การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง พื้นที่จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย

The Water Footprint Assessment of Cassava based Ethanol in Lopburi of Thailand

อนัตยา บุญฮวด (Anattaya Boonhuad)* ดร.นาฎสุดา ภูมิจำนงค์ (Dr.Nathsuda Pumijumnong)**
ดร.อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย (Dr.Achara Ussawarujikulchai)***

ABSTRACT

The objective of this study is to assess water footprint of ethanol from cassava based in Lopburi Province of Thailand. The results of green and grey water footprint from cassava crop are 333, and 97 m^3/ton. Total water footprint of cassava crop is 430 m^3/ton. While the blue water footprint is not represent in Lopburi cassava crop. The result of blue water footprint taken from ethanol production process is 11 liter water/liter ethanol. While the result of ethanol production process is not represent in term of green and grey water footprint because of the factory do not intake green water to be raw material and wastewater from factory are discharged to farm tree field therefore the grey water is not represent. The result of water footprint of ethanol based cassava in term of green, blue and grey water footprint are 1,963, 11 and 570 liter water/liter ethanol, respectively.

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ในพื้นที่จังหวัดลพบุรี ผลการศึกษาพบว่า กรีน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกมันสำปะหลัง คือ 333 และ 97 ลูกบาศก์เมตร (น้ำ)/ตัน (มันสำปะหลัง) ตามลำดับ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการปลูกมันสำปะหลัง คือ 430 ลูกบาศก์เมตร (น้ำ)/ตัน (มันสำปะหลัง) และไม่พบว่ามีบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการปลูกมันสำปะหลัง เมื่อศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตเอทานอลในอุตสาหกรรมพบว่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 11 ลิตร (น้ำ)/ลิตร (เอทานอล) และจากการศึกษาในภาคอุตสาหกรรมไม่พบกรีนและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เนื่องจากไม่มีการนำกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มาใช้ในกระบวนการผลิต และน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะส่งไปใช้รดน้ำในพื้นที่เกษตรของโรงงาน ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการผลิตเอทานอลที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ พบว่า กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 1,963 ลิตร (น้ำ)/ลิตร (เอทานอล) บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 11 ลิตร (น้ำ)/ลิตร (เอทานอล) และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มีค่าเท่ากับ 570 ลิตร (น้ำ)/ลิตร (เอทานอล)

คำสำคัญ: วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มันสำปะหลัง เอทานอล

Key Words: Water footprint, Cassava, Ethanol

* *นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*

** *รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*

*** *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญสำหรับการดำรงชีวิต การใช้น้ำสำหรับอุปโภคและบริโภคสามารถจำแนกได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น จากการผลิตอาหาร เส้นใย และ พลังงาน ทั้งจากการบริโภคในภาคครัวเรือน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ดังนั้นพิจารณาการใช้น้ำในรูปของทรัพยากรธรรมชาติและปล่อยมลพิษ ออกสู่สิ่งแวดล้อม วิธีการในการประเมินปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ในรูปของ กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พิจารณาจากปริมาณหยาดน้ำฟ้าที่ใช้ บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พิจารณาจากปริมาณน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่ใช้ ส่วนเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์พิจารณาจากปริมาณน้ำดีที่ใช้เพื่อเจือจางน้ำเสียให้มีคุณภาพตามแหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับน้ำเสียนั้นๆ (Aldaya and etc., 2011)

การส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้พิจารณาพลังงานชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งสามารถผลิตได้จากพืชพลังงาน และน้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืชซึ่งแหล่งน้ำที่พืชใช้มาจากหยาดน้ำฟ้าและน้ำชลประทาน ในทำนองเดียวกันน้ำยังเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนอุตสาหกรรมเพื่อผลิตพลังงานทางเลือก ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการใช้น้ำมักเกิดขึ้นทั้งในขั้นตอนการปลูกพืชและกระบวนการอุตสาหกรรม พลังงานชีวภาพสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ ไบโอดีเซล และเอทานอล ซึ่งเอทานอลใช้สำหรับผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อผลิตน้ำมนแก๊สโซฮอลล์ และเอทานอลสามารถผลิตได้จากพืชหลากหลายชนิด โดยเฉพาะพืชประเภทที่ผลิตน้ำตาล และแป้ง เช่น อ้อย ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เป็นต้น สำหรับประเทศไทยนิยมผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย

เพื่อตระหนักถึงความสำคัญของการใช้พลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน ภายใต้การดำเนินงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงานจึงได้จัดทำแผนยุทธศาสตร์ “แผนพัฒนาเอทานอล 15 ปี” โดยมีเป้าหมายส่งเสริมให้มีการผลิตและบริโภคเอทานอลมากกว่า 9 ล้านลิตรต่อวัน ในปี 2020 ซึ่งผลิตจากอ้อยและมันสำปะหลังเป็นหลัก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2008)

เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นหนึ่งในพืชหลักสำหรับผลิตเอทานอล ตามแผนพัฒนาเอทานอล 15 ปี และได้ส่งเสริมให้มีโรงงานผลิตเอทานอลในพื้นที่จังหวัดลพบุรี โดยมีกำลังการผลิต 200,000 ลิตร ต่อวัน ประกอบกับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้กำหนดพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังโดยระบุให้ลพบุรี เป็นเขตปลูกมันสำปะหลังเขตที่ 7 โดยมีเป้าหมายให้มีการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลปีละ 2.27 ล้านตัน เพิ่มเป็น 15 ล้านตัน ภายในปี 2022 และในปี 2010 ประเทศไทยสามารถผลิตมันสำปะหลังได้ทั้งสิ้น 22 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการผลิตเอทานอลทั้งห่วงโซ่โดยใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ
2. เพื่อประเมินปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการปลูกมันสำปะหลัง
3. เพื่อประเมินปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตเอทานอลในอุตสาหกรรมโดยใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ
4. เพื่อประเมินปริมาณกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการผลิตเอทานอลโดยใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบทั้งห่วงโซ่

วิธีการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังใน 1 รอบการผลิต โดยทำการศึกษาในพื้นที่จังหวัดลพบุรี

ตามขั้นตอนและวิธีการตาม (Aldaya and etc., 2011) การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ๊นท์ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การปลูกมันสำปะหลัง การผลิตเอทานอลในภาคภาคอุตสาหกรรม และการ การประเมินภาพรวมของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง กรีน และบลูวอเตอร์ฟุตพริ๊นท์สามารถคำนวณได้จากโปรแกรม CROPWAT version 8 (FAO, 2010b) เพื่อคำนวณหาปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (evapotranspiration: ETgreen, มม./รอบการปลูก) โดยข้อมูลนำเข้าของโปรแกรม CROPWAT ได้แก่ ข้อมูลภูมิอากาศในพื้นที่จังหวัดลพบุรี ข้อมูลพืช และข้อมูลดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2011) ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (crop water use:CWU, ลบ.ม./ไร่) สามารถคำนวณจากสมการที่ 1

$$CWU = 10 \times 0.16 \times \sum_{d=1}^{lgp} ETgreen \qquad (1)$$

โดยที่ CWU เป็น ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (ลบ.ม./ไร่)

ETgreen เป็น ปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (มม./รอบการปลูก)

กรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ๊นท์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$WF = \frac{CWUgreen/blue}{Y} \qquad (2)$$

โดยที่ WF เป็นวอเตอร์ฟุตพริ๊นท์ของกรีน/บลู (ลบ.ม./ตัน)

CWU เป็น ปริมาณน้ำกรีนหรือบลูที่พืชใช้ (ลบ.ม./ไร่)

Y เป็น ผลผลิตมันสำปะหลัง (ตัน/ไร่)

เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ๊นท์ในการปลูกมันสำปะหลังสามารถคำนวณได้จากอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในการปลูกมันสำปะหลัง ตามสมการที่ 3

$$WFgrey = \frac{(\alpha \times AR)/(Cmax-Cnat)}{Y} \qquad (3)$$

โดยที่ *WFgrey* เป็นเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ๊นท์ (ลบ.ม./ตัน)

α เป็น อัตราการชะล้าง (leaching runoff fraction)

AR เป็น ปริมาณไนโตรเจนที่ใส่ในแต่ละรอบการปลูก (กก./ไร่)

Cmax เป็น ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดของไนโตรเจนที่แหล่งน้ำสามารถรับได้ (กก./ลบ.ม.)

Cnat เป็น ปริมาณไนโตรเจนในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ (กก./ลบ.ม.)

วอเตอร์ฟุตพริ๊นท์จากการผลิตเอทานอลในอุตสาหกรรมสามารถคำนวณได้โดยวิธีการ "the “hain summation” จากสมการที่ 4

$$WFgreen/blue = \frac{\sum_{s=1}^{k} WFgreen/blue(s)}{P} \qquad (4)$$

โดยที่ WFgreen/blue เป็น กรีนหรือบลูวอเตอร์ฟุตพริ๊นท์ (ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล)

WFgreen/blue(S) เป็นปริมาณรวมของน้ำกรีนหรือบลูที่ใช้ในการผลิตเอทานอลในทุกขั้นตอน (ลิตร)

P เป็น เอทานอลที่ผลิตได้ (ลิตร)

เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ๊นท์จากกระบวนการผลิตเอทานอลในภาคอุตสาหกรรมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$WFgrey = \frac{L}{Cmax-Cnat} \qquad (5)$$

โดยที่ *WFgrey* เป็น เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ๊นท์ (ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล)

L เป็น ภาระของไนโตรเจนในน้ำ (มก/ลิตร)

Cmax เป็น ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดของไนโตรเจนที่แหล่งน้ำสามารถรับได้ (มก./ลิตร)

Cnat เป็น ปริมาณไนโตรเจนในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ (มก./ลิตร)

(2)

ปริมาณกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการผลิตเอทานอลโดยใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบทั้งห่วงโซ่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$WF_{ethanol} = WF_{ethanol}(c) + WF_{ethanol}(p) \qquad (6)$$

โดยที่ $WF_{ethanol}$ เป็น วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เอทานอล (ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล)

$WF_{ethanol}$ (c) เป็น วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เอทานอลในการปลูกมันสำปะหลัง (ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล)

$WF_{ethanol}$ (p) เป็น วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เอทานอลจากกระบวนการผลิตเอทานอล (ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล)

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถแบ่งเป็น 3 ผลการศึกษา ได้แก่ 1) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการปลูกมันสำปะหลัง 2) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการผลิตเอทานอลในภาคอุตสาหกรรม และ 3) วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการประเมินภาพรวมของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ในรูปของ กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์

1. ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการปลูกมันสำปะหลัง พบว่าที่ผลผลิตมันสำปะหลังปี 2554-2555 เฉลี่ยปริมาณ 4.11 ตัน/ไร่ กรีน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีปริมาณ 333 และ 97 ลบ.ม./ตันมันสำปะหลัง ตามลำดับ โดยไม่พบว่ามีบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ในการปลูกมันสำปะหลัง เนื่องจากการปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่จังหวัดลพบุรี ไม่มีการให้น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินทางการเกษตร แต่อาศัยน้ำจากหยาดน้ำฟ้าเท่านั้น สำหรับเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นพิจารณาจากอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนลงในแปลงปลูกมันสำปะหลัง จากการศึกษาพบว่าเกษตรกรใช้ปุ๋ย 2 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยเคมี สูตรทางการค้า 15:15:15 และ 46:0:0 และปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยขี้ไก่ ซึ่งมีไนโตรเจนร้อยละ 4.2 (Archer & Nicholson, 1992) และปุ๋ยขี้ไก่ผสมแกลบซึ่งมีไนโตรเจนร้อยละ 2.74 (สุชาติ และคณะ, 2554) โดยมีอัตราการใส่ไนโตรเจนที่ 19.93 กก./ไร่ ดังนั้นปริมาณรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการปลูกมันสำปะหลังเท่ากับ 430.61 ลบ.ม/ตันมันสำปะหลัง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการปลูกมันสำปะหลัง

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม./ตันมันสำปะหลัง)	
กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	333
บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	-
เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์	97
วอเตอร์ฟุตพริ้นท์	430

2. ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการผลิตเอทานอลในภาคอุตสาหกรรม จากการศึกษาข้อมูลโรงงานในพื้นที่จังหวัดลพบุรี พบว่ามีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินเป็นวัตถุดิบ โดยการสูบน้ำดิบจากแม่น้ำป่าสักเพื่อพักไว้ในบ่อพักของโรงงาน และนำเข้าสู่ระบบปรับปรุงคุณภาพก่อนที่จะนำน้ำมาใช้ในกระบวนผลิตและใช้สำหรับกิจกรรมต่างๆ ในโรงงาน และไม่มีการนำน้ำบาดาล หรือน้ำใต้ดิน รวมถึงหยาดน้ำฟ้ามาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต และโรงงานใช้มันเส้นเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล ดังนั้นจึงสามารถผลิตเอทานอลได้ตลอดทั้งปี จากการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พบว่ามีบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 11 ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล และพบว่าน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตในโรงงานได้รวบรวมเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเพื่อผลิตไบโอก๊าซ และเมื่อผ่านระบบบำบัดแล้วน้ำทิ้งจะถูกรวบรวมและส่งต่อทางท่อไปยังแปลงยูคาลิปตัสจำนวน 500 ไร่ ของโรงงานจึงไม่พบว่ามีเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกิดขึ้นในกระบวนการนี้

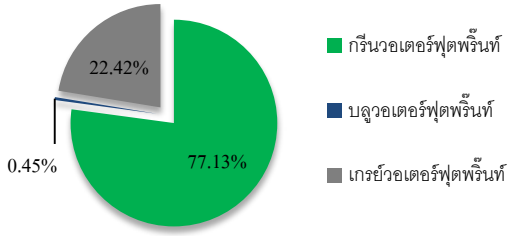
3. ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการประเมินภาพรวมของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง พบว่า กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 1,963 ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 11 ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 570 ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการประเมินภาพรวมของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล)	
กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	1,963
บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์	11
เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์	570
วอเตอร์ฟุตพริ้นท์	2,544

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ จากการผลิตเอทานอลโดยใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ ในพื้นที่จังหวัดลพบุรีมีค่าเท่ากับ 2,544 ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล สามารถจำแนกได้เป็น กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 1,963 ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล หรือคิดเป็นร้อยละ 77.13 บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 11 ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล หรือคิดเป็นร้อยละ 0.45 และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 570 ลิตรน้ำ/ลิตรเอทานอล หรือคิดเป็นร้อยละ 22.42 ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สัดส่วนร้อยละของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากการผลิตเอทานอลโดยใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ

จากผลการศึกษาพบว่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีปริมาณที่สูงกว่าบลูและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เนื่องจากปริมาณฝนใช้การได้ (Effective rainfall) มีปริมาณมาก

จากการประเมินเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการศึกษาครั้งนี้ ได้พิจารณาปริมาณไนโตรเจนที่เกษตรกรใช้ในการปลูกมันสำปะหลัง ดังนั้นเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณไนโตรเจนที่ใช้ในการปลูกมันสำปะหลังแต่อย่างไรก็ตามการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการปลูกมันสำปะหลังควรพิจารณาธาตุอาหารอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส รวมถึงสารเคมีกำจัดวัชพืช และกำจัดโรคและแมลง ทั้งนี้ไม่พบเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตเอทานอลในอุตสาหกรรม เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียก่อนรวบรวมทางท่อไปรดน้ำต้นไม้ในแปลงปลูกยูคาลิปตัสจำนวน 500 ไร่ ในพื้นที่โรงงาน จึงควรพิจารณาการปนเปื้อนของน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่เพิ่มเติม

เมื่อพิจารณาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พบว่ากรีน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีปริมาณที่สูง ดังนั้นการพิจารณาเพื่อลดการใช้น้ำหรือลดปริมาณน้ำเสียจากการปลูกมันสำปะหลังอย่างน้อยควรนำปัจจัยเปล่านี้ประกอบการพิจารณา ได้แก่ พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง สายพันธุ์มันสำปะหลัง วิธีการปลูกมันสำปะหลัง ลักษณะสมบัติของดิน รวมถึงปริมาณปุ๋ยที่ใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2008. Strategic of alternative energy development for 15 years. ค้นเมื่อ 17 มีนาคม 2554, จาก http://www.dede.go.th/dede/images/stories/engli/ information/ethanol-plan-08-22.pdf

กรมพัฒนาที่ดิน.การศึกษาปริมาณความชื้นในดินเพื่อปลูกพืชไร่และไม้ผลบางชนิดโดยใช้ซอร์ฟแวร์ CROPWAT ที่อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ค้นเมื่อ 12 เมษายน 2554, จาก http://oss101.ldd.go.th/web_research/_doc_research/water/01cropwat%20for%20lopburi.pdf

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. สถิติการเกษตร. ค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2554, จาก http://oae.go.th/download/document_tendency/agricultural53_trends.pdf

สุชาติ สงวนพันธุ์, สรัสนันท์ สุขพิมาย, พุทธพร พุ่มโรจน์ และ เรญา ม้าทอง. 2554. การใช้ประโยชน์จากเศษหญ้าแห้งเป็นวัสดุรองพื้นในการเลี้ยงไก่เนื้อ. ประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7. ค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2555, จาก http://researchconference.kps.ku.ac.th/ article_7/p_an_vet.html

Aldaya, MM., Chapagain, AK., Hoekstra, AY., and Mekonnen, MM. 2011. The Water Footprint Assessment Manual. TJ InternationaLtd, Padstow, Cornwall. UK.

Archer, JR., and Nicholson, RJ. 1992. Liquid wastes from farm animal enterprises. In: C. Phillips and D. Piggins (eds.), Farm animals and the environment. CAB International, Wallingford, UK, pp. 325-344

FAO. 2010b, CROPWAT 8.0 model, FAO, Rome, http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html [Accessed 27 May 2012].