



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การบริหารจัดการน้ำเพื่อการเพาะปลูกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วย
แนวคิด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ กรณีศึกษา มะม่วงน้ำดอกไม้ของ
ชุมชนดงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

**Water Management for Planting *Mango CV. Namdokmai* by
Water Footprint: A Case Study on *Mango CV. Namdokmai* in
Dong Moon Lek Community Mueng Distric Phetchabun.**

พรทวี กองร้อย

สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การบริหารจัดการน้ำเพื่อการเพาะปลูกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วย
แนวคิด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ กรณีศึกษา มะม่วงน้ำดอกไม้ของ
ชุมชนดงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

**Water Management for Planting *Mango CV. Namdokmai* by
Water Footprint: A Case Study on *Mango CV. Namdokmai* in
Dong Moon Lek Community Mueng Distric Phetchabun.**

พรทวี กองร้อย

สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนอุดหนุนโดย สำนักงานบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษา
และพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ /มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์/งบประมาณ
แผ่นดินที่พิจารณาจากโดยผ่านความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ประจำปีงบประมาณ 2558

(ก)

ชื่องานวิจัย การบริหารจัดการน้ำเพื่อการเพาะปลูกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วยแนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ กรณีศึกษา มะม่วงน้ำดอกไม้ของชุมชนดงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

Water Management for Planting *Mango CV. Namdokmai* by Water Footprint: A Case Study on *Mango CV. Namdokmai* in Dong Moon Lek Community Mueng Distric Phetchabun.

ผู้วิจัย พรทวิ กองร้อย

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2558

บทคัดย่อ

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ดำเนินการศึกษาครอบคลุมตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยพิจารณา 3 ส่วน คือ 1. ปริมาณน้ำที่ต้นมะม่วงดูดซับและหมุนเวียนนำไปใช้จากน้ำฝนหรือความชื้นในดิน (Green Water Footprint) 2. ปริมาณน้ำที่ซึมลงสู่ใต้ดินและเก็บกักในแหล่งน้ำธรรมชาติ (Blue Water Footprint) และ 3. ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ (Gray Water Footprint) จากการศึกษาพบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้มีค่า 207 ลูกบาศก์เมตร/ต้น โดยคิดเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว 40.3 ลูกบาศก์เมตร/ต้น สีน้ำเงิน 145.4 ลูกบาศก์เมตร/ต้น และสีเทา 21.3 ลูกบาศก์เมตร/ต้น ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาการใช้น้ำในแต่ละส่วนจะพบว่าน้ำที่ใช้ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองส่วนมากจะเป็นน้ำสีน้ำเงินหรือน้ำที่ได้จากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน ส่วนของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาพิจารณาเพียงผลผลิตพืชจากปริมาณการใช้น้ำในโตรเจนของเกษตรกรจึงแปรผันโดยตรงกับปริมาณการใช้น้ำ ดังนั้น เกษตรกรควรลดปริมาณการใช้น้ำของมะม่วงน้ำดอกไม้และขยายพื้นที่ปลูกให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ รวมถึงส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาด้านฉลากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF) ของผลิตภัณฑ์เกษตร เพื่อสร้างความตระหนักในภาคการบริโภคและให้เกิดความยั่งยืนด้านการใช้น้ำในอนาคต สำหรับการประเมินระดับความตึงเครียดด้านน้ำจากการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ในพื้นที่ตำบลดงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์พบว่า มีค่า WSI เท่ากับ 0.0106 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า <0.1 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับระดับความตึงเครียดพบว่าอยู่ในระดับต่ำ

คำสำคัญ : มะม่วงน้ำดอกไม้, วอเตอร์ฟุตพริ้นท์, ตำบลดงมูลเหล็ก

Abstract

Water Footprint Assessment for *Planting Mango CV Namdokmai* studied cover the lifetime growth of mango. The water study including 1. The water content of the mango absorbs and circulate to water from rain or soil moisture (Green Water Footprint) 2. The amount of water absorption, and into the underground storage of natural sources (Blue water Footprint) and 3. the amount of waste water resulting from the production of the mango (Gray water Footprint) study found that the water footprint by planting a mango, $207 \text{ m}^3 / \text{ton}$, representing the Water Footprint green $40.3 \text{ m}^3 / \text{ton}$, $145.4 \text{ m}^3 / \text{ton}$ of blue water footprints and $21.3 \text{ m}^3 / \text{ton}$ of grey water footprints, respectively, when considering the use of water in each section will find that the water used to grow Mango mostly blue water or water from surface water and groundwater. The Water Footprint Gray considered a result of pollution from the use of nitrogen fertilizer, the farmers thus varies with the amount of fertilizer used. however, farmers should reduce the amount of water your plants grow and expand to suitable amount of water. Including the development of labeling Water Footprint (WF) of agricultural products. To raise awareness in the consumer sector and the sustainability of water use in the future. For evaluating the water stress index (WSI) of mango growing in Tambon Dong Mun Lek, Muang Phetchabun, WSI was found to be 0.0106, which is less than <0.1 when compared to the level of index that found in low level.

Keywords: *Mango CV. Namdokmai*, Water Footprint, Dong Moon Lek

(ก)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่าง ๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่สละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ให้แก่ผู้วิจัย จึงขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

พรทวี กองร้อย

ผู้วิจัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูป..... | ซ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 สมมุติฐานงานวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ระเบียบงานวิจัย..... | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ของการวิจัย..... | 3 |
| 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ..... | 3 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา..... | 4 |
| 2.2 สถานการณ์น้ำในพื้นที่ศึกษา..... | 11 |
| 2.3 มะม่วงน้ำดอกไม้..... | 17 |
| 2.4 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์..... | 22 |
| 2.4 การวัดความตึงเครียดด้านน้ำ..... | 31 |
| 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 33 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|---|
| บทที่ 3 | วิธีดำเนินการวิจัย.....38 |
| 3.1 | วอเตอร์ฟุตพริ้นท์.....38 |
| 3.2 | วิธีการศึกษา.....40 |
| 3.3 | การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์.....40 |
| 3.4 | การวัดความตึงเครียดด้านน้ำ.....43 |
| 3.5 | การแปรผล.....44 |
| บทที่ 4 | ผลการทดลอง.....45 |
| 4.1 | การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้.....45 |
| 4.2 | การวัดความตึงเครียดด้านน้ำ.....51 |
| บทที่ 5 | สรุปผลการทดลอง.....54 |
| 5.1 | อภิปรายและสรุปผลการวิจัย.....54 |
| 5.2 | ข้อเสนอแนะเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนใน พื้นที่ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์.....55 |
| 5.3 | ปัญหาและอุปสรรค.....56 |
| 5.4 | ข้อเสนอแนะ.....56 |
| บรรณานุกรม..... | 58 |
| ภาคผนวก..... | 60 |
| ภาคผนวก ก รูปภาพการศึกษาวิจัย..... | 61 |
| ภาคผนวก ข ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเพชรบูรณ์..... | 65 |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการคำนวณ โดยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (CROPWAT 8.0)..... | 67 |
| ประวัติคณะผู้วิจัย..... | 72 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 2-1 | อุณหภูมิ และความกดอากาศ ณ สถานีตรวจอากาศ เป็นรายเดือน พ.ศ. 2556 - 2557 : จังหวัดเพชรบูรณ์..... | 7 |
| 2-2 | ประชากรตำบลดงมูลเหล็ก..... | 10 |
| 2-3 | โครงการชลประทานที่มีอยู่ในจังหวัดเพชรบูรณ์..... | 14 |
| 2-4 | โครงการชลประทานประเภทอ่างเก็บน้ำขนาดกลางในจังหวัดเพชรบูรณ์..... | 16 |
| 2-5 | การนับอายุของมะม่วงเพื่อการเก็บเกี่ยว..... | 20 |
| 4-1 | ผลการคำนวณ ความต้องการใช้น้ำของมะม่วงน้ำดอกไม้ใช้โปรแกรม ทางคณิตศาสตร์ (CROPWAT 8.0)..... | 47 |
| 4-2 | ความต้องการน้ำตลอดช่วงการเพาะปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้..... | 47 |
| 4-3 | ค่าวอเตอร์ฟุตพรีนที่สีเขียวและสีน้ำเงิน (WF) ของมะม่วงน้ำดอกไม้ในปี 2558.... | 48 |
| 4-4 | ค่าวอเตอร์ฟุตพรีนที่สีเทา (WF) ของมะม่วงน้ำดอกไม้ในปี 2555..... | 50 |
| 4-5 | ผลรวมของวอเตอร์ฟุตพรีนที่ทุกประเภทจากการคำนวณ..... | 51 |

(ช)

สารบัญรูป

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|--|------|
| 2-1 | แผนที่จังหวัดเพชรบูรณ์..... | 5 |
| 2-2 | ทรัพยากรป่าไม้จังหวัดเพชรบูรณ์..... | 8 |
| 2-3 | ลุ่มน้ำในจังหวัดเพชรบูรณ์..... | 13 |
| 2-4 | โครงการชลประทานในจังหวัดเพชรบูรณ์..... | 15 |
| 2-5 | ระบบการผลิตผลิตภัณฑ์ p ผ่านกระบวนการย่อย k ชั้นตอน..... | 29 |
| 2-7 | ขั้นตอนย่อยสุดท้ายในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ p..... | 29 |
| 3-1 | แผนผังการวิเคราะห์ค่าเวกเตอร์ฟูตพรีนซ์ของการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้..... | 39 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรน้ำของประเทศไทยในปัจจุบันได้ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการขาดแคลนน้ำในภาคการเกษตร เกษตรกรยุคใหม่จึงต้องเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำเพื่อปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปให้ได้ ทางเลือกในการจัดการน้ำ ได้แก่ การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีการเกษตร มีวิธีการใช้ที่ดินและน้ำร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ เลือกปลูกพืชพันธุ์ที่ใช้น้ำน้อยหรือปลูกพืชที่ให้ผลกำไรสูง มีการกักเก็บน้ำให้มีประสิทธิภาพ และลดมลพิษทางน้ำ เป็นต้น การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตร ควรพิจารณามิติให้รอบด้าน ทั้งด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และสังคม เพื่อจัดระบบการกระจายน้ำให้เหมาะสมในทุกภาคส่วน ยึดหลักลดการใช้น้ำ การนำกลับมาใช้ใหม่ การใช้เทคโนโลยีสะอาดและจัดทำข้อมูลปริมาณการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์หรือเครื่องมือวัดร่องรอยการใช้น้ำอาศัยหลักการวัดปริมาณการใช้น้ำของผลิตภัณฑ์สินค้าและบริการทั้งทางตรงและทางอ้อมตลอดห่วงโซ่อุปทาน (Life cycle assessment) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือลูกบาศก์เมตรต่อตัน โดยแบ่งการใช้น้ำเป็น 3 ประเภท คือ น้ำสีเขียว (Green WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน น้ำสีน้ำเงิน (Blue WF) เป็นปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน และ น้ำสีเทา (Gray WF) เป็นปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยน้ำแต่ละประเภทจะมาจากแหล่งที่แตกต่างกัน (Hoekstra et al., 2011)

ประเทศไทยเริ่มมีการศึกษาวิจัยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับภาคการเกษตรในพืชหลายชนิด ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด ยางพารา อ้อยและมันสำปะหลัง (ทิพย์ภา สุขุมลชาติ, 2555;รมณี และ ปุณณมี, 2554; ลักขณา และคณะ, 2555; อนันตยา และคณะ, 2557; สานิตย์ดา และคณะ, 2555; แซบเบียร์ และคณะ, 2556) ซึ่งการศึกษายังมีไม่มากและไม่ครอบคลุมสินค้าที่ส่งออกทั้งหมด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จึงเป็นทางเลือกที่เกิดขึ้นเพื่อให้ทุกคนได้ตระหนักถึงการใช้น้ำที่มีอยู่อย่างขาดแคลนให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าที่สุด อีกทั้งให้ผู้บริโภคสามารถเลือกสินค้าและบริการที่ใช้น้ำน้อยที่สุดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้สินค้าที่แสดงวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บนฉลากยังสามารถเพิ่มมูลค่าของสินค้านั้นได้

ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ มีการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออก และปัจจุบันได้มีการส่งเสริมให้มีการปลูกมากขึ้น ปัจจัยด้านทรัพยากรน้ำจึงเป็นองค์ความรู้หนึ่งที่ต้องศึกษาและรวบรวมให้มีระบบ ดังนั้น ผู้วิจัยและคณะจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเพาะปลูกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วยวิธีวอเตอร์พูตพรีนท์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับเกษตรกร นักวิชาการ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องใช้เป็นแนวทางการบริหารจัดการน้ำในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรให้มีการใช้น้ำอย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพต่อไป และเตรียมความพร้อมรองรับมาตรการกีดกันทางการค้าด้านสิ่งแวดล้อมในต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณการใช้น้ำสำหรับการเพาะปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยวิธีวอเตอร์พูตพรีนท์ในพื้นที่ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

1.2.2 เพื่อประเมินสถานการณ์และโอกาสการเกิดปัญหาหรือความตึงเครียดด้านน้ำในพื้นที่ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

1.2.3 จัดทำข้อเสนอแนะเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนในพื้นที่ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

1.3 สมมุติฐานงานวิจัย

การศึกษปริมาณการใช้น้ำด้วยวิธีวอเตอร์พูตพรีนท์ของการเพาะปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ในพื้นที่ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ สามารถนำไปประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนได้ โดยเฉพาะกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ขอบเขตเนื้อหา ศึกษาปริมาณการใช้น้ำด้วยวิธีวอเตอร์พูตพรีนท์ของการเพาะปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ในพื้นที่ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

1.4.2 กลุ่มตัวอย่าง เกษตรผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ และพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

1.4.3 ระยะเวลา ใช้ระยะเวลาในการศึกษาวิจัย 1 ปี

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของงานวิจัยนี้หลังจากการเผยแพร่ จะเป็นประโยชน์ต่อนักเรียนนักศึกษา นักวิจัย เกษตรกร หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชน และผู้สนใจทั่วไป ดังนี้

1.5.1 ได้ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำสำหรับการเพาะปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยวิธีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

1.5.2 ได้ทราบสภาพปัญหาความต้องการใช้น้ำหรือความตึงเครียดด้านน้ำในพื้นที่ตำบลคงมุลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

1.5.3 ส่งเสริมการอนุรักษ์ ทรัพยากรน้ำในพื้นที่ตำบลคงมุลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

1.5.4 ได้ข้อเสนอแนะเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนในพื้นที่ตำบลคงมุลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้าและบริการมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (Green water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินเนื่องจากน้ำฝนที่ถูกใช้ไปในการผลิตสินค้าและบริการ

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (Blue water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินที่ถูกใช้ไปในการผลิตสินค้าและบริการ

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Gray water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าและบริการให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืนเป็นหลักการที่สำคัญอื่นที่จะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ ใช้อุปโภค บริโภค รวมถึงภาคการเกษตร ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการน้ำเพื่อ การเกษตร ควรพิจารณามิติให้รอบด้าน ทั้งด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และสังคม เพื่อจัดระบบ การจัดสรรน้ำให้เหมาะสมในทุกภาคส่วน ยึดหลักลดการใช้น้ำ การนำกลับมาใช้ใหม่ การใช้ เทคโนโลยีสะอาดและจัดทำข้อมูลปริมาณการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) สำหรับเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา
2. สถานการณ์น้ำในพื้นที่ศึกษา
3. การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้
4. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

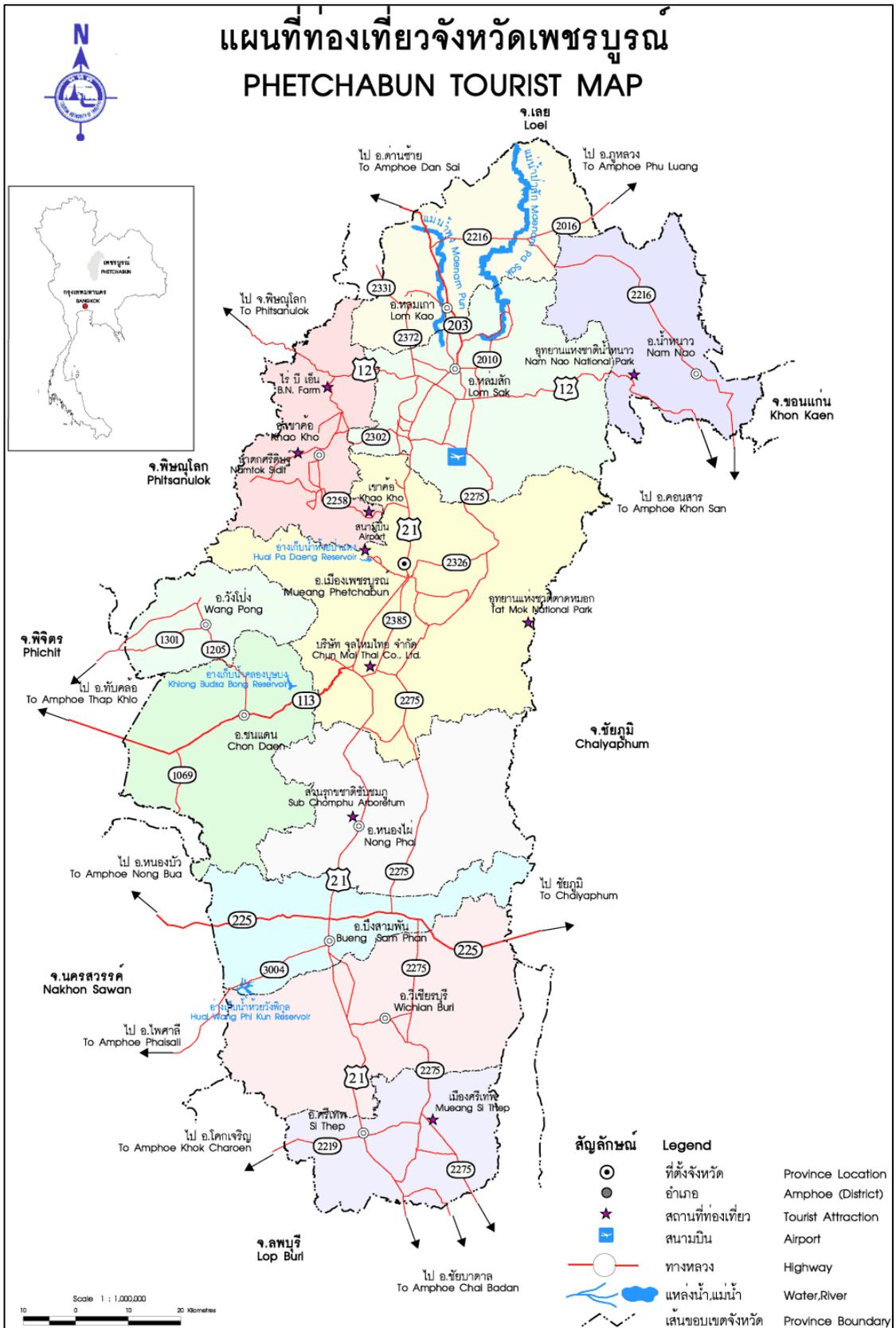
2.1.1 สภาพทั่วไปของจังหวัดเพชรบูรณ์

2.1.1.1 ขนาดและที่ตั้ง

จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นจังหวัดที่มีแนวเขตติดต่อระหว่างภาคเหนือภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ประมาณเส้นรุ้งที่ 16 องศาเหนือ กับเส้นแวงที่ 101 องศา ตะวันออก มีพื้นที่ประมาณ 12,668.416 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 7,917,760 ไร่ ส่วนที่กว้าง ที่สุดของจังหวัด จากด้านตะวันออกถึงตะวันตก กว้าง 55 ก.ม.ส่วนที่ยาวที่สุดวัดจากเหนือสุดถึงใต้ สุด ยาว 296 ก.ม. สูงจากระดับทะเล ประมาณ 114 เมตร อยู่ห่างกรุงเทพฯ 346 ก.ม. ตามทางหลวง หมายเลข 21 มีอาณาเขตติดต่อของจังหวัดทั้ง 4 ด้านแสดงดังรูปที่ 2-1 ได้แก่

ทิศเหนือ ติดต่อกับ จังหวัดเลย

ทิศใต้ ติดต่อกับ จังหวัดลพบุรี



รูปที่ 2-1 แผนที่จังหวัดเพชรบูรณ์ (การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2559)

ทิศตะวันออก ติดต่อกับ จังหวัดขอนแก่นและชัยภูมิ

ทิศตะวันตก ติดต่อกับ จังหวัดพิษณุโลก นครสวรรค์ และพิจิตร

2.1.1.2 ภูมิประเทศ

ภาพภูมิประเทศทั่วไปของจังหวัดเพชรบูรณ์ ประกอบด้วยภูเขาเพชรบูรณ์ เป็นรูปเกือกม้า รอบพื้นที่ด้านเหนือของจังหวัด เป็นแนวยาวกันไปทั้งสองข้าง ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ ร้อยละ 40 ของพื้นที่ทั้งหมด มีพื้นที่ราบอยู่ตอนกลางและอำเภอด้านใต้ของจังหวัด เป็นพื้นที่ลาดชันจากเหนือลงใต้ มีพื้นที่ป่าไม้ 3,624,830 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 45.78 มีแม่น้ำป่าสัก เป็นแม่น้ำสายสำคัญที่สุดของจังหวัด ไหลผ่านตอนกลางของจังหวัดจากทิศเหนือไปทิศใต้ ยาวประมาณ 350 กิโลเมตร ต้นน้ำเกิดจากภูเขาผาลาในจังหวัดเลย มีห้วยลำธารหลายสายเกิดจากภูเขาเพชรบูรณ์ แม่น้ำป่าสักไหลผ่านอำเภอหล่มเก่า หล่มสัก เมืองเพชรบูรณ์หนองไผ่ บึงสามพัน วิเชียรบุรี และศรีเทพ

2.1.1.3 ภูมิอากาศ

เนื่องจากพื้นที่จังหวัด มีภูเขาล้อมรอบจึงทำให้อากาศร้อนจัดในฤดูร้อนหนาวจัดในฤดูหนาว โดยเฉพาะพื้นที่อำเภอน้ำหนาว เขาค้อ และหล่มเก่า จะมีอากาศหนาวที่สุดและบนพื้นที่ภูเขาจะมีอากาศเย็นตลอดทั้งปี ในฤดูร้อนและฤดูฝน จะมีอุณหภูมิ 20-24 องศาเซลเซียส ฤดูโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 27.3 องศาเซลเซียส ร้อนเริ่มในเดือนมีนาคม ถึงเมษายน ฤดูฝนเริ่มเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม และฤดูหนาวในเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ของทุกปี และมีความกดอากาศเฉลี่ย 1,009.8เฮกโตปาสกาลแสดงดังตารางที่ 2-1

2.1.1.4 ทรัพยากรธรรมชาติ

จังหวัดเพชรบูรณ์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม หลายชนิด ดังนี้

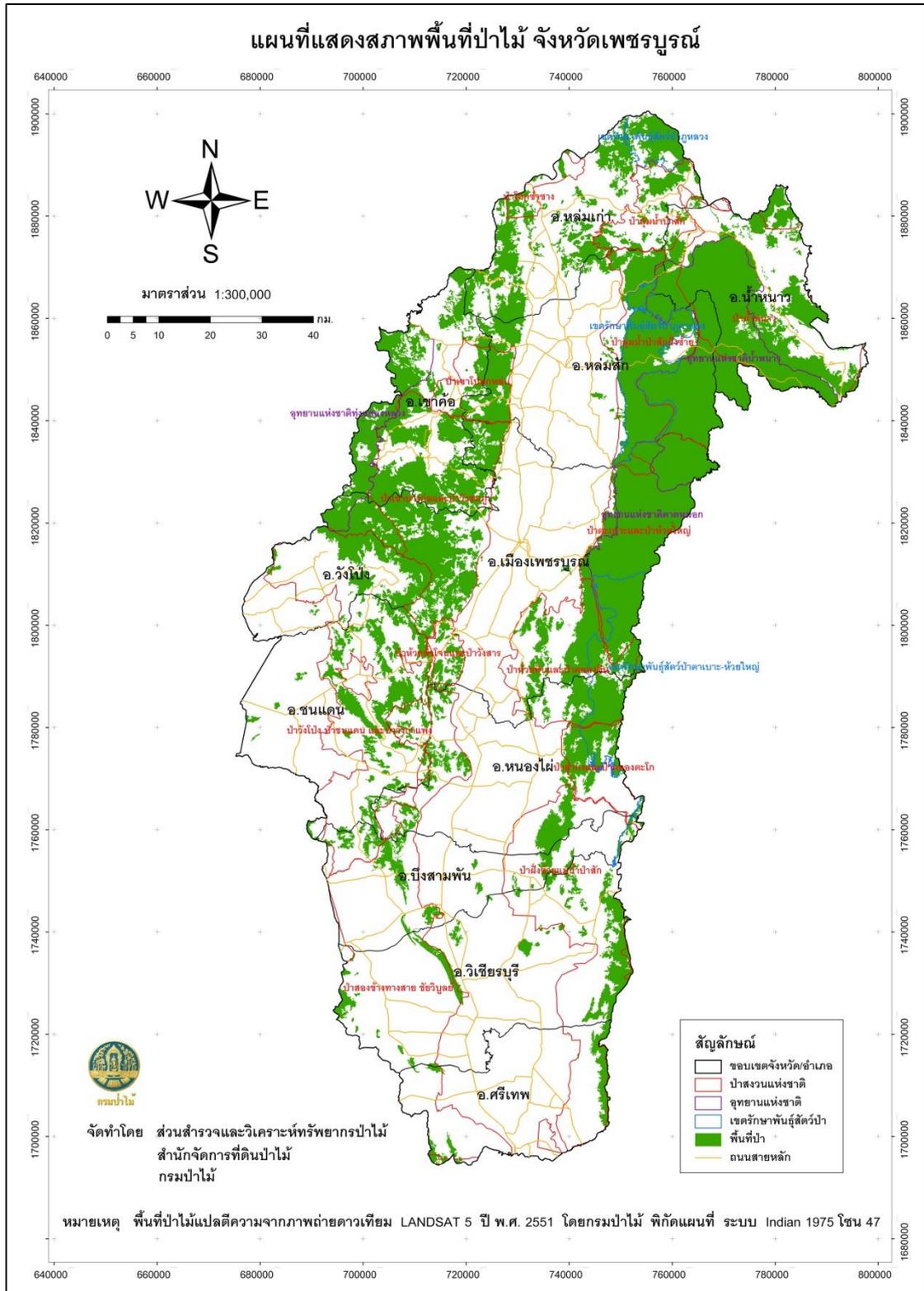
- 1) แหล่งน้ำธรรมชาติ ประกอบด้วยแม่น้ำป่าสัก กลุ่มน้ำเชิญ กลุ่มน้ำเข็ก ซึ่งเป็นแหล่งต้นน้ำของแม่น้ำสายต่าง ๆ
- 2) ป่าไม้ในจังหวัดเพชรบูรณ์มีเนื้อที่ 2,006.51 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 100.00 ของพื้นที่จังหวัด เป็นป่าสงวนแห่งชาติ จำนวน 13 แห่ง อุทยานแห่งชาติ 3 แห่ง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า 2 แห่ง เขตห้ามล่าสัตว์ป่า 2 แห่ง สวนรุกขชาติ 3 แห่ง วนอุทยาน 1 แห่ง สามารถจำแนกตามเขตการใช้ประโยชน์ทรัพยากรที่ดินและป่าไม้ ได้แก่ เขตเพื่อการอนุรักษ์ เขตเพื่อประโยชน์ทาง

เศรษฐกิจ เขตพื้นที่ที่เหมาะสมแก่การเกษตร คิดเป็นร้อยละ 58.59 28.67 และ 6.67 ของพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมด ตามลำดับ

ตารางที่ 2-1 อุณหภูมิ และความกดอากาศ ณ สถานีตรวจอากาศ เป็นรายเดือน พ.ศ. 2556 - 2557
: จังหวัดเพชรบูรณ์

| เดือน | ปี พ.ศ. 2557 | | | | | ความกดอากาศ เฉลี่ย Mean atmospheric pressure (HPA) |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|--|
| | อุณหภูมิ (°C) Temperature (° C) | | | | | |
| | เฉลี่ย Mean | เฉลี่ยสูงสุด Mean maximum | เฉลี่ยต่ำสุด Mean minimum | สูงสุด Maximum | ต่ำสุด Minimum | |
| สถานีตรวจอากาศหล่มสัก | | | | | | |
| ทั้งปี | 27.3 | 33.7 | 22.2 | 36.8 | 18.9 | 1,009.8 |
| มกราคม | 22.2 | 30.8 | 14.8 | 35.2 | 8.8 | 1,015.8 |
| กุมภาพันธ์ | 26.1 | 34.2 | 19.6 | 36.3 | 16.8 | 1,010.8 |
| มีนาคม | 28.7 | 36.5 | 22.2 | 39.8 | 18.5 | 1,010.4 |
| เมษายน | 29.8 | 37.0 | 23.1 | 40.0 | 18.8 | 1,008.7 |
| พฤษภาคม | 29.5 | 36.2 | 24.7 | 39.8 | 20.3 | 1,007.6 |
| มิถุนายน | 28.9 | 34.3 | 25.3 | 37.2 | 23.5 | 1,004.6 |
| กรกฎาคม | 28.1 | 32.5 | 24.8 | 36.8 | 23.0 | 1,005.7 |
| สิงหาคม | 27.5 | 32.1 | 23.8 | 35.5 | 22.5 | 1,007.5 |
| กันยายน | 27.6 | 32.7 | 24.5 | 34.8 | 23.0 | 1,008.0 |
| ตุลาคม | 27.2 | 33.0 | 22.8 | 35.3 | 19.5 | 1,011.6 |
| พฤศจิกายน | 26.9 | 33.4 | 21.6 | 36.3 | 18.0 | 1,012.3 |
| ธันวาคม | 24.9 | 31.6 | 19.2 | 34.8 | 14.2 | 1,014.6 |

ที่มา: สถานีตรวจอากาศจังหวัดเพชรบูรณ์ 2557



รูปที่ 2- 2 ทรัพยากรป่าไม้จังหวัดเพชรบูรณ์

2.1.2 สภาพทั่วไปของตำบลคงมูลเหล็ก

2.1.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับที่ตั้ง อาณาเขต เขตการปกครอง

ตำบลคงมูลเหล็ก ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองเพชรบูรณ์ เนื้อที่ประมาณ 117 ตารางกิโลเมตรตำบลคงมูลเหล็กส่วนใหญ่มีพื้นที่สภาพเป็นที่ราบลุ่ม มีลำคลองขนาดเล็กหลายสาย ไหลผ่านพื้นที่ในหลายหมู่บ้าน นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ราบลุ่มที่อุดมสมบูรณ์ริมแม่น้ำป่าสัก มีหมู่บ้านทั้งหมด จำนวน 11 หมู่บ้าน ได้แก่

- หมู่ที่ 1 บ้านคงมูลเหล็ก
- หมู่ที่ 2 บ้านคงมูลเหล็ก
- หมู่ที่ 3 บ้านคลองบง
- หมู่ที่ 4 บ้านคงมูลเหล็ก
- หมู่ที่ 5 บ้านโนนตะแบก
- หมู่ที่ 6 บ้านท่ากกตาล
- หมู่ที่ 7 บ้านลำป่าสักมูล
- หมู่ที่ 8 บ้านโนนสะอาด
- หมู่ที่ 9 บ้านลำป่าสักเหนือ
- หมู่ที่ 10 บ้านลำป่าสัก
- หมู่ที่ 11 บ้านท่ากกตาล

โดยตำบลคงมูลเหล็ก มีพื้นที่ติดต่อกับตำบลต่าง ๆ คือ

- ทิศเหนือ จุดตำบลท่าพล และตำบลข้างตะลูด (อ.หล่มสัก)
- ทิศใต้ จุดตำบลนาป่า
- ทิศตะวันออก จุดตำบลบ้านโคก
- ทิศตะวันตก จุดตำบลนางั่ว และตำบลสะเดียง

2.1.2.2 ประชากร

ตำบลคงมูลเหล็ก มีทั้งหมด 1 หมู่บ้าน มีประชากรทั้งหมด 10,036 คน แบ่งเป็นชาย 5,042 คน หญิง มี 4,994 คน มี 2,425 ครัวเรือน 2,422 ครอบครัว แสงดัง ตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ประชากรตำบลดงมูลเหล็ก

| หมู่ที่ | ชื่อหมู่บ้าน | จำนวน | | ประชากร | | รวม |
|---------|-----------------|-----------|----------|---------|-------|--------|
| | | ครัวเรือน | ครอบครัว | ชาย | หญิง | |
| 1 | ดงมูลเหล็ก | 225 | 263 | 457 | 448 | 905 |
| 2 | ดงมูลเหล็ก | 371 | 354 | 743 | 792 | 1,535 |
| 3 | คลองบง | 236 | 206 | 525 | 505 | 1,030 |
| 4 | ดงมูลเหล็ก | 282 | 289 | 587 | 558 | 1,145 |
| 5 | บ้านโนนตะแบก | 257 | 264 | 592 | 563 | 1,155 |
| 6 | บ้านท่ากตาล | 169 | 169 | 331 | 329 | 660 |
| 7 | บ้านลำป่าสักมูล | 202 | 183 | 392 | 354 | 746 |
| 8 | บ้านโนนสะอาด | 313 | 324 | 603 | 619 | 1,222 |
| 9 | ลำลำป่าสักเหนือ | 133 | 139 | 297 | 327 | 624 |
| 10 | บ้านลำป่าสัก | 151 | 149 | 311 | 300 | 611 |
| 11 | บ้านท่ากตาล | 86 | 82 | 204 | 199 | 403 |
| รวม | | 2,425 | 2,422 | 5,042 | 4,994 | 10,036 |

2.1.2.3 สภาพทางสังคมและเศรษฐกิจ

1) อาชีพ ประชากรส่วนใหญ่ในตำบลดงมูลเหล็กประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีการทำนาเป็นอาชีพหลักโดยคิดเป็นประมาณ 18,106 ไร่ ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมามีการปลูกพืชผัก เช่น หอมแบ่ง และพืชไร่เช่นถั่วเขียว

2) การคมนาคม ระหว่างตำบลคงมูลเหล็ก ไปยังอำเภอหรือตัวเมือง มีถนนสายหลัก 5 สายประกอบด้วย

- สายบ้านโนนตะแบก-อำเภอเมือง ระยะทางประมาณ 7 กิโลเมตร
- สายลำป่าสักมูลผ่านบ้านนา-อำเภอเมือง เป็นระยะทางประมาณ 15 กิโลเมตร
- สายคงมูลเหล็กผ่านถนนโยธาธิการ-อำเภอเมือง เป็นระยะทางประมาณ 7 กิโลเมตร
- สายคงมูลเหล็ก-ห้วยใหญ่-อำเภอเมือง ระยะทางประมาณ 9 กิโลเมตร
- สายจาก ม.10 ตำบลคงมูลเหล็กผ่านตำบลสะเดียง(บ้านไร่เหนือ)ระยะทางประมาณ 7 กม.

3) แหล่งน้ำใช้ ในตำบลคงมูลเหล็ก มีแหล่งน้ำใช้แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น ลำน้ำ ลำห้วย จำนวน 19 แห่ง บึง หนองและอื่นๆ จำนวน 20 แห่ง และแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น เช่น ฝาย จำนวน 16 แห่ง บ่อน้ำตื้น จำนวน 94 แห่ง บ่อโยก 113 แห่ง และ ประปา จำนวน 6 แห่ง

2.2 สถานการณ์น้ำในพื้นที่ศึกษา

2.2.1 ลำน้ำและแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

จังหวัดเพชรบูรณ์ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ 5 ลุ่มน้ำ (ตามการแบ่งลุ่มน้ำหลักของประเทศ ไทยโดยคณะกรรมการ อุทกวิทยาแห่งชาติ) โดยมีปริมาณน้ำผิวดินตามธรรมชาติประมาณ 2,170 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยมีแหล่งน้ำ ตามธรรมชาติที่สำคัญแยกตามลุ่มน้ำต่าง ๆ ดังนี้

1) ลุ่มน้ำป่าสัก เป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดหรือประมาณร้อยละ 70 ได้แก่ บริเวณตอนกลางของจังหวัดหรือพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอหล่มเก่า อำเภอหล่มสัก อำเภอเมือง อำเภอหนองไผ่ อำเภอบึงสามพัน อำเภอวิเชียรบุรี และอำเภอศรีเทพ มีแม่น้ำที่สำคัญ คือ แม่น้ำป่าสัก ซึ่งไหลทอดตัวยาวลงมาตั้งแต่ทิศเหนือสู่ทิศใต้รวมความยาวที่ไหลผ่านจังหวัดเพชรบูรณ์ (ประมาณ 350 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังมีลำน้ำ สาขาของแม่น้ำป่าสัก ซึ่งจะมีลักษณะเป็นลำน้ำสายสั้น ๆ แยกมาจากทางตะวันตกและตะวันออก ลำน้ำสาขาที่สำคัญ ได้แก่ ห้วยน้ำพุง ห้วยสะควงใหญ่ ห้วยน้ำซุน ห้วยป่าเลาห้วยป่าแดง ห้วยนา คลองเฉลียงลับ คลองลำกง ห้วยเล็ง ห้วยเกาะแก้ว ห้วยห้วย

2) กลุ่มน้ำน่าน มีพื้นที่ประมาณร้อยละ 12 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยจะอยู่บริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัด หรือพื้นที่บริเวณทิศตะวันตกของอำเภอเขาค้อ อำเภอวังโป่ง และอำเภอชนแดน ลำน้ำต่าง ๆ มี ทิศทางการไหลไปทางทิศตะวันตกสู่แม่น้ำน่าน มีลำน้ำสาขาของแม่น้ำน่านที่สำคัญคือ ลำน้ำเข็ก ซึ่งจะไหลไปบรรจบกับแม่น้ำวังทอง ที่จังหวัดพิษณุโลก และคลองบุษยงซึ่งจะไหลเข้าสู่กลุ่มน้ำน่านตอนล่าง บริเวณจังหวัดพิจิตร

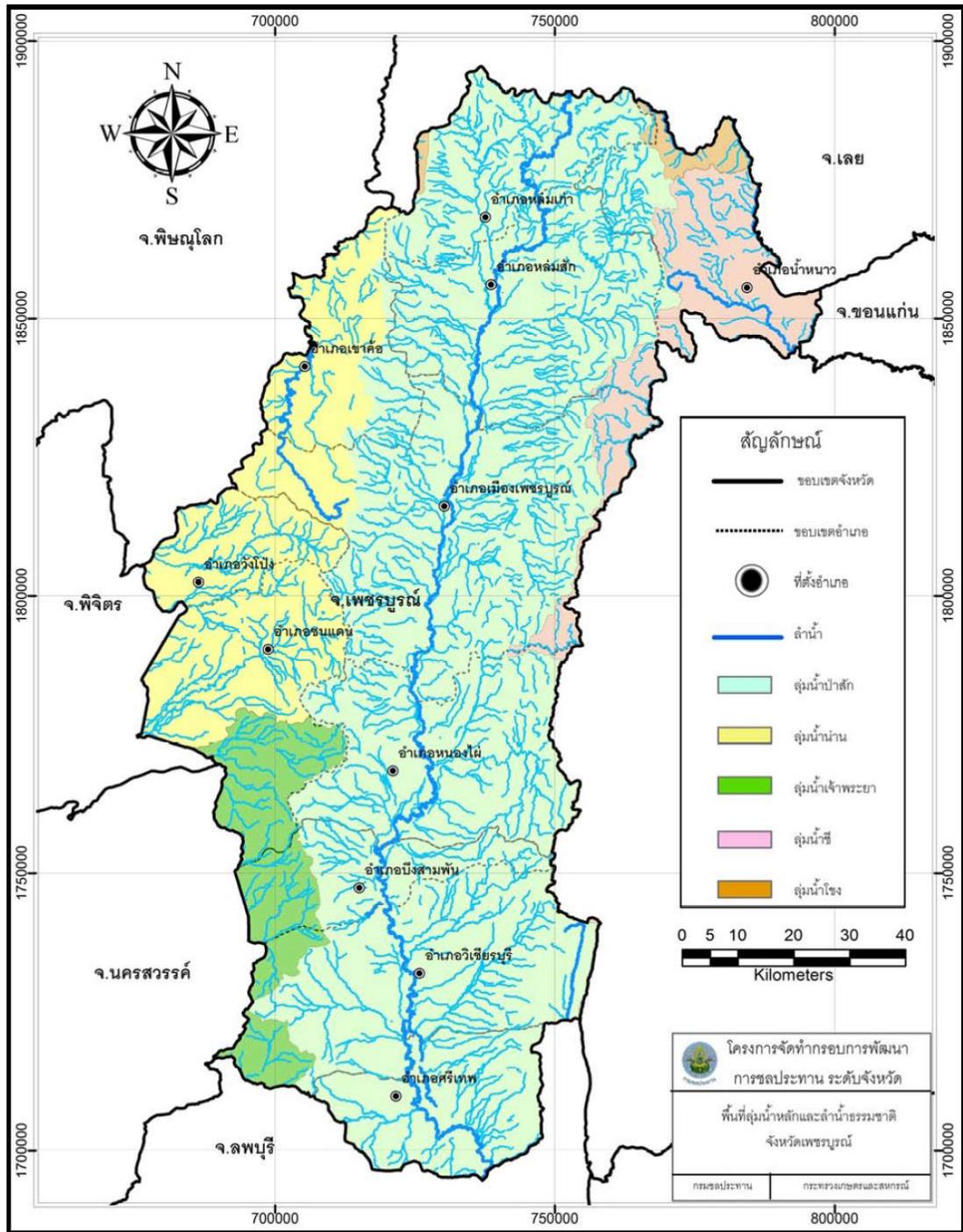
3) กลุ่มน้ำชี อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดบริเวณพื้นที่อำเภอภูพานครอบคลุมพื้นที่ประมาณร้อยละ 9 ของพื้นที่ทั้งหมด เป็นพื้นที่ต้นน้ำของแม่น้ำชี มีลำน้ำสาขาของแม่น้ำชีที่สำคัญ คือ ลำน้ำเชิญ และต้นแม่น้ำพอง ลำน้ำต่างๆ จะไหลไปทางทิศตะวันออกสู่แม่น้ำชี

4) กลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีพื้นที่ประมาณร้อยละ 6 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยจะอยู่บริเวณทิศตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัด หรือพื้นที่บริเวณทิศตะวันตกของอำเภอบึงสามพัน และอำเภอวิเชียรบุรี มีลำน้ำสาขาของแม่น้ำเจ้าพระยาที่สำคัญ คือ ห้วยวังใหญ่ และห้วยยางราก ลำน้ำต่างๆ จะไหลไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้สู่บึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์

5) กลุ่มน้ำโขง มีพื้นที่ประมาณร้อยละ 3 ของพื้นที่ทั้งหมด มีพื้นที่อยู่ทางตอนบนของจังหวัด บริเวณอำเภอภูพาน ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาและป่าไม้ เป็นแหล่งต้นน้ำของน้ำเลย ซึ่งไหลไปทางทิศเหนือสู่แม่น้ำโขง

2.2.2 โครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่มีในปัจจุบัน

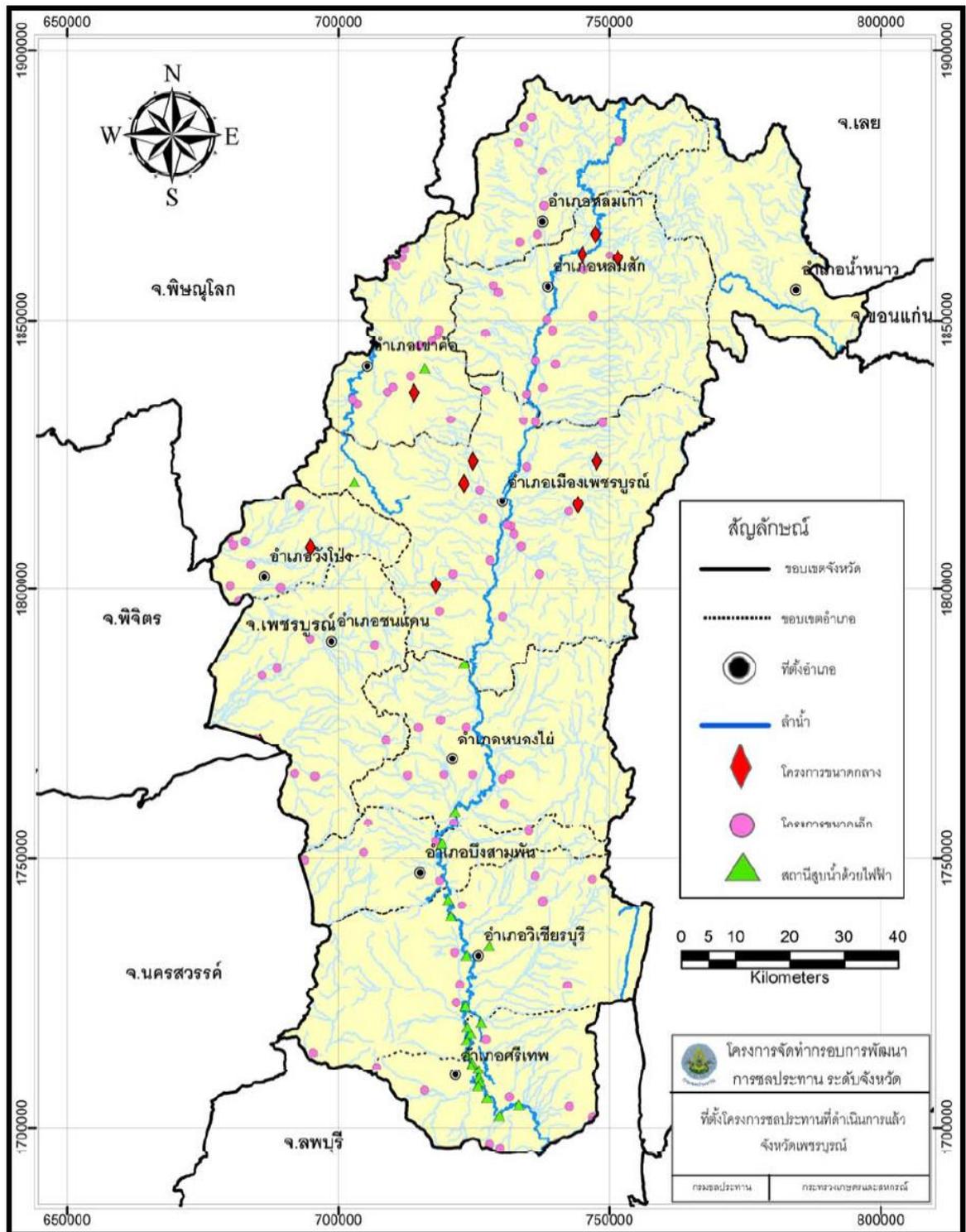
จังหวัดเพชรบูรณ์ มีโครงการชลประทานขนาดกลางและขนาดเล็กประเภทต่างๆ ที่ดำเนินการแล้วจำนวนทั้งสิ้น 184 แห่ง สามารถเก็บกักน้ำได้ 106.11 ล้านลูกบาศก์เมตร พื้นที่ชลประทาน 265,743 ไร่ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-3 และรูปที่ 2-4 โดยมีรายละเอียดของโครงการอ่างเก็บน้ำขนาดกลางตามตารางที่ 2-4



รูปที่ 2-3 ลุ่มน้ำในจังหวัดเพชรบูรณ์

ตารางที่ 2-3 โครงการชลประทานที่มีอยู่ในจังหวัดเพชรบูรณ์

| ประเภท | ขนาดกลาง | ขนาดเล็ก | รวม |
|-------------------------|----------|----------|---------|
| 1.อ่างเก็บน้ำ | | | |
| - จำนวน (แห่ง) | 6 | 32 | 38 |
| - ความจุ (ล้าน ลบ.ม.) | 100.98 | 5.13 | 106.11 |
| - พื้นที่ชลประทาน (ไร่) | 31,662 | 27,870 | 59,532 |
| 2.ฝาย | | | |
| -จำนวน (แห่ง) | 3 | 51 | 54 |
| - พื้นที่ชลประทาน (ไร่) | 41,600 | 130,400 | 172,000 |
| 3.ปตร. | | | |
| -จำนวน (แห่ง) | | 1 | 1 |
| - พื้นที่ชลประทาน (ไร่) | | | - |
| 4.สถานีสูบน้ำ | | | |
| -จำนวน (แห่ง) | | 23 | 23 |
| - พื้นที่ชลประทาน (ไร่) | | 29,919 | 29,919 |
| 5.ระบบส่งน้ำ | | | |
| -จำนวน (แห่ง) | | 4 | 4 |
| - พื้นที่ชลประทาน (ไร่) | | 4,192 | 4,192 |
| 6.ระบบระบายน้ำ | | | |
| -จำนวน (แห่ง) | | 1 | 1 |
| - พื้นที่ชลประทาน (ไร่) | | | - |
| 7.อื่น ๆ | | | |
| -จำนวน (แห่ง) | | 63 | 63 |
| - พื้นที่ชลประทาน (ไร่) | | 100 | 100 |
| รวมทุกประเภท | | | |
| - จำนวน (แห่ง) | 9 | 175 | 184 |
| - ความจุ (ล้าน ลบ.ม.) | 100.98 | 5.13 | 106.11 |
| - พื้นที่ชลประทาน (ไร่) | 73,262 | 192,481 | 265,743 |



รูปที่ 2-4 โครงการชลประทานในจังหวัดเพชรบูรณ์

ตารางที่ 2-4 โครงการชลประทานประเภทอ่างเก็บน้ำขนาดกลางในจังหวัดเพชรบูรณ์

| ที่ | รายการ | ความจุ | ระดับน้ำ | | ปริมาณน้ำในอ่างฯ | | ปริมาณน้ำระบายรายวัน | |
|-----|---------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|--|---|
| | | ที่ รทก. (ล้าน ลบ.ม) | เก็บกัก ม.(รทก.) | ปัจจุบัน ม.(รทก.) | ๒๕/๓/๒๕๕๙ | | ปริมาณน้ำ ที่จะส่งวันนี้ (ล้าน ลบ.ม) | สะสมตั้งแต่ ๑ ม.ค. ๕๙ (ล้าน ลบ.ม) |
| | | | | | ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม) | % เทียบกับ ความจุเก็บกัก | | |
| | โครงการชลประทานเพชรบูรณ์ | | | | | | | |
| ๑ | อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น | ๓๓.๒๒๐ | ๒๑๖.๐๐ | ๑๙๙.๐๐ | ๑๑.๐๐๐ | ๓๓.๑๑ | ๐.๐๑๓ | ๔.๔๐๑ |
| ๒ | อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำก่อ | ๒๐.๕๘๐ | ๒๔๒.๐๐ | ๒๓๑.๔๘ | ๑๐.๑๑๕ | ๔๙.๑๕ | ๐.๐๐๘ | ๓.๕๔๖ |
| ๓ | อ่างเก็บน้ำห้วยป่าแดง | ๑๘.๗๕๐ | ๑๕๘.๖๐ | ๑๕๐.๙๕ | ๔.๗๘๔ | ๒๕.๕๓ | ๐.๐๑๘ | ๓.๕๐๐ |
| ๔ | อ่างเก็บน้ำคลองเด็ยงลับ | ๗.๘๕๐ | ๒๐๖.๕๐ | ๑๙๒.๕๗ | ๑.๖๒๕ | ๒๐.๗๐ | ๐.๐๐๙ | ๑.๗๐๐ |
| ๕ | อ่างเก็บน้ำห้วยป่าเลา | ๘.๙๐๐ | ๑๗๖.๐๐ | ๑๖๕.๗๔ | ๑.๙๐๓ | ๒๒.๖๕ | ๐.๐๐๐ | ๐.๒๓๖ |
| ๖ | อ่างเก็บน้ำห้วยใหญ่ | ๑๓.๒๕๐ | ๒๑๗.๗๖ | ๒๐๕.๐๙ | ๓.๖๓๑ | ๒๗.๙๐ | ๐.๐๐๐ | ๐.๑๕๖ |
| ๗ | อ่างเก็บน้ำห้วยนา | ๕.๖๕๐ | ๑๗๘.๐๐ | ๑๗๐.๔๐ | ๒.๖๒๙ | ๔๖.๕๓ | ๐.๐๔๔ | ๒.๓๑๖ |
| ๘ | อ่างเก็บน้ำคลองล่าง | ๔๘.๕๑๕ | ๑๔๔.๐๐ | ๑๔๑.๑๓ | ๔๐.๒๕๓ | ๘๒.๙๗ | ๐.๐๓๔ | ๕.๔๓๘ |
| ๙ | อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำขุนใหญ่ | ๗.๕๒๐ | ๓๕๘.๐๐ | ๓๔๖.๖๐ | ๓.๑๐๖ | ๔๑.๓๐ | ๐.๐๐๙ | ๐.๓๖๘ |
| ๑๐ | อ่างเก็บน้ำห้วยเล็ง | ๑๗.๒๐๐ | ๑๔๕.๕๐ | ๑๔๓.๒๘ | ๑๔.๒๙๔ | ๘๓.๑๐ | ๐.๐๐๙ | ๐.๖๘๒ |
| | | | | | | | | |
| | รวม | ๑๘๐.๙๒๕ | | | ๙๓.๓๔๐ | | | ๒๒.๓๔๓ |

2.3 มะม่วงน้ำดอกไม้

ชื่อวิทยาศาสตร์ *ManiiferaIndica*Linn.

ชื่อสามัญ : มะม่วงน้ำดอกไม้ (Mango Tree) ชื่อท้องถิ่น มะม่วงน้ำดอกไม้

อยู่ในวงศ์ : Anacardiaceae

สกุล : Manaiifera

ชนิด :Indica

ลักษณะทั่วไป

ไม้พุ่มยืนต้น สูงประมาณ 10 - 15 ม. ลำต้นตรง เรือนยอดกลม ทึบ ใบเดี่ยว การเกาะติดของใบบนกิ่งแบบเวียน ใบรูปหอกยาวแกมขอบขนาน ปลายเรียวแหลม โคนมนแหลม ออกดอกเดือนธันวาคม ถึง มกราคม ดอกออกเป็นช่อที่ปลายกิ่ง ในช่อดอกหนึ่งๆ จะมีช่อย่อยหลายช่อ ดอกย่อยขนาดเล็กสีเหลืองอ่อน ก้านดอกสั้น ผลสุกเดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายน และมีพันธุ์ทวายซึ่งออกนอกฤดูกาล ผลเป็นแบบผลสด รูปทรง ขนาด และสีผิวแล้วแต่ชนิดพันธุ์นั้นๆ บริโภคได้ทั้งผลดิบและผลสุก รสเปรี้ยว มัน และหวาน มะม่วงในประเทศไทยโดยเฉพาะที่ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง มก. วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม มีอยู่หลากหลายพันธุ์

พันธุ์

มะม่วงในประเทศไทยมีมากหลายพันธุ์ สามารถแบ่งตามลักษณะการนำมาบริโภคได้ 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. มะม่วงสำหรับรับประทานผลดิบ เช่น น้ำดอกไม้มัน พิมเสนมัน แรด เขียวเสวย หนองแขง ฟ้ายัน มันหวานปากช่อง เบาลงขลา เป็นต้น
2. มะม่วงสำหรับรับประทานผลสุก เช่น อกร่อง อกร่องพิกุลทอง น้ำดอกไม้ หนังกกลางวัน ทองคำ
3. มะม่วงที่ปลูกเพื่อการอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้
 - มะม่วงสำหรับคอง เช่น แก้ว โชคอนันต์
 - มะม่วงสำหรับบรรจุกระป๋อง ทำน้ำคั้น แช่อิ่ม เช่น มะม่วงสามปี มหาชนก

การปลูก

การปลูกด้วยกิ่งตอน ให้ปลูกลึกระดับเดียวกับดินในภาชนะเดิม หรือให้เหลือจุกมะพร้าวที่ใช้ในการตอนสูงกว่าระดับดินเล็กน้อย ไม่ควรกลบดินจนมิดจุกมะพร้าว เพราะจะทำให้เน่าได้ง่าย

การปลูกด้วยกิ่งทาบกิ่งกิ่งติดตา ให้ปลูกที่ระดับเดียวกับดินในภาชนะปลูกเดิม หรือสูงกว่าเดิมเล็กน้อย แต่ต้องไม่มีทรายที่ติดตาหรือต่อกิ่งไว้ เพื่อจะได้เห็นว่ากิ่งที่แตกออกมานั้นแตกออกมาจากกิ่งพันธุ์หรือจากต้นตอ ถ้าเป็นกิ่งที่แตกจากต้นตอให้ตัดทิ้งไป

การปลูกโดยการเพาะเมล็ด โดยการนำเมล็ดมาตัดส่วนปลายออกเล็กน้อย นำไปกดลงในหลุมปลูกให้ลึกประมาณ 3 ส่วนของเมล็ด โดยให้ส่วนโค้งอยู่ด้านบน นำฟางข้าวหรือเศษหญ้าแห้งกลบให้ทั่วหลุมปลูก รดน้ำให้ชุ่มอยู่เสมอ วิธีนี้อาจได้พันธุ์มะม่วงใหม่ๆ

การปลูกโดยการเปลี่ยนยอด ทำเหมือนกับการเพาะเมล็ด เมื่อต้นโตมีเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับความสูง 30 ซม. ประมาณ 1 - 2 ซม. นำยอดพันธุ์ที่ต้องการไปเปลี่ยนโดยวิธีเสียบข้าง ในระยะนี้ควรทำที่บังแดดให้กับกิ่งพันธุ์ที่เปลี่ยนไว้ด้วย เมื่อกิ่งพันธุ์ที่ต้องการติดแล้วให้ตัดยอดของต้นตอทิ้ง วิธีนี้มักจะได้อินมะม่วงที่มีความสูงระดับเดียวกันทั้งสิ้น

วิธีการปลูก

ควรปลูกช่วงต้นฤดูฝน หรือประมาณเดือนพฤษภาคม ถึง กรกฎาคม เพื่อให้มะม่วงตั้งตัวได้เร็วขึ้น เนื่องจากอากาศและดินมีความชุ่มชื้นดี และเป็นการสะดวกที่ไม่ต้องรดน้ำในระยะแรก

หลุมปลูกควรขุดให้มีขนาดความกว้าง ยาว และลึก ไม่น้อยกว่า 30x30x30 ซม. หากดินในพื้นที่ไม่ค่อขุดผสมปุ๋ยมากด้วยแล้วต้องขุดหลุมปลูกให้มีขนาดใหญ่ และนำดินที่อุดมสมบูรณ์มาใส่เพื่อให้มะม่วงในระยะแรกเจริญเติบโตได้ดี

ระยะปลูกระหว่างแถวและระหว่างต้น ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ปลูกว่าต้องการเช่นไรในที่นี้ขอแนะนำในระยะ 6x6 ม.

การปลูก ควรมีหลักไม้ปักกับดินแล้วผูกต้นเพื่อไม่ให้ลมโยกและทำที่บังแสงแดดให้ในระยะแรก รดน้ำให้มีความชุ่มชื้นอยู่เสมอ ในปีแรกหากมะม่วงติดดอกให้ตัดดอกเพื่อให้มะม่วงเจริญเติบโตทางทรงต้นให้สมบูรณ์ดีเสียก่อน

การติดดอกและผล

มะม่วงจะออกดอกติดผลในช่วงเดือน พฤศจิกายน ถึง ธันวาคม และเก็บเกี่ยวในเดือน มีนาคม ถึง เมษายน (ยกเว้นพวกมะม่วงทวาย)

การดูแลรักษา : ปฏิทินการปฏิบัติการจัดการ

มกราคม ทางซ่อดอก ดอกบาน รักษาซ่อดอกมะม่วง ป้องกันเพลี้ยจักจั่นและราดำคูดน้ำเลี้ยงทำลายซ่อดอกมะม่วง

กุมภาพันธ์ ผสมเกสร และตัดผลอ่อน ป้องกันกำจัดเพลี้ยจักจั่นคูดน้ำเลี้ยงผลมะม่วงที่ยังเล็ก อยู่ ชะล้างช่อดอก และช่อผลมะม่วงด้วย

มีนาคม ผลเจริญเติบโต ใส่ปุ๋ย รดน้ำ หาฟาง เศษใบไม้ หญ้าคลุมผิวดินบริเวณโคนต้น มะม่วง ป้องกันกำจัดแมลงวันผลไม้ค้อยทำลายผลมะม่วง

เมษายน เปลือกเมล็ดเริ่มแข็ง (เข้าไคล) ฤดูการเก็บผลมะม่วง

พฤษภาคม เปลือกเมล็ดเริ่มแข็ง (เข้าไคล) ผลแก่ และเก็บเกี่ยว ตัดแต่งกิ่งมะม่วงหลังจากเก็บ ผลหมดแล้วใส่ปุ๋ย บำรุงรักษาต้นมะม่วง

มิถุนายน ตัดแต่งกิ่ง กำจัดวัชพืช บำรุงรักษาต้นมะม่วง ฤดูการขยายพันธุ์มะม่วง โดยวิธีทาบกิ่ง

กรกฎาคม ตัดแต่งกิ่ง ให้กิ่งแตกใบอ่อน ครั้งที่ 1 ฤดูการขยายพันธุ์มะม่วง

สิงหาคม กิ่งแตกใบอ่อนทั้งหมด กำจัดวัชพืช บำรุงรักษาต้นมะม่วง ปรามศัตรูพืชตามความจำเป็น

กันยายน กิ่งแตกใบอ่อน ครั้งที่ 2 กำจัดวัชพืช บำรุงรักษาต้นมะม่วง ปรามศัตรูพืชตามความจำเป็น

ตุลาคม กิ่งเจริญเติบโตสมบูรณ์ กำจัดวัชพืช บำรุงรักษาต้นมะม่วง ปรามศัตรูพืชตามความจำเป็น

พฤศจิกายน กิ่งเจริญเติบโตสมบูรณ์เต็มที่ สุมกิ่งไม้ ใบไม้ หญ้าแห้งระหว่างต้นมะม่วง เพื่อ รมควันมะม่วง เพื่อช่วยกระตุ้นในการเกิดช่อดอก และเป็นการป้องกันกำจัดศัตรูพืชอีกทางหนึ่งด้วย

ธันวาคม ระยะเวลาออกช่อดอกมะม่วง ป้องกันกำจัดเพลี้ยจักจั่น และราดำคูดน้ำเลี้ยง ทำลายช่อดอกมะม่วง

การติดผล

มะม่วงจะออกดอกครั้งหนึ่งๆ เป็นจำนวนมาก แต่จะติดเป็นผลเพียงไม่กี่ผลต่อช่อเท่านั้น ทั้งนี้เป็นเพราะสาเหตุหลายประการ เช่น ลักษณะของดอกมะม่วง ซึ่งดอกส่วนใหญ่จะเป็นดอกที่ไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถเจริญเป็นผลได้ และปัญหาที่พบอยู่เสมอคือ การเกิดราดำที่ดอก ทำให้ดอกร่วง หล่นเสียเป็นจำนวนมาก หรือหมดทั้งต้น ทั้งนี้เพราะว่าที่ดอกมะม่วงจะมีต่อมน้ำหวาน ทำให้แมลง ต่างๆ มาดูดกิน โดยเฉพาะพวกเพลี้ย จักจั่น ซึ่งระบาดมากในช่วงมะม่วงออกดอก เพลี้ยจักจั่น นอกจากจะดูดกินน้ำหวานและน้ำเลี้ยงที่ดอกทำให้ดอกร่วงหล่น แล้ว ยังถ่ายมูลออกมาเป็นอาหาร ของราดำอีกด้วย จึงทำให้ราดำซึ่งมีอยู่แล้วตามใบและในอากาศเจริญอย่างรวดเร็ว ในช่วงที่มะม่วง ออกดอกนี้ อากาศมักจะหนาวเย็น และมีหมอกมากในตอนเช้า เมื่อหมอกจับตัวเป็นละอองน้ำตาม

ช่อดอกและใบ ราคาที่จะเจริญได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ดอกร่วงหล่นจนหมด จนกลายเป็นความเชื่อว่า ถ้าปีใดมีหมอกจัดในระยะที่ดอกมะม่วงบาน ปีนั้นมะม่วงจะติดผลน้อยเพราะน้ำค้างเต็มทำให้ดอกร่วง ซึ่งความจริงแล้ว น้ำค้างไม่ได้เต็ม แต่เป็นเพราะราคาและเพ็ลี่ยจกัั้นดังกล่าว

การเก็บเกี่ยว

ข้อสังเกตง่ายๆ ว่ามะม่วงนั้นแก่เต็มที่ มีสิ่งที่สังเกตได้ 2 ประการคือ

1. แก้มผลทั้งสองข้างพองโตอูมเต็มที่ ผิวผลเปลี่ยนจากสีเขียวจัดเป็นสีจางลง หรือมีลักษณะคล้ายนวลแป้งเกาะติดผิว

2. โดยเก็บผลมะม่วงมา 2 - 3 ผล นำมาแช่น้ำ หากจมน้ำแสดงว่าแก่จัด ถ้าลอยแสดงว่ายังอ่อนอยู่ (วิธีการนี้ใช้ได้ดีกับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้)

ตัวอย่างของการนับอายุของมะม่วงเพื่อการเก็บเกี่ยว(บางพันธุ์) ดังตารางที่ 2. 5

ตารางที่ 2.5 การนับอายุของมะม่วงเพื่อการเก็บเกี่ยว

| พันธุ์ | อายุการเก็บเกี่ยว (วัน) | นับตั้งแต่ |
|-------------|-------------------------|---------------------|
| เขียวเสวย | 110 | เริ่มออกดอก |
| น้ำดอกไม้ | 100 | ดอกบานเต็มที่ |
| หนังกลางวัน | 110 - 115 | ดอกบานเต็มที่ |
| ทองคำ | 102 | ดอกบานเต็มที่ |
| ฟ้าลั่น | 70 | หลังช่อดอกติดผล 50% |
| แรด | 77 | หลังช่อดอกติดผล 50% |
| พิมเสน | 95 | ดอกบานเต็มที่ |

โรค

แอนแทรกโนส (anthracnose: *Colletotrichum gloeosporioides* Penz) ซึ่งทำอันตรายกับทุกส่วนของต้น อาการบนใบจะเห็นเป็นจุดๆ สีน้ำตาลดำ และขยายตัวออกเป็นแผลแห้งๆ ขอบแผลมีสีเข้ม ที่ใบ กิ่ง ช่อดอก และผล ทำให้ใบเป็นรูพรุนทั่วไป ถ้าเป็นกับใบอ่อนหรือยอดอ่อน จะทำให้ใบบิดเบี้ยวและยอดแห้ง ถ้าเกิดที่ดอกจะทำให้ดอกร่วง ถ้าเกิดกับผลอ่อนจะทำให้ผลนั้นแคะแกร็นไม่เจริญเติบโต ส่วนผลที่มีขนาดเล็ก ถ้าเป็นโรคนี้อาจร่วงไปเลย

การป้องกันและกำจัด

1. ตัด ทำลาย นำไปเผาไฟทิ้ง

2. ฟันสารกันเชื้อรา เช่น ไซเนบ (Zinep), แมนเซทดี (Manzate-D), หรือ เบนเลท 50 จำนวน 10 - 12 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตร ทุกๆ 7 - 10 วัน โดยเฉพาะในระยะที่มีอากาศชุ่มชื้นมาก เช่น ในฤดูฝน

แมลง

เพลี้ยจักจั่นมะม่วง (Mango hopper: *Idiocerus* spp.) จะเข้าทำลายมะม่วงตั้งแต่เริ่มออกดอก โดยจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากดอกและช่อดอก ทำให้ดอกร่วงหล่น ถ้าคุณน้ำเลี้ยงที่ผลอ่อนก็จะทำให้ผลอ่อนร่วงหล่น มะม่วงไม่ค่อยติดผล เพลี้ยจักจั่นมะม่วงยังถ่ายมูลที่มีลักษณะเป็นน้ำหวานออกมาติดอยู่ตามใบ เป็นอาหารของราดำ ทำให้ราดำระบาดจับอยู่ตามใบมะม่วง ทำให้ใบมะม่วงสังเคราะห์อาหารได้น้อยลง

การป้องกันและกำจัด

1. ให้พ่นสารเคมี เช่น เซฟวิน ทุก 7 วัน โดยเริ่มต้นเมื่อมะม่วงเริ่มแตกช่อดอก แต่งดเว้นการพ่นสารเคมีเมื่อดอกมะม่วงกำลังบาน

2. โดยการสูมควันที่โคนต้นมะม่วง ให้มีควันมากๆ อาจไล่ให้เพลี้ยจักจั่นหนีไปได้

เพลี้ยไฟ เพลี้ยไฟทำลายพืชบริเวณใบอ่อน ยอดอ่อน ช่อดอกมะม่วง ยิ่งในระยะที่มะม่วงออกดอก หากเพลี้ยไฟเข้าทำลายช่อดอกโดยการดูดกินน้ำเลี้ยงทำให้ดอกร่วง ช่อดอกหงิกงอ ผลอ่อนทำให้เป็นแผลจุดสีดำ ถ้าระบาดรุนแรงผลมะม่วงจะเป็นสีดำเกือบทั้งหมด

การป้องกันและกำจัด

1. ถ้าพบไม่มากให้ตัดทำลาย เผาทิ้ง

2. ถ้าพบมากควรใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงฟัน เช่น Cyhalothrim หรือ โมโนโครโตฟอส หรือคาร์บาริล ฉีดพ่นอย่างน้อย 2 ครั้งเมื่อเริ่มแทงช่อดอก และช่วงมะม่วงติดผลขนาด 0.5 - 1 ซม. หรือเท่ามะเขือพวง

แมลงวันทอง ตัวเมียจะวางไข่ใต้ผิวของผลมะม่วง เมื่อไข่เจริญเป็นตัวหนอน หนอนจะไชซอนกินเนื้อมะม่วงเป็นอาหาร ทำให้ผลมะม่วงเน่าเสียหายร่วงหล่นได้

การป้องกันและกำจัด

1. ห่อผลมะม่วงด้วยกระดาษหรือใบตองแห้ง

2. ทำลายดักแด้โดยการไถพรวนดินบริเวณ โคนต้น หรือใช้สารเคมีฆ่าแมลงฟันลงดินเพื่อฆ่าดักแด้ เช่น คีลคริน คลอเดน

3. เก็บผลมะม่วงที่ถูกทำลายโดยแมลงวันผลไม้ที่หล่น โคนต้นทำลายเสีย (รัตนะ สุวรรณเลิศ. 2558)

2.4 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องชี้วัดการใช้ น้ำของผู้บริโภคหรือผู้ผลิตไม่ว่าจะเป็นทางตรง (direct use) หรือทางอ้อม (indirect use) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของสินค้าหรือบริการจึงเป็นปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ โดยคำนวณปริมาณจากผลรวมของทุกขั้นตอนของการผลิตและการบริการนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้สามารถวัดได้จากปริมาณน้ำที่ใช้ไปและ/หรือปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมา ทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องชี้วัดที่ชัดเจน

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อตัน โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในพืชคำนวณจากปริมาณน้ำที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์) หาร โดยปริมาณผลผลิตของพืชนั้น (ตันต่อเฮกตาร์) ส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในสัตว์คิดจากปริมาณน้ำทั้งหมดในการผลิตและให้อาหารสัตว์ น้ำดื่มของสัตว์และน้ำที่ใช้ในกิจการเลี้ยงสัตว์อื่นๆ เช่น น้ำที่ใช้เพื่อทำความสะอาดคอกสัตว์น้ำที่ใช้ในการระบายความร้อน เป็นต้น สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์เป็นผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนกระทั่งสิ้นสุดซึ่งได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์นั้นๆ

น้ำเสมือน (Virtual water content) คือปริมาณน้ำที่ต้องการในการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยน้ำดังกล่าวอาจไม่ได้เดินทางไปกับผลิตภัณฑ์ด้วย และเป็นภาระด้านสิ่งแวดล้อมต่อประเทศผู้ผลิต แนวคิดน้ำเสมือนถูกเข้ามามีส่วนร่วมในวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Hoekstra, 2004) จากเดิมที่กรอบแนวคิดเฉพาะวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของประเทศใดประเทศหนึ่งเพียงเท่านั้น ซึ่งหมายความว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการของแต่ละประเทศไม่ว่าสินค้าหรือบริการนั้นจะผลิตเพื่อการบริโภคภายในประเทศหรือเพื่อการส่งออกก็ตาม ประเทศผู้นำเข้าสินค้าและบริการนั้นไม่มีส่วนรับผิดชอบกับปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ดังกล่าว

การนำแนวคิดใหม่ที่น่าน้ำเสมือนมาคำนวณด้วย จะทำให้มองเห็นภาพรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในระดับโลกอย่างแท้จริงและสามารถนำข้อมูลที่ได้มาจัดการทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุด วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของแต่ละประเทศภายใต้แนวคิดใหม่นี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ภายใน (internal water footprint) หมายถึงปริมาณน้ำที่ใช้ภายในประเทศเพื่อผลิตสินค้าและบริการสำหรับประชาชนในประเทศนั้น และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ภายนอก (external

water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในประเทศอื่นเพื่อผลิตสินค้าและบริการให้ประเทศนั้น นำเข้ามาบริโภคดังนั้นปริมาณน้ำเสมือนที่ส่งออก (Virtual water export) มีค่าเท่ากับผลรวมระหว่าง ปริมาณน้ำเสมือนที่นำเข้าเพื่อการส่งกลับสินค้าและบริการ (Virtual water import for re-export) กับ ปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อการส่งออกและผลรวมของปริมาณน้ำเสมือนที่นำเข้า (Virtual water import) กับ ปริมาณน้ำที่ใช้ในประเทศนั้น (water use within country) คือ จำนวนของปริมาณน้ำเสมือน (virtual water budget) ของประเทศนั้น

สำหรับการศึกษาเรื่องวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของประเทศไทยยังถือว่าอยู่ในช่วงเริ่มต้น โดยมี รายงานของการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์บางประเภทเช่นการผลิตเอทานอลจาก มันสำปะหลัง (ชินาธิปกรรณ์และธำรงรัตน์, 2554) การผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน (ลักษณะและ คณะ, 2555)

2.4.1 ประเภทของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

1. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (water footprint of a product) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต (process step)

2. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของธุรกิจ (water footprint of a business) หมายถึงปริมาณน้ำ ที่ใช้ในการดำเนินงานขององค์กรธุรกิจ

3. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของประเทศ (water footprint of national) หมายถึงปริมาณ น้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการตามความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศ

วิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แต่ละประเภทจะมีความแตกต่างกัน โดย งานวิจัยนี้ทำการประเมินปริมาณการใช้น้ำครอบคลุมระยะการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ในรอบปี ซึ่ง จัดอยู่ในประเภทวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งการคำนวณเป็น 3 ส่วน (Chapagain and Hoekstra, 2011) ดังนี้

1. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน (Blue Water Footprint) หมายถึงปริมาณน้ำที่ใช้จากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งจากน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์และบริการ

2. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (Green Water Footprint) หมายถึงปริมาณน้ำจากน้ำฝนที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์และบริการ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไปเพื่อการเจริญเติบโตของพืช

3. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา (Gray Water Footprint) หมายถึงปริมาณน้ำที่ใช้เจือจางน้ำเสียที่เกิดขึ้นให้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถปล่อยทิ้งสู่ธรรมชาติได้ซึ่งอีกนัยหนึ่งเป็นการบอกถึงปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นและปล่อยทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม

2.4.2 ขอบเขตของการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ขอบเขตของการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์อยู่บนหลักการของการประเมินทั้งวัฏจักรชีวิตเช่นเดียวกันกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

2.4.3 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

1. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการ (water footprint of a process step)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินของกระบวนการคือ ตัวชี้วัดการใช้น้ำเพื่อการบริโภคที่เรียกว่า สีน้ำเงิน (blue water) เช่น น้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน ซึ่งในแง่การใช้น้ำเพื่อการบริโภค หมายถึงน้ำที่เกิดขึ้นในกรณีใดกรณีหนึ่งต่อไปนี้

- น้ำที่ระเหยออกมา
- น้ำที่รวมอยู่ในผลิตภัณฑ์
- น้ำที่ไม่ไหลกลับสู่แหล่งน้ำเดิม
- น้ำที่ไม่ไหลกลับสู่แหล่งน้ำเดิมในช่วงเวลาเดิม

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินของกระบวนการสามารถคำนวณได้จากสมการ

ที่ 2

$$\begin{aligned} \text{WF}_{\text{proc,blue}} = & \text{Blue Water Evaporation} + \text{Blue Water Incorporation} \\ & + \text{Lost Return Flow} \end{aligned} \quad (2)$$

เมื่อ $\text{WF}_{\text{proc,blue}}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินของกระบวนการ (ลบ.ม./ตัน)

Blue Water Evaporation คือ ปริมาณน้ำที่มีการระเหยออกมา (ลบ.ม./ตัน)

Blue Water Incorporation คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ (ลบ.ม./ตัน)

Lost Return Flow คือ ปริมาณน้ำบางส่วนที่ไหลกลับ แต่ไม่สามารถนำมาใช้ในแหล่งน้ำเดิม ภายในช่วงเวลาเดิมที่ตั้งน้ำมาใช้ เนื่องจากปริมาณน้ำดังกล่าวไหลสู่แหล่งน้ำอื่นหรือไหลกลับแหล่งเดิมในช่วงเวลาอื่น (ลบ.ม./ตัน)

2) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวของกระบวนการคือ ตัวชี้วัดการใช้น้ำสีเขียว (Green water) ของมนุษย์ ซึ่งน้ำสีเขียวหมายถึง ปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นดินที่ไม่ไหลไปหรือกักเก็บไว้ใต้ดิน แต่ถูกเก็บไว้ในดินหรืออยู่บนดินชั่วคราว ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวจึงหมายถึง ปริมาณการบริโภคน้ำฝนในระหว่างกระบวนการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรและป่าไม้ (ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากพืชและไม้) ซึ่งสามารถคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวได้จากสมการที่ 3

$$\begin{aligned} \text{WF}_{\text{proc,green}} = & \text{Green Water Evaporation} \\ & + \text{Green Water Incorporation} \end{aligned} \quad (3)$$

เมื่อ $\text{WF}_{\text{proc,green}}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวของกระบวนการ (ลบ.ม./ตัน)

Green Water Evaporation คือ ปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่เกิดจากการคายระเหยน้ำ (evapotranspiration) (ลบ.ม./ตัน)

Green Water Incorporation คือ ปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวพืช (ลบ.ม./ตัน)

3) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาของกระบวนการ คือ ตัวชี้วัดระดับของมลพิษทางน้ำที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ โดยคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาแสดงดังสมการที่ 4

$$WF_{proc,gray} = \frac{(Effl \times c_{effl}) - (Abstr \times c_{nat})}{c_{max} - c_{nat}} \quad (4)$$

เมื่อ $WF_{proc,gray}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาของกระบวนการ (ลบ.ม./ตัน)

$Effl$ คือ อัตราการไหลของน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการ

$Abstr$ คือ อัตราการไหลของน้ำใช้ที่เข้าสู่กระบวนการ

c_{act} คือ ปริมาณความสกปรกของน้ำใช้ที่เข้าสู่กระบวนการ (มก./ลิตร)

กำหนดให้ $c_{act} = 1$ มก./ลิตร

c_{max} คือ ปริมาณความสกปรก (BOD) ในน้ำเสียสูงสุดที่ยอมรับได้ (มก./ลิตร)

c_{eff} คือ ปริมาณความสกปรก (BOD) ในน้ำเสีย (มก./ลิตร)

กำหนดให้ $c_{eff} = c_{max} =$ ค่ามาตรฐานน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม 20 (มก./ลิตร)

c_{nat} คือ ปริมาณความสกปรกหากไม่มีกิจกรรมใดๆ ของมนุษย์ในที่นี้

สมมติฐานที่ $c_{nat} = \text{BOD แหล่งน้ำ} = 0$ มิลลิกรัมต่อลิตร

2. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกพืช (water footprint of growing a crop)

หลายผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมมาจากผลผลิตทางการเกษตร พืชผลต่างๆ ถูกนำมาใช้เป็นอาหาร เชื้อเพลิง และเครื่องสำอาง เป็นต้น โดยภาคเกษตรกรรมถือเป็นส่วนที่มีการใช้น้ำในการผลิตเป็นหลัก ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่มีพืชผลทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตจึงเกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุต-พริ้นท์ด้วย ซึ่งร่องรอยใช้น้ำของกระบวนการปลูกพืชคือ ผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน วอเตอร์ฟุต-พริ้นท์สีเขียวและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาที่เกิดขึ้นขั้นตอนการเพาะปลูกดังสมการที่ 5

$$WF_{proc} = WF_{proc,green} + WF_{proc,blue} + WF_{proc,grey} \quad (5)$$

เมื่อ WF_{proc} คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดของกระบวนการ (ลบ.ม./ตัน)

$WF_{proc,green}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวของกระบวนการ (ลบ.ม./ตัน)

$WF_{proc,blue}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินของกระบวนการ (ลบ.ม./ตัน)

$WF_{proc,grey}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาของกระบวนการ (ลบ.ม./ตัน)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินและสีเขียวของการปลูกพืชคำนวณจากสูตรดังสมการที่ 6 และ 7

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

$$WF_{proc,green} = CWU_{GREEN} / Y \quad (7)$$

เมื่อ CWU_{green} คือ ปริมาณการใช้น้ำสีเขียวของพืช (ลบ.ม./ไร่)

CWU_{blue} คือ ปริมาณการใช้น้ำสีน้ำเงินของพืช (ลบ.ม./ไร่)

Y คือ ปริมาณผลผลิตของพืชรายปี (ตัน/ไร่)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวของปลุกพืชคำนวณจากสูตรดังสมการที่ 8

$$WF_{proc,gray} = [(\alpha \times AR) / (c_{max} - c_{nat})] / Y \quad (8)$$

เมื่อ α คือ อัตราการชะล้าง

AR คือ อัตราการใช้น้ำสารเคมีต่อพื้นที่ (กก./ไร่)

3. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (water footprint of a product)

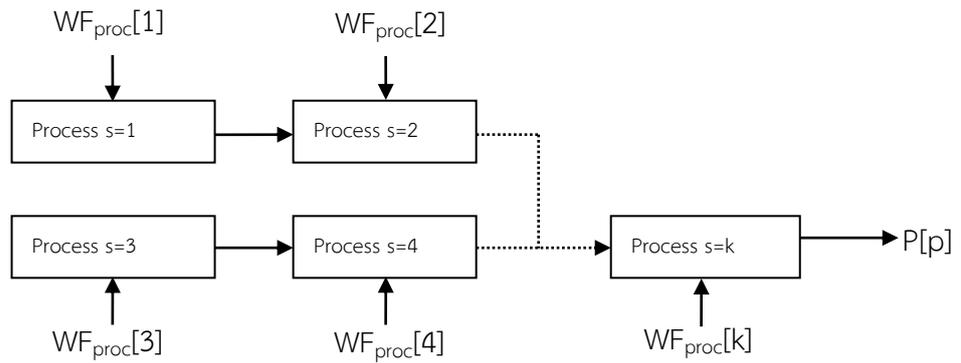
วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์หมายถึง ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยพิจารณาทั้งน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของสายการผลิต การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ

1) วิธีการรวมสายโซ่ (chain-summation approach) ใช้ในกรณีที่ระบบการผลิตนั้นผลิตออกมาเพียงผลิตภัณฑ์เดียวเท่านั้นซึ่งง่ายกว่าวิธีการแบบขั้นตอนสะสมดังในภาพที่ 2.6 และสามารถคำนวณค่าออกมาได้โดยใช้สมการที่ 9

$$WF_{prod}[p] = \frac{\sum_{s=1}^k WF_{proc}[s]}{P[p]} \quad (9)$$

เมื่อ $WF_{prod}[s]$ คือ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของขั้นตอนย่อย s

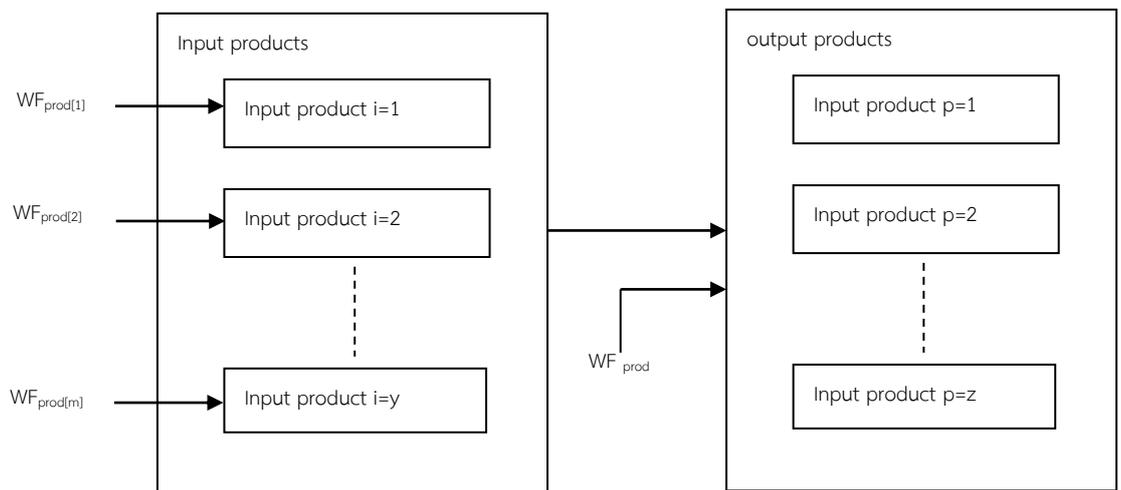
$P[p]$ คือ ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ p



รูปที่ 2.5 ระบบการผลิตผลิตภัณฑ์ p ผ่านกระบวนการย่อย k ขั้นตอน

ที่มา: Hoektraet al.(2011)

2) วิธีการแบบขั้นตอนสะสม (step-wise accumulative approach) คือการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์โดยการรวมค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบ ทรัพยากรและผลิตภัณฑ์ขาเข้าที่เป็นปัจจัยสำคัญในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์นั้นๆ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.7 และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10 ถึง 12



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนย่อยสุดท้ายในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ p

ที่มา:Hoektraet al.(2011)

$$WF_{prod}[p] = \left(WF_{prod}[p] + \sum_{i=1}^y \frac{WF_{proc}[i]}{f_p[p,i]} \right) \times f_v[p] \quad (10)$$

$$f_v[p] = \frac{w[p]}{w[i]} \quad (11)$$

$$f_v[p] = \frac{price[p] \times w[p]}{\sum_{p=1}^z (price[p] \times w[p])} \quad (12)$$

เมื่อ $WF_{prod}[p]$ คือ ค่าอเวอเจอร์ฟูตพรีนท์(ปริมาตรต่อน้ำหนัก)ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

$WF_{prod}[i]$ คือ ค่าอเวอเจอร์ฟูตพรีนท์ของวัตถุดิบและทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์

$WF_{proc}[p]$ คือ ค่าอเวอเจอร์ฟูตพรีนท์ของกระบวนการแปรรูปจากวัตถุดิบและทรัพยากรสู่ตัวผลิตภัณฑ์ในหน่วยของ ปริมาตรต่อน้ำหนัก

$F_p[p,i]$ คือ ผลผลิตภาพของผลิตภัณฑ์

$F_v[p]$ คือ ผลผลิตภาพของมูลค่าของผลิตภัณฑ์

$w[p]$ คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาออก

$w[i]$ คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาเข้า

$price[p]$ คือ ราคาของผลิตภัณฑ์

รูปแบบอย่างง่ายของวิธีการคำนวณอเวอเจอร์ฟูตพรีนท์แบบขั้นตอนสะสมของผลิตภัณฑ์เมื่อมีการนำผลิตภัณฑ์หนึ่งผลิตภัณฑ์เข้าสู่กระบวนการผลิตและได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเพียงผลิตภัณฑ์เดียวสามารถเขียนแทนได้ดังสมการที่ 13

$$WF_{prod}[p] = WF_{prod}[p] + \frac{WF_{proc}[i]}{fp[p,i]} \quad (13)$$

การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในประเทศไทยนั้นถือว่าเป็นเรื่องใหม่ ดังนั้นจึงมีการศึกษาในส่วนนี้ไม่มากนัก จากผลงานการวิจัยในเมืองไทยที่ผ่านมวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีจำนวนงานวิจัยในเมืองไทยน้อยมาก แต่มีแนวโน้มที่จะมีการพัฒนางานวิจัยเพิ่มขึ้นเนื่องจากในต่างประเทศอาจจะใช้เป็นเครื่องมือในการกีดกันทางการค้าได้

2.5 การวัดความตึงเครียดด้านน้ำ

เป็นเครื่องมือหนึ่งที่น่าจะใช้เพื่อประเมินระดับความตึงเครียดด้านน้ำในพื้นที่ ซึ่งในการศึกษานี้ได้อ้างอิงหลักการประเมิน WSI ของ Pfister et al. (2010) เป็นหลักการประเมินหาค่า WSI เพื่อใช้สำหรับเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาผลกระทบอันเกิดจากการใช้น้ำ ตามหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) ต่อไป โดยในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินหาค่า WSI ในระดับพื้นที่ตำบลลงมูลเหล็กโดยตัวชี้วัดดังกล่าวนี้ถูกคำนวณจากสัดส่วนของปริมาณความต้องการใช้น้ำต่อปีเทียบกับปริมาณทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ในพื้นที่ (Withdrawal-to-Availability :WTA) ประกอบกับปัจจัยด้านการแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เฉลี่ยรายเดือน ดังสมการที่ 14

$$WTA = WU / WA \quad (14)$$

โดยที่ WTA แสดงให้เห็นถึงปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ต่อปี และ WU แสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่ (ทั้งภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการอุปโภคบริโภค) ส่วนค่า WA แสดงถึงความพร้อมของการจัดสรรน้ำของชลประทานในพื้นที่ หรือหน่วยงานที่จัดสรรน้ำ โดยมีความสัมพันธ์กับ WSI ดังสมการ 15

$$WSI = \frac{1}{1 + e^{-6.4WTA^{(\frac{1}{0.01}-1)}}} \quad (15)$$

โดยผลการประเมินสามารถจะจำแนกระดับความตึงเครียดด้านน้ำออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

| ระดับความตึงเครียดด้านน้ำ | ค่าตัวชี้วัด WSI |
|---------------------------|------------------|
| รุนแรงมาก (Extreme) | >0.9 |
| รุนแรง (Severe) | <0.9 |
| ตึงเครียด (Stress) | 0.5 |
| ปานกลาง (Moderate) | $0.1 - <0.5$ |
| ต่ำ (Low) | <0.1 |

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชินาธิปกรณ์ พงษ์ภิญโญภาพ และ ชำรงรัตน์ มุ่งเจริญ (2554) ได้ทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอล จากมันสำปะหลังในปี 2551 ซึ่งประกอบด้วยการใช้น้ำเพื่อเพาะปลูก การใช้น้ำเพื่อการแปรรูปเป็นเอทานอล การคาดการณ์ปริมาณการใช้น้ำ และการใช้พื้นที่ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี ของกระทรวงพลังงาน จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 0.267 กิโลลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 0.03 ของปริมาณน้ำทั้งประเทศ โดยแบ่งเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เขียว 0.185 กิโลลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 69.344 และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำเงิน 0.082 กิโลลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 30.655 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไนจีเรีย เนื่องจากประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตต่อไร่มากกว่า สำหรับปริมาณการใช้น้ำ ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนฯ จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นทุกปี โดยจะต้องใช้น้ำถึง 2.605 กิโลลูกบาศก์เมตร หรือเพิ่มขึ้นถึงเกือบ 10 เท่า เมื่อสิ้นสุดแผนฯ ในปี 2565 แต่หากมีการพัฒนา เพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังจาก 3.4 เป็น 8.0 ต้นต่อไร่ จะส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำลดลงร้อยละ 57.4 ในแต่ละปี โดยจะต้องใช้น้ำ 1.11 กิโลลูกบาศก์เมตร หรือเพิ่มขึ้นเพียง 4 เท่า เมื่อสิ้นสุดแผนฯ ในปี 2565 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ของการปลูกมันสำปะหลังมีความสำคัญที่จะต้องให้การสนับสนุนควบคู่ไปกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ

Chapagain และ Hoekstra (2011) ได้ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เขียว (ปริมาณน้ำในรูปความชื้นในดิน) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำเงิน (ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ) และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เทา (ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย) ของข้าว โดยใช้ข้อมูลการชลประทานของท้องถิ่น วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวและปริมาณผลผลิตของแต่ละประเทศ จะคาดการณ์จากข้อมูลปริมาณการซื้อขายภายในประเทศและระหว่างประเทศ โดยพบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวมีค่า 784 กิโลลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นค่าเฉลี่ย 1,325 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ซึ่งคิดเป็น วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เขียวร้อยละ 48 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำเงินร้อยละ 44 และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เทาร้อยละ 8 คิดเป็นปริมาณน้ำที่ซึมผ่านในดินของการผลิตข้าว 1,025 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน อัตราส่วนของน้ำเสมือนเขียวและน้ำเสมือนน้ำเงินจะแปรผันตามระยะเวลาและการเว้นช่วงในการทำงาน ในประเทศ อินเดีย เวียดนาม ไทย พม่าและฟิลิปปินส์ ค่าน้ำเสมือนเขียวมีอัตราส่วนมากกว่าน้ำเสมือนน้ำเงิน ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกาและปากีสถานมีค่าน้ำเสมือนน้ำเงินมากกว่าน้ำเสมือนเขียวถึง 4 เท่า จากปริมาณความต้องการผลผลิตข้าวใน กลุ่มประเทศ EU27 จะต้องใช้น้ำในแต่ละปีประมาณ 2,279 เมกะ

ลูกบาศก์เมตร และมีน้ำที่กลับมาในรูปแบบน้ำเสีย 178 เมกะลูกบาศก์เมตร โดยส่วนใหญ่ จะอยู่ในประเทศผู้ผลิตข้าวคือ ประเทศอินเดีย ไทย สหรัฐอเมริกา และ ปากีสถาน

Mekonnen และ Hoekstra (2011) ได้ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำเงิน วอเตอร์ปρί้นท์เขียว และ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เทาของการผลิตพืชทั่วโลกในปี 1995-2005 ซึ่งทำการศึกษาพืช 126 ชนิด ซึ่งจะใช้โมเดลในการคำนวณค่าการใช้น้ำในแต่ละวัน ซึ่งโมเดลจะทำการคำนวณสมดุลน้ำในดินและสภาพอากาศในแต่ละส่วนที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ น้ำเสียที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยในโตเจนก็จะถูกนำมาคำนวณด้วยเช่นกัน การคายระเหยน้ำของพืชก็จะใช้โปรแกรม CROPWAT ในการคำนวณ การศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของ Mekonnen และ Hoekstra ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์ด้านการเกษตรมากกว่า 200 ชนิด ไม่ว่าจะเป็นแป้งต่างๆ เครื่องดื่ม เส้นใยและเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งสามารถนำการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการทำเครือข่ายวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ จากการพิจารณาของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืชจะพบว่า พืชผลิตน้ำตาล พืชผัก พืชให้รากและหัว ผลไม้ ซีเรียล และพืชผลิตน้ำมัน จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 200 300 400 1,000 1,600 และ 2,400 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของพืชและภูมิภาคที่ปลูก เมื่อศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จะพบว่า กาแฟ ชา ช็อคโกแลต ถั่ว ยางและเส้นใย จะมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่สูง สำหรับไบโอเอทานอลจะมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำกว่าไบโอดีเซล(ในหน่วย ลบ.ม./กิกะจูล) ในส่วนของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของโลกในช่วงปี 1996-2005 จะมีค่าประมาณ 7,404 พันล้าน ลบ.ม./ปี (วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เขียวร้อยละ 78 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำเงินร้อยละ 12 และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เทาร้อยละ 10) ในส่วนของรัฐพืช ข้าว และ ข้าวโพด มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 1,087 992 และ 770 กิกะลบ.ม./ปี ตามลำดับ เมื่อคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในระดับประเทศจะพบว่าประเทศที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูงสุดคือ อินเดีย จีน และสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีค่า 1,047 967 และ 826 กิกะลบ.ม./ปี ตามลำดับ

Sukumalchart และคณะ (2011) ได้ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้วัดปริมาณการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งมีองค์ประกอบของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์อยู่ 3 ส่วนคือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำเงิน วอเตอร์ปρί้นท์เขียวซึ่งถือว่ามีมูลค่าต่ำทางเศรษฐกิจ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เทา ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำเงิน วอเตอร์ปρί้นท์เขียวของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย โดยใช้ค่าปริมาณน้ำฝน ค่าสูงสุดและต่ำสุดของอุณหภูมิ ระยะเวลาที่มีแสงแดด ค่าเฉลี่ยความเร็วลม ค่าความชื้น และปริมาณผลผลิต โดยมีกระบวนการอยู่ 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1. หาค่าการคายระเหยน้ำของพืช 2. หาค่าสมดุลของน้ำในเขตรากพืช 3. หาปริมาณการใช้น้ำต่อผลผลิตสำหรับในพื้นที่ เมื่อทำตามทั้ง 3 ขั้นตอนจะทำให้สามารถหาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ได้ จากการศึกษาจะ

พบว่าปริมาณวอเตอร์พุตพรีนที่เขียวของข้าวโพดของไทยมีค่าประมาณ 240 ลบ.ม./ตัน วอเตอร์พุตพรีนที่น้ำเงินให้มีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากร้อยละ 99 ของพื้นที่ที่ให้ผลผลิตจะอยู่ในพื้นที่ที่ไม่มีระบบชลประทาน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการจัดการน้ำของการผลิตข้าวโพดได้ถูกนำมาใช้ในประเทศไทย

Kongboon และ Sampattagul (2012) ได้ทำการศึกษาวอเตอร์พุตพรีนที่ของอ้อยและมันสำปะหลังในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งปริมาณวอเตอร์พุตพรีนที่จะใช้เป็นดัชนีชี้วัดการใช้น้ำของแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะมีค่าแปรผันในแต่ละภูมิภาคที่ลักษณะของสภาพอากาศและระบบการผลิตของพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าค่าวอเตอร์พุตพรีนที่ของอ้อยจะมีค่าเฉลี่ย 202 ลบ.ม./ตัน ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามันสำปะหลังที่มีค่า 509 ลบ.ม./ตัน เมื่อศึกษาวอเตอร์พุตพรีนที่ของอ้อยในแต่ละจังหวัดจะพบว่าจังหวัดลำปาง (252 ลบ.ม./ตัน) จะมีค่าสูงที่สุดในขณะที่จังหวัดกำแพงเพชร (167 ลบ.ม./ตัน) มีค่าต่ำสุด ส่วนวอเตอร์พุตพรีนที่ของมันสำปะหลังของจังหวัดอุทัยธานี (547 ลบ.ม./ตัน) จะมีค่าสูงที่สุดในขณะที่จังหวัดกำแพงเพชรมีค่าต่ำสุดเช่นกัน หากประเทศไทยต้องการจะเป็นสังคมคาร์บอนต่ำโดยการเปลี่ยนมาใช้เชื้อเพลิงชีวภาพแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล จะทำให้ปริมาณการใช้น้ำในการผลิตพืชพลังงานนั้นสูงขึ้น ซึ่งปัญหาสำคัญของประเทศไทยในขณะนี้คือปัญหาการจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพ การศึกษานี้จะแสดงให้เห็นถึงความสำคัญในการจัดการกับปัญหาน้ำที่สำหรับพืชที่ใช้เป็นอาหารหรือน้ำที่ใช้สำหรับผลิตพืชพลังงานจะมีความยั่งยืนได้อย่างไร

ธีระวัฒน์ ธรรมนิม และคณะ (2555) ศึกษาวอเตอร์พุตพรีนที่ของการปลูกข้าวในพื้นที่ฝั่งซ้ายคลองชัยนาท-ป่าสัก โดยเป็นพื้นที่อยู่นอกเขตชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียมอยู่ในเขตความรับผิดชอบของโครงการชลประทานลพบุรี มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 75,000 ไร่ และยังไม่มียระบบชลประทานที่สมบูรณ์ ซึ่งจะใช้น้ำฝนและน้ำจากลำน้ำธรรมชาติและจากคลองชัยนาท – ป่าสักบางส่วนในการเพาะปลูก โดยพื้นที่ลุ่มต่ำจะประสบกับปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในฤดูน้ำหลากของทุกปี เกษตรกรจะทำนาปรัง 2 ครั้ง นาปรังครั้งที่ 1 จะเริ่มทำการเพาะปลูกในช่วงเดือนปลายเดือนพฤศจิกายนถึงต้นเดือนธันวาคมและจะไปเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน นาปรังในครั้งที่ 2 นั้นจะเริ่มทำการเพาะปลูกในช่วงต้นเดือนพฤษภาคมและจะเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนสิงหาคม ซึ่งการเพาะปลูกจะปลูกด้วยวิธีหว่านนาตาม พันธุ์พันธุ์ข้าวที่นิยมปลูก ได้แก่พันธุ์สุพรรณบุรี ชัยนาท 1 และหอมประทุม อายุเก็บเกี่ยว 118-130 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 630 และ 740 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ผลจากการศึกษาพบว่าค่าวอเตอร์พุตพรีนที่ของข้าวเฉลี่ยนาปรังครั้งที่ 1 และ 2 เท่ากับ 1,576 และ 1,729 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ โดยมีค่าวอเตอร์พุตพรีนที่เฉลี่ยรวม

ของพื้นที่ฝั่งซ้ายคลองชัยนาท - ป่าสักเท่ากับ 1,653 ลบ.ม./ตัน เมื่อเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของพื้นที่ฝั่งซ้ายคลองชัยนาท-ป่าสัก พบว่าสูงกว่าพื้นที่ชลประทาน โครงการฯ โลกกระเทียม และของประเทศไทยเล็กน้อยคือ 1,600 และ 1,617 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการปลูกข้าวของประเทศเวียดนามและของโลก จะพบว่าประเทศไทยมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูงกว่ามาก คือ 638 และ 1325 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ซึ่งการมีข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวที่ถูกต้องจะช่วยให้เกษตรกรและผู้วางนโยบายด้านการบริหารจัดการน้ำสามารถตัดสินใจได้ว่าควรเพาะปลูกข้าวในบริเวณใดมากกว่าซึ่งจะทำให้ผลผลิตข้าวในพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

พรเทพ แก้วเชื้อ (2556) ได้ทำการรวบรวมตัวอย่างการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในประเทศไทย ทั้งภาคการเกษตร ภาคอาหาร ภาคอุตสาหกรรมการผลิตและอุตสาหกรรมบริการ ซึ่งพบว่าประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นอันดับ 3 ของโลกรองจาก สหรัฐอเมริกา และอิตาลี ซึ่งมีการค่าของการใช้น้ำ 2,250 2,490 และ 2,400 ลบ.ม./ประชากร/ปี จากข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า โรงงานที่มีปริมาณการใช้น้ำมากที่สุด 6 อันดับแรก ได้แก่ โรงงานประเภท เมล็ดพืชและหัวพืช โรงงานสิ่งทอ โรงงานเยื่อกระดาษ โรงงานประเภทเคมีภัณฑ์ โรงงานประเภท ยาง และ โรงงานประเภทน้ำตาล ตามลำดับ และจากการวิจัยในประเทศไทยที่ผ่านมาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ได้แก่ ยางพารา ไข่แปรรูป ข้าว น้ำตาลทราย มันสำปะหลัง มีค่า 7,952, 5,443, 3,592, 2,049 และ 467 ลบ.ม./ตัน ซึ่งเมื่อคิดสมดุลทางด้านวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการส่งออกจะขาดดุลประมาณ 27,960 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของสินค้าที่ทำการส่งออกในปริมาณมาก และควรมีการหาแนวทางในแก้ปัญหาของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไทยให้มีความน้อยลง เช่น การลดปริมาณน้ำเสมือนเขียว (green virtual water) โดยการรักษาแหล่งต้นน้ำให้มีความอุดมสมบูรณ์ ทำให้ฝนตกตามฤดูกาล และพยายามทำให้ผลผลิตต่อพื้นที่ให้ได้มากที่สุด การลดปริมาณน้ำเสมือนน้ำเงิน (blue virtual water) สามารถแก้ไขได้โดยภาครัฐ คือการจัดการน้ำผิวดินให้มีประสิทธิภาพ จัดสรรให้เพียงพอต่อภาคเกษตรกรรมเพื่อให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่มากที่สุด การลดปริมาณน้ำเสมือนเทา (gray virtual water) ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับภาคอุตสาหกรรมเพราะต้องมีการบำบัดน้ำเสียและน้ำที่มีมลพิษมาก ดังนั้นการแก้ไขควรใช้เทคโนโลยีสะอาด เพื่อการใช้น้ำในการบำบัดน้ำเสีย และลดการสะสมของสารพิษต่างๆ ในธรรมชาติ

แซบเบียร์ และคณะ (2556) ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF) เพื่อประเมินหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอาหาร อาหารสัตว์ และเชื้อเพลิงที่สำคัญในประเทศไทย พร้อมกับการประเมินหาตัวชี้วัดความตึงเครียดด้านน้ำ ของ 25 กลุ่มน้ำที่สำคัญของไทย พบว่าจะมีค่าแตกต่างกัน

อย่างมากในแต่ละพื้นที่ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัยด้วยกัน การศึกษานี้ยังได้ทำการประเมินถึงโอกาสของการเกิดผลกระทบด้านการดึงเครียดและการแข่งขันน้ำ อันเนื่องมาจากนโยบายการผลิตและการใช้เอทานอลของไทย ซึ่งผลการศึกษาพบว่า WF ของเอทานอลมีค่าอยู่ระหว่าง 1,396-3,105 ลิตรต่อลิตรเอทานอล โดยเอทานอลจากมันสำปะหลังมีค่า WF สูงที่สุดตามด้วยเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเฉพาะความต้องการใช้น้ำชลประทาน (Blue WF) เอทานอลจากกากน้ำตาลมีค่า Blue WF สูงสุด คือ 699-1,220 ลิตร/ลิตรเอทานอล ขณะที่เอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อยจะมีค่าใกล้เคียงกันคือในช่วง 449-566 และ 450-859 ลิตร/ลิตรเอทานอล ตามลำดับ กล่าวโดยสรุป การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และตัวชี้วัดความดึงเครียดด้านน้ำ เป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับการบ่งชี้ถึงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดความดึงเครียดด้านน้ำสูงอันเกิดจากการขยายตัวของกิจกรรมในภาคการเกษตรในอนาคต รวมถึงช่วยในการประเมินมาตรการสำหรับการวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อการผลิตอาหาร อาหารสัตว์ และพลังงานอย่างยั่งยืนในอนาคต โดยโครงการฯ ได้นำเสนอมาตรการต่างๆ ที่จะช่วยส่งเสริมให้เกิดประสิทธิภาพด้านน้ำและการจัดการทรัพยากรน้ำสำหรับการเกษตรของไทย อันจะช่วยบรรเทาปัญหาการเกิดความดึงเครียดหรือการแข่งขันน้ำสำหรับการผลิตอาหาร อาหารสัตว์ และพลังงานในอนาคต

บทที่ 3

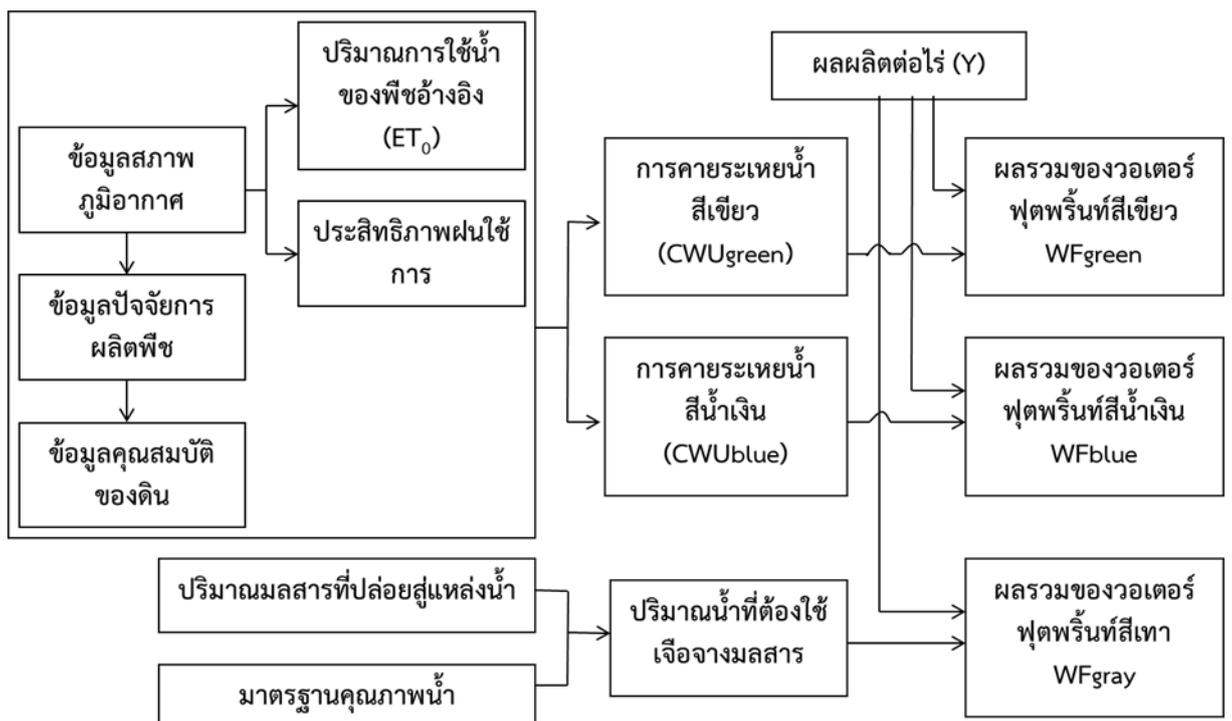
วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณวอเตอร์พุดพรีนซ์ของการเพาะปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยจะทำการศึกษากำหนดการใช้ น้ำ ซึ่งจะคำนวณการใช้ น้ำที่เกิดขึ้นในกระบวนการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 วอเตอร์พุดพรีนซ์

วอเตอร์พุดพรีนซ์ของมะม่วงน้ำดอกไม้สามารถแบ่งการพิจารณาออกได้เป็น 2 ระยะเวลาหลัก คือ ระยะเวลาปลูกและระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิต ในระยะของการปลูกนั้นจะมีการพิจารณา วอเตอร์พุดพรีนซ์ทั้ง 3 ชนิด คือวอเตอร์พุดพรีนซ์ที่สีเขียว สีน้ำเงินและ สีเทา ซึ่งจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับทั้งหมด โดยวอเตอร์พุดพรีนซ์สีเขียวประเมินได้จากปริมาณน้ำฝนในรูปความชื้นในดินที่ต้นมะม่วงน้ำดอกไม้ดูดไปใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนวอเตอร์พุดพรีนซ์สีน้ำเงินประเมินได้จากปริมาณน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน รวมถึงระบบน้ำชลประทานที่ใช้ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ และวอเตอร์พุดพรีนซ์สีเทาประเมินได้จากปริมาณน้ำที่ต้องใช้เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดจากการชะล้างปุ๋ย สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ เนื่องจากวอเตอร์พุดพรีนซ์ที่ใช้ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ นั้น เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของมะม่วงน้ำดอกไม้ ดังนั้นจึงต้องการข้อมูลจากหลายภาคส่วนมา ประยุกต์ใช้เข้าด้วยกันเพื่อสามารถคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยข้อมูลที่ ต้องใช้ประกอบ อาทิเช่น ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศปริมาณน้ำฝน ชนิดพันธุ์มะม่วงน้ำดอกไม้ วิธีการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ ปริมาณผลผลิตในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ ประเภทของดินในพื้นที่ ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ แผนที่การชลประทาน อัตราการใช้ปุ๋ยและสารเคมีอื่นๆ มาตรฐานคุณภาพ น้ำเป็นต้น (Hoekstra *et al.*, 2011) โดยข้อมูลเหล่านี้ส่วนหนึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้โดยตรงจาก เกษตรกร (เช่น พันธุ์มะม่วงน้ำดอกไม้ วิธีการปลูก อัตราการใช้สารเคมี) ขณะที่ข้อมูลบางส่วน สามารถหาได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมพัฒนาที่ดิน กรมอุตุฯ กรมวิสาหการเกษตร นอกจากนี้ยังต้องใช้แหล่งข้อมูลจากต่างประเทศ อาทิเช่น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

CROPWAT ซึ่งสามารถบอกถึงข้อมูลของสภาพอากาศเฉลี่ยย้อนหลัง 30 ปี และการคำนวณความต้องการการใช้น้ำของพืชในขณะที่มีการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ นั้น จะมีความซับซ้อนน้อยกว่า และมีเพียงวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินและสีเทาเท่านั้นที่เกี่ยวข้อง โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงินประเมินได้จากการใช้น้ำในการผลิตแต่ละขั้นตอน รวมถึงปริมาณน้ำที่เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์บางส่วนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา ต้องมีการเก็บข้อมูลของปริมาณน้ำเสีย และลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะสามารถคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเจือจางน้ำเสียนั้น ให้เป็นน้ำดีตามมาตรฐานคุณภาพน้ำ โดยรูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้



รูปที่ 3.1 แผนผังการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้

3.2 วิธีการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลการใช้ น้ำของการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ โดยให้ครอบคลุมระยะการเพาะปลูก การบำรุงรักษา จนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต

2. กำหนดปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งจะกำหนดหาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีน้ำเงิน และปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาของกระบวนการผลิตทั้งหมด โดยเก็บรวบรวมข้อมูลที่เก็บได้จริงจากกระบวนการ (Primary data) และข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วมาใช้ (Secondary data)

3.3 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ นั้นจะดำเนินการตามคู่มือการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ คือ “The Water Footprint Assessment Manual” (Hoekstra et al.,2011) โดยเป็นการคำนวณปริมาณผลรวมของการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท คือ น้ำสีเขียว (*Green WF*) ซึ่งเป็นปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน น้ำสีน้ำเงิน (*Blue WF*) เป็นปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน และ น้ำสีเทา (*Gray WF*) เป็นปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยน้ำแต่ละประเภทจะมาจากแหล่งที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงการหาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมได้จากสมการที่ 1

$$\text{ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม} = WF_{blue} + WF_{green} + WF_{gray} \quad (1)$$

เมื่อ

$$WF_{blue} = CWU_{BLUE} / Y \quad (2)$$

$$WF_{green} = CWU_{green} / Y \quad (3)$$

โดย

$$CWU_{green} = \text{ปริมาณการใช้น้ำสีเขียว(Green water) ในการปลูก (m}^3\text{/ไร่)}$$

CWU_{blue} = ปริมาณการใช้น้ำสีน้ำเงิน (Blue water) ในการปลูก ($m^3/ไร่$)

Y = ผลผลิต (yield) ของการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ (ตัน/ไร่)

โดยค่าความต้องการใช้น้ำของพืชแสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตร/ตัน ($m^3/ตัน$) กำหนดได้จากค่าการระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration; ET) ตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโต (Length of growing period; lgp) ดังสมการที่ 4

$$CWU = 1.6 \sum_{d=1}^{lgp} ET_{green,blue} \quad (4)$$

การคำนวณค่าการคายระเหยของพืช (Evapotranspiration; ET) ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้การคำนวณโดยใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ที่พัฒนาขึ้น โดยองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO, 2009) โดยจะใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณแสงแดด และปริมาณน้ำฝน) โดยใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 30 ปี (2526-2555) ที่อ้างอิงข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์ซึ่งเป็นสถานีตัวแทนที่ดีที่สุด ข้อมูลปัจจัยการผลิตพืช (ชนิดของพืช วันปลูกและวันเก็บเกี่ยว ช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช และความยาวของรากพืช) และข้อมูลสมบัติของดิน (ข้อมูลชุดดิน ความชื้นในดิน การแทรกซึมน้ำผ่านผิวดินสูงสุด ความลึกของรากพืช ความชื้นเริ่มต้น ระยะที่น้ำเริ่มขาด) โดยอ้างอิงจากส่วนการใช้น้ำชลประทาน สำนักอุทกวิทยาแลบริหารน้ำ ระบบสารสนเทศของกรมพัฒนาที่ดินและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการคำนวณค่าการคายระเหยของพืชจากโปรแกรม CROPWAT นี้จะเป็นวิธีการกำหนดการให้น้ำชลประทาน (Irrigation schedule option) ตามหลักการดุลน้ำในดิน (Soil water balance) ซึ่งเมื่อความชื้นถึงจุดวิกฤต (Irrigation at critical depletion) จะมีการให้น้ำจนความชื้นในดินถึงจุดในสนาม (Refill soil to field capacity) โดยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำและไม่ซับซ้อน สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

โดยที่ ET_a คือ ค่าการคายระเหยของพืชที่ต้องการทราบ (มิลลิเมตร)

ET_o คือ ค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร)

K_c คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ในส่วนของวอเตอร์พวตพรีนทีสืเทาจะประเมินจากอัตราการใช้สารเคมีต่อพื้นที่เพาะปลูก (AR, กิโลกรัม/ไร่) กับสัดส่วนการชะล้าง (α) หารด้วยผลต่างของค่าสูงสุดที่ยอมรับได้กับค่าความเข้มข้นที่อยู่เดิมในธรรมชาติ (c_{MAX} , $kg/m^3 - c_{NAT}$, kg/m^3) และจึงหารด้วยผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก ดังสมการที่ 6

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

โดย

α = สัดส่วนของการชะล้าง (leaching: run-off fraction)

AR = อัตราการใช้สารเคมีในพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ (กิโลกรัม/ไร่)

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

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

ในการศึกษานี้เกรย์วอเตอร์พวตพรีนทีสืเทาจะพิจารณาเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน และสมมติให้ c_{NAT} เท่ากับศูนย์ α เท่ากับร้อยละ 10 ของอัตราการใช้ปุ๋ยในพื้นที่ต่อไร่ และ c_{MAX} เท่ากับ 5 มก./ลิตร ตาม

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งเป็นเกณฑ์กำหนดสูงสุดสำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 3 ของประเทศไทย คือเป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท ได้แก่ การเกษตร และจากผลการศึกษากภาคสาม พบว่า มีอัตราการใช้สารเคมีในพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ 34 กิโลกรัม/ไร่

3.4 การวัดความตึงเครียดด้านน้ำ (Water stress index: WSI)

เป็นเครื่องมือหนึ่งที่น่าเชื่อถือเพื่อประเมินระดับความตึงเครียดด้านน้ำในพื้นที่ ซึ่งในการศึกษานี้ได้อ้างอิงหลักการประเมิน WSI ของ Pfister et al. (2010) เป็นหลักการประเมินหาค่า WSI เพื่อใช้สำหรับเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาผลกระทบอันเกิดจากการใช้น้ำ ตามหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) ต่อไป โดยในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินหาค่า WSI ในระดับพื้นที่ตำบลลงมูลเหล็ก โดยตัวชี้วัดดังกล่าวนี้ถูกคำนวณจากสัดส่วนของปริมาณความต้องการใช้น้ำต่อปีเทียบกับปริมาณทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ในพื้นที่ (Withdrawal-to-Availability :WTA) ประกอบกับปัจจัยด้านการแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เฉลี่ยรายเดือน ดังสมการที่ 6

$$WTA = WU / WA \quad (6)$$

โดยที่ WTA แสดงให้เห็นถึงปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ต่อปี และ WU แสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่ (ทั้งภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการอุปโภคบริโภค) ส่วนค่า WA แสดงถึงความพร้อมของการจัดสรรน้ำของชลประทานในพื้นที่ หรือหน่วยงานที่จัดสรรน้ำ โดยมีความสัมพันธ์กับ WSI ดังสมการ 7

$$WSI = \frac{1}{1 + e^{-6.4WTA^{\frac{1}{(0.01)^{-1}}}}} \quad (7)$$

โดยผลการประเมินสามารถจะจำแนกระดับความตึงเครียดด้านน้ำออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

| ระดับความตึงเครียดด้านน้ำ | ค่าตัวชี้วัด WSI |
|---------------------------|------------------|
| รุนแรงมาก (Extreme) | > 0.9 |
| รุนแรง (Severe) | < 0.9 |
| ตึงเครียด (Stress) | 0.5 |
| ปานกลาง (Moderate) | $0.1 - < 0.5$ |
| ต่ำ (Low) | < 0.1 |

3.5 การแปรปรวนผล

นำผลการประเมินสถานการณ์ความตึงเครียดด้านน้ำ และปริมาณความต้องการใช้ที่แท้จริงของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ที่ได้จากการศึกษานี้ นำมาวางแผนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสมในอนาคตเพื่อหลีกเลี่ยงและบรรเทาการเกิดความตึงเครียดด้านน้ำอันเนื่องมาจากความต้องการการใช้น้ำในภาคการเกษตรที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อย่างยั่งยืนในพื้นที่ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การคำนวณอัตราการพุทพรีนที่การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้

4.1.1 การคำนวณค่าการคายระเหยของมะม่วงน้ำดอกไม้

ปริมาณการใช้น้ำของพืชมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การคายระเหยน้ำ (evapotranspiration) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียน้ำไปจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ โดยการระเหยและการคายน้ำ ปริมาณการใช้น้ำของพืชจึงขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ทำการเพาะปลูก คุณลักษณะของดิน และสภาพแวดล้อมที่ทำการเพาะปลูกพืช การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชทำให้ทราบปริมาณน้ำที่พืชต้องการ ซึ่งเป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่พืชนำไปใช้เพื่อหล่อเลี้ยงลำต้นกิ่งก้านใบดอก และผลให้เจริญเติบโต ได้เต็มที่

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (consumptive use) คือปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียน้ำไปเนื่องจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ

- การระเหย (evaporation) คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินรอบๆ ต้นพืช จากผิวน้ำในขณะที่ทำการให้หรือในขณะที่มีน้ำขังอยู่ รวมถึงจากน้ำที่เกาะอยู่ในบริเวณใบ เนื่องจากการเกิดฝนหรือการให้น้ำ

- การคายน้ำ (transpiration) คือปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดินเพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อ แล้วคายออกทางใบสู่บรรยากาศ

ปัจจัยที่มีผลต่อการให้น้ำของมะม่วงน้ำดอกไม้ มีดังนี้

1) สภาพแวดล้อมรอบๆ ต้นพืช เช่น ความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และความเร็วลม เป็นต้น

2) พืช ได้แก่ ชนิดและอายุของพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำแตกต่างกัน สำหรับพืชชนิดเดียวกัน การใช้น้ำจะน้อยเมื่อเริ่มปลูกและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมากที่สุดเมื่อถึงช่วงอายุของการขยายพันธุ์ ซึ่งพืชจะเจริญเติบโตเต็มที่ จากนั้นค่อยๆ ลดลง

3) ดิน ได้แก่ ความชื้นในดิน เนื้อดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ให้พืชใช้ได้ของดิน ความเข้มข้นของเกลือในดินหรือสารเป็นพิษอื่นๆ ในดิน เป็นต้น

4) องค์ประกอบอื่นๆ เช่น วิธีการใช้น้ำ การไถดิน การพรวนดิน เป็นต้น

ซึ่งในการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของมะม่วงน้ำดอกไม้ในงานวิจัยนี้จะใช้การคำนวณโดยใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ที่พัฒนาขึ้นโดยองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO, 2009) โดยจะใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณแสงแดด และปริมาณน้ำฝน) โดยใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 30 ปี (2526-2555) ที่อ้างอิงข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์ซึ่งเป็นสถานีตัวแทนที่ดีที่สุด (ภาคผนวก ก.) ข้อมูลปัจจัยการผลิตพืช (ชนิดของพืช วันปลูกและวันเก็บเกี่ยว ช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช และความยาวของรากพืช) และข้อมูลสมบัติของดิน (ข้อมูลชุดดิน ความชื้นในดิน การแทรกซึมน้ำผ่านผิวดินสูงสุด ความลึกของรากพืช ความชื้นเริ่มต้น ระยะที่น้ำเริ่มขาด) โดยอ้างอิงจากระบบสารสนเทศของกรมพัฒนาที่ดินและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ซึ่งการคำนวณค่าการคายระเหยของพืชจากโปรแกรม CROPWAT นี้จะเป็นวิธีการกำหนดการให้น้ำชลประทาน (Irrigation schedule option) ตามหลักการดุลน้ำในดิน (Soil water balance) ซึ่งเมื่อความชื้นถึงจุดวิกฤต (Irrigation at critical depletion) จะมีการให้น้ำจนความชื้นในดินถึงจุดในสนาม (Refill soil to field capacity) โดยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำและไม่ซับซ้อน สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

โดยที่ ET_c คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการทราบ (มิลลิเมตร)

ET_o คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร)

K_c คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ผลการคำนวณจากโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (CROPWAT 8.0) ที่พัฒนาขึ้นโดยองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ สรุปได้ดังตารางที่ 4-1 พบว่า ค่าการคายระเหยของมะม่วงน้ำดอกไม้ตลอดระยะเวลาการปลูก มีค่าการระเหยสีเขียว 806.5 มิลลิเมตร/ปี ค่าการระเหยสีน้ำเงิน 2,908 มิลลิเมตร/ปี (ข้อมูลผลการคำนวณแสดงดังภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4-1 ผลการคำนวณความต้องการใช้น้ำของมะม่วงน้ำดอกไม้โดยใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (CROPWAT 8.0)

| ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0 | ET _c (มม./ปี) | Eff _{rain} (มม./ปี) | Irr. Req. (มม./ปี) | ET _{green} (มม./ปี) | ET _{blue} (มม./ปี) |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| ปริมาณน้ำ | 2,908 | 806.5 | 2103.3 | 806.5 | 2,908 |

หมายเหตุ: ET_{green} = ค่าการระเหยน้ำสีเขียว ET_{blue} = ค่าการระเหยน้ำสีน้ำเงิน

Eff_{rain} = ปริมาณน้ำฝนใช้งาน Irr. Req. = ความต้องการน้ำชลประทาน

4.1.2 การคำนวณค่าการใช้น้ำของมะม่วงน้ำดอกไม้

จากปริมาณค่าการคายระเหยตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของมะม่วงน้ำดอกไม้ ทำให้สามารถคำนวณค่าความต้องการใช้น้ำของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้จากสมการ

$$CWU = 1.6 \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET_{green,blue}$$

ซึ่งผลจากการคำนวณพบว่าค่าการระเหยรวมทั้งสีเขียวและสีน้ำเงิน (ET_{total}) เท่ากับ 3,714.5 มิลลิเมตร/ปี หรือสามารถหาค่าความต้องการใช้น้ำสีเขียวและสีน้ำเงิน เท่ากับ 1,290.4 และ 4,652.8 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ตามลำดับ โดยมีปริมาณความต้องการใช้น้ำรวม (CWU_{total}) เท่ากับ 5,943.2 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4.2 ความต้องการน้ำตลอดช่วงการเพาะปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้

| พืช | ค่าการระเหยของพืช (มิลลิเมตร/ปี) | | | ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี) | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------|---|---------------------|----------------------|
| | ET _{green} | ET _{blue} | ET _{total} | CWU _{green} | CWU _{blue} | CWU _{total} |
| มะม่วงน้ำดอกไม้ | 806.5 | 2,908 | 3,714.5 | 1,290.4 | 4,652.8 | 5,943.2 |

หมายเหตุ: ค่าการสะสมการคายระเหยน้ำของพืช ET_{total} = ET_{green} + Et_{blue} จากตารางที่ 4-1

4.1.3 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงิน

มะม่วงน้ำดอกไม้ที่ปลูกในตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์นั้น ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง โดยจากข้อมูลการสำรวจภาคสนามพบว่ามีพื้นที่การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ในปี 2558 อยู่ประมาณ 204 ไร่ และมีค่าเฉลี่ยของผลผลิตของมะม่วงน้ำดอกไม้ประมาณ 3,200 กก./ไร่/ปี ดังนั้นสามารถนำข้อมูลของปริมาณผลผลิตมาคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงินได้ดังนี้

$$WF_{blue} = CWU_{blue} / Y$$

$$WF_{green} = CWU_{green} / Y$$

โดย CWU_{green} = ปริมาณการใช้น้ำสีเขียว (Green water) ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ (ลบ.ม./ไร่)

CWU_{blue} = ปริมาณการใช้น้ำสีน้ำเงิน (Blue water) ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ (ลบ.ม./ไร่)

Y = ผลผลิต (yield) ของการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ (ตัน/ไร่)

ซึ่งผลจากการคำนวณจะพบว่าในปี 2558 มะม่วงน้ำดอกไม้จะมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงิน 46.67 และ 28.80 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวและสีน้ำเงิน (WF) ของมะม่วงน้ำดอกไม้ในปี 2558

| พืช | ปริมาณผลผลิต (ตัน/ไร่/ปี) | ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม./ตัน) | | |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------|--------------|
| | | WF_{green} | WF_{blue} | WF_{total} |
| มะม่วงน้ำดอกไม้ | 32 | 46.67 | 28.80 | 75.47 |

หมายเหตุ: ข้อมูลปริมาณผลผลิตในปี 2558 จำนวนพื้นที่ปลูก 204 ไร่

4.1.4 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว

การหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขานั้นจะใช้หลักการที่ว่าปริมาณของมลสารทางน้ำหาได้จากปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อเจือจางมลสารที่อยู่ในน้ำให้มีค่ามาตรฐาน โดยส่วนใหญ่ในกระบวนการเพาะปลูกจะมีการใช้ปุ๋ย เมื่อพืชไม่สามารถใช้หมดจะทำให้ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำหรือซึมลงสู่หน้าดินได้ ซึ่งมลพิษในส่วนนี้มีแหล่งกำเนิดที่แพร่กระจายไม่สามารถทำการตรวจวัดได้ แต่สามารถทำการประเมินได้จากอัตราการใช้สารเคมีต่อพื้นที่เพาะปลูก (AR, กิโลกรัม/ไร่) และสัดส่วนการชะล้าง (α) หารด้วยผลต่างของค่าสูงสุดที่ยอมรับได้กับค่าความเข้มข้นที่อยู่เดิมในธรรมชาติ (c_{MAX} , $\text{kg/m}^3 - c_{NAT}$, kg/m^3) และจึงหารด้วยผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก โดยจะใช้ระดับความเข้มข้นของค่ามลสารที่แหล่งน้ำยอมรับได้และความเข้มข้นมลสารในแหล่งน้ำและผลผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้ต่อไร่ นำมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งในการศึกษาค้างนี้จะพิจารณาผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยในโตรเจนเท่านั้นดังสมการ

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

โดยกำหนดให้

α = สัดส่วนของการชะล้าง (leaching: run-off fraction) ร้อยละ 10 ของอัตราการใช้ปุ๋ยในพื้นที่ต่อไร่ (Mekonnen and Hoekstra, 2011)

AR = อัตราการใช้สารเคมีในพื้นที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ (กิโลกรัม/ไร่)

c_{MAX} = ระดับความเข้มข้นของมลสารสูงสุดที่ยอมรับได้ในแหล่งน้ำ

อ้างอิงจากมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินของประเทศไทยมีค่า 5 มก./ลิตร

c_{NAT} = ระดับความเข้มข้นของมลสารในแหล่งน้ำเท่ากับ 0 มก./ลิตร

ในการศึกษานี้เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะพิจารณาเฉพาะปุ๋ยในโตรเจน และสมมติให้ c_{NAT} เท่ากับศูนย์ α เท่ากับร้อยละ 10 ของอัตราการใช้ปุ๋ยในพื้นที่ต่อไร่ และ c_{MAX} เท่ากับ 5 มก./ลิตร ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งเป็นเกณฑ์กำหนดสูงสุดสำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 3 ของประเทศไทย คือเป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท ได้แก่ การเกษตร และจากผลการศึกษากภาคสาม พบว่า มีอัตราการใช้สารเคมีในพื้นที่ปลูกมะม่วง

น้ำดอกไม้ 34 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งสามารถนำข้อมูลของปริมาณผลผลิตมาคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียวได้ มีค่าเท่ากับ 21.3 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ซึ่งแสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว (WF) ของมะม่วงน้ำดอกไม้ในปี 2558

| ปริมาณสาร มลพิษที่เกิดขึ้น (กก./ไร่/ปี) | ค่าความ เข้มข้นมลสาร สูงสุด (มก./ลิตร) | ค่าความเข้มข้น เข้มข้นมลสารต่ำสุด (มก./ลิตร) | ปริมาณ ผลผลิต (ตัน/ปี) | วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ สีเขียว (ลบ.ม./ตัน) |
|---|---|--|------------------------------|---|
| 34 | 5.0 | 0.0 | 32 | 21.3 |

หมายเหตุ: ข้อมูลสำรวจภาคสนาม พบว่า เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยในโตรเจนในพื้นที่การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ ประมาณ 34 กก./ไร่/ปี

จากผลการคำนวณพบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว มีค่า 21.325 ลบ.ม./ตัน ซึ่งสามารถนำผลการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละประเภทมาหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ได้จากปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม = $WF_{blue} + WF_{green} + WF_{gray}$ ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการเพาะปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้มีค่าเท่ากับ 96.72 ลบ.ม./ตัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5

4.1.5 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

จากผลการคำนวณพบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว สีน้ำเงิน และสีเทา มีค่า 40.3, 145.4 และ 21.3 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ซึ่งสามารถนำผลการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละประเภทมาหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ได้จากปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมได้เท่ากับ 207 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทุกประเภทจากการคำนวณ

| วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน) | | | |
|--|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| สีเขียว (WF _{green}) | สีน้ำเงิน (WF _{blue}) | สีเทา (WF _{gray}) | รวม (WF _{proc,total}) |
| 40.3 | 145.4 | 21.3 | 207 |

หมายเหตุ : ผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ = สีเขียว (WF_{green}) + สีน้ำเงิน (WF_{blue}) + สีเทา (WF_{gray})

4.2 การวัดความตึงเครียดด้านน้ำ (Water stress index: WSI)

เป็นเครื่องมือหนึ่งที่น่าิยมใช้เพื่อประเมินระดับความตึงเครียดด้านน้ำในพื้นที่ ซึ่งในการศึกษานี้ได้อ้างอิงหลักการประเมิน WSI ของ Pfister et al. (2010) เป็นหลักการประเมินหาค่า WSI เพื่อใช้สำหรับเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาผลกระทบอันเกิดจากการใช้น้ำ ตามหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) ต่อไป โดยในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินหาค่า WSI ในระดับพื้นที่ตำบลดงมูลเหล็ก โดยตัวชี้วัดดังกล่าวนี้ถูกคำนวณจากสัดส่วนของปริมาณความต้องการใช้น้ำต่อปีเทียบกับปริมาณทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ในพื้นที่ (Withdrawal-to-Availability :WTA) ประกอบกับปัจจัยด้านการแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เฉลี่ยรายเดือน ดังสมการ

$$WTA = WU / WA$$

โดยที่ WTA แสดงให้เห็นถึงปริมาณความต้องการน้ำในพื้นที่ต่อปี และ WU แสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่ (ทั้งภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการอุปโภคบริโภค) ส่วนค่า WA แสดงถึงความพร้อมของการจัดสรรน้ำของชลประทานในพื้นที่ หรือหน่วยงานที่จัดสรรน้ำโดยมีความสัมพันธ์กับ WSI ดังสมการ

$$WSI = \frac{1}{1 + e^{-6.4WTA^{(0.01-1)}}}$$

โดยผลการประเมินสามารถจะจำแนกระดับความตึงเครียดด้านน้ำออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

| ระดับความตึงเครียดด้านน้ำ | ค่าตัวชี้วัด WSI |
|---------------------------|------------------|
| รุนแรงมาก (Extreme) | > 0.9 |
| รุนแรง (Severe) | < 0.9 |
| ตึงเครียด (Stress) | 0.5 |
| ปานกลาง (Moderate) | 0.1 – < 0.5 |
| ต่ำ (Low) | < 0.1 |

จากผลการศึกษา พบว่า เกษตรกรที่ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ในพื้นที่ตำบลดงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ส่วนใหญ่ใช้น้ำที่ได้จากบ่อน้ำตื้นและบ่อน้ำบาดาล จึงไม่ได้รับน้ำจากการจัดสรรของกรมชลประทานเป็นหลัก จึงสมมุติให้ค่า WA เท่ากับ ปริมาณน้ำฝนที่ตกภายในพื้นที่พื้นที่ตำบลดงมูลเหล็ก (117 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 117,000,000 ตารางเมตร) ซึ่งเกษตรกรนำน้ำฝนดังกล่าวเข้าสู่บ่อน้ำตื้นเพื่อกักเก็บไว้ใช้รดน้ำมะม่วง สามารถคำนวณโดยใช้ข้อมูลน้ำฝนจากสถิติภูมิอากาศในคาบ 30 ปี ของสถานีตรวจวัดอุตุนิยมหาวิทยาลัยเพชรบูรณ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1079.1 มิลลิเมตร/ปี ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่} &= \text{ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี} \times \text{พื้นที่รับน้ำฝน} \\
 \text{แทนค่าได้ WA} &= 1079.1 \text{ มม./ปี} \times 117,000,000 \text{ ตารางเมตร} \\
 &= 126,254,700 \text{ ลูกบาศก์เมตร/ปี}
 \end{aligned}$$

กำหนดให้ค่า WU เท่ากับปริมาณน้ำที่มะม่วงน้ำดอกไม้ต้องการตลอดระยะเวลา 1 ปี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5,943.2 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี เมื่อคูณด้วยจำนวนไร่ที่มีการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ 204 ไร่ พบว่า มีความต้องการน้ำในพื้นที่ทั้งหมด 1,212,412.8 ลูกบาศก์เมตร/ปี ดังนั้น สามารถประเมินค่าระดับความตึงเครียดได้ดังนี้

$$\text{ค่า WTA} = 1,212,412.8/126,254,700$$

$$= 0.0096$$

จาก

$$WSI = \frac{1}{1+e^{-6.4WTA^{(\frac{1}{0.01}-1)}}$$

$$\text{แทนค่าได้ WSI} = 0.0106$$

การประเมินระดับความตึงเครียดด้านน้ำจากการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ในพื้นที่ตำบล
คงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่า มีค่า WSI เท่ากับ 0.0106 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า <0.1 เมื่อ
นำไปเปรียบเทียบกับระดับความตึงเครียด พบว่าอยู่ในระดับต่ำ นอกจากนี้จากผลการสำรวจด้วย
แบบสอบถามความเพียงพอของปริมาณน้ำใช้ของเกษตรกร พบว่า มีความเพียงพอต่อการปลูก
มะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งสอดคล้องกับการผลประเมินข้างต้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่ปัจจุบันมีการบริโภคภายในประเทศและมีการส่งออกต่างประเทศมากขึ้น การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมะม่วงน้ำดอกไม้ทำให้เข้าใจถึงปริมาณน้ำที่ถูกใช้ไปตลอดห่วงโซ่กระบวนการเพาะปลูก สำหรับการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในพื้นที่ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่า มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองนั้น 207 ลูกบาศก์เมตร/ตัน โดยคิดเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว 40.3 ลิ้น้ำเงิน 145.4 และสีเทา 21.3 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ตามลำดับ และผลจากการสำรวจ ผลผลิตมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองของเกษตรกรมีผลผลิตเฉลี่ย 32 ตัน/ไร่ คิดเป็นปริมาณความต้องการน้ำตลอดปีเพาะปลูก 6,624 ลูกบาศก์เมตร/ไร่/ปี ซึ่งเมื่อพิจารณาการใช้น้ำในแต่ละส่วนจะพบว่าน้ำที่ใช้ในการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองส่วนมากจะเป็นน้ำสีน้ำเงินหรือน้ำที่ได้จากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน ส่วนของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาจะพิจารณาเพียงผลผลิตพืชจากปริมาณการใช้น้ำในโตรเจนของเกษตรกร ดังนั้น วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทาจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณการใช้น้ำในโตรเจนในการปลูกพืช ซึ่งแนวทางในการลดการใช้น้ำคือการศึกษากำหนดการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพลดการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำให้เหมาะสมกับลักษณะของดินและชนิดพืช รวมถึงการใช้น้ำที่มีการตกค้างในดินน้อย เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของ Hoekstra et al. (2011) ซึ่งมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมะม่วง 1,800 ลูกบาศก์เมตร/ตัน (ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว 1,314 ลิ้น้ำเงิน 362 และสีเทา 124 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ตามลำดับ) พบว่า ผลการศึกษาในครั้งนี้มีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้ การศึกษาของ Hoekstra et al. (2011) เป็นการศึกษาในภาพรวมระดับโลกซึ่งมีความแตกต่างในด้านความละเอียดของข้อมูล อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ได้ใช้ค่าและข้อมูลต่างๆ เฉพาะพื้นที่ และมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในพื้นที่ศึกษามีผลผลิตที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตเฉลี่ยในพื้นที่อื่นๆ (5-10 ตัน/ไร่)

จึงทำให้การคำนวณค่าปริมาณน้ำใช้ต่อต้นมะม่วงมีค่าต่ำ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น ค่าอัตรการฟูตปรึ้นของการศึกษานี้จึงสามารถใช้เป็นตัวแทนค่าอัตรการฟูตปรึ้นมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองของพื้นที่ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่อื่นๆ ต่อไป

สำหรับการประเมินระดับความตึงเครียดด้านน้ำจากการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ในพื้นที่ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่า มีค่า WSI เท่ากับ 0.0106 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า <math><0.1</math> เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับระดับความตึงเครียด พบว่าอยู่ในระดับต่ำ นอกจากนี้จากการสำรวจด้วยแบบสอบถามความเพียงพอของปริมาณน้ำใช้ของเกษตรกร พบว่า มีความเพียงพอต่อการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินข้างต้น

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนในพื้นที่ตำบลคงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

1. การลดปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งการใช้น้ำของพืชในช่วงการเพาะปลูกจะเป็นกระบวนการที่มีความต้องการน้ำใช้สูงสุด ซึ่งการลดการใช้น้ำของพืชจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำในภาคการเกษตร โดยค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ สภาพดิน ปริมาณผลผลิตต่อไร่ ช่วงเวลาการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว รวมถึงแนวปฏิบัติในช่วงการเพาะปลูกพืช เช่น ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เป็นต้น ดังนั้นการลดปริมาณการใช้น้ำของพืชจึงจำเป็นต้องหาแนวทาง เช่น การประเมินหาแนวทางการใช้น้ำ การส่งเสริมวิจัยพัฒนาพันธุ์พืชที่ทนแล้ง การส่งเสริมให้มีแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้น้ำ

2. การส่งเสริมขยายพื้นที่เพาะปลูกให้เหมาะสม ภาครัฐควรมีมาตรการการส่งเสริมให้เกิดการเพาะปลูกพืชแต่ละชนิดในพื้นที่ที่มีสภาพเหมาะสม ทั้งในด้านสภาพดิน และภูมิอากาศ รวมถึงหลีกเลี่ยงการขยายการเพาะปลูกในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดความตึงเครียดด้านน้ำ แต่มุ่งเน้นไปที่การส่งเสริมให้เกิดผลผลิตต่อไร่ที่มากขึ้นในบริเวณดังกล่าว

3. ส่งเสริมให้เกิดพัฒนาด้านฉลาก WF ของผลิตภัณฑ์เกษตร เพื่อสร้างความตระหนักด้านน้ำในภาคการบริโภค เพื่อให้เกิดความยั่งยืนด้านการใช้น้ำในอนาคต การสร้างความตระหนักด้าน

น้ำในภาคการบริโภคจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้น การส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาฉลาก Water footprint จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้เกิดความตระหนักทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคในการรับผิดชอบต่อการใช้น้ำ เพื่อให้เกิดการใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในอนาคต

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1. ข้อมูลที่ทำการเก็บส่วนใหญ่เป็นข้อมูลเชิงประมาณการ เนื่องจากช่วงระยะเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงที่เกษตรกรได้ดำเนินการเพาะปลูกมาช่วงระยะหนึ่งแล้ว ซึ่งแบบสอบถามที่ทำการสอบถามเกษตรกร เป็นแบบสอบถามที่ทำการสอบถามข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่กระบวนการแรกของการเพาะปลูกที่เกษตรกรได้ดำเนินการมาแล้วหลายปี ทำให้เกษตรกรไม่สามารถให้ข้อมูลที่แน่นอน ข้อมูลจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนได้

2. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความแม่นยำค่อนข้างน้อย เนื่องจากในบางกระบวนการไม่สามารถวัดปริมาณการใช้น้ำที่ถูกต้องได้โดยตรงต้องใช้ข้อมูลจากการประมาณค่าจากเกษตรกร อาจส่งผลให้ผลการวิจัยมีความเบี่ยงเบนไปจากความเป็นจริงเล็กน้อยแต่ผลการวิจัยและแนวโน้มโดยรวมค่อนข้างอยู่ในระดับที่เชื่อถือได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการสนับสนุนส่งเสริมการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเรื่องการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืชเศรษฐกิจของจังหวัด เช่น มะขาม เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของประเทศและเตรียมความพร้อมสำหรับการส่งออกรวมทั้งเผยแพร่ความรู้ดังกล่าวให้กับประชาชน

2. ควรมีการเพิ่มพื้นที่ในการเก็บข้อมูลให้มากกว่านี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลและผลการวิจัยที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาวัตุดิบที่ใช้ในกระบวนการเพาะปลูกและดูแลรักษา เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดผลกระทบจากการใช้น้ำต่อแหล่งน้ำ

4. การศึกษาเพื่อหาวิธีการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์หรือผลกระทบภายนอก (externalities) ของการใช้ทรัพยากรน้ำ

บรรณานุกรม

- ชินาธิปกรณ พงศ์กัญญาโณภาพ และ ชำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. (2554). วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย. วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 75 ปีที่ 24 มกราคม - มีนาคม 2554.
- แซบเปียร์ และคณะ. (2556). ฟุตพริ้นท์น้ำของพืชอาหาร อาหารสัตว์ และพลังงาน เพื่อจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ธีระวัฒน์ ธรรมนิยม ทิพย์ปภา สุขุมาลชาติ อติชัย พรพรหมินทร์ และ สุรชัย ลิปิวัฒนาการ (2555). วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวในพื้นที่ฝั่งซ้ายคลองชัยนาท-ป่าสัก โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโลกกระเทียม จังหวัดลพบุรี. The 3rd Thailand INWEPF Symposium. 8 สิงหาคม 2555. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
- พรเทพ แก้วเชื้อ. 2556. การพัฒนารอยเท้าน้ำ (water footprint) ในประเทศไทย. วิศวกรรมลาดกระบัง. ปีที่ 30 ฉบับที่ 2. มิถุนายน 2556.
- ลักขณา เจริญสุข รัตชยุดา กองบุญ และเศรษฐ์ สัมภักตะกุล. 2555. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนครั้งที่ 1.
- ลักขณาพร สีวิเส็ง กัมปนาท ภักดีกุล จำลอง อรุณเลิศอารีย์ และวัชระ เสือดี. 2555. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมัน ณ โครงการปลูกปาล์มมูลนิธิชัยพัฒนา แม่ฟ้าหลวง จ.เพชรบุรี. การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.
- सानิต์คำ เตียวต้อย ชลิตา สุวรรณ และธณัฐยศ สมใจ. 2555. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยและมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลในภาคตะวันออก ประเทศไทย. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.

- Chapagain A.K. and Hoekstra A.Y. (2011). **The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives**. *Ecological Economics*. Vol.70. pp 749–758.
- Hoekstra, A.Y., and others. 2011. **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard**. The Netherlands : Earthscan.
- Kongboon R. and Sampattagul S. (2012). **The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand**. *Social and Behavioral Sciences*. Vol. 40. pp. 451 – 460.
- Mekonnen M.M. and Hoekstra A. Y. (2011). **The green, blue and grey water footprint of crop and derive crop products**. *Hydrology Earth System Sciences*. Vol. 15. pp. 1577–1600.
- Pfister, S., Koehler, A., Hellweg, S. (2009). **Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA**. *Environmental Science&Technology*, 43 (11), 4098-4104
- Schäfer F. and Blanke M. (2011). **Farming and marketing system affects carbon and water footprint a case study using Hokaido pumpkin**. *Journal of Cleaner Production*. Article In press pp.1-7
- Sukumalchart T., Pornprommin A. and Lipiwattanakarn S. (2011). **Monthly water footprint of maize in major cultivated areas of Thailand**. The 1st EIT international conference on water resources engineering. 18 - 19 August. Phetchburi province. Thailand.

ภาคผนวก ก

รูปภาพการลงพื้นที่เก็บข้อมูลศึกษาวิจัย









ภาคผนวก ข

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก คาบ 30 ปี (2514-2543)

สถิติภูมิอากาศในคาบ 30 ปี ของสถานีตรวจวัดอุตุวิทยามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

| | | | |
|---------------|------------|------------------------------------|--------------|
| Station | Phetchabun | Elevation of station above MSL | 114 Meters |
| Index station | 48379 | Height of barometer above MSL | 116 Meters |
| Latitude | 16 26 N | Height of thermometer above ground | 1.29 Meters |
| Longitude | 101 09E | Height of wind vane above ground | 10.00 Meters |
| | | Height of raingauge | 0.80 Meters |

| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jan | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Year |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Pressure (Hectopascal) | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 1012.3 | 1010.4 | 1008.6 | 1006.9 | 1005.8 | 1004.7 | 1004.8 | 1005.0 | 1006.9 | 1009.5 | 1011.9 | 1013.6 | 1008.4 |
| Ext. Max. | 1025.1 | 1022.2 | 1024.0 | 1018.6 | 1015.3 | 1011.5 | 1012.2 | 1012.1 | 1014.7 | 1018.7 | 1022.1 | 1024.3 | 1025.1 |
| Ext. Min. | 1002.3 | 1000.1 | 998.1 | 996.2 | 997.9 | 995.9 | 995.8 | 996.5 | 998.3 | 999.6 | 1002.1 | 1003.0 | 995.8 |
| Mean daily range | 6.0 | 4.9 | 5.3 | 6.9 | 5.1 | 5.5 | 2.4 | 4.5 | 4.8 | 5.0 | 4.9 | 5.4 | 5.1 |
| Temperature (Celsius) | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 23.9 | 26.2 | 28.6 | 29.8 | 28.8 | 28.1 | 27.6 | 27.2 | 27.1 | 26.7 | 25.1 | 23.2 | 26.9 |
| Mean Max. | 32.2 | 34.6 | 36.5 | 37.2 | 35.2 | 33.3 | 32.6 | 32.0 | 32.2 | 32.1 | 31.5 | 30.9 | 33.4 |
| Mean Min. | 16.9 | 19.4 | 22.2 | 24.4 | 24.6 | 24.5 | 24.1 | 24.0 | 23.9 | 22.8 | 19.8 | 16.7 | 21.9 |
| Ext. Max. | 37.4 | 39.4 | 42.0 | 42.5 | 42.0 | 39.4 | 37.8 | 36.5 | 36.3 | 35.9 | 35.9 | 36.6 | 42.5 |
| Ext. Min. | 6.1 | 11.1 | 12.1 | 19.5 | 20.7 | 22.0 | 21.5 | 21.7 | 19.6 | 14.6 | 8.1 | 5.1 | 5.1 |
| Relative Humidity (%) | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 65 | 62 | 61 | 65 | 75 | 80 | 82 | 84 | 84 | 80 | 72 | 66 | 73 |
| Mean Max. | 87 | 84 | 83 | 85 | 91 | 93 | 94 | 95 | 96 | 94 | 90 | 88 | 90 |
| Mean Min. | 39 | 37 | 38 | 42 | 55 | 62 | 65 | 68 | 67 | 59 | 48 | 41 | 52 |
| Ext. Min. | 16 | 17 | 14 | 20 | 27 | 37 | 39 | 44 | 40 | 23 | 19 | 17 | 14 |
| Dew Point (Celsius) | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 121.4 | 132.7 | 174.0 | 184.3 | 156.4 | 130.1 | 117.9 | 106.1 | 105.2 | 119.0 | 122.7 | 126.5 | 1596.3 |
| Cloudiness (1-10) | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 2.8 | 2.9 | 3.2 | 4.5 | 6.7 | 8.0 | 8.3 | 8.6 | 7.8 | 5.7 | 3.8 | 2.7 | 5.4 |
| Sunshine Duration (hr.) | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 236.1 | 221.4 | 248.3 | 236.8 | 232.0 | 142.2 | 120.8 | 107.6 | 132.0 | 191.9 | 224.9 | 243.1 | 2337.1 |
| Visibility (Km.) | | | | | | | | | | | | | |
| 0700 L.S.T. | 4.1 | 2.8 | 3.3 | 5.3 | 8.0 | 9.1 | 8.5 | 8.3 | 7.9 | 6.9 | 6.7 | 6.1 | 6.4 |
| Mean | 5.9 | 4.5 | 4.6 | 6.6 | 9.6 | 10.3 | 9.9 | 9.7 | 9.6 | 9.2 | 9.0 | 8.3 | 8.1 |
| Wind (Knots) | | | | | | | | | | | | | |
| Mean wind speed | 1.4 | 1.6 | 2.1 | 2.5 | 2.1 | 2.4 | 2.3 | 2.0 | 1.3 | 1.7 | 2.1 | 1.9 | - |
| Prevailing Wind | N | S | S | S | S | S | S | S | S | N | N | N | - |
| Max. wind speed | 18 | 30 | 30 | 40 | 50 | 40 | 21 | 30 | 27 | 29 | 16 | 22 | 50 |
| Rainfall (mm.) | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 5.6 | 19.0 | 38.4 | 67.9 | 155.8 | 144.2 | 154.1 | 189.3 | 200.8 | 86.9 | 10.5 | 6.6 | 1079.1 |
| Mean rainy day | 1.1 | 2.2 | 3.7 | 7.4 | 15.6 | 16.4 | 18.2 | 21.0 | 18.0 | 10.3 | 2.1 | 0.7 | 117.0 |
| Daily maximum | 26.1 | 120.8 | 73.8 | 64.6 | 142.0 | 156.4 | 100.6 | 110.2 | 121.2 | 78.4 | 46.3 | 43.6 | 156.4 |
| Number of days with | | | | | | | | | | | | | |
| Haze | 27.9 | 27.6 | 29.5 | 22.9 | 6.8 | 0.8 | 0.8 | 0.4 | 1.8 | 6.6 | 13.1 | 21.1 | 159.3 |
| Fog | 1.6 | 1.2 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 1.3 | 1.1 | 0.8 | 7.1 |
| Hail | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Thunderstorm | 0.2 | 2.1 | 5.9 | 12.9 | 18.5 | 10.0 | 8.6 | 9.1 | 12.3 | 8.1 | 0.9 | 0.2 | 88.8 |
| Squall | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 |

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา 2554 ,

ภาคผนวก ค

ข้อมูลผลการคำนวณโดยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (CROPWAT 8.0)

DRY CROP DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\Mango.CRO)

69

| | | | | | |
|--------------------|---------|---------|----------------------|------|----------------|
| Crop Name: Mango | | | Planting date: 01/06 | | Harvest: 26/05 |
| Stage | initial | develop | mid | late | total |
| Length (days) | 60 | 90 | 120 | 90 | 360 |
| Kc Values | 1.50 | --> | 2.00 | 1.20 | |
| Rooting depth (m) | 0.30 | --> | 2.00 | 2.00 | |
| Critical depletion | 0.60 | --> | 0.60 | 0.60 | |
| Yield response f. | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| Cropheight (m) | | | | | |

SOIL DATA
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\RED LOAMY.SOI)

Soil name: RED LOAMY

General soil data:

| | | |
|---|-------|-------------|
| Total available soil moisture (FC - WP) | 180.0 | mm/meter |
| Maximum rain infiltration rate | 30 | mm/day |
| Maximum rooting depth | 900 | centimeters |
| Initial soil moisture depletion (as % TA) | 0 | % |
| Initial available soil moisture | 180.0 | mm/meter |

CROP WATER REQUIREMENTS

70

ETo station: phetchabun
Rain station: phet chabun

Crop: Mango
Planting date: 01/06

| Month | Decade | Stage | Kc coeff | ETc mm/day | ETc mm/dec | Eff rain mm/dec | Irr. Req. mm/dec |
|-------|--------|-------|-------------|---------------|---------------|--------------------|---------------------|
| Jun | 1 | Init | 1.50 | 7.42 | 74.2 | 37.3 | 36.8 |
| Jun | 2 | Init | 1.50 | 7.12 | 71.2 | 36.5 | 34.7 |
| Jun | 3 | Init | 1.50 | 7.00 | 70.0 | 37.2 | 32.8 |
| Jul | 1 | Init | 1.50 | 6.88 | 68.8 | 37.8 | 30.9 |
| Jul | 2 | Init | 1.50 | 6.76 | 67.6 | 38.3 | 29.3 |
| Jul | 3 | Deve | 1.50 | 6.60 | 72.6 | 40.2 | 32.4 |
| Aug | 1 | Deve | 1.54 | 6.59 | 65.9 | 42.6 | 23.3 |
| Aug | 2 | Deve | 1.59 | 6.65 | 66.5 | 44.5 | 22.1 |
| Aug | 3 | Deve | 1.65 | 6.78 | 74.6 | 44.8 | 29.8 |
| Sep | 1 | Deve | 1.71 | 6.89 | 68.9 | 47.0 | 21.9 |
| Sep | 2 | Deve | 1.76 | 6.99 | 69.9 | 48.5 | 21.4 |
| Sep | 3 | Deve | 1.82 | 7.21 | 72.1 | 40.7 | 31.4 |
| Oct | 1 | Deve | 1.88 | 7.42 | 74.2 | 31.8 | 42.4 |
| Oct | 2 | Deve | 1.93 | 7.64 | 76.4 | 25.0 | 51.3 |
| Oct | 3 | Mid | 1.99 | 7.95 | 87.4 | 17.8 | 69.6 |
| Nov | 1 | Mid | 2.00 | 8.10 | 81.0 | 8.7 | 72.3 |
| Nov | 2 | Mid | 2.00 | 8.20 | 82.0 | 0.6 | 81.4 |
| Nov | 3 | Mid | 2.00 | 8.14 | 81.4 | 1.1 | 80.3 |
| Dec | 1 | Mid | 2.00 | 8.09 | 80.9 | 2.5 | 78.4 |
| Dec | 2 | Mid | 2.00 | 8.04 | 80.4 | 2.1 | 78.3 |
| Dec | 3 | Mid | 2.00 | 8.03 | 88.3 | 2.0 | 86.3 |
| Jan | 1 | Mid | 2.00 | 8.02 | 80.2 | 1.6 | 78.7 |
| Jan | 2 | Mid | 2.00 | 8.01 | 80.1 | 1.2 | 78.9 |
| Jan | 3 | Mid | 2.00 | 8.57 | 94.3 | 2.9 | 91.4 |
| Feb | 1 | Mid | 2.00 | 9.14 | 91.4 | 4.6 | 86.8 |
| Feb | 2 | Mid | 2.00 | 9.70 | 97.0 | 5.9 | 91.0 |
| Feb | 3 | Late | 1.99 | 10.36 | 82.9 | 8.0 | 74.9 |
| Mar | 1 | Late | 1.92 | 10.68 | 106.8 | 9.9 | 96.9 |
| Mar | 2 | Late | 1.84 | 10.83 | 108.3 | 11.7 | 96.6 |
| Mar | 3 | Late | 1.74 | 10.53 | 115.8 | 14.5 | 101.3 |
| Apr | 1 | Late | 1.65 | 10.31 | 103.1 | 16.5 | 86.6 |
| Apr | 2 | Late | 1.56 | 10.02 | 100.2 | 18.7 | 81.6 |
| Apr | 3 | Late | 1.47 | 8.92 | 89.2 | 25.4 | 63.8 |
| May | 1 | Late | 1.38 | 7.84 | 78.4 | 34.7 | 43.7 |
| May | 2 | Late | 1.29 | 6.91 | 69.1 | 41.9 | 27.2 |
| May | 3 | Late | 1.22 | 6.29 | 37.7 | 22.0 | 17.6 |
| | | | | | 2908.7 | 806.5 | 2104.0 |

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล นาย พรทวี กองร้อย
Mr. Pornatawee Kongroy
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3670400033908
3. ตำแหน่งปัจจุบันอาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ภายในเบอร์ 1405 มือถือ 082-5797769
อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) p.kongroy@gmail.com
5. ประวัติการศึกษา
วศม. (สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
วศม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)
การวิจัยเชิงวิศวกรรมและการมีส่วนร่วมของประชาชน
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
การวิจัยว่าเป็นหัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละ

ผลงานวิจัย

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว:

ชื่อ โครงการ วิจัย Metals Accumulation in the Constructed Wetlands at Metal Processing Industries and Chia-Nan University of Pharmacy and Science, Taiwan, 2009ปีที่
ดำเนิน โครงการ 2008-2009 แหล่งทุนจากสาขา
วิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น ร่วมกับ มหาวิทยาลัยไต้หวัน เมือง
ไต้หวัน ประเทศไต้หวัน

ชื่อโครงการวิจัย การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการชักล้างโดย
แหวนแดง, 2557

การเผยแพร่งานวิจัย:

ชื่อผลงานวิจัย Metals Accumulation in the Constructed
Wetlands at Metal Processing Industries and Chia-Nan
University of Pharmacy and Science, Taiwan, 2009

ชื่อวารสารที่เผยแพร่ ปีที่พิมพ์ ตีพิมพ์ใน การประชุมวิชาการ
วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และการจัดการสิ่งแวดล้อม ครั้งที่
ที่ 1 "The First Conference on Environmental Science,
Engineering and Management" วันที่ 22-23 กันยายน
2552 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย