

บทคัดย่อภาษาไทย

ฟอสซิลเป็นแหล่งทรัพยากรที่ไม่ยั่งยืน การนำฟอสซิลมาใช้ประโยชน์ก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมามากมาย เช่น ภาวะโลกร้อน มลพิษทางสิ่งแวดล้อม ปัญหาสุขภาพ ใบอ้อย (Sugarcane leaf) เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เกิดจากการเก็บเกี่ยวอ้อย ในแต่ละปีประเทศไทยมีใบอ้อยเกิดขึ้นประมาณ 50 ล้านตัน ซึ่งใบอ้อยมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ทดแทนฟอสซิลได้ ใบอ้อยประกอบด้วยองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารเคมีตัวกลาง เช่น กรดเลวูลินิก ซึ่งเป็นสารเคมีที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารเคมีอินทรีย์มูลค่าสูง ทั้งนี้การศึกษาการผลิตกรดเลวูลินิกจากใบอ้อยยังไม่เคยมีการดำเนินการมาก่อน

ในโครงการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงจะทำการผลิตกรดเลวูลินิกจากใบอ้อย โดยทำการผลิตด้วยกระบวนการที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมคือ ทำโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลในช่วงอุณหภูมิ 150 – 200 องศาเซลเซียส เวลา 15 – 45 นาที และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 กลุ่ม 5 ชนิด ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยากรดเบรินสเตต (H_2SO_4 , HCl) และกรดลิวอิส ($FeCl_3$, $AlCl_3$, $CrCl_3$) ความเข้มข้น 0.1 – 0.7 โมลาร์ โดยการออกแบบการทดลองของโครงการวิจัยนี้ทำโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology: RSM) ที่ใช้การออกแบบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design: BBD) เพื่อระบุสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดเลวูลินิกให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงสุด ส่วนไฮโดรคาร์ที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตกรดเลวูลินิกจะถูกนำไปศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงและพลังงานความร้อน (Fuel and energy) เพื่อนำข้อมูลด้านเชื้อเพลิงและพลังงานความร้อนของไฮโดรคาร์ไปใช้วางแผนและประเมินความคุ้มค่าในกรณีไฮโดรคาร์ดังกล่าวถูกนำกลับมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในการผลิตกรดเลวูลินิก ส่วนผลิตภัณฑ์ก๊าซได้ถูกนำไปศึกษาชนิดและปริมาณองค์ประกอบก๊าซแต่ละชนิด นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการผลิตกรดเลวูลินิกจากใบอ้อยในถังปฏิกรณ์กึ่งต่อเนื่อง (Semicontinuous) ขนาดกำลังขับ 1 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง และถังปฏิกรณ์แบบกะขนาด 10 ลิตร ซึ่งทำโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมตามผลการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ และคณะผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการผลิตกรดเลวูลินิกจากวัสดุชีวมวลชนิดอื่นด้วย ได้แก่ ชานอ้อย กากน้ำตาล ชั่งข้าวโพด ต้นข้าวโพด ใบข้าวโพด และสารมาตรฐาน (กลูโคส ฟรุคโตส และเซลลูโลส) นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และวัฏจักรชีวิต (LCA) ของกรดเลวูลินิกที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตในโครงการวิจัยนี้เทียบกับกรดเลวูลินิกที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการนำใบอ้อยไปผลิตกรดเลวูลินิกกับการนำใบอ้อยไปเผา ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะมีศักยภาพพร้อมที่จะนำไปขยายสู่การผลิตในระดับนำร่องและระดับอุตสาหกรรมต่อไป

จากการศึกษาวิจัยที่คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการไปแล้ว ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณกรดเลวูลินิกที่สามารถผลิตได้สูงสุดจากไบโอดีมีผลผลิตเท่ากับ 20.95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไบโอดีแห้ง ซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที และใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.4 โมลาร์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปริมาณผลผลิตกรดเลวูลินิคดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณผลผลิตกรดเลวูลินิคสูงสุด (20.57 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไบโอดีแห้ง) ที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการพหุนามกำลังสอง ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าสมการดังกล่าวมีค่า P-value และ R-sq เท่ากับ 0.038 และ 90.78 ตามลำดับ และการวิเคราะห์ปริมาณโลหะอะลูมิเนียม (Al), โครเมียม (Cr), และเหล็ก (Fe) ในผลิตภัณฑ์ของเหลวพบว่า ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ผลิตโดยใช้กรดลิวอิสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีโลหะ ดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสูงกว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ผลิตโดยใช้กรดเบรินสเตรตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงและพลังงานความร้อน (Fuel and energy) ของไฮโดรคาร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที และใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.4 โมลาร์พบว่า ไฮโดรคาร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาในสภาวะดังกล่าวมีปริมาณผลผลิตและค่าความร้อนเท่ากับ 37.67 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไบโอดีแห้ง และ 23.61 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนการผลิตกรดเลวูลินิคในถังปฏิกิริยากิ่งต่อเนื่องและถังปฏิกิริยาแบบกะพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ โดยก๊าซจะมีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้การศึกษากการผลิตกรดเลวูลินิคจากวัสดุชีวมวลชนิดอื่นและสารมาตรฐาน โดยการทำให้ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที และใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ พบว่า กากน้ำตาลและกลูโคสสามารถผลิตกรดเลวูลินิคได้ปริมาณผลผลิตเท่ากับ 21.40 และ 42.98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งสูงกว่าสารตั้งต้นชนิดอื่น

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการผลิตกรดเลวูลินิคจากไบโอดี โดยการทำให้ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที และใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.4 โมลาร์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ต้นทุนการดำเนินการ (Operational expenditure: OPEX) ของการผลิตกรดเลวูลินิคมีค่าเท่ากับ 334.20 บาทต่อกิโลกรัมกรดเลวูลินิค ซึ่งถ้ามีการลงทุนสร้างโรงงานผลิตกรดเลวูลินิคจากไบโอดี จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาเพียง 1 ปี ส่วนการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกรดเลวูลินิคที่ผลิตจากไบโอดี พบว่า กรดเลวูลินิคที่ผลิตจากไบโอดีมีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) เท่ากับ 6.91 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมกรดเลวูลินิค ($\text{kg CO}_{2\text{eq}} / \text{kg levulinic acid}$) ซึ่งต่ำกว่าค่า GWP ของกรดเลวูลินิคที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และต่ำกว่าค่า GWP ที่เกิดจากการเผาไบโอดี

คำสำคัญ: กรดเลวูลินิค, ไบโอดี, สารเคมีตัวกลาง, การประเมินวัฏจักรชีวิต, โมเดลเศรษฐกิจใหม่

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Fossil is unsustainable global carbon resource, its uses lead to several huge drawbacks including global warming, environmental pollutions, and health problems. Sugarcane leaf is an agricultural residue generated from sugarcane harvesting, which annual amount in Thailand is 50 million tons. Sugarcane leaf has a promising property that can be used as substance to produce fossil replacing products. The major composition of sugarcane leaf is cellulose which can be used to produce various valuable products especially intermediate chemicals such as 5-hydroxymethylfurfural, levulinic acid, and etc. Levulinic acid is classified as high value organic chemical. However, the production of levulinic acid from sugarcane leaf has never been conducted yet.

In this study, sugarcane leaf was used as substrate for levulinic acid production through an integrated biorefinery process. Hydrothermal process of sugarcane leaf was performed at 150 – 200 C for 15 – 45 min in 0.1 – 0.7 molar of Bronsted (H_2SO_4 , HCl) and Lewis (FeCl_3 , AlCl_3 , CrCl_3) acids solution. To determine an optimum condition of maximum levulinic acid yield, Response surface methodology (RSM) over Box-Behnken Design (BBD) was used to design the experiment in this study. On the other hand, hydrochar by-product was analyzed though the parameters of fuel and energy properties, and the analysis results were used to evaluate the feasibility for using hydrochar as energy source in levulinic acid production. For gas product, its composition and the amount of each composition was determined. In addition, the levulinic acid production from sugarcane leaf was also conducted in pilot scale using 1 and 10 L/hr semicontinuous reactor, and 10 L batch reactor at an optimum condition of laboratory experiment. To determine the effect of biomass type on levulinic acid yield, sugarcane bagasse, molasse, corncob, corn stalk, corn leaf, glucose, fructose, and cellulose was also used as the substrate for levulinic acid production. Moreover, economic evaluation and life cycle assessment (LCA) of levulinic acid produced from sugarcane leaf over an optimum condition in this study was also performed. Thus, the results obtained from this study could have high potential to extend in industrial scale.

From RSM, the study results revealed that maximum levulinic acid yield of 20.95 wt.% can be produced from sugarcane leaf at the optimum condition of 175 °C for 30 min in 0.4 M H₂SO₄ solution which was highly close to the predicted value (20.57 wt.%). The model P-value (0.038) and R-sq (90.78%) obtained through ANOVA determined that temperature and acid concentration had a significant effect on levulinic acid yield. The analysis results of aluminium (Al), chromium (Cr), and iron (Fe) concentrations in liquid product determined that the product produced using AlCl₃, CrCl₃, and FeCl₃ as catalyst had higher Al, Cr, and Fe concentrations than that of H₂SO₄ and HCl catalyst. On the other hand, the analysis results of hydrochar fuel and energy properties presented that the hydrochar obtained from hydrothermal process of sugarcane leaf at 175 °C for 30 min in 0.4 M H₂SO₄ solution had yield and HHV of 37.67 wt.% and 23.61 Mj/kg, respectively. The production of levulinic acid from sugarcane leaf in semicontinuous and high volume batch reactors found that the obtained product properties were similar with those of produced using laboratory reactor. For gas product, the analysis results found that carbon dioxide was its major compositions. The levulinic acid production from the other biomass type determined that molasse and glucose could be the promising biomass feedstock because of its high levulinic acid yield.

The economic evaluation of levulinic acid produced through hydrothermal process of sugarcane leaf at 175 °C for 30 min in 0.4 M H₂SO₄ solution determined that the operational expenditure (OPEX) of levulinic acid was at 334.20 baht/kg levulinic acid. If the investment of levulinic acid industry is conducted, the payback period can be 1 years. LCA results revealed that global warming potential (GWP) of the levulinic acid produced from sugar leaf accounted for 6.91 kg CO_{2eq} / kg levulinic acid which was lower than that of commercial levulinic acid and sugarcane leaf combustion.

Key words: Levulinic acid, Sugarcane leaf, Intermediate chemicals, Life cycle assessment, BCG model