4 ตารางเปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในพื้นที่ศึกษากับงานวิจัยยางพารา 48
ที่เกี่ยวข้อง

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

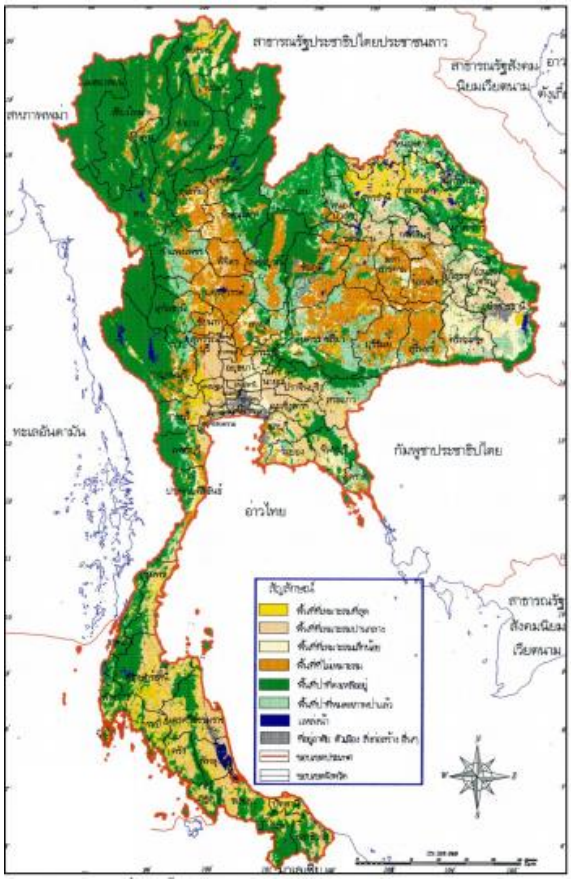
สัญลักษณ์	ความหมาย
กก.	กิโลกรัม
ลบ.ม.	ลูกบาศก์เมตร
LCA	การประเมินวัฏจักรชีวิต
Kc	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช
ET	การคายระเหยน้ำหรือการใช้น้ำของพืช
CWU	ความต้องการน้ำของพืช
WF	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์
γ	ปริมาณผลผลิตในหน่วย ตัน/ไร่

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

แม้ว่ายางสังเคราะห์จะเป็นสินค้าซึ่งสามารถทดแทนยางธรรมชาติได้ แต่ด้วยคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นที่ทำให้ยางสังเคราะห์ไม่สามารถทดแทนยางธรรมชาติ จึงเป็นเหตุให้มีการใช้ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น [สมบูรณ์ เจริญจิระตระกูล. 2554 : 2] สำหรับประเทศไทยยางพาราถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ นอกจากจะเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญด้านเศรษฐกิจแล้ว ยังมีความสำคัญทางสังคมเนื่องจากทำให้เกิดการจ้างงานและสร้างอาชีพในชนบท การปลูกยางพาราในประเทศไทยเริ่มจากพระยารัษฎานุประดิษฐ์ มหิศรภักดี ได้นำเมล็ดซึ่งเป็นยางพันธุ์พื้นเมืองของประเทศมาเลเซียมาเพาะเมล็ดในจังหวัดตรัง ภาคใต้ และได้มีการขยายพื้นที่เพาะปลูกไปยังจังหวัดจันทบุรี ภาคตะวันออก การปลูกยางพาราในประเทศไทยจึงนิยมปลูกในภาคใต้และภาคตะวันออก [สถาบันวิจัยยางพารา. 2561 : 1] เนื่องจากยางพารามีราคาสูงขึ้นเป็นเหตุให้มีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราในประเทศไทยอย่างต่อเนื่อง สำหรับพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มมาจากการทดลองปลูกยางพาราในจังหวัด หนองคาย บุรีรัมย์ และสุรินทร์ โดยกรมวิชาการเกษตรและกรมประชาสงค์เคราะห์ [กรมพัฒนาที่ดิน. 2548 :1-2]

เนื่องด้วยความแตกต่างของพื้นที่ในการปลูกยางพาราของภาตะวันออกเฉียงเหนือกับภาคใต้ที่มีความแตกต่างกัน จึงทำให้มีสภาพอากาศแตกต่างกัน เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ การระเหยน้ำ คุณสมบัติทางเคมีของดิน ความลาดชันของพื้นที่ และรวมไปถึงปริมาณฝนและการกระจายตัวของฝนที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพารา กรมพัฒนาที่ดินได้มีการจัดทำแผนที่สำหรับพื้นที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมในการปลูกยางพารา แสดงดังรูปที่ 1-1 โดยสีเหลืองแสดงพื้นที่เหมาะสม และสีส้มแสดงพื้นที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา



รูปที่ 1-1 แสดงพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน, 2548

จังหวัดสุรินทร์ตั้งอยู่ทางทิศใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีเนื้อที่รวม 5,077,535 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 4.8 ของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พิกัดทางภูมิศาสตร์อยู่บริเวณละติจูด 14.89 องศาเหนือ ลองจิจูด 103.49 องศาตะวันออก สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 200 เมตร ลักษณะอากาศโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับอิทธิพลของมรสุม 2 ชนิดที่พัดประจำฤดูการ ได้แก่ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่เนื่องจากมีเทือกเขาพนมดงรักกั้นอยู่จึงได้รับปริมาณน้ำฝนค่อนข้างน้อย ปริมาณน้ำฝนส่วนใหญ่มาจากอิทธิพลของลมพายุในทะเลจีนใต้ นอกจากการปลูกข้าวแล้วยังเป็นเป็นจังหวัดที่มีการเพาะปลูกยางพาราอยู่มากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแม้จะไม่มีความเหมาะสมของพื้นที่ เช่น สภาพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน รวมถึงการกระจายตัวและปริมาณของฝนจังหวัดสุรินทร์มักประสบปัญหาภัยแล้งอยู่บ่อยครั้ง การทำการเกษตรในจังหวัดสุรินทร์นั้นมักจะขึ้นอยู่กับน้ำฝนเป็นหลัก [แผนพัฒนาจังหวัดสุรินทร์. 2563 : 30]

น้ำมีความสำคัญอย่างมากในการปลูกยางพารา เมื่อมีการปลูกในพื้นที่ที่มักประสบปัญหาแห้งแล้งจึงส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตของยางพารา [สุเมธ ลิ่มมณีธร และคณะ. 2550] การพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดในการเพาะปลูก จำเป็นต้องพิจารณาทั้งระบบ และเทียบกับผลผลิตที่ได้จึงจะสามารถสะท้อนให้เห็นประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำในเชิงระบบที่มีทิศทางไปสู่ความยั่งยืนในการจัดการทรัพยากรน้ำ อีกทั้งปัจจุบันที่ต้องเผชิญกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิกาศ ภาวะโลกร้อน การเพิ่มขึ้นของประชากรและการแข่งขันทางด้านการค้าทำให้มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติเกินศักยภาพ [ขนิษฐา มีวาสนา. 2560] วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นหนึ่งในหลายเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์และสะท้อนให้เห็นประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำเชิงระบบ พิจารณาตามเส้นทางวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ ถูกคิดค้นขึ้นโดย Arjen Y.H.(2003) เพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินการใช้น้ำในการผลิตสินค้า และบริการทั้งทางตรง (Direct water) และทางอ้อม (Indirect water) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จัดเป็นมาตรฐานสิ่งแวดล้อมตาม ISO 14046 และสามารถนำมาใช้ในการบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน โดยมีหน่วยวัดเป็นลูกบาศก์ต่อผลผลิตหรือบริการ สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกพืชสามารถคำนวณจากค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้โปรแกรม CROPWAT8.0 ซึ่งพัฒนาโดย FAO เทียบกับปริมาณผลผลิตของพืชนั้น ๆ [นิมมานรดี เกตุเดชา. 2556]

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำเสมือนของระบบการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ โดยใช้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) และเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในภาคใต้และอื่น ๆ ที่มาการศึกษามาก่อนแล้ว โดยมีผลผลิตคือน้ำยางพาราสด 1 ตัน ต่อค่าเฉลี่ยผลผลิตของน้ำยางสดตลอด 25 ปี เมื่อเริ่มปลูกในปีพ.ศ.2538

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาปริมาณความต้องการน้ำของการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา จังหวัดสุรินทร์

2. เพื่อหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา จังหวัดสุรินทร์ เปรียบเทียบกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในงานวิจัยอื่น ๆ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. การศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา จังหวัดสุรินทร์ โดยประยุกต์ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) พิจารณาค่าความต้องการน้ำตั้งแต่เริ่มปลุกจงตัดโค่นต้นยางพารา หาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยใช้ผลผลิตของน้ำยางสด 1 ตัน

2. การคำนวณความต้องการน้ำของการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา จังหวัดสุรินทร์ โดยใช้โปรแกรม CROPWAT8.0 ขอมูลสภาพภูมิอากาศที่ใช้คำนวณความต้องการน้ำของการปลูกยางพารา จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสุรินทร์ รหัสสถานี 432201 ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายเดือน ปี พ.ศ.2538-2562 คำนวณค่าวอเตอร์ฟุต-พริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงินจากการเคยระเหยน้ำของยางพารา (Evapotranspiration: ET) และคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาจากปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ในการปลูกยางพารา

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 พื้นที่ศึกษา

จังหวัดสุรินทร์ ประกอบด้วย 17 อำเภอแสดงดังรูปที่ 2 ตั้งอยู่ทางทิศใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีเนื้อที่รวม 5,077,535 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 4.8 ของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พิกัดทางภูมิศาสตร์บริเวณละติจูด 14.89 องศาเหนือ ลองจิจูด 103.49 องศาตะวันออก สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 200 เมตร ลักษณะอากาศโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับอิทธิพลของมรสุม 2 ชนิดที่พัดประจำฤดูการ ได้แก่ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้เกิดความหนาวเย็นและความแห้งแล้งประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธุ์ และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้เกิดฝนตกในช่วงฤดูฝนประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม แต่เนื่องจากมีเทือกเขาพนมดงรักกั้นอยู่จึงได้รับปริมาณน้ำฝนค่อนข้างน้อย ปริมาณน้ำฝนส่วนใหญ่มาจากอิทธิพลของลมพายุในทะเลจีนใต้ ปริมาณฝนรายปี 1,351.6 มิลลิเมตรต่อปี (ข้อมูลปี พ.ศ. 2524-2553) อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.8 องศาเซลเซียส ต่ำสุด 22.4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประจำปีร้อยละ 73 ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในฤดูร้อนร้อยละ 61

รูปที่ 2-1 แสดงแผนที่จังหวัดสุรินทร์

ที่มา : สรุปข้อมูลจังหวัดสุรินทร์, 2555

2.2 การกำหนดกลุ่มประชากร

การกำหนดขนาดกลุ่มจำนวนประชากร (Sample Size Determination) อย่างเหมาะสมเป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำงานวิจัย เนื่องจากกลุ่มประชากรที่เหมาะสมจะสงผลให้ผลลัพธ์ของการวิจัยมีความเที่ยงตรง ในปี

1970 ทาโร ยามาเน (Taro Yamane) นักเศรษฐศาสตร์และนักสถิติชาวญี่ปุ่น ได้คิดค้นทฤษฎีการคำนวณ หรือสูตรคำนวณสำหรับการกำหนดขนาดกลุ่มจำนวนประชากรตัวอย่างขึ้น ซึ่งทฤษฎีคำนวณของทาโร ยามาเน เหมาะสำหรับการวิจัยที่สนใจประชากรจำนวนมากและทราบจำนวนประชากรทั้งหมดที่ต้องการศึกษา โดยมีสมการดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

เมื่อ n = จำนวนของประชากรตัวอย่าง (คน)

N = จำนวนของประชากรทั้งหมด (คน)

e = คือความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นในรูปของสัดส่วน (ร้อยละ 5 หรือ 5%)

2.3 ยางพารา

ประเทศไทยเริ่มมีการปลูกยางพาราครั้งแรกในปี พ.ศ.2444 และได้มีการขยายพื้นที่การเพาะปลูกไปยังภูมิภาคต่าง ๆอย่างแพร่หลาย จนกลายมาเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ พื้นที่ปลูกยางพาราในประเทศไทยปลูกมากในภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกรวมภาคกลาง และภาคเหนือตามลำดับ

2.3.1 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

สำหรับประเทศไทยพื้นที่ที่มีภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพาราได้แก่ ภาคใต้ และภาคตะวันออกในบางจังหวัดซึ่งเป็นแหล่งพื้นที่ปลูกยางเดิม ต่อมาได้มีการขยายพื้นที่ปลูกยางไปยังแหล่งปลุกใหม่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ซึ่งมีข้อจำกัดในการปลูกยางพารามากกว่าพื้นที่ปลูกยางพาราเดิม เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณฝนและการกระจายตัวของฝน และความลาดชันของพื้นที่เพาะปลูกยางพารา แต่เนื่องจากยางพาราสสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี จึงทำให้สามารถปลูกยางพาราได้ในแทบทุกภูมิภาคของประเทศไทย อย่างไรก็ตามการปลูกยางพาราในภาคใต้สามารถเปิดกรีดได้เมื่ออายุ 6-7 ปีและให้ผลผลิตเฉลี่ย 285 กิโลกรัม/ไร่/ปี ในขณะที่ต้นยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเปิดกรีดได้ช้ากว่าอย่างน้อย 6 เดือน และให้ผลผลิตเฉลี่ย 221 กิโลกรัม/ไร่/ปี โดยพบว่าการให้ผลผลิตของยางพาราขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการคือ ความเหมาะสมของพื้นที่ พันธุ์ยาง และการจัดการสวนยางพารา (ข้อมูลวิชาการ 2553. 2553: 34)

2.3.1.1 ลักษณะพื้นที่ที่เหมาะสม

1. เป็นพื้นที่ราบ มีความลาดชันไม่เกิน 35 องศา หากปลูกในพื้นที่ที่มีตวามลาดชันเกินกว่า 15 องศา ต้องปลูกเป็นขั้นบันไดเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเคลื่อนตัวของพื้นผิวดิน

2. ดินมีการระบายน้ำดี ระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าระดับผิวดินมากกว่า 1 เมตร ไม่เป็นที่ลุ่มน้ำขังหรือพื้นที่นา

3. พื้นที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 200 เมตร หากปลูกยางพาราในพื้นที่ที่มีความสูงเกินกว่านี้จะทำให้การเจริญเติบโตช้า เนื่องจากระยะความสูงที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 100 เมตรจะทำให้อุณหภูมิลดลง 0.5 องศาเซลเซียส ทำให้ต้นยางพาราชะงักการเจริญเติบโต

2.3.1.2 สภาพภูมิอากาศ

1. สภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางอยู่ระหว่าง 26-30 องศาเซลเซียส

2. ไม่ควรปลูกยางในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่ต่ำมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางทำให้เติบโตช้ากว่าปกติ 6 เดือน

3. ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของพื้นที่ปลูกยางเฉลี่ยตลอดปีไม่น้อยกว่า 65 เปอร์เซ็นต์

4. เขตพื้นที่เหมาะสมมากสำหรับปลูกยางพารา ควรมีปริมาณน้ำฝนระหว่าง 1,500-2,200 มิลลิเมตร/ปี มีช่วงฤดูแล้ง 1-3 เดือน การกระจายตัวของฝนที่ดีมีจำนวนวันฝนตก 120-150 วัน

5. พื้นที่เหมาะสมปานกลางสำหรับปลูกยางพารา ปริมาณน้ำฝนไม่ควรต่ำกว่า 1,250 มิลลิเมตร/ปี มีช่วงแล้งไม่ควรเกิน 3-4 เดือน

2.3.1.3 ลักษณะดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน

1. เนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทราย ไม่มีชั้นหิน ชั้นดินดานหรือชั้นกรวดอัดแน่นในระดับสูงกว่า 1 เมตรจากพื้นดิน เนื่องจากช่วงแล้งต้นยางไม่สามารถใช้น้ำในระดับรากแขนงจะมีผลให้ต้นยางแสดงอาการตายจากยอด

2.ดินมีการระบายน้ำดี มีระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าระดับผิวดินมากกว่า 1 เมตร หากมิเช่นนั้นในช่วงฤดูฝนอาจเกิดปัญหาน้ำขังรากยางได้

3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 4.5-5.5 คือไม่เป็นดินด่าง ดินเค็ม หรือดินเกลือ ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการละลายและควบคุมความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาของพืช

4.ควรมีอินทรียวัตถุในดินเพียงพอจะช่วยทำให้ดินจับตัวเป็นก้อน เพิ่มช่องว่างในดินให้มากขึ้นทำให้ดินระบายน้ำและอากาศได้ดี

5. สีของดินควรมีสีสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดดิน ดินที่เหมาะสมแก่การปลูกยางพารามักมีสีน้ำตาล เหลืองปนแดง หรือสีแดง ไม่ควรเป็นดินสีเทาจัดซึ่งเป็นลักษณะที่แสดงให้เห็นว่ามีระดับน้ำใต้ดินในช่วงฤดูฝนสูง ทำให้กระทบต่อการเจริญเติบโตของรากยาง

2.3.1.4 ผลกระทบของการปลูกยางพาราในภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

ถึงแม้จะมีการกำหนดพื้นที่ปลูกยางพาราที่เหมาะสมแล้ว แต่เนื่องจากความต้องการปลูกยางพาราของเกษตรกรมีมากจึงมีเกษตรกรปลูกยางในพื้นที่ไม่เหมาะสม เช่น ดินมีลักษณะเป็นดินทราย มีอินทรียวัตถุต่ำ มีการจับตัวเป็นดินดานแข็งเกิดขึ้นในบริเวณที่มีเนื้อดินเป็นทรายละเอียด ทำให้มีอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของราก หรือดินมีลักษณะเป็นชั้นดินลูกรังหรือเศษหินกรวดเกิดขึ้นเป็นชั้นหนาและแน่น พบในระดับความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ซึ่งดินที่มีลักษณะไม่เหมาะสมเหล่านี้มักกระจายตัวอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งจัดเป็นดินสื่อมโทรม นอกจากนี้ยังมีการกระจายตัวของฝนที่ไม่ดี มีความแห้งแล้งยาวนานประมาณ 5-6 เดือน ช่วงฤดูร้อนอากาศร้อนจัดทำให้น้ำในดินระเหยออกอย่างรวดเร็วทำให้ระบบรากไม่สามารถดูดน้ำไปใช้ได้ทำให้ต้นยางขาดน้ำ ระดับน้ำใต้ดินลึกกว่า 3 เมตรมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นมาสู่ผิวดินตามช่องว่างของอนุภาคดินทำให้ต้นยางขาดน้ำโดยเฉพาะดินที่เป็นดินเหนียวทำให้ประสบปัญหาต้นยางเจริญเติบโตช้าและเปิดกรีดได้ช้ากว่าปกติ 1-2 ปี นอกจากนี้ยังพบว่าต้นยางมีลักษณะแคระแกร็น ต้นยางตายจากยอด และยืนต้นตาย โดยเฉพาะในปีที่ประสบปัญหาภาวะภัยแล้งในระหว่างเดือนกุมภาพันธุ์ - เมษายน

การปลูกยางพาราในสภาพแวดล้อมที่ต่างกันถึงแม้ว่าจะเป็นพื้นที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพาราก็ตาม แต่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่แตกต่างกัน โดยพื้นที่ปลูกยางเดิมสามารถเปิดกรีดได้เร็วกว่าพื้นที่ปลูกยางใหม่ และคำแนะนำพันธุ์ยางปี 2559 ของสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย ได้แนะนำพันธุ์ยางสถาบันวิจัยยาง226 สถาบันวิจัยยาง251 และRRIM600 ในเขตพื้นที่ปลูกยางเดิมให้ผลผลิต 429, 439 และ 296 ตามลำดับ และพื้นที่ปลูกยางใหม่ให้ผลผลิต 344, 339 และ 254 ซึ่งให้ผลผลิตต่างกัน 85, 100 และ 42 กิโลกรัม/ไร่/ปี ตามลำดับ และนอกจากการทดสอบพันธุ์ยางในพื้นที่ปลูกที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 900เมตรของ

จังหวัดเชียงราย ต้นยางที่ปลูกมีการเจริญเติบโตช้ากว่าปกติในพื้นที่ราบ 1-2 ปี และสามารถเปิดกรีดได้เมื่อยางมีอายุเฉลี่ย 10 ปี

2.3.2 พันธุ์ยางพารา

เนื่องจากความต้องการปลูกยางพาราในพื้นที่ที่ไม่มีความเหมาะสม นอกจากนี้ความต้องการไม้ที่เพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรมไม้ ทำให้ไม้ยางมีราคาสูงขึ้นเกษตรกรมีการเปลี่ยนแปลงวัตุประสงค์ของการปลูกยางเพื่อผลผลิตเนื้อไม้เป็นหลัก ดังนั้นการที่เกษตรกรจะได้ผลผลิตที่คุ้มค่ากับการลงทุนควรเลือกพันธุ์ยางที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการปลูก และเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของพื้นที่ สถาบันวิจัยยางของไทยได้ได้เริ่มจัดทำคำแนะนำพันธุ์ยางแก่เกษตรกรตั้งแต่ปี 2504 และมีการเปลี่ยนแปลงคำแนะนำพันธุ์ยางทุก 4 ปีโดยพิจารณาจากพันธุ์ยางใหม่ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ยาง ซึ่งคำแนะนำพันธุ์ยางฉบับปี 2559 เป็นคำแนะนำพันธุ์ยางฉบับที่ 16 แบ่งออกเป็น 3 ชั้นตามรายละเอียดของข้อมูล ดังนี้

พันธุ์ยางชั้น 1 เป็นยางสายพันธุ์ดี ที่ผ่านการทดลองและศึกษาลักษณะต่าง ๆอย่างละเอียด แนะนำให้ปลูกโดยไม่จำกัดเนื้อที่ปลูก แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามวัตถุประสงค์ของการปลูก ดังนี้

กลุ่ม 1 พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตน้ำยาง เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูงเป็นหลัก การเลือกปลูกยางในกลุ่มนี้ควรมุ่งเน้นผลผลิตน้ำยาง

กลุ่ม 2 พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ เป็นพันธุ์ที่ให้ทั้งผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ โดยให้ผลผลิตน้ำยางสูงและมีการเจริญเติบโตดี ลักษณะลำต้นตรง ให้ปริมาณเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูง

กลุ่ม 3 พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตเนื้อไม้ เป็นพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตเนื้อไม้สูงเป็นหลัก มีการเจริญเติบโตดีมาก ลักษณะลำต้นตรง ให้ปริมาณเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูงมาก ผลผลิตน้ำยางจะอยู่ในระดับต่ำกว่าพันธุ์ยางในกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 เหมาะสำหรับปลูกในสวนป่าเพื่อการผลิตเนื้อไม้

พันธุ์ยางชั้น 2 เป็นยางพันธุ์ดีที่อยู่ระหว่างการทดลองและศึกษาลักษณะบางประการเพิ่มเติม เช่น ข้อมูลโรคบางชนิด ข้อมูลผลผลิตจากเปลือกงอกใหม่ แนะนำให้ปลูกได้ไม่เกินร้อยละ 50 ของเนื้อที่ปลูกยางที่ถือครอง หรือปลูกยางร่วมกับพันธุ์ยางชั้น 3 ได้ไม่เกินร้อยละ 50 ของเนื้อที่ปลูกยางที่ถือครอง เกษตรกรที่มีความประสงค์จะเลือกปลูกพันธุ์ยางชั้นนี้ ควรปลูกภายใต้การแนะนำของสถาบันวิจัยยาง

พันธุ์ยางชั้น 3 เป็นยางพันธุ์ดีที่อยู่ระหว่าการทดลองและข้อมูลจำกัด เนื่องจากมีระยะเวลาและจำนวนแปลงทดลองน้อย ทำให้ได้ข้อมูลบางประการไม่สมบูรณ์ เช่น ข้อมูลโรคบางชนิด ข้อมูลผลผลิตจากเปลือกงอกใหม่

และการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อม แนะนำให้ปลูกได้ไม่เกินร้อยละ 50 ของเนื้อที่ปลูกยางที่ถือครอง หรือปลูกร่วมกับพันธุ์ยางชั้น 2 เกษตรกรที่มีความประสงค์จะเลือกปลูกพันธุ์ยางชั้นนี้ควรปลูกภายใต้คำแนะนำของจากสถาบันวิจัยยาง

2.3.2.1 พันธุ์ยางที่แนะนำในพื้นที่ปลูกยางเดิม

พันธุ์ยางชั้น 1 มี 8 พันธุ์ ได้แก่

กลุ่ม 1 พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตน้ำยาง ได้แก่ สถาบันวิจัยยาง 226, สถาบันวิจัยยาง 251, BPM 24 และ RRIM600

กลุ่ม 2 พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ ได้แก่ PB 235 และ PB 260

กลุ่ม 3 พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตเนื้อไม้ ได้แก่ AVROS 2037 และ BPM 1

พันธุ์ยางชั้น 2 มี 6 พันธุ์ ได้แก่ สถาบันวิจัยยาง 403, สถาบันวิจัยยาง 406, สถาบันวิจัยยาง 408, สถาบันวิจัยยาง 3702, สถาบันวิจัยยาง 3801 และ สถาบันวิจัยยาง 3802

พันธุ์ยางชั้น 3 มี 7 พันธุ์ ได้แก่ สถาบันวิจัยยาง 3902, สถาบันวิจัยยาง 3903, สถาบันวิจัยยาง 3904, สถาบันวิจัยยาง 3908, สถาบันวิจัยยาง 3909, IRCA 825 และ IRCA 871

2.3.2.2 พันธุ์ยางที่แนะนำในพื้นที่ปลูกยางใหม่

พันธุ์ยางชั้น 1 มี 8 พันธุ์ ได้แก่

กลุ่ม 1 พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตน้ำยาง ได้แก่ สถาบันวิจัยยาง 226, สถาบันวิจัยยาง 251, สถาบันวิจัยยาง 408 และ RRIM600

กลุ่ม 2 พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ ได้แก่ PB235 และ RRII118

กลุ่ม 3 พันธุ์ยางเพื่อผลผลิตเนื้อไม้ ได้แก่ ฉะเชิงเทรา 50 และ BPM 1

พันธุ์ยางชั้น 2 มี 11 พันธุ์ ได้แก่ สถาบันวิจัยยาง 411, สถาบันวิจัยยาง 417, สถาบันวิจัยยาง 3604, สถาบันวิจัยยาง 3607, สถาบันวิจัยยาง 3609, สถาบันวิจัยยาง 3610, สถาบันวิจัยยาง 3612, สถาบันวิจัยยาง 3702, สถาบันวิจัยยาง 3902, สถาบันวิจัยยาง 3904 และสภาบันวิจัยยาง 3906

พันธุ์ยางชั้น 3 มี 6 พันธุ์ ได้แก่ สถาบันวิจัยยาง3608, สถาบันวิจัยยาง3611, สถาบันวิจัยยาง 3613, สถาบันวิจัยยาง 3614, IRCA 825 และ IRCA 871

2.3.3 การปลูกยางพารา

2.3.3.1 การเตรียมพื้นที่ปลูก

การเตรียมพื้นที่เป็นการปรับสภาพพื้นที่ให้เหมาะสมสำหรับการปลูกสร้าสวนยาง ด้วยการโค่นต้นยางเก่าหรือไม้ยืนต้นบางชนิด จะต้องทำการเผาปรนเก็บเศษไม้และวัชพืชที่เหลือในพื้นที่ออกให้มากที่สุด ทั้งนี้เพื่อเป็นการกำจัดแหล่งแพร่เชื้อโรค โดยเฉพาะโรครากยาง ควรเริ่มโค่นต้นในช่วงฤดูแล้งเพื่อสะดวงในการเก็บเศษไม้และตอไม้ออกจากพื้นที่

<u>การวางแนวปลูก</u> เป็นการกำหนดว่าจะปลูกยางไปในทิศทางใด เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับต้นยาง ป้องกันการชะล้างผิวหน้าดิน สะดวกในการปฏิบัติดูแลรักษาและการเก็บผลผลิต มีวิธีปฏิบัติดังนี้

- การกำหนดแถวหลัก การกำหนดแถวหลักของต้นยาง ควรวางแถวหลักตามแนวทิศตะวันออกตะวันตก และให้ขวางทางการไหลของน้ำเพื่อลดการชะล้างหน้าดินและการพังทะลายของดิน กำหนดแถวหลักให้ห่างจากแนวเขตสวนยางเก่าไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร และขุดคูตามแนวเขตสวนเพื่อป้องกันโรครากและการแก่งแย่งอาหาร หลังจากนั้นวางแนวปลูกพร้อมปักไม้ชะมอบตามระยะปลูกที่กำหนด สำหรับพื้นที่ลาดเทมากกว่า 15 องศา จะต้องวางแนวปลูกตามระดับและทำขั้นบันได

- การกำหนดระยะปลูก ต้องพิจารณาหลายปัจจัยประกอบกัน เช่น ปัจจัยด้านพันธุ์ยางที่ปลูก เนื่องจากยางพาราแต่ละพันธุ์ตอบสนองต่อความหนาแน่นที่แตกต่างกันเพราะความแตกต่างด้านทรงพุ่ม การแตกกิ่งก้าน และอื่น ๆ นอกจากนี้ขนาดของสวนเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญในการเลือกระยะปลูก สวนยางที่มีขนาดเล็กควรมีจำนวนต้นที่หนาแน่นกว่าสวนยางขนาดใหญ่ ปัจจัยที่สำคัญที่ต้องพิจารณาคือเกษตรกรต้องการปลูกพืชแซมยางหรือไม่ หากต้องการปลูกพืชแซมยางจะต้องใช้ระยะปลูกที่กว้างขึ้น

<u>ระยะปลูกที่นิยมในพื้นที่ปลูกยางเดิม</u>

1. ระยะปลูก 2.5 x8 เมตร จะได้จำนวนต้นยาง 80 ต้น/ไร่ เหมาะสำหรับเกษตรกรทั่วไป สามารถใช้ปลูกพืชแซมยางได้

2. ระยะปลูก 3 x 7 เมตร จะได้จำนวนต้นยาง 76 ต้น/ไร่ เหมาะสำหรับเกษตรกรทั่วไป สามารถใช้ปลูกพืชแซมยางได้

ระยะปลูกที่นิยมในพื้นที่ปลูกยางใหม่

1. ระยะปลูก 3 x 7 เมตร จะได้จำนวนต้นยาง 76 ต้น/ไร่ เหมาะสำหรับเกษตรกรทั่วไป สามารถใช้ปลูกพืชแซมยางได้

2. ระยะปลูก 2.5 x 7 เมตร ได้จำนวนต้นยาง 90 ต้น/ไร่ เหมาะสำหรับเกษตรกรที่มีพื้นที่น้อยและต้องการปลูกพืชแซม เพื่อให้ได้จำนวนต้นมากพอสำหรับแรงงานกรีดที่มี

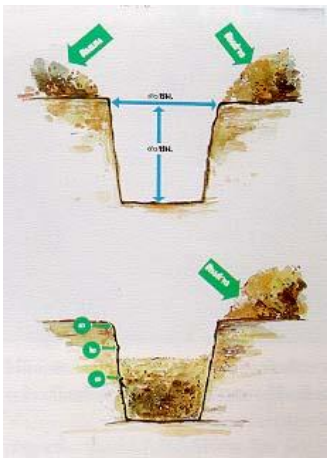
3. ระยะปลูก 3 x 6 เมตร จะได้จำนวนต้น 89 ต้น เหมาะสำหรับเกษตรกรที่มีพื้นที่น้อยและไม่ต้องการปลูกพืชแซมยาง

4. ระยะอื่น ๆ เช่นระยะปลูก 2.5 x 8 เมตร จะได้ต้นยาง 80 ต้น/ไร่ หรือระยะปลูก 4 x 5 เมตร จะได้จำนวนต้นยาง 80 ต้น/ไร่

รูปที่ 2-2 การกำหนดระยะปลูกยางพารา

ที่มา : www.facebook.com/pg/yangparathai/

หลุมและขนาดหลุมปลูก โดยการขุดดินด้านใดด้านหนึ่งของไม้ชะมบโดยตลอด ไม่ต้องถอนไม้ออก หลุมที่ขุดมีขนาด กว้างxยาวxลึก 50 x 50 x 50 เซนติเมตร ดินที่ขุดแบ่งเป็น 2 ชั้น แยกดินกองบนและดินกองล่าง ผึ่งแดดประมาณ 1 สัปดาห์ เมื่อดินแห้งแล้วย่อยดินบนให้ละเอียดพอควรใส่ลงก้นหลุมแล้วตามด้วยดินล่างที่ผสมปุ๋ยหินฟอสเฟต (สูตร 0-3-0) อัตรา 170 – 200 กรัม และปุ๋ยอินทรีย์ประมาณ 3-5 กิโลกรัม/หลุมใส่ไว้ด้านบน



รูปที่ 2-3 การขุดหลุมปลูกยางพารา

ที่มา : www.saranukromthai.or.th

2.4 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment: LCA)

2.4.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ / แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน หรืออาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขอนามัยของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2.4.2 ความสำคัญของบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต

การผลิตผลิตภัณฑ์และการบริการใด ๆก็ตาม (หมายรวมถึง การใช้งานและการกำจัด) จะมีการใช้ทรัพยากร และปล่อยสาร (เช่น ของเสีย มลสาร หรือของเหลือใช้) สู่สิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำ และอากาศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆมีวิธีการการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นหลายวิธี และวิธีการหนึ่งที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment (LCA) ซึ่งเป็นวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและการใช้ทรัพยากรตลอดวัฏจักรชีวิต โดยคำนึงถึงขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัด (ISO 14040, 2006) โดย LCA จะคำนึงถึง

ผลกระทบด้านต่าง ๆทั้งด้านสุขภาพของมนุษย์ คุณภาพของระบบนิเวศ และการลดลงของทรัพยากร นอกจากนี้ LCA ยังสามารถใช้วิเคราะห์จุดเด่น-จุดด้อยในกระบวนการผลิต ใช้ในการวางแผนการใช้ทรัพยากร การตัดสินใจหรือการวางนโยบาย (Center for Resilience, Ohio State University) และใช้สำหรับการทำฉลากสิ่งแวดล้อมบางประเภท เช่น Carbon Footprint (CF) ในประเทศไทย Environmental Product Declaration (EPD) ในประเทศสวีเดน และ Eco-Leaf ในประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น

การประเมินผลกระทบด้วยวิธี LCA นี้ จำเป็นต้องทราบว่ามีสารและพลังงานชนิดใดบ้างที่เข้าและออกจากระบบ (หรือกระบวนการ) ที่สนใจ และเป็นปริมาณเท่าใด บัญชีรายการสารและพลังงานที่เข้าและออกจากระบบ เรียกว่า บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Inventory (LCI) หรือเรียกสั้น ๆว่าบัญชีรายการ (Inventory)

2.4.3 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แตกต่างจากการวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ คือ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์จะรวมถึงการพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน จนถึงการกำจัดผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพหรือหมดอายุการใช้งานแล้ว เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการร่วมพิจารณากิจกรรมอื่น ๆตั้งแต่เกิดจนตายของแต่ละผลิตภัณฑ์ (Cradle to Grave) เหล่านี้ทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์และรับทราบถึงที่มาและสาเหตุของปัญหาอย่างแท้จริง การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)

สิ่งแรกที่ต้องทำในการประเมินวัฏจักรชีวิตคือการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของสิ่งที่เราต้องการศึกษาว่าเราต้องการศึกษาอะไร และผลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เป้าหมายหลักของการทำ LCA มีความแตกต่างกัน ได้แก่

- เพื่อวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานของการออกแบบ และข้อมูลในเชิงตัวเลขค่อนข้างมาก
- เพื่อจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นช่องทางการสื่อสารระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคให้รับทราบถึงผลกระทบจากผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

- เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ซึ่งต้องอาศัยความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบกรตัดสินใจเลือกซื้อ

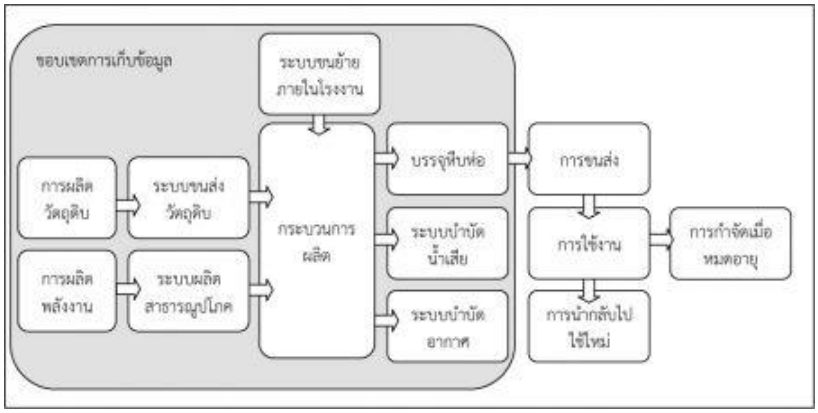
เป้าหมายเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ขอบเขตของการศึกษา ทั้งนี้หากวัตถุประสงค์ของการศึกษาต้องการได้ผลที่มีความน่าเชื่อถือสูง ขอบเขตการศึกษา ระยะเวลาการศึกษาและงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาก็จะสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ผลจากการศึกษาจะเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนากระบวนการผลิต หรือออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้ต่อไป

สำหรับการกำหนดขอบเขตของการประเมินนั้นจะต้องให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมาย เช่น หากต้องการประเมินเพื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกัน ขอบเขตของการประเมินย่อมไม่จำเป็นจะต้องรวมถึงขั้นตอนการขนส่ง การใช้งาน และกำจัดเมื่อหมดอายุ เพราะผลกระทบจากขั้นตอนเหล่านี้ย่อมใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทวัสดุ (เช่น กระดาษ พลาสติกประเภทต่าง ๆ) หรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นการบริการ (เช่น ไฟฟ้า น้ำ เชื้อเพลิง) ซึ่งมีคุณลักษณะการใช้งานเหมือนกัน แต่หากต้องการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่มีหน้าที่เดียวกัน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ปลายทางต่าง ๆ (เช่น ตู้เย็น เตารีด) จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุด้วย

ตัวอย่างของการกำหนดขอบเขตสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ดังนี้

<u>การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate</u>

การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate จะเริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ไปจนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงการใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุ การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate นิยมใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบในช่วงการใช้งานได้ชัดเจน เช่น ไฟฟ้า น้ำ เชื้อเพลิง และวัสดุต่าง ๆ(เช่น กระดาษ พลาสติก) หรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเพื่อเป็นวัตถุดิบให้กับผลิตภัณฑ์อื่น ตัวอย่างขอบเขตการเก็บข้อมลแบบ Cradle to Gate

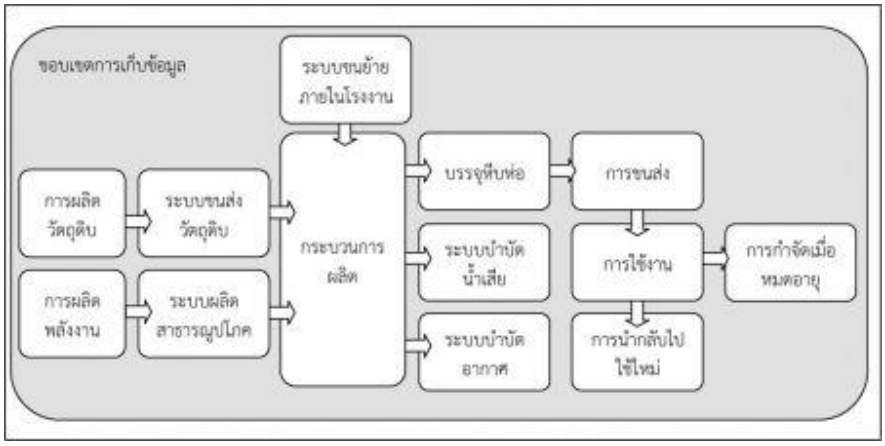


รูปที่ 2-4 การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate

ที่มา : www.thailcidatabase.net

<u>การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave</u>

การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave จะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ (ธรรมชาติ) จนถึงขั้นตอนการทำลายซาก การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave ใช้ได้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบฝนช่วงการใช้งานได้อย่างชัดเจน เช่น ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างของขอบเขตการเก็บข้อมูลแบบ Cradle to Grave



รูปที่ 2-5 การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave

ที่มา : www.thailcidatabase.net

2. การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม คือ การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องภายในขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา โดยข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมควรจะครอบคลุมถึงรายละเอียดของกระบวนการผลิตและผังการไหล (Flow chart) ของกระบวนการผลิต และปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกของระบบทั้งหมด

3. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCA)

การประเมินผลกระทบ สิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นการคำนวณเพื่อแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์และจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่ออธิบายค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขั้นกลางหรือปลายทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงชีวิตโดยตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์

4. การตีความและการวิเคราะห์เพื่อการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม (Interpretation and Improvement Analysis)

การตีความและการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทำให้ทราบว่าช่วงชีวิตใดของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญสูงสุด รวมทั้งแหล่งที่มาของประเด็นปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ๆการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบจะนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพและระสิทธิผลสูงสุด ทั้งนี้การตีความและการแปรผลควรทำด้วยความระมัดระวังและอยู่บนพื้นฐานของขอบเขตการศึกษา เป้าหมาย วัตถุประสงค์การศึกษาของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ผู้ที่จะนำข้อมูลที่ได้ประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ และการจัดการสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างดีจึงสามารถเลือกแนวทางการจัดการเพื่อปรับปรุงประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้อย่ างมีประสิทธิภาพ

2.5 การใช้น้ำของพืช

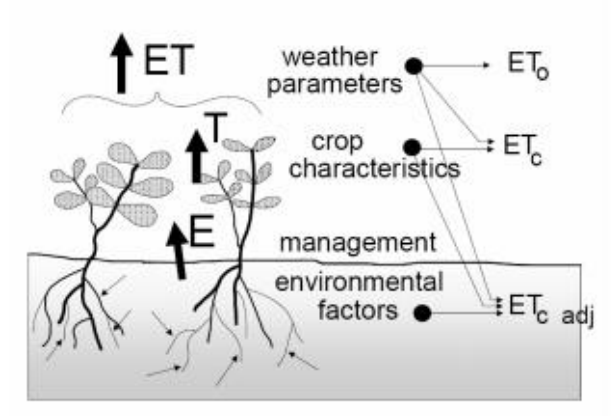
การใช้น้ำของพืชมีคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง 2 คำคือการคายน้ำ (Transpiration) และการระเหยน้ำหรือการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration)

การคายน้ำ (Transpiration) หมายถึงการที่พืชสูญสียน้ำออกไปในรูปไอน้ำ น้ำที่ระเหยออกจากพืชส่วนนี้ส่วนใหญ่จะระเหยสู่บรรยากาศทางบากใบ (สมบุญ,2544)

การคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) หมายถึงปริมาณน้ำที่ระเหยจากพืชดินและการคายน้ำของพืชไปสู่บรรยากาศ ในทางชลประทานการใช้น้ำของพืช หมายถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียจากพื้นที่สู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ปริมาณที่พืชดูดไปใช้จากดิน และปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบ ๆ ต้นพืช จากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่ และจากที่เกาะอยู่ตามปากใบเนื่องจากฝนตก หรือการให้น้ำ (วิบูลย์,2526)

แนวคิดของการใช้น้ำของพืชได้นำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในทางวิศวกรรมชลประทานทั้งในด้านการออกแบบและการบริหารจัดการ

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช



รูปที่ 2-6 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช

ที่มา : Allen *et.al*.,1998

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช ได้แก่ ปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ ปัจจัยทางด้านพืช และปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม

2.5.1.1 ปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศเป็นตัวกำหนดการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) ซึ่งเป็นการใช้น้ำของพืชที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ดังนั้นความแตกต่างของการใช้น้ำของพืชอ้างอิงในแต่ละพื้นที่จึงเป็นผลมาจากความแตกต่างของลักษณะ

ภูมิอากาศ พารามิเตอร์หลักของภูมิอากาศที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช ได้แก่ พลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นและความเร็วลม

2.5.1.2 ปัจจัยทางด้านพืช

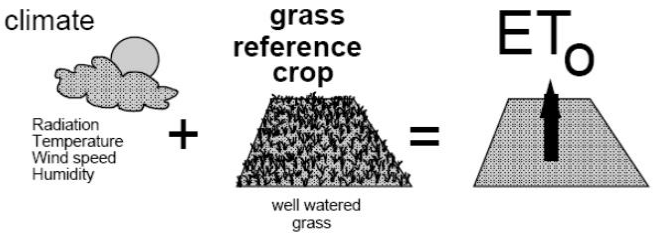
สิ่งที่ต้องพิจารณาเมื่อทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่เพาะปลูก ประกอบด้วย ชนิดและพันธุ์ของพืช ระยะพัฒนาการของพืช โดยความแตกต่างของสภาพต่าง ๆของพืช ได้แก่ สภาพความต้านทานต่อการคายน้ำ ความสูงต้นพืช สภาพการสะท้อนพลังงาน คุณลักษณะของรากพืช และสภาพการปกคลุมของผิวดิน

2.5.1.3 สภาพสิ่งแวดล้อมและการจัดการ

นอกจากสภาพภูมิอากาศและลักษณะของพืชแล้ว ความเค็มของดิน การขาดธาตุอาหาร ชั้นดินดานในดิน รวมถึงโรคและแมลง สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นข้อจำกัดสำหรับการเจริญเติบโตของพืชและจำกัดปริมาณการใช้น้ำของพืช ปัจจัยอื่น ๆที่ต้องพิจารณาในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ได้แก่ สภาพปกคุมผิวดิน ความหนาแน่นของพืช และปริมาณความชื้นในดิน โดยความรุนแรงของการขาดน้ำและชนิดของดินเป็นเงื่อนไขหลักที่บ่งชี้ว่าปริมาณความชื้นในดินมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำของพืชมากน้อยเพียงใด ในอีกแง่หนึ่งปริมาณน้ำที่มากเกินไปจากสภาพน้ำท่วมขังก็อาจมีผลกระทบต่อรากพืชทำให้ดึงน้ำไปใช้ได้น้อยลงเช่นเดียวกัน

2.5.2 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference evapotranspiration)เขียนโดยย่อเป็น ETo หมายถึง ปริมาณการคายระเหยน้ำรวมกับการระเหยน้ำจากพืชอ้างอิง สามารถหาได้จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา โดยใช้สมการของ Penman – Monteith



รูปที่ 2-7 การใช้น้ำของพืชอ้างอิง

ที่มา : Allen *et.al*.,1998

สูตร Penman Monteith ดังนี้

$$ETo = \frac{\left[0.480\Delta(Rn - G) + \gamma\left\{\frac{900}{T + 273}\right\}U_2(e_s - e_a)\right]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

เมื่อ ETo = การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

Rn = รังสีสุทธิที่ต้นพืชได้รับ (เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน)

G = flux ค่าความร้อนของพื้นดิน (เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน)

T = อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)

U_2 = ความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร (เมตรต่อวินาที)

e_s = ความดันไอน้ำอิ่มตัว (กิโลปาสคาล)

e_a = ความดันไอน้ำ (กิโลปาสคาล)

Δ = ความลาดเทของเส้น curve แรงดันไอ (กิโลปาสคาลต่อองศาเซลเซียส)

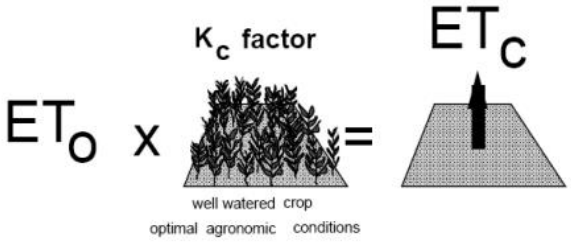
γ = ค่าคงที่ของ psychrometric (กิโลปาสคาลต่อองศาเซลเซียส)

$e_s - e_a$ = ค่าความต่างของแรงดันไอ (กิโลปาสคาล)

900 = factor ปรับแก้

2.5.3 ปริมาณการใช้น้ำของพืชในสภาพมาตรฐาน

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชในสภาพมาตรฐาน (crop evapotranspiration under standard conditions: ETc) หมายถึงปริมาณน้ำที่พืชใช้ในกรณีที่พืชมีความสมบูรณ์ไม่มีโรคและแมลงรบกวน ได้รับธาตุอาหารเพียงพอ และมีความชื้นในดินที่เหมาะสมโดยใช้สัมประสิทธิ์การใช้น้ำชองพืช (crop coefficient: Kc) ปรับแก้ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo)



รูปที่ 2-8 การใช้น้ำของพืช

ที่มา : Allen *et.al*.,1998

โดยที่ ETc = การใช้น้ำของพืชในสภาพมาตรฐาน (mm/day)

Kc = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา

ETo = การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (mm/day)

2.6 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint)

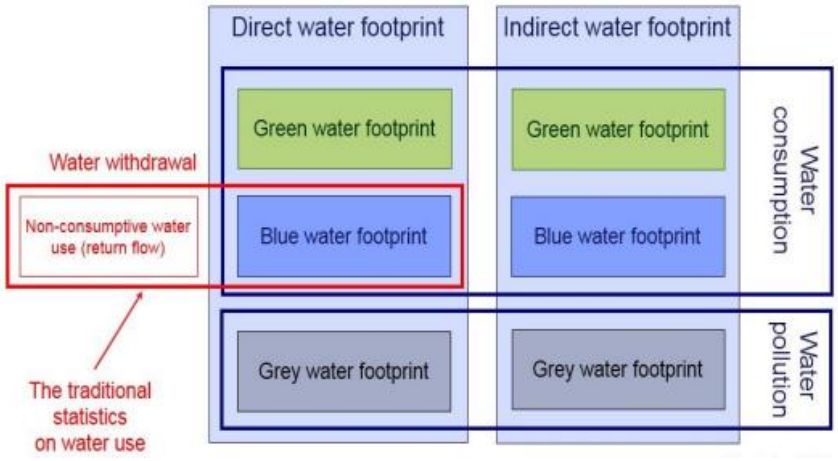
2.6.1 คำนิยามของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) เป็นดัชนีชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมของสายโซ่การผลิตสินค้าหรือบริการ ทั้งปริมาณน้ำที่ใช้ไปและปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมาและแสดงให้เห็นสถานที่และเวลาที่ดึงน้ำมาใช้ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เกิดจากการรวมวอเตอร์ฟุต-พริ้นท์ทางตรง (Direct Water Footprint) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทางอ้อม (Indirect Water Footprint) ขององค์ประกอบสมมุติที่ใช้สี 3 สีประกอบคำอธิบายได้แก่

1. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (Green Water Footprint) คือปริมาณน้ำจากน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่เพาะปลูกและถูกเก็บกักในเขตราก ถูกพืชดูดขึ้นมาใช้ในกระบวนการคายระเหยน้ำ และการสังเคราะห์แสงของพืช เป็นส่วนทีเกี่ยวข้องกับการผลิตของการเพาะปลูกและการทำป่าไม้

2. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (Blue Water Footprint) คือปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำเก็บกักผิวดิน เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ อ่าเก็บน้ำ หรือแหล่งน้ำใต้ดิน ที่ถูกใช้ในการผลิตสินค้าแล้วสูญเสียในรูปของการระเหย หรือการนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของการผลิต ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบเกษตรชลประทาน อุตสาหกรรม และการอุปโภค-บริโภค

3. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Grey Water Footprint) คือปริมาณน้ำดีที่ใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ



รูปที่ 2-9 ภาพรวมขององค์ประกอบของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ที่มา : Hoekstra *et al*., 2008

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทตามรูปแบบการประเมิน (วราวุธ,2559)

1. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Product Water Footprint) คือปริมาณน้ำจืดทั้งหมดที่ใช้ในการห่วงโซ่ของการผลิตสินค้าหรือบริการใด ๆปริมาณน้ำที่ใช้จะวัดจากปริมาณน้ำที่ระเหยหรือสูญเสียจากกระบวนการผลิตทั้งหมด และรวมถึงน้ำดีที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จะบงบอกปริมาณน้ำทั้งหดที่ใช้ ต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์

2. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของคน (Personal Water Footprint) คือปริมาณน้ำทั้งหมดที่คนใช้ในแต่ละวันรวมถึงปริมาณน้ำจากการผลิตอาหาร สินค้า-บริการ และเครื่องนุ่งห่ม ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของคนขึ้นอยู่กับวิถีความเป็นอยู่ของคนในแต่ละพื้นที่ จึงสามารถเป็นตัวสะท้อนมาตรฐานความเป็นอยู่ วิถีชีวิตและการบริโภค

3. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของธุรกิจ (Business Water Footprint) คือค่าที่แสดงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการของธุรกิจ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน

1. ปริมาณน้ำที่ใช้โดยตรง (Direct Water) ในการผลิตสินค้าและบริการซึ่งเรียกว่า Operation Water Footprint

2. ปริมาณน้ำที่ใช้โดยอ้อม (Indirect Water) คือปริมาณน้ำที่ใช้ในห่วงโซ่อุปทานของปัจจัยการผลิตและการใช้ผลิตภัณฑ์ของธุรกิจนั้นซึ่งเรียกว่า Supply Chain Water Footprint

ตามปกติแล้วบริษัทหรือองค์กรธุรกิจมักให้ความสนใจเฉพาะ Operation Water Footprint และไม่ให้ความสนใจในส่วนของ Supply Chain Water Footprint เนื่องจากไม่ใช่น้ำที่ต้องใช้และต้องจัดหาเพื่อให้โรงงานคงการผลิตได้ ปัจจุบันองค์กรธุรกิจเริ่มเข้าใจมากขึ้นว่า Supply Chain Water Footprint มีค่ามากกว่า Operational Water Footprint หลายเท่า นอกจากต้องพยายามลด Operational Water Footprint แล้วยังมีความจำ เป็นต้องมีการวิเคราะห์ความเสี่ยงเกี่ยวกับ Supply Chain Water Footprint ด้วย ปัญหาการขาดแคลนน้ำ หรือปัญหาคุณภาพน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่หรือในลุ่มน้ำ ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจอาจมีผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานของปัจจัยการผลิตของโรงงานจนทำให้ต้องหยุดการผลิตได้ซึ่งส่งผลกระทบต่อธุรกิจในที่สุด

4.วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของประเทศ (National Water Footprint) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามมุมมองของการผลิตและการบริโภค

1. ปริมาณทรัพยากรน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการภายในประเทศ ซึ่งรวมการผลิตทางการเกษตร อุตสาหกรรม การอุปโภค-บริโภคในธุรกิจการท่องเที่ยวและการบริการ เรียกว่า Water Footprint of National Product ซึ่งบางส่วนถูกส่งไปขายต่างประเทศ น้ำที่เกี่ยวข้องกับสินค้าที่ส่งออกเรียกว่า Virtual Water Export

2. ปริมาณผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของสินค้าและบริการทั้งหมดที่ประชาชนที่อาศัยอยู่ในประเทศนั้นบริโภค สินค้าและบริการบางส่วนที่ผลิตในประเทศ เรียกว่า Water Footprint of National Consumption แต่บางส่วนนำเข้าจากต่างประเทศ น้ำที่เกี่ยวข้องกับสินค้านำเข้าเรียกว่า Virtual Water Import

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตสินค้าและบริการของประเทศบ่งบอกถึงความสำคัญเกี่ยวกับการใช้น้ำในประเทศและการพึ่งพาน้ำจากต่างประเทศ ซึ่งช่วยให้รัฐบาลวางแผนในการจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศ เข้าใจเกี่ยวพันระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจ ความมั่นคงทางอาหารการค้าระหว่าประเทศ และทรัพยากรน้ำได้ดียิ่งขึ้น สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการบริโภคสะท้อนถึงมาตรฐานการครองชีพและวิถีชีวิตของคนในประเทศ

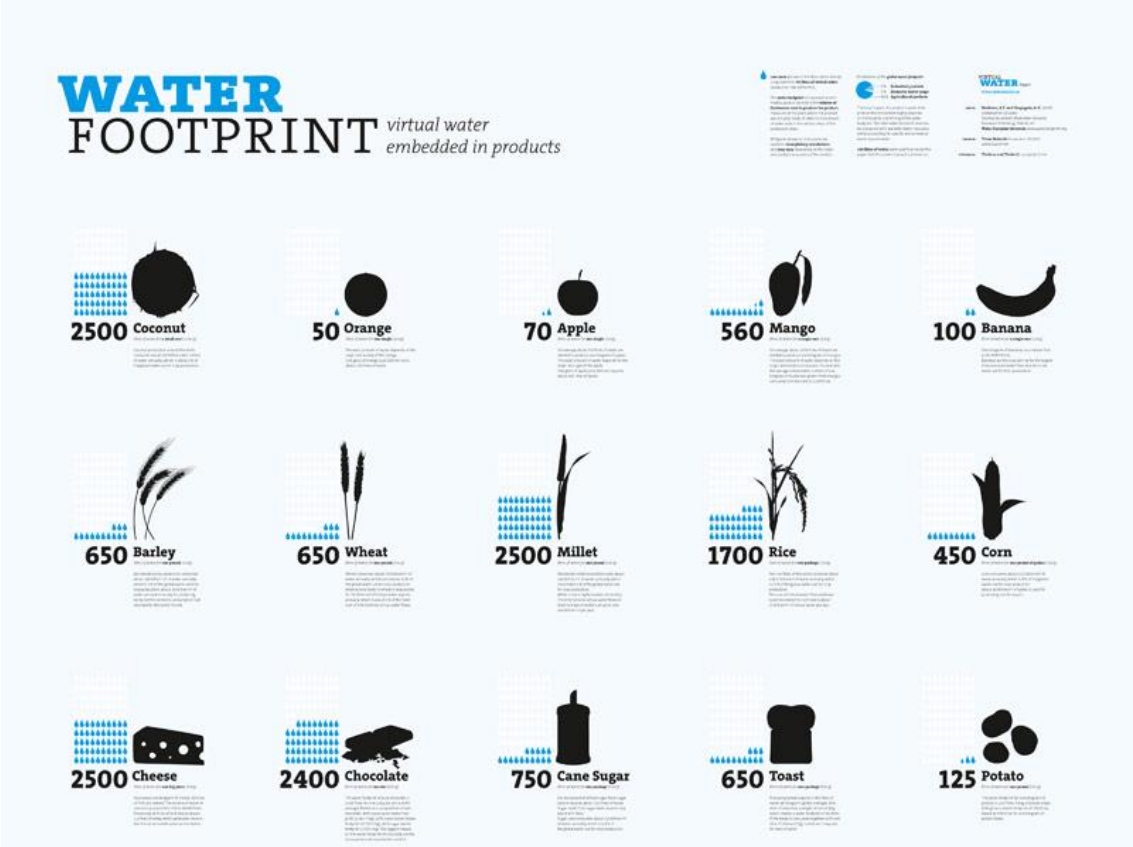
2.6.2 ความสำคัญของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

เนื่องจากประชากรของโลกเพิ่มขึ้น ทำให้มีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเช่น มีการใช้น้ำเพื่อการผลิตอาหาร พลังงานและสินค้าต่าง ๆ นอกจากนี้ผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงวัฏจักร

ของน้ำ ช่วงฤดูแล้งยาวนานมากขึ้น๘ณะที่ช่วงฤดูฝนสั้นลงและตกหนักกว่าเดิม มีผลต่อความมั่นคงทางน้ำของประเทศต่าง ๆ

จากความกังวลเกี่ยวกับวิกฤติการณ์น้ำของโลกในอนาคต Dr. Arjen Y. Hoekstra จากประเทศเนเธอร์แลนด์ได้พัฒนาแนวคิดเรื่อง วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) ขึ้นในปีค.ศ.2002 และได้รับความสนใจมากขึ้นในหลาย ๆประเทศ การทราบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นอกจากทำให้เห็นภาพปริมาณการใช้น้ำที่ซ่อนเร้นในการผลิตสินค้าได้อย่างชัดเจนมากขึ้นแล้วยังสามารถนำไปประเมิณผลกระทบที่เกิดจากการผลิตสินค้าและบริการต่อการใช้ทรัพยากรน้ำ ซึ่งทำให้เข้าใจปัญหาการขาดแคลนน้ำและมลภาวะทางน้ำได้ดียิ่งขึ้น นำไปสู่การแก้ปัญหาในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการในห่วงโซ่การผลิตทั้งระบบ

การมีข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ถูกต้องสามารถช่วยให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคเข้าใจว่าจะต้องทำอย่างไรเพื่อให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ยั่งยืนและเป็นธรรม นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อการวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำในระดับลุ่มน้ำและระดับประเทศ การมีข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ถูกต้องช่วยให้สามารถวางนโยบายของประเทศสามารถตัดสินใจว่าควรเพาะปลูกพืชชนิดใช้น้ำมากในบริเวณใดจะทำให้การผลิตสินค้าการเกษตรมีประสิทธิภาพและยังสามารถนำมาใช้ต่อรองราคาการให้บริการด้านสภาพนิเวศวิทยาสิ่งแวดล้อม (Ecological Services)ของสินค้าแต่ละชนิดและยังสามารถใช้เป็นดัชนีวัดความยั่งยืน (Sustainability Indicator) ได้อีกด้วย



รูปที่ 2-10 ตัวอย่างค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

ที่มา : http://www.virtualwater.eu.

2.6.3 ขั้นตอนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ขั้นตอนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. การกำหนดจุดมุ่งหมายและกรอบการศึกษา (Goal and Scope) เป็นขั้นตอนแรกในการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เนื่องจากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีหลายประเภทดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงจำเป็นต้องกำหนดให้ชัดเจนเพื่อการศึกษาในขั้นตอนต่อไป ตัวอย่างจุดมุ่งหมายและกรอบการศึกษา

- เพื่อสนับสนุนธุรกิจบางประเภทให้สามารถจัดการน้ำได้อย่างยั่งยืน ภายใต้การดำเนินงานและห่วงโซ่การผลิตของธุรกิจนั้น

- สนับสนุนรัฐบาลหรือหน่วยงานให้สามารถจัดสรรและจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน

- กำหนด Benchmarks สำหรับการใช้น้ำและมลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นสำหรับกระบวนการผลิตบางอย่าง

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Accounting) หรือการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อคำนวนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละสีโดยใช้วิธีของ WFN ที่กำหนดไว้ใน Water Footprint Assessment Manual (Hoekstra *et.al*., 2011)

3. การประเมินความยั่งยืนของทรัพยากรน้ำ (Sustainability Assessment) โดยใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 ประเมินว่าทรัพยากรน้ำมีความยั่งยืนเชิงสภาพแวดล้อม (Environmental Sustainability) มีการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Resource Efficient) และมีการจัดสรรอย่างเป็นธรรม (Equitable Allocated) การประเมินต้องพิจารณาทั้งความต้องการน้ำของคนและสิ่งแวดล้อม

การประเมินความยั่งยืน (Environmental Sustainability) ในการใช้น้ำมี 2 นัยสำคัญคือความยั่งยืนเชิงคุณภาพและความยั่งยืนเชิงปริมาณ ความยั่งยืนเชิงปริมาณหมายความว่าปริมาณน้ำที่ใช้ต้องไม่เกินปริมาณน้ำสูงสุดที่ยอมให้นำไปใช้ได้ ซึ่งสามารถวัดได้จากค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (Blue water footprint) หากค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำที่ยอมให้ใช้ จะทำให้ปริมาณน้ำที่เหลือในระบบนิเวศน้อยกว่าปริมาณน้ำขั้นต่ำเพื่อรักษาระบบนิเวศ มีผลทำให้ระบบนิเวศเสื่อมถอยลง ซึ่งถือว่าเป็นการใช้น้ำที่ไม่ยั่งยืนในเชิงปริมาณ ความยั่งยืนเชิงคุณภาพสามารถพิจารณาได้จากค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Gray water footprint) หากค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทามีค่ามากกว่าปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการรักษาคุณภาพของแหล่งน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด จะถือว่าไม่มีการใช้น้ำอย่างยั่งยืนในเชิงคุณภาพ ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถประเมินความยั่งยืนได้ทั้งในระดับลุ่มน้ำย่อย ลุ่มน้ำหลัก และระดับภูมิภาค

การประเมินประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร (Resource Efficient) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์คือตัววัดประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรที่เหมาะสมในทางทฤษฎี เนื่องจากเป็นค่าปริมาณน้ำที่ใช้ต่อ 1 หน่วยผลผลิต หากค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ลดลงหมายถึงประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น หากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูงผิดปกติหมายความว่ามีโอกาสที่จะสามารถลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ลงได้โดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆเข้ามาช่วยเหลือ

การประเมินความเป็นธรรมในการจัดสรรทรัพยากร (Equitable Allocated) การทราบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถช่วยในการจัดสรรทรัพยากรสำหรับผู้ใช้น้ำ และระหว่างการใช้น้ำในภาคส่วนต่าง ๆเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

4. การวางมาตรการแก้ปัญหา (Response Formulation) เป็นการกำหนดกลยุทธ์ในการลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และกำหนดลำดับความสำคัญในการดำเนินงานเพื่อเพิ่มความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรน้ำ เช่น การจัดการน้ำแบบบูรณาการ การระดมผู้เกี่ยวข้องมาช่วยในการหาวิธีลดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ และเพิ่มธรรมาภิบาลในการบริหารจัดการน้ำ

2.6.4 การคำนวณวอเตอ์ฟุตพริ้นท์

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณตามคู่มือ The Water Footprint Assessment Manual โดย Hoekstra *et.al*.,2011 ได้แบ่งการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แป็น 3 ประเภท ได้แก่ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (Green water footprint) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (Blue water footprint) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Gray water footprint)

1. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (Green water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำและน้ำฝนที่อยู่ในรูปความชื้นในดินที่ให้ในการเพาะปลูกมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ตันผลผลิต คำนวณได้จากปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริงจากค่าความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Use; CWU) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ไร่ หารด้วยผลผลิตมีหน่วยเป็น ตัน/ไร่

$$\mathrm{WF_{Green}} = \frac{\mathrm{CWU_{Green}}}{\gamma}$$

ความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Use; CWU) สามารถคำนวณได้จากค่าสะสมการคายระเหยน้ำของพืชมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/วัน (Evapotranspiration; ET) ตลอดช่วงอายุพืช (Length of growing period; lgp) และ 1.6 เป็นค่าเปลี่ยนหน่วยจากมิลลิเมตรเป็น ลูกบาศก์เมตร/ไร่

$$\mathrm{CWU_{Green}} = 1.6 \sum_{\mathrm{d=1}}^{\mathrm{lgp}} \mathrm{ET_{Green}}$$

2. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (Blue water footprint) ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติรวมทั้งแหล่งน้ำผิวดิน เช่น น้ำในแม่น้ำ บ่อน้ำ รวมทั้งน้ำในอ่างงเก็บน้ำต่าง ๆ และแหล่งน้ำใต้ดิน ที่ใช้ในการเพาะปลูกมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ตันผลผลิต คำนวณได้จากปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของพืช (Crop Water Use; CWU) หารด้วยผลผลิตมีหน่วยเป็น ตัน/ไร่

$$\mathrm{WF_{Blue}} = \frac{\mathrm{CWU_{Blue}}}{\gamma}$$

ความต้องการน้ำชลประทานของพืช (Crop Water Use; CWU) สามารถคำนวณได้จากค่าสะสมการคายระเหยน้ำชลประทานของพืชมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/วัน (Evapotranspiration; ET) ตลอดช่วงอายุพืช (Length of growing period; lgp) และ 1.6 เป็นค่าเปลี่ยนหน่วยจากมิลลิเมตรเป็น ลูกบาศก์เมตร/ไร่

$$\mathrm{CWU_{Blue}} = 1.6 \sum_{\mathrm{d=1}}^{\mathrm{lgp}} \mathrm{ET_{Blue}}$$

3. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Gray water footprint) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Grey Water Footprint) สามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำที่ใช้เจือจางน้ำเสียที่เกิดจากการเพาะปลูกให้อยู่ในระดับมาตรฐานที่ยอมรับได้ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ตันผลผลิต ซึ่งส่วนมากจะมีการใช้ปุ๋ยในกระบวนการเพาะปลูก พิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน

$$\mathrm{WF_{Grey}} = \frac{(\alpha \mathrm{xAR})/(\mathrm{C_{max}} - \mathrm{C_{nat}})}{\gamma}$$

โดยกำหนด ให้สัดส่วนการชะล้างปุ๋ยลงสู่แม่น้ำ (α) เท่ากับ 10%ของอัตราการใช้ปุ๋ย (AR) ที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็นกิโลกรัม/ไร่

ความเข้มข้นของมลพิษสูงสุดที่ยอมรับได้ (C_{max}) มีค่าเป็น 5 มิลลิกรัม/ลิตร อ้างอิงจากค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินของประเทศไทยจากกรมควบคุมมลพิษ

ความเข้มข้นของมลพิษตาธรรมชาติ (C_{nat}) มีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัม/ลิตร

γ ผลผลิต มีหน่วยเป็นตัน/ไร่

4. วอเตอร์ฟุตพรินท์รวมขอกการเพาะปลูก (Total Water Footprint) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ตันผลผลิต หาได้จากผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำสีเขียว สีน้ำเงิน และสีเทา

$$\mathrm{WF_{Total}} = \mathrm{WF_{Green}} + \mathrm{WF_{Blue}} + \mathrm{WF_{Gray}}$$

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขนิษฐา มีวาสนา,2560 การศึกษาเปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของยางพาราแผ่นที่ผลิตในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในภาคการเพาะปลูก ในหน่วย 1 น้ำยางพารา จังหวัดที่มีค่ามากสุดคือจังหวัดกาฬสินธุ์ 6,682 ลูกบาศก์เมตร/ตัน รองลงมาคือจังหวัดนครราชสีมา 6,454 ลูกบาศก์เมตร/ตัน บุรีรัมย์ 5,120 ลูกบาศก์เมตร/ตัน และหนองคาย 4,884 ลูกบาศก์เมตร/

ตัน สำหรับภาคใต้ 3,801 ลูกบาศก์เมตร/ตัน สำหรับการผลิตยางพาราแผ่น ในหน่วย 1 ตัน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าเฉลี่ย 17,970 ลูกบาศก์เมตร/ตัน และภาคใต้ 11,417 ลูกบาศก์เมตร/ตัน นอกจากนี้ยังพบว่าภาคใต้มีการใช้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินน้อยกว่ามาก ซึ่งมีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์มากกว่า

นิมมานรดี เกตุเดชา,2556 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป กรณีศึกษา : จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรีพบว่ากรณีพิจารณาน้ำยางสดเป็นผลผลิตค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของจังหวัดนครศรีธรรมราช (3,861 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด) และของจังหวัดจันทบุรี (3,676 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด) เปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำยางพาราสดกับงานวิจัยของ Mekonnen และ Hoekstra, (2010) พบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมที่ได้น้อยกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของไทย (7,952 ลูกบาศก์เมตร/ตัน), โลก (13,748 ลูกบาศก์เมตร/ตัน), จีน (7,342 ลูกบาศก์เมตร/ตัน), มาเลเซีย (21,182 ลูกบาศก์เมตร/ตัน), บรูไน (280,608 ลูกบาศก์เมตร/ตัน) และ กัมพูชา (11,547 ลูกบาศก์เมตร/ตัน) โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุต-พริ้นท์ได้แก่ ปริมาณฝน ของแต่ละพื้นที่ที่พิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (K_c) ช่วงเวลาที่ทำการศึกษาและปริมาณผลผลิต กรณีพิจารณาไม้ยางพาราเป็นผลผลิตค่าวอเตอร์ฟุต-พริ้นท์ของวิธีการคำนวณด้วยการปันส่วนทางเศรษฐศาสตร์ของจังหวัดนครศรีธรรมราช (3,313 ลูกบาศก์เมตร/ตันไม้ยางพารา) และของจังหวัดจันทบุรี (4,049 ลูกบาศก์เมตร/ตันไม้ยางพารา)

ดวงพร พันธุ์สาคร,2562 การประมาณงบดุลน้ำของการเพาะปลูกพืช โดยใช้วอเตอร์ฟุต-พริ้นท์บริเวณลุ่มน้ำที่สูง จังหวัดน่าน พบว่า พืชที่นิยมปลูกในลุ่มน้ำที่สูง จังหวัดน่านในช่วงปี พ.ศ.2550-2559 ประกอบด้วย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ยางพารา และสัก โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยรายปีของการปลูกยางพารามีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3,609.71 ลูกบาศก์เมตร/ตัน รองลงมาคือข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เท่ากับ 1,161.49 ลูกบาศก์เมตร/ตัน และสัก 504.68 ลูกบาศก์เมตร/ตัน การประมาณงบดุลน้ำของการปลูกพืชในสภาวะปัจจุบัน พบว่าพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และสักอยู่ในสภาวะเกินดุล เนื่องจากมีความต้องการใช้น้ำเพื่อการเจริญเติบโตตลอดการเพาะปลูกน้อยกว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี สำหรับพื้นที่ปลูกยางพาราเกิดภาวะขาดดุลน้ำ

ชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ และธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, 2554 ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย พบว่าเมื่อพิจารณาจากห่วงโซ่การผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และการแปรรูปมันสำปะหลังเป็นเอทานอล วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในปี 2551 มีค่าเท่ากับ 267 ลูกบาศก์เมตร/ปี แบ่งเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว 185 ลูกบาศก์เมตร/ปี และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน 82 ลูกบาศก์เมตร/ปี สำหรับปริมาณการใช้น้ำตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนฯ จะมีอัตราเพิ่มขึ้นทุกปี โดยจะใช้น้ำเพิ่มขึ้น 10 เท่าเมื่อสิ้นสุดแผนฯในปี 2565

หากมีการเพิ่มขึ้นของผลผลิตมันสำปะหลังจาก 3.4 เป็น 8.0 ตัน/ไร่ จะส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำลดลง 57.4%ในแต่ละปี

สุเมธ ลิ่มมณีธร สายัณห์ สดุดี และอิบรอเฮม ยีดำ ศึกษาผลของการให้น้ำต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและผลผลิตของน้ำยางพารา (Hevea brasiliensis) ช่วงฤดูแล้ง พบว่ายางพาราพันธุ์ RRIM600 (อายุ 14 ปี) วางแผนการทดลอง 3 วิธีการทดลองคือ 1.ไม่มีการให้น้ำ 2.ให้น้ำ 100%ของปริมาณการใช้น้ำ 3.ให้น้ำ 50%ของปริมาณการใช้น้ำ ยางพาราที่ให้น้ำ 100%ของการใช้น้ำของพืชให้ผลผลิตน้ำยางสดสูงกว่ากว่ายางพาราที่ไม่มีการให้น้ำประมาณ 18-25% ต้นยางพาราที่มีการให้น้ำมีการแตกใบใหม่ช้ากว่ายางพาราที่ไม่มีการให้น้ำประมาณ 10-20 วันแต่มีความหนาแน่นของใบมากกว่า

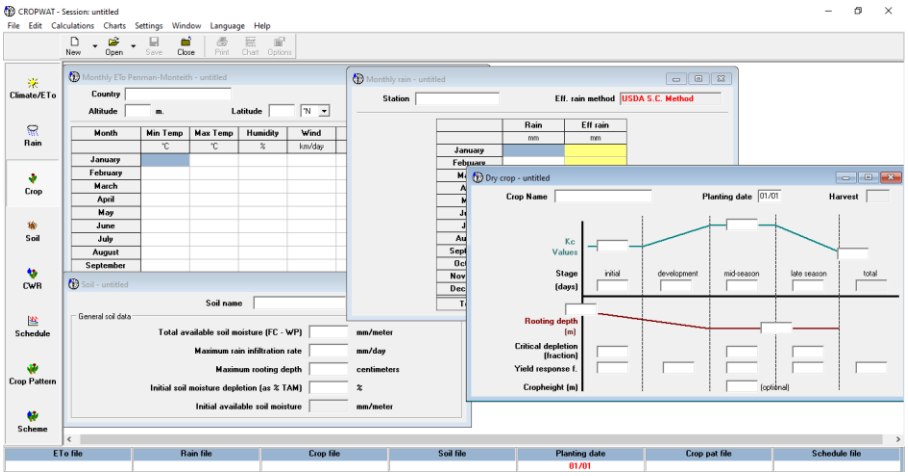
3. เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงงาน

เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชได้แก่โปรแกรม CROPWAT8.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชและความต้องการน้ำชลประทานโดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศและข้อมูลพืช โดยคำนวณการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (ETo) ด้วยสมการของ Penman-Monteith

สำหรับโปรแกรม CLIMWAT2.0 for CROPWAT8.0 เป็นโปรแกรมจัดการข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของสถานีตรวจวัดมากกว่า 5,000 แห่งทั่วโลก ข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูลข้องโปรแกรม CLIMWAT2.0 ประกอบไปด้วยข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่

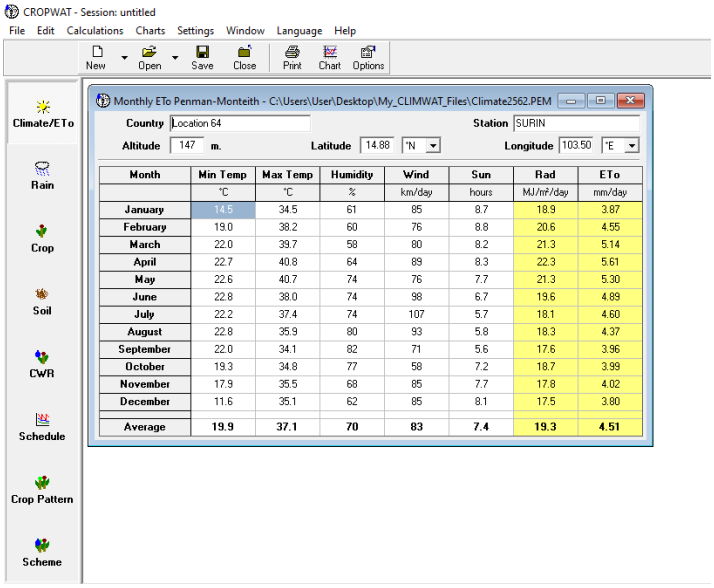
- อุณหภูมิสูงสุดประจำวันเฉลี่ย (mean daily maximum temperature) หน่วยเป็น °C
- อุณหภูมิสูงต่ำประจำวันเฉลี่ย (mean daily minimum temperature) หน่วยเป็น °C
- ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (mean relative humidity) หน่วยเป็น %
- ความเร็วลมเฉลี่ย (mean wind speed) หน่วยเป็น km/day
- จำนวนชั่วโมงแสงอาทิตย์เฉลี่ย (mean sunshine) มีหน่วยเป็น hours/day
- พลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย (mean solar radiation) มีหน่วยเป็น $MJ/m^2/day$
- ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย (monthly rainfall) มีหน่วนเป็น mm/month
- ปริมาณฝนใช้การรายเดือน (monthly effective rainfall) มีหน่วยเป็น mm/month
- ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference evapotranspiration) มีหน่วยเป็น mm/day

รูปที่ 3-1 แสดง ICONของโปรแกรม CROPWAT8.0และCLIMWAT2.0



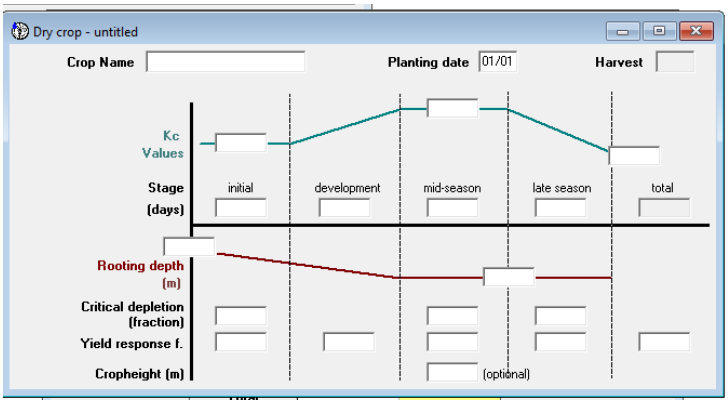
รูปที่ 3-2 หน้าจอเมื่อใช้งานโปรแกรม CROPWAT8.0

<u>การใส่ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา</u> ผู้ใช้สามารถกรอกข้อมูลลงไปได้หรืออาจใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากโปรแกรม CLIMWAT2.0



รูปที่ 3-3 การใส่ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

การใส่ข้อมูลพืช



รูปที่ 3-4 หน้าต่างการใส่ข้อมูลพืช

1.Planting date วันและเดือนที่ปลูกพืช ส่วนวันที่เก็บเกี่ยวหรือ Harvest date โปรแกรมจะทำการคำนวณโดยอัตโนมัติเมื่อใส่ข้อมูลครบถ้วน

2.Crop coefficient (Kc) ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชช่วงตั้งต้น ($K_{C,ini}$) ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชในช่วงกลางของการเพาะปลูก ($K_{C,mid}$) ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชช่วงสิ้นสุดการเพาะปลูก ($K_{C,end}$)

3.Stages ช่วงการเจริญเติบโตของพืชมี 4 ช่วงประกอบด้วย ช่วงตั้งตัว (initial stage) ช่วงเจริญเติบโตทางลำต้น (crop development stage) ช่วงกลางของการเพาะปลูก (mid-season stage) ช่วงปลายของการเพาะปลูก (late season stage)

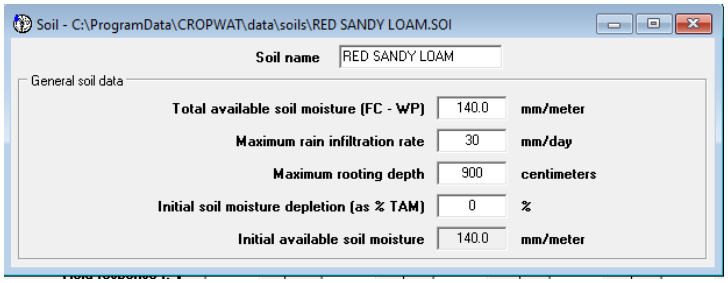
4.Rooting depth ความลึกของราก มีหน่วยเป็น m.

5.Critical depletion fraction (p) ค่าวิกฤตของสัดส่วนของน้ำที่พร่องไป คิดเป็นร้อยละของความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ทั้งหมด (TAW)

6.Yield response factor (Ky) ค่าแฟคเตอร์การตอบสนองของพืชต่อการขาดน้ำ

7.Maximum crop height ความสูงของต้นพืช มีหน่วยเป็น เมตร

การใส่ข้อมูลดิน



รูปที่ 3-5 การใส่ข้อมูลดิน

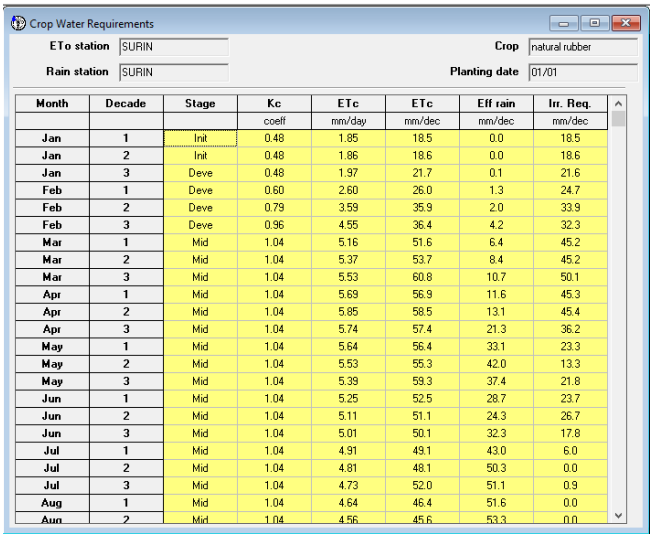
1.Total Available Water (TAW) ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ทั้งหมด เป็นผลต่างระหว่างความชื้นชลประทาน (Field Capacity: FC) กับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉา (Wilting Point: WP)

2.Maximum infiltration rate คืออัตราการซึมผานดินสูงสุด อาจกำหนดให้เท่ากับสภาพการนำน้ำของดินอิ่มตัว (saturated hydraulic conductivity) มีหน่วยเป็น mm/day

3.Maximum rooting depth ความลึกของรากพืช

4.Initial soil moisture depletion ความชื้นในดินที่พร่องไปขณะเริ่มต้น คิดเป็นร้อยละของความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ทั้งหมด (TAW)

<u>การวิเคราะห์ผลการคำนวณ</u>



Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jan	1	Init	0.48	1.85	18.5	0.0	18.5
Jan	2	Init	0.48	1.86	18.6	0.0	18.6
Jan	3	Deve	0.48	1.97	21.7	0.1	21.6
Feb	1	Deve	0.60	2.60	26.0	1.3	24.7
Feb	2	Deve	0.79	3.59	35.9	2.0	33.9
Feb	3	Deve	0.96	4.55	36.4	4.2	32.3
Mar	1	Mid	1.04	5.16	51.6	6.4	45.2
Mar	2	Mid	1.04	5.37	53.7	8.4	45.2
Mar	3	Mid	1.04	5.53	60.8	10.7	50.1
Apr	1	Mid	1.04	5.69	56.9	11.6	45.3
Apr	2	Mid	1.04	5.85	58.5	13.1	45.4
Apr	3	Mid	1.04	5.74	57.4	21.3	36.2
May	1	Mid	1.04	5.64	56.4	33.1	23.3
May	2	Mid	1.04	5.53	55.3	42.0	13.3
May	3	Mid	1.04	5.39	59.3	37.4	21.8
Jun	1	Mid	1.04	5.25	52.5	28.7	23.7
Jun	2	Mid	1.04	5.11	51.1	24.3	26.7
Jun	3	Mid	1.04	5.01	50.1	32.3	17.8
Jul	1	Mid	1.04	4.91	49.1	43.0	6.0
Jul	2	Mid	1.04	4.81	48.1	50.3	0.0
Jul	3	Mid	1.04	4.73	52.0	51.1	0.9
Aug	1	Mid	1.04	4.64	46.4	51.6	0.0
Aug	2	Mid	1.04	4.56	45.6	53.3	0.0

รูปที่ 3-6 หน้าต่างการวิเคราะห์ผลการคำนวณ

1. เดือนที่นับจากวันที่เริ่มปลูกแบ่งเป็นราย 10 วัน ช่วง 10 วันใน 1 เดือนจะมี 3 ช่วง

2.Stage เป็นช่วงการเจริญเติบโตของพืช

3.Kc เป็นค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

4.ETc เป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชจากผลคูณของสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชกับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) มีหน่วยเป็น mm/day

5.ETc เป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชในหน่วย mm/10day

6.Eff rain ปริมาณฝนใช้การ มีหน่วยเป็น mm/10day

7.Irr. Req เป็นความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ ซึ่งหาจากผลต่างระหว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชกับปริมาณฝนใช้การ

4. วิธีการดำเนินโครงงาน

4.1 วิธีการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) รวบรวมข้อมูลภูมิที่เกี่ยวข้องได้แก่ ข้อมูลวิธีการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษาเทียบกับข้อมูลตามคำแนะนำของกรมวิชาการยางพารา หลักการคำนวนปริมาณการใช้น้ำของยางพาราโดยโปรแกรมCROPWAT8.0 และการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

2. รวบรวมข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในโปรแกรม CROPWAT8.0 เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณฝน ความเร็วลม ความยาวนานแสงแดด และข้อมูลการเพาะปลูกและปริมาณผลผลิต จากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ศึกษา จังหวัดสุรินทร์ สุ่มตัวอย่างสัมภาษณ์โดยใช้วิธีของ Yamane (1973)

$$\text{จากสูตร} \quad n = \frac{N}{1+Ne^2}$$

เมื่อ n = จำนวนของประชากรตัวอย่าง (คน)

N = จำนวนของประชากรทั้งหมด (คน)

e = คือความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นในรูปของสัดส่วน

3. ศึกษาปริมาณความต้องการน้ำของการปลูกยางพารา คำนวณและวิเคราะห์ความแตกต่างของความต้องการน้ำของยางพาราตามทฤษฎีในพื้นที่ศึกษาและปริมาณน้ำตามการเพาะปลูกของเกษตรกรให้ในพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลสวนยาง											
ชนิดเอกสาร	พันธุ์ยาง	ม.	ต.	อ.	จ.	พื้นที่	ปีปลูก	อายุยาง	การถือครอง	จำนวนต้น	ปริมาณผลผลิต
น.ส.3 ก.	RRIM 60	2	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	1.69	2549	14	เจ้าของ	135	250
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	2.30	2555	8	เจ้าของ	212	500
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	12.00	2547	16	ผู้ทำ	532	3,600
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	5.17	2548	15	ผู้ทำ	380	1,500
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	3.71	2547	16	ผู้ทำ	360	1,000
น.ส.3 ก.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	26.80	2550	13	เจ้าของ	1,400	6,000
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	3.96	2545	18	เจ้าของ	315	1,200
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	6.00	2548	15	เจ้าของ	540	1,800
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	2.30	2554	9	เจ้าของ	100	500
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	4.24	2549	14	เจ้าของ	352	1,200
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	4.23	2549	14	เจ้าของ	345	1,200
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	4.12	2554	9	เจ้าของ	300	800
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	6.00	2552	11	เจ้าของ	500	1,400
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	2.13	2550	13	เจ้าของ	160	550
น.ส.4 จ.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	7.26	2550	13	เจ้าของ	500	2,000
ส.ป.ก.4-01	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	4.41	2549	14	เจ้าของ	650	1,250
โฉนดตราจอง	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	16.13	2548	15	เจ้าของ	1,043	4,800
โฉนดแผนที่	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	5.29	2547	16	เจ้าของ	372	1,600
โฉนดแผนที่	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	8.71	2548	15	เจ้าของ	700	2,500
โฉนดแผนที่	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	6.15	2549	14	เจ้าของ	540	1,800
โฉนดแผนที่	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	2.71	2549	14	เจ้าของ	190	800
น.ส.3 ก.	RRIM 60	3	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	9.00	2547	16	เจ้าของ	800	2,700
น.ส.3 ก.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	6.50	2549	14	ผู้ทำ	500	1,800
น.ส.3	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	12.98	2548	15	เจ้าของ	450	3,000

รูปที่ 4-1 แสดงรายงานเกษตรกรสวนยางพาราในพื้นที่ศึกษา

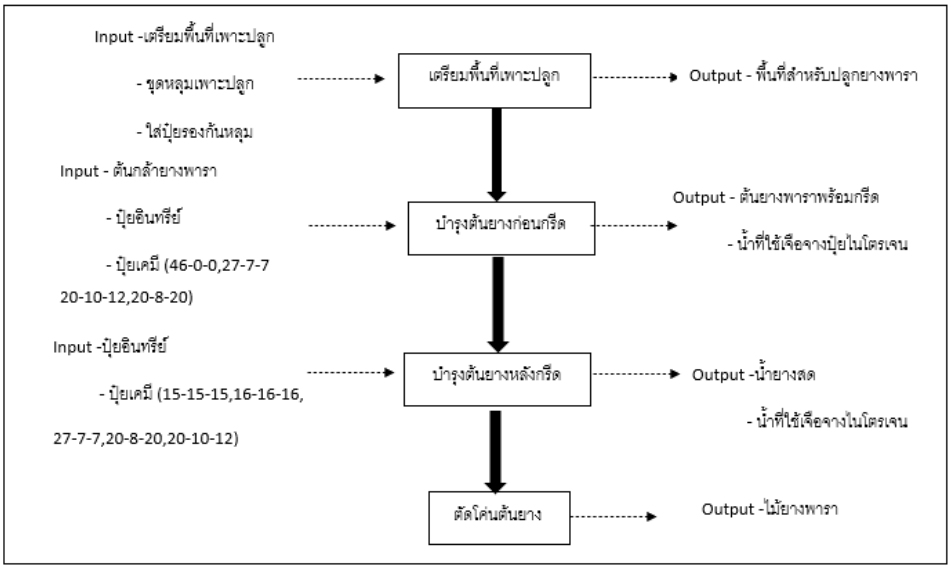
ข้อมูลสวนยาง											
ชนิดเอกสาร	พันธ์ยาง	ม.	ต.	อ.	จ.	พื้นที่	ปีปลูก	อายุยาง	การถือครอง	จำนวนต้น	ปริมาณผลผลิต
น.ส.3 ก.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	10.00	2548	15	เจ้าของ	500	
โฉนดแผนที่	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	1.69	2547	16	เจ้าของ	145	400
โฉนดแผนที่	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	6.25	2547	16	เจ้าของ	470	1,800
น.ส.4 จ.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	8.61	2548	15	เจ้าของ	700	1,600
น.ส.3 ก.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	5.66	2554	9	เจ้าของ	500	1,200
น.ส.3 ก.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	7.04	2546	17	เจ้าของ	560	3,200
น.ส.3	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	2.00	2544	19	เจ้าของ	200	630
น.ส.4 จ.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	4.25	2555	8	เจ้าของ	400	1,000
น.ส.4 จ.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	4.25	2555	8	เจ้าของ	330	900
น.ส.3	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	7.04	2549	14	เจ้าของ	600	2,100
น.ส.3 ก.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	5.60	2548	15	เจ้าของ	340	300
น.ส.3 ก.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	2.95	2553	10	เจ้าของ	190	570
น.ส.3 ก.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	2.00	2548	15	เจ้าของ	160	300
น.ส.3 ก.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	7.40	2548	15	เจ้าของ	640	2,100
น.ส.3 ก.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	8.00	2549	14	เจ้าของ	700	2,300
น.ส.4 จ.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	8.48	2552	11	เจ้าของ	447	2,000
น.ส.3 ก.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	4.00	2551	12	เจ้าของ	360	1,000
น.ส.3 ก.	RRIM 60	4	สังขะ	สังขะ	สุรินทร์	2.00	2548	15	เจ้าของ	200	600

รูปที่ 4-2 แสดงรายงานเกษตรกรสวนยางพาราในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

4.2 วิธีการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

หลังจากศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกพืชและการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA)

1.กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ โดยประยุกต์ใช้หลักการประเมิณวัฏจักรชีวิต (LCA) โดยงานวิจัยนี้มีขอบเขตตั้งแต่การเพาะปลูกจนถึงการตัดโค่นต้นยางพารา โดยมีผลผลิตเป็นน้ำยางพาราสด 1 ตัน



รูปที่ 4-3 การประเมินวัฏจักรชีวิตของการปลูกยางพารา

2.จัดทำบัญชีรายการ (Inventory) ชนิดและปริมาณสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ประกอบด้วยศึกษาข้อมูลการปลูกยางพาราจากกรมวิชาการเกษตรและปรับเทียบจากการสัมภาษณ์

3.คำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการเพาะปลูกยางพารา โดยใช้โปรแกรม CROPWAT8.0 ในการหาค่าการคายระเหยน้ำของยางพารา (Evapotranspiration; ET) ทุกปี โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) ตามช่วงการเจริญเติบโต (ตารางที่ 4-1)

ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพาราตามช่วงต่าง ๆ

ช่วงต่าง ๆของยางพารา	เดือน	วัน	Kc
ช่วงฤดูยางผลัดใบ	มี.ค	30	0.48
ช่วงยางผลิใบถึงใบยางแก่	เม.ย.	30	0.80-0.98
ช่วงใบยางแก่เต็มที่และช่วงฤดูกรีดยาง	พ.ค.-ธ.ค.	240	1.08
ช่วงปลายฤดูกรีดยาง	ม.ค.-ก.พ.	65	0.63

ที่มา :นิมมานรดี เกตุเดชา,2556

จากนั้นนำข้อมูลความต้องการน้ำรายปีของยางพารา(Evapotranspiration: ET) ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/วัน ไปคำนวณหาค่าความต้องการน้ำของพืช(Crop Water Use: CWU) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่า

สะสมการคายระเหยน้ำของพืช (ET) ตลอดช่วงอายุพืช (Length of growing period; lgp) และ 1.6 เป็นค่าเปลี่ยนหน่วยจากมิลลิเมตรเป็น ลูกบาศก์เมตร/ไร่ สำหรับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในปี พ.ศ.2562 ค่าความต้องการน้ำของพืชหาได้จากค่าเฉลี่ยของการใช้น้ำในปี พ.ศ.2538-2562 และนำไปหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว(Green Water Footprint)และสีน้ำเงิน(Blue Water Footprint) ด้วยการหารด้วยผลผลิต มีหน่วยเป็น ตัน/ไร่

$$\mathrm{WF_{Green,Blue}} = \frac{\mathrm{CWU_{Green,Blue}}}{\gamma}$$

$$\mathrm{CWU_{Green,Blue}} = 1.6 \sum_{d=1}^{lgp} \mathrm{ET_{Green,Blue}}$$

สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Gray water footprint) คือปริมาณน้ำดีที่ใช้ในการเจือจางน้ำเสียให้มีคุณภาพตามที่มาตรฐานกำหนดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ สามารถหาได้จากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนของการเพาะปลูกยางพารา

$$\mathrm{WF_{Grey}} = \frac{(\alpha \mathrm{xAR})/(\mathrm{C_{max}} - \mathrm{C_{nat}})}{\gamma}$$

โดยกำหนดให้สัดส่วนการชะล้างปุ๋ยลงสู่แม่น้ำ (α) เท่ากับ 10%ของอัตราการใช้ปุ๋ย (AR) ที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็นกิโลกรัม/ไร่ ความเข้มข้นของมลพิษสูงสุดที่ยอมรับได้ (C_{max}) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร ความเข้มข้นของมลพิษตาธรรมชาติ (C_{nat}) มีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัม/ลิตร หารด้วยผลผลิตในหน่วย ตัน/ไร่

วอเตอร์ฟุตพรินท์รวมขอกการเพาะปลูก (Total Water Footprint) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ตันผลผลิต หาได้จากผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำสีเขียว สีน้ำเงิน และสีเทา

$$\mathrm{WF_{Total}} = \mathrm{WF_{Green}} + \mathrm{WF_{Blue}} + \mathrm{WF_{Gray}}$$

4.เนื่องจากการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษามีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชน้อยมักใช้การถางแทนการใช้สารเคมีในงานวิจัยนี้จึงไม่คิดน้ำทางอ้อม

5.เนื่องจากไม่สามารถติดตามการให้น้ำของยางพารา จึงกำหนดให้มีการให้น้ำอย่างเหมาะสมตามทฤษฎีและมีผลผลิตตามสวนยางพาราที่มีการให้น้ำ

6.แปรผลการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในจังหวัดสุรินทร์ เปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในภาคใต้และอื่น ๆที่มาการศึกษามาก่อนแล้ว

ตารางที่ 4-2 บัญชีรายการระบบปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา

รายการ	จำนวน	หน่วย
Input		
ต้นกล้ายางพารา (ระยะปลูก 3x5 เมตร)	95	ต้น/ไร่
ปุ๋ยคอก	122	กก./ไร่/ปี
ปุ๋ยเคมีในต้นยางเล็ก (46-0-0,27-7-7,20-10-12, 20-8-20)	42	กก./ไร่/ปี
ปุ๋ยเคมีในต้นยางใหญ่ (,27-7-7,20-10-12,20-8-20 ,15-15-15,16-16-16)	42	กก./ไร่/ปี
Paraquat	0.3	ลิตร/ไร่
Glyphosate	1	ลิตร/ไร่
Output		
น้ำยางพาราสด	6.32	ตัน/ไร่

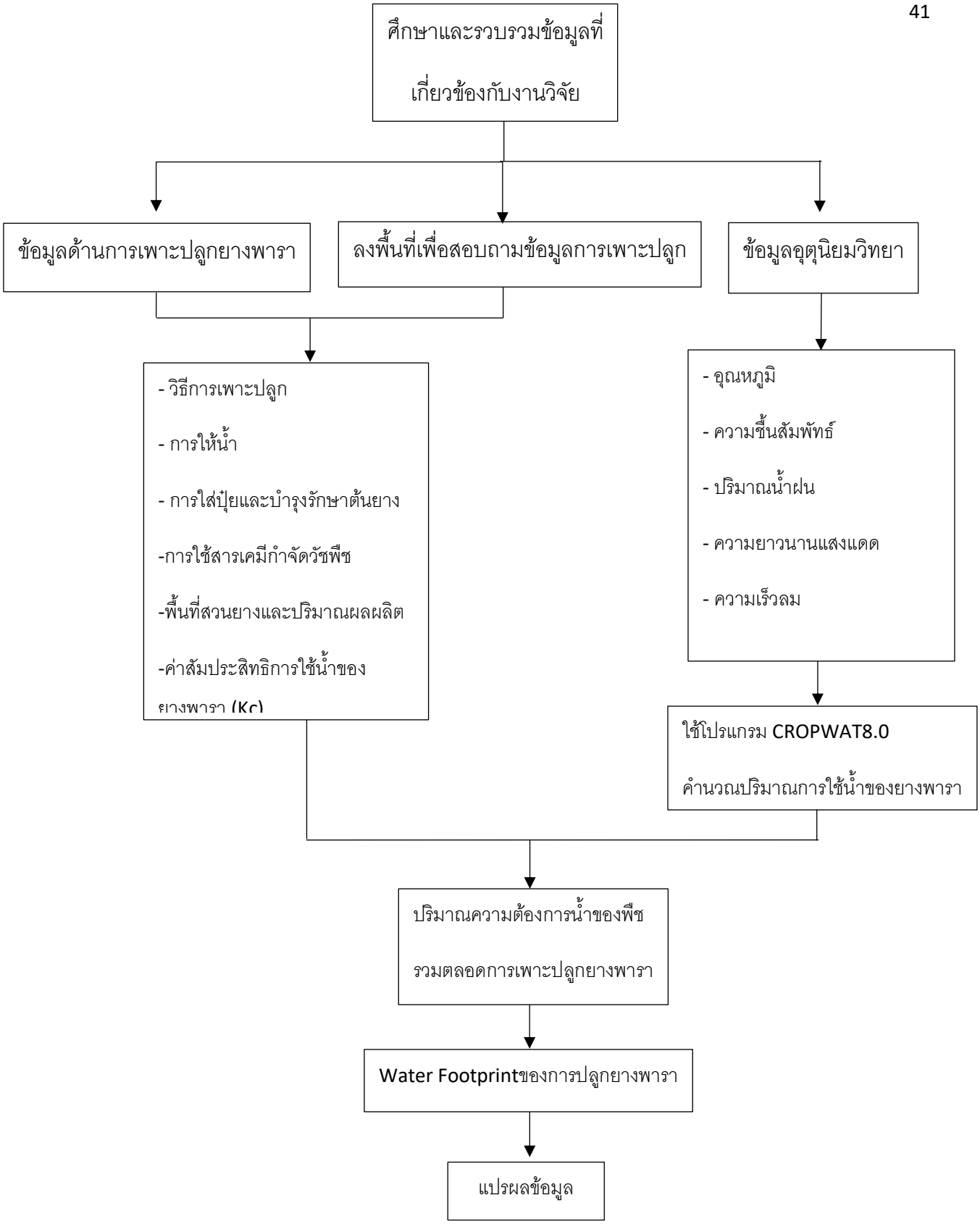
ที่มา : จากการสัมภาษณ์เกษตรกรสวนยางพารา

4.3 แหล่งที่มาของข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยได้มาจากการสอบถามเกษตรกรสวนยางในพื้นที่ การยางแห่งประเทศไทย จังหวัดสุรินทร์ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการทำสวนยางในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ และข้อมูลทวนสอบจากสถาบันวิจัยยาง โดยแหล่งที่มาของข้อมูลที่สำคัญดังกล่าวแสดงไว้ดังตาราง

ตารางที่ 4-3 ที่มาและแหล่งข้อมูล

ข้อมูล	ที่มาและแหล่งข้อมูล
1.ขั้นตอนการปลูกยางพารา	สัมภาษณ์จากเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา , สถาบันวิจัยยาง,2561
2.พื้นที่ปลูกยางพาราและผลผลิต	สัมภาษณ์จากเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา ,การยางแห่งประเทศไทย จังหวัดสุรินทร์
3.การใช้ปุ๋ย การบำรุงรักษาต้นยางพารา	สัมภาษณ์จากเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา
4.ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	กรมอุตุนิยมวิทยา



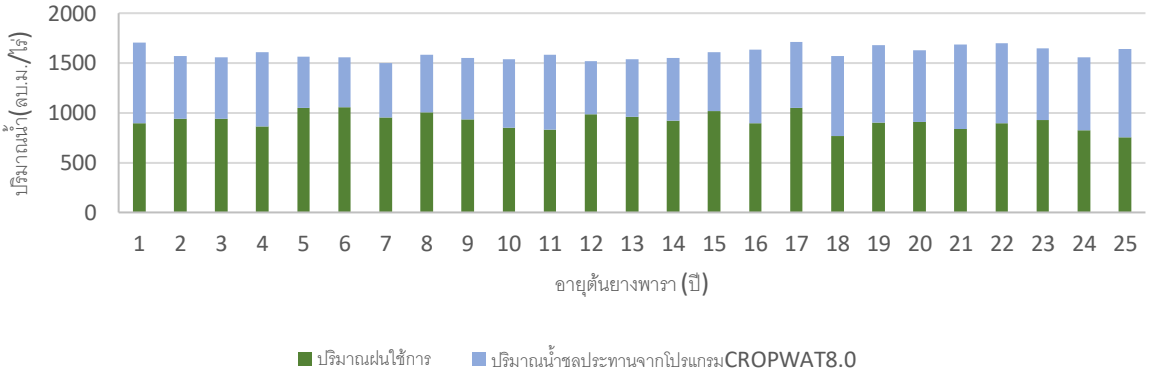
รูปที่ 4-3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

5. ผลการดำเนินโครงงานและวิจารณ์

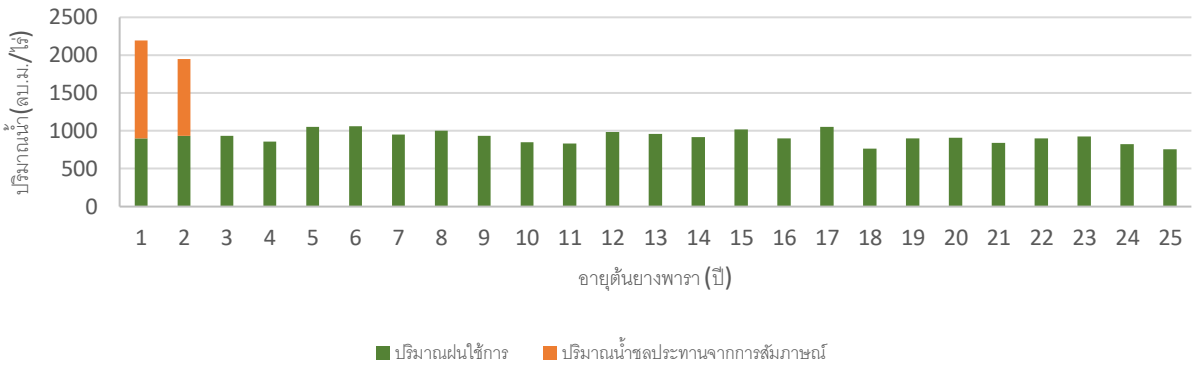
จากผลการสำรวจและสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ทำสวนยางพาราในหมู่ที่ 3 และ 4 ในพื้นที่ศึกษา จำนวน 30 คน ซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรตามทฤษฎีของ Yamane (1973) เพื่อจัดทำบัญชีรายการ การใช้น้ำเป็นทรัพยากรสำคัญในการปลูกยางพารา จังหวัดสุรินทร์นิยมปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM600 ซึ่งเป็นยางพาราพันธุ์ที่แนะนำสำหรับพื้นที่ปลูกยางใหม่ที่ต้องการปลูกเพื่อผลผลิตน้ำยาง ด้วยต้นยางชำถุงขนาด 1-2 ฉัตร ระยะปลูก 3x5 เมตรจำนวน 95 ต้น/ไร่ ซึ่งระยะแนะนำสำหรับสวนยางพาราที่ไม่มีการปลูกพืชแซมยางคือ 3x6 เมตร จำนวน 89 ต้น/ไร่ ซึ่งการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษามีระยะการวางแนวถี่กว่าคำแนะนำ การปลูกยางพาราจะปลูกในช่วงฤดูฝน (เดือนพ.ค-มิ.ย) จากการสัมภาษณ์พบว่า เกษตรกรมีการให้น้ำในช่วง 1-2 ปีแรกของการปลูกเพื่อป้องกันต้นยางขาดน้ำคิดเป็น 93.33% และมีการให้น้ำอย่างเหมาะสมคิดเป็น 6.67% ของเกษตรกรปลูกยางที่สัมภาษณ์ มีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยคอกโดยปุ๋ยเคมีที่นิยมใช้ในต้นยางเล็กคือ 46-0-0 และ 27-7-7 ในต้นยางใหญ่คือ15-15-15 และ16-16-16 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์นำไปทวนสอบกับข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ ได้แก่ การยางแห่งประเทศไทย จังหวัดสุรินทร์ และข้อมูลวิชาการยางพารา จากนั้นนำมาจัดทำบัญชีรายการของระบบปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา (ตารางที่4-2)

5.1 การคายระเหยน้ำของยางพารา

เป็นการหาปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดตลอดอายุต้นยางพารา 25 ปี โดยใช้โปรแกรม CROPWAT8.0 ในการคำนวณการใช้น้ำของยางพาราหรือการคายระเหยน้ำของยางพารา (ET) ทุกปี ให้ปี พ.ศ2538 เป็นปีที่เริ่มปลูกยางพารา



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 5-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ช่วงอายุต้นยาง กับปริมาณฝนใช้การ ปริมาณน้ำชลประทานที่ได้จากโปรแกรมCROPWAT8.0 (ก.) และปริมาณน้ำที่ให้ในการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา (ข.)

ผลการศึกษาปริมาณความต้องการน้ำของยางพาราในพื้นที่ศึกษา หมู่ที่ 3 และ 4 อ.สังขะ จังหวัดสุรินทร์ โดยโปรแกรมCROPWAT8.0 แสดงดังรูปที่ 5-1 พบว่าการใช้น้ำของยางพาราขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความยาวนานแสงแดดในพื้นที่ศึกษา และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) (แสดงในตารางที่ 4-1) ความต้องการน้ำของยางพาราทางทฤษฎีตั้งแต่ปีที่ 1 ถึงปีที่ 25 แสดงดังรูปที่ 5-1 (ก.) และจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ศึกษา 93.33% ของจำนวนเกษตรกรมีการให้น้ำในช่วง 1-2 ปีแรกของการปลูกยางพาราเพื่อป้องกันต้นยางเล็กยืนต้นตายหลังจากนั้นใช้น้ำฝนเป็นหลักในการเพาะปลูก แสดงดังรูปที่ 5-2 (ข.) ค่าการคายระเหยน้ำเฉลี่ยของพืชเป็น 1,543 มิลลิเมตร/ปี และมีปริมาณฝนใช้การเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา 919 มิลลิเมตร/ปี ซึ่งทำให้มีความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ย 679 มิลลิเมตร/ปี

ตารางที่ 5-1 การคายระเหยน้ำสะสม ปริมาณฝนใช้การสะสมและปริมาณน้ำชลประทานสะสมของการเพาะปลูกยางพารา

จังหวัด	การคายระเหยน้ำสะสม (มิลลิเมตร)	ปริมาณฝนใช้การสะสม (มิลลิเมตร)	ปริมาณน้ำชลประทานสะสม (มิลลิเมตร)	ที่มา
นครราชสีมา	32,518	19,888	12,630	ขนิษฐา มีวาสนา,2560
บุรีรัมย์	31,444	16,799	14,645	
กาฬสินธุ์	37,725	18,508	19,217	
หนองคาย	32,208	16,700	15,508	
สงขลา	30,780	28,008	2,772	
จันทบุรี	29,799	18,686	11,113	นิมมานรดี เกตุเดชา ,2556
นครศรีธรรมราช	29,406	23,380	6,026	
สุรินทร์ (ตามทฤษฎี)	38,581	17,345	16,985	การศึกษาในครั้งนี้
สุรินทร์	38,563	17,345	1,442	

เมื่อเปรียบเทียบค่าสะสมของการคายระเหยน้ำ ปริมาณฝนใช้การและปริมาณน้ำชลประทาน ของพื้นที่ศึกษาและในงานวิจัยอื่น ๆแสดงในตารางที่ 5-1 พบว่าในพื้นที่ศึกษามีค่าการคายระเหยน้ำสะสมใกล้เคียงกับจังหวัด กาฬสินธุ์ และในจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ และหนองคาย มีค่าการคายระเหยน้ำสะสมใกล้เคียงกับในภาคตะวันออกและภาคใต้ สำหรับปริมาณฝนใช้การสะสมในพื้นที่ศึกษามีปริมาณใกล้เคียงกับจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับในภาคใต้ ปริมาณน้ำชลลประทานสะสมของพื้นที่ศึกษาและจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าใกล้เคียงกัน และปริมาณน้ำชลประทานสะสมในภาคใต้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับในภาคอื่น ๆ

5.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพารา

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราเป็นสัดส่วนของการใช้น้ำทั้งหมดตลอดอายุต้นยางพารา 25 ปี โดยต้นยางในพื้นที่ศึกษาให้ผลผลิต 18 ปี (ระยะการปลูกก่อนการเปิดกรีด 7 ปี) หารด้วยผลผลิตของยางพาราในหน่วย 1 ตันน้ำยางสด การใช้น้ำของยางพาราหรือความต้องการน้ำของยางพารา (Crop Water Use: CWU) ในหน่วยลูกบาศก์เมตร/ไร่ แสดงในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 ปริมาณผลผลิต ความต้องการน้ำ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงินของการเพาะปลูกยางพารา

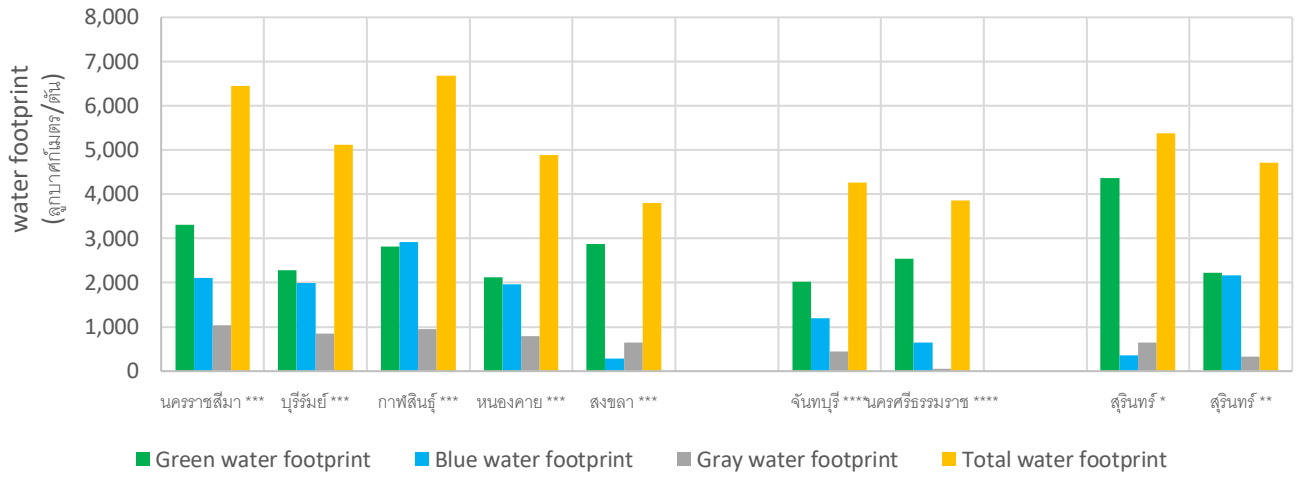
จังหวัด	ผลผลิตตลอดอายุยางพารา (ตัน/ไร่)	ความต้องการน้ำฝน CWU_{Green} (ลูกบาศก์เมตร/ไร่)	ความต้องการน้ำชลประทาน CWU_{Blue} (ลูกบาศก์เมตร/ไร่)	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด)		ที่มา
				Green Water Footprint	Blue Water Footprint	
นครราชสีมา	9.61	31,821	20,208	3,311	2,103	ขนิษฐา มีวาสนา,2560
บุรีรัมย์	11.78	26,878	23,432	2,282	1,989	
กาฬสิน	10.53	29,613	30,747	2,812	2,920	
หนองคาย	12.60	26,719	24,813	2,121	1,969	
สงขลา	15.58	44,812	4,435	2,874	285	
จันทบุรี	14.78	29,906	17,781	2,023	1,203	นิมมานรดี เกตุเดชา ,2556
นครศรีธรรมราช	14.78	37,564	9,642	2,542	652	
สุรินทร์ (ตามทฤษฎี)	12.52	27,752	27,216	2,217	2,171	การศึกษาในครั้งนี้
สุรินทร์	6.36	27,752	2,307	4,366	363	

ผลการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงินของการเพาะปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา ค่าความต้องการน้ำของยางพาราและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงินแสดงดังตารางที่ 5-2 ค่าความต้องการน้ำฝน (CWU_{Green}) ขึ้นอยู่กับปริมาณฝนใช้การซึ่งฝนใช้การของภาคใต้มีค่าสูงทำให้มีค่าความต้องการน้ำฝนมาก และค่าความต้องการน้ำชลประทาน (CWU_{Blue}) เมื่อมีปริมาณฝนตกน้อย ความต้องการน้ำชลประทานของพืชมากขึ้น ส่งผลให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินของการปลูกยางพาราเพิ่มขึ้น พื้นที่ศึกษามีค่าความต้องการน้ำฝนใกล้เคียงกับจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับจังหวัดในภาคใต้ สำหรับจังหวัดในภาคใต้มีค่าความต้องการน้ำชลประทานน้อยเมื่อเทียบกับจังหวัดอื่น ๆแลพื้นที่ศึกษา นอกจากค่าความต้องการน้ำขแงพืชแล้วค่าผลผลิตยังมีผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ตารางที่ 5-3 ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาของการเพาะปลูกยางพารา

จังหวัด	การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนให้กับยางพารา (กิโลกรัม/ไร่)	Gray Water Footprint (ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด)	ที่มา
นครราชสีมา	500	1,040	ขนิษฐา มีวาสนา, 2560
บุรีรัมย์	500	849	
กาฬสินธุ์	500	950	
หนองคาย	500	794	
สงขลา	500	642	
จันทบุรี	329.3	446	นิมมานรดี เกตุเดชา, 2556
นครศรีธรรมราช	42.44	57	
สุรินทร์ (ตามทฤษฎี)	246.02	329	การศึกษาในครั้งนี้
สุรินทร์	246.02	648	

สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา คือปริมาณน้ำดีที่ใช้เจือจางน้ำเสียที่เกิดจากการเพาะปลูกโดยความเข้มข้นของมลพิษสูงสุดที่ยอมรับได้ (C_{max}) เป็น 5 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินในงานวิจัยนี้กำหนดให้การใช้สารเคมีจากปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ในการเพาะปลูกยางพาราเนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยปริมาณปุ๋ยที่ถูกชะล้างออกจากพื้นที่การเกษตรคิดเป็น 10% ของปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมด โดยแสดงในตารางที่ 5-3



หมายเหตุ *** แสดงเอกสารอ้างอิงดังตารางที่ 5-4

รูปที่ 5-2 แสดงวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว สีน้ำเงิน และสีเทา

ตารางที่ 5-4 ตารางเปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในพื้นที่ศึกษากับงานวิจัยยางพาราที่เกี่ยวข้อง

สถานที่	Water Footprint (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)				ที่มา
	Green water footprint	Blue water footprint	Gray water footprint	Total water footprint	
โลก	12,964	361	442	13,748	M.M. Mekonnen *et al.*,2011
ประเทศไทย	6,909	715	328	7,952	M.M. Mekonnen *et al.*,2010
นครราชสีมา	3,311	2,103	1,040	6,454	*** ขนิษฐา มีวาสนา,2560
บุรีรัมย์	2,282	1,989	849	5,120	
กาฬสินธุ์	2,812	2,920	950	6,682	
หนองคาย	2,121	1,969	794	4,884	
สงขลา	2,874	285	642	3,801	
จันทบุรี	2,023	1,203	446	3,672	**** นิมมานรดี เกตุเดชา,2556
นครศรีธรรมราช	2,542	653	57	3,252	
สุรินทร์ *	4,366	363	648	5,377	การศึกษาในครั้งนี้
สุรินท์,ทางทฤษฎี**	2,217	2,171	329	4,717	

สรุปผลการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยใช้ค่าความต้องการน้ำของยางพาราจากโปรแกรมCROPWAT8.0 จาการเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในงานวิจัยอื่น ๆ แสดงดังรูปที่ 5-2 และตารางที่ 5-4 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ กาฬสินธุ์ และหนองคาย มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) ค่าสภาพภูมิอากาศที่มีความแตกต่างกัน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ต่ำกว่าภาคใต้ และค่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการเพาะปลูก เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่นำไปใช้ในการคำนวณความต้องการน้ำของพืช เมื่อเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา จ.สุรินทร์กับภาคใต้ พบว่ามีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวสูงกว่าภาคใต้และมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมสูงกว่า แม้จะมีการใช้น้ำในการเพาะปลูกน้อยกว่าแต่มีสัดส่วนของผลผลิตน้อยกว่าภาคใต้และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ในพื้นที่ศึกษามีค่าใกล้เคียงกับการปลูกยางพาราในจังหวัดหวัดบุรีรัมย์ในงานวิจัยของขนิษฐา มีวาสนา,2560 ทั้งนี้อาจเกี่ยวเนื่องจากสภาพอากาศที่คล้ายคลึงกัน เมื่อมีการให้น้ำอย่างเหมาะสมตามทฤษฎี ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินสูงกว่าภาคใต้เนื่องจากสภาพอากาศทำให้ความต้องการน้ำมากขึ้นเมื่อปริมาณฝนตกน้อยฝนใช้การจึงไม่เพียงพอทำให้มีความจำเป็นต้องให้น้ำชลประทานมากขึ้นเมื่อมีการให้น้ำอย่างเหมาะสมตามทฤษฎีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่าน้อยลง

จากผลการศึกษาสามารถสะท้อนให้เห็นประเด็นที่สามารถลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ได้แก่ การตรวจสอบธาตุอาหารในดิน ผสมปุ๋ยตามความเหมาะสม การปลูกพืชแซมยางเช่น พืชตระกูลถั่วเพื่อตรึงไนโตรเจนในดิน นอกจากนี้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการเพาะปลูกสามารถลดได้โดยการเพิ่มผลผลิต การเพิ่มผลผลิตของยางพาราสามารถทำได้หลากหลายวิธี ได้แก่ การจัดการสวนยางพาราอย่างเหมาะสมดูแลไม่ให้วัชพืชขึ้นรกเนื่องจากทำให้ต้นยางขาดธาตุอาหารที่จำเป็นในการผลิตน้ำยางพารา กำหนดระยะปลูกยางพาราตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยยาง การปลูกพืชแซมยางเช่นพืชตระกูลถั่ว และใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์อย่างเหมาะสม ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อผลผลิตของยางพารา

6. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาปริมาณความต้องการน้ำของระบบปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา จังหวัดสุรินทร์ด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0 พบว่ามีปริมาณความต้องการน้ำเฉลี่ย 1,543 มิลลิเมตร/ปี เป็นฝนใช้การเฉลี่ย 919 มิลลิเมตร/ปี และต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ย 679 มิลลิเมตร/ปี เกษตรส่วนมากจะให้น้ำในช่วง 1-2 ปีแรกเพื่อไม่ให้ต้นยางเล็กยืนต้นตายจากนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่พึ่งพาน้ำฝนเป็นหลัก

สำหรับปริมาณผลผลิตในพื้นที่ศึกษามีเกษตรกรที่ไม่ให้น้ำในการเพาะปลูก (93.33%) มีผลผลิตของน้ำยางยางพาราสดตลอดอายุต้นยาง 6.36 ตัน/ไร่ และเกษตรกรที่มีการให้น้ำชลประทานในฤดูแล้ง (6.67%) มีผลผลิตเฉลี่ยของยางพาราสดตลอดอายุต้นยางมากขึ้นเป็น 12.52 ตัน/ไร่ แต่ยังต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในภาคตะวันออกและภาคใต้ร้อยละ 15 และ 54 ตามลำดับ

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพื้นที่ศึกษากรณีที่เกษตรกรไม่มีการให้น้ำชลประทานหลังจากปีที่ 2 มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม 5,377 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด ซึ่งแบ่งเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว 4,366 ลูกบาศก์เมตร/ตัน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน 363 ลูกบาศก์เมตร/ตัน และวอเตอร์ฟุต-พริ้นท์สีเทา 648 ลูกบาศก์เมตร/ตัน สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตามทฤษฎีของพื้นที่ศึกษา (กรณีมีการให้น้ำชลประทานในฤดูแล้ง) มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมเป็น 4,717 ลูกบาศก์เมตร/ตัน แบ่งเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว 2,217 ลูกบาศก์เมตร/ตัน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน 2,171 ลูกบาศก์เมตร/ตัน และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา 329 ลูกบาศก์เมตร/ตัน

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการเพาะปลูกยางพาราสามารถลดลงได้ด้วยการเพิ่มผลผลิตและการเพิ่มเทคโนโลยีการให้น้ำเพื่อลดการใช้น้ำชลประทานเกินความต้องการของยางพารา ผลผลิตของยางพาราสามารถเพิ่มขึ้นด้วยหลายปัจจัยได้แก่ การจัดการสวนยางพาราอย่างเหมาะสมไม่ปล่อยให้วัชพืชขึ้นรกแย่งสารอาหารของยางพารา ใส่ปุ๋ยหรือผสมปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร และวางแนวเพาะปลูกยางพาราอย่างเหมาะสม

6.2 ข้อเสนอแนะ

1.ควรมีการติดตามการให้น้ำชลประทานจริงในสวนยางพารา และติดตามผลว่าเมื่อมีการให้น้ำชลประทานเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าผลผลิตของยางพาราในพื้นที่ศึกษามีค่าเพิ่มขึ้น

2.ควรติดตามผลผลิตในปีที่มีฝนตกมากมีความแตกต่างจากปริมาณปีที่มีฝนตกน้อย

3.ควรมีการตรวจสอบธาตุอาหารในดินที่เหมาะสม เนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของดินส่งผลต่อผลผลิตของยางพารา

7. บรรณานุกรม

ขนิษฐา มีวาสนา. 2556. **การศึกษาเปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของยางพาราแผ่นที่ผลิตในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

จำนง คงศิลป์. 2546. **คำแนะนำการปลูกยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ และธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการ ผลิตเอทานอลมันสำปะหลังในประเทศไทย. **วิศวกรรมสาร มก.**24(75):41-52

ดวงพร พันธุ์สาคร. 2562. **การประมาณงบดุลน้ำของการเพาะปลูกพืช โดยใช้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์บริเวณลุ่มน้ำที่สูง จังหวัดนาน.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการ จัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อมป่าไม้ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

นุชนารถ กังพิสดาร. 2554. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยยางพารา ปี 2554**. สถาบันวิจัยยาง กรม วิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงทพฯ.

นิสา พักตร์วิไล สามารถ พรเจริญ และ วารินทร์ เวียงรัตน์. 2562. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยใช้โปรแกรมCROPWAT8.0 จากการเพาะปลูกมะยงชิด: กรณีศึกษาตำบลป่าขะ อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก. **วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์** 14(1):100-109.

นิมมานรดี เกตุเดชา. 2556. **การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูปกรณีศึกษา: จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วรณี แพ่งจันทึก และ จิตติ มังคละศิริ. 2557. การศึกษาเปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันในพื้นที่จังหวัดปทุมธานีและชลบุรี. **Research and Development Journal** 25(1): 118-120.

วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2559. **Water Footprint นวัตกรรมเพื่อปลุกจิตสำนึกคนไทยให้รู้คุณค่าทรัพยากรน้ำ.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.

สุเมธ ลิ่มมณีธร สายัณห์ สดุดี และ อิบรอเฮม ยีดำ. 2550. ผลของการให้น้ำต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและผลผลิตน้ำยางของยางพารา (Hevea brasiliensis) ช่วงฤดูแล้ง. **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 29(3): 601-613.

สมบูรณ์ เจริญจิระตระกูล. 2554. **การขยายพื้นที่ปลูกยางพารา:ประเด็นห่วงใยและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย**. รายงานการวิจัย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ.

สถาบันวิจัยยาง. 2561. **ข้อมูลวิชาการยางพารา ปี 2561**. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. 2548. **เอกสารวิชาการยางพารา.** กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ.

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2552. **การใช้น้ำของพืช ทฤษฎีและการประยุกต์**. ภาควิชาวิศวรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.

แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดสุรินทร์ . 2562. **แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดสุรินทร์ 4 ปี พ.ศ.2561-2564 ฉบับทบทวน.** แหล่งที่มา : **http://www.surin.go.th/index.php/**

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1984. **Crop water requirement – guideline for predicting crop water requirement**. FAO irrigation and drainage paper 24. Rome, Italy.

Khanittha Chaibandit, Supasit Konyai and Donald C. Slack. 2016. Evaluation of the Water Footprint of Sugarcane in Eastern Thailand. **Engineering Journal** 21(5): 193-201.

M. M. Mekonnent and A.Y. Hoekstra. 2010. **The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products.** Value of water research series no.48. Netherlands.

M. M. Mekonnent and A. Y. Hoekstra. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology and Earth System Sciences** 15:1577-1600.

8. ภาคผนวก

ก.การคำนวณการใช้น้ำของพืชด้วยโปรแกรม CROPWAT8.0

การคำนวณความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Use: CWU) คำนวณได้จากค่าสะสมการคายระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration: ET) ตลอดช่วงอายุพืช (Length of growing period: lgp)

1.CROPWAT8.0 ส่วน Climate/ETo ข้อมูลที่ต้องใช้ ได้แก่

1.1 Altitude, Latitude และLongitude

1.2 ค่าสูงสุด-ต่ำสุดของภูมิอากาศรายเดือน (°C)

1.3 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรายเดือน (เปอร์เซ็นต์, %)

1.4 ช่วงเวลาที่มีแสงแดดในแต่ละวัน (ชั่วโมง)

1.5 ค่าความเร็วลม (กิโลเมตร/วัน)

Monthly ETo Penman-Monteith - C:\Users\User\Desktop\My_CLIMWAT_Files\Climate2538.PEM

Country: Location 64 Station: SURIN 2562

Altitude: 147 m. Latitude: 14.88 °N Longitude: 103.50 °E

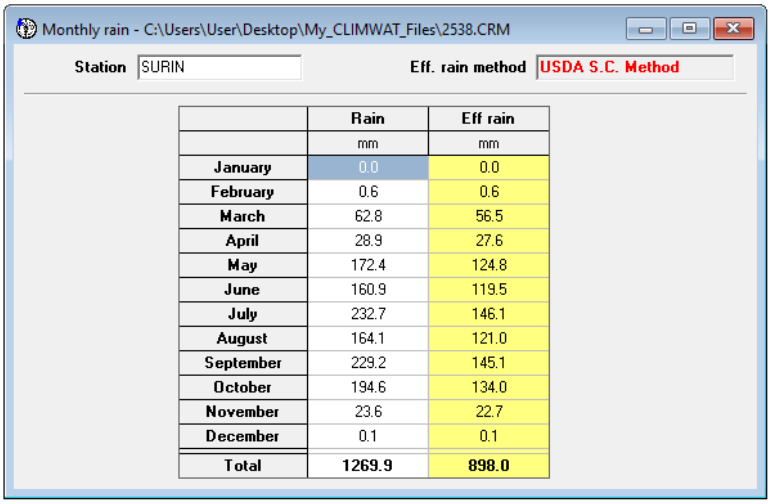
Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m²/day	mm/day
January	11.8	34.5	63	98	8.7	18.9	4.01
February	12.5	36.7	60	111	8.8	20.6	4.73
March	18.1	38.0	62	93	8.2	21.3	4.95
April	23.2	39.0	67	93	8.3	22.3	5.44
May	23.2	37.3	75	102	7.7	21.3	5.15
June	24.1	36.5	77	125	6.7	19.6	4.86
July	22.9	34.8	82	116	5.7	18.1	4.29
August	23.2	34.1	84	111	5.8	18.3	4.21
September	22.5	32.6	85	80	5.6	17.6	3.85
October	20.0	33.5	81	129	7.2	18.7	4.18
November	15.0	33.6	74	138	7.7	17.8	4.10
December	11.7	33.1	68	187	8.1	17.5	4.34
Average	19.0	35.3	73	115	7.4	19.3	4.51

รูปที่ 8-1 แสดงการใส่ข้อมูลสภาพอากาศ

ตัวอย่างการกรอกข้อมูลสภาพภูมิอากาศลงในโปรแกรมCROPWAT8.0 จังหวัดสุรินทร์ โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ปีพ.ศ.2538 รหัสสถานี 432201แสดงในรูปที่ 8-1 โปรแกรมที่คำนวณออกมาจะได้ค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration: ETo) และพลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (mean solar radiation: Rad)

2.CROPWAT8.0 ส่วนของ Rain ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)

สำหรับค่าที่ได้จะเป็นปริมาณฝนใช้การ (Effective rainfall: Eff_{rain}) แสดงในรูปที่ 8-2



	Rain	Eff rain
	mm	mm
January	0.0	0.0
February	0.6	0.6
March	62.8	56.5
April	28.9	27.6
May	172.4	124.8
June	160.9	119.5
July	232.7	146.1
August	164.1	121.0
September	229.2	145.1
October	194.6	134.0
November	23.6	22.7
December	0.1	0.1
Total	1269.9	898.0

รูปที่ 8-2 แสดงการใส่ข้อมูลปริมาณน้ำฝน

3.CROPWAT8.0 ส่วนของ Crop

ได้แก่

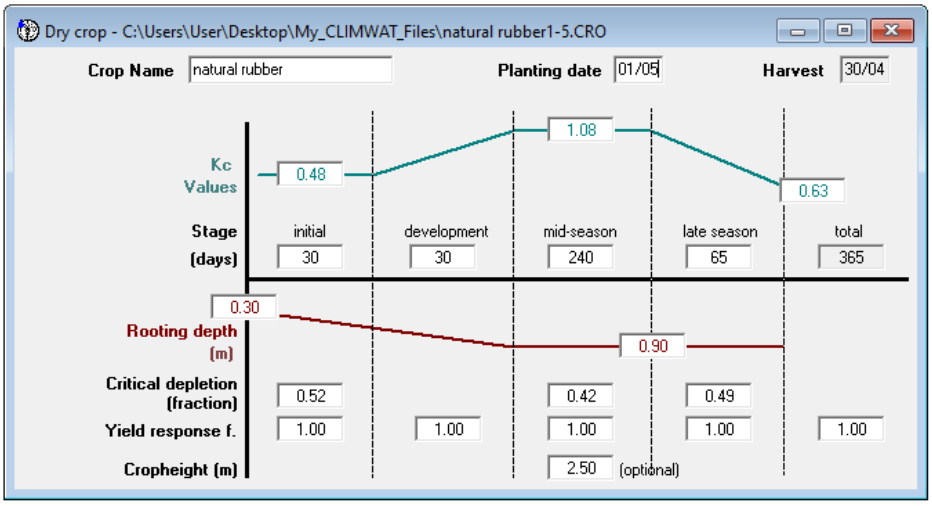
3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) $K_{c,initial}$ = 0.48, $K_{c,mid}$ = 1.08, $K_{c,late}$=0.63

3.2 ค่า Stage หรือระยะการเจริญเติบโต initial = 30 วัน, development = 30 วัน, mid-season = 240 วัน, late season = 65 วัน

3.3 ค่า Rooting depth หรือความยาวราก 1-15 ปี = 0.3-0.9 เมตร ช่วง, 16-25 ปี = 1-1.5 เมตร

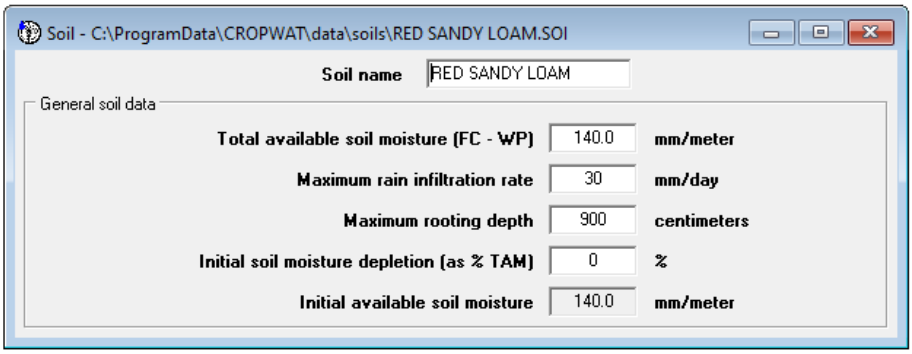
3.4 ค่า Critical depletion factor หรือสัดส่วนน้ำที่พืชใช้ได้ คำนวณจากค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ETo, ค่าน้ำฝน และการใช้น้ำของพืช (ETc)แสดงในตารางที่ 8-1

3.5 ค่า Yield response factor =1ตาม FAO,2010



รูปที่ 8-3 แสดงการใส่ข้อมูลCrop

4. CROPWAT8.0 ส่วนของ Soil



รูปที่ 8-4 แสดงการใส่ข้อมูลดิน

การคำนวณค่า Critical depletion factor (P)

การคำนวณค่า Critical depletion factor แต่ละช่วง

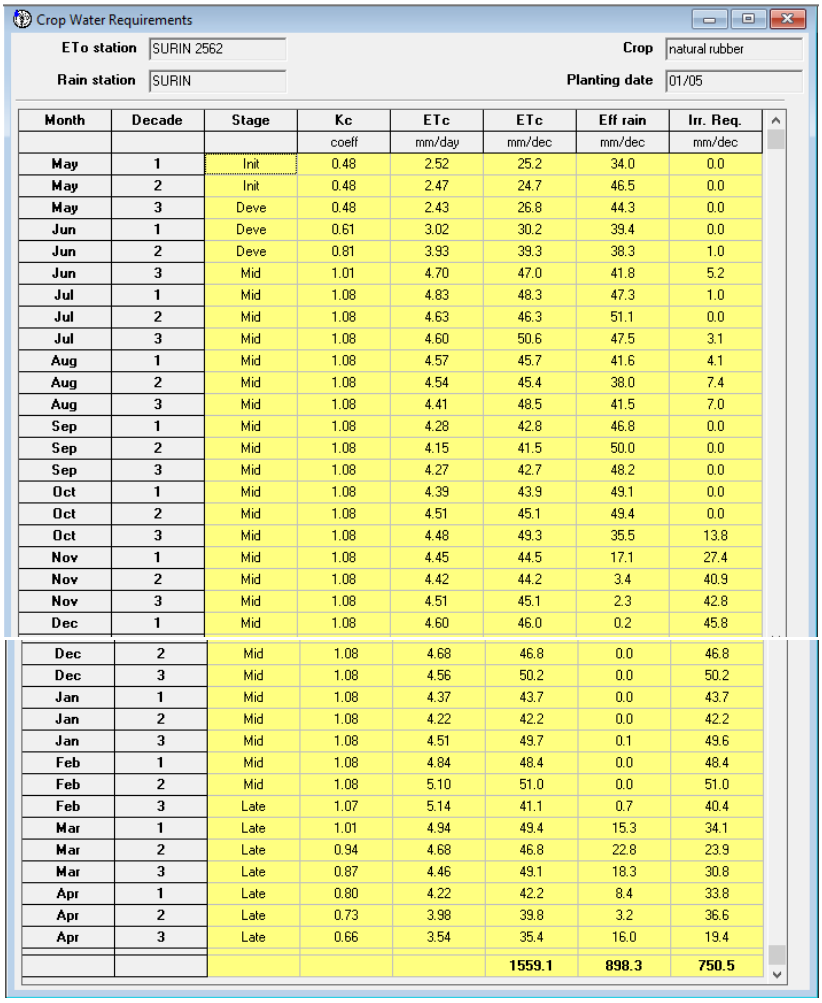
โดยสมการ $P = P_{table}+[0.04x(5-ETc)]$

โดย P_{table} = 0.40 (FAO Irrigation and Drainage Paper, 1998

ตารางที่ 8-1 การคำนวน Critical depletion factor

ลำดับที่	ปี	ETo	Crop coeffcient Kc				ETc				Critical depth factor			
			Kc,in	Kc,dev	Kc,mid	Kc,late	ETc,in	ETc,dev	ETc,mid	ETc,late	P,in	P,dev	P,mid	P,late
1	2538	3.94	0.48	0.89	1.08	0.63	1.9	3.5	4.3	2.5	0.52	0.46	0.43	0.50
2	2539	4.00	0.48	0.89	1.08	0.63	1.9	3.6	4.3	2.5	0.52	0.46	0.43	0.50
3	2540	5.05	0.48	0.89	1.08	0.63	2.4	4.5	5.5	3.2	0.50	0.42	0.38	0.47
4	2541	3.98	0.48	0.89	1.08	0.63	1.9	3.5	4.3	2.5	0.52	0.46	0.43	0.50
5	2542	4.09	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.6	4.4	2.6	0.52	0.45	0.42	0.50
6	2543	3.84	0.48	0.89	1.08	0.63	1.8	3.4	4.1	2.4	0.53	0.46	0.43	0.50
7	2544	3.98	0.48	0.89	1.08	0.63	1.9	3.5	4.3	2.5	0.52	0.46	0.43	0.50
8	2545	3.84	0.48	0.89	1.08	0.63	1.8	3.4	4.1	2.4	0.53	0.46	0.43	0.50
9	2546	5.43	0.48	0.89	1.08	0.63	2.6	4.8	5.9	3.4	0.50	0.41	0.37	0.46
10	2547	4.19	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.7	4.5	2.6	0.52	0.45	0.42	0.49
11	2548	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
12	2549	4.05	0.48	0.89	1.08	0.63	1.9	3.6	4.4	2.6	0.52	0.46	0.43	0.50
13	2550	4.01	0.48	0.89	1.08	0.63	1.9	3.6	4.3	2.5	0.52	0.46	0.43	0.50
14	2551	4.06	0.48	0.89	1.08	0.63	1.9	3.6	4.4	2.6	0.52	0.46	0.42	0.50
15	2552	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
16	2553	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
17	2554	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
18	2555	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
19	2556	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
20	2557	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
21	2558	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
22	2559	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
23	2560	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
24	2561	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
25	2562	4.24	0.48	0.89	1.08	0.63	2.0	3.8	4.6	2.7	0.52	0.45	0.42	0.49
average		4.21	0.48	0.89	1.08	0.63	2.02	3.75	4.55	2.65	0.52	0.45	0.42	0.49

5.CROPWAT8.0 ส่วนของการแสดงผลการคำนวณ



Crop Water Requirements

ETo station: SURIN 2562 | Crop: natural rubber

Rain station: SURIN | Planting date: 01/05

Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
May	1	Init	0.48	2.52	25.2	34.0	0.0
May	2	Init	0.48	2.47	24.7	46.5	0.0
May	3	Deve	0.48	2.43	26.8	44.3	0.0
Jun	1	Deve	0.61	3.02	30.2	39.4	0.0
Jun	2	Deve	0.81	3.93	39.3	38.3	1.0
Jun	3	Mid	1.01	4.70	47.0	41.8	5.2
Jul	1	Mid	1.08	4.83	48.3	47.3	1.0
Jul	2	Mid	1.08	4.63	46.3	51.1	0.0
Jul	3	Mid	1.08	4.60	50.6	47.5	3.1
Aug	1	Mid	1.08	4.57	45.7	41.6	4.1
Aug	2	Mid	1.08	4.54	45.4	38.0	7.4
Aug	3	Mid	1.08	4.41	48.5	41.5	7.0
Sep	1	Mid	1.08	4.28	42.8	46.8	0.0
Sep	2	Mid	1.08	4.15	41.5	50.0	0.0
Sep	3	Mid	1.08	4.27	42.7	48.2	0.0
Oct	1	Mid	1.08	4.39	43.9	49.1	0.0
Oct	2	Mid	1.08	4.51	45.1	49.4	0.0
Oct	3	Mid	1.08	4.48	49.3	35.5	13.8
Nov	1	Mid	1.08	4.45	44.5	17.1	27.4
Nov	2	Mid	1.08	4.42	44.2	3.4	40.9
Nov	3	Mid	1.08	4.51	45.1	2.3	42.8
Dec	1	Mid	1.08	4.60	46.0	0.2	45.8
Dec	2	Mid	1.08	4.68	46.8	0.0	46.8
Dec	3	Mid	1.08	4.56	50.2	0.0	50.2
Jan	1	Mid	1.08	4.37	43.7	0.0	43.7
Jan	2	Mid	1.08	4.22	42.2	0.0	42.2
Jan	3	Mid	1.08	4.51	49.7	0.1	49.6
Feb	1	Mid	1.08	4.84	48.4	0.0	48.4
Feb	2	Mid	1.08	5.10	51.0	0.0	51.0
Feb	3	Late	1.07	5.14	41.1	0.7	40.4
Mar	1	Late	1.01	4.94	49.4	15.3	34.1
Mar	2	Late	0.94	4.68	46.8	22.8	23.9
Mar	3	Late	0.87	4.46	49.1	18.3	30.8
Apr	1	Late	0.80	4.22	42.2	8.4	33.8
Apr	2	Late	0.73	3.98	39.8	3.2	36.6
Apr	3	Late	0.66	3.54	35.4	16.0	19.4
					1559.1	898.3	750.5

รูปที่ 8-5 แสดงการแสดงผลข้อมูลในโปรแกรมCROPWAT8.0

6.หาการคายระเหยน้ำของพืช (ET) และปริมาณการใช้น้ำของพืช (CWU)

6.1 ค่าการคายระเหยน้ำสีเขียว (Green water evapotranspiration: ET_{green})

$$ET_{green} = \min (ET_c, \text{Eff rain})$$

โดย Eff rain = ปริมาณฝนใช้การ (มิลลิเมตร)

นำค่า ET_{green} มาคำนวณ CWU_{green} จากสมการปริมาณน้ำที่พืชใช้ (CWU) โดย 1.6 เป็นค่าการเปลี่ยนหน่วยจากมิลลิเมตร เป็นลูกบาศก์เมตร/ไร่

$$\mathbf{CWU_{Green}} = 1.6 \sum_{\mathbf{d=1}}^{\mathbf{lgp}} \mathbf{ET_{Green}}$$

6.2 ค่าการคายระเหยน้ำชลประทาน (Blue evapotranspiration: ET_{blue}) โดยค่าการคายระเหยน้ำชลประทานมีค่าเท่ากับผลต่าของความต้องการน้ำของพืชกับปริมาณฝนใช้การ

$$ET_{blue}=\max (0, ETc\text{-}Eff\ rain)$$

นำค่า ET_{blue} มาคำนวณ CWU_{blue} จากสมการปริมาณน้ำที่พืชใช้ (CWU) โดย 1.6 เป็นค่าการเปลี่ยนหน่วยจากมิลลิเมตร เป็นลูกบาศก์เมตร/ไร่

$$\mathbf{CWU_{blue}} = 1.6 \sum_{\mathbf{d=1}}^{\mathbf{lgp}} \mathbf{ET_{blue}}$$

ตารางที่ 8-2 แสดงการคำนวณหาค่าการคายระเหยน้ำของปี พ.ศ.2538

Month	Decade	Stage	ETo mm/dec	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec	ET_{green} mm/dec	ET_{blue}** mm/dec	ET_{blue}* mm/dec
Jun	1	Init	40.5	0.48	2.38	23.8	39.4	0	23.8	0.00	0.00
Jun	2	Init	40.5	0.48	2.33	23.3	38.3	0	23.3	0.00	0.00
Jun	3	Init	40.5	0.48	2.24	22.4	41.8	0	22.4	0.00	0.00
Jul	1	Deve	47.6	0.59	2.65	26.5	47.3	0	26.5	0.00	0.00
Jul	2	Deve	47.6	0.79	3.4	34	51.1	0	34	0.00	0.00
Jul	3	Mid	52.4	1	4.27	47	47.5	0	47	0.00	0.00
Aug	1	Mid	49.5	1.08	4.59	45.9	41.6	4.4	41.6	4.30	4.30
Aug	2	Mid	49.5	1.08	4.56	45.6	38	7.6	38	7.60	7.60
Aug	3	Mid	54.5	1.08	4.43	48.8	41.5	7.3	41.5	7.30	7.30
Sep	1	Mid	54.4	1.08	4.3	43	46.8	0	43	0.00	0.00
Sep	2	Mid	54.4	1.08	4.17	41.7	50	0	41.7	0.00	0.00
Sep	3	Mid	54.4	1.08	4.29	42.9	48.2	0	42.9	0.00	0.00
Oct	1	Mid	51.5	1.08	4.41	44.1	49.1	0	44.1	0.00	0.00
Oct	2	Mid	51.5	1.08	4.53	45.3	49.4	0	45.3	0.00	0.00
Oct	3	Mid	56.6	1.08	4.51	49.6	35.5	14.1	35.5	14.10	14.10
Nov	1	Mid	48.6	1.08	4.48	44.8	17.1	27.6	17.1	27.70	27.70
Nov	2	Mid	48.6	1.08	4.45	44.5	3.4	41.1	3.4	41.10	41.10
Nov	3	Mid	48.6	1.08	4.52	45.2	2.3	43	2.3	42.90	42.90
Dec	1	Mid	42.9	1.08	4.6	46	0.2	45.8	0.2	45.80	45.80
Dec	2	Mid	42.9	1.08	4.68	46.8	0	46.8	0	46.80	46.80
Dec	3	Mid	47.2	1.08	4.58	50.4	0	50.4	0	50.40	50.40
Jan	1	Mid	42.1	1.08	4.41	44.1	0	44.1	0	44.10	44.10
Jan	2	Mid	42.1	1.08	4.28	42.8	0	42.8	0	42.80	42.80
Jan	3	Mid	46.3	1.08	4.57	50.3	0.1	50.2	0.1	50.20	50.20
Feb	1	Mid	38.5	1.08	4.9	49	0	49	0	49.00	49.00
Feb	2	Mid	38.5	1.08	5.16	51.6	0	51.6	0	51.60	51.60
Feb	3	Mid	30.8	1.08	5.23	41.8	0.7	41.1	0.7	41.10	41.10
Mar	1	Mid	41.8	1.08	5.3	53	15.3	37.7	15.3	37.70	37.70
Mar	2	Mid	41.8	1.08	5.37	53.7	22.8	30.8	22.8	30.90	30.90
Mar	3	Late	46.0	1.08	5.51	60.6	18.3	42.3	18.3	42.30	42.30
Apr	1	Late	41.0	1.01	5.35	53.5	8.4	45.1	8.4	45.10	45.10
Apr	2	Late	41.0	0.94	5.12	51.2	3.2	48	3.2	48.00	48.00
Apr	3	Late	41.0	0.87	4.64	46.4	16	30.3	16	30.40	30.40
May	1	Late	43.2	0.8	4.17	41.7	34	7.6	7.6	7.70	7.70
May	2	Late	43.2	0.72	3.71	37.1	46.5	0	0	0.00	0.00
May	3	Late	47.4	0.65	3.26	35.8	44.3	0	0	0.00	0.00
		SUM	1648.99	34.73	155.35	1574.5	898.3	808.7	666	808.9	808.9

* จากการสัมภาษณ์เมื่อไม่มีการให้น้ำในหน้าแล้ง

** จากการคำนวณด้วยโปรแกรมCROPWAT8

ตารางที่ 8-3 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

ลำดับที่	ปี พ.ศ.	ETo	ETc	Effect Rain	Irr.Req.	ET_{Green}	ET_{Blue}**	ETblue*	ETc	ETo	CWU_{green}	CWU_{blue}**	CWU_{blue}*
		mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec	m^3/ไร่	m^3/ไร่	m^3/ไร่	m^3/ไร่	m^3/ไร่
1	2538	1649.0	1574.5	898.3	808.7	666	808.9	808.9	2519.2	2638.4	1065.6	1294.2	1294.24
2	2539	1614.4	1533.3	937.4	632.7	748.9	632.8	632.8	2453.28	2583.0	1198.2	1012.5	1012.48
3	2540	1592.6	1514.5	937.4	619.2	744	619.1	0	2423.2	2548.1	1190.4	990.6	0
4	2541	1662.6	1588.2	862.4	743.9	634.6	744.2	0	2541.12	2660.1	1015.4	1190.7	0
5	2542	1597.9	1492.3	1050.7	514.2	742.5	514.2	0	2387.68	2556.6	1188.0	822.7	0
6	2543	1583.2	1488.3	1058	501.9	864.1	501.9	0	2381.28	2533.1	1382.6	803.0	0
7	2544	1571.7	1472.9	954.3	544.3	756.7	544.4	0	2356.64	2514.6	1210.7	871.0	0
8	2545	1577.2	1481.6	1002	578.2	736.2	578.6	0	2370.56	2523.5	1177.9	925.8	0
9	2546	1576.5	1468.9	933.9	616.4	706.2	616.5	0	2350.24	2522.4	1129.9	986.4	0
10	2547	1553.8	1452.5	851.3	688	669.9	687.9	0	2324	2486.1	1071.8	1100.6	0
11	2548	1606.1	1506.5	834	751.1	625.5	751.1	0	2410.4	2569.7	1000.8	1201.8	0
12	2549	1580.4	1456.5	987	531.7	721.9	531.8	0	2330.4	2528.6	1155.0	850.9	0
13	2550	1572.1	1440.9	962.1	574.7	637.5	574.7	0	2305.44	2515.3	1020.0	919.5	0
14	2551	1606.8	1472.8	921.4	629	630.7	629.5	0	2356.48	2570.9	1009.1	1007.2	0
15	2552	1665.0	1571.9	1018.8	587.2	837.4	587.5	0	2515.04	2663.9	1339.8	940	0
16	2553	1683.4	1595.4	896.8	736.4	630.4	736.6	0	2552.64	2693.4	1008.64	1178.56	0
17	2554	1715.8	1646.6	1049.2	664.5	737	664.3	0	2634.56	2745.2	1179.2	1062.88	0
18	2555	1652.9	1557.5	766.5	804.4	639.1	804.4	0	2492	2644.7	1022.56	1287.04	0
19	2556	1687.6	1612.7	901.3	775.3	668.1	775.4	0	2580.32	2700.2	1068.96	1240.64	0
20	2557	1691.3	1600	910.7	715.6	619	715.5	0	2560	2706.1	990.4	1144.8	0
21	2558	1708.4	1660.7	840.3	846.6	684	846.4	0	2657.12	2733.5	1094.4	1354.24	0
22	2559	1763.6	1682.4	897.4	803.7	668.6	803.8	0	2691.84	2821.8	1069.76	1286.08	0
23	2560	1689.7	1609.9	926	722.3	728	722.1	0	2575.84	2703.5	1164.8	1155.36	0
24	2561	1630.0	1535.9	823.6	734.2	666.1	734.6	0	2457.44	2608.0	1065.76	1175.36	0
25	2562	1646.8	1545.9	754.5	883.5	563.3	883.8	0	2473.44	2634.9	901.28	1414.08	0
	SUM	40878.6	38562.6	22975.3	17007.7	17325.7	17010	1441.7	61700.16	65405.8	27721.1	27216.0	2306.7

* จากการสัมภาษณ์เมื่อไม่มีการให้น้ำในหน้าแล้ง

** จากการคำนวณด้วยโปรแกรมCROPWAT8

7.การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

7.1 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (Green water footprint) สามารถคำนวณได้จาก

สมการ $$\mathrm{WF_{Green,Blue}} = \frac{\mathrm{CWU_{Green,Blue}}}{\gamma}$$

โดย γ = ปริมาณผลผลิต ตัน/ไร่

แสดงการคำนวณ Green water footprint (กรณีไม่มีการให้น้ำ) = 27,721.1/6.36

= 4,361 ลบ.ม./ตันน้ำยางสด

Green water footprint (ตามทฤษฎี) = 27,721.1/12.52

= 2,215 ลบ.ม./ตันน้ำยางสด

7.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (Blue water footprint) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\mathrm{WF_{Green,Blue}} = \frac{\mathrm{CWU_{Green,Blue}}}{\gamma}$$

โดย γ = ปริมาณผลผลิต ตัน/ไร่

แสดงการคำนวณ Blue water footprint (กรณีไม่มีการให้น้ำ) = 2,306.7/6.36

= 363 ลบ.ม./ตันน้ำยางสด

Blue water footprint (ตามทฤษฎี) = 27,216/12.52

= 2,174 ลบ.ม./ตันน้ำยางสด

7.3 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Gray water footprint) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\mathrm{WF_{Grey}} = \frac{(\alpha \mathrm{xAR})/(\mathrm{C_{max}} - \mathrm{C_{nat}})}{\gamma}$$

โดย สัดส่วนการชะล้างปุ๋ยลงสู่แม่น้ำ (α) เท่ากับ 10%ของอัตราการใช้ปุ๋ย (AR) ที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็นกิโลกรัม/ไร่

ความเข้มข้นของมลพิษสูงสุดที่ยอมรับได้ (C_{max}) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร

ความเข้มข้นของมลพิษตาธรรมชาติ (C_{nat}) มีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัม/ลิตร

แสดงการคำนวณ

WF_{Gray}(กรณีไม่มีการให้น้ำ) = [(10%x246.02 x1000 กรัม/ไร่)/(5x10^{-3}กรัม/ลิตร)]/6.36

= (4,115.9 ลบ.ม./ไร่)/6.36

= 648 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด

WF_{Gray}(มีการให้น้ำชลประทาน) = [(10%x246.02 x1000 กรัม/ไร่)/(5x10^{-3}กรัม/ลิตร)]/12.52

= (4,115.9 ลบ.ม./ไร่)/12.52

= 329 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด

ข.แบบสัมภาษณ์ของมูลการเพาะปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา

แบบสัมภาษณ์ การเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรในการปลูกยางพารา จังหวัดสุรินทร์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อเจ้าของสวน/ผู้ดูแลสวน .....

พื้นที่สวนยางพารา ..... ไร่ (ระยะปลูก .....)

ปริมาณผลผลิต ..... กิโลกรัม/ปี

พืชเดิมก่อนการปลูกยางพารา .....

เดือนที่เริ่มลงกล้า ..... อายุต้นยาง ..... ปี

ส่วนที่ 2 การใช้น้ำ

2.1 ก่อนการเปิดกรีดยางพารา (ก่อนได้ผลผลิต)

แหล่งที่มาของน้ำ

O น้ำฝน O บ่อขุด O น้ำบาดาล

O น้ำประปา O น้ำจากโครงการชลประทาน

วิธีการให้น้ำ

O สูบน้ำจากแหล่งน้ำ กำลังของเครื่องสูบน้ำ ..... แรงม้า

ให้น้ำเป็นเวลา ..... ชั่วโมง

O น้ำประปา ให้น้ำเป็นเวลา ..... ชั่วโมง

O หาบน้ำรด

O ใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียว

2.2 หลังการเปิดกรีดยางพารา

แหล่งที่มาของน้ำ

O น้ำฝน O บ่อขุด O น้ำบาดาล

O น้ำประปา Oน้ำจากโครงการชลประทาน

วิธีการให้น้ำ

O สูบน้ำจากแหล่งน้ำ กำลังของเครื่องสูบน้ำ ..... แรงม้า

ให้น้ำเป็นเวลา ..... ชั่วโมง

O น้ำประปา ให้น้ำเป็นเวลา ..... ชั่วโมง

O หาบน้ำรด

O ใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียว

ส่วนที่ 3 การใช้ปุ๋ย

3.1 ก่อนการเปิดกรีดยางพารา (ก่อนได้ผลผลิต)

สูตรปุ๋ยรองก้นหลุม ..... ปริมาณที่ใช้ ..... กิโลกรัม/หลุม

สูตรปุ๋ยที่ใช้ ..... ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ ..... กิโลกรัม/ไร่/ปี ใส่ปุ๋ยปีละ ..... ครั้ง

ปุ๋ยอินทรีย์ ..... กิโลกรัม/ต้น ใส่ปุ๋ยอินทรีปีละ ..... ครั้ง

3.2 หลังการเปิดกรีดยางพารา

สูตรปุ๋ยที่ใช้ ..... ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ ..... กิโลกรัม/ไร่/ปี ใส่ปุ๋ยปีละ ..... ครั้ง

ปุ๋ยอินทรีย์ ..... กิโลกรัม/ต้น ใส่ปุ๋ยอินทรีปีละ ..... ครั้ง

ส่วนที่ 4 การใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช

4.1 ก่อนการเปิดกรีดยางพารา (ก่อนได้ผลผลิต)

○ พาราควอท (กรัมม๊อกโซน) ○ ไกลโฟเสท (ราวด์อัพ)

○ ซัลโฟเสท ○ ดาลาพอน

ปริมาณสารเคมี ..... ลิตร ผสมน้ำ ..... ลิตร

ช่วงเวลาที่กำจัดวัชพืช .....

○ ไม่มีการใช้สารเคมีในการกำจัดวัชพืช

4.2 หลังการเปิดกรีดยางพารา

○ พาราควอท (กรัมม๊อกโซน) ○ ไกลโฟเสท (ราวด์อัพ)

○ ซัลโฟเสท ○ ดาลาพอน

ปริมาณสารเคมี ..... ลิตร ผสมน้ำ ..... ลิตร

ช่วงเวลาที่กำจัดวัชพืช ..... จำนวน ..... ครั้ง/ปี

○ ไม่มีการใช้สารเคมีในการกำจัดวัชพืช

ค.สรุปแบบสอบถามจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ศึกษา

(93.33% ไม่มีการให้น้ำในฤดูแล้ง)

ลำดับที่	พันธุ์ยาง	พื้นที่(ไร่)	อายุต้นยาง	จำนวนต้น	จำนวนต้น/ไร่	ระยะปลูก	ปริมาณผลผลิต	าณผลผลิตปีที่ไม่ กก./ปี	ปริมาณผลผลิต กก/ไร่/ปี	ปริมาณผลผลิตปีที่ไม่แล้ง กก/ไร่/ปี	ลผลิตตลอดอายุ ต้น/ไร่	ปุ๋ยก่อนได้ผลผลิต 7ปี (กก./ปี)					สารเคมีกำจัดวัชพืช		ปุ๋ยหลังได้ผลผลิต 18 ปี (กก./ปี)					
												46-0-0	27-7-7	20-10-12	20-8-2	ปุ๋ยอินทรีย์	พาราควอ	ไกลโฟเส	15-15-15	16-16-16	27-7-7	20-8-20	20-10-12	ปุ๋ยอินทรีย์
1	RRIM600	5.07	17	360	71	3x7	1300	2028	256	400	6.34		150			360	0.3			150				360
2	RRIM600	3.26	13	270	83	3x6	1000	1304	307	400	6.64	100				270					100			270
3	RRIM600	14.22	10	1294	91	3x5	3200	5688	225	400	6.15	500				2588					500			2588
4	RRIM600	8.16	15	750	92	3x5	2300	3264	282	400	6.49			250		750		0.3	250					750
5	RRIM600	4	14	340	85	3x6	1200	1600	300	400	6.60	150				340				150				340
6	RRIM600	5.43	10	460	85	3x6	1200	2172	221	400	6.13	200				460						200		460
7	RRIM600	2	8	300	150	3x3	400	800	200	400	6.00		100			300						100		300
8	RRIM600	6.83	16	535	78	3x6	1700	2732	249	400	6.29	300				535			300					535
9	RRIM600	2	9	190	95	3x5	400	800	200	400	6.00	100				190						100		190
10	RRIM600	8	16	800	100	3x5	2400	3200	300	400	6.60	250				800	0.3					250		800
11	RRIM600	6.24	15	540	87	3x6	1800	2496	288	400	6.53		250			540	0.3		250					540
12	RRIM600	4	14	400	100	3x5	1200	1600	300	400	6.60		150			400			150					400
13	RRIM600	12.24	13	1470	120	3x4	3280	4896	268	400	6.41	600				1470			600					1470
14	RRIM600	4	16	360	90	3x5	1100	1600	275	400	6.45			150		360						150		360
15	RRIM600	17.74	16	1670	94	3x5	4800	7096	271	400	6.42	750				1670						750		1670
16	RRIM600	8.8	14	750	85	3x6	2400	3520	273	400	6.44	300				750						300		750
17	RRIM600	3.2	17	300	94	3x5	900	1280	281	400	6.49	250				300							250	300
18	RRIM600	6	13	500	83	3x5	1800	2400	300	400	6.60	300				500				300				500
19	RRIM600	11.09	14	990	89	3x5	3300	4436	298	400	6.53			500		990						500		990
20	RRIM600	2.83	13	215	76	3x7	600	1132	212	400	6.07	100				215					100			215
21	RRIM600	6.19	8	650	105	3x5	1200	2476	194	400	5.96				250	650						250		650
22	RRIM600	5	11	500	100	3x5	1200	2000	240	400	6.24		250			500				250				500
23	RRIM600	5	10	500	100	3x5	1280	2000	256	400	6.34	250				500				250				500
24	RRIM600	8	18	850	106	3x5	1856	3200	232	400	6.19		250			850				250				850
25	RRIM600	12	23	1280	107	3x5	4000	4800	333	400	6.80	500				2560		0.2	500					2560
26	RRIM600	6	15	640	107	3x5	1280	2400	213	400	6.08		100			1280						100		1280
27	RRIM600	3	14	270	90	3x6	800	1200	267	400	6.40					540								540
28	RRIM600	18	15	1790	99	3x5	4000	7200	222	400	6.13		1100			3580		0.3	500	500				3580
ค่าเฉลี่ย	RRIM600	7.08	14	678	95	3x5	1853	2833	259	400	6.36	310	294	300	250	866	0.30	0.27	364	264	233	270	250	866

(6.67% มีการให้น้ำในฤดูแล้ง

ลำดับที่	พันธุ์ยาง	พื้นที่(ไร่)	ปีที่ปลูก	อายุต้นยาง	จำนวนต้น	จำนวนต้น/ไ	ระยะปลูก	ปริมาณผลผลิต กก./ปี	ปริมาณผลผลิต กก/ไร่/ปี	ผลผลิตตลอดอายุยา ต้น/ไร่	ปุ๋ยก่อนได้ผลผลิต 7ปี(กก./ปี)					สารเคมีกำจัดวัชพืช		ปุ๋ยหลังได้ผลผลิต 18 ปี(กก./ปี)					
											46-0-0	27-7-7	20-10-12	20-8-20	ปุ๋ยอินทรี	พาราควอ	ไกลโฟเส	15-15-15	16-16-16	27-7-7	20-8-20	20-10-12	ปุ๋ยอินทรีย์
1	RRIM600	3.4	2547	16	320	94	3x5	2300	676	12	100	100			320		0.3	100			100		320
2	RRIM600	2.10	2553	10	200	95	3x5	1500	714	13	150	150			200		0.3		150		150		200
ค่าเฉลี่ย	RRIM600	2.75	2550	13	260	95	3x5	1900	695	12.52	125	125			260		0.3	100	150		125		260

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

กรณีศึกษา : พื้นที่ปลูกยางพารา หมู่ 3 และ 4 อำเภอสังขะ

A study of rubber trees cultivation water footprint in Surin Province.

Case Study: Cultivation area Moo.3 and 4 Amphoe. Sang Kha

ณัฐกานต์ แท่นแก้ว[1], ชัยศรี สุขสาโรจน์[1*]

Nuttakan Tankeaw[1], Chaisri Suksaroj[1*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน,คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

[1]Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsarn, Kasetsart University – Kamphaengsaen Campus, NakhonPathom, 73140

*Corresponding author: E-mail: fengcss@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงตัดต้นยาง รวมระยะเวลา 25 ปี ใช้โปรแกรม CROPWAT8.0 ในการคำนวณค่าความต้องการน้ำของยางพารา คำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การปลูกยางพาราเปรียบเทียบและอธิบายความแตกต่างของค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กับการศึกษาวิจัยในพื้นที่อื่นที่มีการศึกษามาก่อนแล้ว โดยค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นดัชนีชี้วัดการใช้น้ำเสมือนในการผลิตน้ำยางสด 1 ตัน ผลการศึกษาพบว่า พันธุ์ยางพาราที่ปลูกมากในจังหวัด สุรินท์คือพันธุ์ RRIM600 ที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูง น้ำที่ใช้ในการปลูกยางมาจากน้ำฝน น้ำคลองธรรมชาติและน้ำบ่อขุด เกษตรกรที่ทำสวนยางพาราในจังหวัดสุรินท์ใช้น้ำฝนเป็นหลักในการเพาะปลูก แต่มีปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปีเพียง 1,463.95 มิลลิเมตร/ปี และมีปริมาณฝนใช้การ 919 มิลลิเมตร/ปี (ข้อมูลเฉลี่ยปี พ.ศ.2538-2562) ซึ่งความต้องการน้ำของยางพารา เท่ากับ 1,543 มิลลิเมตร/ปี จะเห็นว่าปริมาณฝนใช้การน้อยกว่าความต้องการใช้น้ำของต้นยางพารา ปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอส่งผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำยางสด และส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการปลูกยางพารา โดยหากใช้น้ำฝนเป็นหลักไม่มีการให้น้ำชลประทานจะมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมเท่ากับ 5,377 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด ซึ่งมีค่ามากเมื่อเทียบกับพื้นที่ปลูกยางในภาคใต้ หากมีการให้น้ำชลประทานอย่างเพียงพอตามทฤษฎีจะส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตน้ำยางสด

และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการปลูกยางจะมีค่าเท่ากับ 4,717 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด การปลูกยางในพื้นที่แล้งจึงส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่สูงมากขึ้นสะท้อนประเด็นปัญหาต่าง ๆเช่น ความเหมาะสมในการเลือกชนิดพืชเพาะปลูกในพื้นที่แล้งและประสิทธิภาพการใช้น้ำในระบบปลูกพืช

คำสำคัญ : ยางพารา; ความต้องการน้ำของพืช; โปรแกรมCROPWAT8.0; วอเตอร์ฟุตพริ้นท์; น้ำยางสด

Abstract

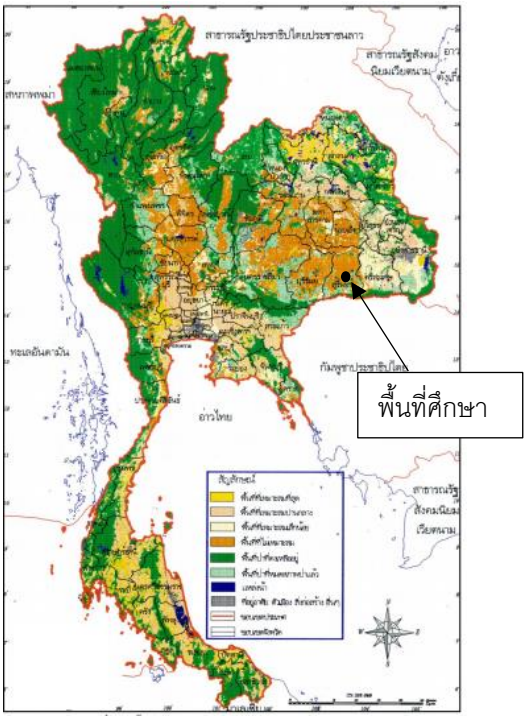
This research is the study of rubber plantation water footprint in Surin Province, from planting to cutting rubber trees, for a total of 25 years. The CROPWAT8.0 program was used to calculate the crop water requirement of rubber tree. The water footprint of the rubber plantation was calculated, compared, and explained the difference between the research in other areas that have been studied. The functional unit is of virtual water consumption as in the production of 1 ton of fresh latex. The result show that most rubber species that are grown in study area is the RRIM600 species, it's a species that rubber research institute recommends for new cultivation area that require a high latex yield. The source of water used in rubber garden comes from rainwater, natural canal, and groundwater. Rainwater is the main source of watering for rubber plantation systems in Surin province but the average annual rainfall is only 1,463.95 millimeters / year with the effective rainfall is of 919 millimeters / year (average annual data 1995-2019). The crop water requirement of the rubber tree is equal to 1,543 millimeters /year. It can see that the amount of effective rainfall is less than the water demand of rubber trees. The insufficient amount of water affects the yield of fresh latex produced. It is the cause of an increase in the total water footprint of rubber plantations in case of without irrigation, the total footprint is 5,377 cubic meters/ton of fresh latex, which is higher than that in southern Thailand. If sufficient irrigation is provided, theoretically, it will increase the yield of fresh latex and the total water footprint of the rubber plantation will be 4,717 cubic meters/ton of latex. Rubber plantation in the arid zone could result in higher water footprint values and could reflect such as the appropriateness of plant species selection in drought areas and the efficiency of water use in the cropping system.

Keywords : Hevea brasiliensis; Crop Water Requirement; CROPWAT8.0; Water Footprint; Fresh latex

1. บทนำ

แม้ว่ายางสังเคราะห์จะเป็นสินค้าซึ่งสามารถทดแทนยางธรรมชาติได้ แต่ด้วยคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นที่ทำให้ยางสังเคราะห์ไม่สามารถทดแทนยางธรรมชาติ จึงเป็นเหตุให้มีการใช้ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น [สมบูรณ์ เจริญจิระตระกูล. 2554 : 2] สำหรับประเทศไทยยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ นอกจากจะเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญด้านเศรษฐกิจแล้ว ยังมีความสำคัญทางสังคม เนื่องจากทำให้เกิดการจ้างงานและสร้างอาชีพในชนบท การปลูกยางพาราในประเทศไทยเริ่มจากพระยารัษฎานุประดิษฐ์ มหิศรภักดี ได้นำเมล็ดซึ่งเป็นยางพันธุ์พื้นเมืองของประเทศมาเลเซียมาเพาะเมล็ดในจังหวัดตรัง ภาคใต้ และได้มีการขยายพื้นที่เพาะปลูกไปยังจังหวัดจันทบุรี ภาคตะวันออก การปลูกยางพาราในประเทศไทยจึงนิยมปลูกในภาคใต้และภาคตะวันออก [สถาบันวิจัยยางพารา. 2561 : 1] เนื่องจากยางพารามีราคาสูงขึ้นเป็นเหตุให้มีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราในประเทศไทยอย่างต่อเนื่อง สำหรับพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มมาจากการทดลองปลูกยางพาราในจังหวัด หนองคาย บุรีรัมย์ และสุรินทร์ โดยกรมวิชาการเกษตรและกรมประชา-สงค์เคราะห์ [กรมพัฒนาที่ดิน. 2548 :1-2]

เนื่องด้วยความแตกต่างของพื้นที่ในการปลูกยางพาราของภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับภาคใต้ จึงทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์ การระเหยน้ำ คุณสมบัติทางเคมีของดิน ความลาดชันของพื้นที่ และรวมไปถึงปริมาณฝนและการกระจายตัวของฝนที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพารา กรมพัฒนาที่ดินได้มีการจัดทำแผนที่สำหรับพื้นที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมในการปลูกยางพารา แสดงดังรูปที่ 1 โดยสีเหลืองแสดงพื้นที่เหมาะสม และสีส้มแสดงพื้นที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา



รูปที่ 1 แสดงพื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน ,2548

จังหวัดสุรินทร์ตั้งอยู่ทางทิศใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีเนื้อที่รวม 5,077,535ไร่ คิดเป็นร้อยละ 4.8 ของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พิกัดทางภูมิศาสตร์ บริเวณละติจูด 14.89 องศาเหนือ ลองจิจูด 103.49 องศาตะวันออก สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 200 เมตร ลักษณะอากาศโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับอิทธิพลของมรสุม 2 ชนิดที่พัดประจำฤดูการ ได้แก่ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แต่เนื่องจากมีเทือกเขาพนมดงรักกั้นอยู่ จึงได้รับปริมาณน้ำฝนค่อนข้างน้อย ปริมาณน้ำฝนส่วนใหญ่มาจากอิทธิพลของลมพายุในทะเลจีนใต้ นอกจากมี

การปลูกข้าวแล้วยังเป็นเป็นจังหวัดที่มีการเพาะปลูกยางพาราอยู่มากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแม้จะไม่มีความเหมาะสมของพื้นที่ เช่น สภาพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน รวมถึงการกระจายตัวและปริมาณของฝนจังหวัดสุรินทร์มักประสบปัญหาภัยแล้งอยู่บ่อยครั้ง การทำการเกษตรในจังหวัดสุรินทร์นั้นมักจะขึ้นอยู่กับน้ำฝนเป็นหลัก [แผนพัฒนาเศรษฐกิจ จังหวัดสุรินทร์. 2563 : 30]

มีความสำคัญอย่างมากในการปลูกยางพารา เมื่อมีการปลูกในพื้นที่ที่มักประสบปัญหาแห้งแล้งจึงส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตของยางพารา [สุเมธ ลิ่มมณีธร และคณะ. 2550] การพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดในการเพาะปลูก จำเป็นต้องพิจารณาทั้งระบบ และเทียบกับผลผลิตที่ได้จึงจะสามารถสะท้อนให้เห็นประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำในเชิงระบบที่มีทิศทางไปสู่ ความยั่งยืนในการจัดการทรัพยากรน้ำ อีกทั้งปัจจุบันที่ต้องเผชิญกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิกาศ ภาวะโลกร้อน การเพิ่มขึ้นของประชากร และการแข่งขันทางด้านการค้าทำให้มีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติมากขึ้น [ขนิษฐา มีวาสนา. 2560] วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นหนึ่งในหลายเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์และสะท้อนให้เห็นประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำเชิงระบบ พิจารณาตามเส้นทางวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ ถูกคิดค้นขึ้นโดย Arjen Y.H.(2003) เพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินการใช้น้ำในการผลิตสินค้า และบริการทั้งทางตรง (Direct water) และทางอ้อม (Indirect water) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จัดเป็นมาตรฐานสิ่งแวดล้อมตาม ISO 14046 และสามารถนำมาใช้ในการบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน โดยมีหน่วยวัดเป็นลูกบาศก์ต่อผลผลิตหรือบริการ สำหรับวอเตอร์ฟุต-พริ้นท์ของการปลูกพืชสามารถคำนวณจากค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้โปรแกรม CROPWAT8.0 ซึ่งพัฒนาโดย FAO เทียบกับปริมาณผลผลิตของพืชนั้น ๆ [นิมมานรดี เกตุเดชา. 2556]

ในปัจจุบันประเทศไทยได้ให้ความสำคัญด้านการใช้ทรัพยากรน้ำมากขึ้น จึงมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกพืช เช่น การศึกษาเปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันในพื้นที่จังหวัดปทุมธานีและชลบุรี (วรณี และ จิตติ,2557) พบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของปาล์มน้ำมันในจังหวัดชลบุรี(1,070.65 ลูกบาศก์เมตร/ตัน) มีค่ามากกว่าที่จังหวัดปทุมธานี (678.84 ลูกบาศก์เมตร/ตัน) เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตพบว่าจังหวัดปทุมธานีให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน 4.96 ตัน/ไร่ มากกว่าจังหวัดชลบุรีที่ให้ผลผลิต 3.50 ตัน/ไร่ จึงเป็นอีกเหตุผลที่ทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของปาล์มน้ำมันที่ปลูกในจังหวัดปทุมธานีมีค่าต่ำกว่าจังหวัดชลบุรี วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายในประเทศไทย (วรณี และคณะ,2558) พบว่าจังหวัดราชบุรีมีค่าวอเตอร์ฟุต พริ้นท์รวมของการเพาะปลูกกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายสูงที่สุด (1.416 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม) รองลงมาเป็นจังหวัดสมุทรสาคร (1.389 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม) และจังหวัดนครปฐม (1.285 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม) โดยสภาพภูมิอากาศ ปริมาณฝนและคุณภาพของน้ำเสียที่ปล่อยจากการเพาะปลูก เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่าแตกต่างกัน การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป กรณีศึกษา จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดจันทบุรี (นิมมานรดี,2556) พบว่ากรณีพิจารณาน้ำยางสดเป็นผลผลิตค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของจังหวัดนครศรีธรรมราช (3,861 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด) และของจังหวัดจันทบุรี (3,676 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด) เปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของน้ำยางพาราสดกับงานวิจัยของ Mekonnen และ Hoekstra, (2010) พบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมที่ได้น้อยกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของไทย (7,952 ลูกบาศก์เมตร/ตัน), โลก (13,748 ลูกบาศก์เมตร/ตัน), จีน (7,342 ลูกบาศก์เมตร/ตัน), มาเลเซีย (21,182 ลูกบาศก์เมตร/ตัน), บรูไน (280,608 ลูกบาศก์เมตร/ตัน) และกัมพูชา (11,547 ลูกบาศก์เมตร/ตัน) โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ได้แก่ ปริมาณฝน ของแต่ละพื้นที่ที่พิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (K_c) ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา และปริมาณผลผลิต กรณีพิจารณาไม้ยางพาราเป็นผลผลิตค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวิธีการคำนวณด้วยการปันส่วนทางเศรษฐศาสตร์ของจังหวัดนครศรีธรรมราช (3,313 ลูกบาศก์เมตร/ตันไม้ยางพารา) และของจังหวัดจันทบุรี (4,049 ลูกบาศก์เมตร/ตันไม้ยางพารา)

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินท์โดยใช้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในภาคใต้และอื่น ๆ ที่มาการศึกษามาก่อนแล้ว โดยมีผลผลิตคือน้ำยางพาราสด 1 ตัน ต่อผลผลิตของน้ำยางสดตลอด 25 ปี เมื่อเริ่มปลูกในปี พ.ศ.2538

2.ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วิธีการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้แก่ ข้อมูลวิธีการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษาเทียบกับข้อมูลตามคำแนะนำของกรมวิชาการยางพารา หลักการคำนวนปริมาณการใช้น้ำของยางพาราโดยโปรแกรม CROPWAT8.0 และการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

2. รวบรวมข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องได้แก่ ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในโปรแกรม CROPWAT8.0 เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณฝน ความเร็วลม ความยาวนานแสงแดด และข้อมูลการเพาะปลูกและปริมาณผลผลิตของน้ำยางสดในพื้นที่ศึกษา ตลอดอายุ 25 ปี จากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่ศึกษา จังหวัดสุรินทร์ สุ่มตัวอย่างสัมภาษณ์โดยใช้วิธีของ Yamane (1973)

จากสูตร $n = \frac{N}{1+Ne^2}$

เมื่อ n = จำนวนของประชากรตัวอย่าง (คน)

N = จำนวนของประชากรทั้งหมด (คน)

e = คือความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นในรูปของสัดส่วน

3. ศึกษาปริมาณความต้องการน้ำของการปลูกยางพารา คำนวณและวิเคราะห์ความแตกต่างของความต้องการน้ำของยางพาราในพื้นที่ศึกษาและปริมาณน้ำจริงที่เกษตรกรให้ในการปลูกยางพารา

4.ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตามทฤษฎีจากการคำนวณความต้องการของพืชจากโปรแกรม CROPWAT8.0 กำหนดให้มีการให้น้ำอย่างเหมาะสม และผลผลิตที่ได้จากสวนยางพารา 6.67%ที่มีการให้น้ำในพื้นที่ศึกษา

2.2 พื้นที่ศึกษา

จังหวัดสุรินทร์ ประกอบด้วย 17 อำเภอแสดงดังรูปที่ 2 นอกจากการปลูกข้าวแล้ว ยางพาราจัดเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัด มีเนื้อที่กรีดยางพาราได้ 125,521 ไร่ มีเกษตรกรทำสวนยางกว่า 16,646 ราย โดยอำเภอที่มีการเพาะปลูกยางพารามากที่สุด ได้แก่อำเภอสังขะ 3,698 ราย คิดเป็นร้อยละ 22.22 จากจำนวนเกษตรกรสวนยางพาราทั้งหมดในจังหวัดสุรินทร์

รูปที่ 2 แสดงแผนที่จังหวัดสุรินทร์

ที่มา : สรุปข้อมูลจังหวัดสุรินทร์, 2555

2.3 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์

หลังจากศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกพืชและการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA)

1.กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ โดยประยุกต์ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) โดยงานวิจัยนี้มีขอบเขตตั้งแต่การเพาะปลูกจนถึงการตัดโค่นต้นยางพารา โดยมีผลผลิตเป็นน้ำยางพาราสด 1 ตัน

2.จัดทำบัญชีรายการ (Inventory) ชนิดและปริมาณสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ประกอบด้วยศึกษาข้อมูลการปลูกยางพาราจากกรมวิชาการเกษตรและปรับเทียบกับข้อมูลที่สัมภาษณ์จากเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา

3.คำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการเพาะปลูกยางพารา โดยใช้โปรแกรม CROPWAT8.0 ในการหาค่าการคายระเหยน้ำของยางพารา (Evapotranspiration; ET) ทุกปี โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) ตามช่วงการเจริญเติบโต (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพาราตามช่วงต่าง ๆ

ช่วงต่าง ๆของยางพารา	เดือน	วัน	Kc
ช่วงฤดูยางผลัดใบ	มี.ค	30	0.48
ช่วงยางผลิใบถึงใบยางแก่	เม.ย.	30	0.80-0.98
ช่วงใบยางแก่เต็มที่และช่วงฤดูกรีดยาง	พ.ค.-ธ.ค.	240	1.08
ช่วงปลายฤดูกรีดยาง	ม.ค.-ก.พ.	65	0.63

ที่มา :นิมมานรดี เกตุเดชา,2556

จากนั้นนำข้อมูลความต้องการน้ำรายปีของยางพารา (Evapotranspiration: ET) ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/วัน ไปคำนวณหาค่าความต้องการน้ำของพืช(Crop Water Use: CWU) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าสะสมการคายระเหยน้ำของพืช (ET) ตลอดช่วงอายุพืช (Length of growing period;

lgp) และ 1.6 เป็นค่าเปลี่ยนหน่วยจากมิลลิเมตรเป็นลูกบาศก์เมตร/ไร่ สำหรับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการปลูกยางพารา 25 ปี ค่าความต้องการน้ำของพืชหาได้จากผลรวมของการใช้น้ำในปี พ.ศ.2538-2562 และนำไปหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว(Green Water Footprint) และสีน้ำเงิน (Blue Water Footprint) ด้วยการหารด้วยผลผลิตเฉลี่ยตลอดอายุ 25 ปี ซึ่งมีหน่วยเป็น ตัน/ไร่

$$\mathrm{WF_{Green,Blue}} = \frac{\mathrm{CWU_{Green,Blue}}}{\gamma}$$

$$\mathrm{CWU_{Green,Blue}} = 1.6 \sum_{d=1}^{lgp} \mathrm{ET_{Green,Blue}}$$

สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Gray water footprint) คือปริมาณน้ำดีที่ใช้ในการเจือจางน้ำเสียให้มีคุณภาพตามที่มาตรฐานกำหนดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ สามารถหาได้จากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนของการเพาะปลูกยางพารา

$$\mathrm{WF_{Grey}} = \frac{(\alpha \mathrm{xAR})/(\mathrm{C_{max}} - \mathrm{C_{nat}})}{\gamma}$$

โดยกำหนดให้สัดส่วนการชะล้างปุ๋ยลงสู่แม่น้ำ (α) เท่ากับ 10%ของอัตราการใช้ปุ๋ย (AR) ที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็นกิโลกรัม/ไร่ ความเข้มข้นของมลพิษสูงสุดที่ยอมรับได้ (C_{max}) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร ความเข้มข้นของมลพิษตามธรรมชาติ (C_{nat}) มีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัม/ลิตร หารด้วยผลผลิตในหน่วย ตัน/ไร่

วอเตอร์ฟุตพรินท์รวมขอกการเพาะปลูก (Total Water Footprint) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ตันผลผลิต หาได้จากผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำสีเขียว สีน้ำเงิน และสีเทา

$$\mathrm{WF_{Total}} = \mathrm{WF_{Green}} + \mathrm{WF_{Blue}} + \mathrm{WF_{Gray}}$$

4.เนื่องจากการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษามีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชน้อยมักใช้การถางแทนการใช้สารเคมีในงานวิจัยนี้จึงไม่คิดน้ำทางอ้อม

5.แปรผลการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในจังหวัดสุรินทร์ เปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในภาคใต้และอื่น ๆที่มาการศึกษามาก่อนแล้ว

3.ผลการทดลอง

จากผลการสำรวจและสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ทำสวนยางพาราในหมู่ที่ 3 และ 4 ในพื้นที่ศึกษา จำนวน 30 คน ซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรตามทฤษฎีของ Yamane (1973) เพื่อจัดทำบัญชีรายการ การใช้น้ำเป็นทรัพยากรสำคัญในการปลูกยางพารา จังหวัดสุรินทร์นิยมปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM600 ด้วยต้นยางชำถุงขนาด 1-2 ฉัตร ระยะปลูก 3x5 เมตรจำนวน 95 ต้น/ไร่ ซึ่งระยะแนะนำสำหรับสวนยางพาราที่ไม่มีการปลูกพืชแซมยางคือ 3x6 เมตร จำนวน 89 ต้น/ไร่ ซึ่งการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษามีระยะการวางแนวถี่กว่าคำแนะนำ การปลูกยางพาราจะปลูกในช่วงฤดูฝน (เดือนพ.ค-มิ.ย) จากการสัมภาษณ์พบว่า เกษตรกรมีการให้น้ำในช่วง 1-2 ปีแรกของการปลูกเพื่อป้องกันต้นยางขาดน้ำคิดเป็น 93.33% และมีการให้น้ำอย่างเหมาะสมคิดเป็น 6.67% ของเกษตรกรปลูกยางที่สัมภาษณ์ มีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยคอกโดยปุ๋ยเคมีที่นิยมใช้ในต้นยางเล็กคือ 46-0-0 และ 27-7-7 ในต้นยางใหญ่คือ15-15-15 และ16-16-16 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์นำไปทวนสอบกับข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ ได้แก่ การยางแห่งประเทศไทย จังหวัดสุรินทร์ และข้อมูลวิชาการยางพารา จากนั้นนำมา

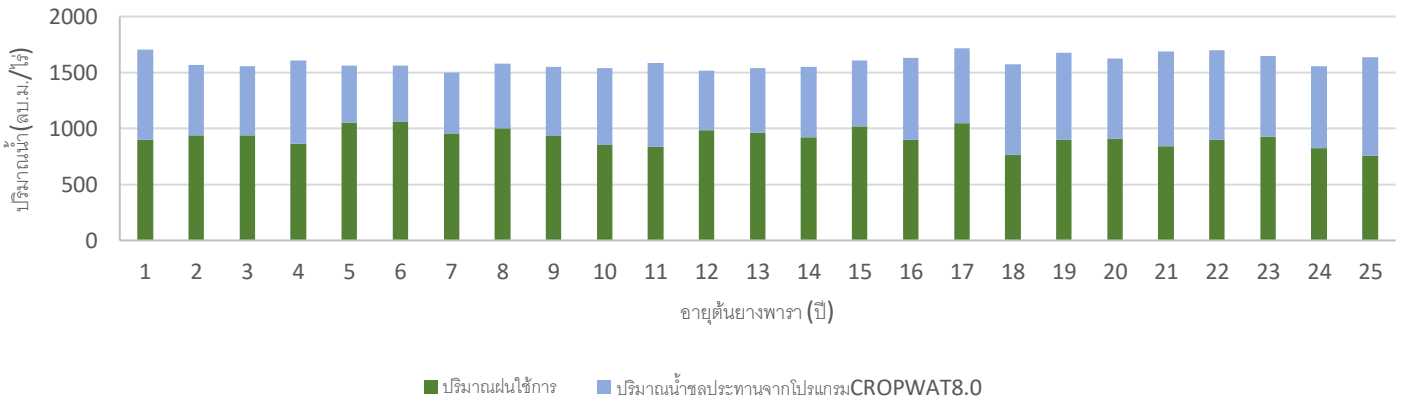
จัดทำบัญชีรายการของระบบปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 บัญชีรายการระบบปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา

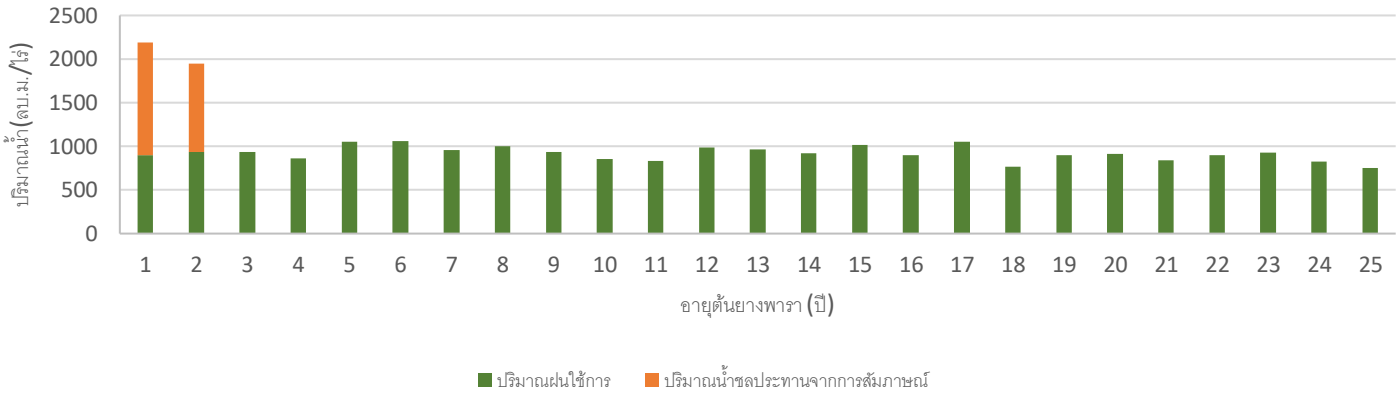
รายการ	จำนวน	หน่วย
Input		
ต้นกล้ายางพารา (ระยะปลูก 3x5 เมตร)	95	ต้น/ไร่
ปุ๋ยคอก	122	กก./ไร่/ปี
ปุ๋ยเคมีในต้นยางเล็ก (46-0-0,27-7-7,20-10-12,20-8-20)	42	กก./ไร่/ปี
ปุ๋ยเคมีในต้นยางใหญ่ (,27-7-7,20-10-12,20-8-20,15-15-15,16-16-16)	42	กก./ไร่/ปี
Paraquat	0.3	ลิตร/ไร่
Glyphosate	1	ลิตร/ไร่
Output		
น้ำยางพาราสด	6.36	ตัน/ไร่

ที่มา : จากการสัมภาษณ์เกษตรกรสวนยางพารา

การศึกษาผลของการคำนวณค่าการใช้น้ำของยางพาราหรือค่าการคายระเหยน้ำของยางพารา เริ่มจากส่วนของสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของยางพารา (Kc) (ตารางที่ 1) ในการหาความต้องการน้ำของการปลูกยางพาราตลอดอายุ 25 ปี เพื่อศึกษาปริมาณความต้องการใช้น้ำของยางพาราและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสุรินทร์ โดยใช้ค่า Kc จากนิมมานรดี เกตุเดชา, 2556 ในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของยางพาราด้วยโปรแกรม CROPWAT8.0 และข้อมูลสภาพภูมิอากาศของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดสุรินทร์รายเดือน พ.ศ.2538-2562 รหัสสถานี 432201 ซึ่งประกอบไปด้วย ความเร็วลม อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ ชั่วโมงแสงอาทิตย์ เป็นต้น เพื่อนำมาหาค่า ETo และค่า ET ของทุกปีที่ศึกษาเป็นเวลา 25 ปี โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ.2538-2562 เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณเพื่อหาปริมาณความต้องการใช้น้ำของยางพารา และให้ปีพ.ศ.2538 เป็นปีที่เริ่มต้นปลูกยางพารา



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ช่วงอายุต้นยาง กับปริมาณฝนใช้การ ปริมาณน้ำชลประทานที่ได้จากโปรแกรมCROPWAT8.0 (ก.) และปริมาณน้ำที่ใช้จริง (ข.)

ผลการศึกษาปริมาณความต้องการใช้น้ำของยางพาราในพื้นที่ศึกษา หมู่ที่ 3และ4 อ.สังขะ จังหวัดสุรินทร์ ด้วยโปรแกรมCROPWAT8.0 แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าค่าความต้องการใช้น้ำของพืชในแต่ละปีขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (ETo) เฉลี่ยจากข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ปีพ.ศ.2538-2562 เท่ากับ 1,635 มิลลิเมตร/ปี ปริมาณการคายระเหยน้ำของพืช (ETc) เฉลี่ยเท่ากับ 1,542.5 มิลลิเมตร/ปี เมื่อเริ่มปลูกยางพาราในปี พ.ศ.2538 ความต้องการน้ำของยางพาราแต่ละปีแสดงดังรูปที่ 3-ก. โดยมีความต้องการน้ำชลประทานเฉลี่ย 680.31 มิลลิเมตร/ปี และจากการสัมภาษณ์วิธีการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษามีการให้น้ำในช่วง 1-2 ปีแรก เพื่อป้องกันต้นยางเล็กยืนต้นตายในปีหลังจากนั้นใช้น้ำฝนเป็นหลัก ความต้องการน้ำของยางพาราแสดงดังรูปที่ 3-ข. โดยมีฝนใช้การเฉลี่ย 919.01 มิลลิเมตร/ปี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษามีการใช้น้ำชลประทานน้อยกว่าความต้องการน้ำจริงที่ยางพาราต้องการ การปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษาส่วนมากอาศัยน้ำฝน

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงิน โดยใช้ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของยางพารา (CWU) ที่

คำนวณได้จากโปรแกรมCROPWAT8.0 พบว่าค่าปริมาณความต้องการน้ำจากฝนใช้การสะสม 17,326 มิลลิเมตร หรือ 27,721 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ค่าความต้องการน้ำชลประทานสะสมตามทฤษฎี 17,010 มิลลิเมตร หรือ 27,216 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ และจากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ทำสวนยางจำนวน 93.33% มีการให้น้ำ1-2ปีแรกเพื่อป้องกันยางต้นเล็กยืนต้นตาย ค่าความต้องการน้ำชลประทานเป็น 1,441.7 มิลลิเมตร หรือ 2,306 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงินของการปลูกยางพารา เมื่อมีใช้น้ำฝนเป็นหลักในการปลูกยางพาราตามการสัมภาษณ์ให้ผลผลิตตลอดอายุต้นยาง เท่ากับ 6.36 ตัน/ไร่ เท่ากับ 4,361 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด และ 363 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงินเมื่อมีการให้น้ำชลประทานตามทฤษฎีโดยให้ผลผลิตน้ำยางสดเฉลี่ยมีค่า 12.52 ตัน/ไร่ (ตารางที่ 3) จากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่จำนวน 6.67% ที่มีการให้น้ำมีค่าเท่ากับ 2,215 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด และ 2,174 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด (รูปที่ 4) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการให้น้ำตามทฤษฎีต่อความต้องการน้ำของยางพารา จะทำให้ผลผลิตที่ได้จากการปลูกยางพาราเพิ่มสูงขึ้น เมื่อผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เป็นสัดส่วนกันของปริมาณน้ำที่ใช้ต่อปริมาณผลผลิตจะมีค่าลดลง

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการปลูกยางพาราตลอดอายุ 25 ปี การทำบัญชีระบบเพาะปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษาพบว่ามีการใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยส่วนใหญ่จะมีการใช้ปุ๋ยคอกมากกว่าปุ๋ยเคมีเนื่องจากไม่เสียค่าใช้จ่ายและสามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ ปริมาณการใช้ปุ๋ยเฉลี่ยในพื้นที่ปลูกยางพาราแสดงในบัญชีรายการระบบเพาะปลูกยางพารา (ตารางที่ 2) คำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาเมื่อมีการใช้น้ำฝนเป็นหลักเท่ากับ 882 ลูกบาศก์เมตร/ตัน และเมื่อให้น้ำตามทฤษฎีเท่ากับ 329 ลูกบาศก์เมตร/ตัน (รูปที่ 4)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อมูลการปลูกยางพาราและผลผลิต

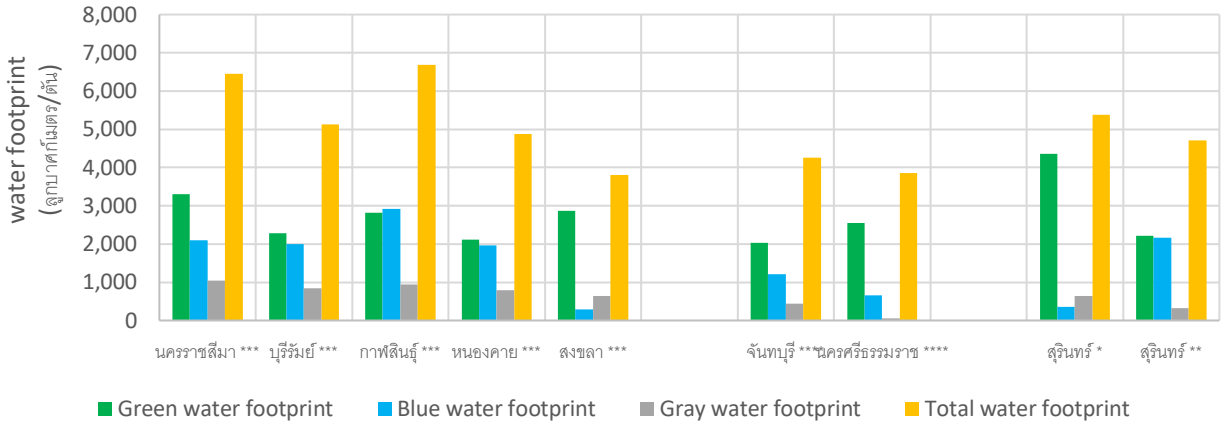
ชนิดข้อมูล	จังหวัดสุรินทร์*	จังหวัดสุรินทร์**	จันทบุรี	จังหวัดนครศรีธรรมราช	จังหวัดสงขลา
พันธุ์ยางพารา	RRIM600	RRIM600	NA	NA	NA
ชนิดดิน	Red sandy loam	Red sandy loam	Red sandy loam	Red sandy loam	NA
ต้นยางพารา	95 ต้น/ไร่	95 ต้น/ไร่	76 ต้น/ไร่	76 ต้น/ไร่	76 ต้น/ไร่
ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้	246 กก./ไร่	246 กก./ไร่	329.30 กก./ไร่	42.44 กก./ไร่	500 กก./ไร่
ผลผลิต	6.36 ตัน/ไร่	12.52 ตัน/ไร่	14.78 ตัน/ไร่	14.78 ตัน/ไร่	15.58 ตัน/ไร่

ที่มา : ขนิษฐา มีวาสนา. 2556 : 31-32 ; นิมมานรดี เกตุเดชา. 2554 : 87

NA ไม่มีข้อมูล

* จากการสอบถามข้อมูลเพาะปลูกจากชาวสวนจำนวน 93.33%จากจำนวนเกษตรกรที่สัมภาษณ์

** จากการสอบถามข้อมูลเพาะปลูกจากชาวสวนยางพารามีการให้น้ำชลประทาน จำนวน 6.67% จากจำนวนเกษตรกรที่สัมภาษณ์



หมายเหตุ *** แสดงเอกสารอ้างอิงดังตารางที่ 4

รูปที่ 4 แสดงวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว สีน้ำเงินและสีเทา

จากรูปที่ 4 เป็นการสรุปผลการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นโดยใช้ค่าความต้องการน้ำของยางพาราจากโปรแกรมCROPWAT8.0 จาการเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในงานวิจัยอื่น ๆค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ กาฬสินธุ์ และหนองคาย มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) ค่าสภาพภูมิอากาศที่มีความแตกต่างกัน ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่นำไปใช้ในการคำนวณความต้องการน้ำของพืช เมื่อเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา จ.สุรินทร์กับภาคใต้ พบว่ามีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวสูงกว่าภาคใต้ แม้จะมีการใช้น้ำในการเพาะปลูกน้อยกว่าแต่มีสัดส่วนของผลผลิตน้อยกว่าภาคใต้ และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ในพื้นที่ศึกษามีค่าใกล้เคียงกับการปลูกยางพาราในจังหวัดหวัดบุรีรัมย์ในงานวิจัยของขนิษฐา มีวาสนา, 2560 ทั้งนี้อาจเกี่ยวเนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น สภาพอากาศที่คล้ายคลึงกันทำให้มีความต้องการน้ำใกล้เคียงกัน เป็นต้น เมื่อมีการให้น้ำอย่างเหมาะสมตามทฤษฎี ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินสูงกว่าภาคใต้เนื่องจากสภาพอากาศทำให้ความต้องการน้ำมากขึ้นเมื่อปริมาณฝนตกน้อยฝนใช้การจึงไม่เพียงพอ ทำให้มีความจำเป็นต้องให้น้ำชลประทานมากขึ้น เมื่อมีการให้น้ำอย่างเหมาะสมตามทฤษฎีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมมีค่าน้อยลง

จากผลการศึกษาสามารถสะท้อนให้เห็นประเด็นที่สามารถลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ได้แก่ การตรวจสอบธาตุอาหารในดิน ผสมปุ๋ยตามความเหมาะสม การปลูกพืชแซมยางเช่นพืชตระกูลถั่วเพื่อตรึงไนโตรเจนในดิน นอกจากนี้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการเพาะปลูกสามารถลดได้โดยการเพิ่มผลผลิต การเพิ่มผลผลิตของยางพาราสามารถทำได้หลากหลายวิธี ได้แก่ การจัดการสวนยางพาราอย่างเหมาะสมดูแลไม่ให้วัชพืชขึ้นรกเนื่องจากทำให้ต้นยางขาดธาตุอาหารที่จำเป็นในการผลิตน้ำยางพารา กำหนดระยะปลูกยางพาราตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยยาง การปลูกพืชแซมยางเช่นพืชตระกูลถั่ว และใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์อย่างเหมาะสม ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อผลผลิตของยางพารา

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์งานวิจัยนี้กับงานวิจัยยางพาราที่เกี่ยวข้อง

สถานที่	Water Footprint (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)				ที่มา
	Green water footprint	Blue water footprint	Gray water footprint	Total water footprint	
โลก	12,964	361	442	13,748	M.M. Mekonnen *et al.*,2011
ประเทศไทย	6,909	715	328	7,952	M.M. Mekonnen *et al.*,2010
นครราชสีมา	3,311	2,103	1,040	6,454	***ขนิษฐา มีวาสนา ,2560
บุรีรัมย์	2,282	1,989	849	5,120	
กาฬสินธุ์	2,812	2,920	950	6,682	
หนองคาย	2,121	1,969	794	4,884	
สงขลา	2,874	285	642	3,801	
จันทบุรี	2,023	1,203	446	3,672	****นิมมานรดี เกตุเดชา ,2556
นครศรีธรรมราช	2,542	653	57	3,252	
สุรินทร์*	4,366	363	648	5,377	การศึกษาในครั้งนี้
สุรินท์,ทางทฤษฎี**	2,217	2,171	329	4,717	

4.สรุปผลการศึกษา

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าสูงกว่าในพื้นที่ภาคใต้ การปลูกยางพาราในพื้นที่ศึกษา มีค่าความต้องการน้ำของพืชที่เฉลี่ย 1,542.5 มิลลิเมตร/ปี ในขณะที่ค่าปริมาณฝนใช้การ 919 มิลลิเมตร/ปี ซึ่งมีค่าน้อยกว่าผลรวมของความต้องการน้ำทางทฤษฎี ต้องมีการให้น้ำชลประทานปริมาณเฉลี่ย 680.31 มิลลิเมตร/ปี ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินโดยมีค่าเท่ากับ 2,174 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด เทียบกับเมื่อไม่มีการให้น้ำชลประทานเท่ากับ 363 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวเมื่อมีการให้น้ำชลประทานเท่ากับ 2,215 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวเมื่อไม่มีการให้น้ำชลประทานมีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 4,361 ลูกบาศก์เมตร/ตันน้ำยางสด เนื่องจากผลของความแห้งแล้งกระทบต่อการลดลงของผลผลิตน้ำยางสด สำหรับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาขึ้นอยู่กับการบริหารจัดการปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้กับสวนยาง

ดังนั้นควรมีการติดตามปริมาณการให้น้ำชลประทานที่เกษตรกรให้จริง เพื่อประเมินทั้งปริมาณน้ำที่ส่งและปริมาณผลผลิตน้ำยางสดที่ได้รวมถึงคุณภาพน้ำยางสด

5.เอกสารอ้างอิง

ขนิษฐา มีวาสนา. 2556. **การศึกษาเปรียบเทียบวอ เตอร์ฟุตพริ้นท์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของยางพาราแผ่นที่ผลิตในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

จำนง คงศิลป์. 2546. **คำแนะนำการปลูกยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย,กรุงเทพ.

นุชนารถ กังพิสดาร. 2554. **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยยางพารา ปี 2554**. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวง เกษตรและสหกรณ์. กรุงทพฯ.

นิสา พักตร์วิไล สามารถ พรเจริญ และวารินทร์ เวียงรัตน์. 2562. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยใช้โปรแกรมCROPWAT8.0 จากการเพาะปลูกมะยงชิด: กรณีศึกษาตำบลป่าขะ อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก. **วารสารวิจัยและพัฒนา-วไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์** 14(1):100-109.

นิมมานรดี เกตุเดชา. 2556. **การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราแปรรูป กรณีศึกษา: จังหวัดนครศรีธรรมราชและ จังหวัดจันทบุรี**.วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วรณี แพ่งจันทึก และ จิตติ มังคละศิริ. 2557. การศึกษาเปรียบเทียบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันในพื้นที่จังหวัดปทุมธานีและชลบุรี. **Research and Development Journal** 25(1): 118-120.

สุเมธ ลิ่มมณีธร สายัณห์ สดุดี และ อิบรอเฮม ยีดำ. 2550. ผลของการให้น้ำต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและผลผลิตน้ำยางของยางพารา (Hevea brasiliensis) ช่วงฤดูแล้ง. **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 29(3): 601- 613.

สมบูรณ์ เจริญจิระตระกูล. 2554. **การขยายพื้นที่ปลูกยางพารา:ประเด็นห่วงใย และ ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย**. รายงานการวิจัย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ.

สถาบันวิจัยยาง. 2561. **ข้อมูลวิชาการยางพารา ปี 2561**. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. 2548. **เอกสารวิชาการยางพารา.** กรมพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1984. **Crop water requirement – guideline for predicting crop water requirement**. FAO irrigation and drainage paper 24. Rome, Italy.

Khanittha Chaibandit, Supasit Konyai and Donald C. Slack. 2016. Evaluation of the Water Footprint of Sugarcane in Eastern Thailand. **Engineering Journal** 21(5): 193-201.

M. M. Mekonnent and A.Y. Hoekstra. 2010. **The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products.** Value of water research series no.48. Netherlands.

M. M. Mekonnent and A. Y. Hoekstra. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology and Earth System Sciences** 15:1577-1600.

ประวัตินิสิต

ชื่อ-นามสกุล : นางสาว ณัฐกานต์ แท่นแก้ว เลขประจำตัว : 5920503084

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่อยู่ปัจจุบัน : บ้านเลขที่ 226 หมู่ 19 ตำบล นอกเมือง อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000

โทรศัพท์ : 063-3291266 E-mail : nuttakan.ta@ku.th

ระดับการศึกษา :

คุณวุฒิการศึกษา	จากโรงเรียน/สถาบัน	ปีการศึกษาที่จบ
ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สาขาวิชาวิศวกรรมชลประทาน	
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียน สิรินธร (จ.สุรินทร์)	2559
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียน สิรินธร (จ.สุรินทร์)	2556