Thesis Title Carbon and Water Footprints Evaluation of Bioethanol from Sugarcane and Cassava

Author Ms. Ratchayuda Kongboon

Degree Doctor of Engineering (Energy Engineering)

Thesis Advisory Committee

Asst. Prof. Dr.Sate Samputtagul	Advisor
Prof. Dr.Tanongkiat Kiatsiriroat	Co-advisor
Dr.Natanee Vorayos	Co-advisor

ABSTRACT

This dissertation assesses the carbon footprint (CF) and water footprint (WF) of bioethanol from sugarcane and cassava at all stages of bioethanol production. The entire production process consists of four stages: (1) cultivation, (2) raw material production, (3) bioethanol production, and (4) transportation in all stages. In the stage of cultivation, the data on amounts of fossil fuels, chemicals and fertilizers used and practices adopted by growers were collected by field surveys, questionnaires and interviews. It was found that CFs of one metric ton each of unburned sugarcane, burned sugarcane and cassava were respectively 0.0193, 0.0571 and 0.0651kgCO2-eq. Meanwhile, CFs of cassava-based bioethanol and of sugarcane-based bioethanol by mass and its economic value were 1.02, 3.21 and 1.62 $kgCO_2$-eq /L, respectively.

WFs of this research study were calculated under rain-fed and optimal conditions and the study site was in northern Thailand. It was found that average WF of sugarcane under rain-fed condition was 205m^3/ton, of which 154m^3/ton was WF_{green}, 51m^3/ton was WF_{grey} and WF_{blue} was zero. Meanwhile, average WF of sugarcane under optimal condition was 191m^3/ton, of which 123m^3/ton was $WF_{green,}$ 26m^3/ton WF_{blue} and 42m^3/ton $WF_{grey.}$ In the case of cassava, average WF under rain-fed condition was 449m^3/ton, of which 284m^3/ton was WF_{green} and 165m^3/ton was WF_{grey}, whereas average WF under optimal condition was found to be 400 m^3/ton, of which 162m^3/ton was WF_{green}, 125m^3/ton WF_{blue} and 113m^3/ton WF_{grey}. Moreover, WFs of sugarcane-based bioethanol for sugarcane under rain-fed condition and optimal condition were respectively 3,373m^3/ton (or 2,661 $L_{water}/L_{ethanol}$) and 3,143 m^3/ton (or 2,480 $L_{water}/L_{ethanol}$). In the case of cassava, WFs of bioethanol under rain-fed condition and under optimal condition were 11,073 m^3/ton (or 8,737 L_{water} /$L_{ethanol}$) and 9,866 m^3/ton (or 7,784 L_{water}/ $L_{ethanol}$), respectively.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

In addition, scenarios were employed in this research work to examine the impacts on land use, water and CF of gasoline 95, E10, E20 and E85. The findings indicated that E85 required the most land use in order to grow sugarcane and cassava at 0.00004 ha/MJ, followed by E20, E10 at 0.000007, 0.000003 ha/MJ and no land use required for gasoline 95. With respect to water use for agriculture, E85 was the largest consumer of water at 86.6 m^3/MJ, followed respectively by E20 and E10 at 15.8 and 7.6 m^3/MJ. Nevertheless, gasoline 95 was petroleum-based and thus required no agricultural irrigation. On greenhouse gases emission, gasoline 95 was found to be the least producer of GHG at 92.4 gCO2eq/MJ, followed by E10, E20 and E85 at 93.3, 94.5 and 116.1 gCO2eq, respectively. As such, the use of ethanol as an alternative fuel could help reduce reliance on fossil fuels; however, petroleum-based gasoline still gives better engine performance than does ethanol fuel.

According to the Alternative Energy Development Plan (AEDP), which aims to promote more use of ethanol, the ethanol consumption target has been set at 9 million liters per day by 2021. As such, this research work also investigated possible impacts of this transition. The results showed that the transition from fossil fuel to ethanol would be an effective way to reduce GHG emissions. Nevertheless, the shift would have an adverse impact on land use as more cultivation areas would be required to meet higher demand of ethanol. Inevitably, demand for water to irrigate the agricultural areas would rise. As a result, any policy to promote ethanol use cannot look at just one or two positive impacts of GHG emissions reduction and/or more income for farmers; instead, such a policy requires looking at many other impacts, especially negative ones, which could ensue, including land use, water consumption and so forth.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การประเมินคาร์บอนและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไบโอเอทานอลจากอ้อยและมันสำปะหลัง

ผู้เขียน นางสาวรัตชยุดา กองบุญ

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ผศ. ดร. เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
ศ. ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
อ.ดร.ณัฐนี วรยศ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินคาร์บอนและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไบโอเอทานอลจากอ้อยและมันสำปะหลังตลอดวัฏจักรชีวิตครอบคลุมตั้งแต่การเพาะปลูก การแปรรูปวัตถุดิบ การผลิตเอทานอล และการขนส่ง สำหรับข้อมูลในกระบวนการเพาะปลูก เช่น การใช้เชื้อเพลิง สารเคมี ปุ๋ยเคมี เป็นต้น ได้จากการรวบรวมข้อมูลภาคสนามด้วยแบบสอบถามปลายปิด โดยสัมภาษณ์เกษตรกรเป็นรายบุคคล

ผลการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอ้อยสด อ้อยเผา และมันสำปะหลังจำนวน 1 ตันมีค่าเท่ากับ 0.0193, 0.0571 และ 0.0651 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของไบโอเอทานอลจากอ้อย พิจารณาการปันส่วนโดยมวลและมูลค่าของผลิตภัณฑ์ และมันสำปะหลัง มีค่าเท่ากับ 3.21, 1.62 และ 1.02 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลิตรไบโอเอทานอล ตามลำดับ

สำหรับการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการศึกษานี้ได้พิจารณาการปลูกอ้อยและมันสำปะหลังภายใต้เงื่อนไขการใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียว (rain-fed condition) และสภาวะอุดมคติ (optimal condition)โดยผลจากการประเมินพบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ภายใต้การใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียวของอ้อยมีค่าเท่ากับ 205 ลูกบาศก์เมตรต่อตันอ้อย แบ่งเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน และเกรย์ เท่ากับ 154 และ 51 ลูกบาศก์เมตรต่อตันอ้อย ตามลำดับ ซึ่งภายใต้เงื่อนไขการใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียววอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลูมีค่าเท่ากับศูนย์ และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยภายใต้สภาวะอุดมคติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีค่าเท่ากับ 191 ลูกบาศก์เมตรต่อตันอ้อย แบ่งเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน 123 ลูกบาศก์เมตรต่อตันอ้อย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลู 26 ลูกบาศก์เมตรต่อตันอ้อย และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ 42 ลูกบาศก์เมตรต่อตันอ้อย สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของมันสำปะหลังภายใต้การใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียวมีค่าเท่ากับ 449 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสำปะหลัง แบ่งเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน 284 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสำปะหลังและวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ 165 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสำปะหลัง และภายใต้สภาวะอุดมคติมีค่าเท่ากับ 400 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสำปะหลัง แบ่งเป็นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์กรีน 162 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสำปะหลัง วอเตอร์ฟุตพริ้นท์บลู 125 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสำปะหลัง และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกรย์ 113 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสำปะหลัง สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไบโอเทานอลจากวัตถุดิบอ้อยซึ่งปลูกภายใต้เงื่อนไขการใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียว มีค่าเท่ากับ 3,373ลูกบาศก์เมตรต่อตันอ้อย หรือเท่ากับ 2,661 ลิตรต่อลิตรเอทานอล และภายใต้สภาวะอุดมคติ มีค่าเท่ากับ 3,143 ลูกบาศก์เมตรต่อตันอ้อย หรือ 2,480 ลิตรต่อลิตรเอทานอล สำหรับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไบโอเอทานอลจากมันสำปะหลังภายใต้การใช้น้ำฝนอย่างเดียว เท่ากับ 11,073 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสำปะหลัง หรือเท่ากับ 8,737 ลิตรต่อลิตรเอทานอล และภายใต้สภาวะอุดมคติมีค่าเท่ากับ 9,866 ลูกบาศก์เมตรต่อตันมันสำปะหลัง หรือเท่ากับ 7,784 ลิตรต่อลิตรเอทานอล

ในการศึกษานี้ได้กำหนดสถานการณ์การใช้ไบโอเอทานอล เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการใช้พื้นที่ การใช้น้ำในภาคการเกษตร และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยสถานการณ์แรกเปรียบเทียบระหว่างเบนซิน 95 แก๊สโซฮอล์ 95 E20 และ E85 โดยกำหนดหน่วยการทำงาน คือ 1 เมกะจูล ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า E85 มีผลกระทบทางด้านการใช้พื้นที่มากที่สุด คือ 0.00004 เฮกตาร์ต่อเมกะจูล รองลงมาคือ E20 และ แก๊สโซฮอล์ 95 มีค่าเท่ากับ 0.000007, 0.000003 เฮกตาร์ต่อเมกะจูล ตามลำดับ และเบนซิน 95 มีค่าเป็นศูนย์ หากพิจารณาการใช้น้ำในภาคการเกษตรมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการใช้พื้นที่ ซึ่งผลจากการศึกษา พบว่า E85 มีความต้องการใช้น้ำสำหรับการเพาะปลูกมากที่สุดคือ 86.6 ลูกบาศก์เมตรต่อเมกะจูล รองลงมาคือ E20 และแก๊สโซฮอล์ 95 มีค่าเท่ากับ 15.8 และ 7.6 ลูกบาศก์เมตรต่อเมกะจูล ตามลำดับ ในขณะที่เบนซิน 95 มีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากไม่มีการใช้น้ำสำหรับกระบวนการเพาะปลูก สำหรับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการศึกษาพบว่าเบนซินมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด คือ 92.4 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูล สำหรับแก๊สโซฮอล์ และ E20 มีค่าเท่ากับ 93.3 และ 94.5 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูล ตามลำดับ และ E85 มีค่ามากที่สุดคือ 116 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูล ซึ่งให้ผลตรงกันข้ามกับการพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยการทำงาน 1 ลิตร โดยผลการศึกษาเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ เบนซิน แก๊สโซฮอล์ 95 E20 และ E85 มีค่าเท่ากับ 2.91, 2.84, 2.78 และ 2.64 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เทียบเท่าต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นการเปรียบเทียบผลกระทบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในเชิงปริมาณจะพบว่าการใช้ไบโอเอทานอลทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ อีกทั้งมีผลดีในด้านการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล แต่หากพิจารณาในเชิงคุณภาพกลับพบว่าการใช้เบนซินมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าไบโอเอทานอล

สำหรับสถานการณ์ที่สองเป็นการศึกษาผลกระทบด้านการใช้พื้นที่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการใช้น้ำในภาคการเกษตร เมื่อมีการเพิ่มกำลังการผลิตเอทานอลเป็น 9 ล้านลิตรต่อวันภายในปี พ.ศ. 2565 จากผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นไบโอเอทานอลส่งผลดีในด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหากพิจารณาในเชิงปริมาณ แต่ในทางกลับกันส่งผลกระทบต่อการใช้พื้นที่ ที่มีความต้องการเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้เอทานอล รวมไปถึงส่งผลกระทบต่อความต้องการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกเช่นกันด้วยเหตุนี้การวางแผนนโยบายเพื่อส่งเสริมการใช้เอทานอลควรพิจารณาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในทุกมิติเพื่อให้เกิดนโยบายการจัดการที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved