รหัสโครงการ SUT1-104-56-12-12

รายงานการวิจัย

วอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย กรณีศึกษา: จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์

Water and carbon footprint of refined sugar production from Lower Northeastern of Thailand: case study of Nakhon Ratchasina, Chaiyaphum, Buri Ram and Surin provinces

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT1-104-56-12-12

รายงานการวิจัย

วอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย กรณีศึกษา: จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์

Water and carbon footprint of refined sugar production from Lower Northeastern of Thailand: case study of Nakhon Ratchasina, Chaiyaphum, Buri Ram and Surin provinces

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผศ.ดร.พงศ์เทพ สุวรรณวารี

สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมโครงการ

1. ดร.ขนิษฐา มีวาสนา
2. ผศ.กัลยาณี กุลชัย

ผู้ช่วยโครงการ

นางสาวมนัสวี พานิชนอก

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ตุลาคม 2557

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 ทำให้คณะผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยเรื่องนี้ให้เสร็จสิ้นลงได้

ขอขอบคุณผู้อำนวยการ บริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการใช้วัตถุดิบ พลังงาน สาธารณูปโภค และของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของบริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกและประสานงานในทุกด้านเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์ ที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้บรรลุผลสำเร็จตามเป้าประสงค์ได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและนักศึกษาทุกท่านที่ร่วมทำงาน เป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน จนสามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

คณะผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้ เป็นการประเมินปริมาณวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตลอดห่วงโซ่การผลิตน้ำตาลทรายขาวในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทยแบบธุรกิจสู่ธุรกิจ เริ่มตั้งแต่การปลูกอ้อย การขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน จนกระทั่งการผลิตเป็นน้ำตาลทรายขาว โดยอาศัยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป็นแนวทางในการประเมิน การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดพื้นที่ศึกษา จำนวน 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ ในปี พ.ศ. 2555 ผลการศึกษาพบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายขาวในจังหวัดสุรินทร์มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 3,773 ลิตร/กิโลกรัม รองลงมาคือจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ และบุรีรัมย์ โดยมีค่าเท่ากับ 3,762, 3,577 และ 3,360 ลิตร/กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าในภาคเกษตรกรรมได้มีการใช้น้ำในปริมาณที่สูงกว่าในภาคอุตสาหกรรม ส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตในภาพรวมทั้งจังหวัด พบว่าจังหวัดนครราชสีมามีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 2.54 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี รองลงมาคือ ชัยภูมิ สุรินทร์ และบุรีรัมย์ โดยมีค่าเท่ากับ 1.56, 0.78 และ 0.50 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี ตามลำดับ โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างมีค่าทั้งสิ้นเท่ากับ 5.38 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้กำหนดให้จังหวัดนครราชสีมาเป็นพื้นที่ตัวอย่างศึกษาเนื่องจากมีข้อมูลครบถ้วน พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.3429 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลกรัม โดยในภาคอุตสาหกรรมมีสัดส่วนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าภาคเกษตรกรรม เมื่อเปรียบเทียบภาพรวมทั้งจังหวัดพบว่า จังหวัดนครราชสีมามีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงที่สุดเท่ากับ 231 ล้าน กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี รองลงมาคือ ชัยภูมิ สุรินทร์ และบุรีรัมย์ โดยมีค่าเท่ากับ 149, 71 และ 51 ล้าน กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี ตามลำดับ ส่วนผลรวมค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างมีค่าทั้งสิ้นเท่ากับ 502 ล้าน กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี ผลการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการจัดการด้านทรัพยากรน้ำและนโยบายด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทรายขาวในทุกภาคส่วน

คำสำคัญ : รอยเท้าเชิงนิเวศ ก๊าซเรือนกระจก การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ อ้อย

Abstract

This research is an assessment of water and carbon footprints throughout the chain of refined sugar production in lower northeastern of Thailand with Business-to-Business (B2B) analysis that investigates overall of sugar cane cultivation, transportation and processing, using life cycle assessment (LCA) as a guideline. This study focused only on 4 provinces including Nakhon Ratchasima, Chaiyaphum, Buri Ram and Surin, in 2012. The results showed that water footprint of refined sugar in Surin was the highest at 3,773 L/kg, followed by Nakhon Ratchasima, Chaiyaphum and Buri Ram at the values of 3,762, 3,577 and 3,360 L/kg, respectively. Moreover, most of water consumption was manifested from cultivation sector. For water footprint of the whole province, Nakhon Ratchasima has the highest value of 2.54 billion cubic meters/year, followed by Chaiyaphum, Surin and Buri Ram at the values 1.56, 0.78 and 0.50 billion cubic meters/year, respectively. Therefore, the total water footprint in the lower northeastern was 5.38 billion cubic meters/year.

Carbon footprint assessment of refined sugar was 0.3429 kg-carbon dioxide equivalent/kg, using Nakhon Ratchasima data. The industrial sector accounts for discharging greenhouse gases more than those in the cultivation sector. Additionally, Nakhon Ratchasima had the highest carbon footprint of 231 million kg-carbon dioxide equivalent/year, followed by Chaiyaphum, Surin and Buri Ram at the values of 149, 71 and 51 million kg-carbon dioxide equivalent/year, respectively. The total carbon footprint of lower northeastern was 502 million kg-carbon dioxide equivalent/year. The results of this study could be useful for water resources planning, management and policies to reduce greenhouse gas emissions from all sectors of the sugar industry.

Key words: ecological footprint, greenhouse gases, life cycle assessment, LCA, sugarcane

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 บทตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 อ้อยและน้ำตาล	4
2.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์	10
2.3 คาร์บอนฟุตพริ้นท์	18
2.4 การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์	22
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	28
3.1 รูปแบบงานวิจัย	28
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	28
3.3 ข้อมูลการปลูกอ้อยและการผลิตน้ำตาลทรายขาว	31
3.4 การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว	31
บทที่ 4 ผลการศึกษา	34
4.1 ข้อมูลการปลูกอ้อยและบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในภาคเกษตรกรรม	34
4.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวและบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรม	36
4.3 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาว	40
4.4 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว	41
4.5 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว	50

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 57

5.1 สรุปผลการวิจัย 57

5.2 ข้อเสนอแนะ 59

เอกสารอ้างอิง 60

ภาคผนวก 64

ก ข้อมูลนำเข้าโปรแกรม CROPWAT 8.0 65

ข ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 68

ค แบบสัมภาษณ์การเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสียในไร่อ้อย 71

ประวัติคณะผู้วิจัย 73

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณอ้อยที่ขนส่งเข้าสู่โรงงานและผลผลิตน้ำตาลทรายขาวของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2555	4
2	ความต้องการน้ำของอ้อยในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต	7
3	ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืช 14 กลุ่มหลัก	15
4	ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (GWP)	21
5	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์โคคา-โคล่า	22
6	ที่มาและแหล่งข้อมูลการปลูกอ้อยและกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว	31
7	พื้นที่ปลูกและผลผลิตอ้อยที่ส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2555	34
8	บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการปลูกอ้อย 1 ตัน	35
9	บัญชีรายการสารขาเข้าและออกในขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อย	36
10	บัญชีรายการสารขาเข้าและออกในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ	38
11	บัญชีรายการสารขาเข้าและออกในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายขาว	39
12	บัญชีรายการสารขาเข้าและออกในขั้นตอนการบรรจุ	40
13	บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาว	41
14	ข้อมูลพืชของอ้อย	44
15	ค่าคายระเหยน้ำ และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลูของการปลูกอ้อย	44
16	ปริมาณการใช้ปุ๋ย สัดส่วนการชะล้าง และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของการปลูกอ้อย	45
17	ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	46
18	ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	49
19	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อย 1 ตัน	51
20	ผลผลิตอ้อยและค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	52
21	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาว	53
22	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว	54
23	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	55

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ ในดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อย	5
2	กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว	8
3	กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ p ผ่านกระบวนการย่อย k ขั้นตอน	13
4	ขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ p	14
5	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าทั้งหมดของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2543	19
6	ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แบบ B2C	21
7	ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แบบ B2B	22
8	ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	23
9	แผนผังการผลิตอย่างง่าย	25
10	ขอบเขตการประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว	32
11	กระบวนการสกัดน้ำอ้อย	36
12	กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ	37
13	กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว	38
14	กระบวนการบรรจุน้ำตาลทรายขาว	39
15	แผนผังการเก็บข้อมูลการใช้น้ำในการปลูกอ้อย	42
16	การใช้น้ำในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายขาว 1 กิโลกรัม	47
17	แผนผังการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว	49
18	แผนผังการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกอ้อย	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันปัญหาภาวะโลกร้อนและการขาดแคลนน้ำจัดเป็นปัญหาที่สำคัญอันดับต้นๆ ของโลก ที่หลายประเทศกำลังประสบอยู่ สืบเนื่องมาจากประชากรโลกที่เพิ่มมากขึ้นและการแข่งขันทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้น ทำให้มีการใช้ทรัพยากรเพื่อเพิ่มผลผลิตและปล่อยของเสียเพิ่มมากขึ้น ทรัพยากรน้ำจัดเป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่สำคัญสำหรับกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ หรือบางผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องใช้น้ำทั้งห่วงโซ่การผลิต นอกจากนี้กระบวนการผลิตสินค้าและบริการยังก่อให้เกิดของเสีย เช่น ก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน และประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับที่ 31 ของโลก และเป็นอันดับที่ 4 ของอาเซียน (พรพันธุ์ บุณยรัตพันธุ์, 2553) ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตที่มีผลิตภัณฑ์ทั้งในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงมีการใช้ทรัพยากรและปล่อยของเสียในปริมาณที่สูง

การทำไร่จัดเป็นอาชีพเกษตรกรรมที่สำคัญของคนไทย ทำให้ประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อการบริโภคและการจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศเป็นมูลค่าที่สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ผลิตมาจากอ้อย ประเทศไทยมีพื้นที่ในการปลูกอ้อยประมาณ 6.5 ล้านไร่ ในปี พ.ศ. 2553 (สำราญ แสนสุโพธิ, 2553) และได้เพิ่มสูงขึ้นเป็น 8.9 ล้านไร่ ในปี พ.ศ. 2554 (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2555) ซึ่งมีพื้นที่ปลูกทั้งในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน การปลูกอ้อยแบ่งออกเป็น 4 ช่วงด้วยกัน คือ ระยะเริ่มงอก ระยะอ้อยแตกกอ ระยะย่างปล้อง และระยะสุกแก่ ในช่วงการเจริญเติบโตของอ้อยจะต้องการปริมาณน้ำที่เพียงพอ เพื่อการขยายตัวของเซลล์ที่ดูดน้ำเข้าไปเพื่อการเจริญเติบโต (กริยาพร เทพรัตน์, 2548) ซึ่งทำให้อ้อยมีปริมาณน้ำอ้อยที่สูงและมีคุณภาพที่ดี นอกจากนี้การปลูกอ้อยพบว่ามีความต้องการใช้น้ำถึง 806-1,640 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ขึ้นอยู่กับชนิดของชุดดิน (สัญชัย หุ่นดี, 2548) การปลูกอ้อยนอกจากต้องใช้น้ำในปริมาณมากแล้วยังต้องใช้ปุ๋ยเคมีและยากำจัดศัตรูพืช รวมถึงการเก็บเกี่ยวอ้อยต้องอาศัยเครื่องจักรกลในการเก็บเกี่ยว ในส่วนนี้ได้ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย

อุตสาหกรรมน้ำตาลทรายขาวของประเทศไทยจัดเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้สูง และไทยยังเป็นประเทศผู้ส่งออกน้ำตาลทรายติดอันดับ 1 ใน 5 ของโลก จากรายงานการผลิตน้ำตาลทรายทั่วประเทศในปี พ.ศ.2553 พบว่ากำลังการผลิตรวมทั้งน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายดิบทั้งประเทศประมาณ 96,630,086 กระสอบ หรือคิดเป็น 9.66 ล้านตัน (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2554) ซึ่งถือเป็นตัวเลขที่สูงมาก ดังนั้นในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวจึงมีการใช้น้ำและปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมาก โดยทั้งภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมจัดเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์จัดเป็นตัวชี้วัดถึงปริมาณการใช้น้ำและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ซึ่งในปัจจุบันถือเป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้เพื่อประเมินมาตรฐานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิต

น้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับงานบริหารจัดการและแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายขาวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ของการใช้น้ำตลอดห่วงโซ่การผลิตน้ำตาลทรายขาวจากอ้อย ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย กรณีศึกษา จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์

1.2.2 ประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดห่วงโซ่การผลิตน้ำตาลทรายขาวจากอ้อย ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย กรณีศึกษา จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตการประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทยในปีพ.ศ. 2555 แบบธุรกิจสู่ธุรกิจ (B2B) โดยกำหนดพื้นที่ทำการศึกษาออกเป็น 4 จังหวัดด้วยกันคือ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์และสุรินทร์ และได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทแรกคือการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว และประเภทที่สองคือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว นอกจากนี้แล้วในการศึกษาแต่ละประเภทยังได้แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ภาคส่วนด้วยกันคือ ภาคเกษตรกรรมหรือการปลูกอ้อย ซึ่งได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมดิน การเพาะปลูก การใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืช และการเก็บเกี่ยว และภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ การขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานและกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 เป็นความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์เพื่อเป็นประโยชน์ต่องานด้านการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกลุ่มธุรกิจการผลิตน้ำตาลทรายขาว

1.4.2 หน่วยงานภาครัฐบาลและเอกชนที่เกี่ยวข้องได้ทราบถึงสถานการณ์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมการผลิตน้ำตาลทรายขาวตลอดห่วงโซ่ของการผลิต

1.4.3 เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยทราบสถานการณ์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปลูกอ้อย รวมถึงภาครัฐหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะได้วางแผนการใช้ทรัพยากรน้ำและปุ๋ยเคมีอย่างเหมาะสมในการเพาะปลูกอ้อย การลดปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการไถ-พรวนดิน การเก็บเกี่ยวอ้อย และการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน เพื่อให้กลุ่มเกษตรกรนำแผนดังกล่าวไปปฏิบัติได้อย่างถูกต้องหมาะสม

1.4.4 โรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทรายขาวสามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย มาหาแนวทางในการลดปริมาณการใช้น้ำและเชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้าในกลุ่มธุรกิจการค้าน้ำตาลทรายขาวระดับโลก หากผลิตภัณฑ์ได้รับฉลากด้านสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2

ตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อ้อยและน้ำตาล

2.1.1 สถาณการณ์อ้อยและน้ำตาล

สถาณการณ์การผลิตน้ำตาลของโลก โดยองค์การน้ำตาลระหว่างประเทศ (International Sugar Organization: ISO) ได้คาดว่าในปี พ.ศ. 2555 ปริมาณน้ำตาลโลกที่ผลิตได้จะอยู่ที่ 177.394 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 173.487 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2554 ส่วนปริมาณการบริโภคน้ำตาลจะอยู่ที่ 171.537 ล้านตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.92 จากปี พ.ศ. 2554 เนื่องจากความต้องการบริโภคน้ำตาลของประเทศในภูมิภาคเอเชียเพิ่มขึ้น ได้แก่ อินเดีย และอินโดนีเซีย (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2555a) โดยประเทศที่มีการปลูกอ้อยและผลิตน้ำตาลมากที่สุดในโลกคือประเทศบราซิล อินเดีย จีน ไทย และปากีสถาน ส่วนประเทศที่มีการนำเข้าน้ำตาลมากที่สุด คือ รัสเซีย อินโดนีเซีย อเมริกา ญี่ปุ่น และอินเดีย ซึ่งประเทศไทยมีโควต้าการส่งออกน้ำตาลไปยังประเทศดังกล่าว รวมถึงประเทศจีน และอินเดีย เนื่องจากมีความต้องการบริโภคน้ำตาลภายในประเทศเป็นจำนวนมาก จึงต้องมีการนำเข้าน้ำตาลจากประเทศไทย

สำหรับประเทศไทย อ้อยถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทราย โดยในปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกอ้อยรวมประมาณ 8.9 ล้านไร่ ผลผลิตอ้อยรวม 106.3 ล้านตัน มีกำลังการผลิตน้ำตาลประมาณ 10 ล้านตัน (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2554) โดยปริมาณอ้อยที่ส่งเข้าสู่โรงงานและผลผลิตน้ำตาลแบ่งตามภูมิภาคของประเทศไทยได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ปริมาณอ้อยที่ขนส่งเข้าสู่โรงงานและผลผลิตน้ำตาลของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2555

ภาค	ปริมาณอ้อยส่งโรงงาน (ตัน)			น้ำตาลทราย (ตัน)
	อ้อยสด	อ้อยเผา	รวม	
เหนือ	7,061,155	17,913,794	24,974,949	2,511,616
กลาง	9,426,157	22,429,234	31,855,391	3,295,943
ตะวันออกเฉียงเหนือ	16,452,772	20,602,123	37,054,895	4,019,125
ตะวันออก	834,700	3,259,755	4,094,455	408,784
รวม	33,774,784	64,204,906	97,979,690	10,235,468

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2555

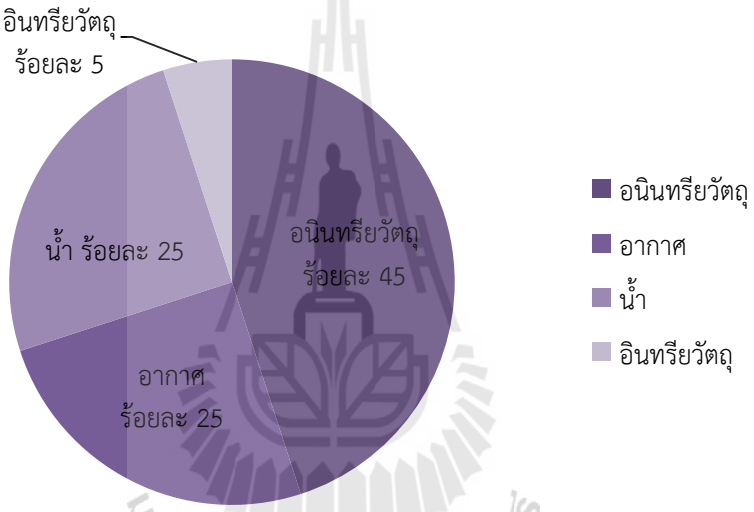
น้ำตาลทรายที่ผลิตได้ทั้งหมดในประเทศ จะใช้บริโภคภายในประเทศเพียงประมาณร้อยละ 30 ที่เหลืออีกร้อยละ 70 ส่งออกไปต่างประเทศ ทำให้ประเทศไทยมีรายได้จากการจำหน่ายน้ำตาลทั้งในประเทศและส่งออกต่างประเทศ มีมูลค่าสูงกว่า 80,000 ล้านบาท โดยในปี พ.ศ. 2553 และ พ.ศ. 2554 มีปริมาณการ

บริโภคน้ำตาลภายในประเทศคิดเป็น 2.16 และ 2.50 ล้านตัน และส่งออกไปต่างประเทศคิดเป็น 4.50 และ 7.16 ล้านต้น ตามลำดับ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2555b) ส่วนการบริโภคน้ำตาลของประชากรในปี พ.ศ. 2553 มีการบริโภคสูงถึง 33.8 กิโลกรัม/คน/ปี ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2551 และ พ.ศ. 2552 ที่มีการบริโภคเป็น 30.4 และ 31.0 กิโลกรัม/คน/ปี ตามลำดับ (ขนิษฐ์ รัตนรังสิมา, 2555)

2.1.2 การปลูกอ้อย

1) พื้นที่ปลูกอ้อย

พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อยควรเป็นที่ดอนหรือที่ลุ่มไม่มีน้ำท่วมขัง สูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 1,500 เมตร สภาพดินที่เหมาะสมควรเป็นดินร่วนที่มีการอุ้มน้ำ ระบายน้ำได้ดี และมีความโปร่งเพื่อให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก



ภาพที่ 1 สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ ในดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อย

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2547

2) การเตรียมดิน

โดยทั่วไปหลังจากตัดอ้อยแล้ว เกษตรกรจะเผาซากอ้อยและตออ้อยเก่าทิ้ง เพื่อสะดวกต่อการเตรียมดินในปีถัดไป แต่หากทำการขุดสับตออ้อยด้วยจอบแทนการเผาพบว่าสามารถช่วยอนุรักษ์อินทรียวัตถุในดินได้ดี หลังจากการไถกลบซากอ้อยแล้วต้องทำการปรับหน้าดินให้เรียบและมีความลาดเอียงไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.3 เพื่อความสะดวกในการระบายน้ำ ควรไถเตรียมดินในขณะที่ดินมีความชื้นที่พอเหมาะและให้มีความลึกประมาณ 30-50 เซนติเมตร ให้อยู่ในระดับที่เท่ากันตลอดและไม่ควรไถดินให้ละเอียดมากจนเกินไปเนื่องจากจะทำให้น้ำฝนที่ตกลงมาถูกอุดอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ส่งผลให้การระบายน้ำและอากาศไม่ดี

3) การเตรียมท่อนพันธุ์

ท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูกควรเป็นพันธุ์ที่ปราศจากโรคและแมลง มีความยาวสม่ำเสมอ มีอายุประมาณ 8-10 เดือน มีการป้องกันแมลงและกำจัดสัตว์นำโรคโดยทำการชุบด้วยน้ำร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือที่ 52 องศาเซลเซียส เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง หากใช้ท่อนพันธุ์ที่อายุน้อยกว่า 8 เดือนจะพบว่าสัดส่วนของการงอกของอ้อยจะลดลง

4) ฤดูปลูก

I. การปลูกอ้อยต้นฤดูฝน ปลูกในเขตชลประทานประมาณช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน และในเขตอาศัยน้ำฝนส่วนใหญ่ปลูกในเดือนเมษายนถึงมิถุนายน

II. การปลูกอ้อยปลายฝน ทำได้เฉพาะในบางพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออกที่มีการกระจายของฝนที่ดี และดินเป็นดินทรายหรือดินร่วนปนทราย จะปลูกในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม

5) วิธีการปลูก

I. ยกร่องปลูกให้มีระยะร่องประมาณ 1.0-1.5 เมตร ส่วนในกรณีที่ปลูกปลายฤดูฝนต้องทำการปลูกอ้อยทันทีเพื่อรักษาความชื้นในดิน

II. อ้อยที่มีการแตกกอน้อยให้ปลูกเป็นแถวคู่ ระยะระหว่างแถวคู่ 30-50 เซนติเมตร

III. ในแปลงพันธุ์ วางท่อนพันธุ์คู่ ในแต่ละคู่ห่างกัน 50 เซนติเมตร ส่วนแปลงปลูกวางลำอ้อยในร่องแบบต่อเนื่อง โดยให้ส่วนโคนและยอดสลับเกยกันประมาณ 30 เซนติเมตร แล้วใช้มีดตัดลำอ้อยเป็น 3 ส่วน

IV. แปลงปลูกต้นฤดูฝน กลบดินให้สม่ำเสมอหนา 3-5 เซนติเมตร ส่วนแปลงปลูกปลายฤดูฝนกลบดินให้แน่นประมาณ 20 เซนติเมตร

V. การปลูกด้วยเครื่องปลูก เครื่องจะเปิดร่องใส่ปุ๋ย วางท่อนพันธุ์และกลบดินโดยอัตโนมัติ

6) การให้น้ำ

I. ระยะตั้งตัว (0-30 วัน) ระยะนี้อ้อยต้องการน้ำไม่มาก ดินต้องมีความชื้นเหมาะสมกับการงอก ดังนั้นควรให้น้ำในปริมาณที่น้อยแต่ให้บ่อยครั้ง

II. ระยะเจริญเติบโตทางลำต้น (31-170 วัน) เป็นระยะที่อ้อยกำลังแตกกอและสร้างปล้อง ดังนั้นจึงต้องการน้ำมาก หากได้น้ำที่เพียงพอจะทำให้อ้อยมีจำนวนลำต่อกอมาก ปล้องยาวและให้ผลผลิตสูง

III. ระยะสร้างน้ำตาล (171-295 วัน) ช่วงนี้อ้อยจะคายน้ำได้น้อยลงและตอบสนองต่อแสงแดดน้อยลงจึงไม่จำเป็นต้องให้น้ำบ่อย ให้เฉพาะช่วงที่อ้อยเริ่มแสดงอาการขาดน้ำ

IV. ระยะสุกแก่ (296-330 วัน) เป็นช่วงที่อ้อยต้องการน้ำน้อยเช่นกัน และช่วงก่อนเก็บเกี่ยว 6-8 สัปดาห์ ควรงดให้น้ำ เพื่อลดปริมาณน้ำในลำต้นและบังคับให้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครส

ตารางที่ 2 ความต้องการน้ำของอ้อยในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต

ช่วงการเจริญเติบโต	ความต้องการน้ำ	
	มิลลิเมตร/วัน	มิลลิเมตร
ระยะตั้งตัว (30 วัน)	4	120
ระยะเจริญเติบโตทางลำต้น (140 วัน)	4.5	630
ระยะสร้างน้ำตาล (125 วัน)	5	625
ระยะสุกแก่ (30 วัน)	4	140
รวม (330 วัน)	-	1,515

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2547

7) การให้ปุ๋ย

I. ดินร่วนปนทรายให้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หรือ 13-13-21 ครั้งแรกรองก้นร่องพร้อมปลูกหรือหลังแต่งตอ 1 เดือนในอัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ครั้งที่ 2 เมื่ออายุ 2-3 เดือน อัตรา 60 กิโลกรัม/ไร่

II. ดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวให้ปุ๋ยสูตร 16-8-8 ครั้งแรกหลังปลูกหรือหลังแต่งตอ 1 เดือนในอัตรา 35 กิโลกรัม/ไร่ ครั้งที่ 2 เมื่ออายุ 2-3 เดือน อัตรา 40 กิโลกรัม/ไร่

III. อ้อยปลูกหรืออ้อยตอที่ปลูกในเขตชลประทาน เมื่ออ้อยอายุ 2-3 เดือนให้เพิ่มปุ๋ยสูตร 46-0-0 ในอัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ หรือสูตร 21-0-0 ในอัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่

IV. การให้ปุ๋ยทุกครั้งในอ้อยปลูกและอ้อยตอควรให้ขณะดินมีความชื้น โดยโรยข้างแถวอ้อยห่างประมาณ 10 เซนติเมตร และต้องฝังกลบปุ๋ยทุกครั้ง ยกเว้นการให้ปุ๋ยรองก้นร่อง

8) การเก็บเกี่ยว

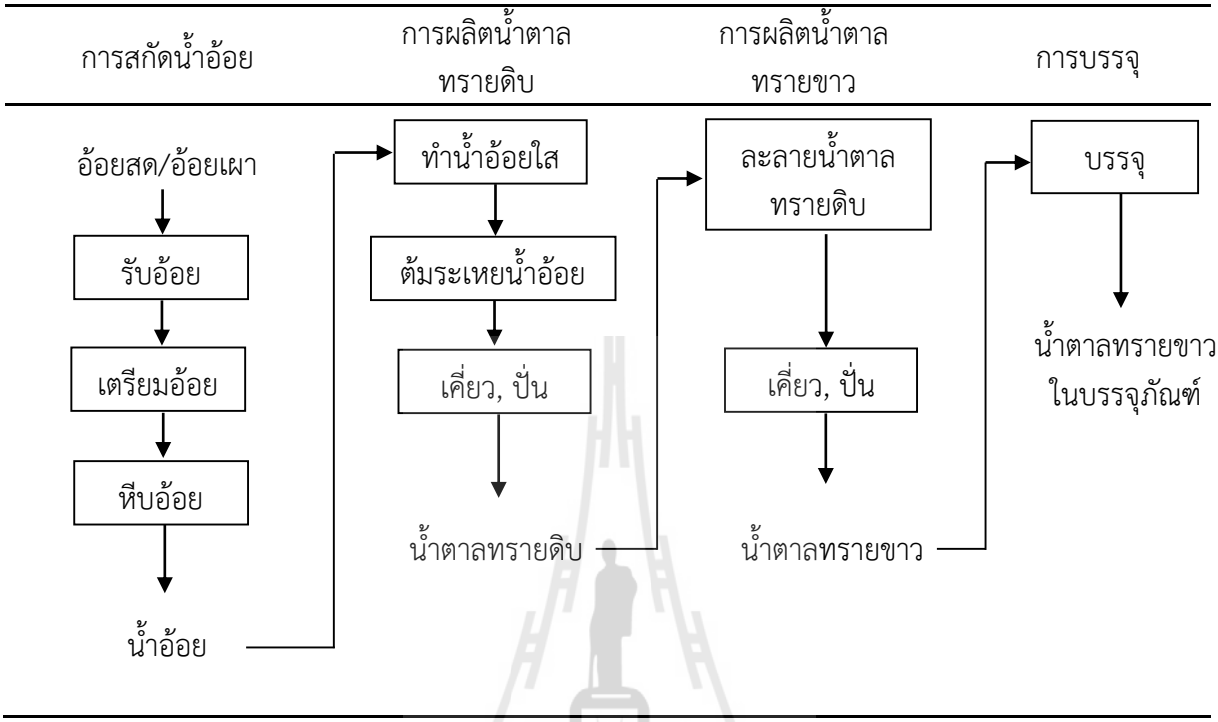
เก็บเกี่ยวอ้อยที่มีอายุ 10-14 เดือนหลังปลูก สังเกตจากยอดอ้อยจะมีข้อถี่กว่าปกติ น้ำอ้อยมีความหวานมากกว่า 10 ซีซีเอส หรือมีค่าบริกซ์ของส่วนกลางและปลายลำอ้อยแตกต่างกันน้อยกว่า 2 ในกรณีตัดอ้อยสดไม่ควรเผาใบอ้อย ให้ใช้ใบอ้อยและยอดอ้อยคลุมดินเพื่อรักษาความชื้น จะทำให้อ้อยตองอกดีขึ้น

2.1.3 การขนส่งอ้อย

ควรเตรียมยานพาหนะในการขนส่งไว้ล่วงหน้า โดยรถบรรทุกต้องสะอาดไม่ควรใช้รถบรรทุกดิน ปุ๋ย หรือมูลสัตว์มาใช้บรรทุกอ้อยเพราะอาจเป็นการปนเปื้อนได้ การขนส่งอ้อยที่ใช้แรงงานตัดต้องขนส่งเข้าโรงงานภายใน 1-2 วัน ส่วนอ้อยที่ใช้เครื่องจักรตัดต้องขนส่งเข้าโรงงานภายใน 24 ชั่วโมง

2.1.4 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทรายส่วนใหญ่ จำแนกออกได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2555

1) การสกัดน้ำอ้อย

อ้อยที่เก็บเกี่ยวจากไร่เมื่อถูกขนส่งมาถึงโรงงานจะผ่านการชั่งน้ำหนัก จากนั้นอ้อยจะถูกเทลงบนสะพานอ้อยบริเวณแท่นเทและลงสู่สายพานลำเลียง จากนั้นไหลเข้าสู่เครื่องตี เครื่องสับ เครื่องย่อย แล้วเข้าสู่กระบวนการหีบอ้อย อ้อยจะถูกลำเลียงเข้าไปในชุดลูกหีบที่ทำหน้าที่สกัดน้ำอ้อยออก โดยมีการฉีดพรมน้ำร้อนลงบนท่อนกากอ้อยเพื่อเจือจางน้ำอ้อยเข้มข้นที่ติดค้างอยู่ภายในกากอ้อย น้ำอ้อยที่สกัดออกมาได้จะถูกสูบเข้าตะแกรงหมุน เพื่อกรองเอากากอ้อยที่ปนมาในน้ำอ้อยออก

2) การผลิตน้ำตาลทรายดิบ

I. การทำน้ำอ้อยให้ใส น้ำอ้อยที่ผ่านการกรองแยกกากละเอียดและทรายออกแล้ว จะถูกส่งมายังหม้ออุ่นชุดที่ 1 ก่อนเพื่อให้น้ำอ้อยมีอุณหภูมิประมาณ 75 องศาเซลเซียส จากนั้นจะไหลผ่านเครื่องชั่งน้ำอ้อยแล้วมาผสมรวมกับน้ำปูนขาวที่มีความเข้มข้นประมาณ 12 บริกซ์ (ส่วนผสมระหว่างน้ำเชื่อมกับน้ำปูนขาว) เพื่อให้น้ำอ้อยมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.6 จากนั้นน้ำอ้อยจะถูกส่งเข้าสู่หม้ออุ่นชุดที่ 2

เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำปูนขาวกับน้ำอ้อย โดยควบคุมอุณหภูมิให้สูงเกินจุดเดือดเล็กน้อย อยู่ที่ 103 องศาเซลเซียส แล้วจึงส่งไปเข้าถังระบายไอ หลังจากนั้นจึงเติมสารเคมีช่วยตกตะกอนแล้วจึงส่งน้ำอ้อยไปยังถังพักใส

II. การต้มระเหยน้ำอ้อย น้ำอ้อยที่ผ่านการทำใสแล้ว จะถูกนำเข้าสู่ชุดหม้อต้มแบบ Multi effect evaporator เพื่อระเหยเอาน้ำออก (ประมาณร้อยละ 70) น้ำอ้อยเมื่อผ่านการต้มจนถึงหม้อต้มชุดที่ 5 จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 10.1-18.5 บริกซ์ เป็น 55-66 บริกซ์ ซึ่งเรียกว่าน้ำเชื่อมดิบ (Syrup) และจะเก็บไว้ในถังพักน้ำเชื่อม เพื่อส่งเข้าสู่กระบวนการเคี่ยวและปั่นน้ำตาลทรายดิบต่อไป สำหรับไอน้ำที่ใช้ระเหยน้ำอ้อยที่หม้อต้มชุดที่ 1 ซึ่งเป็นไอเสียที่ได้จากเครื่องกังหันไอน้ำ จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่เรียกว่า คอนเดนเสท (Condensate) และถูกส่งไปยังถังพักเพื่อเตรียมส่งเข้าสู่หม้อไอน้ำของโรงงานอีกครั้ง

III. การเคี่ยวและปั่น การเคี่ยวน้ำตาล น้ำเชื่อมจะถูกนำมาเคี่ยวจนมีความเข้มข้นมากขึ้นจนกระทั่งเกิดผลึก เรียกว่า แมสควิท (Massecuite) ซึ่งมีน้ำเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 3-5 การเคี่ยวน้ำตาลจะอาศัยการแลกเปลี่ยนความร้อนของไอน้ำที่ระเหยออกจากหม้อต้มชุดที่ 2 ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำตาลอยู่ที่ประมาณ 65 องศาเซลเซียส ในระหว่างการเคี่ยว จะมีการนำผลึกน้ำตาลคุณภาพต่ำมารวมกับน้ำร้อนหรือน้ำเชื่อมดิบ ซึ่งใช้เป็นหัวเชื้อหรือแมกม่าเพื่อกระตุ้นให้น้ำตาลในน้ำเชื่อมมาเกาะตกเป็นผลึกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น รวมอยู่เป็น แมสควิท จากนั้นแมสควิทจะถูกส่งไปพักเลี้ยงผลึกที่รางกวนอีกระยะหนึ่ง เพื่อเป็นการพักตัวและทำการลดอุณหภูมิในรางกวนให้ต่ำลง จะช่วยให้โมเลกุลของน้ำตาลเกิดการเกาะตัวที่ผลึกได้มากขึ้น จากนั้นจึงส่งไปปั่นแยกผลึกน้ำตาลที่หม้อปั่น โดยการปั่นจะอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำให้กากน้ำตาลแยกตัวออกจากแมสควิท ในระหว่างการปั่นจะมีการฉีดน้ำร้อนเพื่อล้างผลึกน้ำตาลให้สะอาดจะได้น้ำตาลชนิดความหวานสูงหรือที่เรียกว่า น้ำตาลไฮโพล จากนั้นนำไปผลิตน้ำตาลทรายขาวต่อไป

3) การผลิตน้ำตาลทรายขาว

I. การละลายน้ำตาลทรายดิบและกำจัดสี น้ำตาลทรายดิบ จากหม้อปั่นจะถูกลำเลียงไปละลายน้ำหรือน้ำหวานที่ถังละลาย จากนั้นจะถูกนำมาผ่านตะแกรงกรองเพื่อแยกกากอ้อยหรือสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ออก แล้วจะถูกส่งต่อไปผสมกับปูนขาวเพื่อปรับค่าความเป็นกรดด่างให้ได้ประมาณ 11.5 น้ำเชื่อมที่ผสมกับปูนขาวจะถูกนำไปยังถัง Carbonator เพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะดูดสีที่มีอยู่ในน้ำเชื่อมออก ซึ่งจะทำให้ได้น้ำเชื่อมที่มีค่าสีลดลงเหลือประมาณ 400 ICUMSA Unit

II. การเคี่ยว ปั่น และอบแห้ง น้ำเชื่อมที่ผ่านการลดค่าสีและกรองแยกสิ่งปนเปื้อนออกแล้ว จะถูกนำมาเคี่ยวเช่นเดียวกับที่ใช้เคี่ยวน้ำตาลทรายดิบ โดยขั้นตอนนี้จะมีการเติมน้ำเหลืองขาวผสมลงไปด้วยเนื่องจากต้องควบคุมค่าสีของน้ำตาลทรายขาวหลังการปั่นแล้วไม่ให้เกิน 45 ICUMSA Unit จากนั้นน้ำตาลทรายขาวจะถูกลำเลียงไปลงยุ้งบ่ม

4) การบรรจุ

น้ำตาลทรายขาวหรือน้ำตาลทรายดิบที่ผลิตได้จะถูกนำมาบรรจุใส่บรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ และนำไปจัดเก็บเพื่อรอส่งจำหน่ายต่อไป

2.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์หรือร่องรอยการใช้น้ำ เป็นค่าชี้วัดการใช้น้ำของผู้ผลิตหรือผู้บริโภค ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้าและบริการมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือลูกบาศก์เมตร/คน/ปี ทั้งนี้ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ถือเป็นค่าชี้วัดที่ชัดเจนเพราะนอกจากจะแสดงปริมาณน้ำใช้และปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมาแล้วยังแสดงสถานที่และระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำอีกด้วย (Chapagain *et al*., 2006) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากพืชจะคิดคำนวณปริมาณที่พืชใช้น้ำในการเจริญเติบโตตลอดการเพาะปลูกหารด้วยปริมาณผลผลิตของพืชนั้น ส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ก็จะคิดคำนวณปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดในการผลิตสัตว์ ซึ่งรวมถึงปริมาณน้ำที่ใช้ผลิตอาหารสัตว์ น้ำดื่มสัตว์ น้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดคอกสัตว์ น้ำที่ใช้ระบายความร้อน เป็นต้น (รมณี วังเมือง, 2555)

น้ำเสมือน (Virtual water content) เป็นปริมาณน้ำที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ โดยที่ปริมาณน้ำดังกล่าวไม่ได้มีการเคลื่อนที่หรือเดินทางไปกับสินค้านั้นๆ แต่เป็นปริมาณน้ำที่แฝงอยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือเป็นภาระด้านสิ่งแวดล้อมของผู้ผลิต (Chapagain and Hoekstra, 2004) การนำแนวคิดน้ำเสมือนมาใช้จะทำให้เห็นภาพรวมการใช้น้ำในระดับโลกอย่างแท้จริงและสามารถนำข้อมูลที่ได้มาจัดสรรทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุด

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Water footprint of a product) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการทั้งทางตรงและทางอ้อม
- วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของธุรกิจ (Water footprint of a business) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการดำเนินงานขององค์กรธุรกิจทั้งทางตรงและทางอ้อม
- วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของประเทศ (Water footprint of national consumption) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการตามความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศ

ในส่วนของการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้างต้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ สามารถแบ่งแนวทางการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ออกเป็น 3 ส่วน คือ

- วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เขียว (Green water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินเนื่องจากน้ำฝนที่ถูกใช้ไปในการผลิตสินค้าและบริการ

- วอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้ำเงิน (Blue water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินที่ถูกใช้ไปในการผลิตสินค้าและบริการ
- วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์หรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เทา (Grey water footprint) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าและบริการให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน

ดังนั้น วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จึงมีทั้งปริมาณน้ำที่ใช้โดยตรงและโดยอ้อม ปริมาณน้ำที่ใช้ดังกล่าวต่างก็ประกอบด้วยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้ง 3 ประเภท โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลูเป็นปริมาณน้ำที่ถูกใช้ หรือ Water consumption ส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์เป็นปริมาณน้ำเสียหรือ Water pollution การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลผลิตทางการเกษตร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (Hoekstra *et al,* 2011)

2.2.1 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลู

คือ ตัวชี้วัดการใช้น้ำเพื่อการบริโภคที่เรียกว่า น้ำสีน้ำเงิน (Blue water) เช่น น้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดิน ซึ่งในแง่การใช้น้ำเพื่อการบริโภคในกรณีใดกรณีหนึ่ง ดังต่อไปนี้

- น้ำที่ระเหยออกมา
- น้ำที่รวมอยู่ในผลิตภัณฑ์
- น้ำที่ไม่ไหลกลับสู่แหล่งน้ำเดิม
- น้ำที่ไม่ไหลกลับสู่แหล่งน้ำในช่วงเวลาเดิม

การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลู แสดงได้ดังสมการที่ 1

$$WF_{proc,\ blue} = \text{Blue Water Evaporation} + \text{Blue Water Incorporation} + \text{Lost Return Flow} \quad [\text{volume/time}] \qquad \text{---------- (1)}$$

โดย $WF_{proc,\ blue}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

Blue Water Evaporation คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกมา (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

Blue Water Incorporation คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

Lost Return Flow คือ ปริมาณน้ำบางส่วนที่ไหลกลับแต่ไม่ไหลกลับแหล่งเดิม ในเวลาเดียวกันที่ดึงน้ำออกมาใช้ แต่ปริมาณน้ำดังกล่าวไหลลงสู่แหล่งน้ำอื่นหรือไหลลงสู่แหล่งน้ำเดิมในช่วงเวลาอื่น (ลูกบาศก์เมตร/ตัน) ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาน้ำในส่วนดังกล่าว

2.2.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน

คือ ตัวชี้วัดการบริโภคน้ำสีเขียว (Green water) ของมนุษย์ซึ่งหมายรวมถึง ปริมาณฝนที่ตกลงมาบนพื้นดินแล้วไม่ไหลไปหรือถูกเก็บกักไว้ใต้ดิน แต่ยังคงอยู่ในดินหรืออยู่บนดินชั่วคราว ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนจึงหมายถึง ปริมาณการบริโภคน้ำฝนในระหว่างกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องทางการเกษตรและป่าไม้ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$WF_{proc,\ green}$ = Green Water Evaporation + Green Water Incorporation

[volume/time] ---------- (2)

โดย $WF_{proc,\ green}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

Green Water Evaporation คือ ปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่เกิดจากการคายระเหยน้ำของทั้งพืชและดิน (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

Green Water Incorporation คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวพืช (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

2.2.3 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์

คือ ตัวชี้วัดระดับของมลพิษทางน้ำที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต โดยคำนวณจากปริมาณน้ำใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้กลายเป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$WF_{proc,\ grey} = \frac{(\alpha \times AR)/(C_{max} - C_{nat})}{Y} \quad \text{[volume/time]} \quad \text{---------- (3)}$$

โดย $WF_{proc,\ grey}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

AR คือ อัตราการใช้สารเคมีในพื้นที่ (กิโลกรัม/ไร่)

α คือ อัตราการชะล้างสารเคมี (ร้อยละ)

C_{max} คือ ความเข้มข้นของมลพิษมากสุดที่ยอมรับได้ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

C_{nat} คือ ค่าความเข้มข้นของมลพิษตามธรรมชาติ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

Y คือ ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ (ตัน/ไร่)

2.2.4 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่เป็นพืชต่างๆ คือ ผลรวมของค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้ง 3 ประเภทที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการเพาะปลูก ดังสมการที่ 4

$$WF_{prod} = WF_{proc,\ green} + WF_{proc,\ blue} + WF_{proc,\ grey} \quad \text{---------- (4)}$$

โดย WF_{prod} คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

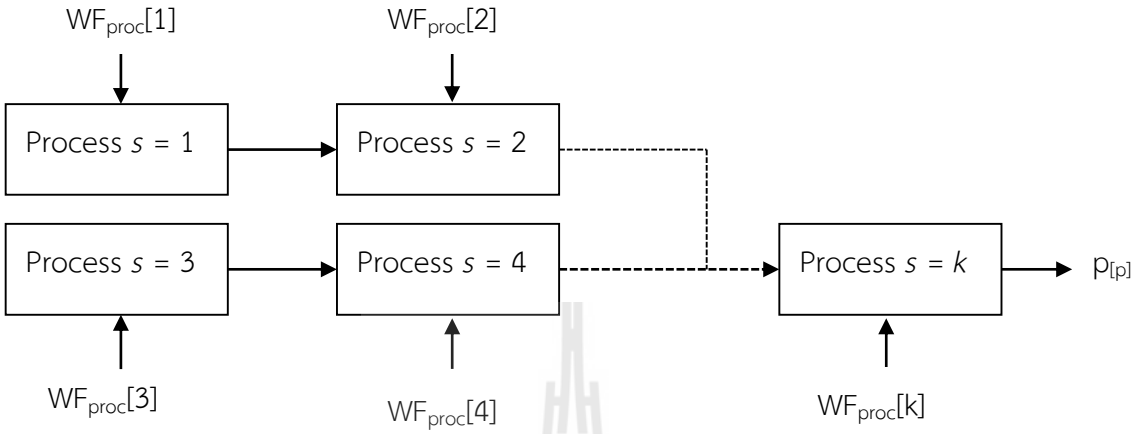
$WF_{proc,\ green}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

$WF_{proc,\ blue}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

$WF_{proc,\ grey}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จะพิจารณาทั้งส่วนที่เป็นน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของสายการผลิต การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์มี 2 วิธีดังนี้

1) วิธีการรวมสายโซ่ (Chain-summation approach) ใช้ในกรณีที่ระบบการผลิตนั้นมีผลผลิตเพียงผลิตภัณฑ์เดียว รูปแบบกระบวนการวิธีการคิดแบบรวมสายโซ่ดังภาพที่ 3 และสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 5



ภาพที่ 3 กระบวนการผลผลิตผลิตภัณฑ์ p ผ่านกระบวนการย่อย k ขั้นตอน

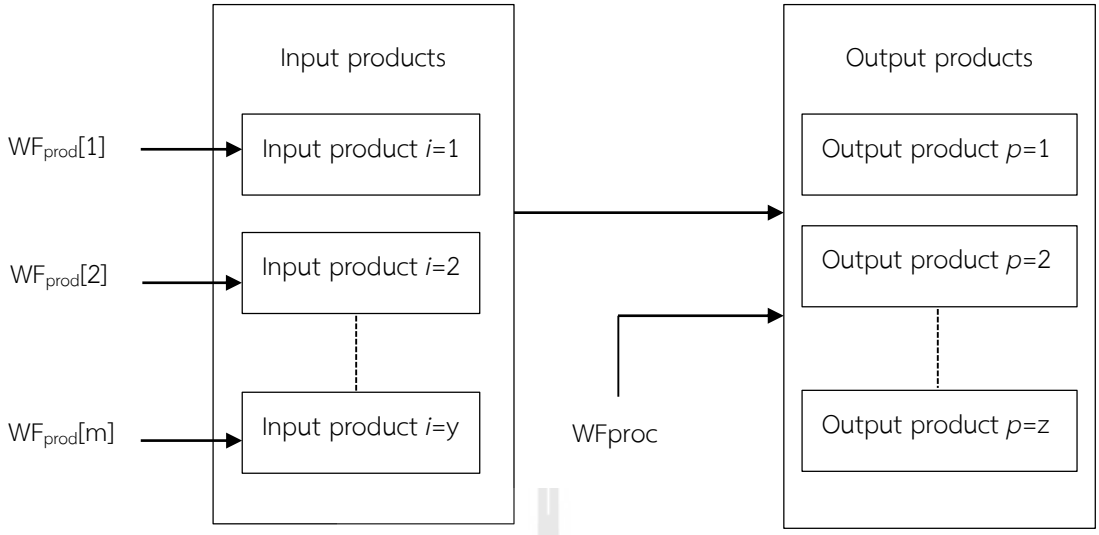
$$\mathbf{WF_{prod}[p] = \frac{\sum_{s=1}^{k} WF_{proc}[s]}{P_{[P]}}} \qquad \text{---------- (5)}$$

โดย $WF_{prod}[p]$ คือ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

$WF_{proc}[s]$ คือ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในขั้นตอนย่อย s

$p_{[P]}$ คือ ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ p

2) วิธีการแบบขั้นตอนสะสม (Step-wise accumulative approach) คือการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดยการรวมค่าของการใช้น้ำของวัตถุดิบ ทรัพยากรและผลิตภัณฑ์สารขาเข้าที่สำคัญในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์นั้นๆ แสดงได้ดังภาพที่ 4 และคำนวณได้จากสมาการที่ 6 7 8 และ 9



ภาพที่ 4 ขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ p

$$\mathrm{WF_{prod}[p]} = [\mathrm{WF_{proc}[p]} + \sum_{i=1}^{y} \frac{\mathrm{WF_{prod}[i]}}{\mathrm{f_p[p,i]}} \times \mathrm{f_v[p]} \quad \text{---------- (6)}$$

$$\mathrm{f_p[p,i]} = \frac{\mathrm{w[p]}}{\mathrm{w[i]}} \quad \text{---------- (7)}$$

$$\mathrm{f_v[p]} = \frac{\mathrm{price[p]} \times \mathrm{w[p]}}{\sum_{p=1}^{z} (\mathrm{price[p]} \times \mathrm{w[p]})} \quad \text{---------- (8)}$$

โดย $WF_{prod}[p]$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ปริมาตร/น้ำหนัก) ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

$WF_{prod}[i]$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบ และทรัพยากรที่ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์

$WF_{proc}[p]$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการแปรรูปจากวัตถุดิบและทรัพยากรสู่ตัวผลิตภัณฑ์ในหน่วยของ ปริมาตร/น้ำหนัก

$f_p[p, i]$ คือ ผลิตภาพของผลิตภัณฑ์

$f_v[p]$ คือ ผลิตภาพของมูลค่าของผลิตภัณฑ์

w[p] คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาออก

w[i] คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาเข้า

price[p] คือ ราคาของผลิตภัณฑ์

รูปแบบอย่างง่ายของวิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธีแบบขั้นตอนสะสม เมื่อมีการนำผลิตภัณฑ์หนึ่งผลิตภัณฑ์เข้าสู่กระบวนการผลิตเพียงผลิตภัณฑ์เดียว สามารถเขียนแทนได้ดังสมการที่ 9

$$\mathrm{WF_{prod}[p]} = \mathrm{WF_{proc}[p]} + \frac{\mathrm{WF_{prod}[i]}}{\mathrm{f_p[p,i]}} \quad \text{---------- (9)}$$

Mekonnen and Hoekstra (2010) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืชใน 14 กลุ่มหลักที่พบมากที่สุดของโลก ในช่วงปี พ.ศ. 2539-2548 พบว่า พืชที่ใช้ทำยาจัดเป็นพืชที่มีการใช้น้ำ มากที่สุด รองลงมาคือ ยาง และถั่วเปลือกแข็ง โดยที่พืชที่ใช้ทำยาและยางจะมีการใช้น้ำจากน้ำฝนในปริมาณที่สูง ส่วนถั่วเปลือกแข็งมีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินในปริมาณที่สูง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืช 14 กลุ่มหลัก

ชนิดพืช	วอเตอน์ฟุตพริ้นท์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)			
	กรีน	บลู	เกรย์	รวม
อ้อย	130	52	15	197
หญ้าเลี้ยงสัตว์	207	27	20	253
ผักบริโภคทั่วไป	194	43	85	322
พืชที่บริโภครากหรือหัว	327	16	43	387
ผลไม้ต่างๆ	727	147	93	967
ธัญพืช	1,232	228	184	1,644
พืชที่ใช้ผลิตน้ำมัน	2,023	220	121	2,364
ใบยาสูบ	2,021	205	700	2,925
ผลิตภัณฑ์เส้นใยจากพืช	3,375	163	300	3,837
เมล็ดถั่ว	3,180	141	734	4,055
เครื่องเทศ	5,872	744	432	7,048
ถั่วเปลือกแข็ง	7,016	1,367	680	9,063
ยาง	12,964	361	422	13,748
พืชที่ใช้ทำยา	13,731	252	460	14,443

ที่มา: Mekonnen and Hoekstra, 2010

สำหรับการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้วิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีแบบรวมสายโซ่ เนื่องจากผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายขาวเป็นระบบการผลิตที่ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเพียงอย่างเดียวคือน้ำตาลทรายขาว

2.2.5 การใช้น้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืชมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การคายระเหย ซึ่งเป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียไปจากพื้นที่การเพาะปลูกพืชสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำโดยการระเหยและการคายน้ำ ปริมาณการใช้น้ำของพืชจึงขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูก คุณลักษณะของดิน และสภาพแวดล้อมที่ทำการเพาะปลูกพืช ดังนั้นการหา

ปริมาณการใช้น้ำของพืช มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการวางแผนจัดหาแหล่งน้ำสำรองไว้ให้พืชได้ใช้ตลอดฤดูการเพาะปลูก (กรรณิการ์ หอมยามเย็น, 2549)

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชมีแนวคิดคือ เติมน้ำลงสู่พื้นที่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่ระเหยไปจากผิวดินโดยใช้ฐานข้อมูลทางวิชาการที่มีนักวิชาการได้จัดทำไว้ สามารถคำนวณได้ดังสูตรคำนวณนี้

ปริมาณการใช้น้ำของพืช = ปริมาณการคายระเหย x ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c)

1) ปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชที่แท้จริง (Evapotranspiration; ET) เป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาทดลองและวิจัยโดยใช้ถังวัดอัตราการใช้น้ำของพืช (Lysimeter) และโดยการตรวจวัดจากแปลงทดลองโดยตรง การวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชมี 2 กรณี คือ

I. การระเหย (Evaporation) คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปจากดิน อัตราการระเหยจะขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวที่มีการระเหย ปัจจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการระเหยในพื้นที่เพาะปลูกทั่วไปได้แก่ วิธีการให้น้ำแก่พืช ดิน พืชที่ปลูก และวิธีการเพาะปลูก สามารถวัดการระเหยได้จากค่าวัดการระเหยตามสถานีตรวจอากาศทั่วไป

II. การคายน้ำ (Transpiration) คือ น้ำที่ต้นพืชดูดขึ้นไปใช้ผ่านทางรากโดยดูดเอาน้ำที่ละลายสารเคมี และธาตุอาหารที่จำเป็นต้องใช้งานไปพร้อมกับน้ำไปยังลำต้นและปล่อยน้ำส่วนเกินที่ไม่ต้องการผ่านทางการคายน้ำที่ใบ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ รังสี แสงอาทิตย์ อุณหภูมิ แสงแดด และความเร็วลม

2) ปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration; ET_0) เป็นปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชชนิดต่างๆ อาจแสดงเป็นปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง ซึ่งเป็นการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้ข้อมูลทางด้านภูมิศาสตร์ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในช่วงที่ทำการศึกษาทดลอง มาคำนวณโดยใช้สูตร Penman-Monteith เพื่อใช้เปรียบเทียบกับปริมาณการคายระเหยน้ำของพืช (ET_0) ที่แท้จริง

สูตร Penman-Monteith ดังนี้

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad \text{---------- (10)}$$

โดย ET_o คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร/วัน)

R_n คือ ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ (เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน)

G คือ Flux ค่าความร้อนของพื้นดิน (เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน)

T คือ อุณหภูมิของอากาศโดยเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)

Δ คือ ค่าความลาดเทของเส้น Curve แรงดันไอ (กิโลปาสคาล/องศาเซลเซียส)

γ คือ ค่าคงที่ของ Psychrometric (กิโลปาสคาล/องศาเซลเซียส)

U_2 คือ ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร (เมตร/วินาที)

(es-ea) คือ ค่าความต่างของแรงดันไอ (กิโลปาสคาล)

900 คือ Factor ปรับแก้

3) ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c) เป็นข้อมูลสำคัญที่จะต้องใช้เพื่อการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช เนื่องจากในแต่ละท้องที่มีภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ทำให้ปริมาณการใช้น้ำของพืชแตกต่างกันตามสภาพภูมิอากาศของท้องที่นั้นๆ ซึ่งค่าปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (ET_0) ที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ ผันแปรไปตามสภาพอากาศแต่ละแห่ง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์พืชนั้นเป็นค่าเฉพาะของพืชชนิดหนึ่งๆ โดยมีสมาการการคำนวณดังต่อไปนี้

$$K_c = \frac{ET}{ET_O} \qquad \text{---------- (11)}$$

โดย K_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ET คือ การคายระเหยน้ำของพืชที่แท้จริง

ET_0 คือ การคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช เป็นค่าที่เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานในด้านชลประทานและการเกษตร ในกรณีที่ต้องการปลูกพืชในท้องถิ่นอื่นที่ยังไม่มีการทำการทดลองหาปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดนั้นๆ มาก่อน และเมื่อต้องการทราบปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการปลูกก็สามารถนำค่า K_c มาคำนวณหาค่า ET ร่วมกับค่า ET_o ได้ (ธีระพล ตั้งสมบุญ, 2549)

2.2.6 โปรแกรม CROPWAT

โปรแกรม CROPWAT เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมาณค่าความต้องการน้ำของพืช (Crop water requirement) โดยใช้การคำนวณหาค่าการคายระเหยน้ำของพืชด้วยสมการ Penman-Monteith (FAO, 1992) จากนั้นสามารถนำค่าความต้องการน้ำของพืชไปคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกพืชต่อไป ในการคำนวณหาความต้องการน้ำของพืช ต้องมีข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง (ET_o) และค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c) ซึ่งค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิงต้องอาศัยข้อมูล ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรวมและปริมาณน้ำฝนใช้การ (Effective rainfall) อุณหภูมิ ความยาวนานของแสงอาทิตย์ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ แรงลม และระบบการปลูกพืช (Cropping pattern) สำหรับการคำนวณเพื่อกำหนดตารางการชลประทานต้องเพิ่มเติมข้อมูลนำเข้าได้แก่ ชนิดดิน (Soil type) ซึ่งประกอบด้วยค่าปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ทั้งหมด ความลึกของรากพืช อัตราการซึมลงในดินของน้ำฝน และกำหนดกฎเกณฑ์ในการคำนวณ (Scheduling criteria) ดังนี้

- กำหนดให้มีการให้น้ำเมื่อปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ (Available soil moisture) ลดลงกี่เปอร์เซ็นต์ หรือกำหนดรอบของการให้น้ำเป็นจำนวนวัน

- กำหนดให้มีการให้น้ำเป็นปริมาณกี่เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ได้ทันที (Readily Available Soil Moisture: RAM) โดยค่าปกติกำหนดไว้ที่ 100 เปอร์เซ็นต์

- กำหนดวันเริ่มให้น้ำเป็นวันใดก็ได้ตลอดฤดูปลูก ซึ่งค่าปกติจะกำหนดไว้ที่วันแรกของวันปลูกแต่ละชนิดพืช

ผลการคำนวณของโปรแกรม CROPWAT จะแสดงถึงความต้องการน้ำของพืชเป็นช่วงระยะตามที่ต้องการหรือตลอดฤดูการปลูกพืช และสามารถกำหนดรอบการให้น้ำที่ไม่กระทบต่อผลผลิตและกำหนดตารางการให้น้ำเป็นอัตรามิลลิเมตร หรือ ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ในแต่ละรอบการให้น้ำ ซึ่งเกษตรกรจะนำไปกำหนดการทำงานของเครื่องสูบน้ำได้

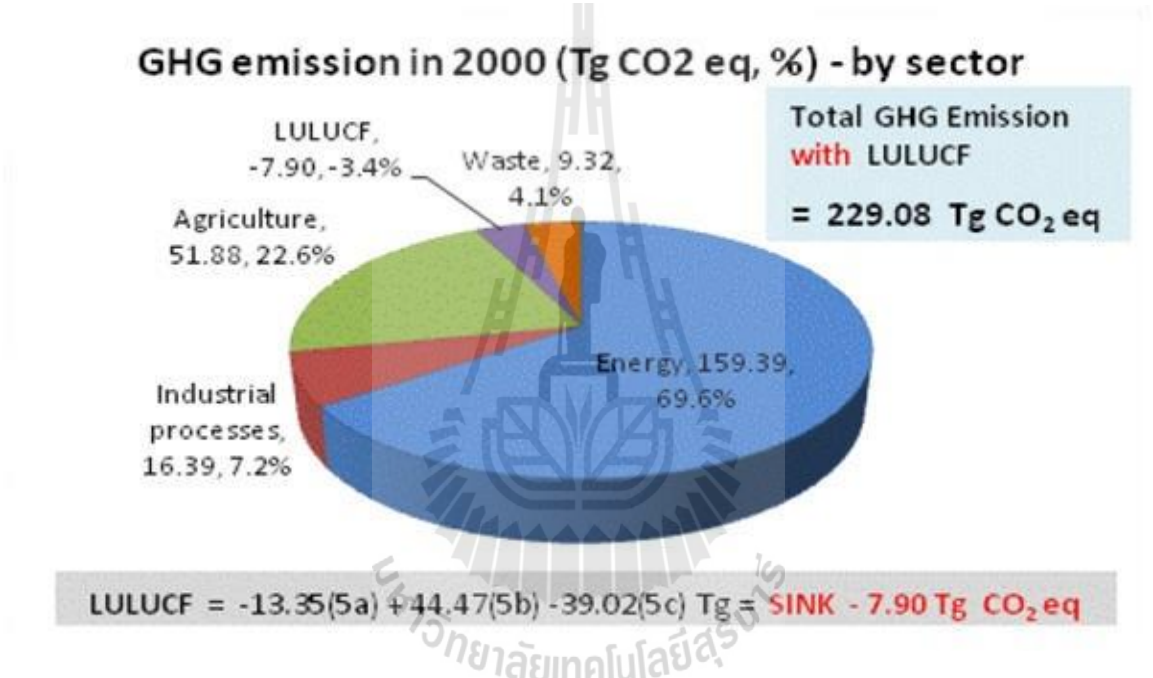
2.3 คาร์บอนฟุตพริ้นท์

2.3.1 ก๊าซเรือนกระจก (Green house gas: GHG)

ก๊าซเรือนกระจก คือก๊าซที่เป็นส่วนประกอบในบรรยากาศ ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟาเรดได้ดี ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ มีก๊าซจำนวนมากที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน และถูกจัดอยู่ในกลุ่มก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีทั้งก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญคือ ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน มีเทนไนตรัสออกไซด์ และสารซีเอฟซี เป็นต้น แต่ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต มีเพียง 6 ชนิด โดยจะต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic greenhouse gas emission) เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ทั้งนี้ ยังมีก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ สารซีเอฟซี (CFC หรือ Chlorofluorocarbon) ซึ่งใช้เป็นสารทำความเย็นและใช้ในการผลิตโฟม แต่ไม่ถูกกำหนดในพิธีสารเกียวโต เนื่องจากเป็นสารที่ถูกจำกัดการใช้ในพิธีสารมอนทรีออล การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกนั้นส่งผลให้ชั้นบรรยากาศมีความสามารถในการกักเก็บรังสีความร้อนได้มากขึ้น ผลที่ตามมาคือ อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นด้วย แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกนั้น ไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดยังมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกหรือภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ที่แตกต่างกัน (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2556)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย จากบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในรายงานแห่งชาติ ฉบับที่ 2 จัดทำโดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรแห่งชาติและสิ่งแวดล้อม (2553) พบว่าในปี ค.ศ. 2000 หรือ ปี พ.ศ. 2543 ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศรวมทั้งส่วนที่เกิดจากแหล่งปล่อย (Emission from source) และส่วนที่ดูดกลับ (Removal by sink) เท่ากับ 229.08 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (ภาพที่ 5) โดยภาคพลังงานเป็นภาคที่ปล่อยก๊าซเรือน

กระจกมากที่สุดคิดเป็น 159.39 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 69.6 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ รองลงมาคือภาคการเกษตร 51.88 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าหรือคิดเป็นร้อยละ 22.6 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ ภาคอุตสาหกรรมมีปริมาณการปล่อยเท่ากับ 16.39 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 7.2 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศตามลำดับ ภาคที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด คือ ภาคของเสีย คิดเป็นปริมาณการปล่อยเท่ากับ 9.32 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือคิดเป็นร้อยละ 4.10 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ สำหรับการปล่อยในภาคการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่และป่าไม้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีน้อยกว่าปริมาณดูดกลับจึงทำให้ค่ารวมของภาคนี้ -7.90 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าคิดเป็นร้อยละ -3.4 ของปริมาณการปล่อยทั้งหมดของประเทศ



ภาพที่ 5 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าทั้งหมดของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2543 (Tg หรือ ล้านตัน)

2.3.2 ความหมายและประเภทของคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ภาวะเรือนกระจกและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีสาเหตุจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ทั้งการดำรงชีวิตประจำวัน ภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม และการใช้พลังงานออกมาสู่บรรยากาศ ดังนั้นคาร์บอนฟุตพริ้นท์จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดถึงผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อระบบสิ่งแวดล้อมในแง่ของปริมาณก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้สามารถแบ่งการจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon footprint of product) หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ

การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งานและการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2554) เพื่อใช้เป็นข้อมูลให้ผู้บริโภคได้ทราบว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดอ ออกไซด์ออกมาปริมาณเท่าใด นอกจากนี้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์ยังเป็นการส่งเสริมให้ผู้บริโภคทราบข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งช่วยให้ผู้บริโภคได้พิจารณาประกอบในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นั้นๆ

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon footprint for organizationหรือ Corporate carbon footprint) หมายถึง การประเมินปริมาณการปล่อยและดูดกลับของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการดำเนินงานขององค์ (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2554) อันจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระดับโรงงาน ระดับอุตสาหกรรม และระดับประเทศ โดยวัดออกมาในรูปคาร์บอนไดออกไซค์เทียบเท่า

หลักการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เป็นการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ ที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมของมนุษย์หรือที่ปล่อยออกมาทั้งหมดจากวงจรกระบวนการผลิตสินค้าหรือบริการ โดยครอบคลุมสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่มีผลต่อการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาไม่ว่าจะเป็นการปล่อยทั้งทางตรง (On-site, internal) และทางอ้อม (Off-site, external, embodied, upstream, downstream) การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง คือการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงจากซากพืช ซากสัตว์ รวมถึงการบริโภคไฟฟ้า และการใช้ยานพาหนะต่างๆ เช่น การใช้ไฟฟ้า การเดินทางโดยใช้เครื่องบิน การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อม คือ การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากผลผลิต หรือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ โดยคำนวณร่วมกับกระบวนการผลิต เช่น การใช้ถุงพลาสติก ผลิตภัณฑ์จากโฟม ฯลฯ โดย Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC (2007) ได้กำหนดค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในระยะเวลาที่กำหนด อาทิ 20, 100 หรือ 500 ปี ทั้งนี้ โดยทั่วไปจะใช้ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกที่ระยะเวลา 100 ปี แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (GWP)

Greenhouse gases	Chemical formula	GWP_{100}
Carbon dioxide	CO_2	1
Methane	CH_4	21
Nitrous oxide	N2O	310
Hydro fluorocarbon	HFCs	140-11,700
Sulphur hexafluoride	SF_6	23,900
Per fluorocarbon	PFCs	6,500-9,200

ที่มา: IPCC, 2007

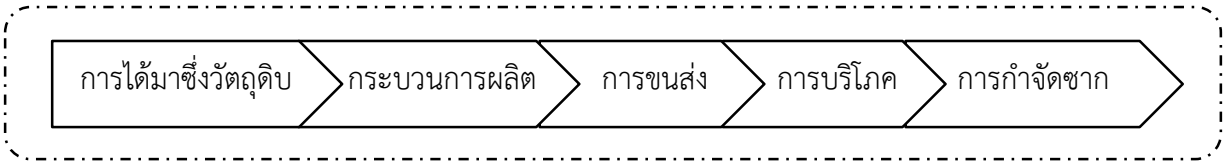
งานวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการประเมินตัวชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในประเภทแรกคือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

2.3.3 รูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

รูปแบบการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถดำเนินการด้วยวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

1) แบบ Business-to-Consumer (B2C)

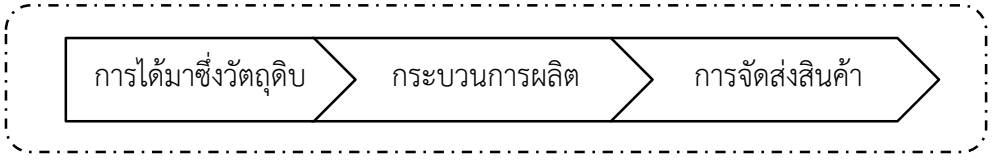
Business-to-Consumer (B2C) เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดทั้งวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ โดยครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการกระจายสินค้า การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์แบบ B2C มีขอบเขตดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แบบ B2C

2) แบบ Business-to-Business (B2B)

Business-to-Business (B2B) เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึงหน้าโรงงานพร้อมส่งออกหรือจนถึงสถานะเป็นสารขาเข้าหรือวัตถุดิบของผู้ผลิตต่อเนื่อง ตามที่กำหนดในข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์แบบ B2B มีขอบเขตดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แบบ B2B

มีการเปิดเผยผลการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์โคคา-โคล่า โดยบริษัท โคคา-โคล่า ประจำประเทศอังกฤษ พบว่าผลิตภัณฑ์ประเภท Coca-Cola ที่มีบรรจุภัณฑ์แบบขวดพลาสติกขนาด 2 ลิตร มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ประเภท Diet Coke และ Coke Zero ที่มีบรรจุภัณฑ์แบบขวดพลาสติกขนาด 2 ลิตร ดังแสดงได้ดังตารางที่ 5

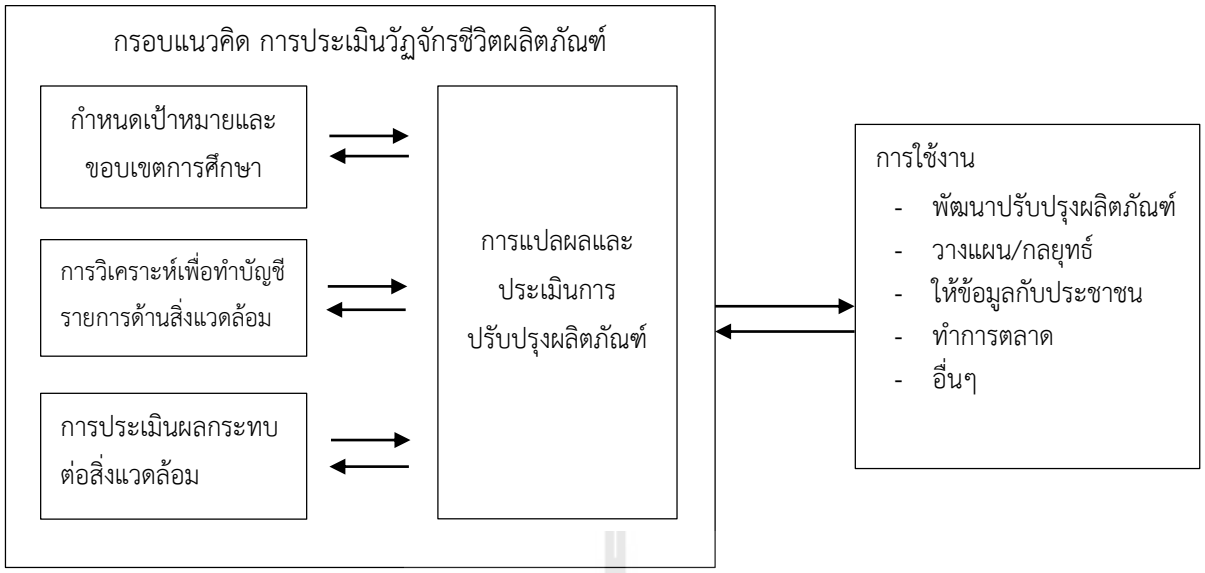
ตารางที่ 5 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์โคคา-โคล่า

ขนาดบรรจุภัณฑ์	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (gCO_2)			
	Coca-Cola	Diet Coke	Coke Zero	Oasis
330 ml aluminum can	170	150	150	n/a
330 ml glass bottle	360	340	340	n/a
375 ml glass bottle	n/a	n/a	n/a	340
500 ml plastic bottle	240	220	220	240
2 litre plastic bottle	500	400	400	n/a

ที่มา: Coca-Cola of Great Britain, 2012

2.4 การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ จะดำเนินการตามวิธีการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตหรือที่เรียกว่าการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) และขั้นตอนการศึกษาเป็นไปตามกรอบของอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 โดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นการพิจารณาตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2546) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ มีทั้งหมด 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต 2) การวิเคราะห์บัญชีรายการ 3) การประเมินผลกระทบ และ 4) การแปลผล ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2546

2.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

1) การกำหนดเป้าหมาย

การกำหนดเป้าหมายเป็นขั้นตอนแรกของการประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต้องมีการกำหนดเป้าหมายอย่างชัดเจนครอบคลุมและมีจุดมุ่งหมาย มีเหตุผลของการศึกษาและสามารถนำผลที่จากการศึกษาไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ การกำหนดเป้าหมายถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญเนื่องจากหากเป้าหมายขาดความชัดเจนจะทำให้เกิดความสับสนและอาจสรุปผลผิดพลาดได้

2) การกำหนดขอบเขต

ขอบเขตของระบบ (System boundary) หมายถึงขอบเขตระหว่างผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมหรือระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยที่ระบบผลิตภัณฑ์คือหน่วยที่รวบรวมวัสดุและพลังงานที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นหน่วยงาน (Unit process) ต่างๆ ที่ทำหน้าที่อย่างหนึ่งหรือหลายอย่างโดยที่สามารถแบ่งขั้นตอนของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่เข้าสู่ระบบก่อนถูกเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่างๆ การกำหนดขอบเขตเป็นการกำหนดกรอบสิ่งที่ต้องการประเมินและเก็บรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ ขอบเขตสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อพบว่ามีขอบเขตใหม่ที่มีความเหมาะสมกับการศึกษามากกว่า ทั้งนี้ควรกำหนดขอบเขตให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานและจุดประสงค์ให้มากที่สุด นอกจากนี้กิจกรรมบางอย่างไม่ถูกจัดให้อยู่ในขอบเขต ได้แก่ พลังงานของมนุษย์ที่ใช้ในกิจกรรมต่าง เช่น การบดวัตถุดิบด้วยมือ การเดินทางไป-กลับของลูกค้ายังจุดขายปลีก การขนส่งโดยสัตว์

3) หน่วยการทำงานของระบบ (Functional unit)

ใช้เป็นหน่วยพื้นฐานสำหรับสารขาเข้าและสารออกจากระบบ มีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของการประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ เมื่อต้องการใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน ซึ่งถือเป็นพื้นฐานของการประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพราะหน่วยวัดผลงานของระบบจะเป็นตัวเปรียบเทียบหรือเป็นตัววัดระหว่างผลิตภัณฑ์

2.4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมนั้นต้องทำการเก็บข้อมูล แจกแจงสารขาเข้าขาออกตามกระบวนการ โดยแหล่งที่มาของข้อมูลได้แก่

1) ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) หมายถึง ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดกิจกรรมการผลิตในโรงงานหรือองค์กรหรือข้อมูลที่องค์กรมีความสามารถในการเข้าถึงข้อมูล ข้อมูลปฐมภูมิ มักรวบรวมจากการตรวจวัดโดยตรง (Direct measurement) จากระบบการบันทึกข้อมูลการผลิต ได้แก่ ปริมาณวัตถุดิบ พลังงานที่ใช้ ปริมาณผลิตภัณฑ์ และข้อมูลการจัดจำหน่าย ได้แก่ ชนิดยานพาหนะ ชนิดเชื้อเพลิง ปริมาณการขนส่ง ระยะทางที่ขนส่ง

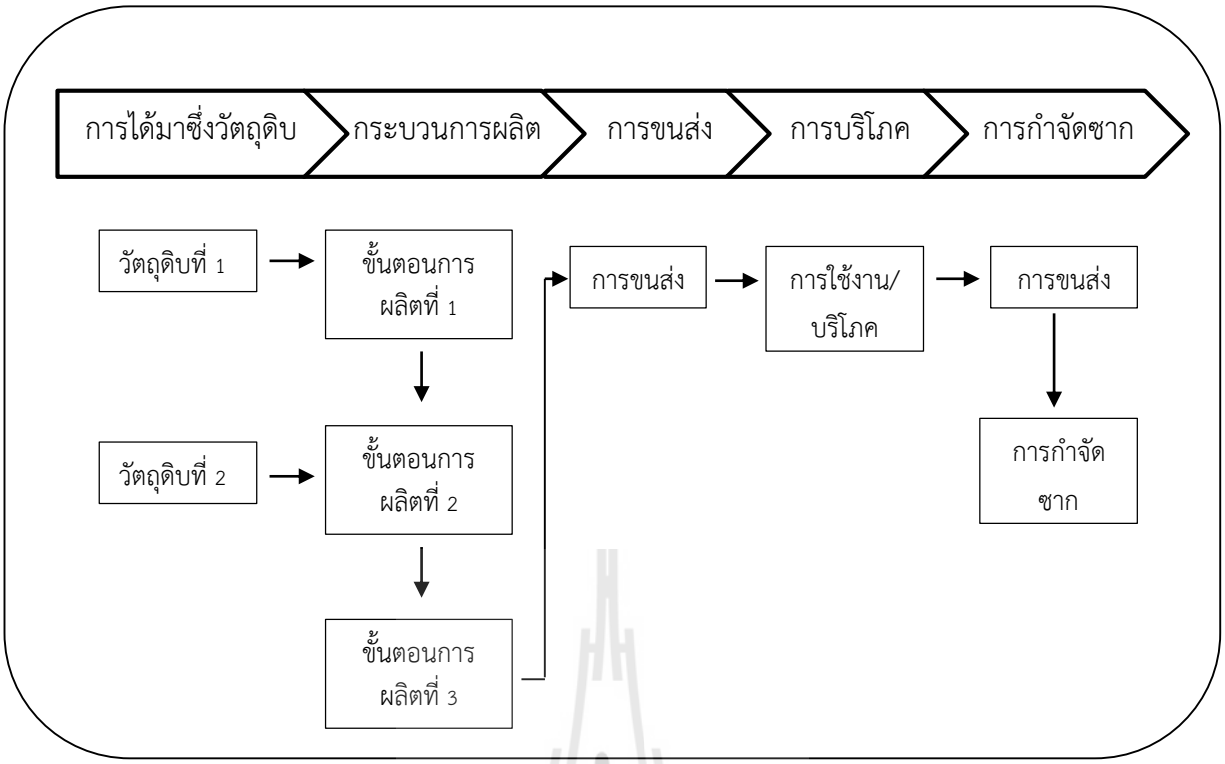
2) ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) ข้อมูลทุติยภูมิหมายถึง ข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลอื่นนอกเหนือจากข้อมูลปฐมภูมิซึ่งเป็นข้อมูลที่โรงงานหรือองค์กรไม่มีความสามารถในการเข้าถึงข้อมูล เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจึงสามารถเลือกใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่เหมาะสม โดยเรียงลำดับความน่าเชื่อถือดังนี้

I. ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย

II. ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศไทยซึ่งผ่านการกรองแล้ว (Peer-reviewed publications)

III. ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป ได้แก่ LCA software, ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรมฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ

IV. ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น IPCC สหประชาชาติ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และคำนวณเพื่อหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) โดยที่ข้อมูลบัญชีรายการในขั้นตอนนี้ อาศัยจากฐานข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตนั้นๆ ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนผังการผลิตอย่างง่าย

- การได้มาซึ่งวัตถุดิบ เก็บข้อมูลเริ่มตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบออกจากธรรมชาติจนได้เป็นวัตถุดิบและพลังงานในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาซึ่งจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลประเภทและปริมาณของวัตถุดิบ สารเคมี และพลังงานทั้งหมดที่ใช้ รวมถึงภาชนะบรรจุสินค้า การขนส่งวัตถุดิบ
- การผลิต เป็นขั้นตอนตั้งแต่การนำวัตถุดิบมาผลิตหรือประกอบในโรงงานจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลประเภท ชนิดและปริมาณของวัตถุดิบ สารเคมี พลังงานในกระบวนการผลิต และระบบสนับสนุนการผลิตทั้งหมด รวมทั้งของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตทั้งหมด
- การกระจายสินค้า ขั้นตอนนี้จะเริ่มตั้งแต่การขนส่งสินค้าจากหน้าโรงงานไปยังจุดจำหน่าย ซึ่งจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ สำหรับกรณีที่ไม่ทราบปริมาณเชื้อเพลิงให้ใช้ข้อมูลประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ขนาดบรรทุก สัดส่วนการบรรทุก ระยะทางของการขนส่งเพื่อจัดจำหน่ายสินค้า
- การใช้งาน เป็นขั้นตอนการบริโภคจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลพลังงานที่ใช้การในบริโภคทั้งหมด ลักษณะการใช้งานควรใช้งานตามแบบแผนที่เกิดขึ้นจริงในตลาดที่ศึกษา หากไม่สามารถหาข้อมูลได้ ลักษณะการใช้งานต้องกำหนดจากข้อมูลด้านเทคนิคที่ตีพิมพ์แล้ว โดยสามารถกำหนดสมมุติฐานการบริโภคตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตได้

- การกำจัดซาก เป็นขั้นตอนการจัดการของเสียเริ่มตั้งแต่การขนส่งของเสีย เก็บข้อมูลประเภทยานพาหนะ ปริมาณของเสีย ระยะทางการขนส่งไปยังสถานที่กำจัดและวิธีการกำจัดอย่างเหมาะสม

2.4.3 การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

การประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลการใช้วัตถุดิบ สารเคมีและพลังงาน การจัดการของเสียที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จะถูกนำไปคำนวณเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ

2.4.4 การแปลผล (Interpretation)

ในขั้นตอนการแปลผลต่อจากขั้นตอนการประเมินผลกระทบจะทำให้ทราบปริมาณวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด และทราบถึงแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยสามารถบ่งชี้ลงไปได้ถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมลง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในประเทศไทยได้เริ่มขึ้นก่อนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากความตื่นตัวและการให้ความสนใจในเรื่องปัญหาภาวะโลกร้อนของประชาชนทั่วโลก ประเทศไทยจึงได้เริ่มทำวิจัยเพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ซึ่งในช่วงแรกๆ เป็นเพียงการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งจะมีรวบรวมข้อมูลทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางด้านต่างๆ โดยการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะประเมินเฉพาะกิจกรรมต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หลังจากนั้นได้มีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์รวมถึงการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในองค์กรซึ่งได้มุ่งเน้นการประเมินในส่วนของการใช้ทรัพยากรด้านพลังงานภายในองค์กรและการหาแนวทางในการลดการใช้ทรัพยากรภายในองค์กรลง สำหรับการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในประเทศไทยพบว่ายังคงมีงานวิจัยอยู่ไม่มากนัก ซึ่งเริ่มวิจัยที่ภาคเกษตรกรรม การเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจและพืชที่เป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมด้านพลังงานงาน งานวิจัยเกี่ยวกับวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในประเทศไทยมีดังนี้

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในพืชเศรษฐกิจที่เป็นวัตถุดิบที่สำคัญต่อการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงประเภทเอทานอล ได้แก่ มันสำปะหลัง อ้อย โดย ชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ และ ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ (2554) ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย พบว่ากระบวนการผลิตเอทานอล จากมันสำปะหลังในปี พ.ศ. 2551 มีค่าเท่ากับ 0.267 กิโลลูกบาศก์เมตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 0.03 ของปริมาณน้ำทั้งประเทศ โดยแบ่งเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน 0.185 กิโลลูกบาศก์เมตร/ปี และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลู 0.082 กิโลลูกบาศก์เมตร/ปี ต่อมา Kongboon and Sampattagul, (2012)

ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมันสำปะหลังและอ้อยในเขตภาคเหนือพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยมีค่าเท่ากับ 202 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการปลูกมันสำปะหลังซึ่งมีเท่ากับการ 509 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ส่วนการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืชที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันไบโอดีเซล ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน โดย ลักขณา เจริญสุข และคณะ (2555) ทำการศึกษาวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย พบว่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 2,139 ลูกบาศก์เมตร/ตัน และพบว่าในเขตพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้น้ำสูงถึง 3.9 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ภาคใต้ นอกจากนี้ในกลุ่มพืชเศรษฐกิจที่สำคัญต่อสังคมไทยอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้มีนักวิจัย คือ ทิพย์ปภา สุขุมาลชาติ และคณะ (2556) ได้ศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยพบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เฉลี่ยทั้งประเทศเท่ากับ 1,132 ลูกบาศก์เมตร/ตัน โดยคิดเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน 894 ลูกบาศก์เมตร/ตัน และ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ 237 ลูกบาศก์เมตร/ตัน

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เริ่มเข้าสู่ประเทศไทยในปี 2551 โดยงานวิจัยเกี่ยวกับประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้ คือ Yuttitham และคณะ (2011) ได้ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลจากอ้อยในภาคตะวันออกของประเทศไทย พบว่าการผลิตน้ำตาล 1 กิโลกรัม มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.55 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยเกิดขึ้นในส่วนการเพราะปลูกอ้อยมากที่สุดเท่ากับ 0.49 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และเกิดในส่วนกระบวนการผลิตน้ำตาลเท่ากับ 0.06 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ส่วนชาครีย์ รถา (2554) ได้วิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลัง พบว่าผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลัง 1 ตัน ในสถานประกอบการทั้งหมด 4 แห่ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,156.44 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ในขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังได้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดโดยมีสาเหตุหลักจากการใช้ปุ๋ย นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดย วิทยา กันยา (2551) ได้ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เพื่อประเมินกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดง พบว่า ปริมาณน้ำตาลทรายแดง 1 ตัน ได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนมีค่าเท่ากับ 1.318×10^3 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และในส่วนกระบวนการตกผลึกของน้ำตาลทรายแดงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเนื่องจากขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานสูงซึ่งผลกระทบคือการเกิดภาวะโลกร้อนร้อยละ 81 การเกิดฝนกรดและเพิ่มสารอาหารในแหล่งน้ำร้อยละ 78 การลดลงของชั้นโอโซนร้อยละ 56 ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 รูปแบบงานวิจัย

เป็นงานวิจัยพื้นฐานเพื่อประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2555 โดยกำหนดพื้นที่ทำการศึกษาใน 4 จังหวัดคือ นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ การวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทแรกเป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว และประเภทที่สองคือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว โดยข้อมูลที่ได้สามารถนำมาเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนา ปรับปรุง และเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิต รวมถึงการออกข้อกำหนดหรือนโยบายต่างๆ เพื่อลดค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตน้ำตาลทรายขาว

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 สำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้น

ศึกษาสำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเขตหรือพื้นที่ที่มีการปลูกอ้อย จำนวนและที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทรายขาว จากนั้นทำการคัดเลือกพื้นที่กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยและโรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาว โดยสุ่มคัดเลือกเกษตรกรในเขตเทศบาลตำบลสุรนารี ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา จำนวน 20 คน และคัดเลือกโรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาวเป็น บริษัท น้ำตาลครบุรี จำกัด อ.ครบุรี จ. นครราชสีมา

3.2.2 สัมภาษณ์และเก็บข้อมูล

สัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยและนักวิชาการเกษตรตามที่ได้คัดเลือกไว้แล้วตามแบบสัมภาษณ์ที่ได้สร้างขึ้น (ภาคผนวก ค) เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ การปลูกอ้อย ปริมาณการใช้ปุ๋ย น้ำ พลังงานเชื้อเพลิง วิธีการเก็บเกี่ยว และผลผลิตอ้อย รวมถึงทำการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวจากบริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ ปริมาณสารขาเข้าและออกของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว การขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน นอกจากนี้ทางโรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาวยังได้ให้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ย การใช้พลังงาน การใช้เชื้อเพลิงในการปลูกอ้อยของเกษตรกรที่นำอ้อยมาจำหน่ายกับทางโรงงาน

3.2.3 วิเคราะห์ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ได้อ้างอิงวิธีการคำนวณตามหนังสือ Water Footprint Assessment Manual โดย Hoekstra *et al*. (2011)

1) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรม

การประเมินในภาคเกษตรกรรมได้ใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ในการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืช (Crop Evapotranspiration; ET) โดยที่ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลูสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 12 และในส่วนค่าความต้องการน้ำของพืช (Crop water use; CWU) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 13 ซึ่งค่า ET จะเป็นค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม CROPWAT 8.0 ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลด้านต่างๆ ในการคำนวณ คือ ข้อมูลด้านสภาพภูมิประเทศและอากาศ ได้แก่ ละติจูด ลองติจูด ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลของพื้นที่ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณแสงแดด ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน (ใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาปี พ.ศ. 2555 ดังแสดงในภาคผนวก ก) และข้อมูลปัจจัยการผลิตพืช ได้แก่ ช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ความยาวของรากพืช ระดับการขาดน้ำของพืช ค่าปัจจัยการสอบสนองต่อการให้ผลผลิตของพืช (ใช้ข้อมูลจาก FAO, 1984) ส่วนการค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์คำนวณตามสมการที่ 14

- สมการการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลูในภาคเกษตรกรรม

มีหลักการคำนวณที่เหมือนกัน แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตร/ตัน โดยการคำนวณหาปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริง หาได้จากค่าความต้องการใช้น้ำของพืช มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ไร่ ดังนี้

$$WF_{green,\ blue} = \frac{CWU_{green,blue}}{Y} \quad \text{---------- (12)}$$

โดย $WF_{green,\ blue}$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลู (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

$CWU_{green,\ blue}$ คือ ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (ลูกบาศก์เมตร/ไร่)

Y คือ ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ (ตัน/ไร่)

จากสมการที่ (12) ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (CWU) คำนวณได้จากค่าการสะสมการคายระเหยน้ำของพืช (Evapotraspiration; ET) ตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโต (Length of growing period; lgp) และ 1.6 เป็นค่าคงที่ในการเปลี่ยนจากหน่วยมิลลิเมตรเป็นลูกบาศก์เมตร/ไร่

$$CWU_{green,\ blue} = 1.6 \sum_{d=1}^{lgp} ET_{green,\ blue} \quad \text{---------- (13)}$$

โดย $CWU_{green,\ blue}$ คือ ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (ลูกบาศก์เมตร/ไร่)

$ET_{green,\ blue}$ คือ ค่าการสะสมการคายระเหยน้ำของพืช (มิลลิเมตร/วัน)

- สมการการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ในภาคเกษตรกรรม

อาศัยหลักการที่ว่าปริมาณของมลสารทางน้ำหาได้จากปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อเจือจางมลสารที่มีอยู่ในน้ำให้มีค่าตามค่ามาตรฐาน แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตร/ตัน

$$WF_{Grey} = \frac{(\alpha \times AR)/(C_{max} - C_{nat})}{Y} \quad \text{---------- (14)}$$

โดย WF_{grey} คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)

AR คือ อัตราการใช้สารเคมีในพื้นที่ (กิโลกรัม/ไร่)

α คือ อัตราการชะล้างสารเคมี งานวิจัยครั้งนี้คิดปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่เกิดการชะล้างออกจากพื้นที่เกษตรกรรมที่ร้อยละ 10 ของปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนทั้งหมดที่ใช้ (Chapagain *et al*., 2006)

C_{max} คือ ความเข้มข้นของมลพิษมากสุดที่ยอมรับได้ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) งานวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้เกณฑ์คุณภาพแหล่งน้ำที่อ้างอิงจากค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินของประเทศไทยจากกรมควบคุมมลพิษ ที่กำหนดให้ค่าไนโตรเจนไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควมคุมมลพิษ, 2555)

C_{nat} คือ ค่าความเข้มข้นของมลพิษตามธรรมชาติ งานวิจัยครั้งนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ (Mokonnen and Hoektra, 2011)

Y คือ ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ (ตัน/ไร่)

2) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคอุตสากรรม

สำหรับการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคอุตสาหกรรม ได้ใช้ข้อมูลการใช้น้ำของบริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด โดยบริษัทฯ ได้ใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินมาผลิตเป็นน้ำประปาเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลปริมาณน้ำดังกล่าวมาคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลู ส่วนข้อมูลปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวจะนำมาคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์

2.2.4 วิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์

แนวทางการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้อ้างอิงการคำนวณตามหนังสือ แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดยคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2554) ซึ่งวิธีการคำนวนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตามสมการที่ 15 ได้อาศัยข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือ Emission factor (EF) (ภาคผนวก ข) และข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตน้ำตาลทรายขาวมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดต้องอยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นผลรวมค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของทุกๆ กระบวนการผลิตทั้งภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม

$$CFP = \sum A_i \times EF_i \quad \text{---------- (15)}$$

โดย CFP คือ ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หรือปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/หน่วยผลิตภัณฑ์)

A_i คือ ปริมาณการใช้วัตถุดิบ พลังงาน หรือสารเคมีที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรม i (หน่วย/หน่วยผลิตภัณฑ์)

EF_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor) ในแต่ละกิจกรรม i (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/หน่วย)

3.3 ข้อมูลการปลูกอ้อยและการผลิตน้ำตาลทรายขาว

การวิเคราะห์และประเมินค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวต้องอาศัยข้อมูลที่สำคัญด้านการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการสืบค้นข้อมูล ขอความอนุเคราะห์ข้อมูลและการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกอ้อย นักวิชาการเกษตรและผู้ประกอบการโรงงาน โดยที่มาและแหล่งข้อมูลที่สำคัญดังกล่าวแสดงได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ที่มาและแหล่งข้อมูลการปลูกอ้อยและกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

ข้อมูล	ที่มาและแหล่งข้อมูล
1. ขั้นตอนการปลูกอ้อย	กรมวิชาการเกษตร, 2547
2. พื้นที่ปลูกอ้อยและผลผลิตอ้อย	สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555b
3. การใช้ปุ๋ย น้ำ และพลังงานเชื้อเพลิง	สัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยและนักวิชาการเกษตร ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา และบริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา
4. กระบวนการผลิตน้ำตาล	บริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา

3.4 การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว

งานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบการประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวเป็นแบบ Business-to-Business: B2B ซึ่งหมายถึงการประเมินตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกระทั่งผลิตเป็นน้ำตาลทรายขาวที่พร้อมนำออกจำหน่าย ซึ่งขั้นตอนการประเมินได้ใช้หลักประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตน้ำตาลตามมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งมีขั้นตอนการประเมิน 4 ขั้นตอนคือ (i) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการวิจัย (ii) การวิเคราะห์และทำบัญชีรายการ (iii) การประเมินผลกระทบ และ (iv) การแปลผลการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

<u>เป้าหมายการศึกษา</u>

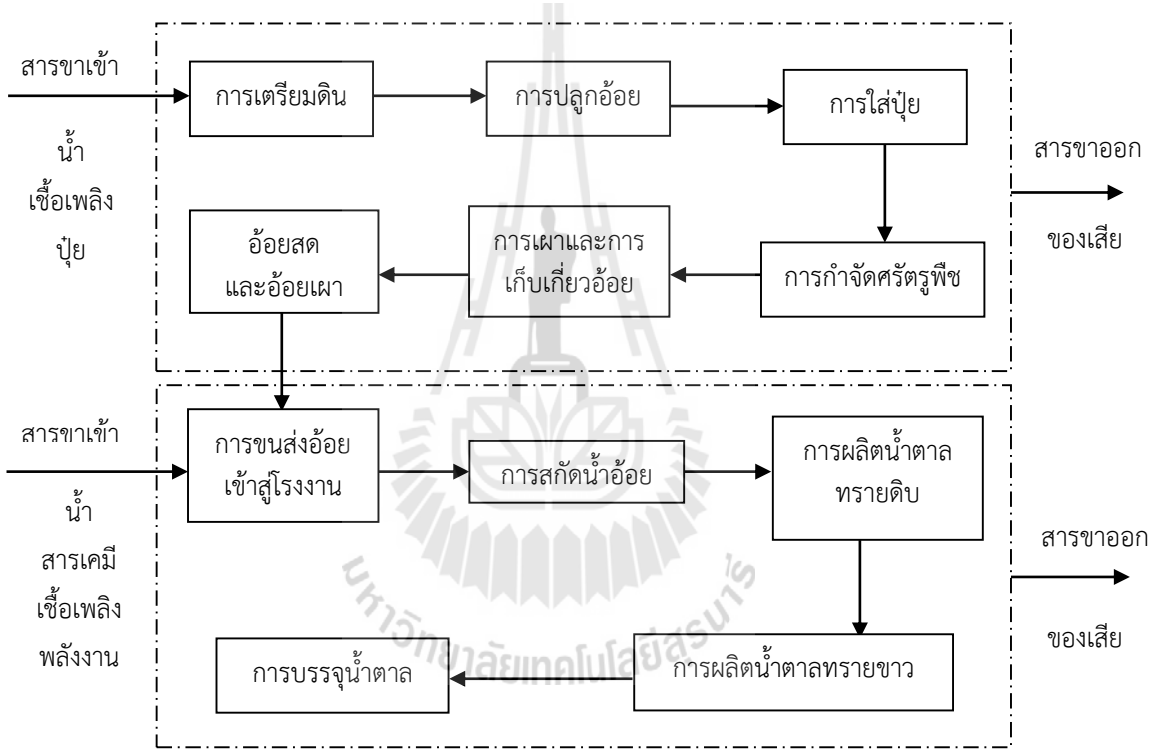
1) เพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ใช้เป็นในการผลิตน้ำตาลทรายขาวประกอบไปด้วย ข้อมูลการใช้ทรัพยากร พลังงาน เชื้อเพลิง และของเสียที่เกิดขึ้น

2) เพื่อประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนของการผลิตน้ำตาลทรายขาว

3) เพื่อเสนอแนะวิธีการพัฒนาและปรับปรุงการหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว ให้การใช้ทรัพยากรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

<u>ขอบเขตการศึกษา</u>

การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตการประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2555 ใน 4 จังหวัดคือ นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ โดยทำการประเมินทั้งในภาคเกษตรกรรมหรือการปลูกอ้อย (การเตรียมดิน การเพาะปลูก การใส่ปุ๋ยและกำจัดวัชพืช และการเก็บเกี่ยว) และภาคอุตสาหกรรม (การขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานและกระบวนการผลิตน้ำตาล) โดยขอบเขตของการวิจัยมีดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ขอบเขตการประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว

3.4.2 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory analysis)

1) การเก็บรวบรวมข้อมูล

ประกอบด้วยการสร้างแผนผังการไหล ชนิดและปริมาณของสารขาเข้า ได้แก่ การใช้วัตถุดิบ น้ำ พลังงานเชื้อเพลิง และสารขาออก ได้แก่ ชนิดและปริมาณของผลผลิตหลัก ผลผลิตพลอยได้ และของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว โดยขั้นตอนการเก็บข้อมูลเป็นไปตามขอบเขตการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 10

2) การปันส่วน

ในการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องเชื่อมกระบวนการย่อยๆ ที่อยู่ในระบบการผลิตโดยใช้ปริมาณอ้างอิงของวัตถุดิบหรือพลังงาน ในกระบวนการย่อยภายในระบบที่ศึกษาอาจเกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป แต่มีผลิตภัณฑ์เพียงชนิดที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปภายในระบบ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปแปรรูปใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการอื่นๆ หรือถูกทิ้งไป ดังนั้น ต้องทำการปันส่วนปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมเข้าไปในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ผู้วิจัยได้เลือกใช้การปันส่วนโดยใช้น้ำหนัก

3.4.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA)

จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาศักยภาพของการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ โดยคัดเลือกกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ส่วนการวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงการคำนวณค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุนพรินท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวเพียงอย่างเดียว ไม่ได้มีการนำผลการคำนวณดังกล่าวมาประเมินผลกระทบในเชิงปริมาณในรูปแบบของตัวชี้วัดอื่นๆ ในกลุ่มผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

3.4.4 การแปลผล (Life cycle interpretation)

การวิเคราะห์ผลการศึกษา สรุปผลที่ได้จากผลลัพธ์ของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในรูปแบบของการประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ รวมถึงเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย กรณีศึกษา จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ โดยทำการศึกษาในปี พ.ศ. 2555 การศึกษาวิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยประเภทแรกเป็นการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว และประเภทที่สองคือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว นอกจากนี้ในการศึกษาแต่ละประเภทยังได้แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ภาคส่วนด้วยกันคือ การประเมินในภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม

4.1 ข้อมูลการปลูกอ้อยและบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในภาคเกษตรกรรม

4.1.1 ข้อมูลพื้นที่การปลูกและผลผลิตอ้อย

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกอ้อยและมีผลผลิตอ้อยในปริมาณที่สูง โดยในปี พ.ศ. 2555 มีพื้นที่ของการปลูกอ้อยและผลผลิตอ้อยเพื่อส่งเข้าโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทรายขาว แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 พื้นที่ปลูกและผลผลิตอ้อยที่ส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างประเทศไทยในปี พ.ศ. 2555

จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน/ปี)	ผลผลิต (ตัน/ไร่)
นครราชสีมา	678,930	7,309,978	10.77
ชัยภูมิ	425,033	4,720,033	11.11
บุรีรัมย์	138,422	1,596,708	11.54
สุรินทร์	205,866	2,229,487	10.83

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555b

จากตารางที่ 7 พบว่า ในปี พ.ศ. 2555 จังหวัดนครราชสีมามีพื้นที่ในการปลูกอ้อยมากที่สุด ส่วนจังหวัดบุรีรัมย์มีกำลังการผลิตอ้อยต่อไร่ในอัตราส่วนสูงที่สุดคือ 11.54 ตัน/ไร่ รองลงมาคือ ชัยภูมิ สุรินทร์ และนครราชสีมา มีค่าเท่ากับ 11.11, 10.83 และ 10.77 ตัน/ไร่ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลผลิตอ้อยยังได้แบ่งออกเป็นอ้อยสดและอ้อยเผา โดยแบ่งเป็นอ้อยสดร้อยละ 40 และอ้อยเผาร้อยละ 60 (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2552)

4.1.2 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในการปลูกอ้อย

การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการปลูกอ้อย เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากรและพลังงานเพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในรูปปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมและปริมาณการใช้น้ำตลอดการปลูกอ้อย โดยการเก็บข้อมูลครั้งนี้ได้เลือกการปลูกอ้อยเป็นพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาเป็นตัวแทนของกลุ่มภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยและนักวิชาการเกษตรในเขตเทศบาลตำบล ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา และข้อมูลจากของบริษัท น้ำตาลครบุรี อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา ข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการปลูกอ้อย 1 ตัน แสดงได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการปลูกอ้อย 1 ตัน

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
ปุ๋ย		
- ไนโตรเจน	กิโลกรัม	1.9631
- ฟอสฟอรัส	กิโลกรัม	0.8154
- โพแทสเซียม	กิโลกรัม	1.1159
- อินทรีย์	กิโลกรัม	0.0116
- อาหารเสริม NYD	กิโลกรัม	0.1144
ยากำจัดศัตรูพืช		
- บีเคแม็กซ์-พรี (อาทราซีน)	กิโลกรัม	0.0027
- บีเคแม็กซ์-โพส (อามีทรีน)	กิโลกรัม	0.0077
- บาก้าโซน (พาราควอต)	กิโลกรัม	0.0044
- ดรากอนโซน	กิโลกรัม	0.0036
เชื้อเพลิง		
- น้ำมันดีเซล (น้ำมันโซล่าร์)	กิโลกรัม	1.3452
- ดีเซล-เผาไหม้	ลิตร	1.6169
การปล่อยก๊าซจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน	กิโลกรัม	0.6730
การปล่อยก๊าซจากการเผาอ้อย	กิโลกรัม	111.0000

ที่มา: จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยและข้อมูลจากบริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด, 2555

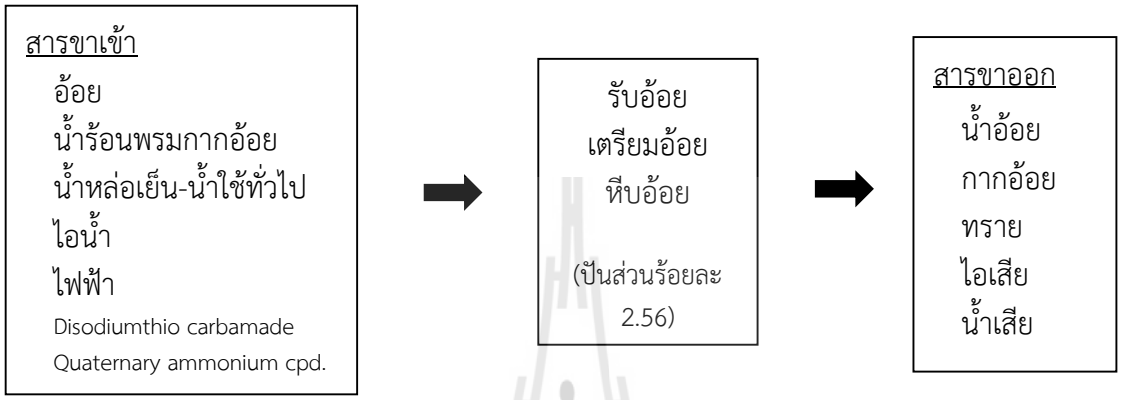
การปลูกอ้อยในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาพบว่ามีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมากที่สุด รองลงมาคือปุ๋ยโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส ตามลำดับ การใช้ยากำจัดสัตรูพืชพบว่ามีการใช้สารเคมี อาทราซีน อามีทรีน พาราควต และดรากอนโซน ส่วนการใช้เชื้อเพลิงนั้นมีการใช้น้ำมันดีเซลเผาไหม้สำหรับรถไถ-พรวณดินก่อนการปลูกอ้อยและใช้ในรถคีบอ้อยช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิต

4.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว และบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรม

บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตน้ำตาลทรายขาว 1 กิโลกรัม มีดังต่อไปนี้

4.2.1 การสกัดน้ำอ้อย

1) กระบวนการสกัดน้ำอ้อย



ภาพที่ 11 กระบวนการสกัดน้ำอ้อย

2) บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการสกัดน้ำอ้อย

ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและออกของกระบวนการสกัดน้ำอ้อย แสดงได้ดังตารางที่ 9

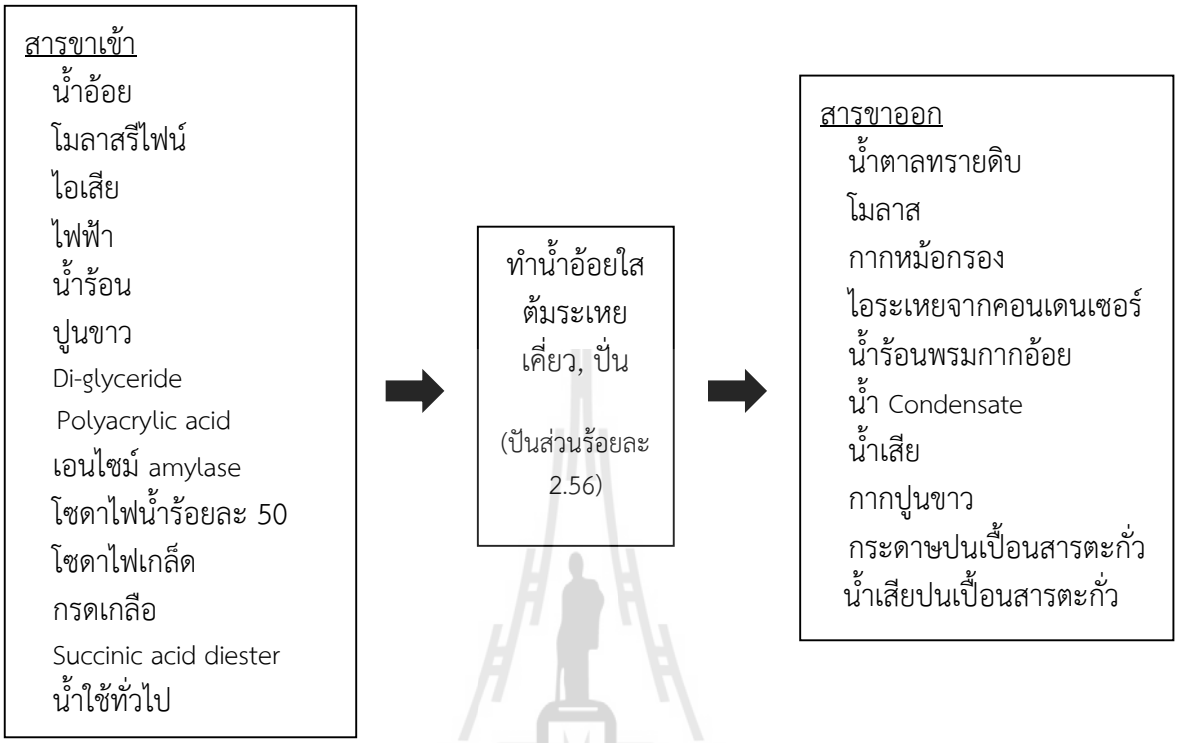
ตารางที่ 9 บัญชีรายการสารขาเข้าและออกของกระบวนการสกัดน้ำอ้อย

สารขาเข้า	หน่วย	ปริมาณ	สารขาออก	หน่วย	ปริมาณ
<u>วัตถุดิบและสารเคมี</u>			<u>ผลิตภัณฑ์หลัก</u>		
- อ้อยสด	กิโลกรัม	64.30	- น้ำอ้อยรวม	กิโลกรัม	236.60
- อ้อยเผา	กิโลกรัม	168.79	- กากอ้อยละเอียด	กิโลกรัม	1.63
- น้ำร้อนพรมกากอ้อย	ลิตร	71.59	<u>ผลิตภัณฑ์พลอยได้</u>		
- น้ำหล่อเย็น-น้ำใช้	ลิตร	8.72	- กากอ้อย	กิโลกรัม	66.22
- Disodiumthio carbamade	กิโลกรัม	0.0014	- ทราย	กิโลกรัม	0.2300
			- ไอเสีย	กิโลกรัม	58.10
- Quaternary ammonium cpd.	กิโลกรัม	0.0004	- น้ำเสีย	กิโลกรัม	8.72
<u>พลังงาน</u>					
- ไอน้ำ	กิโลกรัม	60.19			
- ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชม.	1.06			

ที่มา: บริษัทน้ำตาลครบรี จำกัด, 2555

4.2.2 การผลิตน้ำตาลทรายดิบ

1) กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ



ภาพที่ 12 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ

2) บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ

ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและออกของการผลิตน้ำตาลทรายดิบแสดงได้ดังตารางที่ 10

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

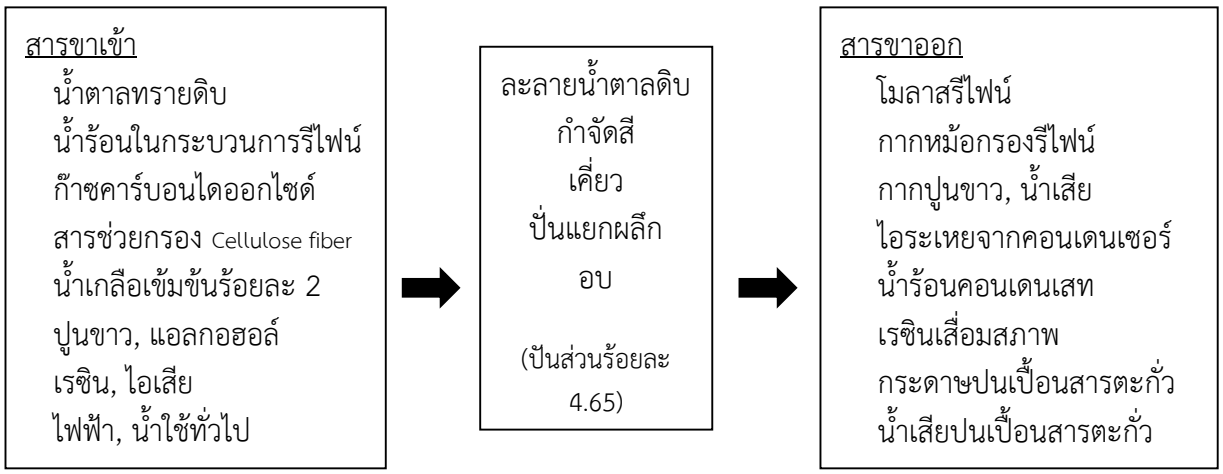
ตารางที่ 10 บัญชีรายการสารขาเข้าและออกของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ

สารขาเข้า	หน่วย	ปริมาณ	สารขาออก	หน่วย	ปริมาณ
<u>วัตถุดิบและสารเคมี</u>			<u>ผลิตภัณฑ์หลัก</u>		
- น้ำอ้อยรวม	กิโลกรัม	236.60	- น้ำตาลทรายดิบไฮโพล	กิโลกรัม	0.4900
- กากอ้อยละเอียด	กิโลกรัม	1.63	- น้ำตาลทรายธรรมชาติ	กิโลกรัม	0.4900
- โมลาสรีไฟน์	กิโลกรัม	3.94	- น้ำตาลทรายขาวเกรด 3	กิโลกรัม	0.7700
- ปูนขาว	กิโลกรัม	0.2000	- น้ำตาลทรายดิบเทกอง	กิโลกรัม	5.62
- Di-glyceride	กีโลกรัม	0.0001	- น้ำตาลทรายดิบ	กิโลกรัม	23.07
- Polyacrylic acid	กิโลกรัม	0.0003	- โมลาส	กิโลกรัม	11.45
- เอนไซม์ amylase	กิโลกรัม	0.0016	<u>ผลิตภัณฑ์พลอยได้</u>		
- โซดาไฟน้ำร้อยละ 50	กิโลกรัม	0.0394	- กากหม้อกรอง	กิโลกรัม	10.96
- โซดาไฟเกล็ด	กิโลกรัม	0.0036	- ไอระเหยคอนเดนเซอร์	กิโลกรัม	117.96
- กรดเกลือ	กิโลกรัม	0.0002	- น้ำร้อนพรมกากอ้อย	กิโลกรัม	71.59
- Succinic acid diester	กิโลกรัม	0.0001	- น้ำ Condensate	ลิตร	40.87
- น้ำใช้	ลิตร	26.18	- น้ำเสีย	ลิตร	26.18
- น้ำร้อน	ลิตร	34.74	- กากปูนขาว	กิโลกรัม	0.0200
<u>พลังงาน</u>			- กระดาษปนเปื้อนสาร	กิโลกรัม	0.0003
- ไอเสีย	กิโลกรัม	40.87	ตะกั่ว		
- ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชม.	2.48	- น้ำเสียปนเปื้อนสารตะกั่ว	กิโลกรัม	0.0007

ที่มา: บริษัทน้ำตาลครบรี จำกัด, 2555

4.2.3 การผลิตน้ำตาลทรายขาว

1) กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว



ภาพที่ 13 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

2) บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและออกแสดงได้ดังตารางที่ 11

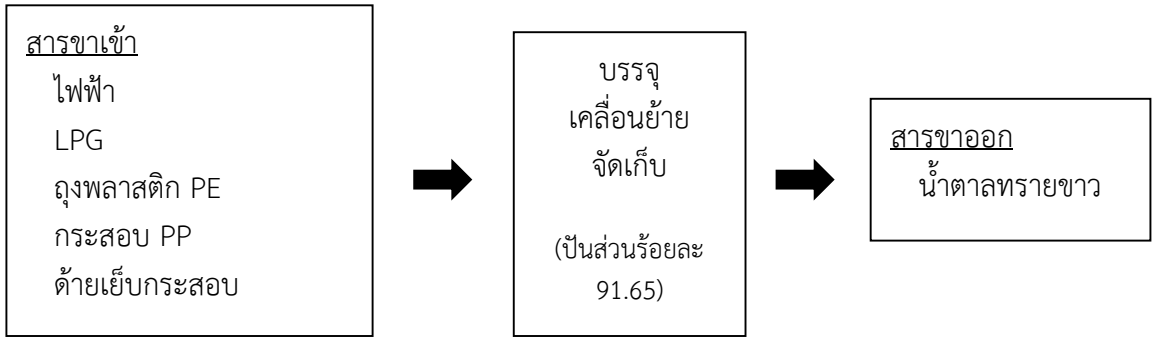
ตารางที่ 11 บัญชีรายการสารขาเข้าและออกในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

สารขาเข้า	หน่วย	ปริมาณ	สารขาออก	หน่วย	ปริมาณ
<u>วัตถุดิบและสารเคมี</u>			<u>ผลิตภัณฑ์หลัก</u>		
- น้ำตาลทรายดิบ	กิโลกรัม	23.07	- น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	กิโลกรัม	1.00
- น้ำร้อน	ลิตร	16.43	- น้ำตาลทรายขาวเกรด1	กิโลกรัม	2.46
- ปูนขาว	กิโลกรัม	0.2300	<u>ผลิตภัณฑ์พลอยได้</u>		
- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	กิโลกรัม	0.1800	- โมลาสรีไฟน์	กิโลกรัม	3.94
- Cellulose fiber	กิโลกรัม	0.0014	- กากหม้อกรองรีไฟน์	กิโลกรัม	0.3900
- น้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 24	กิโลกรัม	0.9000	- กากปูนขาว	กิโลกรัม	0.0231
- เรซิน	กิโลกรัม	0.0060	- ไอระเหยจากคอนเดนเซอร์	กิโลกรัม	14.04
- แอลกอฮอล์	กิโลกรัม	0.0005	- น้ำร้อน Condensate	กิโลกรัม	19.33
- น้ำใช้	ลิตร	15.19	- เรซินเสื่อมสภาพ	กิโลกรัม	0.0040
<u>พลังงาน</u>			- น้ำเสีย	ลิตร	12.76
- ไอเสีย	กิโลกรัม	17.23	- น้ำเสียปนเปื้อนเกลือ	ลิตร	1.23
- ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชม.	1.17	- กระดาษปนเปื้อนสารตะกั่ว	กิโลกรัม	0.0001
			- น้ำเสียปนเปื้อนสารตะกั่ว	กิโลกรัม	0.0004

ที่มา: บริษัทน้ำตาลครบรี จำกัด, 2555

4.2.4 การบรรจุน้ำตาลทรายขาว

1) กระบวนการบรรจุน้ำตาลทรายขาว



ภาพที่ 14 กระบวนการบรรจุน้ำตาลทรายขาว

2) บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการบรรจุน้ำตาลทรายขาว

ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและออก แสดงได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 บัญชีรายการสารขาเข้าและออกในขั้นตอนการบรรจุ

สารขาเข้า	หน่วย	ปริมาณ	สารขาออก	หน่วย	ปริมาณ
<u>วัตถุดิบและสารเคมี</u>			<u>ผลิตภัณฑ์หลัก</u>		
- น้ำตาลทรายขาว	กิโลกรัม	1.00	- น้ำตาลทรายขาว	กิโลกรัม	1.00
- ถุงพลาสติก PE	กิโลกรัม	0.0071	<u>ผลิตภัณฑ์พลอยได้</u>		
- กระสอบ PP	กิโลกรัม	0.0028	- เศษบรรจุภัณฑ์	กิโลกรัม	0.0039
- ด้ายเย็บกระสอบ	กิโลกรัม	0.0005			
<u>พลังงาน</u>					
- LPG	กิโลกรัม	0.0026			
- ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชม.	0.0692			

ที่มา: บริษัทน้ำตาลครบรี จำกัด, 2555

4.3 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาว

การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในการขนส่งอ้อย ได้เก็บข้อมูลชนิดของพาหนะทุกประเภทที่ใช้ในการบรรทุกอ้อยและข้อมูลระยะทางในการวิ่งขนส่งอ้อยจากไร่เข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาว ข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในการขนส่งอ้อยเพื่อผลิตน้ำตาลทรายขาว 1 กิโลกรัม แสดงได้ดังตารางที่ 13

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 13 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาว

รายการ	ปริมาณ (กิโลกรัม)	พาหนะ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าภาระการขนส่ง (ตัน กิโลเมตร)
อ้อยสด	64.30	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ 7 ตัน	3.52	0.2263
		รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 8.5 ตัน	18.59	1.1953
		รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.39	0.0251
		รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	21.61	1.3895
		รถกระบะบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ 32 ตัน	48.59	3.1243
		รถตู้บรรทุกเปิด 10 ล้อ 16 ตัน	0.61	0.0392
อ้อยเผา	168.79	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ 7 ตัน	3.52	0.5941
		รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 8.5 ตัน	18.59	3.1378
		รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.39	3.1378
		รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	21.61	3.6476
		รถกระบะบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ 32 ตัน	48.59	8.2015
		รถตู้บรรทุกเปิด 10 ล้อ 16 ตัน	0.61	0.1030

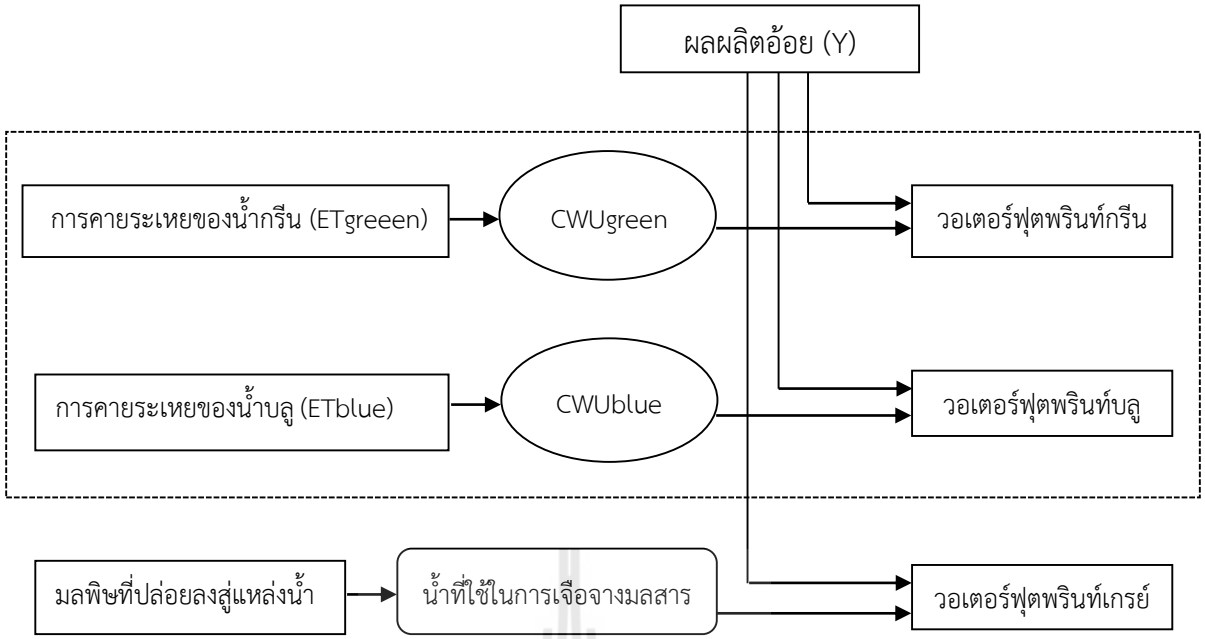
ที่มา: บริษัทน้ำตาลครบรี จำกัด, 2555

4.4 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว

การเก็บข้อมูลเพื่อประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การประเมินในภาคเกษตรกรรมและในภาคอุตสาหกรรม

4.4.1 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรม

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรม เป็นการหาปริมาณการใช้น้ำตลอดการปลูกอ้อยในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง แผนผังการเก็บข้อมูลการใช้น้ำในการปลูกอ้อยแสดงได้ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แผนผังการเก็บข้อมูลการใช้น้ำในการปลูกอ้อย

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรม ได้แบ่งการประเมินออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน บลู และเกรย์ โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลู ได้ใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมาณค่าการคายระเหยน้ำของพืช (Crop Evapotranspiration; ET) โดยการคำนวณค่าการระเหยน้ำของพืชได้อาศัยสมการของ Penman-Monteith (FAO, 1992) ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำประกอบด้วย ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ และข้อมูลเกี่ยวกับพืช ผลการคำนวณของโปรแกรม CROPWAT 8.0 จะมาคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลูสมการที่ 12 และ 13 ซึ่งขอบเขตการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลูแสดงได้ดังรายละเอียดภายในเป็นเส้นปรุ ในภาพที่ 15 ส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์คำนวณได้จากข้อมูลการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการเพาะปลูกอ้อย

1) การคายระเหยน้ำของพืช (Crop Evapotranspiration; ET)

การศึกษาปริมาณการใช้น้ำสำหรับการปลูกอ้อยได้อาศัยโปรแกรม CROPWAT 8.0 ในการคำนวณหาค่าการคายระเหยน้ำของพืชต้องอาศัยข้อมูลดังต่อไปนี้

I. สภาพภูมิประเทศ ข้อมูลสภาพภูมิประเทศหรือที่ตั้งของสถานที่ที่ทำการศึกษา ได้แก่ จุดพิกัดเส้นรุ้ง (Latitude) จุดพิกัดเส้นแวง (Longitude) และค่าความสูงจากระดับน้ำทะเล (Altitude above Mean Sea Level; MSL) สภาพภูมิประเทศของจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ แสดงในภาคผนวก ก (สภาพภูมิประเทศของแต่ละจังหวัด)

II. ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ได้ใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนในปี พ.ศ. 2555 ซึ่งข้อมูลที่ใช้ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเร็วลม ความยาวนานของแสงแดด และปริมาณ

น้ำฝนรวม โดยข้อมูลสภาพภูมิอากาศของจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ แสดงในภาคผนวก ก (สภาพภูมิอากาศของแต่ละจังหวัด)

III. ข้อมูลพืช (Crop data) ข้อมูลของอ้อยปลูกได้อาศัยข้อมูลอ้างอิงจากองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO, 1984) โดยมีข้อมูลที่สำคัญดังต่อไปนี้

- วันที่ปลูกอ้อยกำหนดให้เป็นช่วงต้นฤดูฝนในเดือนพฤษภาคม ส่วนการเจริญเติบโตของอ้อยปลูก (Length stage) ตลอดฤดูปลูกได้แบ่งออกเป็น 4 ระยะด้วยกัน รวมทั้งสิ้น 480 วัน ดังต่อไปนี้

  - ระยะเริ่มต้น (Initial stage) 50 วัน
  - ระยะเจริญเติบโต (Development stage) 70 วัน
  - ระยะกลาง (Mid-season stage) 220 วัน
  - ระยะสุดท้าย (Late stage) 140 วัน

- ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของอ้อย (Crop coefficient; K_c) เป็นค่าแสดงถึงการใช้น้ำของพืชในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต

  - ระยะเริ่มต้น ต้องการใช้น้ำเท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร/วัน
  - ระยะกลาง ต้องการใช้น้ำเท่ากับ 1.25 มิลลิเมตร/วัน
  - ระยะสุดท้าย ต้องการใช้น้ำเท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร/วัน

- การหยั่งลึกของรากพืช (Rooting depth) อ้อยมีรากยาวในระยะเริ่มต้นประมาณ 1.20 เมตร และเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จนถึงระยะเก็บเกี่ยวมีรากยาวประมาณ 2.0 เมตร

- ระดับการขาดน้ำของพืช (Depletion level) หมายถึง ระดับที่พืชจะเริ่มขาดน้ำเมื่อความชื้นในดินลดลงใกล้ถึงจุดเหี่ยวถาวร สำหรับอ้อย ค่าการขาดน้ำของพืชมีค่าประมาณร้อยละ 65 ของปริมาณความชื้นที่พืชใช้เป็นประโยชน์ได้

- ค่าปัจจัยการตอบสนองต่อการให้ผลผลิตของพืช (Yield response factor; K_y) ค่า K_y ของอ้อยมีค่าเท่ากับ 1.2

- ค่าความสูงของพืช (Crop height) หมายถึง ค่าความสูงที่สุดตลอดอายุของพืชซึ่งอ้อยมีค่าความสูงที่สุดเท่ากับ 3 เมตร

ตารางที่ 14 ข้อมูลพืชของอ้อย

รายการ	ระยะเริ่มต้น	ระยะเจริญเติบโต	ระยะกลาง	ระยะสุดท้าย
การเจริญเติบโต (วัน)	50	70	220	140
ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ	0.40	-	1.25	0.75
ค่าการหยั่งลึกของรากพืช (เมตร)	1.20	-	-	2.0
ค่าระดับการขาดน้ำของพืช (ร้อยละ)	0.65	0.65	0.65	0.65
ค่าปัจจัยในการตอบสนองต่อการให้ผลผลิตของพืช	1.2	1.2	1.2	1.2

ที่มา: FAO, 1984

2) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลู

ผลการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลู ของการปลูกอ้อย 1 ตัน ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ตามสมการที่ 12 และ 13 แสดงได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าคายระเหยน้ำ และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลูของการปลูกอ้อย

จังหวัด	ค่าคายระเหยน้ำ (มิลลิเมตร)		วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)		วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี)	
	ETgreen	ETblue	WFgreen	WFblue	WFgreen	WFblue
นครราชสีมา	1,142	866	170	129	1.24	0.94
ชัยภูมิ	1,034	924	149	133	0.70	0.63
บุรีรัมย์	1,120	770	155	107	0.25	0.17
สุรินทร์	1,055	977	156	144	0.35	0.32

จากตารางที่ 15 การปลูกอ้อย 1 ตัน พบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนมีค่ามากกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลู โดยจังหวัดนครราชสีมามีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนมากที่สุดเท่ากับ 170 ลูกบาศก์เมตร/ตัน รองลงมาคือ สุรินทร์ บุรีรัมย์ และชัยภูมิ เท่ากับ 156, 155 และ 149 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ตามลำดับ ส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลู พบว่าจังหวัดสุรินทร์มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 144 ลูกบาศก์เมตร/ตัน รองลงมาคือ ชัยภูมิ นครราชสีมา และบุรีรัมย์ เท่ากับ 133, 129 และ 107 ลูกบาศก์เมตร/ตัน และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูในภาพรวมทั้งจังหวัดพบว่า จังหวัดนครราชสีมามีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.94 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ ชัยภูมิ สุรินทร์ และบุรีรัมย์ เท่ากับ 0.63, 0.32 และ 0.17 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปลูกอ้อยในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างอาจต้องอาศัยน้ำจากระบบชลประทานในปริมาณที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดนครราชสีมาที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูที่ค่อนข้างสูง ซึ่งการ

ปลูกอ้อยอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำที่เก็บกักได้ของระบบชลประทานและอาจส่งผลให้เกิดการขาดแคลนน้ำใช้จากระบบชลประทานในภาคส่วนอื่นๆ ได้

3) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ ถือเป็นปริมาณน้ำเสมือนที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องใช้เพื่อทำการเจือจางมลสารในน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ได้กำหนดให้จังหวัดนครราชสีมาเป็นพื้นที่ตัวอย่างศึกษาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จากการปลูกอ้อยพบว่ามลสารส่วนใหญ่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมี โดยข้อมูลการใช้ปุ๋ยจากตารางที่ 8 พบว่าเกษตรกรในจังหวัดนครราชสีมามีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่สูงที่สุดเท่ากับ 1.9631 กิโลกรัม/ตัน รองลงมาคือปุ๋ยโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส ตามลำดับ ซึ่งการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงเลือกทำการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตเจนเพียงอย่างเดียว จากข้อมูลการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในการปลูกอ้อย (ตารางที่ 8) นำมาคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของการปลูกอ้อยในจังหวัดนครราชสีมาตามสมการที่ 14 พบว่ามีค่าเท่ากับ 39 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของการปลูกอ้อยในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง แสดงได้ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ปริมาณการใช้ปุ๋ย สัดส่วนการชะล้างและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของการปลูกอ้อย

จังหวัด	ผลผลิตอ้อย (ตัน/ปี)	การใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (ตัน/ปี)	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ (พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี)
นครราชสีมา	7,309,978	14,350	0.29
ชัยภูมิ	4,720,033	9,266	0.18
บุรีรัมย์	1,596,708	3,134	0.06
สุรินทร์	2,229,487	4,377	0.09

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 16 ผลการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของการปลูกอ้อย 1 ตัน ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง พบว่าจังหวัดนครราชสีมาใช้ปุ๋ยไนโตรเจนมากที่สุด 14,350 ตัน/ปี รองลงมาคือ ชัยภูมิ สุรินทร์ และบุรีรัมย์ ส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของการปลูกอ้อยในภาพรวมทั้งหวัดหวัด พบว่าจังหวัดนครราชสีมามีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.29 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี รองลงมาคือ ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ เท่ากับ 0.18, 0.09 และ 0.06 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี ตามลำดับ

4) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน บลู และเกรย์ของการปลูกอ้อย 1 ตัน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง แสดงได้ดังตารางที่ 17

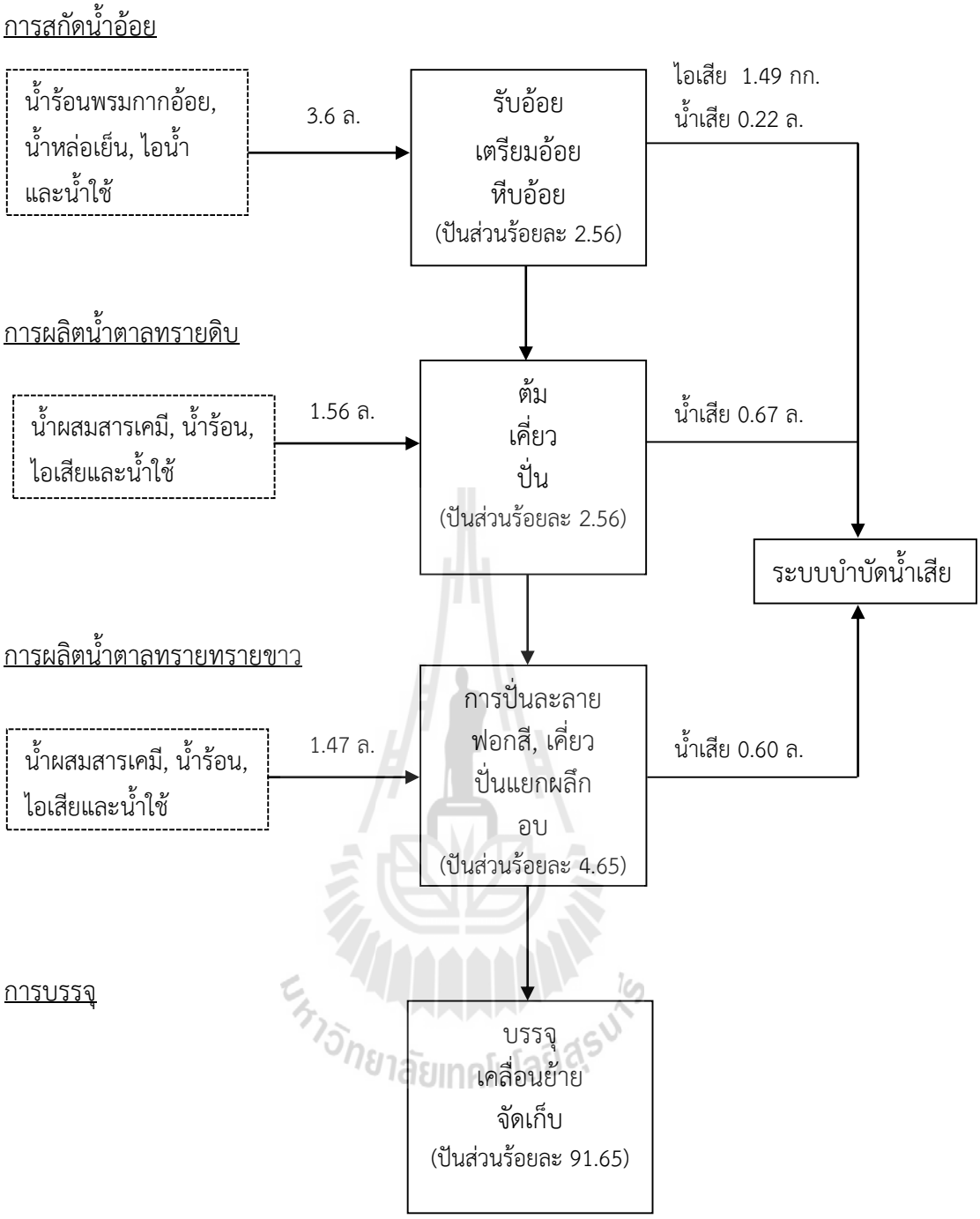
ตารางที่ 17 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

จังหวัด	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลูกบาศก์เมตร/ตัน)				วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี)			
	กรีน	บลู	เกรย์	รวม	กรีน	บลู	เกรย์	รวม
นครราชสีมา	170	129	39	338	1.24	0.94	0.29	2.47
ชัยภูมิ	149	133	39	321	0.70	0.63	0.18	1.52
บุรีรัมย์	155	107	39	301	0.25	0.17	0.06	0.48
สุรินทร์	156	144	39	339	0.35	0.32	0.09	0.76
รวม								**5.23**

ผลการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อย 1 ตัน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างพบว่า การปลูกอ้อยในจังหวัดสุรินทร์มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่อตันอ้อยมากที่สุด เท่ากับ 339 ลูกบาศก์เมตร/ตัน รองลงมาคือ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ และบุรีรัมย์ เท่ากับ 338, 321 และ 301 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ตามลำดับ ส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยทั้งจังหวัดพบว่า จังหวัดนครราชสีมามีค่ามากที่สุด เนื่องจากมีผลผลิตอ้อยมากที่สุด และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างพบว่ามีค่าเท่ากับ 5.23 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี โดยผลการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างในปี พ.ศ. 2555 ครั้งนี้ พบว่ามาค่ามากกว่าผลการศึกษาของ Kongboon and Sampattagul, (2012) ที่ศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยในเขตภาคเหนือเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2551-2553 มีค่าเท่ากับ 202 ลูกบาศก์เมตร/ตัน โดยที่ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนเท่ากับ 90 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ทั้งนี้อาจสืบเนื่องมาจากในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปีสูงกว่าค่าปกติประมาณร้อยละ 7 (กรมอุตอนิยมวิทยา, 2556) จึงอาจมีผลทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมของการปลูกอ้อยในปี พ.ศ. 2555 มีค่ามาก

4.4.2 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคอุตสาหกรรม

ข้อมูลการใช้น้ำของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ การใช้น้ำในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายขาว และในส่วนการล้างทำความสะอาดเครื่องจักร อุปกรณ์และน้ำล้างพื้น โดยบริษัทกรณีศึกษาได้ใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน ดังนั้นน้ำใช้และน้ำเสียในส่วนกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวจะประเมินอยู่ในรูปวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ การใช้น้ำในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว 1 กิโลกรัม แสดงได้ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การใช้น้ำในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลขาว 1 กิโลกรัม

ที่มา: บริษัทน้ำตาลครบรี จำกัด, 2555

1) การใช้น้ำในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

การใช้น้ำในแต่ละขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม มีรายละเอียดดังนี้

I. ขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อย มีการใช้น้ำเกิดขึ้น 140.50 ลิตร โดยได้ใช้น้ำสำหรับการพรมกากอ้อยมากที่สุด รองลงมาคือการใช้ไอน้ำและน้ำใช้ทั่วไป และมีน้ำเสียเกิดขึ้น 8.72 ลิตร ในขั้นตอนนี้มีการปั่นส่วนผลิตภัณฑ์ที่ร้อยละ 2.56 ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูมีค่าเท่ากับ 3.60 ลิตร/กิโลกรัม ส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์เท่ากับ 0.22 ลิตร/กิโลกรัม

II. ขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ มีการใช้น้ำ 101.79 ลิตร แต่ในส่วนของการใช้ไอน้ำนั้นได้มีการนำไอเสียจากขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อยมาใช้จำนวน 40.87 กิโลกรัม ดังนั้นในกระบวนการนี้ได้ใช้น้ำทั้งสิ้น 60.92 ลิตร และมีน้ำเสียเกิดขึ้นเท่ากับ 26.18 ลิตร ในขั้นตอนนี้มีการปั่นส่วนผลิตภัณฑ์ที่ร้อยละ 2.56 ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูมีค่าเท่ากับ 1.56 ลิตร/กิโลกรัม ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์เท่ากับ 0.67 ลิตร/กิโลกรัม

III. ขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายขาว มีการใช้น้ำ 48.85 ลิตร ในขั้นตอนนี้ได้มีการใช้ไอน้ำในรูปน้ำไอเสียจากขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อยจำนวน 17.23 ลิตร ดังนั้นในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ จึงมีการใช้น้ำทั้งสิ้น 31.62 ลิตร และมีน้ำเสียเกิดขึ้นเท่ากับ 12.76 ลิตร ในขั้นตอนนี้มีการปั่นส่วนผลิตภัณฑ์ที่ร้อยละ 4.65 ดังนั้นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูมีค่าเท่ากับ 1.47 ลิตร/กิโลกรัม ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์เท่ากับ 0.60 ลิตร/กิโลกรัม

IV. ขั้นตอนการบรรจุ พบว่าไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการนี้

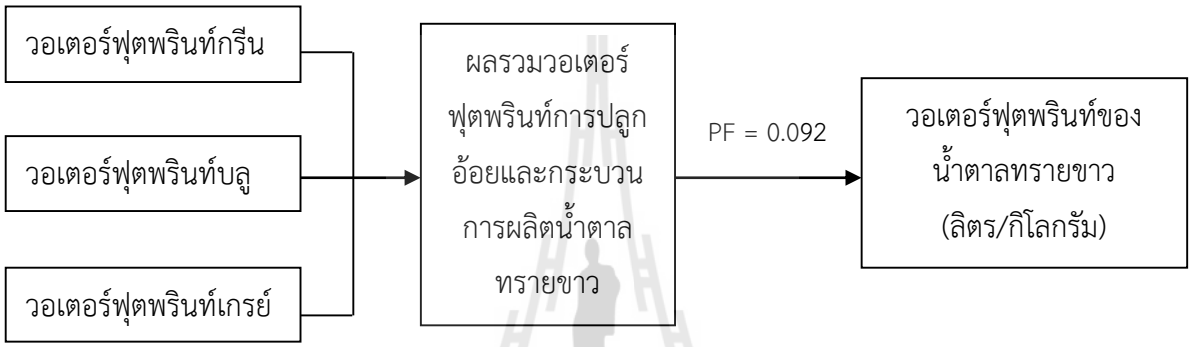
การผลิตน้ำตาลทรายขาว 1 กิโลกรัม พบว่า มีการใช้น้ำผิวดินเท่ากับ 6.63 ลิตร และมีน้ำเสียเกิดขึ้นเท่ากับ 1.49 ลิตร ส่วนไอเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการสกัดน้ำอ้อยจำนวน 58.10 กิโลกรัม ได้นำกลับมาใช้ในรูปของไอน้ำหรือที่เรียกว่าไอเสียในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลทรายขาว

2) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในกระบวนการน้ำตาลทรายขาว

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคภาคอุตสาหกรรม มี 2 ส่วนด้วยกันคือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ ส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนนั้นไม่มีการประเมินเนื่องจากไม่มีการใช้น้ำจากน้ำฝน ผลการประเมินพบว่า กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว มีค่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูเท่ากับ 6.63 ลิตร/กิโลกรัม และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์เท่ากับ 1.49 ลิตร/กิโลกรัม ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวมีค่ารวมเท่ากับ 8.12 ลิตร/กิโลกรัม

4.4.3 การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

จากข้อมูลการผลิตน้ำตาลทรายขาวของบริษัทน้ำตาลครบุรี จำกัด พบว่าอ้อย 1 กิโลกรัม สามารถผลิตน้ำตาลทรายขาวได้ 0.092 กิโลกรัม ดังนั้นค่า Product Fraction; PF มีค่าเท่ากับ 0.092 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จึงคำนวณได้จากผลรวมของค่าวอเอตร์ฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรรมแล้วหารด้วยค่า PF โดยแผนผังการคำนวณการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวแสดงได้ดังภาพที่ 17 และผลการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแสดงได้ดังตารางที่ 18



ภาพที่ 17 แผนผังการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว

ตางรางที่ 18 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

จังหวัด	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลิตร/กิโลกรัม)	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี)
นครราชสีมา	3,762	2.54
ชัยภูมิ	3,577	1.56
บุรีรัมย์	3,360	0.50
สุรินทร์	3,773	0.78
รวม	-	**5.38**

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว พบว่าจังหวัดสุรินทร์มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3,773 ลิตร/กิโลกรัม รองลงมาคือจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ และบุรีรัมย์ เท่ากับ 3,762 3,577 และ 3,360 ลิตร/กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาพรวมทั้งจังหวัดพบว่าจังหวัดนครราชสีมามีค่ามากที่สุด เท่ากับ 2.54 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี รองลงมาคือ ชัยภูมิ สุรินทร์ และ บุรีรัมย์ และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวมทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างพบว่ามีค่าเท่ากับ 5.38 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี

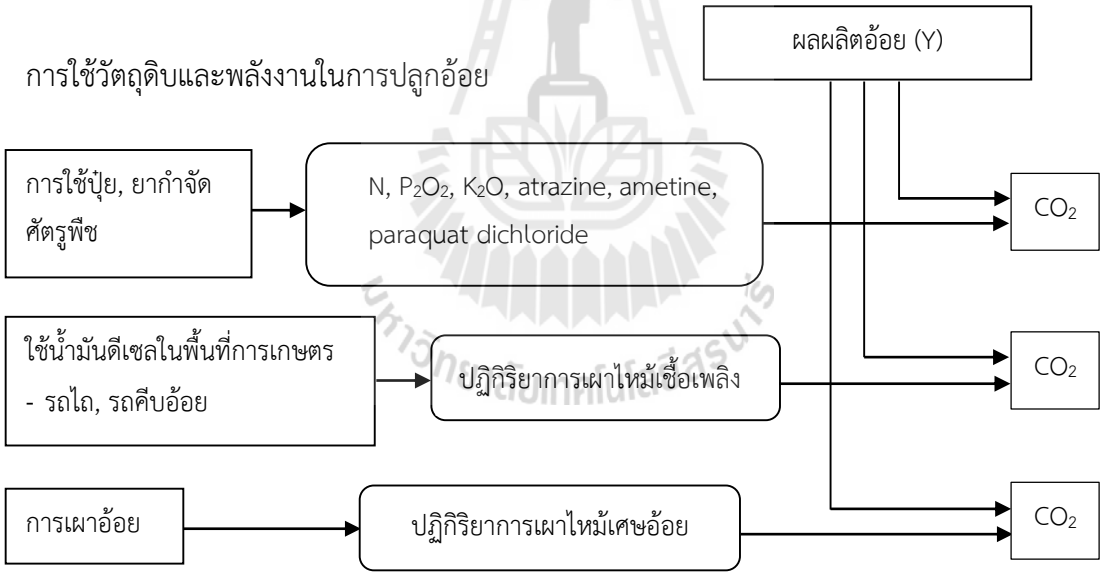
ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวทั้งในภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม พบว่าได้มีการใช้น้ำในการผลิตที่ค่อนข้างสูง ในส่วนของการปลูกอ้อยหากทำการปลูกในช่วงเดือนที่มีฝนตกในปริมาณมากก็จะส่งผลให้มีการใช้น้ำในส่วนการชลประทานลดลงซึ่งจะทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้น้ำชลประทานต่อการทำเกษตรกรรมชนิดอื่นๆ ส่วนภาคอุตสาหกรรมควรควบคุมปริมาณการใช้น้ำร้อนสำหรับพรมกากอ้อยและการน้ำใช้ทั่วไป ส่วนการใช้ไอเสียทดแทนการผลิตไอน้ำนั้นถือเป็นแนวทางการปฏิบัติที่ดี

4.5 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว

การเก็บข้อมูลเพื่อประเมินประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีขอบเขตที่เหมือนกับประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ผลการประเมินมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.5.1 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรม

การคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรมหรือการปลูกอ้อย ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ได้ทำการประเมินการปลูกอ้อยใน 2 ส่วนคือ อ้อยสดและอ้อยเผา การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมและการเก็บข้อมูลในภาคเกษตรกรรม มีแนวทางการดำเนินงานตามแผนผังดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แผนผังการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกอ้อย

1) ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการปลูกอ้อย

ข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการปลูกอ้อยจากตารางที่ 8 พบว่ารายการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ การใช้ปุ๋ย ยากำจัดศัตรูพืช และพลังงานเชื้อเพลิง โดยวัตถุดิบดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือค่า Emission Factor ตามภาคผนวก ข (ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือ Emission factor ของการปลูกอ้อย)

2) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรม

การคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรมโดยใช้พื้นที่จังหวัดนครราชสีมาเป็นพื้นที่กรณีศึกษา ได้ใช้ข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการปลูกอ้อยและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในการคำนวณ การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยได้แบ่งการประเมินออกเป็นอ้อยสดและอ้อยเผา โดยผลผลิตของอ้อยสดและอ้อยเผามีสัดส่วนอยู่ที่ร้อยละ 40 และ 60 ตามลำดับ ซึ่งการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอ้อยเผานั้นได้ใช้ค่าการปล่อยก๊าซจากการเผาอ้อยมาคำนวณ ส่วนอ้อยสดนั้นไม่ได้นำมาคิด ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อย 1 ตัน แสดงได้ดังตารางที่ 19 ส่วนค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง แสดงได้ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 19 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อย 1 ตัน

รายการ	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_2e$*/ตัน)	สัดส่วนอ้อยสด (ร้อยละ)	สัดส่วนอ้อยเผา (ร้อยละ)
ปุ๋ย			
- ไนโตรเจน	5.1041	36.72	21.53
- ฟอสฟอรัส	0.2055	1.48	0.87
- โพแทสเซียม	0.1785	1.28	0.75
- อินทรีย์	0.0013	0.01	0.01
- อาหารเสริม NYD	0.2975	2.14	1.26
ยากำจัดศัตรูพืช			
- บีเคแม็กซ์-พรี (อาทราซีน)	0.0136	0.10	0.06
- บีเคแม็กซ์-โพส (อามีทรีน)	0.0652	0.47	0.28
- บาก้าโซน (พาราควอต)	0.0141	0.10	0.06
- ดรากอนโซน	0.0575	0.41	0.24
เชื้อเพลิง			
- น้ำมันดีเซล (น้ำมันโซล่าร์)	0.4325	3.11	1.82
- ดีเซล-เผาไหม้	4.3785	31.50	18.47
การปล่อยก๊าซจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน	3.1515	22.67	13.29
การปล่อยก๊าซจากการเผาอ้อย	9.8080	-	41.37
รวม			
อ้อยสด	**13.8998**	**100.00**	
อ้อยเผา	**23.7078**		**100.00**

* กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 20 ผลผลิตอ้อยและค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

จังหวัด	ผลผลิต (ตัน/ปี)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_2e$/ปี)
นครราชสีมา	7,309,978	144,624,923
ชัยภูมิ	4,720,033	93,383,921
บุรีรัมย์	1,596,708	31,590,214
สุรินทร์	2,229,487	44,109,488
รวม	-	313,708,547

การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรมหรือการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ผลการศึกษาพบว่าอ้อยสดมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 13.90 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตัน ส่วนอ้อยเผาพบว่ามีค่าเท่ากับ 23.71 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตัน ส่วนการประเมินในภาพรวมทั้งจังหวัด พบว่าจังหวัดนครราชสีมามีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดชัยภูมิ สุรินทร์ และบุรีรัมย์ ตามลำดับ และผลรวมค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างมีค่าประมาณ 314 ล้าน กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี นอกจากนี้ยังพบว่าการเผาอ้อยเป็นส่วนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด รองลงมาคือการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และการใช้น้ำมันดีเซล-เผาไหม้สำหรับเคลื่อนที่ ส่วนการใช้ยากำจัดศัตรูพืชพบว่ามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มากนัก

4.5.2 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคอุตสาหกรรม

การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคอุตสาหกรรม เป็นการประเมินตลอดห่วงโซ่การผลิตน้ำตาลทรายขาว ตั้งแต่ขั้นตอนการปลูกอ้อย (ใช้ข้อมูลผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากภาคเกษตรกรรมมาเป็นข้อมูลสารขาเข้า) การขนส่งอ้อย และกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว ผลการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว 1 กิโลกรัม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวและการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน

จากบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว ตามตารางที่ 9-12 ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลสารขาเข้าและออกตลอดห่วงโซ่การผลิตทั้ง 4 ขั้นตอน รวมทั้งข้อมูลด้านการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาวตามตารางที่ 13 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือค่า Emission factor แสดงได้ในภาคผนวก ข

2) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาว

การขนส่งอ้อยจากไร่เข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาวในเขตจังหวัดนครราชสีมาพบว่ามีการใช้ประเภทของพาหนะสำหรับขนส่งอ้อยทั้งสิ้น 6 ประเภท การคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการขนส่งอ้อยเพื่อผลิตน้ำตาลทรายขาว 1 กิโลกรัม ได้ใช้ข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตามตารางที่ 13 และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งอ้อยในภาคผนวก ข (ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือ Emission factor ของการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาว) ในขั้นตอนนี้มีการปันส่วนร้อยละ 2.56 ผลการประเมินแสดงได้ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาล ทรายขาว

รายการ	พาหนะ	ภาระการขนส่ง (ตัน กิโลเมตร)	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($KgCO_2e$/กิโลกรัม)
อ้อยสด	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ 7 ตัน	0.2263	0.0011
	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 8.5 ตัน	1.1953	0.0036
	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0251	0.0001
	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	1.3895	0.0032
	รถกระบะบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ 32 ตัน	3.1243	0.0057
	รถตู้บรรทุกเปิด 10 ล้อ 16 ตัน	0.0392	0.0001
อ้อยเผา	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ 7 ตัน	0.5941	0.0028
	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 8.5 ตัน	3.1378	0.0094
	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	3.1378	0.0085
	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	3.6476	0.0084
	รถกระบะบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ 32 ตัน	8.2015	0.0149
	รถตู้บรรทุกเปิด 10 ล้อ 16 ตัน	0.1030	0.0002
รวม			**0.0578**

การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการขนส่งอ้อยทั้งอ้อยสดและอ้อยเผาเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาวพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.0578 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลกรัม

3) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

การคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตามสมการที่ 15 ได้ใช้ข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว ตามภาคผนวก ข (ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือ Emission factor ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว) ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว 1 กิโลกรัม แสดงได้ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

รายการ	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_2e$/กิโลกรัม)	สัดส่วน (ร้อยละ)
การสกัดน้ำอ้อย		
- อ้อยสด	0.0229	8.02
- อ้อยเผา	0.1024	35.92
- น้ำหล่อเย็น-น้ำใช้	0.0000	0.00
- Disodiumthio carbamade	0.0001	0.02
- Quaternary ammonium cpd.	0.0000	0.00
- ไอน้ำ	0.0638	22.37
- ไฟฟ้า	0.0013	0.46
การผลิตน้ำตาลทรายดิบ		
- ปูนขาว	0.0055	1.94
- Di-glyceride	0.0000	0.00
- Polyacrylic acid	0.0000	0.00
- เอนไซม์ amylase	0.0000	0.01
- โซดาไฟน้ำเข้มข้นร้อยละ 50	0.0011	0.39
- โซดาไฟเกล็ด	0.0002	0.07
- กรดเกลือ	0.0000	0.00
- Succiinic acid diester	0.0000	0.00
- น้ำใช้	0.0001	0.02
- ไอเสีย	0.0222	7.78
- ไฟฟ้า	0.0031	1.07
การผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์		
- ปูนขาว	0.0115	4.04
- Cellulose fiber	0.0001	0.04
- น้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 24	0.0019	0.68
- แอลกอฮอล์	0.0000	0.00
- น้ำใช้	0.0001	0.02
- ไอเสีย	0.0191	6.69
- ไฟฟ้า	0.0026	0.92
การบรรจุ		
- ถุงพลาสติก PE	0.0150	5.26
- กระสอบ PP	0.0062	2.16
- ด้ายเย็บกระสอบ	0.0019	0.66
- LPG	0.0010	0.34
- ไฟฟ้า	0.0031	1.08
รวม	**0.2851**	**100.00**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.2851 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลกรัม โดยที่อ้อยเผาซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลทรายขาวได้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดในสัดส่วนร้อยละ 35.92 ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าการใช้อ้อยสดถึง 4.5 เท่า นอกจากนี้กระบวนการผลิตไอน้ำจากกระบวนการสกัดน้ำอ้อย ยังพบว่ามีสัดส่วนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอันดับสองคือร้อยละ 22.37 ดังนั้นจึงได้มีการนำไอเสียที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำอ้อยหมุนเวียนกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลทรายขาวแทนการใช้ไอน้ำ ส่วนการใช้ไฟฟ้าพบว่ามีสัดส่วนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มากนัก เนื่องจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาวได้ดำเนินการผลิตกระแสไฟฟ้าใช้เองซึ่งทำให้ค่า EF มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่า EF ของคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

4.5.3 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว

การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตน้ำตาลทรายขาวแบบ B2B ซึ่งเป็นการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตลอดห่วงโซ่ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว ตั้งแต่ขั้นตอนของปลูกอ้อย การขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน รวมไปถึงขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายขาว ดังนั้นค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จึงมีค่าเท่ากับค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวรวมกับค่าการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน ผลรวมจึงมีค่าเท่ากับ 0.3429 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลกรัม

4.5.4 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างแสดงได้ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

จังหวัด	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_2e$/ปี)
นครราชสีมา	231,460,789
ชัยภูมิ	149,450,533
บุรีรัมย์	50,556,609
สุรินทร์	70,592,307
รวม	**502,060,238**

การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าเท่ากับ 502 ล้าน กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี และจังหวัดนครราชสีมามีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุดเท่ากับ 231 ล้าน กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี เนื่องจากมีปริมาณการผลิตน้ำตาลทรายขาว

สูงที่สุด รองลงมาคือ จังหวัดชัยภูมิ สุรินทร์ และบุรีรัมย์ มีค่าเท่ากับ 149, 71 และ 51 ล้าน กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี ตามลำดับ

จากผลการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างเท่ากับ 0.3429 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลกรัม ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Yuttitham และคณะ (2011) ที่พบว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลจากอ้อยในภาคตะวันออกของประเทศไทยเท่ากับ 0.55 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลกรัม และจากตารางที่ 22 พบว่าในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบที่เป็นอ้อยสดและอ้อยเผา (จากภาคเกษตรกรรม) ได้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมกันคิดเป็นร้อยละ 43.94 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าผลรวมของวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 56.06 ผลการศึกษาในส่วนนี้ชี้ให้เห็นว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรกรรมมีค่าน้อยกว่าภาคอุตสาหกรรม ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Yuttitham และคณะ (2011) ที่พบว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เกิดจากการเพราะปลูกอ้อยมากที่สุดเท่ากับ 0.49 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลกรัม และเกิดในส่วนกระบวนการผลิตน้ำตาลเพียง 0.06 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลกรัม และสุดท้ายคือในส่วนของการขนส่ง พบว่าการใช้รถกระบะบรรทุกขนาดใหญ่ประเภทรถกระบะบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ 32 ตัน ที่มีค่าภาระการบรรทุกที่สูงที่สุด แต่พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่ารถประเภทอื่นไม่มากนัก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย กรณีศึกษา จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสรินทร์ สามารถสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลงานวิจัย

5.1.1 การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

1) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรม

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรมหรือการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างพบว่า จังหวัดสุรินทร์มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่อตันอ้อยมากที่สุดเท่ากับ 339 ลูกบาศก์เมตร/ตัน รองลงมาคือ จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ และบุรีรัมย์ เท่ากับ 338, 321 และ 301 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ภาพรวมทั้งจังหวัดพบว่า จังหวัดนครราชสีมามีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุด เนื่องจากมีผลผลิตอ้อยสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.43 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร/ปี ส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาพรวมทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างพบว่ามีค่าเท่ากับ 5.23 พันล้านลูกบาศก์เมตร/ปี และเมื่อจำแนกตามประเภทของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนมีค่ามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 48.8 รองลงมาคือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูและเกรย์ เท่ากับร้อยละ 39.5 และ 11.7 ตามลำดับ

2) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคอุตสาหกรรม

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคอุตสาหกรรมหรือกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว พบว่ามีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน และมีน้ำเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว ดังนั้นจึงมีการประเมินเฉพาะวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ ส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนนั้นไม่มีการประเมินเนื่องจากไม่มีการใช้น้ำจากน้ำฝน ผลการประเมินพบว่า กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว 1 กิโลกรัม มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูเท่ากับ 6.63 ลิตร/กิโลกรัม และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์เท่ากับ 1.49 ลิตร/กิโลกรัม ดังนั้นรวมค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวมีค่าเท่ากับ 8.12 ลิตร/กิโลกรัม

3) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวแบบ B2B พบว่าจังหวัดสุรินทร์มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3,773 ลิตร/กิโลกรัม รองลงมาคือจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ และบุรีรัมย์ เท่ากับ 3,762, 3,577 และ 3,360 ลิตร/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาพรวมทั้งจังหวัดพบว่าจังหวัด

นครราชสีมามีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 2.54 พันล้านลูกบาศก์เมตร/ปี รองลงมาคือ ชัยภูมิ สุรินทร์ และบุรีรัมย์ และค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างมีค่าเท่ากับ 5.38 พันล้านลูกบาศก์เมตร/ปี

5.1.2 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

1) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรม

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ได้ใช้พื้นที่จังหวัดนครราชสีมาเป็นพื้นที่กรณีศึกษา ผลการศึกษาพบว่าอ้อยสดมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 13.90 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตัน ส่วนอ้อยเผาพบว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 23.71 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตัน ผลรวมค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นจากการปลูกอ้อยทั้ง 4 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างมีค่าเท่ากับ 314 ล้าน กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี นอกจากนี้ยังพบว่าการเผาอ้อยเป็นส่วนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดคือร้อยละ 41.37 รองลงมาคือ การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร้อยละ 21.53

2) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคอุตสาหกรรม

การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.2851 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลกรัม และจากการวิเคราะห์ตามบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมพบว่า การใช้อ้อยเผาเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลทรายขาวได้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดในสัดส่วนร้อยละ 35.92 ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าการใช้อ้อยสดถึง 4.5 เท่า นอกจากนี้กระบวนการผลิตไอน้ำยังพบว่ามีสัดส่วนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอันดับสอง คือร้อยละ 22.37 ส่วนการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาวพบว่ามีคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 0.0578 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/กิโลกรัม

3) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวแบบ B2B ซึ่งเป็นการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตลอดห่วงโซ่ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว พบว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาว 1 กิโลกรัมมีค่าเท่ากับ 0.3429 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อประเมินในภาพรวมทั้งจังหวัดพบว่าจังหวัดนครราชสีมามีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุดเท่ากับ 231 ล้าน กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี รองลงมาคือ ชัยภูมิ สุรินทร์และบุรีรัมย์ 149, 71 และ 51 ล้านกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี ตามลำดับ และค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างมีค่าเท่ากับ 502 ล้าน กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ภาคเกษตรกรรม ควรทำการปลูกในช่วงเดือนที่มีฝนตกในปริมาณมากจะส่งผลให้มีการใช้น้ำในส่วนการชลประทานลดลง ซึ่งจะทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้น้ำชลประทานต่อการทำเกษตรกรรมชนิดอื่นๆ ควรรณรงค์ให้มีการลดการเผาอ้อย เนื่องจากได้ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์มาก นอกจากนี้ควรส่งเสริมให้เกษตรกรลดการใช้ปุ๋ยเคมี โดยหันมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอกแทน ซึ่งจะส่งผลให้ทั้งค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลลดลงได้

5.2.2 ภาคอุตสาหกรรม ควรควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการพรมกากอ้อย และควรนำน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตที่มีค่าความสกปรกน้อยและผ่านการบำบัดแล้วหมุนเวียนมาใช้ในการล้างทำความสะอาดพื้นโรงงาน นอกจากนี้ควรการนำไอเสียที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำอ้อยหมุนเวียนมาใช้อย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้ทั้งค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวลดลงได้

5.2.3 บริษัทผลิตน้ำตาลควรมีการประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างสม่ำเสมอ เพื่อเป็นการควบคุมกระบวนการผลิตที่เน้นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับบริษัท

5.2.4 รัฐบาลควรส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการประเมินประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างมาตรฐานของผลิตภัณฑ์และเพื่อเพิ่มขีดความสามารถของการแข่งขันในตลาดโลกได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

กริยาพร เทพรัตน์. 2548. **ต้นทุนและผลตอบแทนในการปลูกอ้อยเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดอุดรธานี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัญชีมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กรมควบคุมมลพิษ. 2555. **มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน.** [ออนไลน์] สืบค้นจาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water05.html อ้างอิงเมื่อวันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2555.

กรมวิชาการเกษตร. 2547. **อ้อย:** เอกสารวิชาการ ลำดับที่ 9/2547**.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2556. **สรุปลักษณะอากาศรายปี.** [ออนไลน์] สืบค้นจาก http://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=5. อ้างอิงเมื่อวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2557.

กรรณิการ์ หอมยามเย็น. 2549. **การกำหนดปริมาณและรอบการให้น้ำชลประทานสำหรับปลูกหน่อไม้ฝรั่งโดยใช้ โปรแกรม CROPWAT ในเขตพัฒนาที่ดิน ตำบลหนองงูเหลือม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม.** โครงการวิจัย, ส่วนวิจัยและวินิจฉัยคุณภาพดิน, กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ขนิษฐ์ รัตนรังสิมา. 2555. สถานการณ์การบริโภคน้ำตาลของประชากรไทย ปี 2540-2553**. วิทยาสาร ทันตสาธารณสุข** 17 (2): 23-30.

ชาครีย์ รถา. 2554. **การจัดทำข้อกาหนดเฉพาะในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลัง**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ และ ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. 2554. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย**. วิศวกรรมสาร มก.** 75 (24): 41-52.

ทิพย์ปภา สุขุมาลชาติ อดิชัย พรพรมหมินทร์ และสุรชัย ลิปิวัฒนาการ. 2556. วอเตอร์ฟุตปริ้นของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย. **วิศวกรรมสาร มข.** 40(1): 67-78.

ธีระพล ตั๊งสมบุญ. 2549**. การใช้น้ำของพืช.** เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรการปรับปรุงระบบการจัดการน้ำด้านเกษตรชลประทาน. สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ.

พรพันธุ์ บุณยรัตพันธุ์. 2553. **การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย.** [ออนไลน์] สืบค้นจาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water05.html อ้างอิงเมื่อวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2554.

รมณี วังเมือง. 2555. **การศึกษาปริมาณการใช้น้ำโดยวิธีร่องรอยการใช้น้ำและประเมินวัฏจักรชีวิต กรณีศึกษาแป้งข้าว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลักขณา เจริญสุข รัตชยุดา กองบุญ และ เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. 2555. **การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย.** การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1 ประจำปี 2555. หน้า 1-11.

วิทยา กันยา. 2551. **การประเมินวัฏจักรชีวิตน้ำตาลทรายแดง.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2546. **คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์**. กรุงเทพฯ: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.

สัญชัย หุ่นดี. 2548. **การกำหนดปริมาณและรอบการให้น้ำชลประทานในการปลูกอ้อย โดยใช้โปรแกรม CROPWAT ในจังหวัดชลบุรี.** เอกสารวิชาการ. ส่วนวิจัยและวินิจฉัยคุณภาพดิน. กรมพัฒนาที่ดิน.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2552. **สัดส่วนอ้อยสดและอ้อยเผาปี พ.ศ. 2552.** [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://oldweb.ocsb.go.th/webboard.asp?where=answer&id=1009&VIEW=716. สืบค้นวันที่ 18 ตุลาคม 2555.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2554. **รายงานประกอบการประชุมการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศในปี 2553.**

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2555. **กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย**. [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.cms2green.com/lowsugar/Manufacture.php. สืบค้นวันที่ 13 ตุลาคม 2555.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรแห่งชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. **การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ. 143 หน้า

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555a. **สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2555**. [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.oae.go.th/download/journal/trends2555.pdf. สืบค้นวันที่ 13 ตุลาคม 2555.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555b. **สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2555**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพ.

สำราญ แสนสุโพธิ. 2553. **ระบบช่วยตัดสินใจสำหรับการจัดการด้านชลประทานของการปลูกอ้อยในประเทศไทย**.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. 2554. **การส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.** [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.tgo.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=118&Itemid=2. สืบค้นวันที่ 18 ตุลาคม 2555.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. 2556. **ปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก.** [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.tgo.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=4 6 : what-is-ghg&catid=35:greenhouse-effect&Itemid=55. สืบค้นวันที่ 18 ตุลาคม 2555.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. 2004. **Water footprints of nations.** Volume 1: Main Report. Value of Research Report Series No. 16. UNESCO-IHE: Delft, Netherlands.

Chapagain, A.K., Hoekstra, 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 products on the water resources in the cotton producing countries. **Ecological Economics** 60, 186-203.

Coca-Cola of Great Britain. 2012. **What's carbon footprint of a Coca-Cola?** [Online] Available: http://www.coca-cola.co.uk/environment/what-s-the-carbon-footprint-of-a-coca-cola.html. Accessed 20 October, 2012.

FAO; Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1984. **Crop water requirement - Guideline for predicting crop water requirement.** FAO irrigation and drainage paper 24**.** Rome. 144 p.

FAO. 1992. **Chapter 2 - FAO Penman-Monteith equation**. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. 2011. **The water footprint assessment manual: Setting the global standard**. Earthscan: London, UK.

Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC 2007. **Climate change 2007: Direct global warming potentials.** [Online] Available: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html. Accessed 22 October, 2012.

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 Hoekstra, A.Y. 2010. **The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products**. Volume 1: Main Report. UNESCO-IHE: Delft, Netherlands.

Mekonnen, M. M. and Hoektra, A. Y. 2011. The green, blue and grey water footprint of crop and derived crop products. **Hydrology and Earth system Sciences** 15: 1577-1600.

Yuttitham, M., Gheewala, S.H. and Chidthaisong, A. 2011. Carbon footprint of sugar produced from sugarcane in eastern Thailand. **Journal of Cleaner Production** 19: 2119-2127.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ข้อมูลนำเข้าโปรแกรม CROPWAT 8.0

สภาพภูมิประเทศของแต่ละจังหวัด

จังหวัด	จุดพิกัดเส้นรุ้ง (องศาเหนือ)	จุดพิกัดเส้นแวง (องศาตะวันออก)	ความสูงจากระดับน้ำทะเล (เมตร)
นครราชสีมา	14.57.46	102.4.36	180
ชัยภูมิ	15.48.0	102.2.0	192
บุรีรัมย์	15.13.0	103.14.0	150
สุรินทร์	14.53.0	103.30.0	100

สภาพภูมิอากาศของแต่ละจังหวัด

สภาพภูมิอากาศเฉลี่ยของจังหวัดนครราชสีมา ปี 2555

เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (ก.ม./วัน)	แสงแดด (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำฝน (มม.)
มกราคม	30.6	21.5	71	107	4.8	49.8
กุมภาพันธ์	33.8	22.2	63	89	7.7	0.0
มีนาคม	34.6	24.2	66	102	6.5	81.2
เมษายน	35.6	25.0	70	111	7.1	131.5
พฤษภาคม	34.9	25.6	75	116	6.3	124.6
มิถุนายน	34.0	25.6	74	165	4.1	97.2
กรกฎาคม	34.1	25.3	75	173	4.0	67.3
สิงหาคม	33.7	25.1	77	165	3.7	142.6
กันยายน	31.8	24.4	81	107	3.7	149.0
ตุลาคม	32.4	24.0	76	111	6.7	149.2
พฤศจิกายน	32.7	23.8	73	93	5.3	61.6
ธันวาคม	32.1	21.8	68	89	7.3	0.0

สภาพภูมิอากาศเฉลี่ยของจังหวัดชัยภูมิ ปี 2555

เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (ก.ม./วัน)	แสงแดด* (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำฝน (มม.)
มกราคม	31.2	21.4	67	115	4.8	11.7
กุมภาพันธ์	34.4	21.8	57	94	7.7	0.0
มีนาคม	35.1	24.2	59	110	6.5	29.2
เมษายน	36.2	25.2	65	94	7.1	49.4
พฤษภาคม	34.4	25.1	74	98	6.3	225.1
มิถุนายน	32.6	24.7	75	142	4.1	182.0
กรกฎาคม	32.2	24.0	77	134	4.0	61.1
สิงหาคม	31.9	23.6	79	125	3.7	146.5
กันยายน	31.5	23.7	82	89	3.7	290.8
ตุลาคม	32.3	23.1	71	94	6.7	66.0
พฤศจิกายน	32.9	23.2	70	72	5.3	20.9
ธันวาคม	32.3	21.1	63	89	7.3	4.5

*ใช้ข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอ ปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

สภาพภูมิอากาศเฉลี่ยของจังหวัดบุรีรัมย์ ปี 2555

เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (ก.ม./วัน)	แสงแดด* (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำฝน (มม.)
มกราคม	30.5	18.6	75	62	5.8	34.9
กุมภาพันธ์	33.9	20.1	67	62	7.7	0.0
มีนาคม	35.3	23.0	66	79	6.8	32.5
เมษายน	35.6	24.2	72	77	6.5	126.5
พฤษภาคม	34.4	24.7	78	67	6.9	161.1
มิถุนายน	33.4	24.7	77	98	4.8	87.8
กรกฎาคม	33.6	24.2	77	98	5.8	133.8
สิงหาคม	32.9	23.9	80	98	2.5	311.1
กันยายน	31.7	23.4	85	46	5.0	168.9
ตุลาคม	32.6	22.2	80	46	7.2	65.7
พฤศจิกายน	32.9	21.9	79	31	6.0	71.6
ธันวาคม	32.7	19.6	72	48	6.8	0.0

*ใช้ข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยาการเกษตร จังหวัดสุรินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สภาพภูมิอากาศเฉลี่ยของจังหวัดสุรินทร์ ปี 2555

เดือน	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (ก.ม./วัน)	แสงแดด (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำฝน (มม.)
มกราคม	30.8	20.4	69	146	5.8	16.6
กุมภาพันธ์	34.1	21.5	63	110	7.7	3.9
มีนาคม	35.1	23.6	63	142	6.8	3.4
เมษายน	35.7	24.9	67	142	6.5	91.2
พฤษภาคม	34.6	25.3	75	120	6.9	138.8
มิถุนายน	32.9	25.2	76	134	4.8	177.8
กรกฎาคม	33.1	24.8	75	103	5.8	110.2
สิงหาคม	32.8	24.4	77	103	2.5	218.2
กันยายน	32	24.3	82	67	5.0	169.5
ตุลาคม	32.6	23.7	75	77	7.2	23.7
พฤศจิกายน	33.2	23.2	75	46	6.0	55.8
ธันวาคม	32.6	21.2	67	67	6.8	0.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือ Emission factor ของการปลูกอ้อย

วัตถุดิบและพลังงาน	หน่วย	Emission factor ($kgCO_2e$/หน่วย)	แหล่งที่มาของค่า Emission factor
ปุ๋ย			
- ไนโตรเจน	กิโลกรัม	2.6000	Japan CF
- ฟอสฟอรัส	กิโลกรัม	0.2520	Japan CF
- โพแทสเซียม	กิโลกรัม	0.1600	Japan CF
- อินทรีย์	กิโลกรัม	0.1097	Ecoinvent 2.0
- อาหารเสริม NYD	กิโลกรัม	2.6000	Fertilizer N, Japan CF
ยากำจัดสรัตรูพืช			
- บีเคแม็กซ์-พรี (อาทราซีน)	กิโลกรัม	5.0100	Ecoinvent 2.0
- บีเคแม็กซ์-โพส (อามีทรีน)	กิโลกรัม	8.5100	Ecoinvent 2.0
- บาก้าโซน (พาราควอต)	กิโลกรัม	3.2300	Ecoinvent 2.0
- ดรากอนโซน	กิโลกรัม	16.0000	Ecoinvent 2.0
พลังงานเชื้อเพลิง			
- น้ำมันดีเซล (น้ำมันโซล่าร์)	กิโลกรัม	0.3215	Thai LCI data
- น้ำมันดีเซล (เผาไหม้เคลื่อนที่)	ลิตร	2.7080	IPCC 2007 GWP 100a
การปลดปล่อยก๊าซจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน	กิโลกรัม	4.6829	IPCC 2007 GWP 100a
การปลดปล่อยก๊าซจากการเผาอ้อย	กิโลกรัม	0.0884	Yuttitham *et al*., 2011

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือ Emission factor ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

วัตถุดิบและพลังงาน	หน่วย	Emission factor ($kgCO_2e$/หน่วย)	แหล่งที่มาของค่า Emission factor
วัตถุดิบ			
- อ้อยสด	กิโลกรัม	0.0139	จากการคำนวณในภาคเกษตรกรรม
- อ้อยเผา	กิโลกรัม	0.0237	จากการคำนวณในภาคเกษตรกรรม
- Disodiumthio Carbamade	กิโลกรัม	1.9493	Ecoinvent 2.2, IPC 2007 GWP 100a
- Quaternary Ammonium cpd.	กิโลกรัม	1.9493	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
- ปูนขาว	กิโลกรัม	1.0761	JEMAI
- Di-Glyceride	กิโลกรัม	1.9493	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
- Polyacrylic acid	กิโลกรัม	1.3325	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
- เอนไซม์ amylase	กิโลกรัม	1.1500	Per H. Nielsen, *et al*., 2006
- โซดาไฟน้ำ50%	กิโลกรัม	1.1148	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
- โซดาไฟเกล็ด	กิโลกรัม	2.2296	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
- กรดเกลือ	กิโลกรัม	1.3325	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
- Succiinic acid diester	กิโลกรัม	1.9493	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
- Cellulose fiber	กิโลกรัม	1.9493	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a
- น้ำเกลือ 24%	กิโลกรัม	0.0465	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
- แอลกอฮอล์	กิโลกรัม	1.2600	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
- กระสอบPP	กิโลกรัม	2.3990	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
- ถุงพลาสติก PE	กิโลกรัม	2.3008	Ecoinvent 2.2, IPCC GWP 100a
- ด้ายเย็บกระสอบ	กิโลกรัม	4.1300	โครงการพัฒนาข้อกำหนดรายผลิตภัณฑ์ฯ: ประเภทผลิตภัณฑ์สิ่งทอ, 2554
- น้ำหล่อเย็น, น้ำใช้ทั่วไป	ลิตร	0.0001	การผลิตน้ำประปาบริษัทน้ำตาลครบุรี จังหวัดนครราชสีมา
พลังงาน			
- ไอน้ำ	กิโลกรัม	0.0414	การผลิตไอน้ำ บริษัทน้ำตาลครบุรี จังหวัดนครราชสีมา
- ไอเสีย	กิโลกรัม	0.0212	กระบวนการสกัดน้ำอ้อย บริษัทน้ำตาลครบุรี จังหวัดนครราชสีมา
- ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	0.0481	กระบวนการผลิตไฟฟ้า บริษัทน้ำตาลครบุรี จังหวัดนครราชสีมา

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือ Emission factor ของการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาว

พาหนะการขนส่ง	Emission factor วิ่งปกติ แบบ 100% Loading ($kgCO_2$ eq. /ตัน กิโลเมตร)	Emission factor วิ่งปกติ แบบ 0% Loading (kgCO2 eq. /กิโลเมตร)
รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ 7 ตัน	0.1399	0.315
รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 8.5 ตัน	0.0672	0.4238
รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ 11 ตัน	0.0609	0.4882
รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	0.0529	0.5851
รถกระบะบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ 32 ตัน	0.0441	0.8612
รถตู้บรรทุกเปิด 10 ล้อ 16 ตัน	0.0451	0.5700

ที่มา : คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

แบบสัมภาษณ์ การเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสียจากการปลูกอ้อย

ชื่อเจ้าของไร่.....
ที่ตั้ง.....
.....

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับไร่อ้อย

A1. พื้นที่ในการเพาะปลูก .....พันธุ์.....
A2. เดือนที่ลงกล้า .....เดือนที่เก็บเกี่ยว.....
A3. จำนวนบุคลากร/ลูกจ้างทั้งหมด .....
A4. ปริมาณการผลิต/ปี .....
A5. ประเภทผลิตภัณฑ์แปรรูป (ถ้ามี) .....
.....
A6. สถานที่ส่งไปจำหน่าย .....
.....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้า (Input inventory)

B1. การใช้วัตถุดิบ

1) การใช้น้ำ ❍ น้ำฝน ❍ บ่อขุด ❍ น้ำชลประทาน

1.1) ช่วงเดือนที่ใช้น้ำ .....
1.2) ปริมาณการใช้น้ำ .....

หมายเหตุ .....
.....
.....

2) การใช้ปุ๋ย ❍ ไม่ใช้ ❍ ใช้

2.1) สูตรปุ๋ยที่ใช้.....
2.2) ปริมาณปุ๋ยที่ใช้.....

หมายเหตุ .....
.....
.....

B2. การใช้พลังงาน

1) การใช้น้ำมัน ❍ ไม่ใช้ ❍ ดีเซล ❍ เบนซิน ❍ อื่นๆ ระบุ .....

1.1) ปริมาณการใช้ในไร่.....
.....
.....
.....
.....

1.2) ปริมาณการใช้ในการขนส่ง.....
.....
.....
.....
.....

2) การใช้ไฟฟ้า ❍ ไม่ใช้ ❍ ใช้

2.1) ปริมาณการใช้.....
.....
.....
.....
.....

B3. การขนส่ง

ชนิดของยานพาหนะ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	น้ำหนัก/หน่วย	หมายเหตุ

ประวัตินักวิจัย

<u>หัวหน้าโครงการวิจัย</u>

1.ชื่อ นายพงศ์เทพ สุวรรณวารี

Mr. Pongthep Suwanwaree

2. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงาน

สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 044-224633, โทรสาร 044-224633

E-mail: pongthep@sut.ac.th, ptsuwan@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

2546 Ph.D. (Crop and Soil Science) Michigan State University, U.S.A.

2537 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2534 วิทยาศาสตรบัณฑิต (พฤกษศาสตร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ผลงานวิชาการ

Suwanrat, S., D. Ngoprasert, C. Sutherland, **P. Suwanwaree** and T. Savini. 2015. Estimating density of secretive terrestrial birds (Siamese Fireback) in pristine and degraded forest using camera traps and distance sampling. **Global Ecology and Conservation**. 3: 596-606.

Pongpetch, N., **P. Suwanwaree**, C. Yossapol, S. Dasananda and T. Kongjun. 2015. Using SWAT to assess the critical areas and best management practices of nonpoint source pollution in Lam Takong River Basin, Thailand. **EnvironmentAsia**. 8(1): 41-52.

Strine, C.T., I. Silva, M. Crane, B. Nadolski, T. Artchawakom, M. Goode and **P. Suwanwaree**. 2014. Mortality of a wild king cobra, *Ophiophagus hannah* Cantor, 1836 (Serpentes: Elapidae) from Northeast Thailand after ingesting a plastic bag. **Asian Herpetological Research**. 5(4): 284-286.

Phayungwiwatthanakoon, C., **P. Suwanwaree** and S. Dasananda. 2014. Application of new MODIS-based aerosol index for air pollution severity assessment and mapping in Upper Northern Thailand. **EnvironmentAsia**. 7(2): 133-141.

Suwanrat, J., D. Ngoprasert, N. Sukumal, **P. Suwanwaree** and T. Savini. 2014. Reproductive ecology and nest-site selection of Siamese fireback in lowland forest. **Raffles Bulletin of Zoology**. 62: 581–590.

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ นางขนิษฐา มีวาสนา
Mrs. Khanidtha Meevasana

2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำ

3. หน่วยงาน

สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย สำนักวิชาแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 044-223-926 โทรสาร 044-223-920
Email: mkhanidtha@gmail.com, mkhanidtha@sut.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2551 วิทยาศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม (นานาชาติ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2544 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาชีวเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (เกียรตินิยม)

5. ผลงานวิชาการ

Meevasana, K., Pavasant, P. 2008. Quantitative measuring technique from binary dye mixtures. **Science Asia** 34: 390–394.

Kiatkitipong, W., Wongsuchoto, P., Meevasana, K., Pavasant, P. 2008. When to buy new electrical/electronic products?. **Journal of Cleaner Production** 16(3): 1339-1345.

Punjonghan, P., Meevasana, K., Pavasant, P. 2008. Influence of particle size and salinity on the adsorption of basic dyes by agricultural wastes: dried seagrape (*Caulerpa lentillifera*). **Journal of Environmental Sciences** 20(6): 760-768.

Bunkuea, K., Khamsean, D., Upatcha, P., Tangmandee, T. and Meevasana K. 2014. Occupational Exposure of Toluene in Wood Furniture Manufacturing Environment: A Case Study. **Health and the Environment Journal** 5(2): 57-68.

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ นางกัลยาณี กุลชัย
Mrs. kalyanee Kullachai

2. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงาน

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร10110
โทรศัพท์ 0-2649-5000 โทรสาร 0-2258-0311
อีเมลล์: kalyanee@swu.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

2532 ศิลปศาสตรบัณฑิต (ศศบ.) วิชาเอก สังคมวิทยา-มานุษยวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2538 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วทม.) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ผลงานวิชาการ

กัลยาณี กุลชัย , พีรชัย กุลชัย. 2554. การศึกษาการท่องเที่ยวชุมชนเพื่อสร้างแผนการจัดการขีดความสามารถในการรองรับ (Carrying capacity) การท่องเที่ยวโดยชุมชนตำบลบางน้ำผึ้ง อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 14: 1-10.

กัลยาณี กุลชัย. 2549. หลักธรรมรัฐกับการบริหารจัดการเมือง ด้านสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 9: 18-32.

กัลยาณี กุลชัย, พีรชัย กุลชัย. 2549. พฤติกรรม ทัศนคติ และปัจจัยที่มีผลต่อการบริโภคผักอินทรีย์ในเขตกรุงเทพมหานคร. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44. กรุงเทพฯ, หน้า 347-354.

กัลยาณี กุลชัย, พีรชัย กุลชัย. 2548. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจในการท่องเที่ยวเชิงเกษตร. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. กรุงเทพฯ, หน้า 309-315.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี