

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการผลิตไฟฟ้าจาก ขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

Environmental Impact and Marginal Abatement Cost Assessments of Waste-to-Electricity by Gasification Technology

ธนพนธ์ มุลสิน¹ และ ณัฐณี วรรณศรี^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

*ติดต่อ: E-mail: nnatane@eng.cmu.ac.th, โทรศัพท์: 053-944-146, โทรสาร: 053-944-145

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะได้รับความสนใจจากชุมชนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวนอกจากจะสามารถลดปัญหาด้านขยะแล้ว ยังสามารถนำขยะมาใช้ประโยชน์และช่วยให้ชุมชนลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานจากภายนอกได้อีกด้วย ซึ่งมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ก็ได้ให้ความสนใจในเทคโนโลยีดังกล่าว และได้ทำการสร้างและติดตั้งระบบต้นแบบในการผลิตเชื้อเพลิงแ่งจากขยะเพื่อนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยระบบดังกล่าวจะทำการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง ซึ่งมีอัตราส่วนการผสมของพลาสติก : กระดาษ : ไม้ : ตัวประสาน (ปูนขาว) อยู่ที่ 1:1:1:0.1 ที่กำลังผลิตไม่น้อยกว่า 200 kg/วัน และนำเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งดังกล่าวไปผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีดังกล่าวมีความเป็นไปได้ แต่ทั้งนี้ การนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับขยะของทั้งมหาวิทยาลัยจำเป็นต้องมีการพิจารณาปัจจัยด้านอื่น เพื่อความยั่งยืน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงต้นทุนและความสามารถในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะของมหาวิทยาลัย ซึ่งจะทำการศึกษาตั้งแต่การเก็บรวบรวมขยะ การนำขยะมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแ่ง และการนำเชื้อเพลิงแ่งมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยในส่วน of ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะมุ่งเน้นไปที่ปัญหาภาวะโลกร้อน ซึ่งจะพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม เปรียบเทียบกับการใช้กระแสไฟฟ้าจากระบบสายส่งของประเทศ โดยผลจากการศึกษาพบว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะของมหาวิทยาลัยจะมีต้นทุนอยู่ที่ 4.61 บาท/kWh และเมื่อพิจารณาจากปริมาณไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะที่ประหยัดได้ พบว่าระบบดังกล่าวสามารถคืนทุนได้ในเวลา 4 ปี โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะมหาวิทยาลัย จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 0.1164 kgCO_{2-eq}/kWh ซึ่งสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้สูงถึง 81% และเมื่อพิจารณาด้านต้นทุนส่วนเพิ่มในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีค่าเท่ากับ -0.27 บาท/kgCO_{2-eq}

คำหลัก: แก๊สซิฟิเคชัน, ต้นทุนหน่วยสุดท้าย, ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

Abstract

Recently, the use of Municipal Solid Waste (MSW) for producing electricity has been considered to be an effective way to reduce environmental problem within the community and to reduce the dependence of an energy source outside the community. Chiang Mai University, as part of the community,

has an initiative pilot plant to produce the electricity from university community waste by using Refuse-Derived Fuel (RDF) and gasification technology. The preliminary study has proven that this technology could be an effective way to reduce waste quantity but further study on economic feasibility and environmental impact may be required. The objectives of this study are to assess both direct and indirect possible environmental impacts of electricity production by using gasification technology within Chiang Mai University's pilot power plant and also to estimate the Marginal Abatement Cost (MAC) of the technology. The assessment covered all relevant processes including waste collection, Refuse-Derived Fuel (RDF) production and electricity generation by gasification technology. The study reveals that the cost of electricity production is 4.61 baht/kWh. Although the production cost is higher than that of the electricity from grid-mixed system but all expenses could be breakeven within 4 years due to other benefits. The greenhouse gas emissions rate of the produced electricity is 0.1164 kgCO_{2-eq}/kWh. It is 81% lower than that of electricity from Thailand grid-mixed system. It is also found that the marginal abatement cost of the electricity production from the community wastes by the gasification technology is approximately -0.27 baht/kgCO_{2-eq}

Keywords: Gasification, Marginal Abatement Cost, Environmental Impact.

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันประชากรมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งในภาคส่วนเศรษฐกิจเองก็มีการเจริญเติบโตตามไปด้วย การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและภาคส่วนเศรษฐกิจเหล่านี้ส่งผลให้ประเทศไทยมีความต้องการในการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะในส่วนของการผลิตไฟฟ้า ซึ่งการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินและ น้ำมันเตา เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน 2555) เมื่อความต้องการในการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณสำรองเชื้อเพลิงลดน้อยลง จำเป็นต้องนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศทำให้สูญเสียงบประมาณในการนำเข้า นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้ายังก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มลพิษที่ปล่อยออกมาจากการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย CO₂, CO, CH₄, และ NO_x เป็นต้น (รายงานพลังงานของประเทศไทย, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, 2554) ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาการใช้เชื้อเพลิงและลดปัญหา

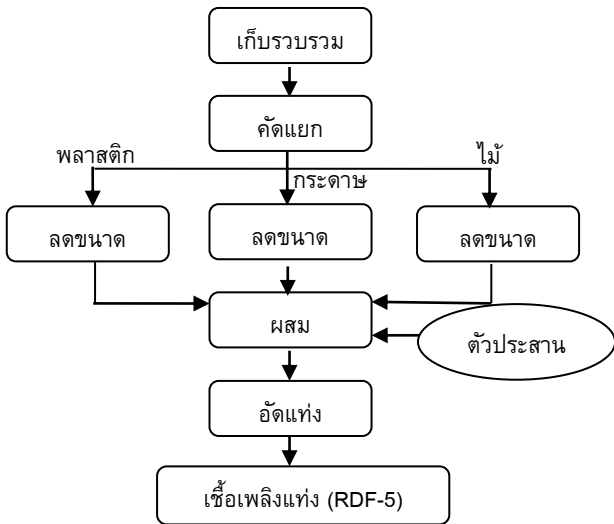
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานหมุนเวียนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าว แต่พลังงานหมุนเวียนก็มีอยู่หลายประเภท ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืนการที่จะเลือกใช้พลังงานงานหมุนเวียนก็ควรที่จะต้องมีการศึกษาต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีแต่ละประเภทก่อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีดัชนีชี้วัดที่สามารถสะท้อนให้เห็นได้ทั้งสองด้านไปพร้อมๆกัน ซึ่งดัชนีที่น่าสนใจตัวหนึ่งก็คือ การศึกษาต้นทุนหน่วยสุดท้าย (Marginal Abatement Cost: MAC)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาคือความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยจะทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนของหน่วยสุดท้ายของการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

2. การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงแก่ง

2.1 เชื้อเพลิงแก่ง (Refuse-derive Fuel 5; RDF-5)

เป็นการนำขยะมูลฝอยในส่วนของขยะที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่ง โดยขยะที่ผ่านกระบวนการอัดแท่งแล้วต้องมีความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m^3 โดยงานวิจัยนี้จะนำขยะมูลฝอยจากจุดรับทิ้งขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่บริเวณเขตเชิงดอยจำนวน 30 จุดมาทำการคัดแยก โดยจะคัดเอาขยะที่สามารถเผาไหม้ได้และมีเยื่อ เช่น กระดาษ พลาสติก และใบไม้ เป็นต้น เพื่อมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่ง ขยะบางส่วนจะนำกลับไปรีไซเคิลและขยะส่วนที่เหลือจะนำไปฝังกลบ เมื่อได้ขยะในส่วนที่ต้องการแล้วจะนำขยะดังกล่าวไปทำการบดเพื่อลดขนาด จากนั้นจะนำขยะที่ผ่านการลดขนาดมาทำการผสมกับตัวประสาน โดยในงานวิจัยนี้จะใช้อัตราส่วนในการผสม คือ พลาสติก : กระดาษ : ไม้ : ตัวประสาน (ปูนขาว) ในอัตราส่วน 1:1:1:0.1 จากนั้นจะนำขยะที่ผ่านการผสมมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่ง ซึ่งมีขั้นตอนดังรูปที่ 1 หลังจากอัดแท่งแล้วจึงนำเชื้อเพลิงแท่ง เข้าสู่ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

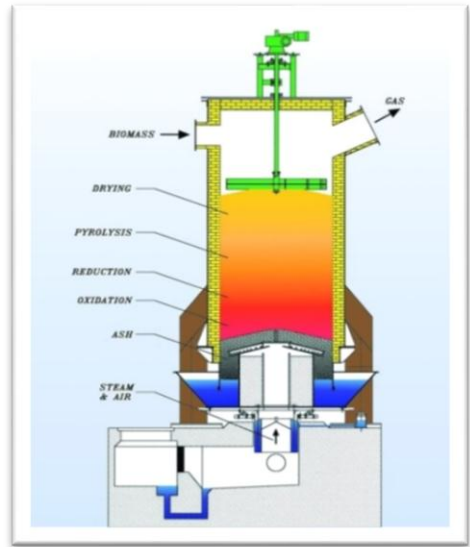


รูปที่ 1 การผลิตเชื้อเพลิงแท่ง (RDF-5)

2.2 Gasification

ปัจจุบันระบบแก๊สซิฟิเคชันเป็นระบบที่ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เพราะระบบแก๊สซิฟิเคชันสามารถป้อนเชื้อเพลิงได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ขยะชีวมวล ถ่านหิน หรือวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ

รูปที่ 2 ระบบแก๊สซิฟิเคชัน



จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าการทำงานของระบบแก๊สซิฟิเคชันนั้นเมื่อป้อนเชื้อเพลิงเข้าไปในระบบ ระบบจะทำการเปลี่ยนรูปพลังงานจากชีวมวลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊ส โดยมีการให้ความร้อนผ่านเข้ามาในตัวของกระบวนการ เช่น อากาศ ออกซิเจน หรือไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนี้มีความแตกต่างจากกระบวนการเผาไหม้ (Combustion) อย่างสิ้นเชิง คือ การเผาไหม้เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ในหนึ่งกระบวนการ แต่สำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนั้นเป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีภายในของคาร์บอนในชีวมวลไปเป็นแก๊สที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Gas) โดยก๊าซที่ผลิตได้จะมีคุณภาพที่ดีกว่าและง่ายต่อการใช้งานมากกว่าชีวมวล ซึ่งเรานำก๊าซที่ได้นี้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆต่อไป

3.การประเมินต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.1 การประเมินต้นทุนด้านเศรษฐศาสตร์

สำหรับการประเมินต้นทุนในด้านเศรษฐศาสตร์ สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ในขั้นตอนการเก็บรวบรวมขยะ การผลิตเชื้อเพลิงแท่ง และการผลิตไฟฟ้าล้วนมีค่าใช้จ่าย

ในการดำเนินการทั้งสิ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลค่าใช้จ่ายในขั้นตอนต่างๆ มาใช้ในการประเมินต้นทุนด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งจะทำการประเมินด้วยดัชนีชี้วัด 4 วิธีได้แก่ ต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้า (Cost), ระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Period: PB), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และอัตราผลตอบแทนใน (Internal Rate of Return: IRR) ตามสมการที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

สมการที่ 1 ใช้คำนวณต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้า

$$\text{Cost} = \frac{\text{CC} + \text{O\&M} - \text{S}}{\text{AGE}} \quad (1)$$

สมการที่ 2 ใช้คำนวณระยะเวลาในการคืนทุน

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{CC} + \text{O\&M} - \text{S}}{\text{IC}} \quad (2)$$

สมการที่ 3 ใช้คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$$\text{NPV} = \sum_{y=1}^Y \frac{R_y - C_y}{(1+i)^y} - \text{CC}^{\text{an}} \quad (3)$$

สมการที่ 4 ใช้คำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน

$$\sum_{y=1}^Y \frac{R_y - C_y}{(1+i)^y} - \text{CC}^{\text{an}} = 0 \quad (4)$$

กำหนดให้

CC = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น (บาท)

O&M = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและซ่อมบำรุงรักษา (บาท)

S = มูลค่าซาก (บาท)

AGE = ไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดอายุโครงการ (kWh)

IC = ผลประหยัดรายปี (บาท/ปี)

R_y = ผลตอบแทนในปีที่ y

C_y = ค่าใช้จ่ายในปีที่ y

Y = ระยะเวลาอายุของโครงการ

CC^{an} = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นรายปี (บาท/ปี)

I = อัตราส่วนลด (Discount Rate)

3.2 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนย่อมมีผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

ที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยผลกระทบทางตรงจะทำการวัดก๊าซที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้บริเวณปากปล่องในการผลิตไฟฟ้า ส่วนผลกระทบทางอ้อมจะทำการคำนวณจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของกิจกรรมต่างๆ ซึ่งผลกระทบดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

สมการที่ 5 ใช้คำนวณหาปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่างๆ

$$E_{ij} = \text{AD}_i \times \text{EF}_{ij} \quad (5)$$

กำหนดให้

E_{ij} = ปริมาณก๊าซ j ที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรม i

AD_i = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง/สารเคมี/ปัจจัยอื่นๆ ของกิจกรรม i

EF_{ij} = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซชนิด j ที่เกิดจากกิจกรรม i

3.3 การประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้าย (Marginal Abatement Cost: MAC)

ปัจจุบันการประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายได้รับความนิยมนำมาใช้ในการนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีหรือโครงการต่างๆ เพื่อช่วยในการตัดสินใจในการลงทุน เพราะการประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายสามารถสะท้อนให้เห็นทั้งในด้านการลงทุนและด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจในการเลือกลงทุนสำหรับการประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายนั้น ในการคำนวณจะต้องรู้ในส่วนของต้นทุนที่ใช้ในการลงทุนของโครงการหรือเทคโนโลยีนั้นๆ และต้องรู้ในส่วนของผลกระทบที่สามารถลดลงได้จากการดำเนินโครงการหรือเทคโนโลยี เมื่อรู้ข้อมูลทั้งสองก็สามารถคำนวณหาต้นทุนหน่วยสุดท้ายได้จากสมการที่ 6

สมการที่ 6 สมการคำนวณต้นทุนหน่วยสุดท้าย

$$\text{MAC} = \frac{\text{CC}^{\text{an}} + \text{O\&M} - \text{IC} - \text{S}}{\text{ER}} \quad (6)$$

กำหนดให้

CC ^{an}	= ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นรายปี (บาท/ปี)
O&M	= ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและซ่อม บำรุงรักษา (บาท/ปี)
IC	= ผลประหยัดรายปี (บาท/ปี)
S	= มูลค่าซากเฉลี่ยต่อปี (บาท/ปี)
ER	= ปริมาณผลกระทบที่ลดได้รายปีจากการใช้ เทคโนโลยี (ผลกระทบที่ลดได้/ปี)

4. ผลการศึกษา

จากการศึกษาการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน โดยศึกษาจากระบบต้นแบบของการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่มีกำลังการผลิตไม่ต่ำกว่า 200 kg/วัน โดยในการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สให้ได้ปริมาณดังกล่าวจะต้องใช้ขยะประเภท พลาสติก กระดาษ และใบไม้ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการบดในปริมาณ 81, 79 และ 76 kg/วัน ตามลำดับ เมื่อผ่านขั้นตอนการบดแล้วจะได้ขยะแต่ละประเภทประมาณ 75 kg เพราะเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีอัตราการสูญเสียไม่เท่ากัน และประเภทของขยะก็มีส่วนต่อการสูญเสียด้วย นอกจากนี้เครื่องจักรแต่ละเครื่องก็มีกำลังการผลิตไม่เท่ากัน โดยเครื่องบดพลาสติก เครื่องบดกระดาษ เครื่องบดใบไม้มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 20, 38 และ 108 kg/hr ซึ่งจะทำให้เวลาในการใช้งานแตกต่างกันไป เมื่อได้ขยะแต่ละประเภทที่ผ่านการบดแล้วจะนำมาผสมกับตัวประสานในอัตราส่วน 1:1:1:0.1 แล้วนำเข้าสู่ขั้นตอนการอัดแท่งเพื่อผลิตเชื้อเพลิงแก๊ส โดยที่ปริมาณขยะดังกล่าวสามารถผลิตเชื้อเพลิงแก๊สได้วันละ 210 kg เพราะในขั้นตอนการอัดแท่งก็มีการสูญเสียน้ำหนักซึ่งมีทั้งการสูญเสียที่เกิดจากการระเหยของความชื้นที่มีอยู่ในขยะเมื่อโดนความร้อนระหว่างการอัดแท่งและในส่วนของเศษที่เหลือจากการผลิตเชื้อเพลิงแก๊ส เมื่อได้เชื้อเพลิงแก๊สมาแล้วจะนำเชื้อเพลิงแก๊สที่ผลิตได้ไปผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยระบบแก๊สซิฟิเคชันโดยที่เชื้อเพลิงแก๊สน้ำหนัก 1 kg สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 2.85 kWh

สำหรับในด้านเศรษฐศาสตร์นั้นจะนำเอาต้นทุนของการใช้ไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิง การใช้สารเคมี และค่าแรง รวมทั้งการลงทุนต่างๆไปทำการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน โดยไม่คิดในส่วนของราคาขยะ ซึ่งการศึกษานี้ใช้ดัชนีชี้วัดในการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ การศึกษาด้านต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้า, การศึกษาระยะเวลาในการคืนทุน, การศึกษามูลค่าปัจจุบันสุทธิ และ การศึกษาอัตราผลตอบแทนภายใน โดยคิดอัตราดอกเบี้ยที่ 4% โดยใช้ข้อมูลตามตารางที่ 1 และ 2 ในการคำนวณ

ตารางที่ 1 ข้อมูลเครื่องจักรผลิตเชื้อเพลิงแก๊ส

	จำนวน (เครื่อง)	ราคา (บาท/เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า (kW)
เครื่องย่อยกระดาษ	1	35,000.00	2.42
เครื่องย่อยไม้	1	22,300.00	2.33
เครื่องย่อยพลาสติก	1	90,000.00	2.22
เครื่องผสม	1	28,300.00	2.11
เครื่องอัดแท่ง	2	71,160.00	3.44

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายรายปีในการดำเนินงาน

	จำนวน	หน่วย
ระบบแก๊สซิฟิเคชัน	400,000.00	บาท/ชุด
ค่าแรง ¹	375,000.00	บาท/ปี
ค่าซ่อมบำรุง ²	71,920.00	บาท/ปี
ค่าตัวประสาน	7,031.25	บาท/ปี
ค่าไฟ	75,104.00	บาท/ปี
มูลค่าซาก ²	71,920.00	บาท

¹ คิดตามค่าแรงงานขั้นต่ำ ปี พ.ศ. 2556 (กระทรวงแรงงาน)

ค่าแรงวันละ 300 บาท แรงงาน 5 คน ทำงาน 250 วัน

² คิดที่ 10% ของราคาเครื่องจักร

ตารางที่ 2 เป็นตารางข้อมูลอื่นๆ ที่ใช้จ่ายในการดำเนินงานซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณต้นทุนด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งผลจากการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์สามารถคำนวณและสรุปผลได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาต้นทุนด้านเศรษฐศาสตร์

	มูลค่า	หน่วย
Cost	4.61	บาท/kWh
Payback Period	3.94	ปี
Net Present Value	88,802.61	บาท
Internal Rate of Return	8	%

จากตารางที่ 3 ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันที่มีอัตราการผลิตอยู่ที่ 210 kg /วัน มีราคาต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้าอยู่ที่ 4.61 บาท/kWh เป็นราคาที่สูงเมื่อเทียบกับราคาค่าไฟจากระบบสายส่ง ในส่วนของระยะเวลาในการคืนทุนอยู่ที่ 4 ปี ซึ่งอยู่ในช่วงระยะเวลาโครงการ มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 88,802.61 บาท และมีค่าอัตราผลตอบแทนภายในอยู่ที่ 8 % ถือว่าเป็นผลตอบแทนที่ยอมรับได้เพราะไม่ขาดทุน แต่ผลตอบแทนที่ได้ส่วนใหญ่ไม่ได้มากจากการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อขาย แต่มาจากผลตอบแทนจากการบริหารจัดการขยะโดยการนำขยะรีไซเคิลไปขายและการนำขยะมูลฝอยมาผลิตเชื้อเพลิงแห้งซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการฝังกลบได้ในส่วนนี้หากใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้เองต้องจ่ายค่าไฟเพิ่มปีละ 101,745 บาท แต่สามารถขายขยะรีไซเคิลได้ปีละ 670,849.50 บาท และสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการฝังกลบได้ปีละ 127,780.11 บาท ซึ่งจะเห็นว่าระบบต้นแบบนี้เป็นระบบที่มีขนาดเล็กและให้ผลตอบแทนค่อนข้างต่ำและมีราคาต้นทุนต่อหน่วยค่อนข้างสูง แต่หากต้องการลดต้นทุนลงก็สามารถทำได้ โดยการขยายกำลังการผลิตของระบบ โดยการเพิ่มเครื่องจักรบางตัว เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ขยะประเภทพลาสติก กระดาษ และใบไม้ในแต่ละวันเท่ากับ 595, 474 และ 160 kg ตามลำดับ ซึ่งหากเพิ่มกำลังการผลิตโดยเพิ่มเครื่องอัดแห้งอีก 2 เครื่อง จะทำให้เครื่องจักรเครื่องอื่นสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถผลิตเชื้อเพลิงแห้งได้มากถึงวันละ 418 kg ทำให้มีราคาต้นทุนต่อหน่วยลดลงมาเหลือ 3.22 บาท/kWh

ระยะเวลาในการคืนทุนเหลือ 2 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 840,280.53 บาท และมีค่าอัตราผลตอบแทนภายใน 34 % และเมื่อนำมาคิดในส่วนของค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ พบว่าสามารถลดค่าไฟได้ 212,537.18 บาท/ปี ขายขยะรีไซเคิลปีละ 670,849.50 บาท และสามารถลดค่าฝังกลบได้ 250,762.20 บาท/ปี

สำหรับในส่วนของการศึกษาการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน เมื่อทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแห้ง 1 kg สำหรับผลิตไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่ามีการปล่อยมลพิษทางอากาศออกมาจากการเผาไหม้ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4

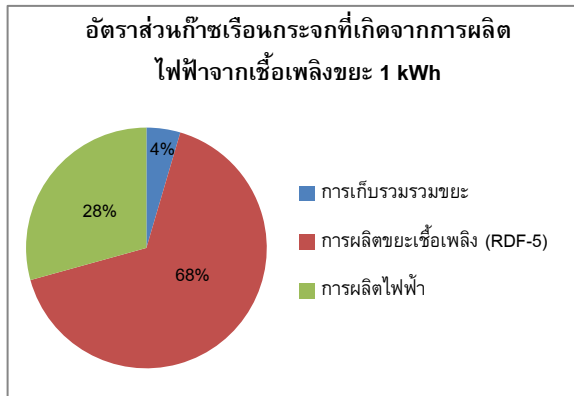
ตารางที่ 4 ชนิดและปริมาณก๊าซมลพิษทางอากาศที่ปล่อยออกมาจากการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงแห้ง 1 kg

จากตารางที่ 4 ในการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงแห้ง 1 kg มีการปล่อยก๊าซ N_2O ออกมามากที่สุด คือมากถึง 1.9551×10^{-5} kg N_2O /kg-RDF และก๊าซที่ปล่อยออกมาส่วนใหญ่จากการเผาไหม้นั้นจะเป็นก๊าซ

ก๊าซ	ปริมาณ	หน่วย
CO ₂	1.6262×10^{-6}	(kgCO ₂ /kg-RDF)
CH ₄	1.7532×10^{-8}	(kgCH ₄ /kg-RDF)
N ₂ O	1.9551×10^{-5}	(kgN ₂ O/kg-RDF)
CO	1.2998×10^{-7}	(kgCO/kg-RDF)

ในกลุ่มที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก

สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงแห้งนั้นเมื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนโดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บรวบรวมขยะ ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงแห้ง ไปจนถึงขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยจะประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยจะพิจารณาเฉพาะกลุ่มก๊าซที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 อัตราส่วนก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากขั้นตอนในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh จากเชื้อเพลิงแห้ง

จากรูปที่ 3 ผลกระทบที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงแห้งส่วนใหญ่มาจากการใช้เครื่องอัดแห้ง ซึ่งคิดเป็น 68% ของผลกระทบทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงแห้ง ซึ่งเมื่อนำมาคิดเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจะมีค่าเท่ากับ 0.0524 kgCO_{2-eq} รองลงมาจะเป็นการใช้เครื่องบดพลาสติก เครื่องผสม เครื่องบดกระดาษ เครื่องบดใบไม้ และผลกระทบจากการผลิตเครื่องจักร ซึ่งมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เท่ากับ 0.0090, 0.0085, 0.0050, 0.0016, 0.0008 kgCO_{2-eq} ตามลำดับ สำหรับในส่วนของการผลิตไฟฟ้าผลกระทบส่วนใหญ่มาจากการใช้ไฟฟ้าและก๊าซมลพิษที่วัดได้จากปากปล่องที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ โดยผลกระทบที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าคิดเป็น 0.0280 kgCO_{2-eq} และผลกระทบที่วัดได้จากปากปล่องคิดเป็น 0.0058 kgCO_{2-eq} ในส่วนของการเก็บรวบรวมขยะผลกระทบส่วนใหญ่จะมาจากการใช้ถุงพลาสติกดำเนินการบรรจุขยะซึ่งคิดเป็น 0.0039 kgCO_{2-eq} และการใช้น้ำมันดีเซลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับรถขนส่งขยะคิดเป็นผลกระทบเท่ากับ 0.0014 kgCO_{2-eq} ซึ่งการที่ขั้นตอนการอัดแห้ง มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดนั้นอาจจะเนื่องมาจากมีการใช้เครื่องจักรเป็นระยะเวลานานติดต่อกัน นอกจากนี้ยังใช้เครื่องอัดแห้งถึง 2 เครื่อง ทำให้ขั้นตอนดังกล่าวมีการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างนานเมื่อเทียบกับเครื่องจักรอื่น

เมื่อนำผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับในลักษณะของผลกระทบที่เกิดขึ้นว่าเป็นผลกระทบทางตรงหรือผลกระทบทางอ้อมสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดสภาวะก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า 1 kWh จากเชื้อเพลิงแห้ง

	ปริมาณ	หน่วย
ผลกระทบทางตรง	0.0072	kgCO _{2-eq} /kWh
ผลกระทบทางอ้อม	0.1092	kgCO _{2-eq} /kWh
รวมผลกระทบ	0.1164	kgCO _{2-eq} /kWh

จากตารางที่ 5 ในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh จากเชื้อเพลิงแห้ง มีการปล่อยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.1164 kgCO_{2-eq}/kWh ซึ่งมีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากระบบสายส่งซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.6093 kgCO_{2-eq}/kWh (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2556) จะเห็นว่าการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงแห้งสามารถลดผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าจากระบบสายส่งได้ถึง 0.4929 kgCO_{2-eq}/kWh สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากผลกระทบทางอ้อมโดยคิดเป็น 93.81% ของผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมด

สำหรับการประเมินต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน โดยทำการศึกษาต้นทุนต่อหน่วยของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่สามารถลดลงได้ จากการศึกษพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันดังกล่าวมีราคาต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ -0.27 บาท/kgCO_{2-eq} ซึ่งราคาต้นทุนหน่วยสุดท้ายอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้

5. สรุปผลการศึกษา

จากงานวิจัยการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนหน่วยสุดท้ายของการผลิต

ไฟฟ้าจากขยะชุมชนด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน จากงานวิจัยพบว่าสามารถผลิตเชื้อเพลิงแก๊สได้วันละ 210 kg ซึ่งผลิตไฟฟ้าได้ 149,625 kWh/วัน โดยระบบต้นแบบมีต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 4.62 บาท/kWh ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 4 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 88,802.61 บาท และมีค่าอัตราผลตอบแทนภายใน 8 % จะเห็นว่าระบบดังกล่าวมีราคาต้นทุนต่อหน่วยค่อนข้างสูงเพราะเป็นระบบขนาดเล็ก แต่หากมีการขยายระบบให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณขยะของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่จะทำให้ต้นทุนต่อหน่วยลดลง โดยจะมีต้นทุนต่อหน่วย 3.22 บาท/kWh มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 840,280.50 บาท และมีค่าอัตราผลตอบแทนภายใน 34 % เมื่อพิจารณาในส่วนของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพบว่าระบบต้นแบบมีการปล่อยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 0.1164 kgCO_{2-eq}/kWh ซึ่งลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากระบบสายส่งได้ถึง 0.4929 kgCO_{2-eq}/kWh หรือประมาณ 73,750.1625 kgCO_{2-eq}/ปี และเมื่อพิจารณาในส่วนของต้นทุนหน่วยสุดท้ายพบว่าระบบต้นแบบมีราคาต้นทุนหน่วยสุดท้ายเท่ากับ -0.27 บาท/kgCO_{2-eq}

6. กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยขอคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่สำหรับสถานที่ในการดำเนินงาน และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ทศวรรษ ใจเที่ยง (2555). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และดัชนีความยั่งยืนจากการผลิตเชื้อเพลิงขยะในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, วิทยานิพนธ์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

[2] F.Kesicki and P. Ekins (2011), "Marginal abatement cost curves: a call for caution" UCL Energy Institute, University College London, 14 Upper Woburn Place, London, WC1H 0NN, UK

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน (2554). รายงานพลังงานของประเทศไทย

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน (2554), รายงานการใช้ไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย

[5] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

[6] องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (2556), แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ภายใต้โครงการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www.tgo.or.th เข้าดูเมื่อวันที่ 10/05/2556

[7] กระทรวงแรงงาน [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www.mol.go.th เข้าดูเมื่อวันที่ 10/05/2556

[8] [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www.chamco.net เข้าดูเมื่อวันที่ 11/05/2556