การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย
Evaluation of Water Footprint of Products from Palm Oil Mill in Thailand

เพชรดา สัตยากูล
Phetrada Suttayakul

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Environmental Engineering
Prince of Songkla University
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย
Evaluation of Water Footprint of Products from Palm Oil Mill in Thailand

เพชรดา สัตยากูล
Phetrada Suttayakul

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Environmental Engineering
Prince of Songkla University
2556
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย
ผู้เขียน นางสาวเพชรดา สัตยากูล
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยศรี สุขสาโรจน์)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยศรี สุขสาโรจน์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หันพงศ์กิตติกูล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วาริท เจาะจิตต์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวของทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

ลงชื่อ _____
(เพชรดา สัตยากูล)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ _____
(เพชรดา สัตยากูล)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย
ผู้เขียน นางสาวเพชรดา สัตยากูล
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียกในประเทศไทยด้วยวิธีแบบขั้นตอนสะสมซึ่งประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลู-วอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม การใช้น้ำทางตรง ได้แก่ น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ส่วนการใช้น้ำทางอ้อม ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการปลูกปาล์มน้ำมัน การผลิตสารเคมี ไฟฟ้าและน้ำมันดีเซลที่ใช้ภายในโรงงาน รวมทั้งน้ำมันดีเซลที่ใช้เพื่อขนส่งวัตถุดิบและสารเคมีเข้าสู่โรงงาน มีโรงงานเข้าร่วมโครงการ 7 โรงงาน ตั้งอยู่ในจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพรและชลบุรี กำลังการผลิตอยู่ระหว่าง 45 – 90 ตันทะลายปาล์มสดต่อชั่วโมง ขอบเขตการประเมินครอบคลุมการใช้น้ำตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตในโรงงาน งานวิจัยนี้เก็บข้อมูล 2 ประเภท ประกอบด้วย 1) ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ปริมาณทะลายปาล์มสด น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดใน กะลา เส้นใย ทะลายปาล์มเปล่า กากตะกอนดีแคนเตอร์ น้ำดิบประปา น้ำเสีย ไฟฟ้า สารเคมี และน้ำมันดีเซลที่โรงงานใช้ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 2) ข้อมูลทุติยภูมิ ประกอบด้วย ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดและค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตสารเคมี ไฟฟ้าและน้ำมันดีเซล การสกัดน้ำมันปาลมดิบใช้น้ำทางตรงเฉลี่ย 5.02 ลบ.ม. ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ส่วนการใช้น้ำทางอ้อมไม่รวมน้ำที่ใช้ในการปลูกปาล์มน้ำมันมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.42 ลบ.ม. ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าการใช้น้ำทางอ้อมส่วนใหญ่มาจากการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน การผลิตสารเคมีและการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบซึ่งคิดรวมวอ-เตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันแต่ไม่คิดรวมเกรย์วอเตอร์จากการทิ้งน้ำที่ผ่านการบำบัดและปันส่วนโดยใช้ค่าราคามีค่าเป็น 6,215 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ 3,919 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และ 550 ลบ.ม.ต่อตันกะลา โดยกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 55.5, 28.4 และ 14.2 ต่อค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ทั้งหมด ตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์คิดรวมวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันและค่าเกรย์วอเตอร์จากการทิ้งน้ำที่มีค่าบีโอดีผ่านมาตรฐานมีค่าแตกต่างกับกรณีที่ไม่คิดรวมค่าเกรย์วอเตอร์จากการทิ้งน้ำเพียงเล็กน้อย การลดค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบทำได้โดยลดปริมาณน้ำใช้สำหรับกระบวนการผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งในหม้อไอน้ำ ลดปริมาณการใช้สารเคมีทั้งในกระบวนการผลิต ระบบน้ำประปาและระบบทำน้ำบริสุทธิ์ เลือกใช้สารเคมีที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ต่ำ ลดการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าและเพิ่มอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

Thesis Title Evaluation of Water Footprint of Products from Palm Oil Mill in Thailand
Author Miss Phetrada Suttayakul
Major Program Environmental Engineering
Academic Year 2013

ABSTRACT

The research was aimed at evaluating a water footprint (WF) of products from crude palm oil (CPO) extraction by a wet process in Thailand. This was done by the stepwise accumulative approach that consists of assessing green, blue, and grey waters from direct and indirect water uses. The water consumption of the mill was counted as the direct water use. The indirect water use included water for the oil palm plantation, the production of chemicals, electricity, and diesel that were used inside mills and for transportation to mills. Seven mills with a production capacity from 45 to 90 tons of fresh fruit bunches (FFB) per hour participated in this work. They were located at Krabi, Surratthani, Chumphon, and Chonburi provinces. A system boundary of cradle to gate was set. Primary and secondary data were collected. The primary data referred to the amounts of FFB, CPO, palm kernel (PK), shell, fiber, empty fruit bunches, decanter cake, raw water supply, wastewater, electricity, chemicals, and diesel. The secondary data included the WF of the FFBs and the production of chemicals, electricity, and diesel. Direct and indirect water uses by mills, on average, for the extraction of 1 ton of CPO were 5.02 and 0.42 m^3, respectively. The indirect water use mostly came from the transport of the FFB to mills, the production of chemicals and the electricity from provincial electricity authority. When the allocation of price values were introduced, the average WF values of products included the WF of FFB acquisition and excluded the WF of treated waste water discharge. These were 6,215 m^3/ton CPO, 3,919 m^3/ton PK, and 550 m^3/ton shell. Green, blue and grey waters accounted for 55.5, 28.4, and 14.2% of the total WF, respectively. When the biochemical oxygen demand value of treated wastewater were equal to that of industrial effluent discharge standard of Thailand, the average WF values of the products included the WF values of FFB acquisition and water discharge. These were slightly different to that of products with excluded WF of water discharge. The reduction of water use in the palm oil mill could be achieved by reducing the amount of water use in the production process. This could be done especially in the boiler, reducing the amount of chemicals used in production process, water supply and water purification plants, selecting chemicals with low WF values, reducing the electricity use and increasing the oil extraction rate.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ และคำแนะนำจากหลายๆ ท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และแนะนำแนวคิดดีๆ ในการทำงานวิจัย ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่และให้กำลังใจเป็นอย่างดียิ่ง ทำให้การวิจัยประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาริท เจาะจิตต์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย เพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติมในการทำวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้ทำการวิจัยให้มีความรู้ความเข้าใจที่ดีตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาในสถาบันแห่งนี้

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สำหรับทุนวิจัยภายใต้โครงการการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ผลิตภัณฑ์ปาล์มน้ำมัน ไบโอดีเซล และยางพารา สัญญาเลขที่ CPM-๕๕-๑๑

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและทุนวิจัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณโรสนา กาซอ และคุณอมรรัตน์ ธานีรัตน์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับคำแนะนำ และความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง และการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณสุนทร ขวัญอ่อน นักวิทยาศาสตร์ หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับคำแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่เข้าร่วมโครงการทั้ง 7 โรงงานที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปเก็บตัวอย่างและให้ข้อมูลในการทำวิจัยนี้

เพชรดา สัตยากูล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(13)
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 ทฤษฎีและหลักการ	2
1.2.1 การปลูกปาล์มน้ำมัน	2
1.2.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	9
1.2.3 วอเตอร์ฟุตพรินต์	14
1.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
1.3.1 วอเตอร์ฟุตพรินต์การได้มาซึ่งวัตถุดิบ	18
1.3.2 วอเตอร์ฟุตพรินต์การได้มาซึ่งวัตถุดิบรวมการผลิต	24
1.3.3 การประยุกต์ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน	30
1.3.4 ค่าดัชนีความเครียดของน้ำ	31
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ	32
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	32
2. วิธีวิจัย	
2.1 ขอบเขตการศึกษา	33
2.2 โรงงานที่เข้าร่วมโครงการ	34
2.3 การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	34
2.3.1 การรวบรวมข้อมูลและเก็บตัวอย่าง	35
2.3.2 การจัดทำบัญชีรายการ	37
2.3.3 การหาสัดส่วนผลิตภัณฑ์	37
2.3.4 การหาปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อมไม่คิดการปันส่วน	37
2.3.5 การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด	38
2.3.6 การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด	38
2.4 การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์คิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้ง	40
2.5 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การนำวอเตอร์ฟุตพรินต์ไปใช้ประโยชน์	41
2.7 การลดการใช้น้ำ	41
3. ผลการทดลองและวิจารณ์	42
3.1 การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์	42
3.1.1 เทคโนโลยีการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก	42
3.1.2 สัดส่วนผลิตภัณฑ์	46
3.1.3 ปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อมไม่คิดการปันส่วน	50
3.1.4 วอเตอร์ฟุตพรินต์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดรายจังหวัด	55
3.1.5 วอเตอร์ฟุตพรินต์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด	56
3.1.6 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่าราคา	60
3.1.7 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อน	62
3.1.8 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้มวล	64
3.2 เกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งจากโรงงาน	67
3.2.1 คุณลักษณะน้ำเสียและน้ำทิ้งของโรงงาน	67
3.2.2 วอเตอร์ฟุตพรินต์รวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งของโรงงาน	70
3.2.3 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่าราคา	73
3.2.4 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อน	75
3.2.5 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้มวล	77
3.3 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย	79
3.4 การนำวอเตอร์ฟุตพรินต์ไปใช้ประโยชน์	81
3.5 แนวทางการลดวอเตอร์ฟุตพรินต์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	83
4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	86
4.1 บทสรุป	86
4.2 ข้อเสนอแนะ	87
บรรณานุกรม	88

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	93
ประวัติผู้เขียน	108

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	ชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยในแปลงอนุบาลแรกสำหรับใช้รดต้นกล้า 500 ต้น	5
1-2	ชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยในแปลงอนุบาลหลัก	6
1-3	ปริมาณความต้องการน้ำในแปลงอนุบาล	7
1-4	ปริมาณปุ๋ยเคมีสำหรับปาล์มน้ำมันอายุปลูก 1 - 3 ปี	7
1-5	ปริมาณปุ๋ยเคมีสำหรับปาล์มน้ำมันอายุปลูก 1 - 3 ปี	8
1-6	ปริมาณปุ๋ยเคมีสำหรับปาล์มน้ำมันอายุปลูก 4 ปีขึ้นไป	8
1-7	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของข้าวสาลี	19
1-8	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของพืชชนิดต่างๆ	20
1-9	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของอ้อย	22
1-10	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของมันสำปะหลัง	23
1-11	วอเตอร์ฟุตพรินต์ที่ได้จากการศึกษาการผลิตฝ้ายจากประเทศต่างๆ	25
1-12	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของพืชชนิดต่างๆ	27
1-13	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของข้าว	28
1-14	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิต Barilla pasta ทั้งหมดในประเทศต่างๆ	29
1-15	ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปาล์มน้ำมัน เมล็ดในและกะลา	31
1-16	ค่าดัชนีความเครียดของน้ำ	32
2-1	รูปแบบการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์	35
2-2	ข้อมูลปฐมภูมิที่ใช้ในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์	36
2-3	ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี	38
2-4	ค่าราคาของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ร่วมที่ใช้ในการปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์	40
2-5	ค่าพลังงานความร้อนของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ร่วม	40
2-6	ค่ามวลที่ใช้ในการปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์	40
3-1	บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน	43
3-2	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	49
3-3	ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	51
3-4	ปริมาณการใช้วอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อมของแต่ละโรงงาน	52
3-5	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดโดยวิธีคำนวณความต้องการน้ำของพืช	57
3-6	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้มวล	65
3-7	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช่ค่าราคา พลังงานความร้อนและมวล	66
3-8	คุณลักษณะน้ำประปาและน้ำเสียของโรงงาน	68

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3-9	ค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินต์จากน้ำทิ้งของโรงงาน	69
3-10	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้มวล	78
3-11	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช่ค่าราคา พลังงานความร้อน และมวล	79
3-12	ค่าดัชนีความเครียดของน้ำในจังหวัดกระบี่ ชุมพร สุราษฎร์ธานีและชลบุรี	82
ก-1	ข้อมูลที่ต้องการจากโรงงาน	95
ก-2	ข้อมูลการขนส่งปาล์มทะลายและปาล์มลูกร่วง	99
ก-3	ข้อมูลการขนส่งสารเคมีและน้ำมันดีเซล	100
ข-1	มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	102

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
1-1	แหล่งเพาะปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทย	3
1-2	ขั้นตอนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน	4
1-3	แผนผังกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มที่เป็นแบบมาตรฐานของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม	10
1-4	แผนผังขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	14
1-5	แผนผังกระบวนการผลิตที่มีขั้นตอนการผลิตหลายๆขั้นตอน	15
1-6	แผนผังกระบวนการผลิตภัณฑ์ p	16
1-7	แผนผังการคำนวณเกรย์วอเตอร์จากน้ำเสีย	17
2-1	ขอบเขตการศึกษา	34
3-1	ตัวอย่างการคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์โดยใช้ข้อมูลทางทฤษฎี	47
3-2	การใช้น้ำทางตรงรวมการใช้น้ำทางอ้อม โดยไม่คิดการปันส่วน	54
3-3	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ไม่คิดการปลูกและการปันส่วน	56
3-4	ตัวอย่างการคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์คิดรวมการปลูก โดยใช้ข้อมูลจริงจากโรงงาน	58
3-5	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบไม่คิดการปันส่วน	60
3-6	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ปันส่วนโดยใช้ค่าราคา	61
3-7	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อน	63
3-8	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งซึ่งคำนวณโดยใช้ค่าบีโอดีที่เกิดขึ้นจริงของโรงงาน	71
3-9	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งซึ่งคำนวณโดยใช้ค่าบีโอดีเท่ากับ 20 มก.ต่อลิตร	72
3-10	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำเสียปันส่วนโดยใช้ค่าราคา	74
3-11	วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อน	76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบหลักที่นำมากลั่นเป็นน้ำมันพืชบริสุทธิ์สำหรับใช้บริโภคและปาล์มน้ำมันยังเป็นพืชพลังงานที่สำคัญของประเทศอีกด้วย ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะภาคการขนส่งซึ่งสำคัญต่อธุรกิจและการพัฒนาประเทศ ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงของโลกที่มีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อประเทศไทยโดยตรง เพื่อบรรเทาปัญหาดังกล่าวหน่วยงานหลายหน่วยงานได้พัฒนาและทำการวิจัยเพื่อใช้วัตถุดิบจากภาคการเกษตรภายในประเทศมาผลิตเป็นไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล วัสดุที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลมีหลายชนิด ได้แก่ สาหร่าย สบู่ดำ ถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์มดิบ โดยส่วนใหญ่ไบโอ-ดีเซลผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบ ในปี 2555 ประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันปาล์มดิบเพื่อการปริโภค 9.6 แสนตันและ 5.1 แสนตันใช้สำหรับผลิตไบโอดีเซล (บี 100) กระทรวงพลังงานเพิ่มสัดส่วนการผสมน้ำมันปาล์มในน้ำมันดีเซลจากเดิมร้อยละ 4 เพิ่มเป็นร้อยละ 5 และปริมาณต้องการใช้น้ำมันดิบภายในประเทศรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.7 จากปี 2554 ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ในปี 2555 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 โดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันทั้งหมด 3.9 ล้านไร่ ผลผลิตทะลายปาล์มสดได้ประมาณ 10.7 ล้านตันต่อปี สกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ประมาณ 1.9 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) อีกทั้งมีการส่งเสริมให้ปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น 0.5 ล้านไร่ต่อปี เริ่มตั้งแต่ปี 2551-2565 และส่งเสริมให้มีการผลิตไบโอดีเซล 4.5 ล้านลิตรต่อวัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551) ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชที่ใช้น้ำในการเจริญเติบโตสูงและการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเป็นกระบวนการที่ใช้น้ำในการผลิตสูงเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่ถูกจัดสรรให้กับภาคการเกษตรและภาคอุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 67 และ 7 ของปริมาณน้ำที่สามารถใช้ในการอุปโภคบริโภค ตามลำดับ (สรุปผลการเสวนาเรื่อง “การจัดสรรน้ำเพื่อภาคการใช้น้ำต่างๆ” ครั้งที่ 2, 2552) จากการจัดสรรปริมาณน้ำพบว่า น้ำสำหรับภาคอุตสาหกรรมมีปริมาณน้อย ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการน้ำเพื่อให้น้ำมีเพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรม โดยการบริหารจัดการน้ำต้องทราบถึงปริมาณการใช้น้ำที่แท้จริงทั้งทางตรงและทางอ้อม

ปัจจุบันมีการประเมินการใช้น้ำต่อผลิตภัณฑ์ซึ่งเรียกว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ ซึ่งเป็นแนวคิดใหม่เกี่ยวกับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้บ่งชี้ถึงปริมาณการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ต้องพิจารณาการใช้น้ำทั้ง 5 ขั้นตอน ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (raw material extraction) การขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (transportation of raw material and product) การผลิต (production) การใช้งานผลิตภัณฑ์ (use) และการกำจัดซาก (disposal) อีกทั้งการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ต้องพิจารณาการใช้น้ำ 3 ประเภท ได้แก่ กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ โดย กรีนวอเตอร์ คือ น้ำจากน้ำฝนที่อยู่ในดินหรือความชื้นในดินซึ่งพืชใช้ในการเจริญเติบโต บลูวอเตอร์ คือ น้ำที่มาจากแหล่งน้ำ

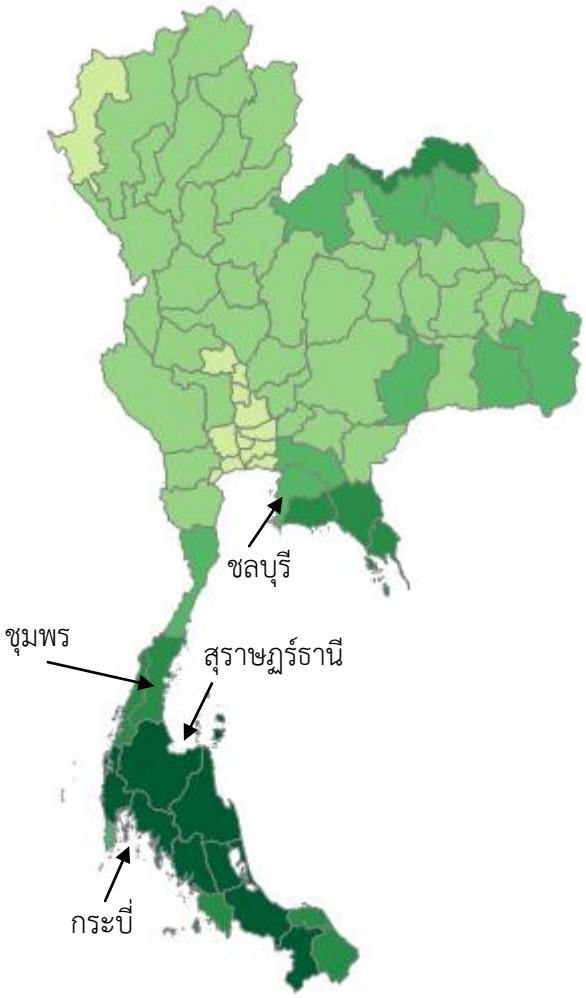
ธรรมชาติทั้งน้ำผิวดินและใต้ดิน ส่วนเกรย์วอเตอร์ คือ ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเจือจางน้ำเสีย ปุ๋ย และสารเคมีให้มีคุณภาพน้ำเทียบเท่ากับน้ำธรรมชาติ (Hoekstra *et al.,* 2011)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ในประเทศไทยที่ผ่านมามีการดำเนินการค่อนข้างน้อย ชินาธิปกรณ์และคณะ (2554) ศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเอทานอลจากมันสำปะหลัง ค่าวอเตอร์ฟุต-พรินต์ของเอทานอลมีค่าเป็น 12,175 ลูกบาศก์เมตรต่อตันเอทานอล Kongboon *et al.* (2012) ศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกอ้อยและมันสำปะหลัง วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกอ้อยมีค่าเท่ากับ 202 ลูกบาศก์เมตรต่อตันอ้อยและวอเตอร์ฟุตพรินต์ของมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 509 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสำปะหลัง ลักขณาและคณะ (2555) และ ลัคนาพรและคณะ (2555) ศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมัน วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 2,139 และ 3,989 ลูกบาศก์เมตรต่อตันทะลายปาล์มสด ตามลำดับ นอกจากนี้สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2556) ประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมัน โดยวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่ได้จากการประเมินมีค่าดังนี้ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันของจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพรและชลบุรีมีค่าเป็น 1,336 1,127 1,502 และ 1,496 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ตามลำดับ การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันต้องประเมินตั้งแต่ขั้นตอนการปลูกปาล์มน้ำมัน การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ การกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และการผลิตไบโอดีเซล โดยการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ในงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นวอเตอร์ฟุตพรินต์ในส่วนของการปลูกปาล์มน้ำมันเท่านั้นและยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย ดังนั้นโครงการนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยโดยประยุกต์ใช้หลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ผลที่คาดว่าจะได้รับ คือ ฐานข้อมูลวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่ใช้วัตถุดิบจากอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในกระบวนการผลิตนอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์และนำเสนอวิธีการลดค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์จากการสกัดน้ำมันปาล์มเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานต่อไป

1.2 ทฤษฎีและหลักการ

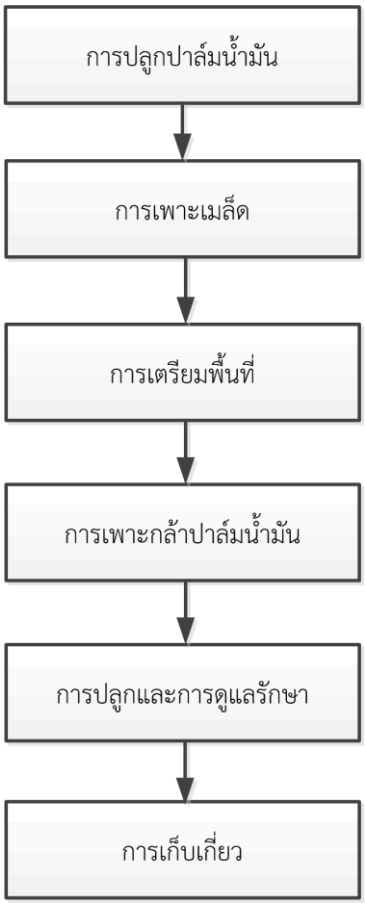
1.2.1 การปลูกน้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจของภาคใต้ ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน 3,982,623 ไร่ซึ่งได้แสดงในรูป 1-1 ภาคใต้มีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุด จังหวัดที่มีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน 966,180 ไร่ รองลงมาเป็นจังหวัดกระบี่มีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน 954,730 ไร่ และชุมพรมีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน 774,220 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจ, 2555)



รูปที่ 1-1 แหล่งเพาะปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทย ที่มา: สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2555)

ขั้นตอนการปลูกปาล์มน้ำมันเริ่มตั้งแต่ การเพาะเมล็ด การเตรียมพื้นที่ปลูก การเพาะกล้าปาล์มน้ำมัน การปลูกและการดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว ดังรูปที่ 1-2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 1-2 ขั้นตอนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

การเพาะเมล็ด

การเพาะเมล็ดปาล์มน้ำมันเริ่มดำเนินการโดยนำทะลายปาล์มสดจากต้นแม่พันธุ์มาสับเพื่อแยกให้เป็นช่อทะลายย่อยและทำการบ่มประมาณ 2-3 วัน แยกผลออกจากช่อทะลายและแยกเปลือกออกจากเมล็ด จากนั้นขูดเส้นใยที่ติดอยู่กับเมล็ดออกให้หมด แล้วจึงทำความสะอาดเมล็ดและคัดเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ออก จากนั้นนำเมล็ดที่สมบูรณ์ไปล้างอีกครั้งและแช่ในสารละลายคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อประมาณ 15 นาที นำไปผึ่งแดดและแช่สารละลายป้องกันเชื้อรา จากนั้นผึ่งไว้ในที่ร่มเพื่อให้เมล็ดมีความชื้นประมาณร้อยละ 18 นำเมล็ดประมาณ 500 – 700 เมล็ดใส่ในถุงพลาสติกใส อัดลมเข้าไปในถุงปิดปากให้แน่นแล้วอบด้วยความร้อนที่ 40 องศาเซลเซียสนาน 40 – 90 วันซึ่งระยะเวลาจะขึ้นอยู่กับขนาดของเมล็ดและความหนาของกะลา จากนั้นนำเมล็ดที่ผ่านการอบแล้วไปแช่น้ำประมาณ 7 วัน แล้วแช่ในสารละลายป้องกันเชื้อรา ผึ่งให้แห้งแล้วใส่ในถุงพลาสติก อัดออกซิเจนและปิดปากถุงให้สนิท นำไปวางในห้องมืด 7 – 15 วัน เมล็ดจะเริ่มงอก จากนั้นนำเมล็ดที่สมบูรณ์ไปเพาะต้นกล้าต่อไป (ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2555)

การเตรียมพื้นที่

การเตรียมพื้นที่สำหรับปลูกปาล์มน้ำมันต้องกำจัดซากต้นไม้และวัชพืชออกจากแปลง ไถพรวนปรับพื้นที่ให้เรียบเพื่อใช้ทำถนนสำหรับขนส่งผลผลิตและปฏิบัติงานการดูแลรักษาสวน ควรทำทางระบายน้ำระหว่างแถวของต้นปาล์มน้ำมัน ปลูกพืชคลุมดิน เช่น พืชตระกูลถั่ว เพื่อช่วยป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินและยังควบคุมวัชพืชในแปลงด้วย ก่อนทำการปลูกปาล์มน้ำมันจะต้องมีการวิเคราะห์ดินก่อนปลูกซึ่งเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินทั้งทางเคมีและทางกายภาพ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประเมินสภาพและองค์ประกอบของดิน วางแผนปรับปรุงดิน จัดการดิน กำหนดชนิดและวิธีการใส่ปุ๋ย การวิเคราะห์คุณสมบัติของดินทางกายภาพ ได้แก่ ส่วนประกอบของดิน ความลึกของดิน ความลาดเท การระบายน้ำ วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ความต้องการปูน อินทรียวัตถุ ความเค็มของดิน ฟอสฟอรัส โปแตส-เซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ส่วนในดินกรดจัดหรือดินพรุวิเคราะห์เพิ่มในธาตุ เหล็ก และทองแดง (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2556)

การเพาะกล้าปาล์มน้ำมัน

การเพาะปาล์มน้ำมันมี 2 แบบ ได้แก่ เพาะต้นกล้าอนุบาลครั้งเดียวและอนุบาล 2 ครั้ง ซึ่งการเพาะแบบอนุบาล 2 ครั้ง ประกอบด้วย ระยะอนุบาลแรกและอนุบาลหลัก ระยะอนุบาลแรกเป็นการจัดการต้นกล้าตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงอายุ 10-12 สัปดาห์โดยนำเมล็ดงอกใส่ในถุงสำหรับเพาะต้นกล้าขนาดเล็กแล้วนำไปวางในแปลงเพาะ ส่วนระยะอนุบาลหลักเป็นการย้ายต้นกล้าจากอนุบาลแรกใส่ลงในถุงเพาะขนาดใหญ่และดูแลจนต้นกล้ามีอายุ 8-12 เดือนแล้วจึงนำไปปลูกลงแปลง ชนิดและอัตราการใส่ปุ๋ยในแปลงอนุบาลแรกและอนุบาลหลักแสดงในตารางที่ 1-1 และ 1-2 ตามลำดับ

ตาราง 1-1 ชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยในแปลงอนุบาลแรกสำหรับใช้รดต้นกล้า 500 ต้น

อายุกล้าปาล์มน้ำมัน (สัปดาห์)	ชนิดปุ๋ย	อัตราการใช้
4 (ใบที่ 1 พัฒนาเต็มที่)	46-0-0 (ยูเรีย)	40 กรัม+น้ำ 25 ลิตร
5	18-46-0	75 กรัม+น้ำ 25 ลิตร
6	15-15-15/1.2MgO	75 กรัม+น้ำ 25 ลิตร
7	18-46-0	100 กรัม+น้ำ 25 ลิตร
8	15-15-15/1.2MgO	110 กรัม+น้ำ 25 ลิตร
9	18-46-0	150 กรัม+น้ำ 25 ลิตร
10	15-15-15/1.2MgO	150 กรัม+น้ำ 25 ลิตร

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2556)

ตาราง 1-2 ชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยในแปลงอนุบาลหลัก

อายุกล้าปาล์มน้ำมัน (สัปดาห์)	ชนิดปุ๋ย	อัตราการใช้ (กรัม/ต้น)
12	18-46-0	7
14	13-13-21	7
16	15-15-15-1.2	7
18	13-13-21	7
20	15-15-15+คีเซอไรต์	10+10
22	13-13-21	10
24	15-15-15+1.2โบแรกต์	10+0.5
26	13-13-21+คีเซอไรต์	10+10
28	15-15-15-1.2	10
30	13-13-21	10
32	15-15-15-1.2	15
34	13-13-21+คีเซอไรต์	15+10
36	15-15-15-1.2	20
38	13-13-21+โบแรกต์	20+0.5
40	15-15-15-1.2	20
42	13-13-21+คีเซอไรต์	20+15
44	15-15-15-1.2	20
46	โบแรกต์	0.5
48	13-13-21+โบแรกต์	25+20
51	15-15-15-1.2	25
54	15-15-15-1.2	30
57	โบแรกต์	0.5
60	13-13-21+โบแรก	30+25

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2556)

การให้น้ำในแปลงอนุบาลเป็นสิ่งสำคัญมาก หากมีการให้น้ำที่ไม่เพียงพอส่งผลให้ต้นกล้าปาล์มน้ำมันไม่สมบูรณ์และไม่สามารถนำไปปลูกลงดินได้ ปริมาณความต้องการน้ำของต้นกล้าปาล์มน้ำมันแสดงในตารางที่ 1-3 การปลูกปาล์มน้ำมันมีการใช้น้ำจาก 3 ส่วน ได้แก่ กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์ ส่วนเกรย์วอเตอร์สามารถหาได้จากปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน

ตาราง 1-3 ปริมาณความต้องการน้ำในแปลงอนุบาล

อายุกล้าปาล์ม (เดือน)	ปริมาณน้ำที่ต้องการ(มิลลิเมตรต่อวัน)
0-2	4
2-4	5
4-6	7
6-8	10
8-12	15

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2556)

การปลูกและดูแลรักษา

การปลูกปาล์มน้ำมันลงดินควรใช้ต้นกล้าที่มีอายุ 8 เดือนขึ้นไป ควรปลูกในช่วงฤดูฝน หลังจากปลูกแล้วต้องมีฝนตกอีกอย่างน้อยประมาณ 3 เดือน ซึ่งวิธีการปลูกทำได้โดยถอดถุงพลาสติกออกจากต้นกล้าปาล์มน้ำมันพยายามอย่าให้ก้อนดินแตก อาจทำให้ต้นกล้าชะงักการเจริญเติบโต วางต้นกล้าลงในหลุมปลูกใส่ดินชั้นบนลงก้นหลุมแล้วจึงใส่ดินชั้นล่างตามลงไปและจัดต้นกล้าให้ตั้งตรงแล้วจึงอัดดินให้แน่น เมื่อปลูกเสร็จแล้วโคนต้นกล้าจะต้องอยู่ในระดับเดียวกันกับระดับดินเดิมของแปลงปลูก

การใส่ปุ๋ยปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 1 - 3 ปี เป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบอย่างรวดเร็ว การใส่ปุ๋ยในช่วงนี้จะเน้นให้มีการเจริญเติบโตทั้งทางลำต้นและทางใบโดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตที่สูงและสม่ำเสมอในระยะเวลาต่อ ๆไป อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยเคมีต้องคำนึงถึงชนิดของดินที่ปลูกปาล์มน้ำมัน เนื่องจากดินในแต่ละพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งชนิดดินออกเป็น 5 กลุ่ม เพื่อให้สามารถเลือกใส่ปุ๋ยได้ใกล้เคียงกับชนิดของดินที่ปลูกปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินเหนียวที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ดินกรดหรือดินเปรี้ยวจัดและดินทราย แสดงในตารางที่ 1-4 และ 1-5

ตาราง 1-4 ปริมาณปุ๋ยเคมีสำหรับปาล์มน้ำมันอายุปลูก 1 - 3 ปี

ชนิดดิน	อายุ (ปี)	ชนิดและปริมาณปุ๋ยเคมี (กก./ต้น)				
		21-0-0	18-46-0	0-0-60	กีเซอร์ไรท์	โบแรท
ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	1	1.25	0.50	1.00	0.50	0.09
	2	2.50	0.75	2.50	1.00	0.13
	3	3.50	1.00	3.00	1.00	0.13
ดินเหนียวที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (มีดินเหนียวตั้งแต่ร้อยละ 40 ขึ้นไป)	1	1.00	0.60	0.50	-	0.09
	2	2.00	0.90	1.80	-	0.13
	3	2.00	1.10	2.30	0.70	0.13

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2556)

ตาราง 1-4 ปริมาณปุ๋ยเคมีสำหรับปาล์มน้ำมันอายุปลูก 1 - 3 ปี (ต่อ)

ชนิดดิน	อายุ (ปี)	ชนิดและปริมาณปุ๋ยเคมี (กก./ต้น)				
		21-0-0	18-46-0	0-0-60	กีเซอร์ไรท์	โบแรท
ดินกรดหรือ ดินเปรี้ยวจัด	1	1.00	0.90	1.00	0.30	0.09
	2	2.20	0.90	2.50	0.30	0.13
	3	3.00	1.10	2.50	0.70	0.13
ดินทราย	1	2.50	0.90	1.20	1.00	0.13
	2	3.00	1.10	3.50	1.40	0.13
	3	5.00	1.30	4.00	1.40	0.13

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2556)

ตารา 1-5 ปริมาณปุ๋ยเคมีสำหรับปาล์มน้ำมันอายุปลูก 1 - 3 ปี

ชนิดดิน	อายุ (ปี)	ชนิดและปริมาณปุ๋ยเคมี (กก./ต้น)				
		21-0-0	18-46-0	0-0-60	บอแรกซ์	จุนสี
ดินอินทรีย์ (ดินพรุ) และดินที่มีแร่ธาตุต่ำ	1	1.00	1.00	1.50	0.09	1.20
	2	2.50	1.20	2.50	0.13	0.80
	3	2.50	1.50	4.00	0.13	0.40

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2556)

การใส่ปุ๋ยปาล์มน้ำมันอายุ 4 ปีขึ้นไปควรให้ปุ๋ยตามค่าการวิเคราะห์ดินและใบปาล์มน้ำมันควบคู่กับการสังเกตลักษณะอาการขาดธาตุอาหารที่มองเห็นได้ที่ต้นปาล์มน้ำมัน เพื่อปรับการใส่ปุ๋ยเคมีให้เพิ่มขึ้นหรือน้อยลงตามความเหมาะสม หากไม่สามารถวิเคราะห์ดินและใบได้ควรใส่ปุ๋ยดังในตารางที่ 1-6 โดยปริมาณปุ๋ยที่ใส่ในปีถัดไปให้พิจารณาตามปริมาณผลผลิตที่ได้รับในปีนั้น

ตาราง 1-6 ปริมาณปุ๋ยเคมีสำหรับปาล์มน้ำมันอายุปลูก 4 ปีขึ้นไป

อายุปาล์ม	ชนิดและปริมาณปุ๋ยเคมี (กก./ต้น)				
(ปี)	21-0-0	0-3-0	0-0-60	26 %ของแมกนีเซียมออกไซด์	B
4 ปีขึ้นไป	3.0 - 5.0	1.5 - 3.0	2.5 - 4.0	0.80 - 1.00	0.08 - 0.10

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2556)

การเก็บเกี่ยว

ต้นปาล์มน้ำมันเริ่มให้ผลผลิตครั้งแรกเมื่ออายุประมาณ 30 เดือนนับจากปลูกลงแปลงโดยให้ผลผลิตอย่างต่อเนื่องตลอดชีวิตเฉลี่ย 3,000 กก./ไร่/ปี รอบการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 10 - 20 วันแล้วแต่ฤดูกาลโดยเฉลี่ยประมาณ 15 วันต่อครั้ง ควรเก็บเกี่ยวเมื่อปาล์มน้ำมันสุกพอดี เก็บเกี่ยวเมื่อผลสุกเป็นสีส้มมากกว่าร้อยละ 80 ของผล หรือมีผลร่วง 1 - 3 ผล ส่วนชนิดผลดิบสีดำเมื่อสุก

เปลี่ยนสีผลเป็นสีแดงให้เก็บเกี่ยวเมื่อมีผลสุกร่วงจากทะลาย 1 - 3 ผล เมื่อเฉือนเปลือกจะเห็นเนื้อผลเป็นสีส้มเข้ม เก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันแล้วควรส่งโรงงานภายใน 24 ชั่วโมง

1.2.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

น้ำมันปาล์มดิบได้มาจากการนำผลปาล์มมาผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทยจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ การสกัดแบบแห้งและการสกัดแบบเปียก

การผลิตแบบแห้ง

การสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบแห้ง โดยนำผลปาล์มร่วงและทะลายปาล์มสดถูกหีบทั้งเมล็ดซึ่งไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการผลิตแบบแห้งเป็นน้ำมันที่มาจากผลปาล์มและเมล็ดในปาล์ม

การผลิตแบบมาตรฐาน/แบบเปียก

การสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก วัตถุดิบที่เข้าสู่โรงงานคือ ทะลายปาล์มสดที่ถูกตัดมาจากสวน โรงงานที่มีการผลิตแบบนี้ต้องใช้น้ำจำนวนมากเพื่อผลิตไอน้ำนำไปใช้ในการหยุดปฏิกิริยาการเกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มซึ่งโรงงานส่วนใหญ่จะใช้น้ำผิวดินที่สูบมาจากคลองหรือแม่น้ำในบริเวณใกล้ๆโรงงานเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียกจะใช้ของเสีย เช่น เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาสำหรับผลิตไอน้ำ

หลักการของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ คือ สกัดน้ำมันจากผลปาล์มโดยใช้ไอน้ำและเครื่องอัด (pressing machine) น้ำมันปาล์มที่ได้จะถูกนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยการแยกน้ำมันโดยการใช้แรงโน้มถ่วงของโลกในการแยกน้ำมันปาล์ม ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการผลิตได้แสดงในรูปที่ 1-3 โดยอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

การรับและการเก็บทะลายปาล์มสด

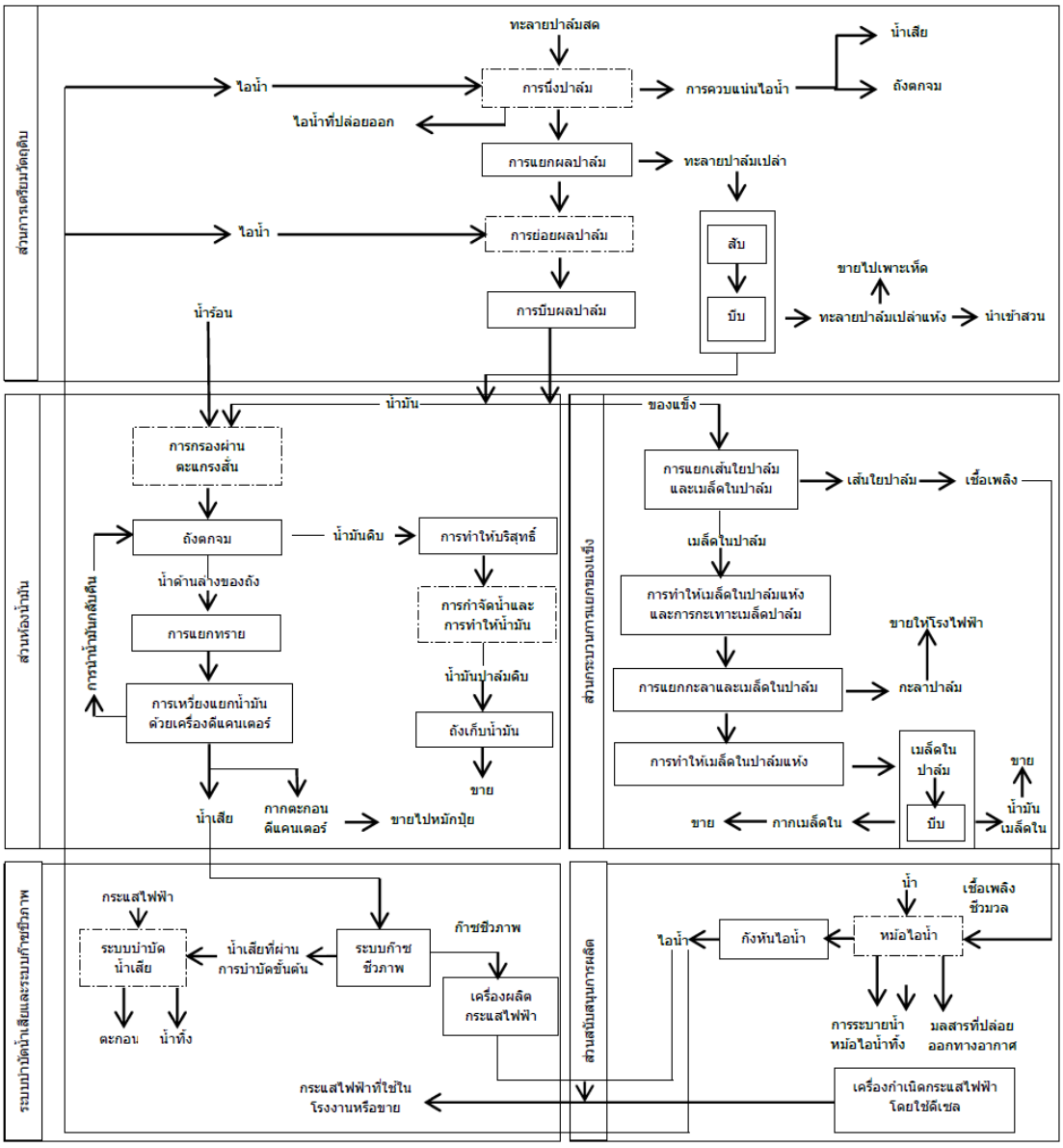
ในขั้นตอนนี้ควรนำทะลายปาล์มสดเข้าสู่กระบวนการผลิตภายใน 72 ชั่วโมง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดกรดไขมันอิสระจากเอนไซม์ตามธรรมชาติที่มีอยู่ในส่วนเนื้อชั้นกลางของผลปาล์ม โดยทั่วไปน้ำมันปาล์มจากผลปาล์มสดมีกรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 1 หากทิ้งผลปาล์มไว้นานปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งส่งผลให้น้ำมันปาล์มมีปริมาณและคุณภาพลดลง

การนึ่งปาล์ม

ขั้นตอนการนึ่งปาล์มมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ตามธรรมชาติและทำให้ขั้วผลปาล์มนิ่มและหลุดร่วงออกจากทลายปาล์มได้ง่าย แล้วยังทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ยซึ่งจะง่ายต่อการสกัดน้ำมัน โดยการนึ่งปาล์มจะใช้หม้อนึ่งที่มีความจุประมาณ 20-30 ตันทะลายปาล์มและใช้ไอน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 3.1 บาร์ ป้อนเข้าสู่หม้อนึ่งอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 90 นาที

การแยกผลปาล์ม

ทะลายปาล์มที่ผ่านการนึ่งจะนำเข้าสู่เครื่องแยกแบบหมุน (rotary drum thresher) เพื่อแยกผลปาล์มออกจากทะลายปาล์ม ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำให้เกิดทะลายปาล์มเปล่าที่สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุปรับปรุงดินได้ บางโรงงานได้ทำการบีบทะลายปาล์มเปล่าเพื่อลดความชื้นในทะลายปาล์มแล้วนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับการผลิตไอน้ำและหรือกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 1-3 แผนผังกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มที่เป็นแบบมาตรฐานของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2549)

การย่อยผลปาล์ม

ผลปาล์มที่แยกออกจากทะลายปาล์มแล้วจะถูกนำเข้าเครื่องย่อย เพื่อเปลี่ยนผลปาล์มให้อยู่ในรูปของปาล์มที่ผ่านการย่อยที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous oily mash) โดยมีการป้อนน้ำร้อนเข้าสู่ขั้นตอนนี้เพื่อช่วยทำให้ปาล์มเป็นเนื้อเดียวกัน

การบีบผลปาล์ม

การบีบผลปาล์มเป็นขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มออกจากผลปาล์มที่ผ่านการย่อยแล้ว น้ำมันที่สกัดออกมาได้จะนำเข้าสู่ส่วนของการทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ในขณะที่ส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งประกอบไปด้วยเส้นใยปาล์มและเมล็ดปาล์มจะผ่านการแยกอีกครั้งหนึ่ง

การทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

การกรองน้ำมันปาล์มดิบด้วย Vibrating screen

สิ่งเจือปนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น สิ่งเจือปนเส้นใยปาล์มและชิ้นส่วนของกะลาปาล์มออกจากน้ำมันปาล์มดิบจะถูกกำจัดในขั้นตอนนี้ โดยขั้นตอนนี้จะมีการเติมน้ำร้อนให้แก่น้ำมันปาล์มดิบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนการแยก น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกรองนั้นยังคงมีของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กและน้ำปะปนอยู่พื้นผิวที่กว้างของเครื่องกรองจะทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและอากาศ ซึ่งส่งผลให้น้ำมันมีคุณภาพลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

การแยกของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำมัน

ขั้นตอนนี้ดำเนินการเพื่อให้ได้น้ำมันที่มีสัดส่วนของน้ำมันร้อยละ 90 และน้ำร้อยละ 10 โดยกระบวนการแยกน้ำและของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำมันปาล์มทำในถังตกจม (settling tank) น้ำมันปาล์มดิบจะถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยใช้ไอน้ำร้อนหรือใช้ขดลวดที่ทำให้ร้อนโดยใช้ไอน้ำร้อน อย่างไรก็ตามขั้นตอนนี้มีประสิทธิภาพเพียงร้อยละ 50 เท่านั้น จึงส่งผลให้น้ำมันปาล์มยังคงมีของแข็งแขวนลอย หรือทำให้กากตะกอนมีปริมาณน้ำมันปาล์มเจือปนอยู่สูง นอกจากนี้ระยะเวลาที่น้ำมันอยู่ในถังตกจมนานและอุณหภูมิที่ใช้สูงจะทำให้น้ำมันปาล์มมีคุณภาพลดลง ดังนั้นเพื่อที่เพิ่มปริมาณผลผลิตบางโรงงานจึงได้มีการใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าถังตกจม ซึ่งได้แก่เครื่องแยกแบบ เซนติฟิวแบบสามเฟส หรือ ดีแคนเตอร์ จากนั้นจะมีการรวบรวมน้ำมันที่ลอยอยู่ด้านบนของถังตกจมโดยใช้ระบบกรวยและนำเข้าสู่ขั้นตอนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ต่อไป ของเหลวด้านล่างของถังแยกนั้นจะไหลลงสู่ถังกากตะกอนและจะถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนการแยกน้ำมันกลับคืนต่อไป

การทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

ขั้นตอนนี้จะมีการแยกของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดเล็กออกจากน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มที่มาจากส่วนบนของถังตกจมจะรวมเข้ากับน้ำมันที่ได้จากขั้นตอนการแยกน้ำมันที่นำกลับได้จากส่วนล่างของถังตกจม เครื่องเหวี่ยงแยกจะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนนี้

การกำจัดน้ำและการทำให้น้ำมันปาล์มเย็นลง

น้ำมันปาล์มดิบที่มีไอน้ำเจือปนจะผ่านเข้าสู่ระบบระเหยสุญญากาศ เพื่อที่จะให้ได้น้ำมันปาล์มที่ไม่มีน้ำเจือปนและนำไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำมันสำหรับขายให้กับโรงกลั่นน้ำมันพืชบริสุทธิ์หรือโรงงานผลิตไบโอดีเซล

การนำน้ำมันปาล์มกลับคืน

การนำน้ำมันกลับคืนประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำมันกลับคืนและลดภาระความสกปรกของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากถังตกจมนี้มีปริมาณน้ำมันเจือปนอยู่ถึงร้อยละ 14 นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ทั้งที่อยู่ในรูปของแข็งแขวนลอยและที่ละลายอยู่ในน้ำมันเจือปนอยู่ในปริมาณสูง และสารที่ละลายในน้ำได้ นอกจากนี้ในส่วนที่เป็นของเหลวยังประกอบไปด้วยเส้นใยปาล์มและทราย

การแยกทราย

ขั้นตอนการแยกทรายเป็นการทำให้กากตะกอนบริเวณก้นถังตกจมมีความสะอาดในระดับหนึ่งโดยวิธี ไมโครสแตนเนอร์/ไฮโดรไซโคลน ก่อนที่จะผ่านเข้าสู่เครื่องดีแคนเตอร์ ดังนั้นการแยกทรายจึงมีขึ้นเพื่อที่จะป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นแก่เครื่องมือในขั้นตอนต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องเหวี่ยงแยก ซึ่งจะเป็นการป้องกันการอุดตันการทำความสะอาดเครื่องมือแยกทรายเหล่านี้จะทำโดยฉีดน้ำสะอาดเข้าไปเพื่อไล่ของแข็งที่สะสมอยู่ภายในเครื่องออกมา

การแยกน้ำมันโดยการเหวี่ยงแยกโดยเครื่องดีแคนเตอร์-เซพพาเรเตอร์

การแยกน้ำมันออกจากกากตะกอนของถังตกจม มีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำมันที่เจือปนอยู่ในกากตะกอนกลับเข้าสู่ถังแยกน้ำมันอีกครั้ง กากตะกอนและ/หรือน้ำเสียจากขั้นตอนการแยกทรายจะเข้าสู่ขั้นตอนการแยกน้ำมันนี้ ซึ่งจะแยกเป็น 3 ส่วน คือ น้ำมันที่นำกลับคืนเข้าถังตกจม กากตะกอนดีแคนเตอร์และน้ำเสียซึ่งส่งไปบำบัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

การนำเมล็ดในปาล์มกลับคืน

ในส่วนของแข็งที่ได้จากการบีบผลปาล์มประกอบไปด้วยเส้นใยปาล์ม และเมล็ดในปาล์มซึ่งจะถูกแยกออกจากกัน เส้นใยปาล์มสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับหม้อไอน้ำ ภายในโรงงานในขณะที่ผลปาล์มจะนำเข้าผ่านกระบวนการแยกอีกครั้ง เพื่อนำเมล็ดในออกมา เมล็ดในปาล์มนี้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม กะลาปาล์มนั้นสามารถที่จะขายเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลให้แก่อุตสาหกรรมอื่นได้ และมีเพียงส่วนน้อยของกะลาปาล์มนั้นจะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำภายในโรงงาน

ระบบสนับสนุนการผลิต

ระบบสนับสนุนการผลิตที่สำคัญของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย หม้อไอน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสีย และระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ (ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพมีเฉพาะบางโรงงานเท่านั้น)

หม้อไอน้ำ

กระบวนการสกัดปาล์มน้ำมันดิบมีหลายขั้นตอนที่มีการใช้ไอน้ำ เช่น การนึ่ง และการย่อยผลปาล์ม น้ำประปาจะผ่านการบำบัดขั้นต้น เพื่อกำจัดความกระด้างก่อนที่จะผ่านไปยังหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำ โดยหม้อไอน้ำใช้เส้นใยปาล์มเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังสามารถที่จะใช้กะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิงได้ในกรณีที่เส้นใยปาล์มมีปริมาณไม่เพียงพอ

การจัดการน้ำเสีย

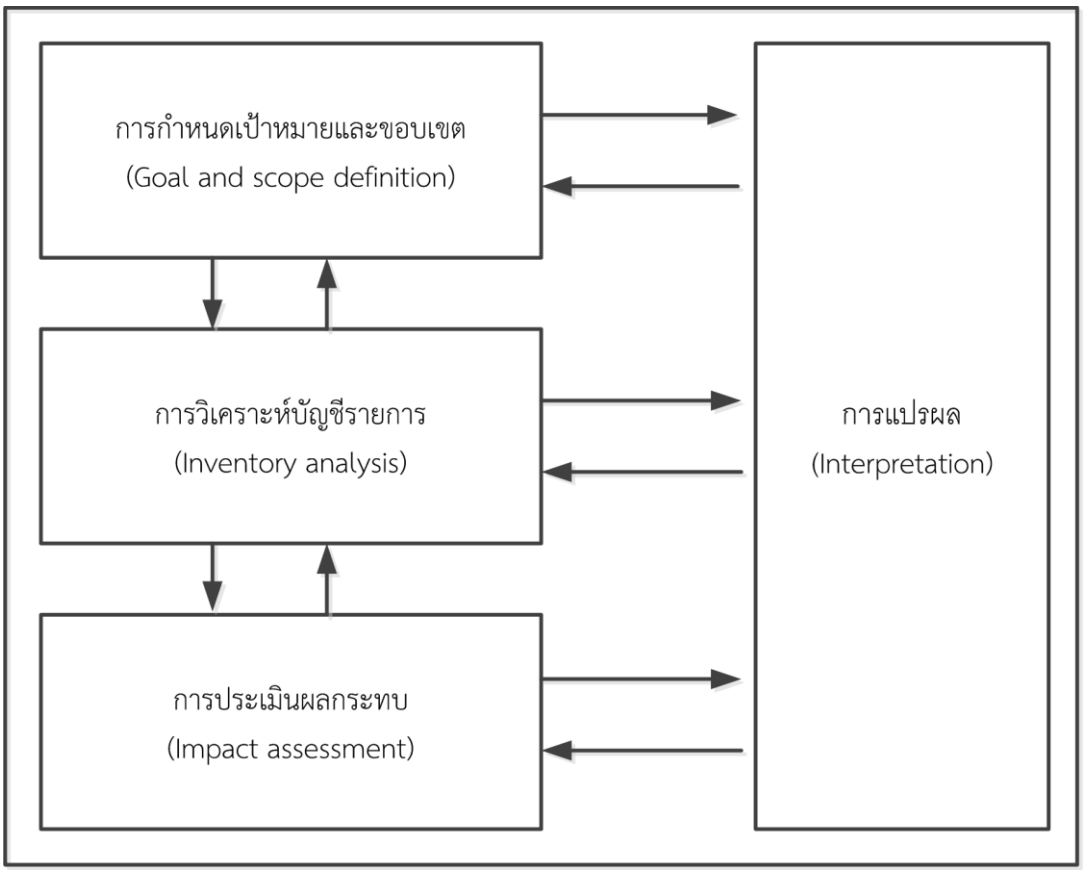
น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบถูกนำไปบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เพื่อให้มั่นใจว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตภายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีภาระความสกปรกของสารอินทรีย์ในปริมาณสูง จากการศึกษาของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2549) โดยน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีค่าบีโอดีเป็น 30,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และซีโอดีเป็น 90,000 มิลลิกรัมต่อลิตร Kaewmai *et al.* (2012, 2013) พบว่าซีโอดีของน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจากการศึกษาในปี 2009 และ 2010 มีค่าเฉลี่ยเป็น 73,699 และ 93,044 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำไปผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic degradation process) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าได้

ระบบก๊าซชีวภาพ

เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีภาระอินทรีย์สูงจึงมีความเหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ ในอดีตระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ คือ ระบบบ่อซึ่งประกอบด้วย บ่อไร้ออกซิเจน บ่อกึ่งไร้ออกซิเจน และบ่อสุดท้าย โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อไร้ออกซิเจนนั้นไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ จากการที่เชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้นในหลายปีที่ผ่านมาจึงมีการนำระบบก๊าซชีวภาพมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะไร้อากาศ (anaerobic digestion) องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น จากข้างต้นกล่าวได้ว่าก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นหลัก ซึ่งก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงมีคุณสมบัติติดไฟได้ จึงนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้ เช่น เผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง หรือเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น แต่หากไม่มีการนำก๊าซมีเทนดังกล่าวไปใช้ประโยชน์จะก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยทั่วไปน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบปริมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร ผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 12-16 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งก๊าซชีวภาพนี้ได้นำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและขายให้แก่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1 – 1.2 หน่วย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (life cycle assessment) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (raw material extraction) การขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (transportation of raw material and product) การผลิต (production) การใช้งานผลิตภัณฑ์ (use) และการกำจัดซาก (disposal) ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (goal and scope definition) การวิเคราะห์บัญชีรายการ (inventory analysis) การประเมินผลกระทบ (impact assessment) และการแปรผล (interpretation) (สถาบันพลังงานญี่ปุ่น, 2552) ดังแสดงในรูปที่ 1-4



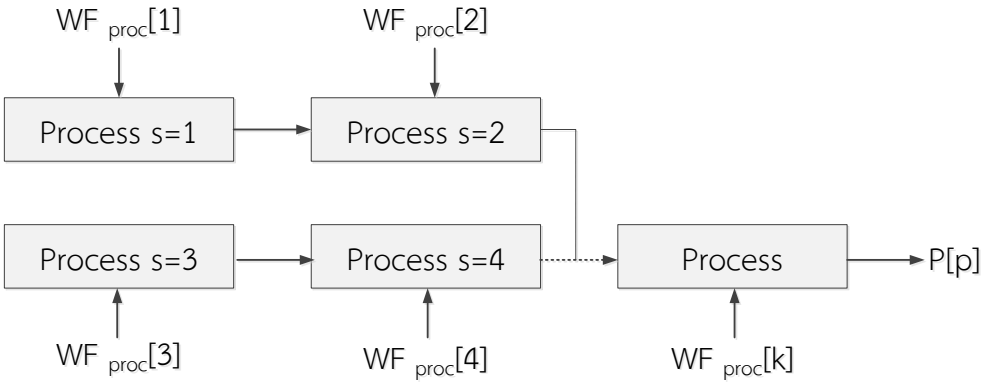
รูปที่ 1-4 แผนผังขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ที่มา : สถาบันพลังงานญี่ปุ่น (2552)

1.2.3 วอเตอร์ฟุตพรินต์

วอเตอร์ฟุตพรินต์เป็นการประเมินการใช้น้ำต่อผลิตภัณฑ์ โดยคำนวณจากผลรวมของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ วอเตอร์ฟุตพรินต์ต้องประเมินทั้งการใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อม การคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์มี 2 วิธี ได้แก่ วิธีการรวมสายโซ่ (chain-summation approach) และวิธีการแบบขั้นตอนสะสม (step-wish accumulative approach)

วิธีการรวมสายโซ่ (chain-summation approach)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ด้วยวิธีการรวมสายโซ่นี้เหมาะสำหรับกระบวนการผลิตที่ประกอบด้วยหลายๆกระบวนการผลิตแต่ได้ผลิตภัณฑ์เดียว ดังรูปที่ 1-5



รูปที่ 1-5 แผนผังกระบวนการผลิตที่มีขั้นตอนการผลิตหลายๆขั้นตอน (k) แต่ได้ผลิตภัณฑ์เดียว (P[p])
ที่มา : Hoekstra *et al.* (2011)

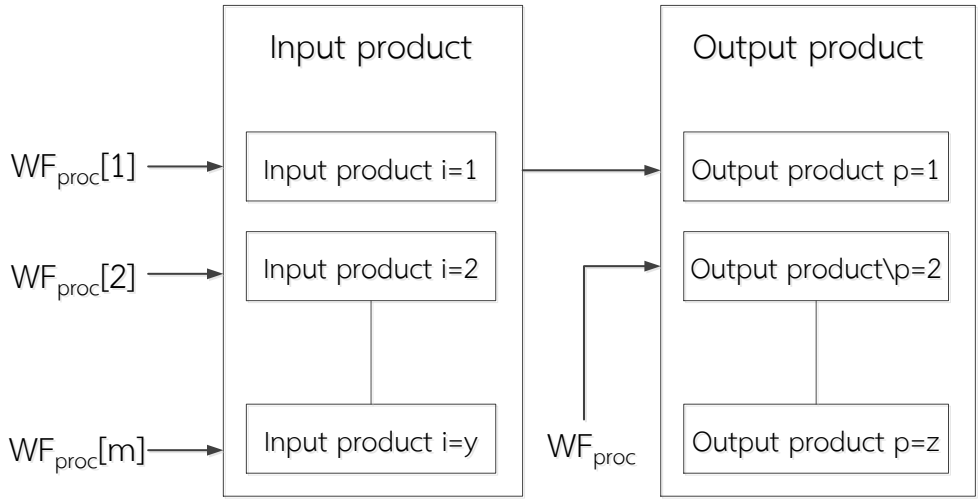
จากแผนผังการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ P หาได้จากสัดส่วนระหว่างผลรวมของวอเตอร์ฟุตพรินต์ในแต่ละกระบวนการผลิตกับปริมาณผลผลิต P

$$WFprod = \frac{\sum_{s=1}^{k} WFproc[s]}{P[p]} \qquad (1)$$

เมื่อ $WF_{proc}[s]$ คือ วอเตอร์ฟุตพรินต์ในขั้นตอนการผลิตที่ s (ปริมาตรต่อเวลา)
P[p] คือ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ (ปริมาณต่อเวลา)

วิธีการแบบขั้นตอนสะสม (step-wish accumulative approach)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์โดยวิธีนี้เหมาะสำหรับกระบวนการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 ผลิตภัณฑ์ การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ใช้วิธีการรวมสะสมในแต่ละขั้นตอน ซึ่งทำได้โดยรวมวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่คำนวณได้ถูกปันส่วนให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆโดยใช้ค่าราคา จากรูปที่ 1-6 แสดงตัวอย่างการคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ P ซึ่งใช้วัตถุดิบ y ชนิดและมีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด z ชนิด



รูปที่ 1-6 แผนผังกระบวนการผลิตภัณฑ์ p ซึ่งใช้วัตถุดิบทั้งหมด y ชนิด มีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด z ชนิด
ที่มา : Hoekstra *et al.* (2011)

วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ คำนวณได้ดังนี้

$$WFprod[p] = \left(WFproc[p] + \sum_{i\equiv 1}^{y} \frac{WFprod[i]}{fp[p,i]}\right) \times fv[p] \qquad (2)$$

เมื่อ $WF_{prod}[p]$ คือ วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ P

$WF_{prod}[i]$ คือ วอเตอร์ฟุตพรินต์ของวัตถุดิบ i

$WF_{proc}[p]$ คือ วอเตอร์ฟุตพรินต์ของกระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของน้ำที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ p

$f_p[p,I$ คือ ค่าสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ (product fraction)

$f_v[p]$ คือ สัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์ (value fraction)

การหาสัดส่วนผลิตภัณฑ์ (product fraction)

สัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณได้จากมวลของผลิตภัณฑ์ต่อมวลวัตถุดิบ คำนวณได้ดังนี้

$$f_p[p,i] = \frac{W[p]}{W[i]} \qquad (3)$$

เมื่อ W [p] คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนนั้นๆ

W [i] คือ ปริมาณวัตถุดิบของขั้นตอนนั้นๆ

การหาสัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์ (value fraction)

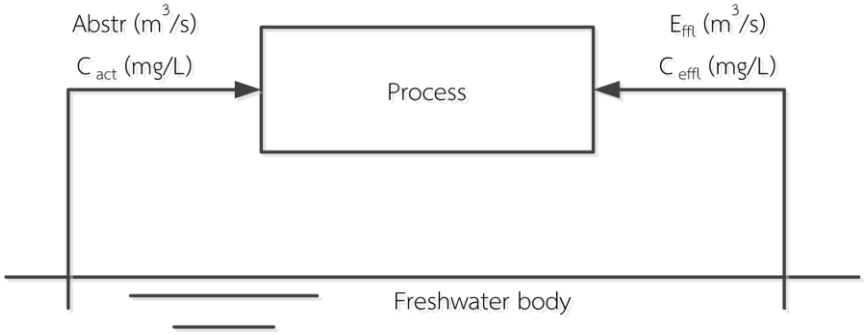
สัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณได้จากมูลค่าของผลิตภัณฑ์ p ต่อมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ทั้งหมด (p เท่ากับ 1-z) ซึ่งได้จากสมการดังนี้

$$f_v[p] = \frac{price[p] \times W[p]}{\sum_{p=1}^{z} (price[p] \times W[p])} \quad (4)$$

เมื่อ price[p] คือ มูลค่าหรือราคาของผลิตภัณฑ์ p ต่อหน่วยมวล
W คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์

เกรย์วอเตอร์จากน้ำเสีย

กระบวนการผลิตส่วนใหญ่มีน้ำเสียเกิดขึ้น หากโรงงานมีการทิ้งน้ำเสียส่วนนี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จำเป็นต้องมีการคำนวณเกรย์วอเตอร์ที่เกิดจากน้ำเสียส่วนนี้ด้วยซึ่งคำนวณได้โดยเปรียบเทียบพารามิเตอร์คุณภาพน้ำระหว่างน้ำดิบประปา น้ำเสียที่ต้องการปล่อยทิ้งและคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่ใช้รองรับน้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 1-7



รูปที่ 1-7 แผนผังการคำนวณเกรย์วอเตอร์จากน้ำเสีย ที่มา : Hoekstra *et al.* (2011)

เกรย์วอเตอร์จากน้ำเสียสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$GreyWF = \frac{[(EfflxCeffl) - (AbstrxCact)]}{(Cmax - Cnat)} \quad (5)$$

เมื่อ $Grey_{WF}$ คือ เกรย์วอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำทิ้ง
E_{ffl} คือ อัตราการไหลของน้ำเสีย (ลบ.ม.ต่อวินาที)
C_{effl} คือ ความเข้มข้นของมลสารน้ำเสีย (ในงานวิจัยนี้ใช้ค่า BOD_5 ในการคำนวณ) (มก.ต่อลิตร)
Abstr คือ อัตราการไหลของน้ำดิบ (ลบ.ม.ต่อวินาที)
C_{act} คือ ความเข้มข้นของมลสารน้ำดิบ (ในงานวิจัยนี้ใช้ค่า

BOD_5 ในการคำนวณ) (มก.ต่อลิตร)

C_{max} คือ ความเข้มข้นของมลสารสูงสุดที่ยอมรับได้ (มก.ต่อลิตร) ในการคำนวณนี้ใช้ค่าบีโอดีจากมาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 4 มีค่าเท่ากับ 4 มก.ต่อลิตร

C_{nat} คือ ความเข้มข้นของมลสารที่มีอยู่ในธรรมชาติ (มก.ต่อลิตร) (ในงานวิจัยนี้ให้ค่าเป็น 0 มก.ต่อลิตร)

การหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่ได้ถูกรายงานเป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก โดยนำค่าวอเตอร์ฟุต-พรินต์ที่ได้ (ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ) คูณกับปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่โรงงานนั้นสกัดได้ (ตัน) จากนั้นนำค่าที่ได้มาหารด้วยผลรวมของปริมาณน้ำมันปาล์มดิบของทุกโรงงาน (ตัน) ดังสมการ

$$WF_{\text{เฉลี่ย}} = \frac{[(WF_A \times W_{CPOA}) + (WF_B \times W_{CPOB})}{(W_{CPOA} + W_{CPOB})} \quad (6)$$

เมื่อ $WF_{\text{เฉลี่ย}}$ คือ วอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)

WF_A คือ วอเตอร์ฟุตพรินต์ของโรงงาน A (ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)

W_{CPOA} คือ ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบของโรงงาน A (ตัน)

WF_B คือ วอเตอร์ฟุตพรินต์ของโรงงาน B (ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)

W_{CPOB} คือ ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบของโรงงาน B (ตัน)

1.3 **งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

1.3.1 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งวัตถุดิบไม่คิดรวมการผลิต

Chapagain *et al.* (2009) ทำการปรับปรุงวิธีการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ กรณีศึกษาการปลูกมะเขือเทศในประเทศสเปน โดยวอเตอร์ฟุตพรินต์คำนวณจากสัดส่วนของปริมาณน้ำที่พืชใช้ต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ จากการศึกษาพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกมะเขือเทศมีค่า 81.3 ลบ.ม.ต่อตันมะเขือเทศ

Mekonnen *et al.* (2010) ประเมินกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ฟุต-พรินต์ของการปลูกข้าวสาลีโดยใช้โปรแกรม CROWAT ทำการศึกษาใน 26 ประเทศทั่วโลก ซึ่งผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 1-7

ตาราง 1-7 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของข้าวสาลี

ประเทศ	กรีนวอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	บลูวอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	เกรย์วอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	วอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)
อาร์เจนตินา	1,777	11	110	1,898
ออสเตรเลีย	2,130	18	109	2,256
แคนาดา	1,358	5	204	1,567
จีน	820	466	311	1,597
สาธารณรัฐเช็ก	726	0	231	957
เดนมาร์ก	530	6	114	651
อียิปต์	216	907	412	1,536
ฝรั่งเศส	584	1	6	591
เยอรมนี	602	0	185	787
ฮังการี	973	2	331	1,306
อินเดีย	635	1,173	296	2,104
อิหร่าน	2,412	988	290	3,690
อิตาลี	1,200	16	189	1,405
คาซัคสถาน	3,604	26	0	3,629
โมร็อกโก	2,391	292	126	3,710
ปากีสถาน	644	1,478	426	2,548
โปแลนด์	1,120	0	518	1,639
โรมาเนีย	1,799	49	85	1,933
รัสเซีย	2,359	31	89	2,479
สเปน	1,441	49	289	1,779
ซีเรีย	1,511	457	215	2,184
ตุรกี	2,081	131	196	2,408
อังกฤษ	413	0	153	566

ที่มา : Mekonnen *et al.* (2010)

ตาราง 1-7 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของข้าวสาลี (ต่อ)

ประเทศ	กรีนวอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	บลูวอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	เกรย์วอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	วอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)
ยูเครน	1,884	21	82	1,987
สหรัฐอเมริกา	1,879	92	230	2,202
อุซเบกิสถาน	939	101	0	1,039
ค่าเฉลี่ย	1,279	343	208	1,830

ที่มา : Mekonnen *et al.* (2010)

จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกข้าวสาลีเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1,830 ลบ.ม.ต่อตันข้าวสาลี ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ 1,279 ลบ.ม.ต่อตันข้าวสาลี คิดเป็นร้อยละ 70 บลู-วอเตอร์ 343 ลบ.ม.ต่อตันข้าวสาลี คิดเป็นร้อยละ 19 และเกรย์วอเตอร์ 208 ลบ.ม.ต่อตันข้าวสาลี คิดเป็นร้อยละ 11

Mekonnen *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษากรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินต์ของพืชชนิดต่างๆ ได้แก่ พืชน้ำตาล หญ้า ผัก พืชหัว ผลไม้ ธัญพืช พืชน้ำมัน ยาสูบ พืชตระกูลถั่ว เครื่องเทศและยางพารา กรีนวอเตอร์และบลูวอเตอร์คำนวณโดยใช้โปรแกรม CROWAT 8 และคำนวณเกรย์วอเตอร์จากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ผลการศึกษาที่ได้แสดงในตารางที่ 1-8

ตาราง 1-8 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของพืชชนิดต่างๆ

พืช	กรีนวอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	บลูวอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	เกรย์วอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	วอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)
พืชน้ำตาล	130	52	15	197
หญ้า	207	27	20	253
ผัก	194	43	85	322
พืชหัว	327	16	43	387
ผลไม้	727	147	93	967
ธัญพืช	1,232	228	184	1,644
พืชน้ำมัน	2,023	220	121	2,364
ยาสูบ	2,021	205	700	2,925
พืชตระกูลถั่ว	3,180	1367	680	9,063
เครื่องเทศ	5,872	744	432	7,048
ยางพารา	12,964	361	422	13,748

ที่มา : Mekonnen *et al.* (2010)

จากการศึกษาพบว่า พืชน้ำตาลมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เท่ากับ 197 ลบ.ม.ต่อตันพืชน้ำตาล หญ้ามีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เท่ากับ 253 ลบ.ม.ต่อตันหญ้า ผักมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เท่ากับ 322 ลบ.ม.ต่อตันผัก พืชหัวมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เท่ากับ 387 ลบ.ม.ต่อตันพืชหัว ผลไม้มีค่าวอเตอร์ฟุต-รินต์เท่ากับ 967 ลบ.ม.ต่อตันผลไม้ ธัญพืชมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เท่ากับ 1,644 ลบ.ม.ต่อตันธัญพืช พืชน้ำมันมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เท่ากับ 2,364 ลบ.ม.ต่อตันพืชน้ำมัน ยาสูบมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เท่ากับ 2,925 ลบ.ม.ต่อตันยาสูบ พืชตระกูลถั่วมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เท่ากับ 9,063 ลบ.ม.ต่อตันพืชตระกูลถั่ว เครื่องเทศมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เท่ากับ 7,048 ลบ.ม.ต่อตันเครื่องเทศและยางพารามีค่าวอเตอร์ฟุต-พรินต์เท่ากับ 13,748 ลบ.ม.ต่อตัน

Kungboon *et al.* (2012) ศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกอ้อมและมันสำปะหลังในภาคเหนือของประเทศไทย คำนวณแบบวิธี Crop water requirement การประเมินวอ-เตอร์ฟุตพรินต์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณความต้องการน้ำของพืช ได้แก่ กรีนวอเตอร์และบลูวอเตอร์ โดยใช้โปรแกรม CROPWAT ดังสมการ

$$CWUgreen = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ETgreen \quad (7)$$

$$CWUblue = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ETblue \quad (8)$$

เมื่อ CWU คือ ความต้องการน้ำของพืช (ลบ.ม.ต่อพื้นที่)
ET คือ ค่าการคายระเหย (ม.ม.ต่อวัน)

2. คำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์โดยใช้ความต้องการน้ำของพืชหารด้วยจำนวนผลผลิต ดังสมการ

$$WFgreen = \frac{CWUgreen}{Y} \quad (9)$$

$$WFblue = \frac{CWUblue}{Y} \quad (10)$$

เมื่อ WF คือ วอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตันผลผลิต)
CWU คือ ความต้องการน้ำของพืช (ลบ.ม.ต่อพื้นที่)
Y คือ จำนวนผลผลิต (ตัน)

3. คำนวณเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินต์ โดยคำนวณจากร้อยละ 10 ของอัตราการใส่ปุ๋ยต่อพื้นที่ แล้วหารด้วยจำนวนผลผลิตต่อพื้นที่ ดังสมการ

$$WFgrey = \frac{(\alpha \times AR)/(Cmax - Cnatural)}{Y} \quad (11)$$

เมื่อ AR คือ อัตราการใช้สารเคมีต่อพื้นที่เพาะปลูก (กิโลกรัมต่อพื้นที่)

α คือ กับสัดส่วนการชะละลาย

C_{max} คือ ค่าสูงสุดที่ยอมรับ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

C_{min} คือ ค่าความเข้มข้นที่อยู่เดิมในธรรมชาติ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

4. คำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์รวม คำนวณจากผลรวมของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์ และเกรย์วอเตอร์ ดังสมการ

$$WF_{proc} = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{grey} \quad (12)$$

เมื่อ WF_{proc} คือ วอเตอร์ฟุตพรินต์รวม (ลบ.ม.ต่อตัน)

WF_{green} คือ กรีนวอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)

WF_{blue} คือ บลูวอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)

WF_{grey} คือ เกรย์วอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)

จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของอ้อยมีค่าเท่ากับ 202 ลบ.ม.ต่อตัน และวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 509 ลบ.ม.ต่อตัน รายละเอียดแสดงในตาราง ที่ 1-9 และ 1-10

ตาราง 1-9 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของอ้อย (ลบ.ม.ต่อตันอ้อย)

จังหวัด	กรีนวอเตอร์	บลูวอเตอร์	เกรย์วอเตอร์	วอเตอร์ฟุตพรินต์
เชียงราย	142	65	33	240
ลำปาง	99	120	33	252
เชียงใหม่	120	95	29	244
ตาก	97	92	27	216
กำแพงเพชร	71	74	22	167
สุโขทัย	95	86	25	206
แพร่	71	90	25	186
อุตรดิตถ์	84	84	24	192
พิษณุโลก	73	91	24	188

ที่มา : Kungboon *et al.* (2012)

ตาราง 1-9 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของอ้อย (ลบ.ม.ต่อตันอ้อย) (ต่อ)

จังหวัด	กรีนวอเตอร์	บลูวอเตอร์	เกรย์วอเตอร์	วอเตอร์ฟุตพรินต์
พิจิตร	77	84	24	185
นครสวรรค์	92	75	21	188
อุทัยธานี	70	99	23	192
เพชรบูรณ์	82	70	21	173
เฉลี่ย	90	87	25	202

ที่มา : Kungboon *et al.* (2012)

ตาราง 1-10 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของมันสำปะหลัง (ลบ.ม.ต่อตันมันสำปะหลัง)

จังหวัด	กรีนวอเตอร์	บลูวอเตอร์	เกรย์วอเตอร์	วอเตอร์ฟุตพรินต์
เชียงราย	207	188	87	482
พะเยา	203	196	87	486
ลำปาง	217	236	94	547
ตาก	179	231	80	490
กำแพงเพชร	176	198	77	451
สุโขทัย	198	240	84	522
แพร่	198	219	88	505
อุตรดิตถ์	182	248	88	518
พิษณุโลก	182	231	82	495
พิจิตร	190	223	86	499
นครสวรรค์	182	281	82	545
อุทัยธานี	196	269	82	547
เพชรบูรณ์	188	252	85	525
เฉลี่ย	192	232	85	509

ที่มา : Kungboon *et al.* (2012)

ลักขณา และคณะ (2555a) ศึกษาการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพรินต์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศ โดยศึกษาพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 16 จังหวัดในประเทศไทย คำนวณโดยใช้โปรแกรม CROPWAT จากการศึกษาพบว่า ภาคเหนือมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันเท่ากับ 5,538 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์เท่ากับ 2,459 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด บลูวอเตอร์เท่ากับ 1,212 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสดและเกรย์วอเตอร์เท่ากับ 1,867 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ภาคใต้มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันเท่ากับ 1,399 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์มีค่าเท่ากับ 750 138 และ 511 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ตามลำดับ

ลัคนาพร และคณะ (2555b) ศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมัน ณ โครงการปลูกป่ามูลนิธิชัยพัฒนาแม่ฟ้าหลวง จ.เพชรบุรี โดยใช้โปรแกรม CROPWAT คำนวณหาความต้องการใช้น้ำของพืช กรีนวอเตอร์และบลูวอเตอร์และสำหรับเกรย์วอเตอร์คำนวณจากปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันที่ได้มีค่าเท่ากับ 3,989 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์มีค่าเท่ากับ 524 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด บลูวอเตอร์มีค่าเท่ากับ 1,829 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด และเกรย์วอเตอร์มีค่าเท่ากับ 1,636 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2556) ศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมัน โดยศึกษาในจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพรและชลบุรี คำนวณโดยใช้โปรแกรม CROPWAT คำนวณหาค่าความต้องการน้ำของพืช (crop water requirement : CWR) จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันในจังหวัดกระบี่มีค่าเท่ากับ 1,336 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มเท่ากับ 1,127 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด จังหวัดชุมพรมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันเท่ากับ 1,502 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสดและจังหวัดชลบุรีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันเท่ากับ 1,496 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด

1.3.2 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งวัตถุดิบรวมการผลิต

Chapagain *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตฝ้าย แยกการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนการปลูกและการผลิต โดยทำการศึกษาในประเทศอาร์เจนตินา ออสเตรเลีย บราซิล จีน อียิปต์ กรีซ อินเดีย มาลี เม็กซิโก ปากีสถาน ซีเรีย ตุรกี เติร์กเมนิสถาน สหรัฐอเมริกา และ อุซเบกิสถาน ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 5 ปีการปลูกใช้โปรแกรม CROPWAT และมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{water content of seed cotton} = \frac{\text{volume of water}}{\text{yield}} \quad (13)$$

$$\text{geeen water content of seed cotton} = \frac{\text{effective rainfall}}{\text{yield}} \quad (14)$$

$$\text{blue water content of seed cotton} = \frac{\text{volume of irrigation water use}}{\text{yield}} \quad (15)$$

การผลิตคำนวณจาก

$$\text{product fraction} = \frac{\text{crop product}}{\text{primary crop}} \quad (16)$$

$$\text{value fraction} = \text{market prices of the vanous product} \quad (17)$$

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่ได้จากการศึกษาการผลิตฝ้ายจากประเทศต่างๆ โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการปลูกและโรงงานผลิตฝ้าย ประเทศที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์สูงที่สุดคือประเทศอาร์เจนตินา 2,684 ลบ.ม.ต่อตันฝ้าย ประเทศที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ต่ำที่สุดคือประเทศจีน 799 ลบ.ม.ต่อตันฝ้าย ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ย 1,422 ลบ.ม.ต่อตันฝ้าย แสดงในตารางที่ 1-11

ตาราง1-11 วอเตอร์ฟุตพรินต์ที่ได้จากการศึกษาการผลิตฝ้ายจากประเทศต่างๆ

ประเทศ	กรีนวอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	บลูวอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	เกรย์วอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	วอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)
อาร์เจนตินา	5,394	2,307	351	2,684
ออสเตรเลีย	870	1,408	327	868
บราซิล	2,575	46	190	937
จีน	1,258	760	380	799
อียิปต์	0	4,231	226	2,228
กรีซ	530	1,808	420	919
อินเดีย	6,512	2,150	1,062	3,241
มาลี	3,750	1,468	339	1,852
เม็กซิโก	852	1,655	404	970
ปากีสถาน	1,054	3,860	1,040	1,884
ซีเรีย	88	3,252	128	1,156
ตุรกี	288	2,812	409	1,169
เติร์กเมนิสถาน	407	5,602	1,231	2,413
สหรัฐอเมริกา	1,673	576	645	964
อุซเบกิสถาน	83	4,377	937	1,799
เฉลี่ย	1,827	1,818	622	1,422

ที่มา : Chapagain *et al.* (2006)

Chapagain *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตชาและกาแฟ แยกการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือในส่วนการปลูกและการผลิต โดยทำการศึกษาในประเทศเนเธอร์แลนด์ ในส่วนการปลูกคำนวณจากปริมาณน้ำที่พืชที่ต้องการใช้โดยใช้ CROPWAT และผลผลิตที่ได้ ส่วนการผลิตกาแฟ มี 2 แบบคือ แบบเปียกและแบบแห้ง คำนวณหา

$$\text{product fraction} = \frac{\text{weight of the resulting product}}{\text{weight of the original product}} \qquad (18)$$

จากการศึกษาพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกชา 6,457 ลบ.ม.ต่อตัน และกาแฟมีค่าเท่ากับ 15,130 ลบ.ม.ต่อตัน ส่วน ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตชากาแฟแบบเปียกและแห้งมีค่าเท่ากับ 4,978 ลบ.ม.ต่อตัน 22,530 ลบ.ม.ต่อตัน และ 22,458 ลบ.ม.ต่อตัน ตามลำดับ

Gerbens-Leenes *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของพลังงานที่มาจากชีวมวล โดยทำการศึกษาในประเทศเนเธอร์แลนด์ สหรัฐอเมริกา บราซิลและซิมบับเว ชีวมวลที่ทำการศึกษาได้แก่ มันสำปะหลัง มะพร้าว ฝ้าย ถั่วลิสง ข้าวโพด หญ้ามิสแคนทัส ปาล์มน้ำมัน ต้น poplar มันฝรั่ง ถั่วเหลือง บีทรูท อ้อย ดอกทานตะวัน ข้าวสาลี และเมล็ดองุ่น ขั้นตอนการหาวอเตอร์ฟุตพรินต์มี 5 ขั้นตอน

1. หาปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้

$$\text{water requirement of crop} = 10x \sum_{d=1}^{lp} kc(C) x ETo \qquad (19)$$

เมื่อ Lp คือ ช่วงระยะเวลาเพาะปลูก
$k_c(C)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ
ETo คือ ค่าศักย์การคายระเหยของพืชอ้างอิง (มม.ต่อวัน)

2. หาปริมาณ biomass ทั้งหมด

$$\text{total biomass yield} = \frac{Y(c)}{HI(c)} \qquad (20)$$

เมื่อ Y(c) คือ ผลผลิต (ตันต่อพื้นที่)
HI(c) คือ สัมประสิทธิ์การสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนผลผลิตของพืช

3. หาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูก

$$\text{water footprint of crop} = \frac{CWR(c)}{BY(c)} \qquad (21)$$

เมื่อ CWR(c) คือ ความต้องการน้ำของพืช (ลบ.ม.ต่อพื้นที่)
BY(c) คือ จำนวนชีวมวล (ตัน)

4. หาพลังงานเฉลี่ย

$$\text{average energy content of a hypothetical crop} = HI(c) x DMY(c) \sum_{i=1}^{5} GixAyi + (1 - HI(c) x DMy(c) x \sum_{i=1}^{5} GixAyi \qquad (22)$$

เมื่อ DMY(C) คือ สัดส่วนของมวลผลิตภัณฑ์แห้ง
Gi คือ ความร้อนขององค์ประกอบของการเผาไหม้
Ayi คือ จำนวนองค์ประกอบในมวลผลิตภัณฑ์แห้ง

5. หาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์

$$\text{water footprint} = \frac{WFm(c)}{E(c)} \quad (23)$$

เมื่อ WFm(c) คือ วอเตอร์ฟุตพรินต์ของพืช (ลบ.ม.ต่อตัน)
E(c) คือ พลังงานความร้อนเฉลี่ย (จูล)

ตาราง 1-12 ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของพืชชนิดต่างๆ

พืช	ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)
มันสำปะหลัง	615
มะพร้าว	1,143
ฝ้าย	4,034
ถั่วลิสง	1,001
ข้าวโพด	1,122
หญ้ามิสแคนทัส	718
ปาล์มน้ำมัน	1,502
ต้น poplar	794
มันฝรั่ง	128
ถั่วเหลือง	980
บีทรูท	69
อ้อย	147
ดอกทานตะวัน	1,285
ข้าวสาลี	1,007
เมล็ดองุ่น	897

ที่มา : Gerbens-Leenes *et al.* (2009)

จากการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์พบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของฝ้ายมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 4,034 ลบ.ม.ต่อตันฝ้าย และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของบีทรูทมีค่าน้อยที่สุดซึ่งมีค่า 69 ลบ.ม.ต่อตันบีทรูท

Ridoutt *et al.* (2009) ศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของ Dolmmio pasta sauce และ Peanut M&M ซึ่งผลิตในประเทศออสเตรเลีย จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของ Dolmmio pasta sauce มีค่า 202 ลิตรต่อ 575 กรัม ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ร้อยละ 10.6 บลูวอ-

เตอร์ร้อยละ 63.3 และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 26.1 เมื่อพิจารณาระหว่างวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกและการผลิตในโรงงานพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ที่มาจากการปลูกคิดเป็นร้อยละ 99 ส่วนวอเตอร์ฟุต-พรินต์ของกระบวนการผลิตคิดเป็นร้อยละ 1 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของ Peanut M&M มีค่า 1,153 ลิตรต่อ 250 กรัม ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 85.7 , 10.9 และ 3.4 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาระหว่างวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกและการผลิตในโรงงานพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกคิดเป็นร้อยละ 95 และวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตคิดเป็นร้อยละ 5

Chapagain *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษา บลูวอเตอร์ กรีนวอเตอร์และเกรย์วอ-เตอร์ของการผลิตข้าว โดยประเมินตั้งแต่การปลูกข้าวและกระบวนการผลิตเป็นข้าว การปลูกข้าวประเมินโดยใช้โปรแกรม CROWAT 4 ส่วนในขั้นตอนผลิตข้าวประเมินโดยใช้วิธีการแบบขั้นตอนสะสม ทำการศึกษา 13 ประเทศรวมทั้งประเทศไทยด้วย ผลการศึกษาที่ได้แสดงในตารางที่ 1-13

ตาราง 1-13 ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของข้าว

ประเทศ	กรีนวอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	บลูวอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	เกรย์วอเตอร์ (ลบ.ม.ต่อตัน)	วอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตัน)
จีน	367	487	1,147	971
อินเดีย	1,077	826	116	2,020
อินโดนีเซีย	583	487	118	1,187
บังกลาเทศ	549	577	103	1,228
เวียดนาม	308	203	127	638
ไทย	942	559	116	1,617
พม่า	846	378	50	1,274
ญี่ปุ่น	341	401	61	802
ฟิลิปปินส์	844	423	78	1,345
บราซิล	791	670	61	1,521
สหรัฐอเมริกา	227	835	101	1,163
เกาหลี	356	388	84	829
ปากีสถาน	421	2,364	88	2,874

ที่มา : Chapagain *et al.* (2010)

จากการศึกษาพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของข้าวของประเทศปากีสถานมีค่ามากที่สุดคือเท่ากับ 2,874 ลบ.ม.ต่อตันข้าว และมีค่าบลูวอเตอร์ฟุตพรินต์มากที่สุดเช่นกันคือมีค่า 2,364 ลบ.ม.ต่อตันข้าว

Galan-de Castilb *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ คือ เอทานอลและไบโอดีเซล โดยทำการศึกษาในประเทศสเปน และทำการเก็บข้อมูล 3 โรงงาน การศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การปลูก ประเมินโดยใช้โปรแกรม CROPWAT และการ

ผลิตใช้วิธีแบบละเอียด (bottom-up) จากการศึกษาพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเอทานอล 1,858 ลบ.ม.ต่อตันและไบโอดีเซล 3,831 ลบ.ม.ต่อตัน ตามลำดับ

Jefferies *et al.* (2012) ทำการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของชาและเนยเทียม หน่วยการประเมินคือ 50 กรัมของชาและ 500 กรัมของเนยเทียม จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุต-พรินต์ของการผลิตชา ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ 294 ลิตรและบลูวอเตอร์ 10 ลิตร วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตเนยเทียม ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ 553 ลิตรและบลูวอเตอร์ 109 ลิตร

Francke *et al.* (2013) ได้ศึกษาการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์และคาร์บอนฟุต-พรินต์ของสบู่ก้อนในประเทศบราซิล หน่วยการประเมินคือ 450 กรัมของสบู่ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า สบู่ก้อนมีค่ากรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์เท่ากับ 1.581 , 1.587 และ 3.672 ลิตรต่อ 450 กรัม และมีค่าคาร์บอนฟุตพรินต์เท่ากับ 741 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 450 กรัม

Ruini *et al.* (2013) ทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิต Barilla pasta โดยเริ่มประเมินตั้งแต่การปลูกข้าวสาลีจนถึงกระบวนการผลิต ในปี 2009-2011 ซึ่งผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 1-14

ตาราง 1-14 ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิต Barilla pasta ทั้งหมดในประเทศต่างๆ

ประเทศ	วอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลิตรต่อกิโลกรัม)	การใช้น้ำในการผลิต (ล้านลบ.ม.)		
		ปี 2009	ปี 2010	ปี 2011
อิตาลี	1.336	849	845	796
สหรัฐอเมริกา	1.584	313	335	342
กรีซ	1.536	165	209	238
ตุรกี	2.847	86	75	75

ที่มา : Ruini *et al.* (2013)

จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของ Barilla pasta ของประเทศตุรกีมีค่าสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.847 ลิตรต่อกิโลกรัม Barilla pasta เมื่อพิจารณาเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของ Barilla pasta ที่ตุรกีสามารถผลิตได้ในปี 2009 – 2011 พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์มีค่าเท่ากับ 86 , 75 และ 75 ล้านลบ.ม. ตามลำดับ วอเตอร์ฟุตพรินต์ของ Barilla pasta ในประเทศอิตาลีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของ Barilla pasta น้อยที่สุดคือมีค่า 1.336 ลิตรต่อกิโลกรัม Barilla pasta เมื่อพิจารณาเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของ Barilla pasta ที่อิตาลีสามารถผลิตได้ทั้งประเทศในปี 2009 – 2011 พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์มีค่าเท่ากับ 849 , 845 และ 796 ล้านลบ.ม.ตามลำดับ

รมณี และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาร่องรอยการใช้น้ำในอุตสาหกรรมแป้งข้าว โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการประเมินศักยภาพการผลิต โดยศึกษาโรงงานผลิตแป้งข้าว 2 โรงงาน ได้แก่ โรงงานที่ตั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สามารถผลิตข้าวได้ 4,000-5,000 ตันต่อปีและโรงงานที่ตั้งในภาคตะวันออกสามารถผลิตข้าวได้ 2,500 ตันตีต่อปี สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ วิธีการแบบขั้นตอนสะสม เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามไปยังโรงงาน จากการศึกษาพบว่า โรงงานที่ตั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์สูงกว่า

ชินาธิปกรณ์ และคณะ (2554) ทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิต-เอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย โดยประเมินตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบและกระบวนการผลิตเอทานอล วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกมันสำปะหลังประเมินโดยคำนวณหาปริมาณน้ำเสมือน (VW) ปริมาณการใช้น้ำของมันสำปะหลัง (CWR) สมการดังแสดงและในงานวิจัยนี้สมมติฐานว่าปริมาณน้ำชลประทานที่ให้มีค่าพอดีกับปริมาณความต้องการใช้น้ำของมันสำปะหลัง จึงทำให้ไม่มีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้น ส่วนการผลิตเอทานอลคำนวณด้วยวิธีแบบละเอียด (bottom-up) จากการศึกษาพบว่า การผลิตเอทานอล 1 ตันจะต้องใช้น้ำตั้งแต่ขั้นตอนการปลูกจนถึงการผลิตเอทานอล 12,175 ลบ.ม.ต่อตันเอทานอล

1.3.3 การประเมินโดยประยุกต์ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน

จันทิมา และคณะ (2549) ได้ทำการวิเคราะห์ตลอดวัฏจักรชีวิตเชิงวิศวกรรมของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลในประเทศไทย เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยแบ่งการประเมินผลกระทบออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การจัดหาวัตถุดิบ การผลิตและการนำไปใช้งาน จากการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการนำไบโอดีเซลไปใช้งานเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 82.40 รองลงมาเป็นขั้นตอนการผลิต คิดเป็นร้อยละ 17.45 และขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบ ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมคิดเป็นร้อยละ 0.15

ปราณี และคณะ (2551) ทำการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอ-ดีเซลจากปาล์มน้ำมัน โดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.1 ซึ่งเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในสามช่วงกระบวนการ ประกอบด้วย กระบวนการทางการเกษตร การผลิตไบโอดีเซลปาล์มน้ำมันและการนำ ไบโอดีเซลไปใช้งาน จัดทำบัญชีรายการวัตถุดิบและพลังงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางการเกษตร การหีบน้ำมันปาล์มดิบและการผลิตไบโอดีเซล หน่วยการใช้งานคือ ไบโอ-ดีเซล 1 ลิตร โดยพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้ทรัพยากร สุขภาพอนามัยของมนุษย์และผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ จากการศึกษาพบว่า ผลกระทบที่เกิดจากการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน 1 ลิตรซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่ คือ การเกิดพิษในดินที่ส่งผลต่อมนุษย์ ผลกระทบส่วนใหญ่ที่เกิดในขั้นตอนการใช้งานคือ การก่อตัวของโอโซนที่เป็นพิษต่อพืช

วรยุทธ สายบัวตรง และคณะ (2554) ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมไบโอดีเซลของประเทศไทยกับศักยภาพการส่งออกไปสหภาพยุโรป โดยพิจารณาในส่วนกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โรงงานที่เข้าร่วมโครงการจำนวน 7 โรงงาน จากผลการศึกษาพบว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลในประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 558 – 1,359 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อไบโอดีเซล 1 ตัน มาจากการใช้วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 80 และร้อยละ 20 มาจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และเมื่อพิจารณาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเปลี่ยนหน่วยเป็นเมกะจูลของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทยพบว่ามีค่าน้อยกว่าของน้ำมันดีเซลที่มาจากฟอสซิลร้อยละ 70

Kaewmai *et al.* (2012) ทำการศึกษาวิธีประเมินก๊าซเรือนกระจกของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย โดยมีโรงงานเข้าร่วม 14 โรงงาน มีระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพจำนวน 10 โรงงานและไม่มีระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ 4 โรงงาน โดยโรงงานที่ทำการศึกษาตั้งอยู่ในจังหวัดชลบุรี ชุมพร กระบี่ สุราษฎร์ธานีและตรัง ปันส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้มวลและค่า

พลังงานความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการปันส่วนได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดในและกะลา ดังแสดงในตารางที่ 1-15

ตาราง 1-15 ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปาล์มน้ำมัน เมล็ดในและกะลา

ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
		ปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อน	ปันส่วนโดยใช้ค่ามวล
น้ำมันปาล์มดิบ	กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ	867	700
เมล็ดใน	กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันเมล็ดใน	195	237
กะลา	กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันกะลา	135	258

ที่มา : Kaewmai *et al.* (2012)

จากการศึกษาพบว่า น้ำมันปาล์มดิบมีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อนมีค่าเท่ากับ 867 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันน้ำมันปาล์มดิบและมีค่าเท่ากับ 700 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ เมื่อปันส่วนโดยใช้ค่ามวล ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเมล็ดในซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อนและปันส่วนโดยใช้มวลมีค่าเท่ากับ 195 และ 237 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันเมล็ดในตามลำดับ ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกะลาในซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อนและปันส่วนโดยใช้มวลมีค่าเท่ากับ 135 และ 258 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันกะลาตามลำดับ

1.3.4 ดัชนีความเครียดของน้ำ

Pfister *et al.* (2009) ทำการศึกษาหาค่าดัชนีความเครียดของน้ำ (water stress index : WSI) ซึ่งบอกถึงค่าการขาดแคลนน้ำจืด โดยหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ในกิจกรรม (water use) และปริมาณน้ำที่มีในลุ่มน้ำนั้นๆ (water availability) ค่าดัชนีความเครียดของน้ำในจังหวัดที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ กระบี่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี และชลบุรี ดังแสดงในตารางที่ 1-16

ตาราง 1-16 ดัชนีความเครียดของน้ำ

จังหวัด	ดัชนีความเครียดของน้ำ
กระบี่	0.01150
	0.01080
	0.01150
	0.01360
ชุมพร	0.01070
	0.01000
	0.01070
	0.01020
	0.01020
	0.01050
สุราษฎร์ธานี	0.01020
	0.01050
	0.01100
	0.01150
	0.01100
	0.01190
ชลบุรี	0.48120
	0.02470
	0.25060
	0.59240
	0.01390

ที่มา : Pfister *et al.* (2009)

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) เพื่อประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ผลิตภัณฑ์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก
2) เพื่อหาวิธีลดค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลวอเตอร์ฟุตพรินต์ของอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน
2) เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของอุตสาหกรรมอื่นๆที่ใช้วัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันต่อไป
3) เพื่อให้ได้มาซึ่งการลดค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียกที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้อย่างเหมาะสม

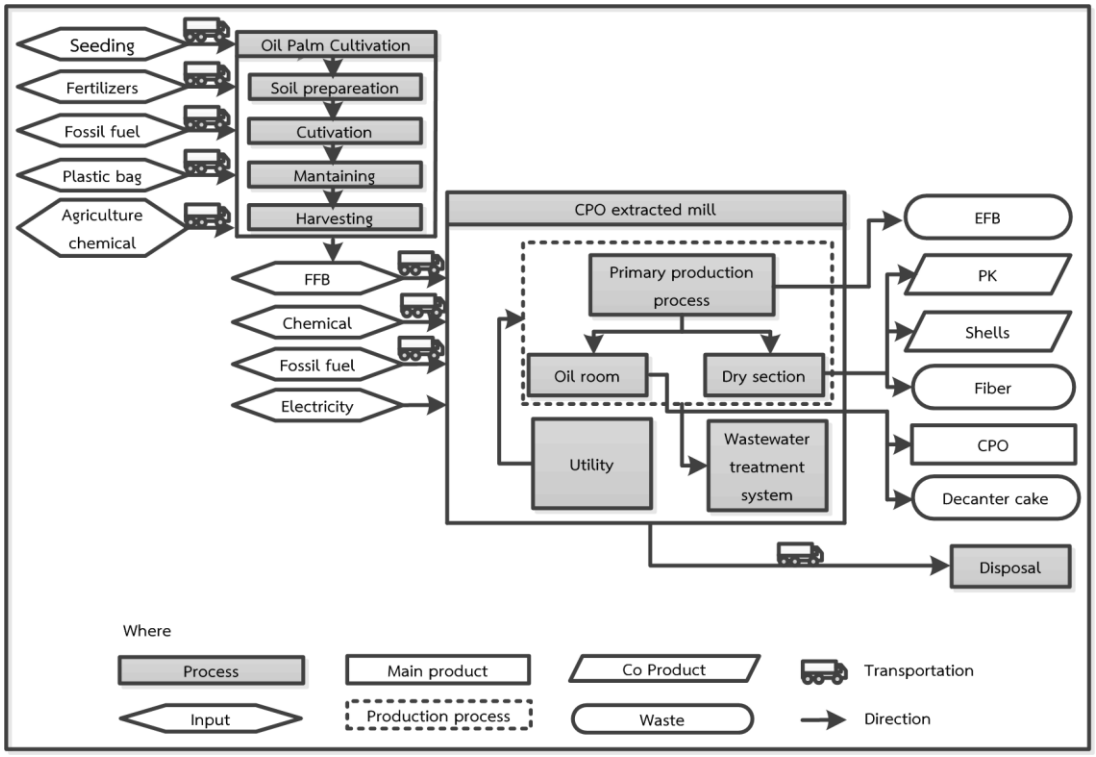
บทที่ 2

วิธีวิจัย

2.1 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้ประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีที่พัฒนาโดย Hoekstra *et al.* (2011) ซึ่งเป็นการประเมินการใช้น้ำตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบตลอดจนการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิต (cradle to gate) ดังรูปที่ 2-1การประเมินในงานวิจัยนี้เริ่มจากการหาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดโดยมีขั้นตอนดังนี้ 1) การเตรียมพื้นที่ปลูก 2) การปลูกปาล์มน้ำมัน 3) การดูแลรักษา และ 4) การเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มสด งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากโครงการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ผลิตภัณฑ์ปาล์มน้ำมัน ไบโอดีเซลและยางพารา (สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2556) ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดจากผลการวิจัยของโครงการดังกล่าว โดยค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของทะลายปาล์มสดจากโครงการข้างต้นคำนวณโดยใช้วิธีหาความต้องการน้ำของพืช (crop water requirement : CWR) ประเมินทั้งวอเตอร์ฟุตพรินต์ทางตรงและทางอ้อม การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ในส่วนของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบดำเนินการหาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีขั้นตอนดังนี้ การนึ่งปาล์ม (sterilization) การแยกผลปาล์ม (threshing) การย่อยผลปาล์ม (digestion) การบีบผลปาล์ม (screw pressing) การกรองผ่านตะแกรงสั่น (vibrating screen) ถังตกตะกอน (setting tank) การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (purifier) และการกำจัดน้ำ (dryer)

การปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ให้กับผลิตภัณฑ์ดำเนินการโดยใช้ค่าราคา ค่าพลังงานความร้อน และค่ามวล การปันส่วนโดยราคาใช้ค่าราคาย้อนหลัง 5 ปี เพื่อให้ครอบคลุมช่วงการแปรผันของราคา (สำนักงานการค้าภายในจังหวัดกระบี่, 2555, สำนักงานการค้าภายในจังหวัดสุราษฎร์ธานี, 2555, สำนักงานการค้าภายในจังหวัดชุมพร, 2555) การปันส่วนโดยราคาดำเนินการตามวิธีที่พัฒนาโดย Hoekstra et *al.* (2011) ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการปันส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดในและกะลา หน่วยที่ใช้ในการประเมินคือ 1 ตันน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 2-1 ขอบเขตการศึกษา
ที่มา : ดัดแปลงจาก Kaewmai *et al.* (2012)

2.2 โรงงานที่เข้าร่วมโครงการ

การศึกษานี้มีโรงงานเข้าร่วมโครงการจำนวน 7 โรงงาน ตั้งอยู่ในจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพรและชลบุรี โดยโรงงานที่เข้าร่วมโครงการมีระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้บ่อหมักไร้อากาศ (ไม่มีระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพ) จำนวน 1 โรงงาน และโรงงานที่ใช้ระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพร่วมกับบ่อหมักไร้อากาศจำนวน 6 โรงงาน โรงงานที่เข้าร่วมโครงการมีกำลังการผลิตระหว่าง 45-90 ตันทะลายปาล์มสดต่อชั่วโมง

2.3 การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบใช้วิธีแบบขั้นตอนสะสม (stepwise accumulative approach) ซึ่งเป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเริ่มจากการรวบรวมข้อมูล จัดทำบัญชีรายการ คำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์และประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ซึ่งประเมินทั้งค่าทางตรงและทางอ้อม วอเตอร์ฟุตพรินต์ทางตรง ประกอบด้วย บลูวอเตอร์ซึ่งเป็นน้ำที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบและเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งที่ออกจากกระบวนการสกัดของแต่ละโรงงาน ส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อม ประกอบด้วย วอเตอร์ฟุตพรินต์ที่เกิดจากการผลิตสารขาเข้าและการขนส่ง ซึ่งวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิต ได้แก่ วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตสารเคมี น้ำมันและไฟฟ้า ส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่เกิดจากการขนส่ง ได้แก่ การขนส่ง

สารเคมี น้ำมันดีเซลและการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน รูปแบบการประเมินวอเตอร์ฟุต-พรินต์แบ่งได้ 4 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 2-1

กรณีที่ 1 ประเมินการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของแต่ละโรงงาน เพื่อศึกษาปริมาณการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของการการสกัดน้ำมันปาล์มดิบและคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์โดยใช้สูตรแบบขั้นตอนสะสม ผลการศึกษาแสดงการใช้น้ำในปัจจุบันของโรงงานโดยไม่รวมการใช้น้ำจากการได้มาซึ่งทะลายปาล์มดิบ กรณีที่ 2 ประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดและไม่คิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้ง ผลการศึกษาแสดงค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และกรณีที่ 3 ประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์โดยรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดและเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้ง ผลการศึกษาแสดงถึงผลกระทบต่อปริมาณน้ำสะอาดในธรรมชาติเมื่อมีการทิ้งน้ำที่ผ่านการบำบัดจนมีค่าบีโอดีผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง

ตาราง 2-1 รูปแบบการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์

กรณี	การปลูก	ในโรงงาน			
		การใช้น้ำทางตรง	การใช้น้ำทางอ้อม	เกรย์วอเตอร์	วอเตอร์ฟุตพรินต์
1	×	√	√	×	√
2	√	√	√	×	√
3	√	√	√	√	√

× ไม่รวมในการประเมิน √ รวมในการประเมิน

2.3.1 การรวบรวมข้อมูลและเก็บตัวอย่าง

การศึกษานี้เก็บรวบรวมข้อมูล 2 ประเภท ประกอบด้วย 1) ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ปริมาณทะลายปาล์มสด น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดใน กะลา เส้นใย ทะลายปาล์มเปล่า กากตะกอนดี-แคนเตอร์ น้ำดิบ น้ำเสีย ไฟฟ้า สารเคมี และน้ำมันดีเซลที่โรงงานใช้ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โดยเป็นข้อมูลการผลิตในปี พ.ศ. 2554 ดังตารางที่ 2-2 การได้มาซึ่งข้อมูลปฐมภูมิดำเนินการโดยจัดทำแบบสอบถาม จากนั้นส่งแบบสอบถามให้ทางโรงงานเป็นผู้กรอกข้อมูล รอทางโรงงานส่งแบบสอบถามกลับคืน จากนั้นทำการเข้าโรงงานเพื่อทวนสอบข้อมูลและเก็บตัวอย่าง กรณีข้อมูลที่ได้มาไม่เพียงพอต่อการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ต้องทำการเข้าโรงงานอีกครั้งเพื่อเก็บข้อมูลข้อมูลที่ไม่ครบถ้วน 2) ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตสารเคมี ไฟฟ้าและน้ำมันดีเซล (Ecoinvent centre, 2010) ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เหล่านี้ถูกใช้เป็นค่าตัวคูณเพื่อคูณกับปริมาณของสารเคมี ไฟฟ้าที่ผลิตจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และน้ำมันดีเซลให้ได้มาซึ่งวอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อมของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ นอกจากนี้ได้เก็บตัวอย่าง ทะลายปาล์มสด น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดใน กะลา เส้นใย ทะลายปาล์มเปล่า และกากตะกอนดีแคนเตอร์ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นตามวิธีการของ Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 2000) รวมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำดิบ น้ำเสีย และน้ำทิ้งของแต่ละโรงงานเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าบีโอดีตามวิธี Azide modification รวมทั้งวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยใช้วิธี Potassium dichromate digestion ตาม

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าเกรย์วอเตอร์ที่เกิดจากน้ำทิ้งของโรงงาน ณ ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตาราง 2-2 ข้อมูลปฐมภูมิที่ใช้ในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์

ชนิดข้อมูล	รายละเอียดของข้อมูล	หน่วย
1. ข้อมูลวัตถุดิบ	- ปริมาณปาล์มทะลายสด	ตันต่อปี
	- ปริมาณผลปาล์มร่วง	ตันต่อปี
2. ข้อมูล ผลิตภัณฑ์	- ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ	ตันต่อปี
3. ข้อมูล ผลิตภัณฑ์ร่วม	- ปริมาณเมล็ดใน	ตันต่อปี
	- ปริมาณกะลา	ตันต่อปี
4. ข้อมูลวัสดุ เศษเหลือ	- ปริมาณเส้นใย	ตันต่อปี
	- ปริมาณทะลายปาล์มเปล่า	ตันต่อปี
	- ปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์	ตันต่อปี
5. ข้อมูลพลังงาน	- ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี
	- ชนิดและปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในโรงงาน	ลิตรต่อปี
6. ข้อมูลน้ำเสีย	- ปริมาณน้ำทิ้ง	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
7. ข้อมูลสารเคมี	- ปริมาณดินขาวที่ใช้ในการแยกกะลาและเมล็ดใน	กิโลกรัมต่อปี
	- ปริมาณและชนิดสารเคมีในระบบผลิตน้ำประปา	กิโลกรัมต่อปี
	- ปริมาณและชนิดสารเคมีในระบบผลิตน้ำสะอาด	กิโลกรัมต่อปี
	- ปริมาณและชนิดสารเคมีในการเตรียมหม้อไอน้ำ	กิโลกรัมต่อปี
	- ปริมาณและชนิดสารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย	กิโลกรัมต่อปี
8. ข้อมูล การใช้น้ำ	- ปริมาณน้ำดิบประปา	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
	- ปริมาณน้ำในส่วนการเตรียมวัตถุดิบ	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
	- ปริมาณน้ำในส่วนห้องน้ำมัน	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
	- ปริมาณน้ำในส่วนกระบวนการแยกของแข็ง	ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ตาราง 2-2 ข้อมูลปฐมภูมิที่ใช้ในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์ (ต่อ)

ชนิดข้อมูล	รายละเอียดของข้อมูล	หน่วย
9. ข้อมูลการขนส่ง	- ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการขนส่งสารเคมี	ลิตรต่อปี
	- ระยะทางและประเภทรถที่ใช้ในการขนส่งสารเคมีเข้าสู่โรงงาน	กิโลเมตร
	- ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการขนส่งปาล์มทะลายสดเข้าสู่โรงงาน	ลิตรต่อปี
	- ระยะทางและประเภทรถที่ใช้ในการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน	กิโลเมตร
	- ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการขนส่งน้ำมันดีเซล	ลิตรต่อปี
	- ระยะทางและประเภทรถที่ใช้ในการขนส่งน้ำมันดีเซลเข้าสู่โรงงาน	กิโลเมตร
10. ข้อมูลชั่วโมงการทำงาน	- จำนวนวันที่โรงงานเดินเครื่องผลิต	วันต่อปี
	- จำนวนชั่วโมงที่เดินเครื่องผลิต	ชั่วโมงต่อวัน

2.3.2 การจัดทำบัญชีรายการ

ขั้นตอนนี้เป็นการจัดทำบัญชีรายการของชนิด ปริมาณของสารและพลังงานที่เข้า-ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการประเมินวอ-เตอร์ฟุตพรินต์ บัญชีรายการของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ สารขาเข้าได้แก่ ทะลายปาล์มสด สารเคมี น้ำมันดีเซล ไฟฟ้าและน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สารขาออกได้แก่ ทะลายปาล์มสด น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดใน กะลา เส้นใย ทะลายปาล์มเปล่า กากตะกอนดีแคนเตอร์และน้ำเสีย

2.3.3 การหาสัดส่วนผลิตภัณฑ์

สัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณได้จากมวลของผลิตภัณฑ์ต่อมวลวัตถุดิบ ในการคำนวณส่วนนี้ได้คำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ 2 ประเภท ได้แก่ 1) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี คำนวณโดยใช้ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ร่วมและของเสียที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2006) 2) สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงาน คำนวณโดยใช้ข้อมูลของโรงงานซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ร่วมและของเสียที่เกิดขึ้นจริงภายในโรงงาน

2.3.4 การหาปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อมโดยไม่คิดการปันส่วน (กรณี 1)

การใช้น้ำทางตรงในโรงงาน ได้แก่ น้ำที่ใช้ในกระบวนการนึ่งปาล์ม ย่อยปาล์มและบีบผลปาล์ม แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์ค่าการใช้น้ำในแต่ละกระบวนการได้ งานวิจัยนี้จึงใช้ค่าการใช้น้ำทั้งหมดของโรงงานในการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ส่วนการใช้น้ำทางอ้อมคำนวณจากปริมาณสารเคมี ไฟฟ้า และน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่ง

และใช้ภายในโรงงานซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลแล้วนำมาคูณกับค่าการใช้น้ำในการผลิตสารเคมี ไฟฟ้า น้ำมันดีเซล แสดงในตารางที่ 2-3

ตาราง 2-3 ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันดีเซล ไฟฟ้า และสารเคมี

ชนิด	หน่วย	ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์
น้ำมันดีเซล	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0042
ไฟฟ้า	ลูกบาศก์เมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	0.0023
ดินขาว	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0073
คลอรีน	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0143
โซเดียมคลอไรด์	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0057
โซเดียมไฮดรอกไซด์	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0142
โซเดียมไฮโปคลอไรด์	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0094
กรดไฮโดรคลอริค	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0161
โพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟต	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0665
โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0280
ไดคลีน	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0546
โซเดียม SBS	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0129
โซเดียมคาร์บอเนต	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0084
เรซิน	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.0194
สารละลายฟอสเฟต	ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม	0.1498

ที่มา : Ecoinvent centre (2010)

2.3.5 การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด (กรณี 1)

การประเมินในหัวข้อนี้เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยไม่คิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมัน เนื่องจากต้องการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่เกิดจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบและเพื่อศึกษาสัดส่วนของวอเตอร์ฟุตพรินต์ระหว่างวอเตอร์ฟุตพรินต์ทางตรงและทางอ้อม โดยใช้ค่าการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมมาคำนวณโดยใช้วิธีแบบขั้นตอนสะสม (stepwise accumulative approach) ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่คำนวณได้ถูกรายงานเป็นค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของแต่ละจังหวัด ได้แก่ กระบี่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี ชลบุรี และค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของประเทศไทย

2.3.6 การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด (กรณี 2)

การประเมินในหัวข้อนี้ประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยคิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมัน เพื่อศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของโรงสกัดน้ำมันปาล์มดิบในจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพรและชลบุรี โดยวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดคำนวณโดยวิธี

หาค่าความต้องการน้ำของพืช (crop water requirement : CWR) ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มในจังหวัดกระบี่มีค่า 1,336 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลู-วอเตอร์และเกรย์วอเตอร์มีค่าเท่ากับ 576 , 570 และ 189 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่า 1,127 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์มีค่าเท่ากับ 875 , 172 และ 80 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มในจังหวัดชุมพรมีค่า 1,502 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์มีค่าเท่ากับ 987 , 182 และ 332 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มในจังหวัดชลบุรีมีค่า 1,496 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์มีค่าเท่ากับ 734 , 633 และ 129 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ตามลำดับ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2556)

ในส่วนนี้เป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบไม่คิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งของโรงงาน เนื่องจากในปัจจุบันทางโรงงานไม่มีการทิ้งน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยได้นำน้ำส่วนนี้ไปรดสวนปาล์มน้ำมันจึงไม่มีน้ำทิ้งออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง ดังนั้นเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งในกรณีนี้จึงมีค่าเป็นศูนย์

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบถูกปันส่วนให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยใช้ค่าราคาเฉลี่ยย้อนหลัง 5 ปีแสดงในตารางที่ 2-4 (พ.ศ.2549-2554) (สำนักงานการค้าภายในจังหวัดกระบี่, 2555, สำนักงานการค้าภายในจังหวัดสุราษฎร์ธานี, 2555, สำนักงานการค้าภายในจังหวัดชุมพร, 2555) อีกทั้งปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์โดยใช้ค่าพลังงานความร้อนและค่ามวล เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันพืชบริสุทธิ์สำหรับบริโภคการปันส่วนโดยค่ามวลจึงเหมาะสมกับการนำค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ไปใช้งานในกรณีนี้ นอกจากนี้น้ำมันปาล์มดิบถูกนำไปผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้แทนน้ำมันดีเซลที่มาจากฟอสซิล การปันส่วนโดยค่าพลังงานความร้อนจึงเหมาะสมกับการนำค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ไปใช้ในกรณีนี้ ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการปันส่วนมาจากการศึกษาของ Kaewmai *et al.* (2012) ซึ่งแสดงในตารางที่ 2-5 การปันส่วนโดยใช้ค่ามวลใช้ปริมาณของน้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดในและกะลาที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลของโรงงาน ดังแสดงในตารางที่ 2-6 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดในและกะลา

ตาราง 2-4 ค่าราคาของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ร่วมที่ใช้ในการปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์

จังหวัด	น้ำมันปาล์มดิบ (บาท/ตัน)	เมล็ดใน (บาท/ตัน)	กะลา (บาท/ตัน)
กระบี่	28,043	18,000	2,270
ชุมพร	23,038	18,550	2,171
สุราษฎร์ธานี	27,747	19,100	2,040
ชลบุรี	26,073[1]	10,500[1]	2,800[1]

ที่มา : สำนักงานการค้าภายในจังหวัดกระบี่ (2555)
สำนักงานการค้าภายในจังหวัดชุมพร (2555)
สำนักงานการค้าภายในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (2555)
[1] เป็นค่าราคาเฉลี่ยหน้าโรงงาน

ตาราง 2-5 ค่าพลังงานความร้อนของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ร่วม

ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ย
น้ำมันปาล์มดิบ	เมกะจูลต่อตัน	39,212
เมล็ดใน	เมกะจูลต่อตัน	25,947
กะลา	เมกะจูลต่อตัน	16,639

ที่มา : Kaewmai *et al.* (2012)

ตาราง 2-6 ค่ามวลที่ใช้ในการปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์

จังหวัด	น้ำมันปาล์มดิบ (ตัน)	เมล็ดใน (ตัน)	กะลา (ตัน)
กระบี่	109,241	37,393	41,907
ชุมพร	103,297	23,713	26,611
สุราษฎร์ธานี	72,495	24,686	26,019
ชลบุรี	66,478	17,521	22,451

2.4 การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์รวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้ง (กรณี 3)

การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ในหัวข้อนี้คำนวณโดยคิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้ง ถึงแม้ในปัจจุบันนี้ไม่มีการทิ้งน้ำทิ้งจากโรงงานก็ตาม แต่เพื่อศึกษาผลของเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตหากโรงงานทิ้งน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว ค่าวอเตอร์-ฟุตพรินต์ที่ได้จากการคำนวณถูกรายงานเป็นค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักรายจังหวัด เกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งคำนวณโดยใช้ค่าบีโอดี เนื่องจากแหล่งน้ำที่นำมาใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบเป็นมาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ซึ่งไม่มีการรายงานค่าของซีโอดีแต่มีการรายงานค่าบีโอดี (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) ดังนั้นค่าบีโอดีจึงถูกนำมาใช้ในการคำนวณในกรณีนี้และคำนวณค่าเกรย์วอเตอร์โดยใช้ค่าบีโอ

ดีเท่ากับ 20 มก.ต่อลิตรตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สมการที่ใช้ในการคำนวณเกรย์วอเตอร์แสดงในหน้า 17 และปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆโดยใช้ค่าราคาค่าพลังงานความร้อนและมวล

2.5 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย

การคำนวณในหัวข้อนี้เป็นการคำนวณปริมาณวอเตอร์ฟุตพรินต์ทั้งหมดของน้ำมันปาล์มดิบที่ประเทศไทยสกัดได้ โดยรายงานเป็นค่า กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์ เกรย์วอเตอร์และวอเตอร์ฟุตพรินต์รวม

2.6 การนำค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ไปใช้ประโยชน์

วอเตอร์ฟุตพรินต์เป็นแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในอนาคต ดังนั้นการนำค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ไปใช้ประโยชน์จะช่วยในเรื่องการจัดการบริหารน้ำ โดยพิจารณาร่วมกับค่าดัชนีความเครียดของน้ำ (water stress index : WSI) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอัตราส่วนของการใช้น้ำจากกิจกรรมทั้งหมดในพื้นที่ (water use) ต่อปริมาณน้ำสะอาดที่มีในพื้นที่ (freshwater availability)

2.7 การลดการใช้น้ำเพื่อการลดค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์

การลดค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์นั้นได้ดำเนินการ 2 แนวทางได้แก่ 1) การลดการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม 2) การเพิ่มผลผลิตจากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ การลดการใช้น้ำในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบนั้นแบ่งออกเป็นสองส่วนได้แก่ การลดการใช้น้ำทางตรงในโรงงาน และ การลดการใช้น้ำทางอ้อมจากการผลิต การขนส่งสารขาเข้า และการใช้พลังงาน เป็นต้น โดยมาตรการต่างๆ ที่ลดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ตลอดจนมาตรการการเพิ่มผลผลิต และปริมาณน้ำที่ลดลงจากการดำเนินการตามมาตรการแต่ละมาตรการได้ถูกนำเสนอในบทที่ 3

นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นได้ทำการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำใช้ของโรงงานที่มีการใช้น้ำในโรงงานมากที่สุด น้อยที่สุดและค่าเฉลี่ยเพื่อแสดงความเป็นไปได้ในการลดการใช้น้ำ กรณีที่ส่วนต่างของปริมาณน้ำใช้ระหว่างโรงงานที่มีการใช้น้ำมากที่สุด กับโรงงานที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดมีค่าสูงจะแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการศึกษา วิเคราะห์หาวิธีการการใช้น้ำของโรงงานที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดเพื่อนำไปใช้งานกับโรงงานอื่นๆ ต่อไป

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์

การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์เป็นการประเมินการใช้น้ำต่อผลิตภัณฑ์ โดยคำนวณจากผลรวมของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์ และเกรย์วอเตอร์ อีกทั้งต้องประเมินการใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อม โดยกรีนวอเตอร์ คือ น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่อยู่ในดินหรือความชื้นในดิน บลูวอเตอร์ คือ น้ำที่มาจากแหล่งน้ำผิวดิน ใต้ดินและน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ส่วนเกรย์วอเตอร์ คือ ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเจือจางน้ำเสียให้มีคุณภาพน้ำเทียบเท่ากับน้ำธรรมชาติ (Hoekstra *et al.,* 2011)

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันในงานวิจัยนี้ใช้ค่าจากรายงานการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ผลิตภัณฑ์ปาล์มน้ำมัน ไบโอดีเซล และยางพารา (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2556) ซึ่งคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันโดยใช้วิธีหาค่าความต้องการน้ำของพืช (crop water requirement : CWR) โดยคำนวณทั้งการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม การใช้น้ำทางตรงคำนวณจากความต้องการน้ำของพืชโดยใช้โปรแกรม CROPWAT และคำนวณเกรย์วอเตอร์จากการใช้ปุ๋ย ส่วนการใช้น้ำทางอ้อมคำนวณจากการใช้น้ำมันในการขนส่งต้นกล้า ปุ๋ยและสารเคมี การผลิตปุ๋ยและสารเคมี รวมทั้งการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า จากการศึกษาดังกล่าวพบว่า ค่าการใช้น้ำทางอ้อมมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าการใช้น้ำทางตรง ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันในจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพรและชลบุรีมีค่าเป็น 1,335 1,123 1,501 และ 1,494 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ตามลำดับ ส่วนการคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ การใช้น้ำทางตรง คือ น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น น้ำที่ใช้ในกระบวนการนึ่งปาล์ม ย่อยผลปาล์มและบีบผลปาล์ม ส่วนการใช้น้ำทางอ้อม คือ น้ำที่ใช้ในการผลิตสารเคมี ไฟฟ้าและน้ำมันดีเซลซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตและใช้ในการขนส่งสารเคมีและทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน

3.1.1 เทคโนโลยีการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก

การสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบเปียก สารขาเข้าได้แก่ ทะลายปาล์มสด สารเคมี น้ำมันดีเซล ไฟฟ้าและน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตแสดงไว้ในตารางที่ 3-1

ตาราง 3-1 บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วง	เฉลี่ย (7 โรงงาน)[1]	ค่าที่ดีที่สุด (1 โรงงาน)[2]	การศึกษาของ Kaewmai *et al.* 2012	การศึกษาของ Kaewmai *et al.* 2013
สารขาเข้า						
ทะลายปาล์มสด	ตัน	4.42 - 6.27	5.54	5.89	6.07	5.88
ปริมาณการใช้น้ำ	ลบ.ม.	3.11 - 7.27	5.02	3.11	5.31	4.59
ปริมาณไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	0.23 - 21.9	10.8	1.77	10.6	14.4
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล)	ลิตร	1.17 - 8.97	3.34	2.36	3.28	3.71
ปริมาณการใช้สารเคมี						
- ดินขาว	กิโลกรัม	6.34 - 11.5	9.98	11.5	15.2	12.8
- คลอรีน	กิโลกรัม	0.12 - 1.02	0.32	0.12	-	0.08
- โซเดียมคลอไรด์	กิโลกรัม	0.09 - 1.23	0.35	0.29	0.68	0.81
- โซเดียมไฮดรอกไซด์	กิโลกรัม	0.18 - 2.33	0.40	-	0.51	-
- โซเดียมไฮโปคลอไรด์	กิโลกรัม	0.09 - 1.24	0.21	-	-	-
- กรดไฮโดรคลอริค	กิโลกรัม	1.31 - 4.27	0.78	-	0.55	-
- สารส้ม	กิโลกรัม	0.10 - 1.14	0.24	-	-	-
- โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์	กิโลกรัม	0.10 - 0.42	0.09	0.11	0.23	0.53

[1] ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก

[2] โรงงานที่มีการใช้น้ำในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุด

ตาราง 3-1 บัญชีรายการสำหรับการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน (ต่อ)

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วง	เฉลี่ย (7 โรงงาน)[1]	ค่าที่ดีที่สุด (1 โรงงาน)[2]	การศึกษาของ Kaewmai *et al*. 2012	การศึกษาของ Kaewmai *et al*. 2013
- ไดคลีน	กิโลกรัม	0.19 - 0.24	0.07	-	-	-
สารขาออก						
ผลิตภัณฑ์หลัก						
- น้ำมันปาล์มดิบ	ตัน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ผลิตภัณฑ์ร่วม						
- เมล็ดใน	ตัน	0.22 - 0.35	0.29	0.35	0.20	0.32
- เส้นใย[3]	ตัน	0.04 - 0.80	0.64	0.71	0.58	0.37
- กะลา	ตัน	0.20 - 0.38	0.33	0.35	0.37	0.30
วัสดุเศษเหลือ						
- ทะลายปาล์มเปล่า[4]	ตัน	0.17 - 1.42	0.99	1.18	1.21	0.96
- กากตะกอนดีแคนเตอร์[4]	ตัน	0.09 - 0.31	0.14	0.18	0.16	0.17

[1] ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก

[2] โรงงานที่มีการใช้น้ำในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุด

[3] ปริมาณที่เหลือจากการถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อบอยเลอร์จำนวน 1 โรงงานและเป็นข้อมูลจริงที่เก็บจากโรงงานจำนวน 6 โรงงาน

[4] ปริมาณที่เหลือจากการถูกใช้เป็นปุ๋ยจำนวน 3 โรงงานและเป็นข้อมูลจริงที่เก็บข้อมูลจำนวน 4 โรงงาน

จากการศึกษาพบว่า การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตันต้องใช้ทะลายปาล์มสดเฉลี่ย 5.54 ตัน โดยมีอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วงร้อยละ 16 – 23 และอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 18.1 ในขณะที่โรงงานที่มีการใช้น้ำในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุดใช้ทะลายปาล์มสด 5.89 ตันในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน และมีอัตราการสกัดเป็นร้อยละ 17.0 จึงกล่าวได้ว่าในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตันของโรงงานที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดมีการใช้ทะลายปาล์มสดที่สูงกว่าค่าเฉลี่ย เนื่องจากน้ำร้อนในหม้อนึ่งมีน้ำมันบางส่วนออกไปเป็นน้ำเสียและโรงงานที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดไม่มีการนำน้ำมันที่อยู่ในทะลายปาล์มเปล่ากลับคืนมา จึงทำให้มีน้ำมันสูญเสียในทะลายปาล์มเปล่าและเกิดจากการสูญเสียน้ำมันในกระบวนการผลิต จากการศึกษาของ Kaewmai *et al.* (2012 และ 2013) พบว่า การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตันต้องใช้ทะลายปาล์มสด 6.07 และ 5.88 ตันตามลำดับ โดยมีอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วงร้อยละ 14-19 และมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 16.5 จากข้างต้นกล่าวได้ว่าปริมาณทะลายปาล์มสดที่ใช้ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตันและอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับงานวิจัยที่ผ่านมา

การใช้ไฟฟ้าในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมาจาก 3 แหล่งใหญ่ๆได้แก่ 1) ไฟฟ้าจากกังหันไอน้ำซึ่งใช้เส้นใยเป็นเชื้อเพลิง 2) ไฟฟ้าจากระบบรวบรวมแก๊สชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสีย และ 3) ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์ในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะไฟฟ้าที่มาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอย่างเดียวเท่านั้น เนื่องจากไฟฟ้าที่มาจากกังหันไอน้ำซึ่งใช้เส้นใยเป็นเชื้อเพลิงและไฟฟ้าจากระบบรวบรวมแก๊สชีวภาพนั้นเป็นการนำของเสียที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมาใช้ประโยชน์จึงไม่คิดรวมไฟฟ้าที่มาจากส่วนนี้ จากการศึกษาพบว่า การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเฉลี่ย 10.8 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยมีช่วงของการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอยู่ในช่วง 0.23 – 21.9 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในขณะที่โรงงานที่มีการใช้น้ำในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุดใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพียง 1.77 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน จากการศึกษาของ Kaewmai *et al.* (2012) พบว่าการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตันต้องใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 10.6 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และจากการศึกษาของ Kaewmai *et al.* (2013) พบว่าต้องใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 14.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมงในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน จากการศึกษาดังกล่าวปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากงานวิจัยของ Kaewmai *et al.* (2012) ศึกษาโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบจำนวน 14 โรงงาน โดยมี 4 โรงงานที่ไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพและจากงานวิจัยของ Kaewmai *et al.* (2013) ศึกษาโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 6 โรงงาน โดยมี 2 โรงงานที่ไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพจึงต้องนำไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาใช้ในบางขั้นตอนซึ่งส่งผลให้ต้องใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในปริมาณที่สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ จากการศึกษาพบว่า การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตันต้องใช้น้ำในกระบวนการสกัดเฉลี่ย 5.02 ลบ.ม. ในขณะที่โรงงานที่มีการใช้น้ำในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุดใช้น้ำ 3.11 ลบ.ม.เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน ทั้งนี้เนื่องจาก โรงงานดังกล่าวใช้เทคโนโลยีหม้อนึ่งแบบแนวตั้งแทนหม้อนึ่งแบบเดิมคือแบบแนวนอนและจากการศึกษาพบว่า ปริมาณการใช้น้ำของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีค่าน้อยกว่าปริมาณการใช้น้ำจากการศึกษาของ Kaewmai *et al.* (2012) เล็กน้อย ซึ่งในการ

สกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตันต้องใช้น้ำ 5.31 ลบ.ม.แต่มีค่ามากกว่าการศึกษาของ Kaewmai *et al.* (2013) ซึ่งต้องใช้น้ำ 4.59 ลบ.ม.ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นข้างต้นอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากความแตกต่างของเทคโนโลยีของหม้อนึ่งทีมีการใช้น้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน การควบคุมหมอไอน้ำและประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำของแต่ละโรงงาน

จากการวิเคราะห์น้ำมันดีเซลที่ใช้สำหรับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าและใช้สำหรับขนส่งภายในโรงงาน พบว่า การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตันต้องใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 3.34 ลิตร ในขณะที่โรงงานที่มีการใช้น้ำในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุดใช้น้ำมันดีเซล 2.36 ลิตรในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตัน ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำมันดีเซลในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของการศึกษาในครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Kaewmai *et al.* (2012, 2013) ซึ่งมีค่าการใช้น้ำมันดีเซลเท่ากับ 3.28 และ 3.71 ลิตรต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ

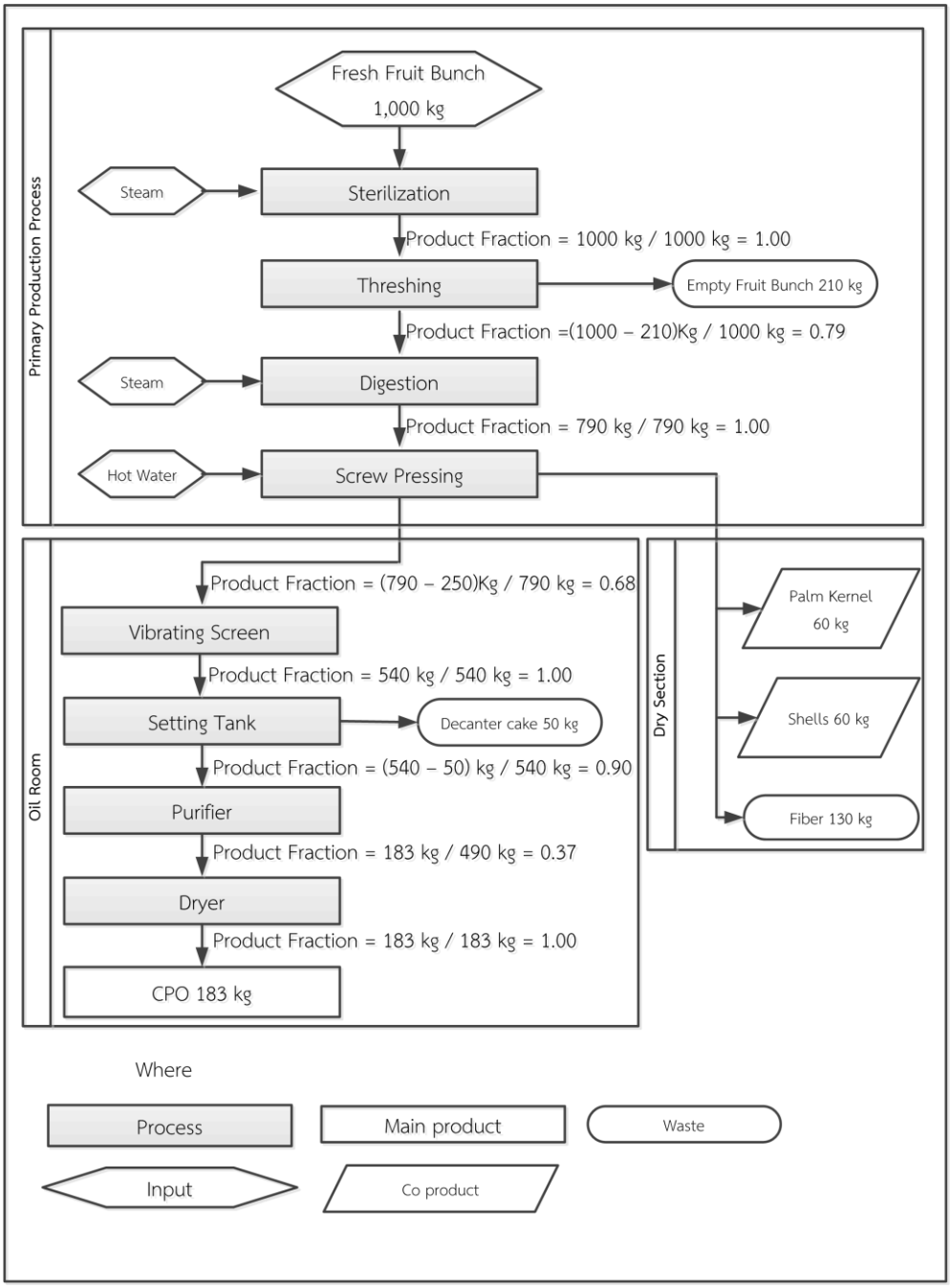
นอกจากนี้มีสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ ดินขาว คลอรีน โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริค โพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟต โพลี-อลูมิเนียมคลอไรด์และไดคลีน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3-1

การศึกษานี้ได้ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบจากการสกัดทะลายปาล์มสด 1 ตันเฉลี่ยร้อย-ละ 18.1 ผลิตภัณฑ์ร่วมประกอบด้วย เมล็ดในมีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 5.3 กะลามีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 6.0 และได้วัสดุเศษเหลือได้แก่ เส้นใยมีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 11.6 โดยร้อยละของเส้นใยคำนวณจากส่วนที่เหลือจากการถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ ทะลายปาล์มเปล่ามีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 17.9 และกากตะกอนดีแคนเตอร์มีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 2.5 โดยทะลายปาล์มเปล่าและกากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นปริมาณที่เหลือจากการถูกใช้เป็นปุ๋ย อย่างไรก็ตามผลรวมของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ขาออกไม่เท่ากับน้ำหนักของทะลายปาล์มสด อันเนื่องมาจากการคำนวณผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ร่วมและของเสียที่เกิดขึ้นคิดต่อน้ำหนักเปียกของทะลายปาล์มสด และเนื่องจากในการผลิตมีการสูญเสียน้ำในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ได้แก่ การนึ่งปาล์ม ย่อยปาล์ม บีบผลปาล์มและสูญเสียน้ำในรูปของความชื้น

3.1.2 สัดส่วนผลิตภัณฑ์

การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เริ่มจากการหาสัดส่วนผลิตภัณฑ์ ซึ่งหาได้จากมวลของผลิตภัณฑ์ต่อมวลวัตถุดิบ ในการศึกษานี้หาค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎีเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มาจากข้อมูลจริงของโรงงาน การหาสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎีทำได้โดยใช้ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ร่วมและของเสียที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี ได้แก่ ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 18.3 โดยน้ำหนักเปียกของทะลายปาล์มสด เมล็ดในร้อย-ละ 6 โดยน้ำหนักเปียกของทะลายปาล์มสด เส้นใยร้อยละ 13 โดยน้ำหนักเปียกของทะลายปาล์มสด กะลาร้อยละ 6 โดยน้ำหนักเปียกของทะลายปาล์มสด ทะลายปาล์มเปล่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนักปียกของทะลายปาล์มสด และกากตะกอนดีแคนเตอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเปียกของทะลายปาล์มสด (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2006)

รูปที่ 3-1 แสดงการคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบซึ่งพบว่าทะลายปาล์มสด 1 ตัน เมื่อผ่านกระบวนการนึ่งปาล์ม (sterilization) ซึ่งไม่มีผลิตภัณฑ์หรือของเสียเกิดขึ้นจากขั้นตอนนี้ ดังนั้นสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนการนึ่งปาล์มจึงมีค่าเท่ากับ 1.00



รูปที่ 3-1 ตัวอย่างการคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์โดยใช้ข้อมูลทางทฤษฎี
ที่มา: ค่าที่ใช้ในการคำนวณได้มาจากการศึกษาของ Department of Alternative Energy Development and Efficiency (2006)

จากนั้นทะลายปาล์มสดที่ผ่านขั้นตอนการนึ่งเข้าสู่ขั้นตอนการแยกผลปาล์ม (threshing) จากขั้นตอนนี้ได้ทะลายปาล์มเปล่า 210 กิโลกรัมซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือและได้ผลปาล์มสด 790 กิโลกรัมเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนการแยกผลปาล์มจึงมีค่าเท่ากับ 0.79

ผลปาล์มที่ได้เข้าสู่ขั้นตอนการย่อยผลปาล์ม (digestion) ในขั้นตอนนี้ไม่มีผลิตภัณฑ์หรือของเสียเกิดขึ้น ดังนั้นสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนการย่อยผลปาล์มจึงมีค่าเท่ากับ 1.00

ผลปาล์มที่ผ่านการย่อยแล้วเข้าสู่ขั้นตอนการบีบผลปาล์ม (screw pressing) ในขั้นตอนนี้ได้เส้นใย 130 กิโลกรัม กะลา 60 กิโลกรัม และเมล็ดใน 60 กิโลกรัมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม และได้น้ำมันปาล์มดิบ 540 กิโลกรัมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลัก สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนการบีบผลปาล์มจึงมีค่าเท่ากับ 0.68

น้ำมันปาล์มดิบผ่านขั้นตอนการบีบผลปาล์มเข้าสู่ขั้นตอนตะแกรงสั่น (vibrating screen) ของเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้มีปริมาณน้อยมากจึงไม่คิดของเสียที่เกิดขึ้น ดังนั้นสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนการผ่านตะแกรงสั่นจึงมีค่าเท่ากับ 1.00

น้ำมันปาล์มดิบผ่านขั้นตอนตะแกรงสั่นเข้าสู่ขั้นตอนถังตกตะกอน (setting tank) ในขั้นตอนนี้ได้กากตะกอนดีแคนเตอร์ 50 กิโลกรัมซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือและได้น้ำมันปาล์มดิบ 490 กิโลกรัมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ดังนั้นสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนถังตกตะกอนมีค่าเท่ากับ 0.90

น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านขั้นตอนถังตกตะกอนเข้าสู่ขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ (purifier) ขั้นตอนนี้ได้น้ำมันปาล์มดิบ 183 กิโลกรัม สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ 0.37

จากนั้นน้ำมันปาล์มดิบถูกกำจัดน้ำในขั้นตอนการกำจัดน้ำ (dryer) ขั้นตอนนี้มีการนำน้ำออกจากน้ำมันปาล์มดิบ แต่การคิดสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่คิดรวมน้ำที่ออกจากกระบวนการผลิตทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักผลิตภัณฑ์ยังมีค่าคงเดิม ดังนั้นสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนการกำจัดน้ำจึงมีค่าเท่ากับ 1.00

จากตารางที่ 3-2 ซึ่งแสดงสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่คำนวณโดยใช้ข้อมูลผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์ร่วม และของเสียที่เกิดขึ้นจริงจากโรงงานซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ ทะลายปาล์มสด เมล็ดใน กะลา เส้นใยและกากตะกอนดีแคนเตอร์

ขั้นตอนการนึ่งปาล์ม สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนนี้มีค่าเท่ากันทุกโรงงานคือ 1.00 และมีค่าเท่ากับค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี เนื่องจากขั้นตอนนี้ไม่มีผลิตภัณฑ์ร่วมหรือของเสียเกิดขึ้น

ขั้นตอนการแยกผลปาล์มมีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.77 – 0.80 จากการศึกษาพบว่าโรงงาน A, B, E และ G มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับค่าทางทฤษฎีซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.80 ค่าดังกล่าวของโรงงาน A และ G เป็นค่าจริงของโรงงานและ เมื่อพิจารณาโรงงาน B และ E พบว่าโรงงาน B และ E มีปริมาณทะลายปาล์มเปล่าน้อยมากเนื่องจากเป็นค่าที่รวบรวมได้เป็นปริมาณทะลายปาล์มเปล่าที่เหลือจากการใช้ทำปุ๋ยจึงใช้ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎีในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์ ส่วนค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงาน C, D และ F มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.77 , 0.78 และ 0.78 ตามลำดับ

ตาราง 3-2 สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

กระบวนการ	สัดส่วนผลิตภัณฑ์								
	โรงงาน A	โรงงาน B	โรงงาน C	โรงงาน D	โรงงาน E	โรงงาน F	โรงงาน G	ช่วง	ค่าทางทฤษฎี
การนึ่งปาล์ม	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	1.00
การแยกผลปาล์ม	0.80	0.80[1]	0.77	0.78	0.80[1]	0.78	0.80	0.77 – 0.80	0.80
การย่อยผลปาล์ม	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	1.00
การบีบผลปาล์ม	0.70	0.85	0.68	0.73	0.72	0.65	0.69	0.65 – 0.85	0.68
กรองผ่านตะแกรงสั่น[2]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	1.00
ถังตกตะกอน	0.95	0.98	0.90	0.94	0.95	0.96	0.96	0.90 - 0.98	0.90
การทำให้บริสุทธิ์	0.32	0.24	0.35	0.33	0.42	0.40	0.33	0.24– 0.42	0.37
การกำจัดน้ำ[3]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	1.00

[1] เป็นค่าทางทฤษฎี เนื่องจากค่าจริงที่ได้จากโรงงานมีค่าน้อยกว่าค่าทางทฤษฎีมาก

[2] ขั้นตอนการกรองผ่านตะแกรงสั่นของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมากจึงไม่คิดของเสียที่เกิดขึ้น

[3] ขั้นตอนการกำจัดน้ำเป็นการนำน้ำออกจากน้ำมันปาล์มดิบ การคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์คิดเฉพาะของแข็ง

ขั้นตอนการย่อยผลปาล์ม สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนนี้มีค่าเท่ากับ 1.00 ทุกโรงงานและมีค่าเท่ากับค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี

ขั้นตอนการบีบผลปาล์มมีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.65 – 0.85 จากการศึกษาพบว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงาน F มีค่าเท่ากับ 0.65 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎีซึ่งมีค่าเป็น 0.68 และโรงงาน C มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับค่าทางทฤษฎี ส่วนสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงาน A, B, D, E และ G มีค่ามากกว่าค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี เนื่องจากปริมาณเส้นใยที่นำมาคำนวณเหลือจากการใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อบอยเลอร์

ขั้นตอนการกรองผ่านตะแกรงสั่น สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนนี้ของแต่ละโรงงานมีค่าเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.00 เนื่องจากของเสียที่เกิดจากขั้นตอนนี้มีปริมาณน้อยมากจึงไม่คิดของเสียที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนถังตกตะกอนมีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.90 – 0.98 ได้กากตะกอนดีแคนเตอร์จากขั้นตอนนี้ จากการศึกษาพบว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงาน C มีค่าเท่ากับค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎีซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.90 นอกจากนั้นโรงงาน A, B, D, E, F และ G มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์สูงกว่าค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี โดยมีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.95, 0.98, 0.94 , 0.95 , 0.96 , และ 0.96 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่นำมาคำนวณในงานวิจัยนี้เป็นปริมาณที่เหลือจากการใช้ทำปุ๋ยจึงทำให้ปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่ได้น้อยกว่าปริมาณทางทฤษฎี

ขั้นตอนการทำน้ำมันปาล์มดิบให้บริสุทธิ์มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.24 – 0.42 โรงงาน A, B, C, D และ G มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.32 , 0.24 , 0.35 , 0.33 และ 0.33 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบที่ได้มีปริมาณน้อยกว่าปริมาณทางทฤษฎี ซึ่งค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 0.37 สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของโรงงาน E และ F มีค่าสูงกว่าค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ทางทฤษฎี คือมีค่าเท่ากับ 0.42 และ 0.40 เนื่องจากโรงงานมีการนำทะลายปาล์มเปล่ามาหีบเพื่อเอาน้ำมันปาล์มดิบอีกครั้ง

สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนการกำจัดน้ำของแต่ละโรงงานมีค่าเท่ากันคือ 1.00 เนื่องจากการคำนวณสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่คิดการนำน้ำออกจากกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์

3.1.3 ปริมาณน้ำทางตรงและทางอ้อมไม่คิดการปันส่วน

การใช้น้ำทางตรงของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีทั้งบลูวอเตอร์ทางตรงและเกรย์วอเตอร์ทางตรง แต่เนื่องจากในปัจจุบันโรงงานไม่มีการทิ้งน้ำจากกระบวนการผลิตจึงไม่มีเกรย์วอเตอร์ทางตรง ดังนั้นการใช้น้ำทางตรงจึงหมายถึงบลูวอเตอร์ทางตรงเพียงอย่างเดียว ประกอบด้วย น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ ขั้นตอนการนึ่งปาล์ม การย่อยผลปาล์มและการบีบผลปาล์ม อย่างไรก็ตามเนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์ค่าการใช้น้ำทางตรงของแต่ละกระบวนการได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงคำนวณจากปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดของโรงงานที่เก็บข้อมูลได้จริงเพื่อประเมินการใช้น้ำทางตรงดังแสดงในตารางที่ 3-3

ตาราง 3-3 ปริมาณน้ำทางตรงที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

โรงงาน	ปริมาณน้ำทางตรง (ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)
โรงงาน A	3.11
โรงงาน B	4.33
โรงงาน C	5.71
โรงงาน D	5.81
โรงงาน E	4.48
โรงงาน F	3.17
โรงงาน G	7.27
เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	5.02

ปริมาณการใช้น้ำทางตรงของแต่ละโรงงานอยู่ในช่วง 3.11 – 7.27 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ เมื่อพิจารณาค่าการใช้น้ำทางตรงรายโรงงานจากสูงไปต่ำพบว่า โรงงาน G มีการใช้น้ำทางตรงมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 7.27 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ รองลงมาเป็นโรงงาน D มีค่าการใช้น้ำทางตรงเป็น 5.81 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ โรงงาน C มีค่าการใช้น้ำทางตรงเท่ากับ 5.71 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ โรงงาน E มีค่าการใช้น้ำทางตรงเท่ากับ 4.84 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ โรงงาน B มีค่าการใช้น้ำทางตรงเท่ากับ 4.33 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ โรงงาน F มีค่าการใช้น้ำทางตรงเป็น 3.17 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และโรงงาน A มีการใช้น้ำทางตรงน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.11 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ เนื่องมาจากโรงงาน A มีการเปลี่ยนหม้อนึ่งจากหม้อนึ่งเก่ามาใช้หม้อนึ่งใหม่ที่มีเทคโนโลยีแตกต่างจากเดิม การดำเนินการดังกล่าวอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพในการนึ่งดีขึ้น การสูญเสียความร้อนและไอน้ำน้อยลงและอาจส่งผลให้มีการใช้น้ำลดลง น้ำใช้ทางตรงมีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 5.02 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ

การใช้น้ำทางอ้อมของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ คำนวณจากปริมาณสารเคมี ไฟฟ้าและน้ำมันดีเซลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงของโรงงาน แล้วนำมาคูณกับค่าตัวคูณการใช้น้ำซึ่งได้จากโปรแกรม Sigma Pro โดยใช้ฐานข้อมูล Ecoinvent v.2.2 คำนวณแบบ water depletion (ตารางที่ 2-3) การใช้น้ำทางอ้อม ประกอบด้วย วอเตอร์ฟุตพรินต์ของภาคการผลิตและภาคการขนส่ง วอเตอร์ฟุตพรินต์ของภาคการผลิต ประกอบด้วย วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตสารเคมี ไฟฟ้าที่มาจากการไฟฟ้า และน้ำมันดีเซล ซึ่งวอเตอร์ฟุตพรินต์ของสารเคมีประกอบด้วย ดินขาวและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ของภาคการขนส่งประกอบด้วย วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการขนส่งสารเคมี น้ำมันดีเซลและทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน แสดงในตารางที่ 3-4

จากการศึกษาพบว่า โรงงาน A มีค่าการใช้น้ำทางอ้อมเท่ากับ 0.2905 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อมส่วนใหญ่มาจากการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 64.0 รองลงมาเป็นวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตสารเคมี คิดเป็นร้อยละ 31.0 จาก

การศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตสารเคมีมาจากการผลิตดินขาวร้อยละ 93.4 และมาจากสารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำร้อยละ 6.60

เมื่อพิจารณาโรงงาน B มีค่าการใช้น้ำทางอ้อมเป็น 0.3867 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อมส่วนใหญ่มาจากการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 52.5 รองลงมาเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 13.0 จากการศึกษาพบว่า โรงงานนี้มีการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าและน้ำมันดีเซลสูงกว่าโรงงานอื่นๆที่ทำการศึกษา เนื่องปริมาณเส้นใยที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีน้อยมากจึงจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าที่มาจากการไฟฟ้าและน้ำมันดีเซลในการเดินระบบสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ตาราง 3-4 ปริมาณการใช้วอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อมของแต่ละโรงงาน (ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)

โรงงาน	ผลิต			ขนส่ง			วอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อม
	ไฟฟ้า	สารเคมี	น้ำมันดีเซล	สารเคมี	น้ำมันดีเซล	ทะลายปาล์มสด	
A	0.0041 (1.40)	0.0906 (31.0)	0.0084 (2.91)	0.0013 (0.45)	0.0002 (0.06)	0.1859 (64.0)	0.2905
B	0.0503 (13.0)	0.0990 (25.6)	0.0322 (8.32)	0.0013 (0.35)	0.0009 (0.23)	0.2029 (52.5)	0.3867
C	0.0070 (4.45)	0.0830 (53.0)	0.0097 (6.17)	0.0011 (0.69)	0.0001 (0.09)	0.0559 (35.6)	0.1568
D	0.0252 (2.75)	0.2277 (24.9)	0.0161 (1.75)	0.0049 (0.53)	0.0015 (0.17)	0.6407 (69.9)	0.9161
E	0.0284 (6.50)	0.2085 (47.5)	0.0042 (0.98)	0.008 (0.19)	0.0001 (0.03)	0.1966 (44.8)	0.4386
F	0.0005 (0.12)	0.3293 (71.1)	0.0150 (3.23)	0.0027 (0.59)	0.0003 (0.06)	0.1151 (24.9)	0.4629
G	0.0232 (10.1)	0.1053 (45.9)	0.0053 (2.32)	0.0008 (0.33)	0.0001 (0.05)	0.0946 (41.3)	0.2292
เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	0.0184 (4.33)	0.1763 (41.5)	0.0120 (2.80)	0.0019 (0.46)	0.0004 (0.11)	0.2158 (50.8)	0.4249

( ) สัดส่วนร้อยละ

โรงงาน C มีค่าการใช้น้ำทางอ้อมเท่ากับ 0.1568 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ วอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อมส่วนใหญ่มาจากการผลิตสารเคมี คิดเป็นร้อยละ 53.0 รองลงมาเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 35.6 เมื่อพิจารณาวอ-

เตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตสารเคมีพบว่า มาจากการผลิตดินขาวร้อยละ 91.5 และมาจากสารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำร้อยละ 8.50

เมื่อพิจารณาค่าการใช้น้ำทางอ้อมของโรงงาน D พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.9161 ลบ.ม. ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ โดยวอเตอร์ฟุตพรินต์ส่วนใหญ่มาจากการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน ร้อยละ 69.9 เนื่องจากระยะทางไกลสุดที่โรงงานรับซื้อทะลายปาล์มสดคือ 80 กิโลเมตร (ทะลายปาล์มสดที่รับซื้อในช่วง 80 กิโลเมตรคิดเป็นร้อยละ 26.7) ซึ่งระยะทางดังกล่าวไกลว่าค่าที่โรงงานอื่นรับซื้อปาล์มน้ำมันในการศึกษาครั้งนี้ และวอเตอร์ฟุตพรินต์จากการผลิตสารเคมีซึ่งคิดเป็นร้อยละ 24.9 จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตสารเคมีมาจากการผลิตดินขาวร้อยละ 32.4 และมาจากสารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำร้อยละ 67.6 เนื่องจากน้ำดิบของโรงงานนี้มีค่าความด่างสูงจึงทำให้ต้องใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในปริมาณที่สูง

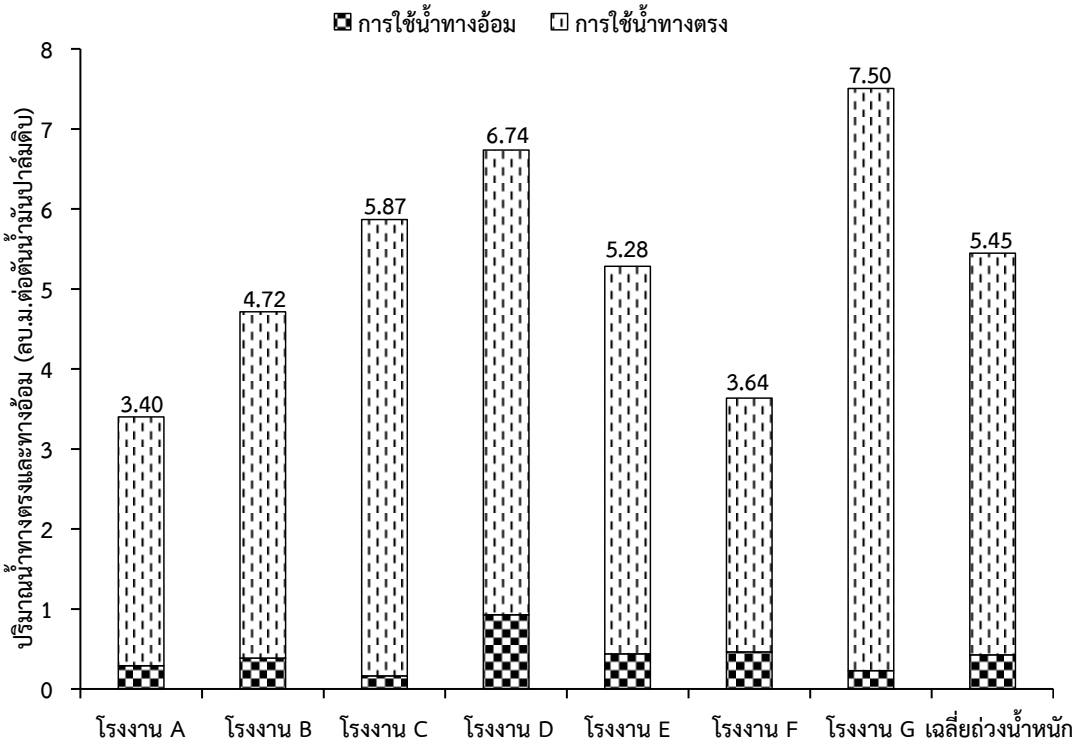
โรงงาน E มีค่าการใช้น้ำทางอ้อมเท่ากับ 0.4386 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อมส่วนใหญ่มาจากการผลิตสารเคมีและการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 47.5 และ 44.82 ตามลำดับ ซึ่งวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตสารเคมีมาจากการผลิตดินขาวร้อยละ 34.30 และมาจากสารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำร้อยละ 65.70 เนื่องจากน้ำดิบของโรงงานนี้มีค่าความด่างสูงและต้องกำจัดให้เหลือน้อยมากก่อนเข้าสู่หม้อไอน้ำทำให้ต้องใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในปริมาณที่สูง

ค่าการใช้น้ำทางอ้อมของโรงงาน F มีค่าเท่ากับ 0.4629 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ส่วนใหญ่มาจากการผลิตสารเคมีคิดเป็นร้อยละ 71.1 และการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 24.9 เมื่อพิจารณาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตสารเคมีพบว่า มาจากการผลิตดินขาวร้อยละ 14.1 และมาจากสารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำร้อยละ 85.9 จากการศึกษาพบว่า โรงงานนี้มีการใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำสูงกว่าโรงงานอื่นๆที่ทำการศึกษา เนื่องจากน้ำดิบของโรงงานนี้มีค่าความด่างสูงที่สุดจึงทำให้ต้องใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในปริมาณที่สูง จากข้างต้นกล่าวได้ว่าน้ำดิบประปาที่มีการปนเปื้อนมลสารสามารถส่งผลต่อค่าวอ-เตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน โดยจะส่งผลต่อปริมาณการใช้สารเคมีที่เพิ่มขึ้นในระบบผลิตน้ำประปาและน้ำสะอาดของโรงงาน การเลือกตั้งโรงงานในบริเวณที่มีแหล่งน้ำดิบคุณภาพดีเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ได้

เมื่อพิจารณาโรงงาน G มีค่าการใช้น้ำทางอ้อมเป็น 0.2292 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ส่วนใหญ่มาจากการผลิตสารเคมีและการขนส่งทะลายปาล์มสด คิดเป็นร้อยละ 45.9 และ 41.3 ตามลำดับ ซึ่งวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตสารเคมีมาจากการผลิตดินขาวร้อยละ 79.7 และมาจากสารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำร้อยละ 20.3

ค่าการใช้น้ำทางอ้อมของแต่ละโรงงานมีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเป็น 0.4249 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการผลิตไฟฟ้า สารเคมีและน้ำมันดีเซล คิดเป็นร้อยละ 4.33 , 41.50 และ 2.82 ตามลำดับ ส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการขนส่งสารเคมี น้ำมันดีเซลและทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงานคิดเป็นร้อยละ 0.46 , 0.11 และ 50.79 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อมส่วนใหญ่มาจากการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงานและการผลิตสารเคมี

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการใช้น้ำทางตรงรวมกับการใช้น้ำทางอ้อมของแต่ละโรงงานเพื่อนำไปคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์ในหัวข้อถัดไป พบว่าโรงงาน A มีค่าการใช้น้ำทางตรงรวมทางอ้อมมีค่าเท่ากับ 3.40 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย การใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อมคิดเป็นร้อยละ 91.5 และ 8.5 ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 45



รูปที่ 3-2 การใช้น้ำทางตรงรวมทางอ้อม โดยไม่คิดการปันส่วน

โรงงาน B มีค่าการใช้น้ำทางตรงรวมทางอ้อมมีค่าเป็น 4.72 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย การใช้น้ำทางตรงคิดเป็นร้อยละ 91.8 และการใช้น้ำทางอ้อมคิดเป็นร้อยละ 8.2

ค่าการใช้น้ำทางตรงรวมทางอ้อมของโรงงาน C มีค่าเท่ากับ 5.87 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย การใช้น้ำและทางอ้อมคิดเป็นร้อยละ 97.2 และ 2.8 ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่า โรงงาน D มีค่าการใช้น้ำทางตรงรวมทางอ้อมมีค่าเป็น 6.74 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย การใช้น้ำทางตรงและการใช้น้ำทางอ้อมคิดเป็นร้อยละ 86.3 และ 13.7 ตามลำดับ

โรงงาน E มีค่าการใช้น้ำทางตรงรวมทางอ้อมมีค่าเท่ากับ 5.28 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย การใช้น้ำทางตรง คิดเป็นร้อยละ 91.7 และการใช้น้ำทางอ้อม คิดเป็นร้อยละ 8.3

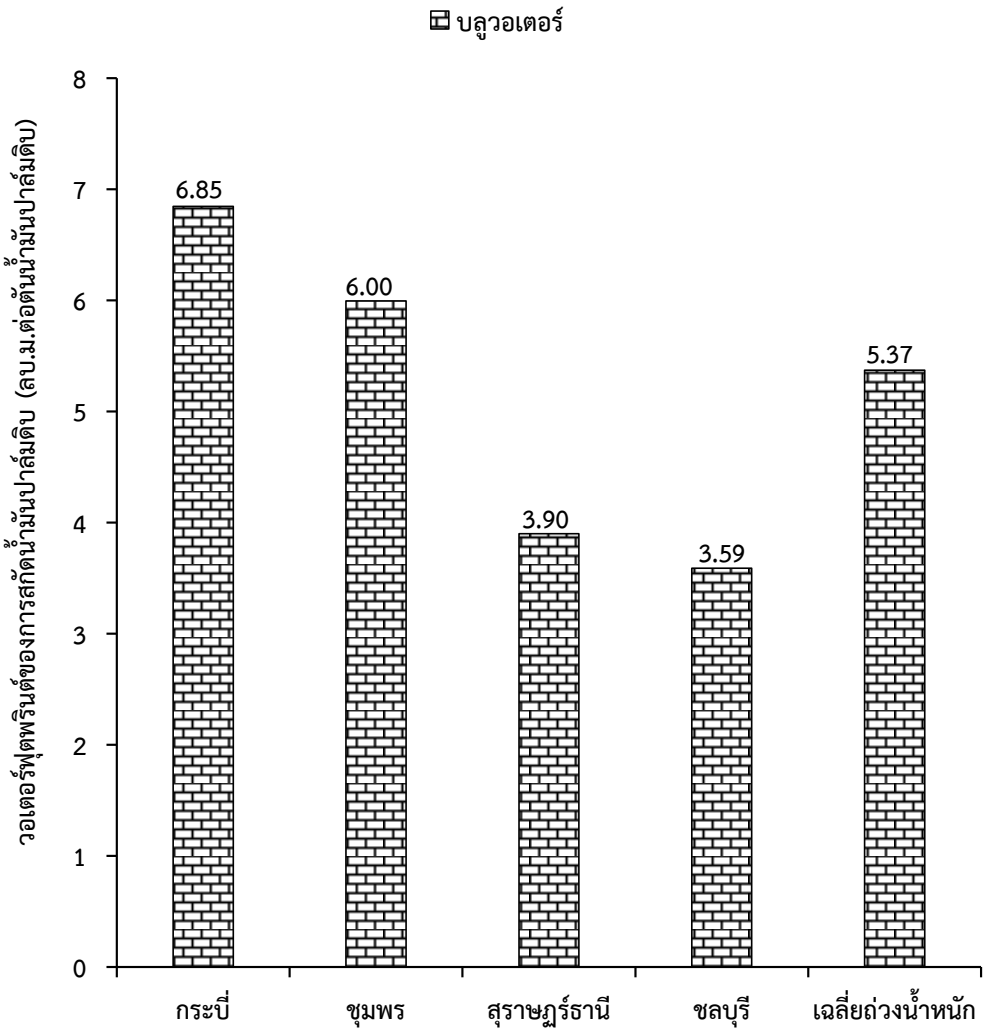
ค่าการใช้น้ำทางตรงรวมทางอ้อมของโรงงาน F มีค่าการใช้น้ำต่ำที่สุดเท่ากับ 3.64 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย การใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมคิดเป็นร้อยละ 87.3 และ 12.7 ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่าโรงงาน G มีค่าการใช้น้ำทางตรงรวมทางอ้อมสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 7.50 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย การใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมคิดเป็นร้อยละ 96.9 และ 3.1 ตามลำดับ

ค่าการใช้น้ำทางตรงรวมทางอ้อมของแต่ละโรงงานมีค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 5.45 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย การใช้น้ำทางตรง คิดเป็นร้อยละ 92.1 และการใช้น้ำทางอ้อม คิดเป็นร้อยละ 7.9

3.1.4 วอเตอร์ฟุตพรินต์ไม่คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด

หัวข้อนี้ประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์โดยไม่คิดการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อศึกษาวอ-เตอร์ฟุตพรินต์ที่เกิดจากโรงงานเพียงอย่างเดียว โดยผลการศึกษาที่ได้รายงานเป็นรายจังหวัด ในการคำนวณใช้ค่าการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมจากหัวข้อ 3.1.3 แล้วนำมาประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ด้วยวิธีขั้นตอนสะสม เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เป็นรายโรงงานจากสูงไปยังต่ำ จังหวัดกระบี่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 6.85 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ดังแสดงในรูปที่ 3-3 รองลงมาเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในจังหวัดชุมพรซึ่งมีค่าเป็น 6.00 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับ 3.90 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของจังหวัดชลบุรีมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 3.59 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบไม่คิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมันมีค่าเท่ากับ 5.37 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ที่เกิดขึ้นภายในโรงงานเป็นบลูวอเตอร์เพียงอย่างเดียว ความแตกต่างของค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่เกิดจากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในแต่ละจังหวัดนั้น อาจเกิดจากสาเหตุหลายประการเช่น ประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่ใช้ในการสกัดน้ำมันมันปาล์มดิบ ความชำนาญของบุคลากร การขาดแคลนน้ำในแต่ละพื้นที่ซึ่งทำให้ต้องใช้น้ำอย่างประหยัด และคุณภาพของน้ำดิบประปาที่ส่งผลต่อการใช้สารเคมีในการผลิตน้ำสะอาด เป็นต้น



รูปที่ 3-3 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ไม่คิดการปลูกและการปันส่วน

3.1.5 วอเตอร์ฟุตพรินต์คิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด (กรณี 2)

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสด ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพรและชลบุรีมีค่าเป็น 1,336 1,127 1,502 และ 1,496 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสดตามลำดับดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3-5 โดยในการคำนวณข้างต้นดำเนินการแบบ Cradle to gate และใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดที่คำนวณด้วยวิธี CWR (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2556) หัวข้อนี้ประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยคิดรวมวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมัน แต่ไม่คิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งของแต่ละโรงงาน เนื่องจากปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบไม่มีการปล่อยน้ำทิ้งออกนอกโรงงาน แต่มีการนำน้ำส่วนนี้ไปรดสวนปาล์มของโรงงาน จึงทำให้ไม่มีค่าเกรย์วอเตอร์ทางตรงจากน้ำทิ้ง

ดังนั้นหัวข้อนี้จะประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบแบบไม่คิดรวมเกรย์วอเตอร์ทางตรงจากน้ำทิ้งของแต่ละโรงงาน

ตาราง 3-5 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดโดยวิธีคำนวณความต้องการน้ำของพืช (Crop water requirement: CWR)

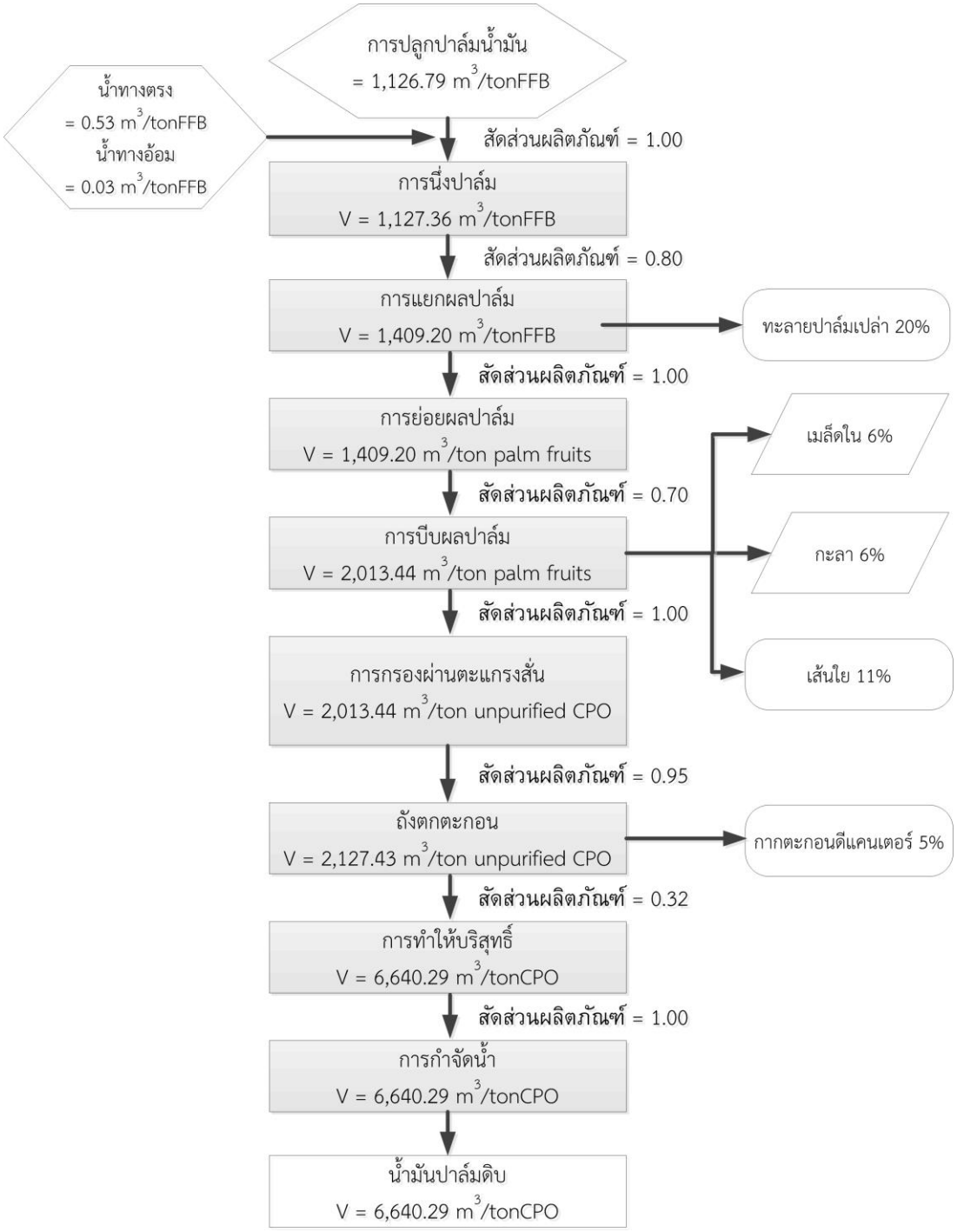
จังหวัด	วอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด)			
	กรีนวอเตอร์	บลูวอเตอร์	เกรย์วอเตอร์	วอเตอร์ฟุตพรินต์
กระบี่	576	570	189	1,336
สุราษฎร์ธานี	875	172	80	1,127
ชุมพร	987	184	332	1,502
ชลบุรี	734	633	129	1,496

ที่มา : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2556)

จากรูปที่ 3-4 เป็นตัวอย่างการคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยคิดรวมการปลูก ใช้วิธีการคำนวณแบบขั้นตอนสะสมตามวิธีการของ Hoekstra *et al.* (2011) โดยมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มจากใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,127 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด แต่ในตัวอย่างการคำนวณจะใช้ค่าทศนิยม 2 ตำแหน่งซึ่งมีค่า 1,126.79 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด

จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการนึ่งปาล์ม ขั้นตอนนี้มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.00 และมีการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมในขั้นตอนนี้เท่ากับ 0.53 และ 0.03 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของขั้นตอนการนึ่งปาล์มจะมีค่าเป็น 1,127.36 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด

เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการแยกผลปาล์มจะมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับ 1,409.20 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด ซึ่งขั้นตอนนี้มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.80 เนื่องจากได้ทะลายปาล์มเปล่าจากขั้นตอนนี้



รูปที่ 3-4 ตัวอย่างการคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์คิดรวมการปลูก
โดยใช้ข้อมูลจริงจากโรงงาน

จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการย่อยปาล์ม ขั้นตอนนี้มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.00 ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของขั้นตอนการนึ่งปาล์มจะมีค่าเป็น 1,409.20 ลบ.ม.ต่อตันทะลายปาล์มสด

เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการบีบผลปาล์ม ขั้นตอนนี้มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.70 เนื่องจากในขั้นตอนนี้ได้เมล็ด กะลา และเส้นใย ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของขั้นตอนการบีบผลปาล์มมีค่าเป็น 2,013.44 ลบ.ม.ต่อตันผลปาล์ม

จากนั้นเมื่อผ่านขั้นตอนการกรองผ่านตะแกรงสั่น ในขั้นตอนนี้มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.00 ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ขั้นตอนการกรองผ่านตะแกรงสั่นมีค่าเท่ากับ 2,013.44 ลบ.ม.น้ำมันปาล์มดิบไม่บริสุทธิ์

ขั้นตอนถังตกตะกอนมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับ 2,127.43 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบไม่บริสุทธิ์ ในขั้นตอนนี้มีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.95 และได้กากตะกอนดีแคนเตอร์จากขั้นตอนนี้

เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ ขั้นตอนนี้มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับ 6,640.39 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ขั้นตอนนี้จะได้ผลิตภัณฑ์หลักนั้นคือน้ำมันปาล์มดิบ

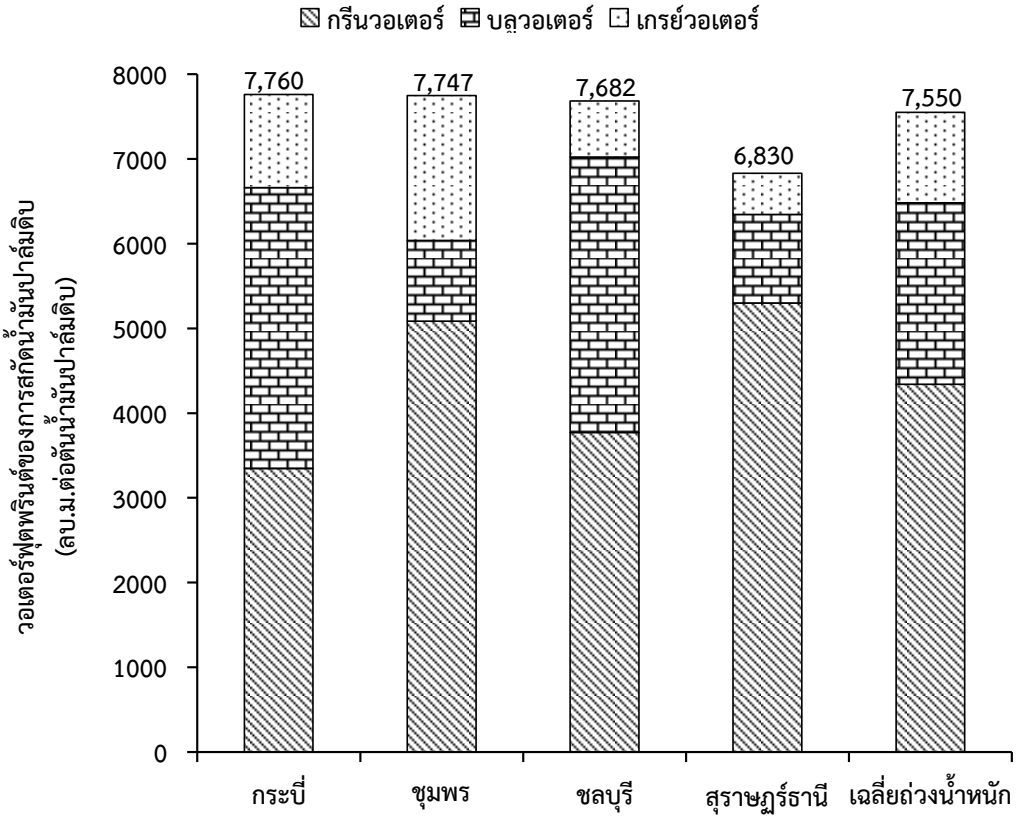
จากนั้นน้ำมันปาล์มดิบจะเข้าสู่ขั้นตอนการกำจัดน้ำ โดยมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเป็น 6,640.39 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งมีค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.00 เนื่องจากสัดส่วนผลิตภัณฑ์คำนวณเฉพาะของแข็ง ไม่คิดการนำน้ำออกจากกระบวนการผลิต

เมื่อพิจารณาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบพบว่า จังหวัดกระบี่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยไม่คิดการปันส่วนมีค่าสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 7,760 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ดังแสดงในรูปที่ 48 ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ร้อยละ 43.1 บลู-วอเตอร์ร้อยละ 42.7 และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 14.2

จังหวัดชุมพรมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยไม่คิดการปันส่วนมีค่าเท่ากับ 7,747 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 65.6 , 12.3 และ 22.1 ตามลำดับ

วอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยไม่คิดการปันส่วนของจังหวัดชลบุรีมีค่าเท่ากับ 7,682 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 49.1 , 42.3 และ 8.60 ตามลำดับ

จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบโดยไม่คิดการปันส่วนน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,830 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 77.6 , 15.3 และ 7.13 ตามลำดับ



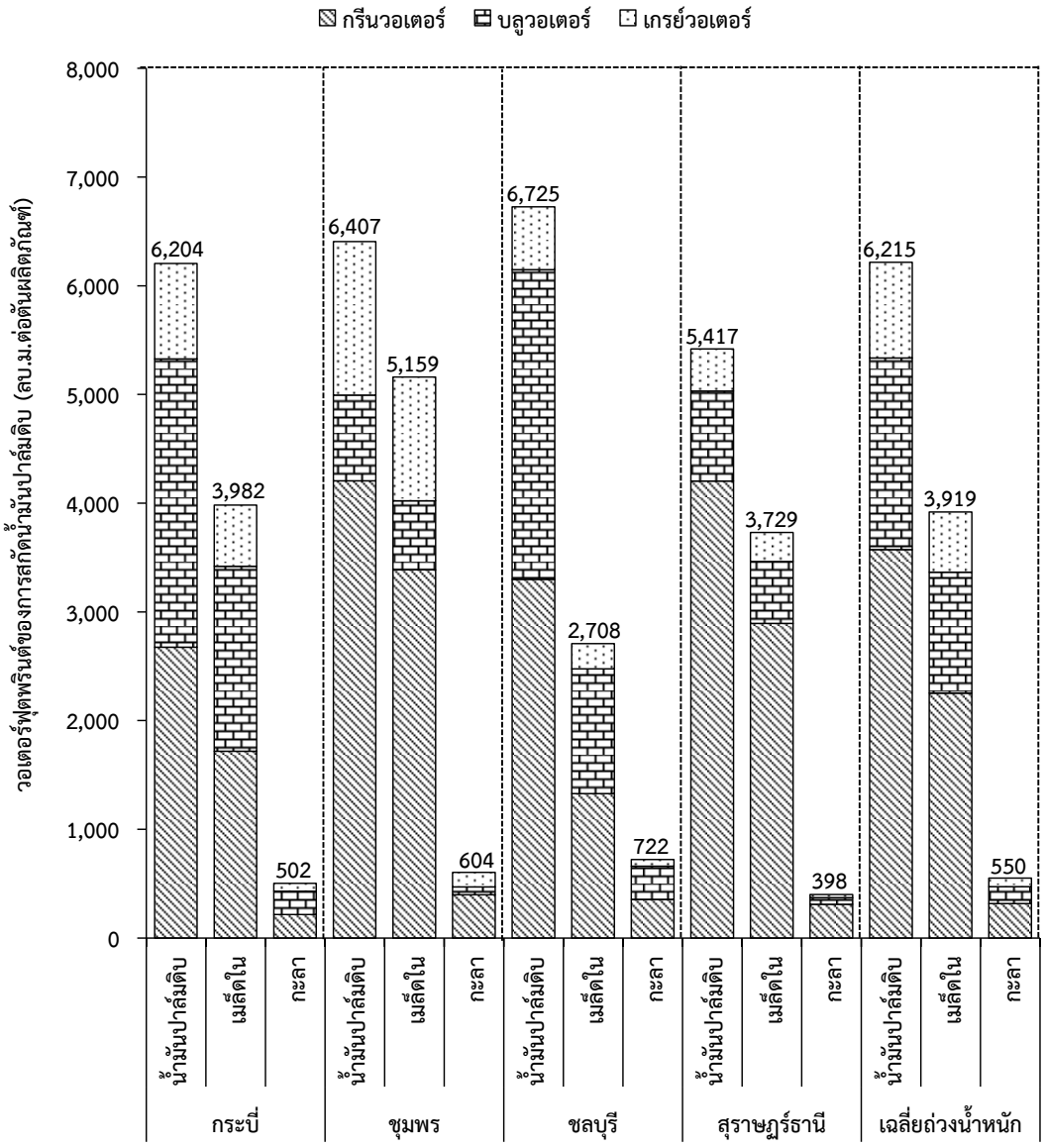
รูปที่ 3-5 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบไม่คิดการปันส่วน

วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยโดยไม่คิดการปันส่วนมีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 7,550 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 57.5 , 28.4 และ 14.2 ตามลำดับ

3.1.6 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่าราคา

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนให้ผลิตภัณฑ์ต่างๆโดยใช้ค่าราคาย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ.2549-2554) ราคาที่ใช้ในการปันส่วนเป็นราคาน้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดในและกะลาของจังหวัดนั้นๆยกเว้นจังหวัดชลบุรี ใช้ค่าราคาเฉลี่ยของประเทศในการปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ให้ผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 2-4) ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการปันส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดใน และกะลา

จากรูปที่ 3-6 เมื่อพิจารณาแต่ละจังหวัดพบว่าจังหวัดชลบุรีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,725 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 2,708 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลามีค่า 722 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 49.1 , 42.3 และ 8.60 ตามลำดับ



รูปที่ 3-6 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วน
โดยใช้ค่าราคา

จังหวัดชุมพรมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับ 6,407 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 5,159 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 604 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 65.6 , 12.3 และ 22.1 ตามลำดับ

วอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบของจังหวัดกระบี่มีค่าเท่ากับ 6,204 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,982 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน

และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 502 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 43.1 , 42.7 และ 14.2 ตามลำดับ

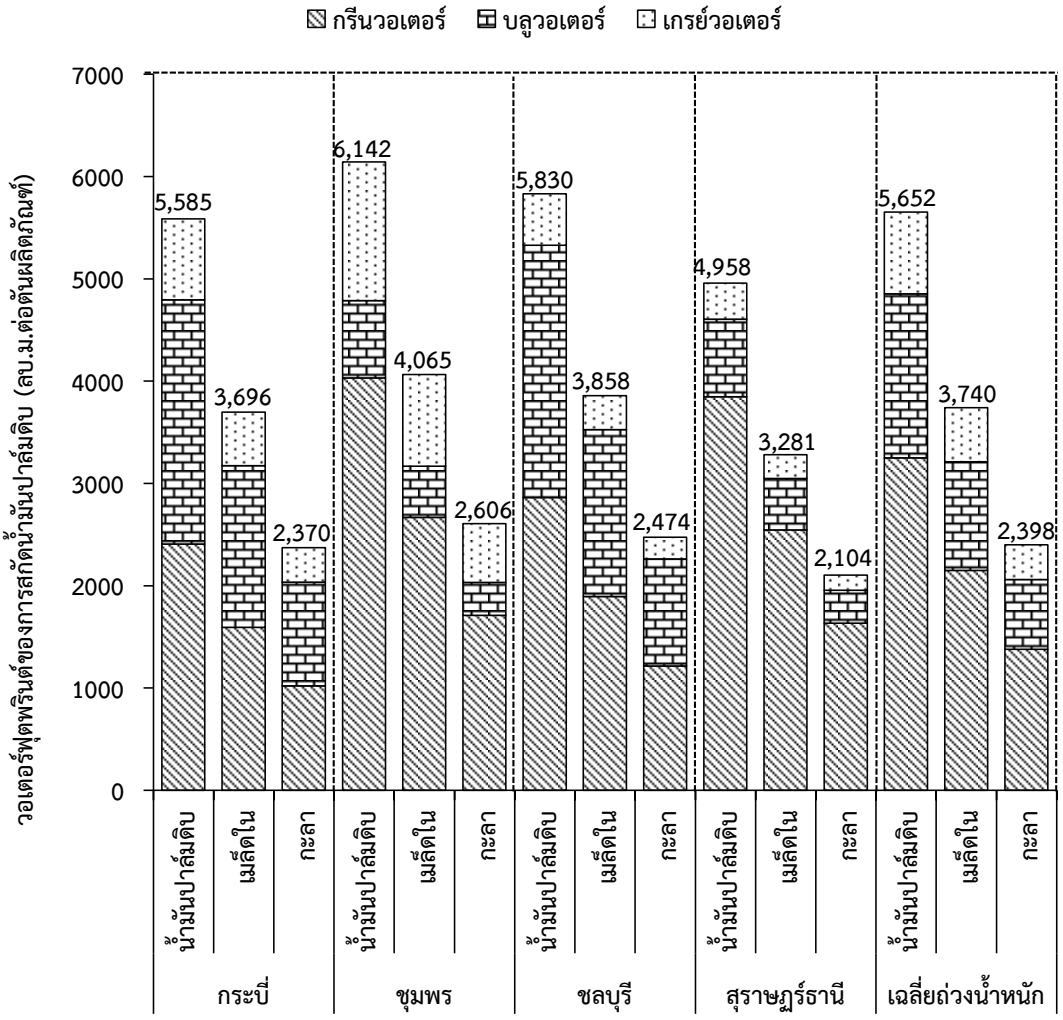
จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุดเท่ากับ 5,417 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,729 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 398 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 77.6 , 15.3 และ 7.1 ตามลำดับ

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 6,215 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,919 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลามีค่าเฉลี่ย 550 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 55.5 , 28.4 และ 14.2 ตามลำดับ

3.1.7 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อน

การปันส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆโดยใช้ค่าพลังงานความร้อน (ตารางที่ 2-5) แสดงในรูปที่ 3-7 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการปันส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดใน และกะลา

เมื่อพิจารณาแต่ละจังหวัดพบว่าจังหวัดชุมพรมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุดเท่ากับ 6,142 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 4,065 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 2,606 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 65.6 , 12.3 และ 22.1 ตามลำดับ



รูปที่ 3-7 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วน
โดยใช้ค่าพลังงานความร้อน

จังหวัดชลบุรีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับ 5,830 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,858 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอ-เตอร์ฟุตพรินต์ของกะลามีค่า 2,474 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 49.1 , 42.3 และ 8.6 ตามลำดับ

วอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบของจังหวัดกระบี่มีค่าเท่ากับ 5,585 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,696 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 2,370 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 43.1 , 42.7 และ 14.2 ตามลำดับ

จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุดเท่ากับ 4,958 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,281 ลบ.ม. ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 2,104 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 77.6 , 15.3 และ 7.1 ตามลำดับ

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 5,652 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,740 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลามีค่าเฉลี่ย 2,398 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 55.5 , 28.4 และ 14.2 ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบและเมล็ดในที่ปันส่วนโดยค่าพลังงานความร้อนมีค่าน้อยกว่าปันส่วนโดยใช้ค่าราคา แต่วอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลามีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าพลังงานความร้อนของกะลามีค่าสูงทำให้สัดส่วนการปันส่วนของกะลาโดยใช้ค่าความร้อนมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนการปันส่วนโดยใช้ราคา แต่สัดส่วนการปันสวนโดยใช้ค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มดิบและเมล็ดในมีค่าลดลง เมื่อสัดส่วนการปันส่วนมีค่าลดลงค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบ และเมล็ดในจึงมีค่าลดลงเช่นกัน

3.1.8 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่ามวล

การปันส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆโดยใช้ค่ามวล (ตารางที่ 2-6) แสดงในตารางที่ 3-6 ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดในและกะลามีค่าเท่ากัน โดยในจังหวัดชุมพรมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของผลิตภัณฑ์สูงที่สุดซึ่งมีค่า 5,209 ลบ.ม.ต่อตันผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 65.6 , 12.3 และ 22.1 ตามลำดับ

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ในจังหวัดชลบุรีมีค่าเฉลี่ยรองลงมาคือมีค่าเท่ากับ 4,798 ลบ.ม.ต่อตันผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 49.1 , 42.3 และ 8.60 ตามลำดับ

ตาราง 3-6 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้มวล

จังหวัด	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	กรีนวอเตอร์	บลูวอเตอร์	เกรย์วอเตอร์	วอเตอร์ฟุตพรินต์
กระบี่	น้ำมันปาล์มดิบ	ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ	1,938	1,921	636	4,496
	เมล็ดใน	ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน	1,938	1,922	636	4,496
	กะลา	ลบ.ม.ต่อตันกะลา	1,938	1,922	636	4,496
ชุมพร	น้ำมันปาล์มดิบ	ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ	3,419	641	1,149	5,209
	เมล็ดใน	ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน	3,419	641	1,149	5,209
	กะลา	ลบ.ม.ต่อตันกะลา	3,419	641	1,149	5,209
ชลบุรี	น้ำมันปาล์มดิบ	ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ	2,354	2,031	413	4,798
	เมล็ดใน	ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน	2,354	2,032	413	4,798
	กะลา	ลบ.ม.ต่อตันกะลา	2,354	2,032	413	4,798
สุราษฎร์ธานี	น้ำมันปาล์มดิบ	ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ	3,118	614	287	4,019
	เมล็ดใน	ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน	3,118	614	287	4,019
	กะลา	ลบ.ม.ต่อตันกะลา	3,118	614	287	4,019
เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	น้ำมันปาล์มดิบ	ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ	2,668	1,316	657	4,641
	เมล็ดใน	ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน	2,668	1,316	657	4,641
	กะลา	ลบ.ม.ต่อตันกะลา	2,668	1,316	657	4,641

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ในจังหวัดกระบี่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,496 ลบ.ม. ต่อตันผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ร้อยละ 43.1บลูวอเตอร์ร้อยละ 42.7 และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 14.2

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 4,019 ลบ.ม.ต่อตันผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 77.6 , 15.3 และ 7.13 ตามลำดับ

สำหรับประเทศไทยมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 4,641 ลบ.ม.ต่อตันผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ คิดเป็นร้อยละ 55.5 , 28.4 และ 14.2 ตามลำดับ

วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่าราคาส่งผลให้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบมีค่ามากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,215 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ดังตารางที่ 3-7 รองลงมาเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,919 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดในและวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลามีค่าน้อยที่สุดซึ่งมีค่า 550 ลบ.ม.ต่อตันกะลา เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณและราคาสูงที่สุดจึงทำให้มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์สูงที่สุด แม้ว่าเมล็ดในมีปริมาณน้อยกว่ากะลาแต่ราคาของเมล็ดในสูงกว่ากะลามากจึงส่งผลให้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในมีค่ามากกว่าค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลา

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อน พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบมีค่ามากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 5,652 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ รองลงมาเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,740 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดในและวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลามีค่าน้อยที่สุดซึ่งมีค่า 2,398 ลบ.ม.ต่อตันกะลา เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณและค่าพลังงานความร้อนสูงที่สุดจึงทำให้มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์สูงที่สุด เมล็ดในมีปริมาณน้อยกว่ากะลาแต่พลังงานความร้อนของเมล็ดในสูงกว่ากะลาจึงส่งผลให้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในมีค่ามากกว่าค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลา

ตารางที่ 3-7 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช่ค่าราคา พลังงานความร้อนและมวล

ผลิตภัณฑ์	วอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตันผลิตภัณฑ์)		
	ปันส่วน โดยใช้ราคา	ปันส่วนโดยใช้ ค่าพลังงานความร้อน	ปันส่วน โดยใช้มวล
น้ำมันปาล์มดิบ	6,215	5,652	4,641
เมล็ดใน	3,919	3,740	4,641
กะลา	550	2,398	4,641

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่ามวล พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเท่ากัน เนื่องจากในการปันส่วนต้องคิดสัดส่วนการปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ให้กับผลิตภัณฑ์ ในกรณีนี้ทำการหาสัดส่วนของการปันส่วนโดยใช้ปริมาณน้ำมัน

ปาล์มดิบหารด้วยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องปันส่วนให้ทั้งหมด จากนั้นคูณด้วยค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์แล้วหารด้วยปริมาณของน้ำมันปาล์มดิบอีกครั้ง การปันส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ให้กับเมล็ดในและกะลาหาได้ด้วยวิธีเดียวกัน ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดในและกะลามีจึงค่าเท่ากับค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ก่อนการปันส่วนหารกับปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่าราคา พลังงานความร้อนและมวล พบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบที่ปันส่วนโดยใช้ค่าราคามีค่าสูงกว่าการปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อนและมวล เนื่องจากราคาของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าสูงและมีความแตกต่างกับราคาของเมล็ดในและกะลาค่อนข้างมากส่งผลให้สัดส่วนการปันส่วนสำหรับน้ำมันปาล์มดิบมีค่าสูง ส่วนการใช้ค่าพลังงานปันส่วนนั้นพบว่าค่าพลังงานของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าสูงก็จริง แต่มีความแตกต่างกับค่าพลังงานของเมล็ดในและกะลาน้อยกว่าค่าราคาส่งผลให้สัดส่วนการปันส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ให้กับน้ำมันปาล์มดิบโดยค่าพลังงานมีค่าน้อยกว่าค่าราคา

3.2 เกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งของโรงงาน

3.2.1 ลักษณะน้ำเสียและน้ำทิ้งของโรงงาน

น้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีค่าซีโอดีและบีโอดีสูงซึ่งน้ำเสียเหล่านี้มาจากขั้นตอนการนึ่งปาล์ม การย่อยปาล์มและบีบผลปาล์ม ซึ่งปริมาณน้ำเสีย บีโอดีน้ำเสีย ซีโอดีน้ำเสีย บีโอดีน้ำทิ้ง ซีโอดีน้ำทิ้ง ปริมาณน้ำดิบประปาและบีโอดีน้ำดิบประปาของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการแสดงในตารางที่ 3-8

ปริมาณน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 59,981-285,752 ลบ.ม.ต่อปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 165,677 ลบ.ม.ต่อปี บีโอดีน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 29,300-80,250 มก.ต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเป็น 46,670 มก.ต่อลิตร บีโอดีน้ำทิ้งมีค่าอยู่ในช่วง 106–1,280 มก.ต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 819 มก.ต่อลิตร เมื่อพิจารณาน้ำดิบประปา บีโอดีน้ำดิบมีค่าอยู่ในช่วง 0.7–35.2 มก.ต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยเป็น 8 มก.ต่อลิตร จากการศึกษาของ Kaewmai *et al.* (2012) พบว่า ปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีค่าอยู่ในช่วง 54,992–337,440 ลบ.ม.ต่อปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 128,148 ลบ.ม.ต่อปี มีค่าซีโอดีของน้ำเสียอยู่ในช่วง 60,764–106,485 มก.ต่อลิตรมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73,699 มก.ต่อลิตร และซีโอดีน้ำทิ้งมีค่าอยู่ในช่วง 181–17,498 มก.ต่อลิตรและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,900 มก.ต่อลิตร และจากการศึกษาของ Kaewmai *et al.* (2013) มีปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 33,075–107,000 ลบ.ม.ต่อปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75,929 ลบ.ม.ต่อปี ซีโอดีของน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วง 53,082–124,342 มก.ต่อลิตรและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93,044 มก.ต่อลิตรและซีโอดีของน้ำทิ้งมีค่าอยู่ในช่วง 488–13,437 มก.ต่อลิตรและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,694 มก.ต่อลิตร ซึ่งปริมาณน้ำเสีย ซีโอดีน้ำเสียในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่างานวิจัยที่ผ่านมา แต่ค่าซีโอดีน้ำทิ้งในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่างานวิจัยที่ผ่านมา

ตาราง 3-8 ลักษณะน้ำประปาและน้ำเสียของโรงงาน

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย (7 โรงงาน)	การศึกษาของ Kaewmai *et al.* (2012)		การศึกษาของ Kaewmai *et al.* (2013)	
				ช่วง	ค่าเฉลี่ย (14 โรงงาน)	ช่วง	ค่าเฉลี่ย (6 โรงงาน)
ปริมาณน้ำเสีย	ลบ.ม./ปี	59,981–285,752	165,678	54,992-337,440	128,148	33,075-107,000	75,929
- บีโอดีน้ำเสีย	มก./ล.	29,300-80,250	46,670	-	-	-	-
- บีโอดีน้ำทิ้ง	มก./ล.	106-2,783	819	-	-	-	-
- ซีโอดีน้ำเสีย	มก./ล.	60,547-152,320	96,622	60,764-106,485	73,699	53,082-124,342	93,044
- ซีโอดีน้ำทิ้ง	มก./ล.	190-4,800	1,829	181-17,498	2,900	488-13,437	4,694
ปริมาณน้ำดิบประปา	ลบ.ม./ปี	126,680-514,320	277,441	-	-	-	-
- บีโอดีน้ำดิบ	มก./ล.	0.7-35.2	8	-	-	-	-

การคำนวณเกรย์วอเตอร์ของน้ำทิ้งต้องใช้พารามิเตอร์ของน้ำดิบและน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ถูกใช้เป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งมาใช้ในการคำนวณ เนื่องจากโรงงานนำน้ำดิบจากแหล่งน้ำสะอาดมาผลิตเป็นน้ำประปาเพื่อใช้ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ดังนั้นเมื่อคำนวณเกรย์วอ-เตอร์จึงต้องใช้พารามิเตอร์ที่นิยมวิเคราะห์ในแหล่งน้ำทีมีคุณภาพดี โดยค่าบีโอดีเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ถูกกำหนดไว้ในการแบ่งประเภทของแหล่งน้ำผิวดินตามคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น การผลิตน้ำประปา การใช้งานในอุตสาหกรรม และการคมนาคมขนส่ง เป็นต้น ในการคำนวณนี้จึงเลือกใช้ค่าบีโอดี ในการคำนวณเกรย์วอเตอร์ที่เกิดจากน้ำทิ้งและเลือกใช้ลักษณะของน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 (แสดงในภาคผนวก) เป็นมาตรฐานที่ใช้รองรับน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ในการคำนวณเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งในหัวข้อนี้ประกอบด้วย 2 กรณี คือ 1) คำนวณเกรย์วอเตอร์โดยใช้ค่าบีโอดีที่เกิดขึ้นจริงในน้ำทิ้งของโรงงาน และ2)คำนวณโดยกำหนดให้บีโอดีในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 20 มก.ต่อลิตร เนื่องจากหากโรงงานต้องการทิ้งน้ำทิ้งส่วนนี้ออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โรงงานต้องบำบัดน้ำทิ้งนี้ให้มีค่าบีโอดีผ่านมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (แสดงในภาคผนวก) ค่าเกรย์วอเตอร์ที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 3-9

ตาราง 3-9 ค่าเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งของโรงงาน

โรงงาน	บีโอดี (มก.ต่อลิตร)		เกรย์วอเตอร์(ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ)	
	น้ำดิบ	น้ำทิ้ง	กรณี 1	กรณี 2
โรงงาน A	1.9	2,783	1,023	6
โรงงาน B	1.3	1,080	1,040	18
โรงงาน C	2.4	773	659	14
โรงงาน D	1.6	106	88	15
โรงงาน E	1.9	165	107	11
โรงงาน F	35.2	1,280	693	N/A
โรงงาน G	0.7	165	165	19
เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	-	-	480	12

N/A คือ ไม่สามารถหาค่าได้

กรณี 1 คือ คำนวณเกรย์วอเตอร์โดยใช้ค่าบีโอดีที่เกิดขึ้นจริงในน้ำทิ้งของโรงงาน

กรณี 2 คือ คำนวณโดยกำหนดให้บีโอดีในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 20 มก.ต่อลิตร

จากการศึกษาพบว่า ค่าเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งในกรณีที่ 1ของโรงงาน B มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1,040 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ รองลงมาเป็นค่าเกรย์วอเตอร์ของโรงงาน A ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,023 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ในการคำนวณค่าเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งนั้นต้องนำค่าที่ได้มาคูณกับจำนวนชั่วโมงที่โรงงานดำเนินการผลิตแล้วหารด้วยจำนวนน้ำมันปาล์มดิบที่โรงงานสกัดได้ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้โรงงาน B ซึ่งมีปริมาณน้ำมันปาล์มดิบน้อยกว่าโรงงาน A มีค่าเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งสูงกว่าโรงงาน A ทั้งๆที่โรงงาน A มีค่าบีโอดีในน้ำทิ้งสูงกว่า โรงงานที่มีค่าเกรย์วอเตอร์

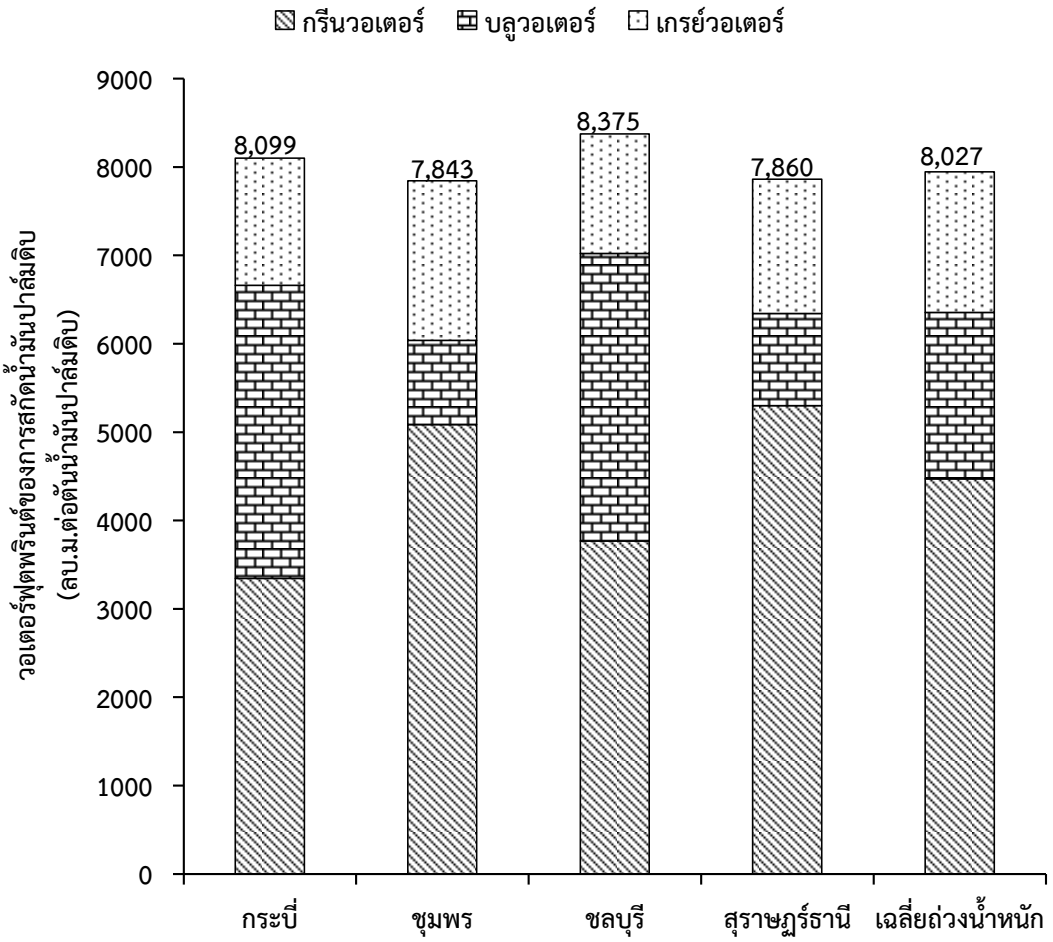
จากน้ำทิ้งน้อยที่สุดคือโรงงาน D โดยมีค่าเกรย์วอเตอร์เป็น 88 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 480 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ

เมื่อพิจารณาเกรย์วอเตอร์กรณีที่ 2 ซึ่งคำนวณโดยบีโอดีในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 20 มก.ต่อลิตร พบว่า โรงงาน A มีค่าเกรย์วอเตอร์น้อยที่สุดเท่ากับ 6 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ส่งผลให้ค่าเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งลดลงจากกรณีที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 99.4 และโรงงาน D ค่าวอเตอร์ฟุต-พรินต์ลดลงน้อยที่สุดซึ่งลดลงร้อยละ 83.0 ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเกรย์วอเตอร์มีค่า 12 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบซึ่งลดลงจากเกรย์วอเตอร์กรณีที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 97.6

3.2.2 วอเตอร์ฟุตพรินต์รวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งของโรงงาน

ปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบไม่ทิ้งน้ำที่ผ่านการบำบัด โดยนำน้ำทิ้งส่วนนี้ไปรดสวนปาล์มน้ำมัน ในหัวข้อนี้จึงประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มแบบคิดรวมเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินต์ที่มาจากน้ำทิ้ง โดยใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่ได้จากกรณีที่ 2 เพื่อในอนาคตอาจจะมีการทิ้งน้ำส่วนนี้ออกนอกโรงงานและเพื่อวิเคราะห์ผลของเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินต์จากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วต่อค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่คำนวณได้ แสดงดังรูปที่ 3-8

จากการศึกษาพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในจังหวัดกระบี่มีค่าเท่ากับ 8,099 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 4.19 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการทิ้งน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ



รูปที่ 3-8 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำที่ผ่านการบำบัดในบ่อสุดท้ายซึ่งคำนวณโดยใช้ค่าบีโอดี

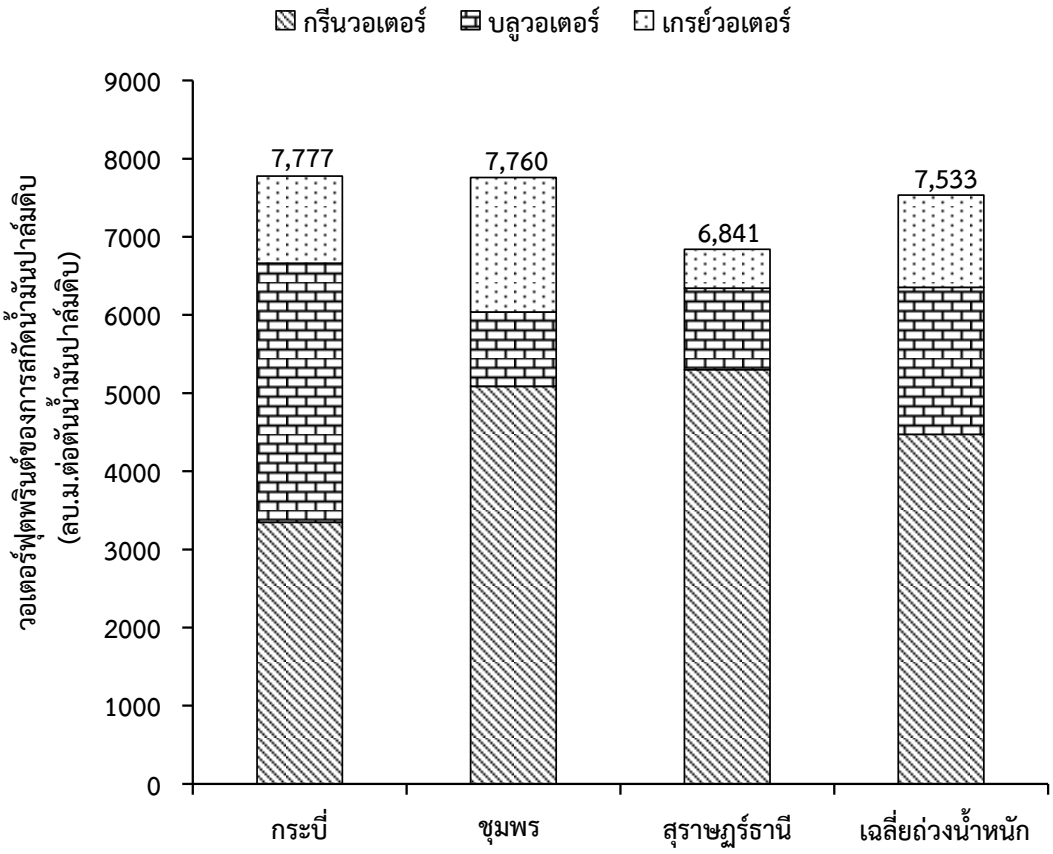
วอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของโรงงานสกัดในจังหวัดชุมพรมีค่าเท่ากับ 7,843 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 1.23 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการทิ้งน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

วอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของโรงงานสกัดในจังหวัดชลบุรีมีค่าเท่ากับ 8,375 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 8.27 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการทิ้งน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของโรงงานสกัดเท่ากับ 7,860 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 13.1 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการทิ้งน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 8,027 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 5.59 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการทิ้งน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในกรณีที่คำนวณค่าเกรย์วอเตอร์โดยใช้ค่าบีโอดีในเท่ากับ 20 มก.ต่อลิตร เนื่องจากการที่โรงงานทิ้งน้ำส่วนนี้ออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทางโรงงานต้องบำบัดบีโอดีในน้ำทิ้งให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ค่าวอเตอร์ฟุตจากกรณีนี้แสดงในรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้ง ซึ่งคำนวณโดยใช้ค่าบีโอดีเท่ากับ 20 มก.ต่อลิตร

จากการศึกษาพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่คำนวณในกรณีนี้มีค่าลดลงจากกรณีที่ใช้ค่าบีโอดีที่เกิดขึ้นจริงในน้ำเสียทุกจังหวัดเนื่องจากเกรย์วอเตอร์ในส่วนน้ำทิ้งมีค่าน้อยลง จังหวัดกระบี่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ลดลงร้อยละ 4.14 จากกรณีที่คำนวณเกรย์วอเตอร์จากน้ำที่ผ่านการบำบัดในบ่อสุดท้ายโดยใช้ค่าบีโอดีที่ตรวจวัดจริง

วอเตอร์ฟุตพรินต์ของจังหวัดชุมพรมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่คำนวณเกรย์วอเตอร์จากน้ำที่ผ่านการบำบัดในบ่อสุดท้ายที่ตรวจวัดจริงคิดเป็นร้อยละ 1.08

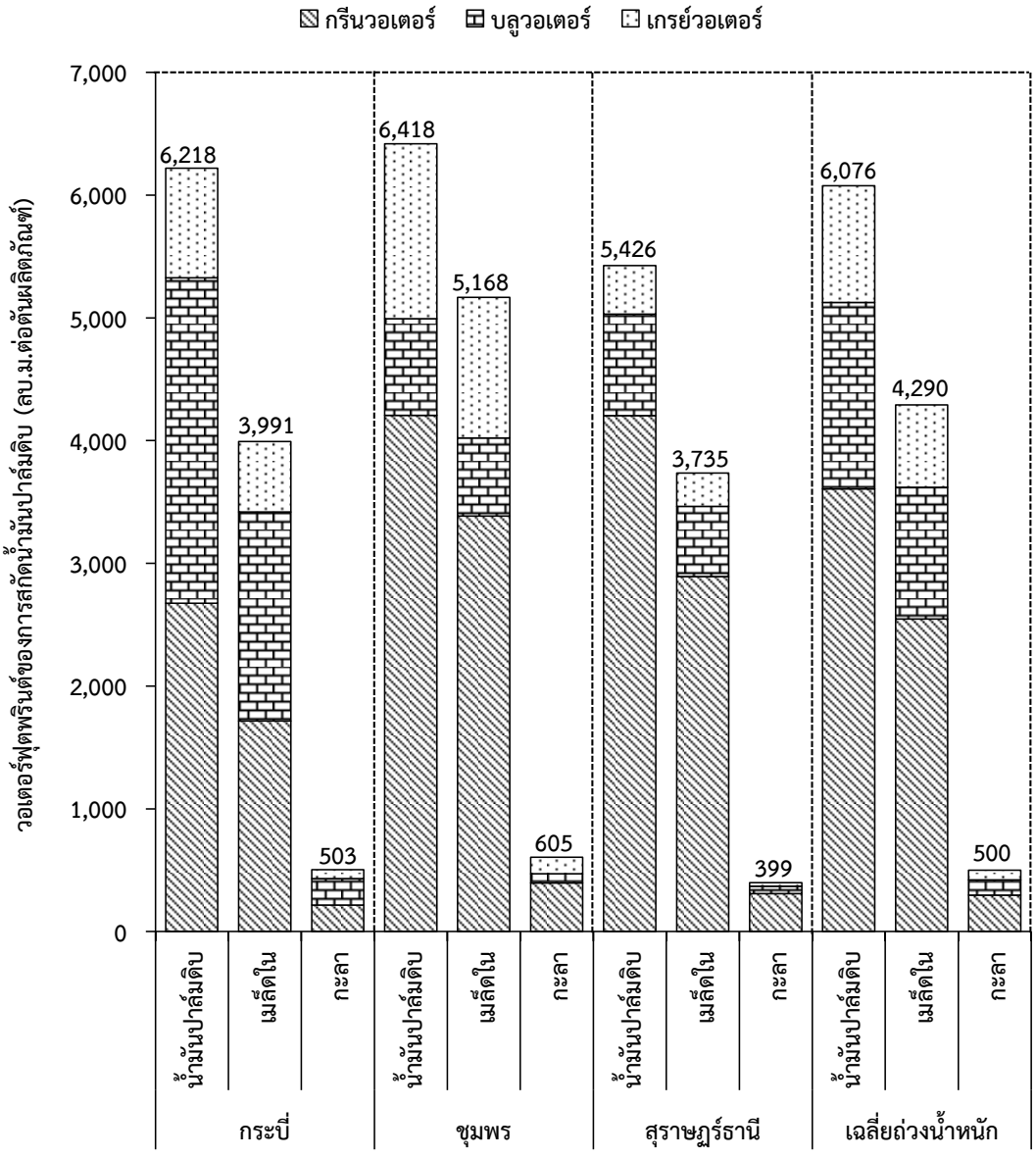
วอเตอร์ฟุตพรินต์ของจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่คำนวณเกรย์วอเตอร์จากน้ำที่ผ่านการบำบัดในบ่อสุดท้ายที่ตรวจวัดจริงคิดเป็นร้อยละ 14.90

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของประเทศไทยมีค่าลดลงร้อยละ 6.15 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่คำนวณเกรย์วอเตอร์ในจากน้ำที่ผ่านการบำบัดในบ่อสุดท้ายที่ตรวจวัดจริง

3.2.3 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่าราคา

วอเตอร์ฟุตพรินต์ที่ใช้สำหรับปันส่วนในหัวข้อนี้ใช้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์จากกรณีที่คำนวณค่าเกรย์วอเตอร์จากน้ำทิ้งในกรณีที่ 2 ซึ่งคำนวณโดยใช้ค่าบีโอดีเท่ากับ 20 มก.ต่อลิตร จากการศึกษาพบว่า จังหวัดกระบี่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,218 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,991 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 503 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 43.0 , 42.6 และ 14.4 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3-10

จังหวัดชุมพรมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,418 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 5,168 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 605 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 65.5 , 12.3 และ 22.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3-10 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมเกรย์-วอเตอร์จากน้ำทิ้งปันส่วนโดยใช้ค่าราคา

จังหวัดสุราษฎร์ธานีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5,426 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,735 ลบ.ม. ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 309 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 77.5 , 15.3 และ 7.3 ตามลำดับ

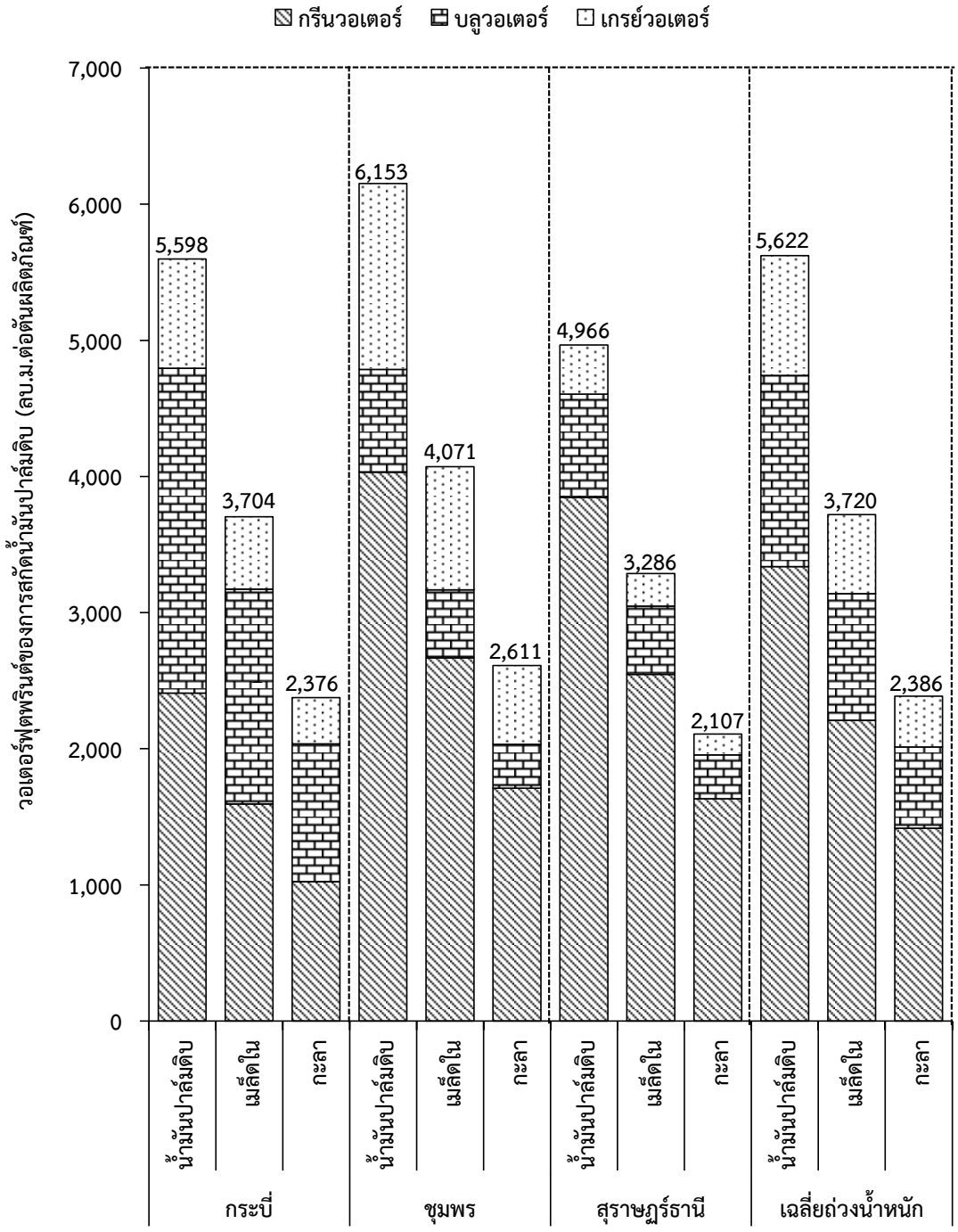
ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบเฉลี่ยของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 6,076 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 4,290 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 500 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 59.4 , 25.0 และ 15.6 ตามลำดับ

จากการศึกษาของ Mekonnen *et al.* (2011) วอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในค่าเท่ากับ 2,868 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน ผลการศึกษาในครั้งนี้มีค่ามากกว่าค่าดังกล่าวเนื่องจากค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ขึ้นอยู่กับพื้นที่ศึกษาเมื่อพื้นที่ศึกษาที่ต่างกันส่งผลต่อปริมาณการใช้น้ำที่ต่างกัน

3.2.4 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อน

การปันส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆโดยใช้ค่าพลังงานความร้อน (ตารางที่ 2-5) แสดงในรูปที่ 3-11 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการปันส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดใน และกะลา

เมื่อพิจารณาแต่ละจังหวัดพบว่าจังหวัดชุมพรมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,513 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 4,071 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 2,611 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 65.5 , 12.3 และ 22.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3-11 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วน
โดยใช้ค่าพลังงานความร้อน

วอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบของจังหวัดกระบี่มีค่าเท่ากับ 5,598 ลบ.ม. ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,704 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน

และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 2,376 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 43.0 , 42.6 และ 14.4 ตามลำดับ

จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุดเท่ากับ 4,966 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,286 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน และค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลามีค่า 2,107 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 77.5 , 15.3 และ 7.29 ตามลำดับ

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 5,622 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,720 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลามีค่าเฉลี่ย 2,386 ลบ.ม.ต่อตันกะลา สัดส่วนของกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 59.4 , 25.0 และ 15.6 ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบและเมล็ดในที่ปันส่วนโดยค่าพลังงานความร้อนมีค่าน้อยกว่าปันส่วนโดยใช้ค่าราคา แต่วอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลามีค่าสูงขึ้น

3.2.5 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบปันส่วนโดยใช้ค่ามวล

การปันส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ให้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆโดยใช้ค่ามวล (ตารางที่ 2-6) แสดงในตารางที่ 3-10 ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดในและกะลามีค่าเท่ากัน โดยในจังหวัดชุมพรมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของผลิตภัณฑ์สูงที่สุดซึ่งมีค่า 5,218 ลบ.ม.ต่อตันผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ร้อยละ 65.5 , 12.3 และ 22.2 ตามลำดับ

ตาราง 3-10 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้มวล

จังหวัด	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	กรีนวอเตอร์	บลูวอเตอร์	เกรย์วอเตอร์	วอเตอร์ฟุตพรินต์
กระบี่	น้ำมันปาล์มดิบ	ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ	1,938	1,921	647	4,506
	เมล็ดใน	ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน	1,938	1,922	647	4,506
	กะลา	ลบ.ม.ต่อตันกะลา	1,938	1,922	647	4,506
ชุมพร	น้ำมันปาล์มดิบ	ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ	3,419	641	1,158	5,218
	เมล็ดใน	ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน	3,419	641	1,158	5,218
	กะลา	ลบ.ม.ต่อตันกะลา	3,419	641	1,158	5,218
สุราษฎร์ธานี	น้ำมันปาล์มดิบ	ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ	3,118	614	293	4,026
	เมล็ดใน	ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน	3,118	614	293	4,026
	กะลา	ลบ.ม.ต่อตันกะลา	3,118	614	293	4,026
เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก	น้ำมันปาล์มดิบ	ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ	2,668	1,316	662	4,614
	เมล็ดใน	ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน	2,668	1,316	662	4,614
	กะลา	ลบ.ม.ต่อตันกะลา	2,668	1,316	662	4,614

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ในจังหวัดกระบี่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,506 ลบ.ม. ต่อตันผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ร้อยละ 43.0 บลูวอเตอร์ร้อยละ 42.6 และเกรย์วอ-เตอร์ร้อยละ 14.4

ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 4,026 ลบ.ม.ต่อตันผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์คิดเป็นร้อยละ 77.5 , 15.3 และ 7.29 ตามลำดับ

สำหรับประเทศไทยมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 4,614 ลบ.ม.ต่อตันผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ คิดเป็นร้อยละ 59.4 , 25.0 และ 15.6 ตามลำดับ

จากการศึกษาวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่าราคา พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบมีค่ามากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,076 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ดังตารางที่ 3-11 รองลงมาเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 4,290 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดในและวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลามีค่าน้อยที่สุดซึ่งมีค่า 500 ลบ.ม.ต่อตันกะลา

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อน พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบมีค่ามากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 5,622 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ รองลงมาเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของเมล็ดในมีค่าเท่ากับ 3,720 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดในและวอเตอร์ฟุตพรินต์ของกะลามีค่าน้อยที่สุดซึ่งมีค่า 2,386 ลบ.ม.ต่อตันกะลา ค่าวอเตอร์ฟุต-พรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่ามวล พบว่า การปันส่วนโดยใช้มวล ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าเท่ากัน

เมื่อพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่าราคา พลังงานความร้อนและมวล พบว่า วอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบที่ปันส่วนโดยใช้ค่าราคามีค่าสูงกว่าการปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อนและมวล

ตารางที่ 3-11 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่าราคา พลังงานความร้อนและมวล

ผลิตภัณฑ์	วอเตอร์ฟุตพรินต์ (ลบ.ม.ต่อตันผลิตภัณฑ์)		
	ปันส่วน โดยใช้ราคา	ปันส่วนโดยใช้ ค่าพลังงานความร้อน	ปันส่วน โดยใช้มวล
น้ำมันปาล์มดิบ	6,076	5,622	4,614
เมล็ดใน	4,290	3,720	4,614
กะลา	500	2,386	4,614

3.3 วอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย

จังหวัดกระบี่มีผลผลิตทะลายปาล์มสด 3.0 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ซึ่งทะลายปาล์มสดดังกล่าวสามารถสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ 5.3 แสนตัน (คำนวณโดยใช้ข้อมูลปริมาณทะลายปาล์มสด 5.54 ตันในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ 1 ตันจากบัญชีรายการ) และจากผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบจากกรณีที่ไม่รวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำ

ทิ้งซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,204 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์เท่ากับ 2,674 , 2,651 และ 878 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ ดังนั้นจังหวัดกระบี่ต้องใช้น้ำปริมาณ 3,316 ล้านลบ.ม.ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ 1,430 ล้านลบ.ม. บลูวอเตอร์ 1,417 ล้านลบ.ม.และเกรย์วอเตอร์ 469 ล้านลบ.ม.

จังหวัดชุมพรมีปริมาณทะลายปาล์มสด 2.2 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) สกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ 4.0 แสนตัน (คำนวณโดยใช้ข้อมูลปริมาณทะลายปาล์มสด 5.54 ตันในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ 1 ตันจากบัญชีรายการ) โดยค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในจังหวัดชุมพรมีค่า 6,407 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอ-เตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ 4,205 , 788 และ 1,414 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ ดังนั้นจังหวัดชุมพรต้องใช้น้ำในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบดังกล่าวปริมาณ 2,595 ล้านลบ.ม. ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ 1,703 ล้านลบ.ม. บลูวอเตอร์ 319 ล้านลบ.ม.และเกรย์วอเตอร์ 573 ล้านลบ.ม.

จังหวัดชลบุรีมีปริมาณทะลายปาล์มสด 2.5 แสนตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) สกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ 4.5 หมื่นตัน (คำนวณโดยใช้ข้อมูลปริมาณทะลายปาล์มสด 5.54 ตันในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ 1 ตันจากบัญชีรายการ) และจากผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,725 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ 3,299 , 2,847 และ 579 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ ดังนั้นจังหวัดกระบี่ต้องใช้น้ำปริมาณ 305 ล้านลบ.ม.ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ 105 ล้านลบ.ม. บลูวอเตอร์ 129 ล้านลบ.ม.และเกรย์วอเตอร์ 26 ล้านลบ.ม.

จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีทะลายปาล์มสดที่เก็บเกี่ยวได้ 3.0 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) สกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ 5.3 แสนตัน (คำนวณโดยใช้ข้อมูลปริมาณทะลายปาล์มสด 5.54 ตันในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ 1 ตันจากบัญชีรายการ) และจากผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบซึ่งมีค่าเท่ากับ 5,417 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ 4,203 , 828 และ 387 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ ดังนั้นจังหวัดกระบี่ต้องใช้น้ำปริมาณ 2,895 ล้านลบ.ม.ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ 2,246 ล้านลบ.ม. บลูวอเตอร์ 442 ล้านลบ.ม.และเกรย์วอเตอร์ 207 ล้านลบ.ม.

ประเทศไทยมีปริมาณทะลายปาล์มสดจำนวน 11.3 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ทะลายปาล์มสดดังกล่าวสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ 2.0 ล้านตัน (คำนวณโดยใช้ข้อมูลปริมาณทะลายปาล์มสด 5.54 ตันในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ 1 ตันจากบัญชีรายการ) และจากผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,215 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ บลูวอเตอร์และเกรย์วอเตอร์ 3,572 , 1,763 และ 880 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ ดังนั้นต้องใช้น้ำตั้งแต่การปลูกปาล์มน้ำมันจนกระทั่งถึงการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 12,706 ล้านลบ.ม. ประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ 7,303 ล้านลบ.ม. บลูวอเตอร์ 3,604 ล้านลบ.ม.และเกรย์วอเตอร์ 1,799 ล้านลบ.ม.

จากข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่า อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันในประเทศไทยมีการใช้น้ำในปริมาณมาก โดยตัวเลขที่ปรากฏนี้เป็นเพียงการใช้น้ำในขั้นตอนการปลูกปาล์มน้ำมันจนถึงกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ยังไม่รวมกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และผลิตเป็นไบโอดีเซล ดังนั้นหากประเทศไทยไม่มีการบริหารจัดการน้ำที่ดีอาจมีโอกาสที่น้ำสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมไม่เพียงพอต่อความต้องการในอนาคต

3.4 การนำวอเตอร์ฟุตพรินต์ไปใช้ประโยชน์

การนำค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ไปใช้ประโยชน์นั้นมี 2 กรณี ได้แก่ การบริหารจัดการน้ำเชิงพื้นที่และการบริหารจัดการน้ำเชิงนโยบาย การใช้ประโยชน์ในเชิงพื้นที่นั้นเหมาะสมสำหรับการพิจารณาพื้นที่ปลูกและการจัดการสวนปาล์มน้ำมัน เนื่องจากการคำนวณวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันคำนวณโดยใช้โปรแกรม CROPWAT โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศ ข้อมูลดิน และข้อมูลพืช ซึ่งข้อมูลดังกล่าวทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันในจังหวัดกระบี่ ชุมพร ชลบุรีและสุราษฎร์ธานีมีค่าแตกต่างกัน ส่วนเชิงนโยบายนั้น ดำเนินการได้โดยการนำค่าวอเตอร์ฟุต-พรินต์ไปประกอบการออกนโยบายให้มีการส่งเสริมการปลูกและจัดตั้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในพื้นที่ที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ต่ำ

อย่างไรก็ตามหากหน่วยงานของรัฐต้องการสนับสนุนการตั้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในพื้นที่ที่ทำการศึกษาในจังหวัดกระบี่ ชุมพร สุราษฎร์ธานีและชลบุรี อาจต้องคำนึงถึงค่าดัชนีความเครียดของน้ำ (water stress index : WSI) ในพื้นที่นั้นๆ ด้วย เนื่องจากถ้ามีการตั้งโรงงานในพื้นที่ดังกล่าว นั่นหมายความว่าต้องมีการส่งเสริมให้มีการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่นั้นด้วย และจากการทบทวนเอกสารพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันมีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่เกิดภายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาการขาดแคลนน้ำที่อาจจะเกิดขึ้นได้จึงต้องมีการคำนึงถึงค่าดัชนีความเครียดของน้ำ โดยค่าดัชนีความเครียดของน้ำในลุ่มน้ำเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณการใช้น้ำจืดทั้งหมดต่อปีกับปริมาณน้ำจืดทั้งหมดที่มีอยู่ทางอุทกวิทยาต่อปีของลุ่มน้ำนั้นๆ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้ระดับความเครียดของการใช้น้ำในพื้นที่ โดยดัชนีความเครียดของน้ำมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 กรณีที่ค่าดัชนีความเครียดของน้ำเข้าใกล้หนึ่งหมายถึงลุ่มน้ำนั้นมีระดับความเครียดที่สูง ทำให้ต้องมีการวางแผนจัดการน้ำที่ดีในพื้นที่นั้นเพื่อป้องกันปัญหาการขาดแคลนน้ำที่อาจเกิดขึ้นได้ตามมา ตารางที่ 3-12 แสดงค่าดัชนีความเครียดของน้ำในจังหวัดกระบี่ ชุมพร สุราษฎร์ธานีและชลบุรี

ตาราง 3-12 ค่าดัชนีความเครียดของน้ำในจังหวัดกระบี่ ชุมพร สุราษฎร์ธานีและชลบุรี

จังหวัด	ดัชนีความเครียดของน้ำ
กระบี่	0.01150
	0.01080
	0.01150
	0.01360
ชุมพร	0.01070
	0.01000
	0.01070
	0.01020
	0.01020
	0.01050
สุราษฎร์ธานี	0.01020
	0.01050
	0.01100
	0.01150
	0.01100
	0.01190
ชลบุรี	0.48120
	0.02470
	0.25060
	0.59240
	0.01390

ที่มา : Pfister *et al.* (2009)

จากการศึกษาของ Pfister *et al.* (2009) รายงานว่าจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าดัชนีความเครียดของน้ำอยู่ในช่วง 0.01020 – 0.01190 จังหวัดกระบี่มีค่าดัชนีความเครียดของน้ำอยู่ในช่วง 0.01080 – 0.01360 จังหวัดชุมพรมีค่าดัชนีความเครียดของน้ำอยู่ในช่วง 0.01000 – 0.01070 และจังหวัดชลบุรีมีค่าดัชนีความเครียดของน้ำอยู่ในช่วง 0.01390 – 0.59240 จากค่าดังกล่าวพื้นที่ของจังหวัดชลบุรีจัดอยู่ในระดับความเครียดของน้ำสูงมากเมื่อเทียบกับจังหวัดอื่นๆ เนื่องจากจังหวัดชลบุรีมีอุตสาหกรรมจำนวนมากและมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบสูงเช่นกัน จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า พื้นที่จังหวัดชลบุรีอาจจะไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันและตั้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ กรณีที่ต้องการสนับสนุนให้มีการปลูกปาล์มน้ำมันภาครัฐต้องเตรียมความพร้อมด้านระบบน้ำชลประทาน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าดัชนีความเครียดของน้ำเฉพาะในพื้นที่ 14 จังหวัดภาคใต้ อาจกล่าวได้ว่าค่าดัชนีความเครียดของน้ำในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีและกระบี่จัดอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง เนื่องจากมีค่าเข้าใกล้ 1

แต่หากพิจารณาค่าดัชนีความเครียดของน้ำในพื้นที่จังหวัดชุมพรจัดอยู่ในระดับปานกลาง ดังนั้นเมื่อนำค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมาพิจารณาร่วมกับค่าดัชนีความเครียดของน้ำในแต่ละพื้นที่ สามารถสรุปผลได้ว่าหากหน่วยงานของรัฐต้องการส่งเสริมสนับสนุนให้มีการจัดตั้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มขึ้นในประเทศไทยก็ไม่ควรสนับสนุนให้มีการจัดตั้งโรงงานในพื้นที่จังหวัดชลบุรี เนื่องจากอาจก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในอนาคตข้างหน้าตามมาได้ อย่างไรก็ตามหน่วยงานของรัฐสามารถส่งเสริมสนับสนุนให้มีการจัดตั้งโรงงานเพิ่มขึ้นได้ในพื้นที่จังหวัดชุมพร เนื่องจากมีค่าดัชนีความเครียดของน้ำน้อยที่สุด

3.5 แนวทางการลดวอเตอร์ฟุตพรินต์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

1) ลดปริมาณการใช้น้ำทางตรงในโรงงาน โดยการใช้น้ำทางตรงของโรงงานนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและน้ำที่เข้าสู่หม้อไอน้ำ น้ำใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ ขั้นตอนการนึ่งปาล์ม ย่อยผลปาล์ม ตะแกรงสั่น และถังตกจม หากโรงงานนำน้ำที่ได้จากขั้นตอนการนึ่งปาล์มมาใช้ในขั้นตอนการย่อยผลปาล์ม ตะแกรงสั่นและถังตกจม แนวทางนี้สามารถลดค่าการใช้น้ำทางตรงของโรงงานได้ นอกจากนี้หากโรงงานใช้น้ำดิบที่มีค่าความเป็นด่างสูงเข้าสู่ระบบ โรงงานต้องทำการกำจัดความกระด้างโดยใช้เรซิน และการล้างและฟื้นฟูสภาพเรซินนั้นต้องใช้น้ำสะอาดและสารเคมีในการล้างเรซินหลายๆครั้ง ดังนั้นหากโรงงานใช้น้ำดิบที่มีค่าความเป็นด่างต่ำ จำนวนรอบของการล้างและการฟื้นฟูสภาพเรซินจะลดลงส่งผลให้การใช้น้ำและสารเคมีลดลง (อรัญ และคณะ, 2546) กรณีที่โรงงานที่มีการใช้น้ำสูงสุดซึ่งมีค่าเป็น7.27 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ลดการใช้น้ำให้มีปริมาณเท่ากับค่าการใช้น้ำเฉลี่ยที่มีค่าเท่ากับ 5.02 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ คิดเป็นการใช้น้ำที่ลดลงได้ร้อยละ 30.9 กรณีที่โรงงานที่มีการใช้น้ำสูงสุดลดการใช้น้ำให้มีปริมาณเท่ากับค่าการใช้น้ำของโรงงานที่น้อยที่สุดที่มีค่าเท่ากับ 3.11 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ คิดเป็นการใช้น้ำที่ลดลงได้ร้อยละ 57.2

2) ลดการใช้น้ำทางอ้อม วอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อมส่วนใหญ่มาจากการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตและการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ การขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงานและการใช้ไฟฟ้าที่มาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

สารเคมีหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ ดินขาว ซึ่งใช้ในขั้นตอนการแยกเมล็ดในและกะลา โดยอาศัยหลักของความถ่วงจำเพาะที่ต่างกันในการแยก อ่างดินที่ใช้ต้องมีการเติมดินขาวที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.12 จึงสามารถแยกเมล็ดในและกะลาได้อย่างสมบูรณ์ ความแปรปรวนของค่าความถ่วงจำเพาะเกิดจากฝุ่นผงที่ติดมากับกะลาและการเจือจางจากน้ำล้าง ดังนั้นการลดปริมาณการใช้ดินขาว คือ ลดการแปรปรวนค่าความถ่วงจำเพาะของดินขาวในอ่างดิน สามารถทำได้โดยติดตั้งชุดแยกฝุ่นด้วยลมระหว่างไซโคลนดักฝุ่นกับอ่างดินขาว (อรัญ และคณะ, 2546) กรณีที่โรงงานที่มีการใช้ดินขาวสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.53 กิโลกรัมต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ลดการใช้ดินขาวให้มีปริมาณเท่ากับค่าการใช้ดินขาวเฉลี่ยที่มีค่าเท่ากับ 9.98 กิโลกรัมต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ คิดเป็นการใช้ดินขาวที่ลดลงได้ร้อยละ 13.4 กรณีที่โรงงานที่มีการใช้ดินขาวสูงสุดลดการใช้ดินขาวให้มีปริมาณเท่ากับค่าการใช้ดินขาวของโรงงานที่น้อยที่สุดที่มีค่าเท่ากับ 6.34 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ คิดเป็นการใช้น้ำที่ลดลงได้ร้อยละ 45.0

สารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ ได้แก่ คลอรีน โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริค โพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟต โพลี-อลูมิเนียมคลอไรด์ ไดคลีน โซเดียม SBS โซเดียมคาร์บอเนต เรซิน และสารละลายฟอสเฟต โดยค่าความเป็นด่างในน้ำมีผลต่อปริมาณการใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โรงงานควรเลือกใช้สารเคมีหรือวิธีการที่มีการใช้สารเคมีน้อยที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เมื่อปริมาณการใช้สารเคมีมีค่าลดลง ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ก็จะลดลงเช่นเดียวกัน ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์จากการใช้สารเคมีของโรงงานที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการใช้สารเคมีสูงที่สุดมีค่าเป็น 0.3293 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการใช้สารเคมีเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.1763 ลบ.ม. ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการใช้สารเคมีของโรงงานที่มีการใช้สารเคมีน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับเท่ากับ 0.0830 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ คิดเป็นความแตกต่างของค่าปริมาณวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการใช้สารเคมีถึงร้อยละ 46.5 และ 74.8 ตามลำดับ ค่าความแตกต่างที่สูงสามารถบงชี้ถึงโอกาสที่จะลดการใช้หรือเปลี่ยนการใช้สารเคมีเพื่อลดค่าการใช้น้ำได้ จากการคำนวณโดยใช้ฐานข้อมูล Ecoinvent 2.2 กรณีที่โรงงานมีการเปลี่ยนการสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดความเป็นด่างจากโพแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟตเป็นโซเดียมคาร์บอเนต ส่งผลให้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการใช้สารเคมีมีค่าลดลงร้อยละ 87.4 ในส่วนของการกำจัดออกซิเจนในน้ำสำหรับป้อนเข้าหม้อไอน้ำ หากโรงงานใช้โซเดียม SBS แทนไดคลีน ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของสารเคมีมีค่าลดลงร้อยละ 76.4

การขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงาน ประกอบด้วย 1) เกษตรกรขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงานโดยตรงโดยใช้รถ 4 ล้อ 2)เกษตรขนส่งทะลายปาล์มสดไปยังลานเท โดยใช้รถ 4 ล้อในการขนส่ง และ 3) ลานเทขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงานโดยใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่ หากเกษตรกร ลานเท และโรงงานมีการจัดการที่ดี ได้แก่ 1) ในแต่ละรอบการขนส่งทะลายปาล์มสดมีการบรรทุกเต็มโหลด เนื่องจากวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่เกิดจากการขนส่งจะคำนวณตามปริมาณโหลดบรรทุกของการขนส่งแต่ละครั้ง การบรรทุกเต็มโหลดจะมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์น้อยกว่าบรรทุกไม่เต็มโหลด 2) ใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่ในการบรรทุก เช่น บรรทุกโดยใช้รถ 10 ล้อมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการขนส่งน้อยกว่าบรรทุกโดยใช้รถ 4 ล้อ เนื่องจากรถ 10 ล้อมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยกว่ารถ 4 ล้อ และ 3) รับซื้อทะลายปาล์มสดในระยะทางที่ใกล้โรงงาน โรงงานที่มีการจัดการที่ดีก็สามารถลดค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่เกิดจากการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงานได้

การใช้ไฟฟ้าของโรงงานมาจาก3 แหล่ง ได้แก่ 1) ไฟฟ้าที่มาจากกังหันไอน้ำ 2) ไฟฟ้าที่มาจากระบบรวมรวบแก๊สชีวภาพและ 3) ไฟฟ้าที่มาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เนื่องจากไฟฟ้าที่มาจากแหล่งที่ 1 และ 2 เป็นการนำของเสียที่เกิดขึ้นภายในโรงงานมาใช้ใหม่จึงไม่มีค่าวอ-เตอร์ฟุตพรินต์ ดังนั้นหากต้องการลดค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการใช้ไฟฟ้าต้องลดจากแหล่งที่ 3 คือไฟฟ้าที่มาจากการไฟฟ้า แนวทางการลดวอเตอร์ฟุตพรินต์ส่วนนี้สามารถทำได้โดยส่งเสริมให้มีการใช้ไฟฟ้าที่มาจากระบบรวบรวมก๊าซชีวภาพและส่งเสริมให้มีการใช้ไฟฟ้าที่มาจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่เกิดขึ้นภายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เช่น เส้นใยปาล์ม เป็นต้น

ส่วนใหญ่โรงงานจะมีเชื้อเพลิงไม่เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าทั้งปี เนื่องจากทะลายปาล์มสดมีปริมาณไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งปีซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล ในช่วงฤดูฝนผลผลิตปาล์มน้ำมันจะมีปริมาณน้อย ดังนั้นเพื่อให้โรงงานมีแหล่งเชื้อเพลิงป้อนให้กับโรงไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอต้องมีระบบสำรองเชื้อเพลิงเพื่อลดปัญหาดังกล่าว นอกจากนี้เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลมีความสำคัญเช่นกันในการผลิตไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด โดย เชื้อเพลิงที่ใช้ต้องนำมาอบแห้ง ย่อยให้มีขนาดสม่ำเสมอ เพื่อให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ กรณีที่โรงงานที่มีการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0503 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ลดการใช้ไฟฟ้าให้มีปริมาณเท่ากับค่าการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเฉลี่ยที่มีค่าเท่ากับ 0.0184 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ คิดเป็นการใช้น้ำที่ลดลงได้จากการไฟฟ้าร้อยละ 63.4 กรณีที่โรงงานที่มีการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าสูงสุดลดการใช้ไฟฟ้าให้มีปริมาณเท่ากับค่าการใช้ไฟฟ้าจากการโรงงานที่น้อยที่สุดที่มีค่าเท่ากับ 0.0005 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ คิดเป็นการใช้น้ำที่ลดลงได้จากการไฟฟ้าร้อยละ 99.0

3) เพิ่มอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ทำได้โดย 1) ลดการสูญเสียน้ำมันในเส้นใยปาล์ม ดำเนินการโดยควบคุมอุณหภูมิในถังย่อยผลปาล์ม เพื่อให้เส้นใยของเนื้อผลปาล์มแยกออกจากกัน ส่งผลให้น้ำมันปาล์มออกมาจากเส้นใยได้ดี 2) ลดการสูญเสียน้ำมันในกากตะกอนดีแคนเตอร์ เพื่อให้เครื่องดีแคนเตอร์ทำงานได้ดีที่สุดควรปรับอัตราส่วนระหว่างของเหลวและของแข็งเป็น 1:1 และอุณหภูมิของสลัดจ์ต้องไม่น้อยกว่า 95 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ต้องควบคุมการป้อนสลัดจ์เข้าเครื่องในอัตราที่คงที่ 3) ลดการสูญเสียน้ำมันในทะลายปาล์มเปล่าและลดการสูญเสียน้ำมันในน้ำเสีย โดยควบคุมเครื่องเซพาเรเตอร์ เครื่องดีแคนเตอร์และเครื่องกำจัดน้ำออกจากน้ำมัน ซึ่งส่งผลให้การสูญเสียน้ำมันในน้ำทิ้งลดลง (อรัญ และคณะ, 2546) จากการศึกษาพบว่า เมื่อโรงงานที่มีอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุดซึ่งมีอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับร้อยละ 15.9 เพิ่มอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบให้เท่ากับอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเฉลี่ยซึ่งมีค่าร้อยละ 18.1 ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.2 และในกรณีที่โรงงานที่มีอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบน้อยที่สุดเพิ่มอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบให้เท่ากับโรงงานที่มีอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 22.7 ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 30.0

4) จากการศึกษาพบว่า Hotspot ของวอเตอร์ฟุตพรินต์ได้แก่ การได้มาซึ่งทะลายปาล์มสดซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยคาร์บอนฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (Kaewmai *et al.*, 2012) ดังนั้นควรลดค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ในส่วนการปลูกปาล์มน้ำมัน โดยการเพิ่มผลผลิตต่อไร่และส่งเสริมให้มีการใช้ปุ๋ยชีวภาพแทนปุ๋ยเคมี

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการทดลอง

1. โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีอัตราการสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 18.1 การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ 1 ตันใช้ทะลายปาล์มสดเฉลี่ย 5.54 ตัน ใช้น้ำเฉลี่ย 5.02 ลบ.ม. ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเฉลี่ย 10.84 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 3.34 ลิตร

2. สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในขั้นตอนต่างๆ มีค่าดังต่อไปนี้ ขั้นตอนการนึ่งปาล์ม 1.00 ขั้นตอนการแยกผลปาล์ม 0.77-0.80 ขั้นตอนการย่อยผลปาล์ม 1.00 ขั้นตอนการบีบผลปาล์ม 0.65-0.85 ขั้นตอนการกรองผ่านตะแกรงสั่น 1.00 ขั้นตอนถังตกตะกอน 0.90-0.98 ขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ 0.24-0.42 และขั้นตอนการกำจัดน้ำ 1.00

3. การใช้น้ำทางตรงในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในขั้นตอนการนึ่งปาล์ม การย่อยและการบีบผลปาล์มมีค่าเฉลี่ย 5.02 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ การใช้น้ำทางอ้อมที่เกิดจากการใช้สารเคมี ไฟฟ้าที่มาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลที่เกิดจากการขนส่งมีค่าเฉลี่ย 0.42 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ วอเตอร์ฟุตพรินต์ทางอ้อมส่วนใหญ่มาจากการขนส่งทะลายปาล์มสดเข้าสู่โรงงานและการผลิตสารเคมี สัดส่วนการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมคิดเป็นร้อยละ 92.2 และ 7.85 ตามลำดับ

4. ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบไม่คิดรวมการปลูกปาล์มน้ำมัน โดยประเมินเฉพาะวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่เกิดขึ้นภายในโรงงานเพียงอย่างเดียว มีค่าเฉลี่ย 5.37 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ

5. ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันโดยแต่ไม่คิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเฉลี่ยและไม่มีการปันส่วนให้กับผลิตภัณฑ์ร่วมมีค่าเป็น 7,550 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ประกอบด้วยกรีนวอเตอร์ฟุตพรินต์ร้อยละ 57.5 บลูวอเตอร์ฟุตพรินต์ร้อยละ 28.4 และเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินต์ร้อยละ 14.2 โดยจังหวัดกระบี่มีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุด

6. ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันแต่ไม่คิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำที่ผ่านการบำบัดถูกปันส่วนให้ผลิตภัณฑ์ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดในและกะลา ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบเมื่อปันส่วนโดยใช้ค่าราคาพลังงานความร้อนและมวลมีค่าเป็น 6,215, 5,652 และ 4,641 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในเมื่อปันส่วนโดยใช้ค่าราคามีค่าเป็น 3,919 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน เมื่อปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อนมีค่าเป็น 3,740 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดในและเมื่อปันส่วนโดยใช้ค่ามวลมีค่าเป็น 4,641ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน วอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลาเมื่อปันส่วนโดยใช้ค่าราคา พลังงานความร้อนและมวลมีค่า 550 , 2,398และ 4,641 ลบ.ม.ต่อตันกะลาตามลำดับ

7. ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันและคิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อสุดท้ายแต่ไม่มีการปันส่วนให้กับผลิตภัณฑ์ร่วมมีค่าเฉลี่ยเป็น 8,027 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์มีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 5.59 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการทิ้งน้ำลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยจังหวัดชลบุรีมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุด ส่วนวอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบกรณีที่รวมวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันและคำนวณเกรย์วอเตอร์โดยใช้ค่าบีโอดีเท่ากับ 20 มก.ต่อลิตรมีค่าเฉลี่ยเป็น 7,558 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ โดยมีค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ลดลงร้อยละ 6.20 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่คำนวณเกรย์วอเตอร์ในจากน้ำที่ผ่านการบำบัดในบ่อสุดท้ายที่ตรวจวัดจริง

8. ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบคิดรวมวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการปลูกปาล์มน้ำมันและคิดรวมเกรย์วอเตอร์จากน้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อสุดท้ายถูกปันส่วนให้ผลิตภัณฑ์ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ เมล็ดในและกะลา ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของน้ำมันปาล์มดิบซึ่งปันส่วนโดยใช้ค่าราคา พลังงานความร้อนและมวลมีค่า 6,222, 5,658 และ 4,646 ลบ.ม.ต่อตันน้ำมันปาล์มดิบ ตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของเมล็ดในเมื่อปันส่วนโดยใช้ค่าราคามีค่า 3,924 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน เมื่อปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานความร้อนมีค่า 3,744 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดในและเมื่อปันส่วนโดยใช้ค่ามวลมีค่า 4,646 ลบ.ม.ต่อตันเมล็ดใน ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์เฉลี่ยของกะลาเมื่อปันส่วนโดยใช้ค่าราคา พลังงานความร้อนและมวลมีค่า 551 , 2,401 และ 4,646 ลบ.ม.ต่อตันกะลาตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1) งานวิจัยนี้ประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการคำนวณเป็นปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดของโรงงาน เนื่องจากทางโรงงานไม่มีข้อมูลการใช้น้ำเฉพาะในขั้นตอนการนึ่งปาล์ม การย่อยปาล์มและการบีบผลปาล์ม ดังนั้นในงานวิจัยต่อๆไปควรจะมีการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำใช้ของแต่ละขั้นตอนเพื่อให้ค่าวอเตอร์ฟุตพรินต์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด
2) ผลการประเมินการใช้น้ำของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่เกิดขึ้นภายในโรงงานเพียงอย่างเดียว พบว่า โรงงานที่มีค่าการใช้น้ำน้อยที่สุดเป็นโรงงานที่มีการใช้เทคโนโลยีหม้อนึ่งแบบใหม่ ดังนั้น ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีหม้อนึ่งแบบใหม่ในเชิงลึกเพื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำใช้ของเทคโนโลยีหม้อนึ่งแบบเก่าและแบบใหม่

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. 2537. มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพ.

กรมชลประทาน. 2553. แผนยุทธศาสตร์กรมชลประทาน พ.ศ.2553-2556. กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพ.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2551. แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี พ.ศ. 2551-2556. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพ.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2549. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพเชิงเศรษฐนิเวศน์อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม. กรุงเทพ.

ชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ และธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. 2554. วอเตอร์ฟุตพรินต์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 24(75): 41-52.

ธีระพงศ์ จันทรนิยม. 2555. คู่มือปาล์ม. กลุ่มบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม. ชลบุรี.

ปราณี หนูทองแก้ว และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. 2551. การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22 ณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. 15-17 ตุลาคม 2551. หน้า 116-120.

รมณี วังเมือง และปุณณมี สัจจกมล. 2555. ร่องรอยการใช้น้ำในอุตสาหกรรมแป้งข้าว. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้จอมเทียน ชลบุรี. 20-21 ตุลาคม 2554. หน้า 722-726.

รายงานการจัดสรรน้ำเพื่อภาคการใช้น้ำต่างๆ. 2552. สรุปผลการเสวนาเรื่อง “การจัดสรรน้ำเพื่อภาคการใช้น้ำต่างๆ” ครั้งที่ 2 2552. การประปาไทยดอทคอม. http://202.129.59.73/wm/Water/water5/water%205.pdf (สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2556)

ลักขณา เจริญสุข, รัตชยุดา กองบุญ และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. 2555. การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงาน

ทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา. 17-18 ตุลาคม 2555. หน้า 1- 11.

ลัคนาพร สีวิเส็ง, กัมปนาท ภักดีกุล, จำลอง อรุณเลิศอารีย์ และวัชระ เสือดี. 2555. วอเตอร์ฟุตปริ้นของปาล์มน้ำมัน ณ โครงการปลูกป่ามูลนิธิชันพัฒนา-แม่ฟ้าหลวง จ.เพชรบุรี. การประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางแสน. 6-7 ธันวาคม 2555. หน้า 1982-1988.

วรยุทธ สายบัวตรง, ชินาธิปกรณ์ พงส์ภิญโญภาพ และธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. 2554. การการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมไบโอดีเซลของประเทศไทยกับศักยภาพการส่งออกไปสหภาพยุโรป. การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 ณ หอปรุชุมนานาชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา. 10-11 พฤศจิกายน 2554. หน้า 1-5.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2556. วิชาการปาล์มน้ำมัน. ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, กรมวิชาการเกษตรเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ. http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oilpalm.html (สืบค้นเมื่อ 20 เมษายน 2556)

สถาบันพลังงานญี่ปุ่น. 2552. คู่มือสารชีวมวลเอเชียแนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวมวล. สถาบันพลังงานญี่ปุ่น.

สำนักงานการค้าภายในจังหวัดกระบี่. 2555. ราคาผลปาล์มและน้ำมันปาล์มดิบ. สำนักงานการค้าภายในจังหวัดกระบี่ กรมการค้าภายใน, กระทรวงพานิชย์, กรุงเทพ. http://www.dit.go.th/krabi/contentdet.asp?deptid=54&catid=161&id=10874 (สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2556)

สำนักงานการค้าภายในจังหวัดชุมพร. 2555. ราคาผลปาล์มและน้ำมันปาล์มดิบ. สำนักงานการค้าภายในจังหวัดกระบี่ กรมการค้าภายใน, กระทรวงพานิชย์, กรุงเทพ. http://www.dit.go.th/Chumpon/contentdet.asp?deptid=67&id=8233 (สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2556)

สำนักงานการค้าภายในจังหวัดสุราษฎร์ธานี. 2555. ราคาผลปาล์มและน้ำมันปาล์มดิบ. สำนักงานการค้าภายในจังหวัดกระบี่ กรมการค้าภายใน, กระทรวงพานิชย์, กรุงเทพ. http://www.dit.go.th/SuratThani/contentdet.asp?deptid=66&id=10553 (สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2556)

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2556. รายงานการประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ผลิตภัณฑ์ปาล์มน้ำมัน ไบโอดีเซล และยางพารา. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปทุมธานี.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2555. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพ.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2546. เนื้อที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน ปี 2546 (ระดับจังหวัด). สำนักงานสถิติแห่งชาติ, กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. กรุงเทพ.

อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และพูนสุข ประเสริฐสรรพ์. 2549. คู่มือการปฏิบัติที่ดีสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงเศรษฐนิเวศน์ในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม. โครงการเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของวิสาหกิจไทย-เยอรมัน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพ

A. O. A. C. 2000. Official Method of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. EUA.

APHA, AWWA and WFE. 2005. Standard Method for the Examination of the Water and Wastewater. 21st ed. American Public Health Association, Washigton, D.C.

Chapagain, A.K., Hoestra, A.Y., Savenije, H.H.G. and Gautam, R. 2006. The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton product on the water resources in the cotton producing countries. Ecological Economics 60: 186-203.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. 2007. The water footprint of coffee and tea consumption in Netherlands. Ecological Economics 64: 109-118.

Chapagain, A.K. and Orr, S. 2009. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes**.** Journal of Environmental Management. 90: 1219-1228.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. 2010. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. Ecological Economics 70: 749-758.

Department of alternative energy development and efficiency. 2006. Best Practice Guide Eco-Efficiency in Palm Oil Industry. Thai-German Program for Enterprise Competitiveness. Energy and Eco-Efficiency in Agro-Industry.

Ecoinvent centre. 2010. Ecoinvent data v2.2. Categories for processes. Ecoinvent centre. Swiss Centre for Life Cycle Inventories 2010. Switzerland.

Franck, I.C.M., and Castro, J.F.W. 2013. Carbon and water footprint analysis of a soap production in Brazil by Natura Cosmetics**.** Water Resources and Industry. 1-2: 37-48.

Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y. and Van der Meer, TH. 2009. The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. Ecological Economics 68: 1052-1060.

Galan-del-castillo, Elena. and Velazquez, Esther. 2010. From water to energy: The viryual water content and water footprint of biofuel consumption in spain. Energy Policy 38: 1345-1352.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., and Mekonnen, M.M. 2011. The Water Footprint Assessment Munual. Water Footprint Network. Netherlands.

Jefferies, D., Munoz, I., Hodges, J., King, V.J., Aldaya, M., Ercin, A.E., Canals, L.M. and Hoekstra, A.Y. 2012. Water footprint and Life Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key leaning points from pilot studies on tea and margarine. Journal of Cleaner Production 33: 155-166.

Kaewmai, R., H-Kittikun, A. and Musikavong, C., 2012. Greenhouse gas emissions of palm oil mills in Thailand**.** International Journal of Greenhouse Gas Control 11: 141-151.

Kaewmaik R., H-Kittikun, A., Suksaroj, C and Musikavong, C. 2013. Alternative Technologies for the Reduction of Greenhouse Gas Emission from Palm Oil Mills in Thailand**.** Environmental Science and Technology. 47: 12417-12425.

Kongboon R. and Sampattagul S. 2012. The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand. Procedia-Social and Behavioral Sciences 40: 451-460.

Mekonnen, M.M. and Chapagain, A.K. 2010. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. Hydrology and Earth System Sciences. 14: 1259-1276.

Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y., 2010. The Green, blue and grey water footpprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47, Unesco-IHE, Delft, the Netherlands.

Pfister, S., Koehler, A. and Hellweg, S., 2009. Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. Environmental Science and Technology. 43: 4098-4104

Ridoutt, B.G., Eady, S.J., Sellahewa, J., Simons, L. and Bektash, R. 2009. Water footprinting at the product brand level: case study and future challenges. Journal of Cleaner Production. 17(13): 1228-1235.

Ruini, L., Mario, M., Pignatelli, S., Laio, F. and Ridolfi, L. 2013. Water footprint of a large-sized food company: The case of Barilla pasta production. Water Resources and Industry. 1-2: 7-24.

Wu M., Mintz, M., Wang, M. and Arora, S., 2009. Water Consumption in the Production of Ethanol and Petroleum Gasoline. Environmental Management 44: 981-997.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบสอบถาม

ข้อมูลที่ต้องการจากโรงงานปี 2554

ตาราง ก-1 ข้อมูลที่ต้องการจากโรงงาน

ข้อมูลที่ต้องการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
ข้อมูลการผลิต			
1. ปริมาณทะลายปาล์มสดเข้าโรงงาน		ตันต่อปี	
2. ปริมาณผลปาล์มร่วงเข้าโรงงาน		ตันต่อปี	
รวมปริมาณปาล์มสดทั้งหมดเข้าโรงงาน		ตันต่อปี	
คิดแยกเป็นเปอร์เซ็นต์จากปริมาณทะลายปาล์มสดทั้งหมดเข้าโรงงาน			
- ปริมาณปาล์มสดจากสวนของเกษตรกร		%	
- ปริมาณปาล์มสดจากลานเท		%	
- ปริมาณปาล์มสดจากสวนของโรงงานเอง		%	
3. ปริมาณการใช้น้ำของโรงงาน		m^3ต่อปี	
4. จำนวนวันทำงานของโรงงาน		วัน/ปี	
5. จำนวนชั่วโมงทำงาน		ชั่วโมง/วัน	
ข้อมูลการใช้สารเคมีทั้งหมดในโรงงาน			
1. ดินขาว		ก.ก.ต่อปี	
2. สารเคมี 1 คือ		ก.ก.ต่อปี	
3. สารเคมี 2 คือ		ก.ก.ต่อปี	
4. สารเคมี 3 คือ		ก.ก.ต่อปี	
5. สารเคมี 4 คือ		ก.ก.ต่อปี	
6. สารเคมี 5 คือ		ก.ก.ต่อปี	
7. สารเคมี 6 คือ		ก.ก.ต่อปี	
8. สารเคมี 7 คือ		ก.ก.ต่อปี	
9. สารเคมี 8 คือ		ก.ก.ต่อปี	
ข้อมูลพลังงาน			
1. ปริมาณการซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		หน่วยต่อปี	ข้อมูลจากบิลค่าไฟฟ้า
2. ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลภายในโรงงาน		ลิตรต่อปี	
ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต			
1. ปริมาณ CPO		ตันต่อปี	
2. ปริมาณ PKO		ตันต่อปี	กรณีที่โรงงานมีการผลิต
3. ปริมาณทะลายปาล์มเปล่า		ตันต่อปี	

เอาเฉพาะพารามิเตอร์ที่โรงงานมีการตรวจวัด

ตาราง ก-1 ข้อมูลที่ต้องการจากโรงงาน (ต่อ)

ข้อมูลที่ต้องการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
3. ปริมาณทะลายปาล์มเปล่า		ตันต่อปี	
4. ปริมาณ PK		ตันต่อปี	
5. ปริมาณเส้นใย		ตันต่อปี	
6. ปริมาณกะลา		ตันต่อปี	
7. ปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์		ตันต่อปี	
8. ปริมาณกากเมล็ดใน		ตันต่อปี	
ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ส่งขายออกโรงงาน			
1. ปริมาณ CPO		ตันต่อปี	
2. ปริมาณ PKO		ตันต่อปี	กรณีที่โรงงานมีการผลิต
3. ปริมาณ PK		ตันต่อปี	
4. ปริมาณทะลายปาล์มเปล่า		ตันต่อปี	
5. ปริมาณเส้นใย		ตันต่อปี	
6. ปริมาณกะลา		ตันต่อปี	
7. ปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์		ตันต่อปี	
8. ปริมาณกากเมล็ดใน		ตันต่อปี	
ข้อมูลความชื้นของผลิตภัณฑ์			
1. ปริมาณ CPO		%	
2. ปริมาณ PKO		%	
3. ปริมาณ PK		%	
4. ปริมาณทะลายปาล์มเปล่า		%	
5. ปริมาณเส้นใย		%	
6. ปริมาณกะลา		%	
7. ปริมาณกากตะกอนดีแคนเตอร์		%	
8. ปริมาณกากเมล็ดใน		%	
ข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์ที่ได้			
1. ราคา CPO		บาทต่อตัน	
2. ราคา PKO		บาทต่อตัน	

เอาเฉพาะพารามิเตอร์ที่โรงงานมีการตรวจวัด

ตาราง ก-1 ข้อมูลที่ต้องการจากโรงงาน (ต่อ)

ข้อมูลที่ต้องการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
3. ราคา PK		บาทต่อตัน	
4. ราคาทะลายปาล์มเปล่า		บาทต่อตัน	
5. ราคาเส้นใย		บาทต่อตัน	
6. ราคากะลา		บาทต่อตัน	
7. ราคากากตะกอนดีแคนเตอร์		บาทต่อตัน	
8. ราคากากเมล็ดใน		บาทต่อตัน	
ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย			
1. **คุณภาพน้ำที่ออกจากกระบวนการผลิต			
1.1 ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย		ลบ.ม.ต่อปี	หรือ ลบ.ม.ต่อวัน
1.2 COD		มก.ต่อลิตร	
1.3 BOD		มก.ต่อลิตร	
1.4 TKN		มก.ต่อลิตร	
1.5 Fat Oil&grease		มก.ต่อลิตร	
1.6 ไนเตรต		มก.ต่อลิตร	
1.7 ไนโตรเจน		มก.ต่อลิตร	
2. **คุณภาพน้ำก่อนเข้าระบบไบโอแก๊ส			
2.1 ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบ		ลบ.ม.ต่อปี	หรือ ลบ.ม.ต่อวัน
2.2 COD		มก.ต่อลิตร	
2.3 BOD		มก.ต่อลิตร	
2.4 TKN		มก.ต่อลิตร	
2.5 Fat Oil&grease		มก.ต่อลิตร	
2.6 ไนเตรต		มก.ต่อลิตร	
2.7 ไนโตรเจน		มก.ต่อลิตร	
3. **คุณภาพน้ำออกจากระบบไบโอแก๊ส			
3.1 ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบ		ลบ.ม.ต่อปี	หรือ ลบ.ม.ต่อวัน
3.2 COD		มก.ต่อลิตร	

เอาเฉพาะพารามิเตอร์ที่โรงงานมีการตรวจวัด

ตาราง ก-1 ข้อมูลที่ต้องการจากโรงงาน (ต่อ)

ข้อมูลที่ต้องการ	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
3.3 BOD		มก.ต่อลิตร	
3.4 TKN		มก.ต่อลิตร	
3.5 Fat Oil&grease		มก.ต่อลิตร	
3.6 ไนเตรต		มก.ต่อลิตร	
3.7 ไนโตรเจน		มก.ต่อลิตร	
4. **คุณภาพน้ำทิ้ง			
4.1 ปริมาณน้ำทิ้ง		ลบ.ม.ต่อปี	หรือ ลบ.ม.ต่อวัน
4.2 COD		มก.ต่อลิตร	
4.3 BOD		มก.ต่อลิตร	
4.4 TKN		มก.ต่อลิตร	
4.5 Fat Oil&grease		มก.ต่อลิตร	
4.6 ไนเตรต		มก.ต่อลิตร	
4.7 ไนโตรเจน		มก.ต่อลิตร	
5. **คุณภาพน้ำดิบ(ก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปา)			
5.1 ปริมาณน้ำดิบ		ลบ.ม.ต่อปี	หรือ ลบ.ม.ต่อวัน
5.2 COD		มก.ต่อลิตร	
5.3 BOD		มก.ต่อลิตร	
5.4 TKN		มก.ต่อลิตร	
5.5 Fat Oil&grease		มก.ต่อลิตร	
5.6 ไนเตรต		มก.ต่อลิตร	
5.7 ไนโตรเจน		มก.ต่อลิตร	
ข้อมูลปริมาณน้ำใช้ในกระบวนการผลิต			
1. น้ำที่ผ่านระบบการผลิตน้ำประปา		ลบ.ม.ต่อปี	
2. น้ำที่ผ่านหม้อ Boiler		ลบ.ม.ต่อปี	เช่น RO, softener
3. น้ำที่ใช้ละลายดินขาว		ลบ.ม.ต่อปี	
4. น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมด		ลบ.ม.ต่อปี	

เอาเฉพาะพารามิเตอร์ที่โรงงานมีการตรวจวัด

ข้อมูลการขนส่งที่ต้องการจากโรงงานปี 2554

ตาราง ก-2 ข้อมูลการขนส่งปาล์มทะลายและปาล์มลูกร่วง

ระยะทางระหว่าง	ระยะทางจากเกษตรกรถึงลานเท (กิโลเมตร)	ประเภทและขนาดรถบรรทุก เช่น รถกระบะ 4 ล้อ ขนาดบรรทุก 6 ตัน	คิดเป็น%
เกษตรกร – ลานเท	0-40 กิโลเมตร		
	40-80 กิโลเมตร		
	80-100 กิโลเมตร		
	100-140 กิโลเมตร		
ลานเท - โรงงาน	0-40 กิโลเมตร		
	40-80 กิโลเมตร		
	80-100 กิโลเมตร		
	100-140 กิโลเมตร		
เกษตรกร - โรงงาน	0-40 กิโลเมตร		
	40-80 กิโลเมตร		
	80-100 กิโลเมตร		
	100-140 กิโลเมตร		

ข้อมูลการขนส่งที่ต้องการจากโรงงานปี 2554

ตาราง ก-3 ข้อมูลการขนส่งสารเคมีและน้ำมันดีเซล

ระยะทางระหว่าง	วัตถุดิบ	ระยะทางจากผู้ขายถึงโรงงาน (กิโลเมตร)	ประเภทและขนาดรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง เช่น ใช้รถ 18 ล้อบรรทุกได้ 18 ตัน	หมายเหตุ
ผู้ขาย – โรงงาน	1. ดินขาว			
	2. สารเคมี 1			
	3. สารเคมี 2			
	4. สารเคมี 3			
	5. สารเคมี 4			
	6. สารเคมี 5			
	7. สารเคมี 6			
	8. สารเคมี 7			
	9. สารเคมี 8			
	10. น้ำมันดีเซล			

ภาคผนวก ข

มาตรฐานน้ำผิวดิน

ตาราง ข-1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ลำดับ	คุณภาพน้ำ[2/]	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[3/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ [1/]				
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท5
1.	สี กลิ่น และรส (Coloir Odour and Taste)	-	ธ	ธ /	ธ /	ธ /	-
2.	อุณหภูมิ (Temperature)	°ซ	ธ	ธ /	ธ /	ธ /	-
3.	ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	ธ	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	-
4.	ออกซิเจนละลาย (DO)[3/]	มก./ล.(mg/l)	ธ	6.0	4.0	2.0	-
5.	บีโอดี (BOD)	มก./ล.(mg/l)	ธ	1.5	2.0	4.0	-
6.	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี.เอ็น/100มล. (MPN/100 ml)	ธ	5,000	20,000	-	-
7.	แบคทีเรียกลุ่มฟิโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี.เอ็น/100มล. (MPN/100 ml)	ธ	1,000	4,000	-	-

ตาราง ข-1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ต่อ)

ลำดับ	คุณภาพน้ำ[2/]	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[3/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ [1/]				
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท5
8.	ไนเตรต (NO_3) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล. (mg/l)	ธ	5.0	5.0	5.0	-
9.	แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล. (mg/l)	ธ	0.5	0.5	0.5	-
10.	ฟีนอล (Phenols)	มก./ล. (mg/l)	ธ	0.005	0.005	0.005	-
11.	ทองแดง (Cu)	มก./ล. (mg/l)	ธ	0.1	0.1	0.1	-
12.	นิคเกิล (Ni)	มก./ล. (mg/l)	ธ	0.1	0.1	0.1	-
13.	แมงกานีส (Mn)	มก./ล. (mg/l)	ธ	1.0	1.0	1.0	-
14.	สังกะสี (Zn)	มก./ล. (mg/l)	ธ	1.0	1.0	1.0	-
15.	แคดเมียม (Cd)	มก./ล. (mg/l)	ธ	0.005* 0.05*	0.005* 0.05*	0.005* 0.05*	- -
16.	โคเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Cr Hexavalent)	มก./ล. (mg/l)	ธ	0.05	0.05	0.05	-
17.	ตะกั่ว (Pb)	มก./ล. (mg/l)	ธ	0.05	0.05	0.05	-

ตาราง ข-1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ต่อ)

ลำดับ	คุณภาพน้ำ[2/]	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[3/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ [1/]				
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท5
18.	ปรอททั้งหมด (Total Hg)	มก./ล. (mg/l)	ธ	0.002	0.002	0.002	-
19.	สารหนู (As)	มก./ล. (mg/l)	ธ	0.01	0.01	0.01	-
20.	ไซยาไนด์ (Cyanide)	มก./ล. (mg/l)	ธ	0.005	0.005	0.005	-
21.	กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) - ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) - ค่ารังสีเบตา (Beta)	เบเคอเรล/ล. เบเคอเรล/ล.	ธ ธ	0.1 1.0	0.1 1.0	0.1 1.0	- -
22.	สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดมีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)	มก./ล. (mg/l)	ธ	0.05	0.05	0.05	-
23.	ดีดีที (DDT)	ไมโครกรัม/ล.	ธ	1.0	1.0	1.0	-
24.	บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha-BHC)	ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.02	0.02	0.02	-

ตาราง ข-1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ต่อ)

ลำดับ	คุณภาพน้ำ[2/]	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[3/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ [1/]				
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท5
25.	ดีลดริน (Dieldrin)	ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.2	0.2	0.2	-
26.	อัลดริน (Aldrin)	ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.1	0.1	0.1	-
27.	เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลอร์ อิปอกไซด์ (Heptachlor & Heptachlor epoxide)	ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.2	0.2	0.2	-
28.	เอนดริน (Endrin)	ไมโครกรัม/ล.	ธ	ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด			-

ที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537 (ภาคผนวก ฐ)

หมายเหตุ

1/ การแบ่งประเภทแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

(2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน

(3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการ ปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ

(3) การประมง

(4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การเกษตร

ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

2/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

3/ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ/ อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติ เกิน 3 องศาเซลเซียส

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

^{o} ซ องศาเซลเซียส

P20 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P80 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

มก./ล. มิลลิกรัมต่อลิตร

มล. มิลลิลิตร

MPN เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวเพชรดา สัตยากูล

รหัสนักศึกษา 5310120021

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขาวิชาเคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่	2552

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

- ทุนบัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

- ทุนอุดหนุนการวิจัยภายใต้โครงการ การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ผลิตภัณฑ์ปาล์มน้ำมัน ไบโอดีเซล และยางพารา สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สัญญาเลขที่ CPM-๕๕-๑๑

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Phetrada Suttayakul, Chaisri Suksaroj, Aran H-Kittikun, Jitti Mungkalasiri, RuthairatWisansuwannakran and Charongpun Musikavong **.** 2013**.** The Water Footprint of Products from Palm Oil Mills in Southern Thailand. At the 2nd International Conference on Environmental Pollution Restoration and Management in Hanoi, Vietnam, March 4-8, 2013.

เพชรดา สัตยากูล, ชัยศรี สุขสาโรจน์, อรัญ หันพงศ์กิตติกูล, จิตติ มังคละศิริ, ฤทัยรัตน์ วิศาลสุวรรณกรและจรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์. 2556. วอเตอร์ฟุตพรินต์ของน้ำมันปาล์มดิบผลิตโดยกระบวนการสกัดแบบเปียกในประเทศไทย. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 12. ณ โรงแรมภูแมน ขอนแก่น ราชา ออร์คิด จังหวัดขอนแก่น. วันที่ 27-29 มีนาคม 2556