



รายงานการวิจัย

วอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังใน
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย

(Water and Carbon Footprint of Cassava Starch Production
from Lower Northeast of Thailand)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

วอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย

(Water and Carbon Footprint of Cassava Starch Production
from Lower Northeast of Thailand)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อ.ดร.ชนิษฐา มีวาสนา

สาขาวิชาอาหาร นวัตกรรม และความปลอดภัย

สำนักวิชาแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2556

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทยสำเร็จลงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ ภวสันต์ ที่ปรึกษาโครงการวิจัยที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำและเป็นผู้ให้ความรู้เรื่องคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตั้งแต่ต้น อีกทั้งขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์เทพ สุวรรณวารี ที่ได้ให้ข้อคิดและคำแนะนำในการเริ่มต้นในการทำงานวิจัยในฐานะอาจารย์ใหม่ นอกจากนี้ยังให้คำปรึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้มาตั้งแต่ต้น ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งและถือเป็นพระคุณอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณท่านทั้งสองเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในหลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้ความรู้และให้คำแนะนำที่ดี ซึ่งนับเป็นพื้นฐานวิชาความรู้ของผู้วิจัย ที่สำคัญสุดอย่างขาดมิได้คือ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง ตลอดจนทุกๆ ท่านที่ให้การกำลังใจช่วยเหลือจนกระทั่งโครงการวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

ชนิษฐา มีวาสนา

ผู้วิจัย

26 มิถุนายน 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับประเทศไทยมีอัตราการกำลังการผลิตที่สูงมาก เมื่อวิเคราะห์ตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูกไปจนถึงกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์เป็นแบริ่งน้ำมันสำหรับพบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่สูง รวมทั้งมีการใช้ทรัพยากรน้ำทั้งในกระบวนการผลิตและการเพาะปลูกเป็นปริมาณมากตามไปด้วย งานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับโดยการศึกษาวิจัยได้แบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือการประเมินในภาคอุตสาหกรรมการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับ และส่วนที่สองเป็นการประเมินในภาคเกษตรกรรมการเพาะปลูกน้ำมันสำหรับ ในการศึกษาวิธีหาคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้ดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของ PAS 2050:2008 ผลจากการศึกษาค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 39.22 ลบ.ม./ตันแบริ่งน้ำมันสำหรับ และค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 122.64 kg CO₂eq/ตันแบริ่งน้ำมันสำหรับ สำหรับกระบวนการเพาะปลูกน้ำมันสำหรับนั้น พบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดเท่ากับ 575 ลบ.ม./ตันหัวมันสำหรับ แบ่งออกเป็นประเภทกรีน บลู และเกรย์เท่ากับ 167 313 และ 95 ลบ.ม./ตันหัวมันสำหรับ ตามลำดับ ส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 47.55 kg CO₂eq/ตันหัวมันสำหรับ

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์, การประเมินวัฏจักรชีวิต, วอเตอร์ฟุตพริ้นท์, ทรัพยากรน้ำ, แบริ่งน้ำมันสำหรับ

Abstract

The cassava starch production in Thailand has very high production rate. The study showed that there was GHG emission from various processes during cassava agriculture and starch processing. Moreover, the high volume of water has been consumed in these processes. This study emphasized on the calculation of water and carbon footprint from 2 sections. The first section is the cassava starch production industry and the second is the cassava cultivation section. The calculation of carbon footprint based on the PAS 2050:2008 standard method. According to the data in the inventory analysis from industrial section, the estimated water footprint was 39.22 m³/ton of cassava starch. The estimated carbon footprint was 122.64 KgCO₂e/ton of cassava starch. For cassava cultivation, the average total water footprint was 575 m³/ton of cassava root that consists of green blue and grey components were 167 313 and 95 m³/ton of cassava root, respectively. The estimated carbon footprint from cassava cultivation was 47.55 kg CO₂e/ton of cassava root.

Keywords: Carbon Footprint, Life Cycle Assessment, Water Footprint, Water Resource, Cassava Starch

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.2 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	2
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
2.1 แหล่งที่มาของข้อมูล.....	3
2.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	3
2.3 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล.....	3
2.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลวอเตอร์พุตพรีนซ์.....	3
2.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลคาร์บอนพุตพรีนซ์.....	5
บทที่ 3 ผลการวิจัย.....	7
3.1 การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนพุตพรีนซ์ในภาคอุตสาหกรรม.....	7
3.1.1 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม.....	7
3.1.2 วอเตอร์พุตพรีนซ์ของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง.....	14
3.1.3 คาร์บอนพุตพรีนซ์ของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง.....	15
3.1.4 วอเตอร์และคาร์บอนพุตพรีนซ์ของงานวิจัยอื่นๆ ที่ทำการศึกษาในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง.....	17
3.2 การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนพุตพรีนซ์ในภาคเกษตรกรรม.....	17
3.2.1 โปรแกรม CROPWAT 8.0.....	17
3.2.2 ข้อมูลทุติยภูมิที่สำคัญในการประเมินค่าวอเตอร์และคาร์บอนพุตพรีนซ์.....	18
3.2.3 วอเตอร์พุตพรีนซ์ของการเพาะปลูกมันสำปะหลัง.....	21
3.2.4 คาร์บอนพุตพรีนซ์ของการเพาะปลูกมันสำปะหลัง.....	24
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	26
4.1 สรุปผลการวิจัย.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ข้อเสนอแนะ	27
บรรณานุกรม	28
ภาคผนวก.....	30
ก ข้อมูลเชิงพื้นที่ สภาพอากาศและข้อมูลดิน	31
ข แบบสัมภาษณ์การเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรและของเสียที่เกิดจากการปลูกมันสำปะหลัง	34
ค ตารางเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมัน สำปะหลัง	36
ง การเผยแพร่ผลงานวิจัย	39
ประวัตินักวิจัย	42



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แหล่งที่มาของข้อมูลทุติยภูมิที่นำมาใช้ในการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	4
3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแป่งมันสำปะหลัง.....	8
3.2 ปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการผลิตแป่งมันสำปะหลัง.....	15
3.3 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป่งมันสำปะหลัง	16
3.4 วอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป่งมันสำปะหลังในภาคตะวันออก เฉิงเหินตอนล่าง	17
3.5 การปลูกมันสำปะหลังของภาคตะวันออกเฉิงเหินตอนล่างของประเทศไทยในปี 2553 และ 2554	18
3.6 ข้อมูลพืชของมันสำปะหลัง	20
3.7 ปริมาณการใช้น้ำในการปลูกมันสำปะหลัง โดยเฉลี่ยในปี 2553-2554	20
3.8 ค่าคยาระเหยน้ำ ค่าความต้องการใช้น้ำของพืชและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ประเภทกรีนและ บลูของการปลูกมันสำปะหลัง	22
3.9 ปริมาณการใช้น้ำ สัดส่วนการชะล้างและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของการปลูกมันสำปะหลัง 23	
3.10 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดของการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉิงเหินตอนล่าง	24
3.11 ปริมาณวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลัง 1 ตัน	25
3.12 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกมันสำปะหลัง	25
4.1 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	26
4.2 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์	27
ก-1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ของแต่ละจังหวัด.....	31
ก-2 ข้อมูลสภาพอากาศของแต่ละจังหวัด.....	31
ก-3 ข้อมูลดิน.....	33
ค ตารางเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตแป่งมันสำปะหลัง	36

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ขอบเขตการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป่งมันสำปะหลัง.....	6
3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าต่อกำลังการผลิตในแต่ละเดือน	9
3.2 ปริมาณการใช้น้ำในการผลิตแป่งมันสำปะหลังต่อการผลิต	9
3.3 ปริมาณการใช้น้ำมันเตาในการผลิตแป่งมันสำปะหลังต่อการผลิต	10
3.4 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับการตัดวัตถุดิบและการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในโรงงาน	11
3.5 ปริมาณแป่งมันสำปะหลังที่ผลิตขึ้นในแต่ละเดือน	12
3.6 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ UASB	13
3.7 ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ Aerated lagoon	14
3.8 แผนผังการใช้น้ำในการปลูกมันสำปะหลัง	21
3.9 แผนผังการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกมันสำปะหลัง	24



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันปัญหาภาวะโลกร้อนและการขาดแคลนน้ำจัดเป็นปัญหาที่สำคัญอันดับต้นๆ ของโลกที่หลายประเทศกำลังประสบอยู่ สืบเนื่องมาจากประชากรโลกที่เพิ่มมากขึ้นและการแข่งขันทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้น ทำให้มีการใช้ทรัพยากรเพื่อเพิ่มผลผลิตและปลดปล่อยของเสียเพิ่มมากขึ้น ทรัพยากรน้ำจัดเป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่สำคัญสำหรับกระบวนการผลิต บางผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องใช้น้ำทั้งห่วงโซ่การผลิต นอกจากนี้แล้วกระบวนการผลิตสินค้า การขนส่ง การใช้และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ยังมีการปลดปล่อยของเสีย เช่น ก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เป็นแนวทางหนึ่งที่ได้รับความสนใจในระดับสากล คำว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ได้ถูกนำมาใช้แทนค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซเรือนกระจก โดยแสดงในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Wiedmann and Minx, 2008)

อุตสาหกรรมการผลิตแยมมันสำปะหลังของประเทศไทย จัดเป็นกลุ่มธุรกิจที่ผลิตและส่งออกจำหน่ายไปยังต่างประเทศอันดับต้นๆ และเป็นประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากที่สุดในโลก (กรมวิชาการเกษตร, 2552) โดยมีกำลังการผลิตหัวมันสำปะหลังสด (พ.ศ. 2552) ประมาณ 30 ล้านตัน ซึ่งผลิตใช้ภายในประเทศประมาณ 9 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 30 ที่เหลือส่งออกไปยังตลาดโลก (สำนักงานคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2554) มันสำปะหลังจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกกระจายอยู่ทั่วประเทศ เนื่องจาก เป็นพืชที่ทนแล้งปลูกง่าย มีศัตรูพืชรบกวนน้อย เป็นพืชที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพดิน ฟ้า อากาศ ได้เป็นอย่างดี พื้นที่ในการเพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การปลูกมันสำปะหลังเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีและมีคุณภาพจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญ 4 ส่วนด้วยกันคือ ดิน พันธุ์มันสำปะหลัง น้ำ และปุ๋ย นอกจากนี้องค์ประกอบของหัวมันสำปะหลังสดยังประกอบไปด้วยน้ำถึงร้อยละ 60-70 (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2553) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความต้องการน้ำในปริมาณที่สูงและมีความจำเป็นต้องปลูกในเขตชลประทานที่มีระบบการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่ดี ในส่วนของขั้นตอนการเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังและกระบวนการแปรรูปมันสำปะหลังยังต้องใช้ทรัพยากรน้ำและพลังงานที่สูงโดย ปริมาณการใช้น้ำในส่วนกระบวนการผลิตแปรรูปมันสำปะหลังจากหัวมันสดเป็น 5.4 ลูกบาศก์เมตร/ตันหัวมันสำปะหลังสด และเกิดน้ำเสียทั้งสิ้น 5.8 ลูกบาศก์เมตร (สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, 2554) ส่วนข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงทั้งในส่วนการเก็บเกี่ยวกระบวนการผลิต และการขนส่งมันสำปะหลัง ในปัจจุบันพบว่ายังขาดข้อมูลและสารสนเทศที่ชัดเจนและเป็นรูปธรรมอยู่ ซึ่งหากสามารถประเมินการใช้ทรัพยากรน้ำและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนในกลุ่มธุรกิจแปรรูปมันสำปะหลังและหาแนวทางหรือมาตรการในการลดการใช้ทรัพยากรน้ำและพลังงานลงได้ ก็จะช่วยบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลก ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และยังเป็นภาพลักษณ์ที่ดีให้แก่ประเทศไทย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาค่าอเวอเทรจฟุตพริ้นท์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตแปรรูปมันสำปะหลังใน

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย เพื่อเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับงานบริหารจัดการและแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมการผลิตแอมโมเนียเหลวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) ประเมินปริมาณมอเตอร์ฟลูทพรีนธ์ ของการใช้น้ำจากการผลิตแอมโมเนียเหลวในส่วนของการเพาะปลูกแอมโมเนียเหลวและกระบวนการผลิตแอมโมเนียเหลว ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง
- 2) ประเมินปริมาณคาร์บอนฟลูทพรีนธ์ ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการผลิตแอมโมเนียเหลวในส่วนของการปลูกแอมโมเนียเหลว และกระบวนการผลิตแอมโมเนียเหลว ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณการใช้น้ำทั้งในรูปความชื้นในดินอันเกิดจากปริมาณฝนที่ตกลงมาและปริมาณการใช้น้ำจากการจัดสรรของชลประทานในการปลูกแอมโมเนียเหลว และศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตแอมโมเนียเหลว ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1) เป็นการเพิ่มความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ด้านการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
- 2) เผยแพร่ข้อมูลไปยังผู้ประกอบการไร่แอมโมเนียเหลว ถึงแนวทางการวางแผนการใช้น้ำ ในการเพาะปลูกและการลดปริมาณการใช้น้ำพลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการปลูก การเก็บเกี่ยวแอมโมเนียเหลว และการขนส่งแอมโมเนียเหลว รวมไปถึงการเผยแพร่ข้อมูลการปริมาณใช้น้ำและเชื้อเพลิงของโรงงานผลิตแอมโมเนียเหลว เพื่อร่วมกันหาแนวทางในการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดการใช้น้ำในกระบวนการผลิตแอมโมเนียเหลว รวมทั้งสามารถนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาแนวทางในการลดปริมาณการใช้น้ำและเชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เพื่อลดต้นทุนในการผลิต
- 3) เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้าในกลุ่มธุรกิจการค้าแอมโมเนียเหลวระดับโลกหากผลิตภัณฑ์ได้รับฉลากด้านสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 แหล่งที่มาของข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการเพาะปลูกมันสำปะหลังได้มาจากข้อมูลปฐมภูมิส่วนหนึ่ง และทุติยภูมิอีกส่วนหนึ่ง โดยข้อมูลปฐมภูมิได้จากการเลือกตัวอย่างเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังรายชื่อเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังใน ต.สุรนารี จ.นครราชสีมา จำนวน 30 คน (เลือกตัวอย่างโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น วิธี Convenience sampling ส่วนข้อมูลทุติยภูมิได้จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานต่างๆ สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังได้จากการเก็บข้อมูลเฉลี่ยใน 1 ปี ของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นโรงงานที่มีกระบวนการในการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์หลักของโรงงาน

2.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้วิธีการ สังเกต (Observation) สัมภาษณ์ (Interview) และรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร (Secondary Data Collection)

2.3 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

2.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ดำเนินการตามคู่มือ The Water Footprint Assessment Manual โดย Hoekstra *et al.* (2011) โดยใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมาณค่าการคายระเหยน้ำของพืช (Crop Evapotranspiration; ET) โดยการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืชได้ใช้สมการของ Penman-Monteith (FAO, 1992) ซึ่งข้อมูลที่ใช้จำเป็นสำหรับการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำประกอบด้วยข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลพืช และข้อมูลดิน ผลการคำนวณของโปรแกรม CROPWAT 8.0 จะแสดงถึงความต้องการน้ำของพืชเป็นช่วงระยะตามที่ต้องการหรือตลอดฤดูการปลูกพืชและสามารถนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลูต่อไป

การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมันสำปะหลังจากสามารถคำนวณได้จากผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนบลู และเกรย์ หรือคำนวณได้จากสูตร

$$WF_{\text{total}} = WF_{\text{green}} + WF_{\text{blue}} + WF_{\text{grey}} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

การคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลู คำนวณได้จากสูตร

$$WF_{\text{green,blue}} = \frac{CWU_{\text{green,blue}}}{Y} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\begin{aligned}
 CWU_{\text{green}} &= \text{ค่าความต้องการใช้น้ำฝนของพืช (ลบ.ม./ปี)} \\
 CWU_{\text{blue}} &= \text{ค่าความต้องการใช้น้ำชลประทานของพืช (ลบ.ม./ปี)} \\
 Y &= \text{ผลผลิต (ตัน/ปี)}
 \end{aligned}$$

และค่าความต้องการใช้น้ำฝนและน้ำชลประทานของพืชคำนวณได้จากสูตร

$$CWU_{\text{green,blue}} = 1.6 \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET_{\text{green,blue}} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\begin{aligned}
 ET_{\text{green}} &= \text{ปริมาณการคายระเหยน้ำฝน} \\
 ET_{\text{blue}} &= \text{ปริมาณการคายระเหยน้ำชลประทาน} \\
 1.6 &= \text{ค่าคงที่ใช้ในการแปลงหน่วยจาก (มม./วัน) ให้เป็น (ลบ.ม./ไร่)}
 \end{aligned}$$

ส่วนสมการการคำนวณค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ คำนวณได้จากสูตร

$$WF_{\text{grey}} = \frac{(\alpha \times AR) / (C_{\text{max}} - C_{\text{natural}})}{Y} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\begin{aligned}
 WF_{\text{grey}} &= \text{ปริมาณน้ำเสมือนเกรย์ของสินค้าประเภหลัง (ลบ.ม./ตัน)} \\
 AR &= \text{อัตราการใช้น้ำในดินในพื้นที่เพาะปลูก (ตัน/ปี)} \\
 \alpha &= \text{สัดส่วนการชะล้าง} \\
 C_{\text{max}} &= \text{ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ (กิโลกรัม/ลบ.ม.)} \\
 C_{\text{natural}} &= \text{ความเข้มข้นของมลพิษตามธรรมชาติ (กิโลกรัม/ลบ.ม.)} \\
 Y &= \text{ผลผลิต (ตัน/ปี)}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 2.1 แหล่งที่มาของข้อมูลหัตถุณภูมิที่นำมาใช้ในการคำนวณค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ชนิดของข้อมูล	แหล่งที่มา
ภูมิอากาศ	กรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย
- อุณหภูมิอากาศ - ความชื้น - ความเร็วลม - ค่าความยาวนานของแสงแดด - ปริมาณน้ำฝน	
ข้อมูลพืช	องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ
- ช่วงอายุของการเจริญเติบโต - การหยั่งลึกของรากพืช - สัดส่วนของการขาดน้ำวิกฤต	

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ชนิดของข้อมูล	แหล่งที่มา
- ค่าปัจจัยการตอบสนองต่อการให้ผลผลิตพืช - ความสูงของพืช - ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช	
ข้อมูลดิน	กรมพัฒนาที่ดิน ประเทศไทย
- ปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดิน - อัตราการแทรกซึมน้ำผ่านผิวดิน - ความลึกของราก (ค่ามากที่สุด) - ความชื้นดินที่เริ่มขาด	

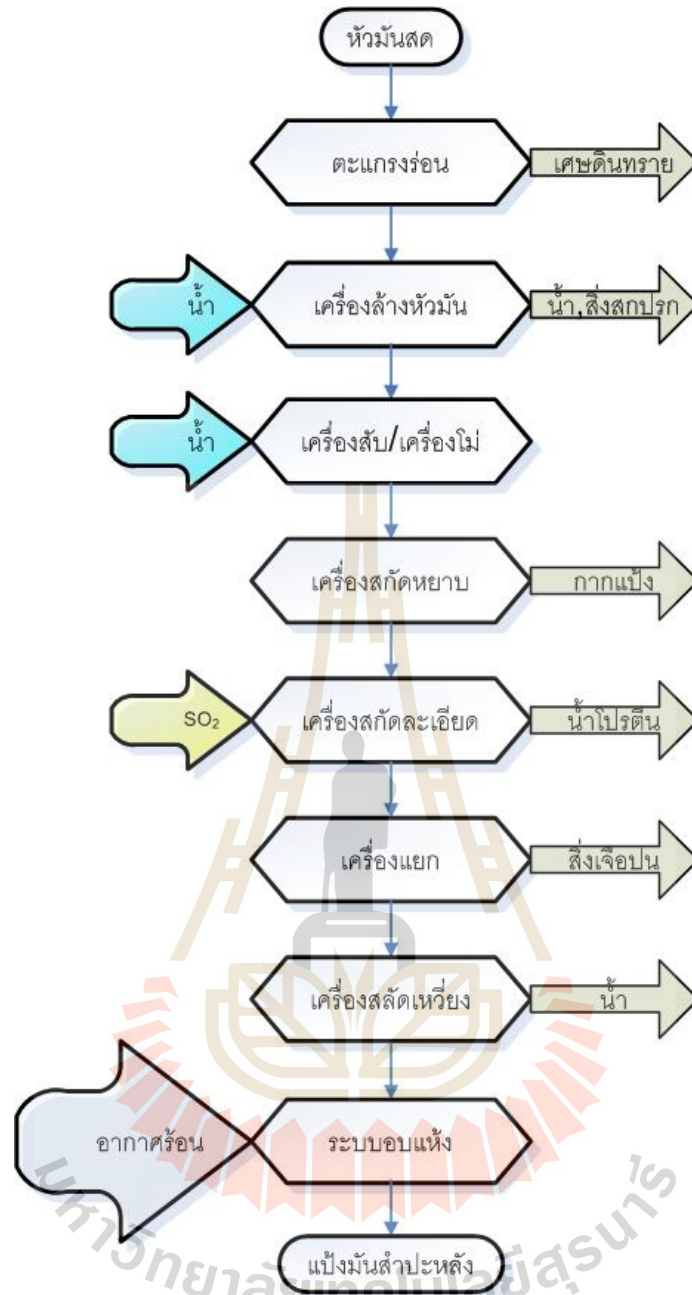
2.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแอมโมเนียสำหรับปุ๋ย ทำโดยการเก็บข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งอ้างอิงกรอบวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ที่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO 14040:2006 และข้อมูลศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ซึ่งอาศัยข้อมูลอ้างอิงจากรายงานของ IPCC ขอบเขตการวิเคราะห์ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแอมโมเนียสำหรับปุ๋ยเป็นดังภาพที่ 2.1

การเก็บข้อมูลจะเริ่มจากการเก็บข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออก โดยสารขาเข้า ได้แก่ วัตถุดิบ สารเคมี พลังงานไฟฟ้า น้ำ เชื้อเพลิง น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล และสารขาออก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์แอมโมเนียสำหรับปุ๋ย และน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ส่วนการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการเพาะปลูกนั้น จะทำการเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรโดยเก็บข้อมูลการใช้ปุ๋ย เชื้อเพลิงที่ใช้ในพื้นที่เกษตรกรรม ทั้งที่ใช้ในการเพาะปลูก และที่ใช้ในการขนส่ง โดยตารางเก็บข้อมูลแสดงในภาคผนวก ข และ ค

ขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

1. จัดทำแผนผังกระบวนการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
2. กำหนดข้อมูลที่ต้องจัดเก็บ และวิธีจัดเก็บ
3. เก็บข้อมูล
4. คำนวณ
5. ตรวจสอบความถูกต้อง
6. เชื่อมโยงข้อมูลกับหน่วยกระบวนการ
7. ปั่นส่วน



ภาพที่ 2.1 ขอบเขตการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำมันสำเร็จรูป
ที่มา: <http://www.sahamitr.com/>

บทที่ 3

ผลการวิจัย

การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย ซึ่งประกอบไปด้วยจังหวัด นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์ โดยทำการศึกษาในปี 2553-2554 การศึกษาวิจัยได้แบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรก ประเมินในภาคอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง และส่วนที่สองภาคเกษตรกรรม

โดยการประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ในภาคอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังได้นำข้อมูลจากการใช้น้ำในกระบวนการผลิตจริงมาคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และในภาคเกษตรกรรมหรือการปลูกมันสำปะหลังได้ใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 เพื่อคำนวณการใช้น้ำในการปลูกมันสำปะหลัง

สำหรับขั้นตอนการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งสองภาคส่วนได้ดำเนินการตามกรอบมาตรฐานของ ISO 14040:2006 และแนวทางการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ได้อ้างอิงกรอบหลักการและวิธีการของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ซึ่งแหล่งข้อมูลมีดังต่อไปนี้

- ข้อมูลปฐมภูมิและหตุยภูมิของปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกที่ใช้ในกระบวนการปลูกมันสำปะหลัง ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง จำนวน 30 คน และเจ้าหน้าที่นักวิชาการเกษตรในพื้นที่ ส่วนโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังได้เลือกโรงงานในจังหวัดนครราชสีมาจำนวน 1 แห่ง รวมถึงใช้ข้อมูลกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจากการทบทวนวรรณกรรมของงานวิจัยที่เคยศึกษาในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: EF) ใช้ข้อมูลอ้างอิงจากรายงานของคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2554)
- ข้อมูลค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ใช้ข้อมูลอ้างอิงจากรายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC, 2007)

3.1 การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคอุตสาหกรรม

3.1.1 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

ดำเนินการเก็บข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จังหวัดนครราชสีมา เพื่อนำข้อมูลมาคำนวณและประเมินค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยในปี พ.ศ. 2554 โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังสามารถผลิตได้ประมาณ 500 ตัน/วัน โดยดำเนินการผลิตแป้งมันสำปะหลังใน 2 สายการผลิต กำลังการผลิตสายละ 250 ตัน/วัน การเก็บข้อมูลทั้งสองสายการผลิตรวมกันพบว่า มีกำลังการผลิตทั้งสิ้น 123,533.16 ตัน รายละเอียดข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกมีดังต่อไปนี้

3.1.1.1 สารขาเข้า

1) วัตถุดิบ

วัตถุดิบหลักของกระบวนการผลิตแอมันสำปะหลังคือหัวมันสำปะหลังดิบ ซึ่งโรงงานรับซื้อหัวมันสำปะหลังดิบจากเกษตรกรในเขตพื้นที่ใกล้เคียง ใช้หัวมันสำปะหลังดิบประมาณ 630,000 ตัน/ปี

2) สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตแอมันสำปะหลังส่วนใหญ่ใช้เพื่อปรับสภาพให้มีความเหมาะสมต่อการผลิตในแต่ละขั้นตอนและเพื่อกำจัดโปรตีน ไขมันและแร่ธาตุต่างๆ ออกไปเพื่อให้ได้แป้งที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด สารเคมีที่ใช้ในการผลิตแอมันสำปะหลัง ได้แก่ กรดเกลือ (HCl), โซเดียมเมตต้าไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), กำมะถัน (S_8), คลอรีนน้ำ (NaOCl), โซเดียมคาร์บอเนต (NaCO_3) หรือโซดาแอช และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ ปริมาณการใช้สารเคมีแสดงได้ตามตารางที่ 3.1

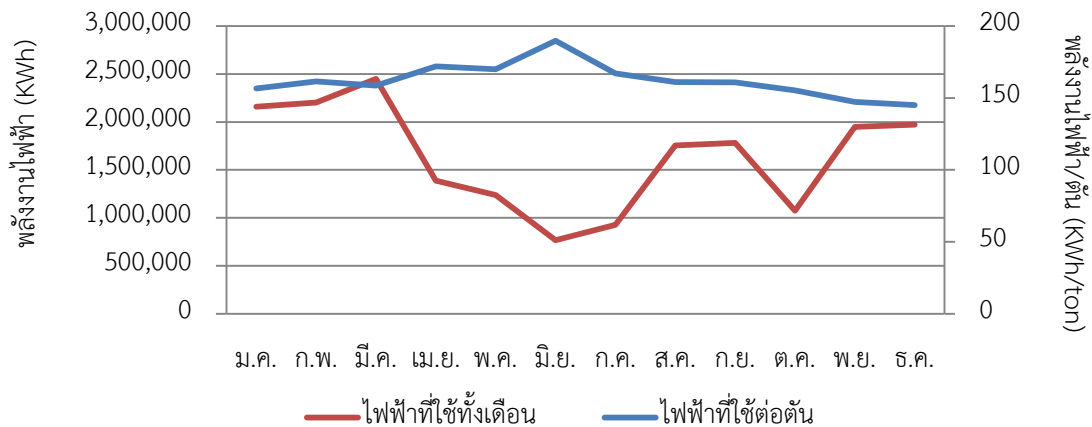
ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแอมันสำปะหลัง

รายการสารเคมี	หน่วย	ปริมาณ/ปี
กรดเกลือ (HCl)	ลิตร	10,200
โซดาแอช (NaCO_3)	กิโลกรัม	51,725
โซดาไฟ (NaOH)	กิโลกรัม	1,875
คลอรีนน้ำ (NaOCl)	ลิตร	88,040
กำมะถัน (S_8)	กิโลกรัม	4,200
โซเดียมเมตต้าไบซัลไฟท์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	กิโลกรัม	275

ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตแอมันสำปะหลังสูงสุดคือ คลอรีนน้ำ รองลงมาคือโซดาแอชและกรดเกลือ ตามลำดับ

3) พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตแอมันสำปะหลังจะใช้ในการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ ตลอดสายการผลิต โรงงานผลิตแอมันสำปะหลังจะมีกำลังเครื่องจักรที่ติดตั้งประมาณ 260-500 จิกะวัตต์/กำลังการผลิต (ตันแป้ง/ชม.) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้คิดเป็น 19.6 จิกะวัตต์/ปี พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือน และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อกำลังการผลิต (ต่อตันแป้ง) ในแต่ละเดือน แสดงได้ตามดังภาพที่ 3.1

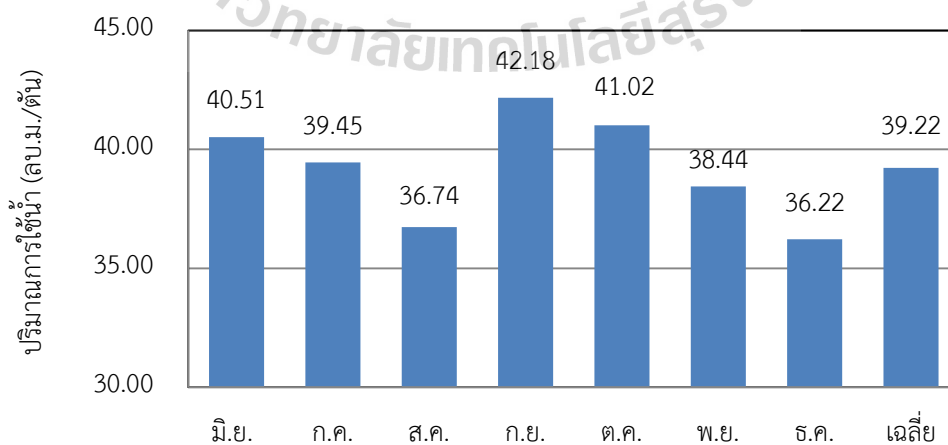


ภาพที่ 3.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าต่อกำลังการผลิตในแต่ละเดือน

การใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนพบว่าในเดือนมีนาคมมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดคือ 2.4 จิกะวัตต์ เนื่องจากมีกำลังการผลิตสูงสุด และในเดือนที่มีกำลังการผลิตที่ต่ำคือ เดือนมิถุนายนและกรกฎาคม ทั้งนี้เนื่องจากได้ดำเนินการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับเพียง 1 สายการผลิต แต่การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อกำลังการผลิตกลับพบว่ามีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเกิดจากการซ่อมแซมและทดสอบการทำงานของเครื่องจักรซึ่งจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า

4) การใช้น้ำ

น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับมาจากแหล่งน้ำผิวดินแล้วนำมาผลิตน้ำประปา ส่วนน้ำที่ใช้สำหรับการล้างหัวมันสำหรับและล้างพื้นภายในโรงผลิต ส่วนหนึ่งนำมาจากน้ำทิ้งในส่วนที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากบ่อพักสำหรับการตกตะกอนบ่อสุดท้าย ปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับทั้งสิ้นเท่ากับ 4.85 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี ปริมาณการใช้น้ำในแต่ละเดือนแสดงได้ดังภาพที่ 3.2

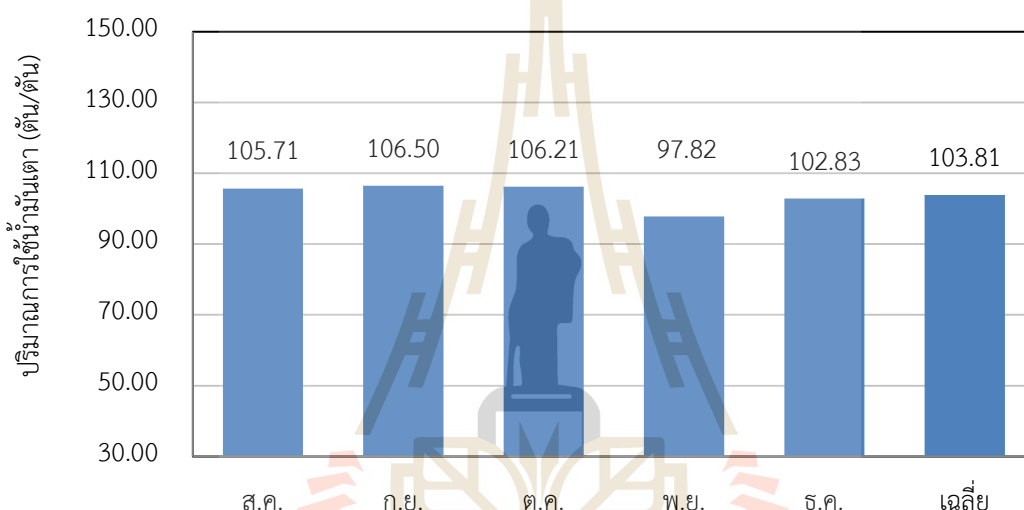


ภาพที่ 3.2 ปริมาณการใช้น้ำในการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับต่อการผลิต

ปริมาณการใช้น้ำต่อกำลังการผลิตสูงที่สุดคือเดือนกันยายน คิดเป็น 42.18 ลูกบาศก์เมตร/ตัน ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการใช้น้ำในการล้างเครื่องจักรและล้างพื้นโรงผลิตแบริ่งสำหรับล้อ การใช้น้ำโดยเฉลี่ยพบว่ามีค่าเท่ากับ 39.22 ลูกบาศก์เมตร/ตัน

5) เชื้อเพลิงน้ำมันเตา

น้ำมันเตาจะใช้ในขั้นตอนการอบแห้ง และลดความชื้นของแบริ่งหมาดเพื่อให้ได้ความชื้นตามค่ามาตรฐานของแบริ่งผลิตภัณฑ์ซึ่งต้องไม่เกินร้อยละ 13 ส่วนการอบแห้งจะใช้ลมร้อนในการระเหยน้ำและตัวพออนุภาคแบริ่งไปยังหน่วยบรรจุ การผลิตลมร้อนจะใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาและก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย มาใช้ในการเผาไหม้เพื่อให้ได้ลมร้อนออกมา ปริมาณการใช้น้ำมันเตาทั้งสิ้น 12,824.10 ตัน/ปี ปริมาณการใช้น้ำมันเตาในแต่ละเดือนแสดงได้ดังภาพที่ 3.3

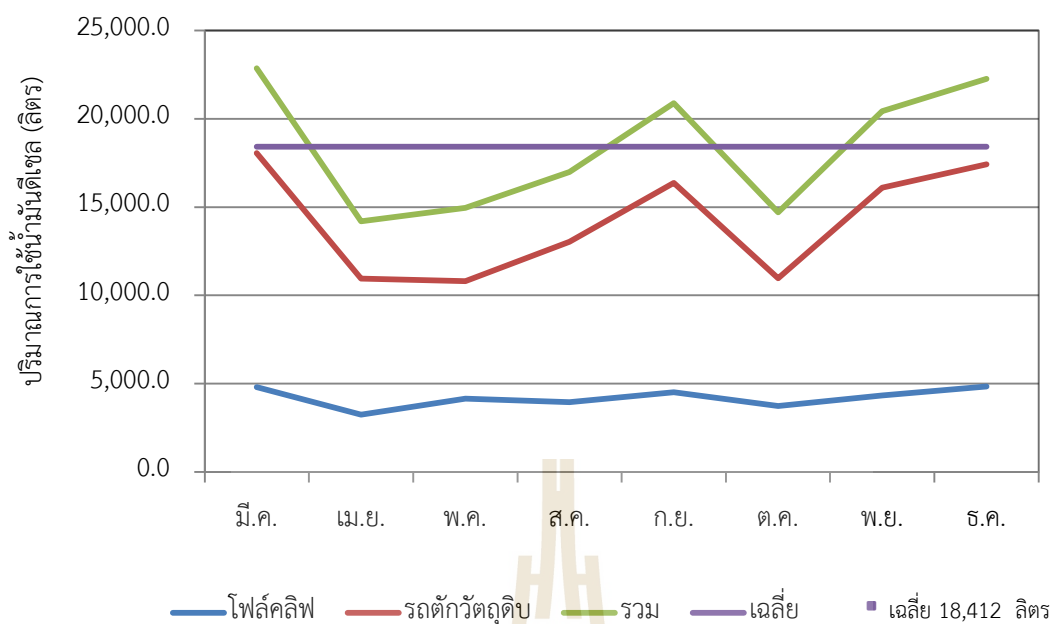


ภาพที่ 3.3 ปริมาณการใช้น้ำมันเตาในการผลิตแบริ่งสำหรับล้อต่อตันการผลิต

ปริมาณการใช้น้ำมันเตาในแต่ละเดือนพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นเดือนมิถุนายนและกรกฎาคมที่ใช้น้ำมันเตาในปริมาณที่น้อย เป็นผลมาจากการดำเนินการผลิตแบริ่งสำหรับล้อเพียง 1 สายการผลิต ดังนั้นจึงไม่นำค่าดังกล่าวมาใช้เพื่อหาค่าเฉลี่ย การใช้น้ำมันเตาในการผลิตแบริ่งสำหรับล้อโดยเฉลี่ยพบว่ามีค่าเท่ากับ 103.81 กิโลกรัม/ตัน

6) การใช้น้ำมันดีเซล

การใช้น้ำมันดีเซลจะใช้ใน 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนแรกใช้กับรถโฟล์คลิฟท์สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในโรงงาน การเคลื่อนย้ายและการจัดเรียงผลิตภัณฑ์ในโกดังเก็บสินค้า และในส่วนที่สองใช้รถแบ็คโฮทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ สำหรับตัดกวัดตูดที่เป็นหัวมันสำหรับล้อดิบเข้าสู่สายพานการผลิต ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลเท่ากับ 220,947.30 ลิตร/ปี ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลในแต่ละเดือนแสดงได้ดังภาพที่ 3.4



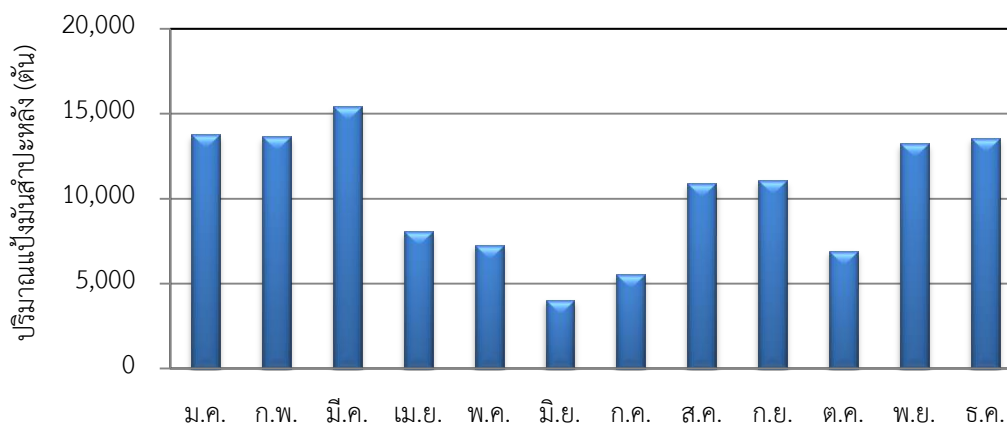
ภาพที่ 3.4 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับการตัดหญ้าและการขนส่งผลิตภัณฑ์ภายในโรงงาน

การใช้น้ำมันดีเซลของรถโฟล์คลิฟมีปริมาณน้อยกว่ารถแบคโฮตัดหญ้า เนื่องจากมีขนาดของเครื่องยนต์ที่เล็กกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้น้ำมันดีเซลสูงที่สุดในเดือนมีนาคม เนื่องจากเป็นเดือนที่มีกำลังการผลิตที่สูงที่สุด ส่วนในเดือนมิถุนายนและกรกฎาคมที่ใช้น้ำมันดีเซลในปริมาณที่น้อย เป็นผลมาจากมีการดำเนินการผลิตแป้งมันสำปะหลังเพียง 1 สายการผลิต ดังนั้นจึงไม่นำค่าดังกล่าวมาใช้ในการหาค่าเฉลี่ย และเมื่อรวมปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลของรถทั้งสองชนิดพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18,412 ลิตร/เดือน

3.1.1.2 สารขาออก

1) ผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลังดิบเมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์แป้งมันแห้งที่เรียกว่า Native starch ซึ่งสามารถผลิตแป้งมันสำปะหลังคิดเป็น 123,533.2 ตัน/ปี ปริมาณการผลิตแป้งมันสำปะหลังในแต่ละเดือนแสดงได้ดังภาพที่ 3.5



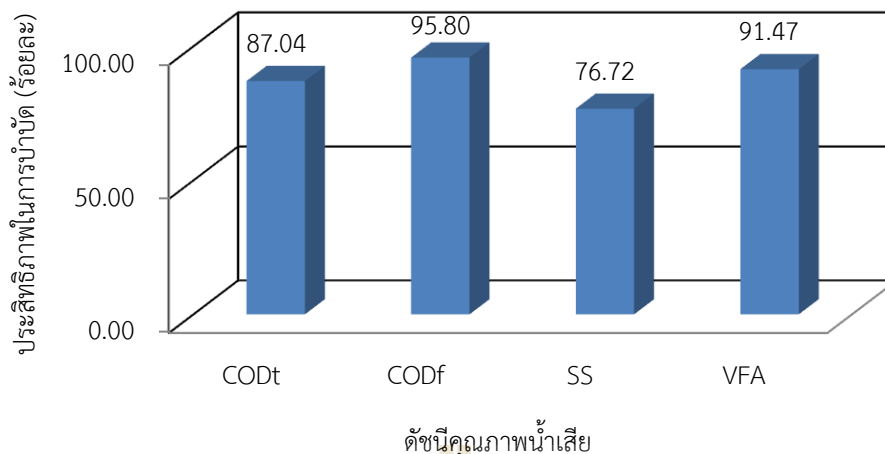
ภาพที่ 3.5 ปริมาณแ่งมันสำปะหลังที่ผลิตขึ้นในแต่ละเดือน

การผลิตแ่งมันสำปะหลังมีกำลังผลิตสูงที่สุดในเดือนมีนาคม คิดเป็น 15,444 ตันแ่งแห้ง ส่วนในเดือนที่ผลิตน้อยที่สุดคือ เดือน มิถุนายนและกรกฎาคม เนื่องจากการผลิตเพียง 1 สายการผลิต

2) น้ำเสียจากกระบวนการผลิต

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแ่งมันสำปะหลัง แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรก น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต และส่วนที่สอง น้ำเสียจากการล้างพื้นในโรงผลิตและล้างหัวมันสำปะหลังดิบ โดยที่น้ำเสียส่วนแรกจะถูกนำไปบำบัดด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพชนิดไร้อากาศที่เรียกว่าระบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket; UASB) และน้ำเสียส่วนที่สองจะถูกนำไปบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพชนิดใช้อากาศที่เรียกว่าระบบ Aerated lagoon

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในส่วนของกระบวนการผลิตประมาณวันละ 6,000 ลูกบาศก์เมตร น้ำเสียส่วนนี้จะถูกนำไปบำบัดด้วยระบบ UASB ซึ่งการตรวจวัดดัชนีคุณภาพน้ำเสียจะวัดในรูปของซีโอดีทั้งหมด (CODt) ซีโอดีละลายน้ำ (CODf) ของแข็งแขวนลอย (SS) พีเอช (pH) ค่าสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) และกรดไขมันระเหยได้ (VFA) น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแ่งมันสำปะหลังมีค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 14,272.5 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วพบว่ามีค่าเท่ากับ 1,749 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชนิด UASB แสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ UASB

จากภาพที่ 3.6 ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความสกปรกในรูปซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลายน้ำ ของแฉ่งแขวนลอยและคาร์บอนระเหยได้ มีค่าเท่ากับร้อยละ 87.04, 95.80, 76.72 และ 91.47 ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพในการบำบัดนี้มีค่าสูงกว่าร้อยละ 80 ยกเว้นดัชนีของแฉ่งแขวนลอย ซึ่งค่าประสิทธิภาพดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียชนิด UASB มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

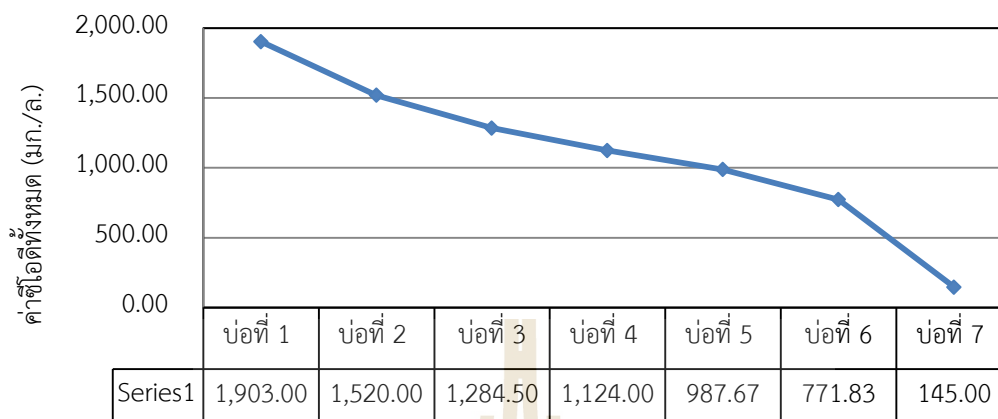
ส่วนดัชนีคุณภาพน้ำเสียในส่วนฟิโอสและค่าสภาพความเป็นด่างพบว่า ค่าฟิโอสของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่าเท่ากับ 3.8 ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ จึงต้องมีการปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมด้วยการเติมด่างลงไปให้น้ำเสียมีค่าฟิโอสใกล้เคียง 7 ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วพบว่ามีค่าฟิโอสเท่ากับ 6.92 ในส่วนค่าสภาพความเป็นด่างเมื่อทำการตรวจวัดในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วพบว่ามีค่าเท่ากับ 2,201 มิลลิกรัม/ลิตร (วัดในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต) ซึ่งมีค่าที่สูงมากพอที่จะสามารถดำเนินการเปลี่ยนแปลงฟิโอสอันเกิดจากปริมาณคาร์บอนระเหยได้ ที่เกิดขึ้นภายในในระบบบำบัดน้ำเสียได้

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพชนิดไร้อากาศ เป็นระบบบำบัดที่ลดค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูปของสารอินทรีย์ให้เกิดเป็นก๊าซชีวภาพ และสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงได้ จากการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 641,894 ลิตร ซึ่งมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 53 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนการใช้แก๊สธรรมชาติในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

น้ำเสียจากการล้างพื้นโรงผลิตและล้างหัวมันสำปะหลัง

ปริมาณน้ำเสียจากการล้างพื้นโรงผลิตและล้างหัวมันสำปะหลัง จะเข้าสู่ระบบบำบัดทางชีวภาพชนิดใช้อากาศที่เรียกว่าระบบ Aerated lagoon ซึ่งมีด้วยกันทั้งสิ้น 7 บ่อบำบัดเรียงต่อกันในลักษณะอนุกรม โดยที่น้ำเสียจะไหลเข้าสู่บ่อบำบัดบ่อที่ 1 จากนั้นจึงไหลเข้าสู่บ่อที่ 2 จนกระทั่งถึงบ่อที่ 7 ซึ่งเป็นบ่อสุดท้าย การตรวจวัดคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะทำการตรวจวัด

ทุกๆ บ่อ และหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำเสียในรูปซีโอดีทั้งหมด แสดงได้ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ Aerated lagoon

น้ำเสียจากการล้างโรงผลิตและล้างหัวมันสำปะหลังพบว่า มีค่าซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 1,903 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดด้วยระบบ Aerated lagoon จนกระทั่งถึงบ่อที่ 7 พบว่ามีค่าซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 145 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับร้อยละ 92.3 ซึ่งถือเป็นระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูง

3.1.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

จากข้อมูลการใช้น้ำในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในปี 2554 คำนวณได้จากสูตรดังนี้

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

โดยที่ $WF_{prod}[P]$ = วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ P (ลบ.ม./ตันผลิตภัณฑ์)

$WF_{proc}[S]$ = วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละสายกระบวนการผลิต (ลบ.ม./ปี)

$P[p]$ = ปริมาณผลผลิตทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ P (ตัน/ปี)

ข้อมูลจากภาพที่ 3.2 จากการคำนวณพบว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 39.22 ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งคิดจากปริมาณการใช้น้ำจริงในกระบวนการผลิตและการล้างทำความสะอาดโรงผลิต โดยไม่ได้คิดในส่วนน้ำเสียเนื่องจากน้ำที่เสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้หมุนเวียนกลับมาใช้ล้างทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังดิบและใช้รดต้นไม้ภายในโรงงาน โดยไม่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมนอกโรงงาน

3.1.3 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตแอมโมเนีย

ข้อมูลแสดงปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการผลิตแอมโมเนีย แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการผลิตแอมโมเนีย

รายการสารขาเข้า/ขาออก	หน่วย	ปริมาณ
สารขาเข้า		
รายการสารเคมี		
- กรดเกลือ (HCl)	ลิตร	10,200.00
- โซดาแอช (NaCO ₃)	กิโลกรัม	51,725.00
- โซดาไฟ (NaOH)	กิโลกรัม	1,875.00
- คลอรีนน้ำ (NaOCl)	ลิตร	88,040.00
- กำมะถัน (S ₈)	กิโลกรัม	4,200.00
- โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ (Na ₂ S ₂ O ₅)	กิโลกรัม	275.00
พลังงานเชื้อเพลิง		
- น้ำมันดีเซล	ลิตร	220,947.30
- น้ำมันเตา	ตัน	12,824.10
สาธารณูปโภค		
- ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	19.60 × 10 ⁶
- น้ำประปา	ลูกบาศก์เมตร	4.85 × 10 ⁶
สารขาออก		
น้ำเสีย	ลูกบาศก์เมตร	18.60 × 10 ⁶

จากข้อมูลสารขาเข้าและขาออกตามตารางที่ 3.2 พบว่า ปริมาณสารขาเข้า ในส่วนปัจจัยด้านรายการสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตแอมโมเนียมากที่สุดคือคลอรีนน้ำ รองลงมาคือโซดาแอช ในส่วนของปัจจัยด้านพลังงานเชื้อเพลิงพบว่า ได้มีการใช้น้ำมันเตาในปริมาณที่สูง ซึ่งน้ำมันเตาจะใช้เฉพาะในส่วนของการผลิตแอมโมเนีย ส่วนน้ำมันดีเซลนั้นได้นำมาใช้เฉพาะในการขนส่งและลำเลียงสินค้าภายในเขตโรงงานอุตสาหกรรม และปัจจัยด้านสาธารณูปโภคพบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูงมากเช่นกัน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากหน่วยงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดนครราชสีมา และในส่วนของปริมาณน้ำที่เข้ามาจากน้ำประปาที่ผลิตจากแหล่งน้ำผิวดิน

จากข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตามตารางที่ 3.2 นำมาวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแอมโมเนียได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

รายการสารขาเข้า/ขาออก	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (KgCO ₂ e/ปี)	สัดส่วน (ร้อยละ)
<u>สารขาเข้า</u>		
รายการสารเคมี		
- กรดเกลือ (HCl)	11,437.26	0.08
- โซดาแอช (NaCO ₃)	67,059.78	0.44
- โซดาไฟ (NaOH)	1,945.68	0.01
- คลอรีนน้ำ (NaOCl)	28,604.20	0.19
- กำมะถัน (S ₈)	1,882.86	0.01
- โซเดียมเมตต้าไบซัลไฟท์ (Na ₂ S ₂ O ₅)	396.00	0.00
พลังงานเชื้อเพลิง		
- น้ำมันดีเซล	598,325.29	3.64
- น้ำมันเตา	3.81 × 10 ⁶	22.05
สาธารณูปโภค		
- ไฟฟ้า	10.99 × 10 ⁶	72.59
- น้ำประปา	128,000.00	0.85
<u>สารขาออก</u>		
การบำบัดน้ำเสีย	22,300.00	0.2
รวม	15.15 × 10⁶	100

ผลการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในส่วน of กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา จากตารางที่ 3.3 พบว่ามีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 15.15 × 10⁶ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี หรือมีค่าเท่ากับ 122.64 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตันแป้งมันสำปะหลัง และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกพบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดถึงร้อยละ 72.59 รองลงมาคือการใช้น้ำมันเตาร้อยละ 22.05

เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจำแนกตามรายการของสารขาเข้าและสารขาออกพบว่า สารขาเข้าในส่วนปัจจัยด้านการใช้สาธารณูปโภคพบว่า มีสัดส่วนของคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงที่สุดคือร้อยละ 73.40 รองลงมาคือ ปัจจัยด้านการใช้พลังงานเชื้อเพลิงร้อยละ 25.7 ส่วนสารขาออกพบว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียมีสัดส่วนที่น้อยมากคิดเป็นร้อยละ 0.2

3.1.4 ค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของงานวิจัยอื่นๆ ที่ทำการศึกษาในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการผลิตแยมสำหรับของงานวิจัยอื่นๆ ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างพบว่ามีการวิจัยของ สุธี คงศิริ (2552) ได้ประเมินวัฏจักรชีวิตของหัวมันสำปะหลังและแยมสำหรับของ ชาศรีย์ รัช (2554) ได้ศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตแยมสำหรับของ และ Chavalparit and Ongwandee (2009) ศึกษาแนวทางการใช้เทคโนโลยีสะอาดในโรงงานผลิตแยมสำหรับของ โดยผลการศึกษาค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 วอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแยมสำหรับของ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

งานวิจัย	จำนวนโรงงาน ที่ศึกษา	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม/ตันแยม สำหรับของ)	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า/ตันแยมสำหรับของ)
งานวิจัยนี้	1	39.22	122.64
สุธี คงศิริ (2552)	4	12.34	531
ศาสรีย์ รัช (2554)	4	-	28.40-112.19
Chavalparit and Ongwandee (2009)	8	18±11.3	-

จากตารางที่ 3.4 พบว่าค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ค่อนข้างแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณการใช้วัตถุดิบ เทคโนโลยีในการผลิต รวมถึงนโยบายในเรื่องการหมุนเวียนทรัพยากรและของเสียกลับมาใช้ใหม่ที่แตกต่างกันของแต่ละโรงงาน

3.2 การประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรม

ในภาคเกษตรกรรมได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 30 คน และขอความอนุเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิด้านการเกษตร สภาพภูมิอากาศ ข้อมูลพืช และข้อมูลดิน จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลการประเมินวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในภาคเกษตรกรรม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 โปรแกรม CROPWAT 8.0

โปรแกรม CROPWAT 8.0 เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมาณค่าการคายระเหยน้ำของพืช (Crop Evapotranspiration; ET) โดยการคำนวณค่าการระเหยน้ำของพืชได้ใช้สมการของ Penman-Monteith (FAO, 1992) ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำประกอบด้วยข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลพืช และข้อมูลดิน ผลการคำนวณของโปรแกรม CROPWAT 8.0 จะแสดงถึงความต้องการน้ำของพืชเป็นช่วงระยะตามที่ต้องการหรือตลอดฤดูการปลูกพืช และสามารถนำค่าความต้องการน้ำของพืชมาคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กิโลกรัมและบลูต่อไป

3.2.2 ข้อมูลทุติยภูมิที่สำคัญในการประเมินค่าводเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์

3.2.1.1 พื้นที่ปลูกและผลผลิตมันสำปะหลัง

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทยถือเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกมันสำปะหลังมากที่สุด ซึ่งในปี 2553 และ 2554 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ได้รายงานพื้นที่การปลูกและกำลังการผลิตมันสำปะหลัง แสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การปลูกมันสำปะหลังของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทยในปี 2553 และ 2554

จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)		ผลผลิต (ตัน)		ผลผลิต/ไร่ (ตัน)	
	2553	2454	2553	2554	2553	2554
นครราชสีมา	1,758,626	1,622,393	5,050,774	4,954,788	2.87	2.82
ชัยภูมิ	363,839	354,772	1,039,124	1,105,115	2.86	3.12
บุรีรัมย์	198,535	201,397	546,368	626,949	2.75	3.11
สุรินทร์	44,972	54,059	127,451	151,798	2.83	2.81

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554 และ 2557)

การปลูกมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จะเริ่มปลูกในต้นฤดูฝนเดือนพฤษภาคม และทำการเก็บเกี่ยวในเดือนเมษายนของปีถัดไป รวมทั้งสิ้น 360 วัน จากตารางที่ 3.5 พบว่า จังหวัดนครราชสีมาที่มีพื้นที่ในการปลูกมันสำปะหลังมากที่สุด ส่วนจังหวัดชัยภูมิมีผลผลิตต่อไร่มากที่สุด การศึกษาปริมาณความต้องการน้ำของพืช โดยใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ในการคำนวณต้องอาศัยข้อมูลสำคัญดังต่อไปนี้

3.2.2.2 ข้อมูลนำเข้าโปรแกรม CROPWAT 8.0

- ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ข้อมูลสภาพภูมิประเทศหรือทำเลที่ตั้งของพื้นที่ที่ทำการศึกษา ได้แก่ จุดพิกัดเส้นรุ้ง (Latitude) จุดพิกัดเส้นแวง (Longitude) และค่าความสูงจากระดับน้ำทะเล (Altitude above mean Sea Level; MSL) ซึ่งได้ใช้พิกัดของศูนย์อุตุนิยมวิทยาของแต่ละจังหวัดเป็นตัวแทนพื้นที่ แสดงได้ในภาคผนวก ก-1

- ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ได้ใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนในปี 2553 และ 2554 ซึ่งข้อมูลที่ใช้ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเร็วลม ความยาวนานของแสงแดด (Sunshine duration) และปริมาณน้ำฝนรวม โดยข้อมูลดังกล่าวได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา แสดงได้ในภาคผนวก ก-2

- ข้อมูลพืช (Crop data) ข้อมูลของมันสำปะหลัง ได้ใช้ข้อมูลอ้างอิงจากองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO, 1984) โดยมีข้อมูลที่สำคัญดังต่อไปนี้

- ช่วงการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง (Length stage) ตลอดฤดูปลูกได้แบ่งออกเป็น 4 ระยะด้วยกัน รวมทั้งสิ้น 360 วันได้แก่

- ระยะเริ่มต้น (Initial stage) 150 วัน
- ระยะเจริญเติบโต (Development stage) 40 วัน
- ระยะกลาง (Mid-season stage) 110 วัน
- ระยะสุดท้าย (Late stage) 60 วัน
- ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของมันสำปะหลัง (Crop coefficient: Kc) เป็นค่าแสดงถึงการใช้น้ำของพืชในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต
 - ระยะเริ่มต้นต้องการใช้น้ำเท่ากับ 0.30 มม./วัน
 - ระยะกลางต้องการใช้น้ำเท่ากับ 1.10 มม./วัน
 - ระยะสุดท้ายต้องการใช้น้ำเท่ากับ 0.50 มม./วัน
- การหยั่งลึกของรากพืช (Rooting depth) มันสำปะหลังมีรากยาวในระยะเริ่มต้นประมาณ 0.70 เมตร และเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จนถึงระยะเก็บเกี่ยวมีรากยาวประมาณ 1.0 เมตร
- ระดับการขาดน้ำของพืช (Depletion level) หมายถึงระดับที่พืชจะเริ่มขาดน้ำเมื่อความชื้นในดินลดลงใกล้ถึงจุดเหี่ยวถาวรสำหรับมันสำปะหลัง FAO ได้รายงานว่า มีค่าประมาณร้อยละ 40 ของปริมาณความชื้นที่พืชใช้เป็นประโยชน์ได้
- ค่าปัจจัยการตอบสนองต่อการให้ผลผลิตของพืช (Yield response factor; Ky) จากรายงานของ FAO ยังไม่พบผลการศึกษาค่า Ky ของมันสำปะหลังดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ข้อมูลของมันฝรั่งแทนซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้
 - ระยะเริ่มต้น (Initial stage) เท่ากับ 0.6
 - ระยะเจริญเติบโต (Development stage) เท่ากับ 0.33
 - ระยะกลาง (Mid-season stage) เท่ากับ 0.7
 - ระยะสุดท้าย (Late stage) เท่ากับ 0.2
- ค่าความสูงของพืช (Crop height) หมายถึง ค่าความสูงที่สุดตลอดอายุของพืชซึ่งมันสำปะหลังมีค่าความสูงที่สุดเท่ากับ 1.5 เมตร
- ข้อมูลดิน (Soil data) เป็นข้อมูลชุดดิน (Soil series) ที่ใช้ปลูกพืชรายจังหวัดประกอบด้วย ค่าปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดในดิน (Total available soil moisture: TAM) อัตราการแทรกซึมน้ำผิวดิน (Maximum rain infiltration rate) การหยั่งลึกของรากพืช (Maximum rooting depth) และปริมาณความชื้นดินที่เริ่มขาด (Initial soil moisture depletion) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความชื้นในดินทั้งหมด แสดงได้ดังภาคผนวก ก-3

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลพืชของม้นสำปะหลัง

รายการ	ระยะเริ่มต้น	ระยะ เจริญเติบโต	ระยะกลาง	ระยะ สุดท้าย
การเจริญเติบโต (วัน)	150	40	110	60
ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop Coefficient: Kc)	0.3	-	1.1	0.5
ค่าการหยั่งลึกของรากพืช (เมตร)	0.7	-	-	1.0
ค่าระดับการขาดน้ำของพืช (ร้อยละ)	0.40	0.40	0.40	0.40
ค่าปัจจัยในการตอบสนองต่อการให้ผลผลิตของพืช* (Yield Response : Ky)	0.6	0.33	0.7	0.2
ความสูงของพืชสูงสุด (m)	-	-	150	-

หมายเหตุ* ใช้ข้อมูลค่า Yield Response : Ky ของฝรั่งมันแทนเนื่องจากยังไม่มีรายงานข้อมูลมันสำปะหลัง

3.2.2.3 ข้อมูลการใช้ปุ๋ยในการปลูกมันสำปะหลัง

การปลูกมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จะใส่ปุ๋ยในช่วงหลังปลูกมันสำปะหลังไปแล้วประมาณ 1 เดือน ซึ่งปุ๋ยที่นิยมใช้เป็นปุ๋ยที่มีสัดส่วนของไนโตรเจน (N) : ฟอสฟอรัส (P_2O_5) : โพแทสเซียม (K_2O) เท่ากับ 15 : 15 : 15 ในอัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ และใส่ปุ๋ยยูเรียร่วมด้วยในช่วงอายุ 2-3 เดือน ในอัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ ครอบคลุมพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังร้อยละ 30 ของพื้นที่ทั้งหมด ปริมาณการใช้ปุ๋ยในการปลูกมันสำปะหลัง แสดงได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ปริมาณการใช้ปุ๋ยในการปลูกมันสำปะหลัง โดยเฉลี่ยในปี 2553-2554

ปุ๋ยเคมี	ปริมาณ กิโลกรัม/ไร่
N	14.4
P_2O_5	7.5
K_2O	7.5

การปลูกมันสำปะหลังของจังหวัดนครราชสีมาพบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้ปุ๋ยในปี 2553-2554 มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม เท่ากับ 14.4 7.5 และ 7.5 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ

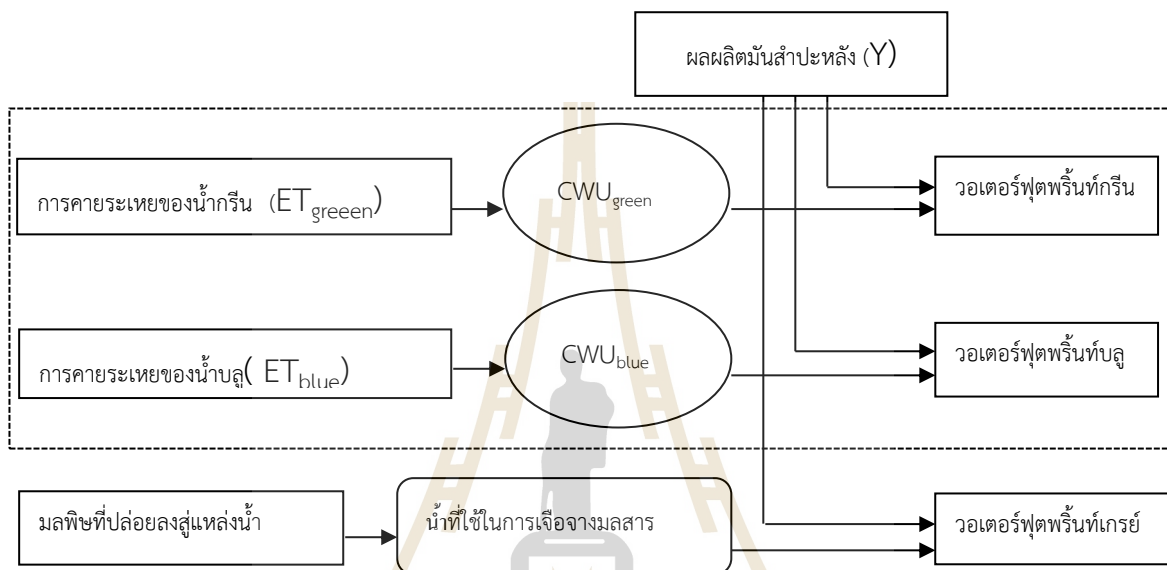
3.2.2.4 การใช้พลังงานเชื้อเพลิง

การใช้พลังงานเชื้อเพลิงในการปลูกมันสำปะหลังจะใช้เฉพาะน้ำมันดีเซลสำหรับเติมให้กับรถไถเพื่อพรวนดินและยกร่องมันสำปะหลัง การเก็บเกี่ยว และใช้ในรถบรรทุกเพื่อการขนส่งหัวมัน

ลำปะหลังไปจำหน่ายซึ่งจะบรรทุกด้วยรถบรรทุกขนาด 6 ล้อ โดยวิ่งในระยะทางไปและกลับโดยเฉลี่ยประมาณ 30 กิโลเมตร

3.2.3 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมันสำปะหลัง

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมันสำปะหลังเป็นผลรวมของการใช้น้ำตลอดการปลูกรวมถึงปริมาณน้ำเพื่อใช้ในการเจือจางมลสารที่อยู่ในน้ำเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการเพาะปลูก โดยภาพที่ 3.8 แสดงแผนผังการใช้น้ำในการปลูกมันสำปะหลัง



หมายเหตุ : กรอบเส้นประใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ในการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของมันสำปะหลัง

ภาพที่ 3.8 แผนผังการใช้น้ำในการปลูกมันสำปะหลัง

การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดของการปลูกมันสำปะหลัง สามารถคำนวณได้จากผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนบลู และเกรย์ จากสูตรดังต่อไปนี้

$$WF_{total} = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{grey}$$

โดยการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลู คำนวณได้จากสูตร

$$WF_{green,blue} = \frac{CWU_{green,blue}}{Y}$$

CWU_{green} = ค่าความต้องการใช้น้ำฝนของพืช (ลบ.ม./ปี)

CWU_{blue} = ค่าความต้องการใช้น้ำชลประทานของพืช (ลบ.ม./ปี)

Y = ผลผลิต (ตัน/ปี)

และค่าความต้องการใช้น้ำฝนและน้ำชลประทานของพืชคำนวณได้จากสูตร

$$CWU_{\text{green,blue}} = 1.6 \sum_{d=1}^{\text{lgp}} ET_{\text{green,blue}}$$

- ET_{green} = ปริมาณการคายระเหยน้ำฝน
 ET_{blue} = ปริมาณการคายระเหยน้ำชลประทาน
 1.6 = ค่าคงที่ใช้ในการแปลงหน่วยจาก (มม./วัน) ให้เป็น (ลบ.ม./ไร่)

ส่วนสมการการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ คำนวณได้จากสูตร

$$WF_{\text{grey}} = \frac{(\alpha \times AR) / (C_{\text{max}} - C_{\text{natural}})}{Y}$$

- WF_{grey} = ปริมาณน้ำเสมือนเกรย์ของมันเป็นค่าลบ (ลบ.ม./ตัน)
 AR = อัตราการใช้สารเคมีในพื้นที่เพาะปลูก (ตัน/ปี)
 α = สัดส่วนการชะล้าง
 C_{max} = ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ (กิโลกรัม/ลบ.ม.)
 C_{natural} = ความเข้มข้นของมลพิษตามธรรมชาติ (กิโลกรัม/ลบ.ม.)
 Y = ผลผลิต (ตัน/ปี)

3.2.3.1 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลู (Green and blue water footprint)

การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลูของมันเป็นค่าลบ หลังจากข้อมูลนำเข้าโปรแกรม CROPWAT 8.0 ข้างต้น สามารถคำนวณค่าความต้องการน้ำของพืช และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีนและบลูได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าคายระเหยน้ำ ค่าความต้องการใช้น้ำของพืชและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ประเภทกรีนและบลูของการปลูกมันสำปะหลัง

จังหวัด	ค่าคายระเหยน้ำ (มิลลิเมตร)		ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (ลบ.ม./ไร่/ปี)		วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม./ตันหัวมัน)	
	กรีน	บลู	กรีน	บลู	กรีน	บลู
นครราชสีมา	333	502	532	804	189	285
ชัยภูมิ	290	612	464	979	149	314
บุรีรัมย์	268	620	429	992	138	319
สุรินทร์	338	583	540	932	192	332

จากการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของการปลูกมันสำปะหลังด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0 แล้วนำมาคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ผลการศึกษาพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลู

มีค่ามากกว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน แสดงให้เห็นว่าการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ต้องอาศัยน้ำจากระบบชลประทานในปริมาณที่มากกว่าการใช้น้ำฝนจากธรรมชาติ ซึ่งการปลูกมันสำปะหลังอาจส่งผลกระทบต่อการใช้น้ำชลประทานของภาคส่วนอื่นๆ เช่น ชุมชน อุตสาหกรรม และพาณิชย์ ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนการปลูกมันสำปะหลังให้เหมาะสมกับปริมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด

3.2.3.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ (Grey water footprint)

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ เป็นปริมาณน้ำเสมือนที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องใช้เพื่อทำการเจือจางมลสารในน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน จากการปลูกมันสำปะหลังพบว่า มลสารส่วนใหญ่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูก โดยข้อมูลการใช้ปุ๋ยจากตารางที่ 3.7 พบว่า เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่สูงที่สุด รองลงมา มีการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงเลือกทำการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว

จากสมการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ ได้กำหนดค่าสัดส่วนการชะล้าง (α) ที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำเท่ากับร้อยละ 10 ของอัตราการใช้ปุ๋ย (Allen *et al.*, 1998) ค่าผลต่างความเข้มข้นของมลสารที่ละลายในน้ำซึ่งค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (C_{max}) ได้อ้างอิงจากค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินของประเทศไทยจากกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งกำหนดให้ค่าไนโตรเจนปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าความเข้มข้นตามธรรมชาติ ($C_{natural}$) มีค่าเท่ากับศูนย์ (Mokonnen and Hoekstra, 2011) ผลการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของการปลูกมันสำปะหลังแสดงได้ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ปริมาณการใช้ปุ๋ย สัดส่วนการชะล้างและค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ของการปลูกมันสำปะหลัง

จังหวัด	ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (ตัน/ตลอดการเพาะปลูก)	สัดส่วนการชะล้าง (ตัน)	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ (ลบ.ม./ตันหัวมัน)
นครราชสีมา	23,362	2,336.25	94
ชัยภูมิ	5,109	510.87	92
บุรีรัมย์	2,900	290.01	93
สุรินทร์	778	77.84	102

3.2.3.3 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมด (Total water footprint)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดของการปลูกมันสำปะหลัง เป็นผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน บลู และเกรย์ แสดงผลได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดของการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

จังหวัด	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม./ตันหัวมันสำปะหลัง)			
	กรีน	บลู	เกรย์	ทั้งหมด
นครราชสีมา	189	285	94	568
ชัยภูมิ	149	314	92	555
บุรีรัมย์	138	319	93	550
สุรินทร์	192	332	102	626
เฉลี่ย	167	313	95	575

ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดของการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างในปี 2553-2554 พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 575 ลบ.ม./ตันหัวมันสำปะหลัง แบ่งออกเป็นประเภทกรีน บลู และเกรย์ เท่ากับ 167 313 และ 95 ลบ.ม./ตันหัวมันสำปะหลัง โดยค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ กรีนและเกรย์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเป็นรายจังหวัดพบว่า จังหวัดสุรินทร์มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 626 ลบ.ม./ตันหัวมันสำปะหลัง รองลงมาคือ นครราชสีมา (568 ลบ.ม./ตันหัวมันสำปะหลัง) ชัยภูมิ (555 ลบ.ม./ตันหัวมันสำปะหลัง) และบุรีรัมย์ (550 ลบ.ม./ตันหัวมันสำปะหลัง) ตามลำดับ

3.2.4 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกมันสำปะหลัง

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการปลูกมันสำปะหลัง ได้รวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกร พบว่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาจากการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทดีเซลสำหรับรถไถพรวนดิน การเก็บเกี่ยว และรถบรรทุกหัวมันสำปะหลังเพื่อการจำหน่าย แผนผังแสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แสดงได้ดังภาพที่ 3.9 ปริมาณการใช้วัตถุดิบและเชื้อเพลิงแสดงได้ดังตารางที่ 3.11



ภาพที่ 3.9 แผนผังการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกมันสำปะหลัง

ตารางที่ 3.11 ปริมาณวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลัง 1 ต้น

วัตถุดิบ	หน่วย	ปริมาณ
ปุ๋ยเคมี		
- สูตร 15 15 15	กิโลกรัม	17.64
- ยูเรีย	กิโลกรัม	1.62
น้ำมันดีเซลในพื้นที่เกษตรกรรม	ลิตร	0.899
น้ำมันดีเซลในการขนส่ง	ลิตร	0.431

การใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง พบว่ามีการใช้ปุ๋ยสูตร 15 15 15 ในปริมาณที่สูงกว่าปุ๋ยยูเรียค่อนข้างมาก เนื่องจากเกษตรกรจะใช้ปุ๋ยสูตร 15 15 15 เป็นหลัก ส่วนการใช้ใช้น้ำมันดีเซลพบว่าใช้ในรถไถในพื้นที่การเกษตร และการขนส่งหัวมันสำปะหลังไปจำหน่ายในระยะทางเฉลี่ย 30 กิโลเมตร ด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ ข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบและเชื้อเพลิงดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกมันสำปะหลัง

วัตถุดิบและเชื้อเพลิง	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (KgCO ₂ e/ตันหัวมัน)	สัดส่วน(ร้อยละ)
ปุ๋ยเคมี		
- สูตร 15 15 15	36.16	76.04
- ยูเรีย	8.96	18.84
น้ำมันดีเซลในพื้นที่เกษตรกรรม	2.43	5.12
น้ำมันดีเซลในการขนส่ง	0.0033	0.01
รวม	47.55	100

ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปลูกมันสำปะหลังพบว่ามีค่าเท่ากับ 47.55 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตันหัวมันสำปะหลัง ซึ่งการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15 15 15 มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 77.04 รองลงมาเป็นปุ๋ยยูเรียร้อยละ 18.48 ส่วนการใช้ใช้น้ำมันดีเซลในพื้นที่การเกษตรร้อยละ 5.12 และการขนส่งสินค้าเพื่อการจำหน่ายมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสัดส่วนที่น้อยมาก

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การประเมินค่าวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

4.1 สรุปผลการวิจัย

4.1.1 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การประเมินแบ่งออกเป็น 2 ภาคส่วนคือ ภาคอุตสาหกรรมและภาคการเกษตร ผลการประเมินสามารถสรุปได้ว่า ในภาคอุตสาหกรรมมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 39.22 ลบ.ม./ตันแป้งมันสำปะหลัง ส่วนในภาคเกษตรกรรมพบว่ามีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งหมดเท่ากับ 575 ลบ.ม./ตันหัวมันสำปะหลัง แบ่งประเภทออกเป็น กรีน บลูและเกรย์ เท่ากับ 167 313 และ 95 ลบ.ม./ตันหัวมันสำปะหลัง โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ กรีนและเกรย์ ตามลำดับ

ในภาคเกษตรกรรมพบว่าการปลูกมันสำปะหลังมีการใช้น้ำจากชลประทานมากกว่าน้ำฝนเกือบ 2 เท่า และมีการใช้น้ำเพื่อเจือจางมลสารในน้ำเสียในปริมาณที่น้อยที่สุด ส่วนในภาคอุตสาหกรรมพบว่ามี การใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน และน้ำเสียที่เกิดขึ้นไม่มีการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกโรงงาน ดังนั้นจึงมีการใช้น้ำประเภทบลูเท่านั้น

ตารางที่ 4.1 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ภาคส่วน	วอเตอร์ฟุตพริ้นท์			
	กรีน	บลู	เกรย์	รวม
อุตสาหกรรม (ลบ.ม./ตันหัวแป้งสําปะหลัง)	-	-	-	39.22
เกษตรกรรม (ลบ.ม./ตันหัวมันสําปะหลัง)	167	313	95	575

4.1.2 คาร์บอนฟุตพริ้นท์

การประเมินแบ่งออกเป็น 2 ภาคส่วนเช่นกัน คือ ภาคอุตสาหกรรมและภาคการเกษตร ผลการประเมินสามารถสรุปได้ว่า ในภาคอุตสาหกรรมมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 122.64 KgCO₂e/ตันแป้งมันสำปะหลัง ส่วนในภาคเกษตรกรรมพบว่ามีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 47.55 KgCO₂e/ตันหัวมันสำปะหลัง

ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่าภาคอุตสาหกรรม ปัจจัยด้านสาธารณูปโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้น้ำมันเตา ส่วนในภาคเกษตรกรรมเกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยเคมีสูตร 15 15 15

ตารางที่ 4.2 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ภาคส่วน	คาร์บอนฟุตพริ้นท์
อุตสาหกรรม (KgCO ₂ e/ตันแป้งมันสำปะหลัง)	122.64
เกษตรกรรม (KgCO ₂ e/ตันหัวมันสำปะหลัง)	47.55

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ในภาคเพาะปลูกมันสำปะหลัง นักวิชาการควรให้ความรู้ด้านวิชาการ การอบรมและการส่งเสริมเทคนิคต่างๆ ให้กับเกษตรกร เพื่อเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังต่อไร่ให้สูงขึ้น ซึ่งจะเป็นการลดค่าอวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ลงได้

4.2.2 นักวิชาการควรศึกษาแนวทางการลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในส่วนการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และมีการใช้ปุ๋ยอื่นๆ ที่สามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้โดยไม่ลดผลผลิตต่อไร่ของมันสำปะหลัง เพื่อเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ อันมีผลกระทบโดยตรงจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน

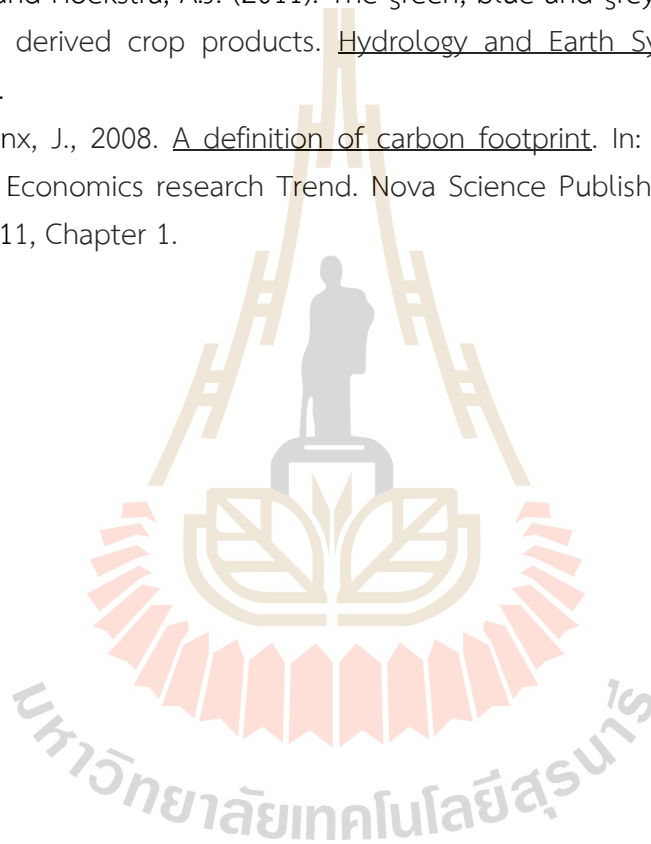
4.2.3 รัฐบาลควรส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการประเมินประเมินอวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตลอดทั้งห่วงโซ่การผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างมาตรฐานของผลิตภัณฑ์และเพื่อเพิ่มขีดความสามารถของการแข่งขันในตลาดโลกในเรื่องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

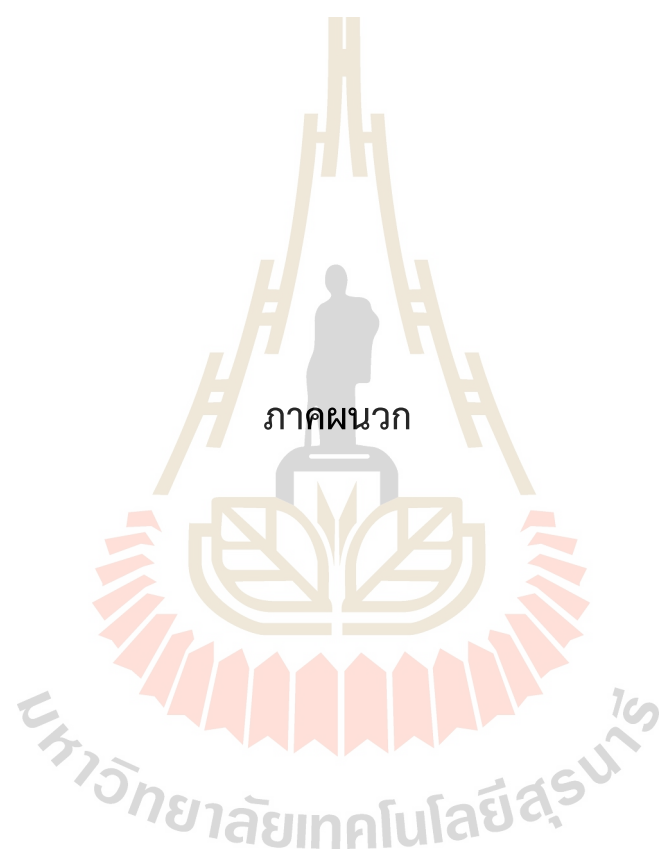


บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. (2552). ระบบข้อมูลวิชาการ. [ออนไลน์] สืบค้นจาก <http://it.doa.go.th/vichakan/news.php?news=14> อ้างอิงเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2554.
- ชาครีย์ ธา. (2554). การจัดทำข้อกำหนดเฉพาะในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย. (2553). สถานการณ์การขาดแคลนหัวมันสำปะหลังกับผลกระทบต่อการค้ามันเส้น/มันอัดเม็ด. เอกสารประกอบการเสวนา. โรงแรมชาเทรียม กรุงเทพฯ. 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553.
- สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย. (2554). การผลิตแป้งมันสำปะหลัง. กรุงเทพฯ: สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย.
- สำนักงานคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการประกอบธุรกิจการค้าเกษตรล่วงหน้า. (2554). รายงานผลการศึกษาค่าเกษตรประเภทมันสำปะหลัง. เอกสารเผยแพร่. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.thailandtapiocastarch.net/download/download-th-50.pdf>. อ้างอิงเมื่อวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2556.
- คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. (2554). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2554). สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2553. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2557). สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2556. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- สุธี คงศิริ. (2552). การประเมินวัฏจักรชีวิตของหัวมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper, No. 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Chavalparit, O. and Ongwadee, M. (2009). Clean technology for the tapioca starch industry in Thailand. Journal of Cleaner Production. 17: 105-110.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1984). Crop water requirement - Guideline for predicting crop water requirement - FAO irrigation and drainage paper 24. FAO, Rome. 144 p.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1992). Chapter 2 - FAO Penman-Monteith equation. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, 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). Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.J. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences.15: 1577-1600.
- Wiedmann, T., Minx, J., 2008. A definition of carbon footprint. In: Persova, C.C. (Ed.), Ecological Economics research Trend. Nova Science Publisher, Hauppauge NY, USA. Pp.1-11, Chapter 1.





ภาคผนวก ก
ข้อมูลเชิงพื้นที่ สภาพอากาศและข้อมูลดิน

ตาราง ก-1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ของแต่ละจังหวัด

จังหวัด	จุดพิกัดเส้นรุ้ง (องศาเหนือ)	จุดพิกัดเส้นแวง (องศาตะวันออก)	ความสูงจาก ระดับน้ำทะเล (เมตร)
นครราชสีมา	14.57	102.4.36	180
ชัยภูมิ	15.48	102.02	180
บุรีรัมย์	15.48.0	102.2.0	192
สุรินทร์	14.53	103.27	100

ตาราง ก-2 ข้อมูลสภาพอากาศของแต่ละจังหวัด

จังหวัด	เดือน	อุณหภูมิ สูงสุด (°C)	อุณหภูมิ ต่ำสุด (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ความเร็ว ลม (ก.ม./วัน)	แสงแดด (ชั่วโมง)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)
นครราชสีมา	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

ตาราง ก-2 (ต่อ)

จังหวัด	เดือน	อุณหภูมิ สูงสุด (°C)	อุณหภูมิ ต่ำสุด (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ความเร็ว ลม (ก.ม./วัน)	แสงแดด (ชั่วโมง)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)
ชัยภูมิ	มกราคม	28.8	17.6	59	146	8.4	0.0
	กุมภาพันธ์	33.4	20.8	59	93	7.7	4.8
	มีนาคม	31.1	21.4	56	128	6.0	3.0
	เมษายน	35.1	24.2	64	84	7.0	158.9
	พฤษภาคม	33.5	25.0	76	75	4.7	158.5
	มิถุนายน	32.8	25.2	73	128	2.4	10.1
	กรกฎาคม	32.5	24.5	76	137	2.8	130.8
	สิงหาคม	31.1	24.4	81	106	3.4	325.8
	กันยายน	31.1	23.6	84	88	3.0	282.1
	ตุลาคม	30.5	23.6	78	106	5.2	104.5
	พฤศจิกายน	31.5	21.9	67	120	8.7	0.8
	ธันวาคม	28.6	18.6	63	164	6.5	0.0
บุรีรัมย์	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
สุรินทร์	มกราคม	29.8	16.5	63	173	7.0	0.0
	กุมภาพันธ์	33.4	20.9	63	106	7.3	56.9
	มีนาคม	32.0	20.7	61	177	5.8	3.1
	เมษายน	35.0	24.3	66	124	6.4	99.8
	พฤษภาคม	34.0	25.2	75	111	5.4	237.9
	มิถุนายน	33.3	25.3	78	151	5.5	235.9
	กรกฎาคม	32.6	24.8	79	160	5.4	328.1
	สิงหาคม	31.7	24.4	82	133	2.9	240.9

ตาราง ก-2 (ต่อ)

จังหวัด	เดือน	อุณหภูมิ สูงสุด (°C)	อุณหภูมิ ต่ำสุด (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ความเร็ว ลม (ก.ม./วัน)	แสงแดด (ชั่วโมง)	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)
	กันยายน	30.9	24.5	85	124	2.8	315.6
	ตุลาคม	30.6	23.7	81	146	5.1	286.3
	พฤศจิกายน	32.2	23.2	67	168	6.7	0.3
	ธันวาคม	28.8	21.1	66	217	7.1	0.0

ตาราง ก-3 ข้อมูลดิน

จังหวัด	ชุดดิน	ความชื้นที่เป นประโยชน์ทั้งหมด ในดิน (มม./ม.)	อัตราการแทรก ซึมน้ำผานผิวดิน (มม./วัน)	ความชื้นดินที่ เริ่มขาด (%)	การหยั่งลึก ของรากพืช (m)
นครราชสีมา	40	140	300	50	0.6
ชัยภูมิ	40	140	300	50	0.6
บุรีรัมย์	40	140	300	50	0.6
สุรินทร์	40	140	300	50	0.6

ภาคผนวก ข
แบบสัมภาษณ์การเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรและของเสียที่เกิดขึ้นจากการปลูกลำไย
ลำปะหลัง

ชื่อเจ้าของไร่
ที่ตั้ง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกลำไยลำปะหลัง

- A1. พื้นที่ทั้งหมดในการเพาะปลูก.....พันธุ์.....
A2. เดือนที่ลงกล้าเดือนที่เก็บเกี่ยว
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)	น้ำมัน/หน่วย	หมายเหตุ

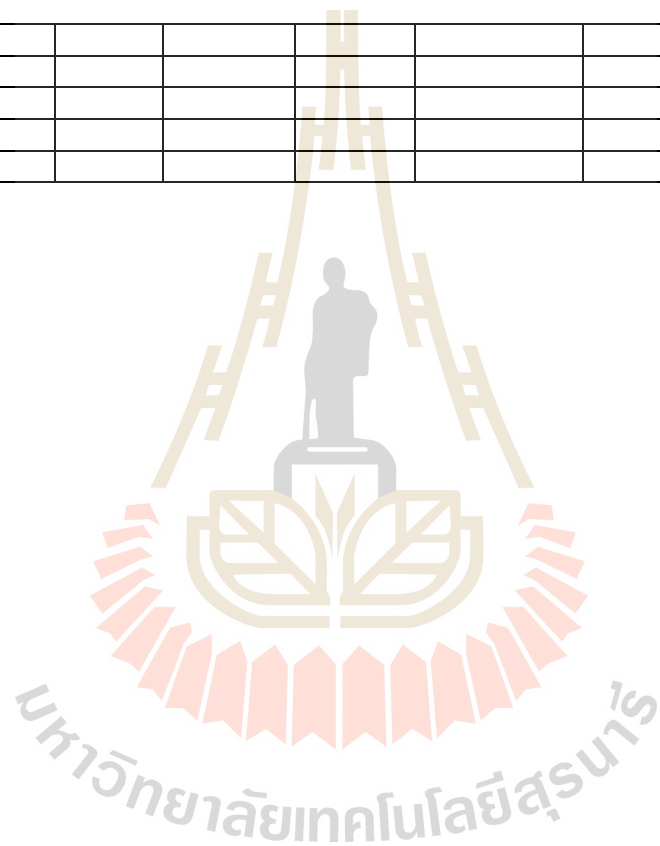
ภาคผนวก ค
ตารางเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิต
แป้งมันสำปะหลัง

ตาราง ค การเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสียของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

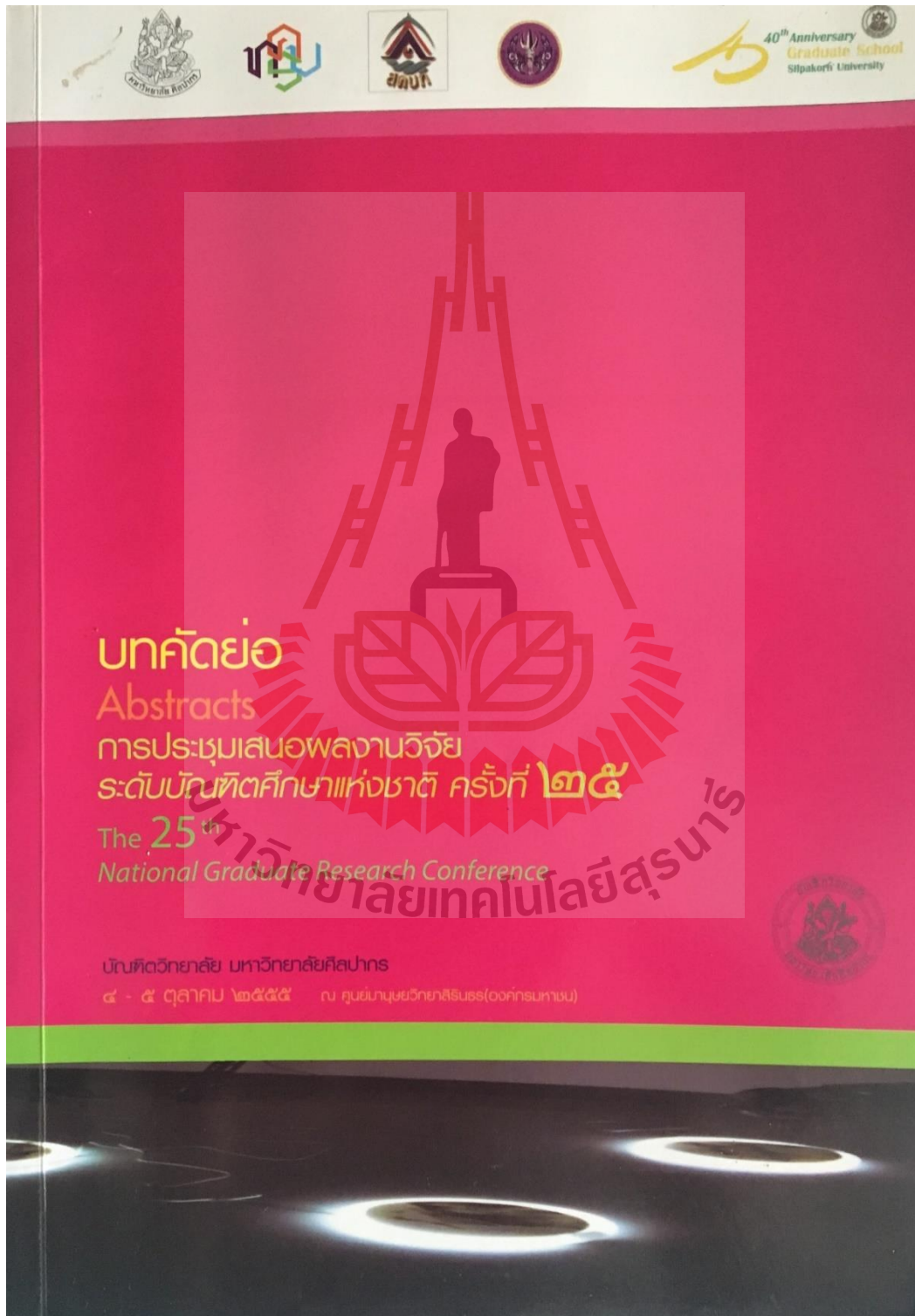
1. ข้อมูลทั่วไป (General Data)							
วันที่กรอกข้อมูล							
ระยะเวลาการผลิต (Time period)							
วิธีการผลิตคร่าว ๆ							
แผนผังการผลิต (Process Flow Diagram)							
รูปผลิตภัณฑ์							
	รายการ	ปริมาณ			แหล่งที่มา (บริษัท... / โรงงาน... / นำเข้าจากประเทศ ...)	แหล่งที่ไป / วิธีการจัดการ (ทั้งเป็นขยะ / ผึ่งกลบ / ขายต่อ ฯลฯ)	รายละเอียดและข้อมูลเพิ่มเติมอื่น ๆ (ถ้ามี) เช่น Specifications, Technology ฯลฯ
		ค่าจริง	ค่าจากการคำนวณ	หน่วย			
2. ผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์พลอยได้ (Products and Co-Products)							
ผลิตภัณฑ์ (Products)							
1				ตัน/ปี			
ผลิตภัณฑ์พลอยได้ (Co-Products)							
3. บัญชีรายการสารขาเข้า (Input Inventory)							
วัตถุดิบ (raw material)							
1							
2							
3							
4							
พลังงานและสาธารณูปโภค							
	Mill						
1	ไฟฟ้า (ผลิตเองในโรงงาน)						
2	ไฟฟ้า (รับจากแหล่งผลิตภายนอกโรงงาน)						
3	ไอน้ำ (ผลิตเองในโรงงาน)						
4	ไอน้ำ (รับจากแหล่งผลิตภายนอกโรงงาน)						
5	น้ำ (ประปา/บาดาล/น้ำผิวดิน)						
6	อื่น ๆ โปรดระบุ						
	Field						
1	น้ำ (น้ำฝน/น้ำชลประทาน)						
เชื้อเพลิง							
	เชื้อเพลิง (mill)						

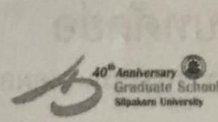
1	น้ำมันดีเซลสำหรับขนส่ง วัตถุดิบ			ลิตร/ปี			
2	น้ำมันเตา			ลิตร/ปี			
3	แก๊ส			ตัน/ปี			
	เชื้อเพลิง (Field)						
1	น้ำมันดีเซลสำหรับเก็บเกี่ยว และขนส่งวัตถุดิบ			ลิตร/ปี			
อื่น ๆ (ถ้ามี) โปรดระบุ							
1							
2							
3							
4							
5							
4. บัญชีรายการสารขาออก (Output Inventory)							
มลสารทางน้ำ (Emission to water)							
1	อัตราการไหลของน้ำเสีย			ลบ.ม./วัน			
2	องค์ประกอบของน้ำเสีย (mill)						
	- TDS			มก./ลิตร			
	- TSS						
	- BOD			มก./ลิตร			
	- COD			มก./ลิตร			
	- Total hardness as CaCO ₃			มก./ลิตร			
	- Calcium hardness			มก./ลิตร			
	- M-Alkalinity			มก./ลิตร			
	-Temperature			Degree C			
	- pH						
	- Conductivity			micro S			
	- Oil&grease			มก./ลิตร			
	- Total Nitrogen			มก./ลิตร			
	- Total Phosphorus			มก./ลิตร			
	- cyanide			มก./ลิตร			
	- Heavy Metals			มก./ลิตร			
	- อื่น ๆ (ถ้ามี) โปรดระบุ						
3	องค์ประกอบของน้ำเสีย (Field)						
	- total-N in runoff						
	- pesticide						
มลสารทางอากาศ (Emission to air)							
1	อัตราการไหลของก๊าซเสีย			g/s			
2	องค์ประกอบของก๊าซเสีย (mill)						
	- CO						
	- CO ₂						
	- SO ₂						
	- PM10						
3	องค์ประกอบของก๊าซเสีย (Field)						
	- CO ₂						
	- CH ₄						
	- NOx						
	- N ₂ O						

มลสารในดิน (Emission to soil)							
1							
2							
3							
4							
5							
กากของเสีย (Solid waste)							
1	Tapioca Root Pulp			ตัน/ปี			
2	Tapioca Pulp			ตัน/ปี			
3	ตะกอนจากระบบบำบัด						
4	Ash						
5							
3							
4							
อื่น ๆ (ถ้ามี) โปรดระบุ							
1							
2							
3							
4							
5							



ภาคผนวก ง
การเผยแพร่ผลงานวิจัย





การประชุมเสนอผลงานวิจัย
ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 25



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

The carbon footprint of cassava starch processing

ผู้วิจัย มนัสวี พานิชนอก, ขนิษฐา มีวาสนา และ พงศ์เทพ สุวรรณวาริ

สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัย: วิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

วิธีวิจัย: เก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตามกรอบวิธีการของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ที่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐานของ ISO 14040:2006 และวิธีการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้ดำเนินการตามวิธีมาตรฐานของ PAS 2050:2008

ผลการศึกษาวิจัย: การวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตแป้งมันสำปะหลังพบว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์คิดเป็น 0.12 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ากับ กิโลกรัมแป้งมันสำปะหลัง และข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและขาออกพบว่า ปัจจัยด้านการใช้สาธารณูปโภคก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด

สรุป/ข้อเสนอแนะจากการวิจัย: ลดการใช้สาธารณูปโภคโดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า เช่น การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐานเพื่อจะได้ไม่ต้องหมุนเวียนวัตถุดิบที่ไม่ได้คุณภาพกลับไปผลิตซ้ำ

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์, ก๊าซเรือนกระจก, ภาวะโลกร้อน

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) : อ.ดร.ชนิษฐา มีวาสนา
(ภาษาอังกฤษ) : Dr. Khanidtha Meevasana

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3749800029158

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำ

4. หน่วยงาน

สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย สำนักวิชาแพทยศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 044-223-962 โทรสาร 044-223-920
Email: mkhanidtha@gmail.com, mkhanidtha@sut.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2551 วิทยาศาสตร์ดุสิตบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม (นานาชาติ) จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2544 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาชีวเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (เกียรตินิยม)

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- การจัดการสารเคมีอันตราย, สถิติสารเคมี, การนำเข้าส่งออกสินค้าประเภทสารเคมีผ่านกรม
ศุลกากร

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 เป็นหัวหน้าโครงการวิจัย:

- 1) Marungrueng K., Pavasant P. Removal of basic dye (Astrazon blue FGRL) using macroalga, *Caulerpalentillifera*...**Journal of Environmental Management**78(3), 2006, p.268-274.
- 2) Marungrueng K., Pavasant P. High performance biosorbent (*Caulerpalentillifera*) for basic dye removal. **Bioresource Technology**, 98(8), 2007, p.1567-1572.
- 3) Meevasana, K., Pavasant, P. Quantitative measuring technique from binary dye mixtures. **ScienceAsia** 34, 2008, p.390-394.

7.2 เป็นผู้ร่วมวิจัย:

- 1) Kiatkitipong, W., Wongsuchoto, P., Meevasana, K., Pavasant, P. When to buy new electrical/electronic products?..**Journal of Cleaner Production**16(3), 2008, p.1339-1345.
- 2) Punjonghan, P., Meevasana, K., Pavasant, P. Influence of particle size and salinity on the adsorption of basic dyes by agricultural wastes: dried seagrass (*Caulerpalentillifera*)..**Journal of Environmental Sciences**20(6), 2008, p.760-768.

- 3) วรพล เกียรติกิตติพงษ์, พรทิพย์ วงศ์สุโขโต, ขนิษฐา มารุ่งเรือง, ประเสริฐ ภูวสันต์. การประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซากผลิตภัณฑ์. วารสารสิ่งแวดล้อม ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 (ก.ค.-ก.ย. 2549) หน้า 34-45.

