

การเพิ่มมูลค่าจากน้ำอ้อยด้วยการสังเคราะห์กรดลิวูลินิก

ผกาภาส เจริญพัฒนานนท์ กาญจณา ชันทกะพันธ์* กุลชนารัฐ ประเสริฐสิทธิ์ และ สนิหนามู จงคง

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110 ประเทศไทย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล: kjutharat@eng.psu.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2025.01.005

รับเมื่อ 11 ตุลาคม 2567 แก้ไขเมื่อ 20 มกราคม 2568 ตอรับเมื่อ 28 มกราคม 2568

บทคัดย่อ

อ้อย (*Saccharum officinarum*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าผ่านกระบวนการสังเคราะห์กรดลิวูลินิก (Levulinic Acid) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตพลาสติกชีวภาพ สารเคมี และเชื้อเพลิงชีวภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาในการเก็บอ้อยก่อนที่บอ้อย (0-5 สัปดาห์) ว่ามีผลต่อผลได้ องค์ประกอบ และสมบัติทางกายภาพของน้ำอ้อยอย่างไร ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดลิวูลินิกจากน้ำอ้อยและการเพิ่มความบริสุทธิ์ของกรดลิวูลินิก โดยมีปัจจัยการผลิตที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก (0.01 และ 0.03 โมลต่อลิตร) อุณหภูมิ (160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส) เวลาการทำปฏิกิริยา (1 และ 3 ชั่วโมง) และความเข้มข้นของน้ำอ้อย (60 และ 80 % โดยปริมาตร) พบว่า ระยะเวลาในการเก็บอ้อยก่อนการหีบ (0-5 สัปดาห์) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลได้ ค่าความหนาแน่น ความเป็นกรด-ด่าง และค่าความหวานของน้ำอ้อย แต่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิฟซ์ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตกรดลิวูลินิก คือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 0.03 โมลาร์ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งให้ความเข้มข้นกรดลิวูลินิกสูงสุด 22.92 ± 0.9 มิลลิกรัมต่อกรัม การเพิ่มความบริสุทธิ์ของกรดลิวูลินิกทำได้ด้วยการเติมดินเบาที่ช่วยตกตะกอนสารปนเปื้อนต่างๆ ซึ่งสามารถเพิ่มความเข้มข้นกรดลิวูลินิกได้ร้อยละ 50 แต่ยังไม่สามารถแยกกรดซัลฟิวริกและสารปนเปื้อนบางส่วนออกจากกรดลิวูลินิกได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น จึงเสนอแนะให้มีการพัฒนากระบวนการเพิ่มเติมเพื่อให้ได้กรดลิวูลินิกที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้นถึงร้อยละ 95

คำสำคัญ: น้ำอ้อย, กรดลิวูลินิก, สังเคราะห์

Value-Added Utilization of Sugarcane Juice Through Levulinic Acid Synthesis

Pakamas Chetpattananondh, Kanjana Kantakapun*, Kulchanat Prasertsit, and Sininart Chongkhong

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90 110 Thailand

* Corresponding Author, E-mail: kjutharat@eng.psu.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2025.01.005

Received 11 October 2024; Revised 20 January 2025; Accepted 28 January 2025

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum officinarum*) is a significant economic crop in Thailand, with potential for value addition through the synthesis of levulinic acid, a crucial compound in various industries such as bioplastics, chemicals, and biofuels. This study aims to examine the effect of pre-harvest storage duration (0-5 weeks) on the yield, composition, and physical properties of sugarcane juice, as well as to determine the optimal conditions for producing and purifying levulinic acid from sugarcane juice. The factors considered in this study include sulfuric acid concentration (0.01 and 0.03 mol/L), temperature (160, 180, and 200°C), reaction time (1 and 3 hours), and sugarcane juice concentration (60% and 80% by volume). The results revealed that pre-harvest storage duration (0-5 weeks) had no significant effect on the yield, density, pH, and sweetness of the juice, but did impact the total sugar and reducing sugar content. The optimal conditions for levulinic acid production were found to be a sulfuric acid concentration of 0.03 mol/L, a temperature of 180°C, and a reaction time of 3 hours, yielding the highest concentration of levulinic acid at 22.92 ± 0.9 mg/g. Purification of levulinic acid was achieved by adding diatomaceous earth, which helped precipitate impurities and increased the levulinic acid concentration by 50%. However, the complete removal of sulfuric acid and some impurities was not achieved. Therefore, further process development is recommended to achieve a levulinic acid purity of up to 95%.

KEYWORDS: Sugarcane juice, Levulinic acid, Synthesis

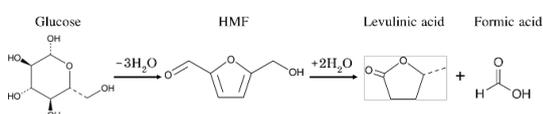
Please cite this article as: P. Chetpattananondh, K. Kantakapun, K. Prasertsit and S. Chongkhong, " Value-Added Utilization of Sugarcane Juice Through Levulinic Acid Synthesis," *Journal of Applied Science and Emerging Technology*, vol 24, no 1, pp. 1-9, ID. 258792, April 2025 (in Thai).

1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยรวม 11,125,480 ไร่ (Office of the cane and sugar board, 2024) เป็นผู้ผลิตน้ำตาลและส่งออกเป็นอันดับต้นๆ ของโลก แม้ปริมาณความต้องการน้ำตาลตลาดโลกยังคงเพิ่มขึ้น แต่ราคาน้ำตาลค่อนข้างผันผวน โดยในสถานการณ์ปกติราคามีแนวโน้มต่ำลง (Sowcharoensuk, 2023) จึงมีแนวคิดในการนำอ้อยมาเพิ่มมูลค่าโดยการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทางชีวภาพใหม่ๆ เช่น กรดลิวูลินิก (Levulinic acid, LA) ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์ กรดลิวูลินิก และอนุพันธ์ กรดลิวูลินิกในหลากหลายอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง อาหาร เกษตร เคมี และพลังงาน (Li et al., 2019)

การสังเคราะห์กรดลิวูลินิกเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา Dehydration ของน้ำตาลกลูโคส โดยน้ำจะถูกดึงออกไป 3 โมเลกุล ทำให้เกิดสารไฮดรอกซีเมทิลฟูรัล (HMF) และ ฮิวมิน (Humins) จากนั้น HMF จะเกิดปฏิกิริยา Rehydration กลายเป็นกรดลิวูลินิกและกรดฟอร์มิกในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ปฏิกิริยาเหล่านี้ดำเนินการในสภาวะที่มีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่ง ซึ่งกรดนี้ช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Rackemann & Doherty, 2012; Antonetti et al., 2016)

การเพิ่มความบริสุทธิ์กรดลิวูลินิกเป็นงานท้าทายเนื่องจากผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์มีปริมาณน้ำสูง มีสมบัติเป็น Azeotropes ทำให้แยกออกได้ยาก (Cheng et al., 2020) มีการศึกษาการเพิ่มความบริสุทธิ์ด้วยวิธีการ การกลั่นสุญญากาศ การแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซิน การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ และการตกผลึก ซึ่งสิทธิบัตร CN113929571A (2021) มีขั้นตอนการเพิ่มความบริสุทธิ์กรดลิวูลินิกดังนี้ 1) ปรับพีเอชด้วยด่าง KOH, NaOH หรือ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ให้มีค่า 7-8 เพื่อให้ทำให้อะตอมของน้ำเหมาะสมต่อการแยกสารปนเปื้อน 2) ลดสีด้วยการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์หรือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ โดยใช้ปริมาณสารดูดซับสี 3-5 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา 30-50 นาที 3) แลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซินประเภทไอออนบวก 001, D001 หรือ D113 แล้ว



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการสังเคราะห์กรดลิวูลินิก

ตามด้วยประเภทไอออนลบ UBA100P, D201 หรือ D301) กรองด้วยเมมเบรน GCS-40NM, GCS-8KD หรือ GCS-500D ใช้ความดัน 3 MPa และ 5) การกลั่นซ้ำ(Rectification)

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตกรดลิวูลินิกจากอ้อย สอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ของประเทศในการเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันและการพัฒนาเศรษฐกิจสีเขียวอย่างยั่งยืน ตามหลัก BCG Model (Ministry of Industry, 2023)

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

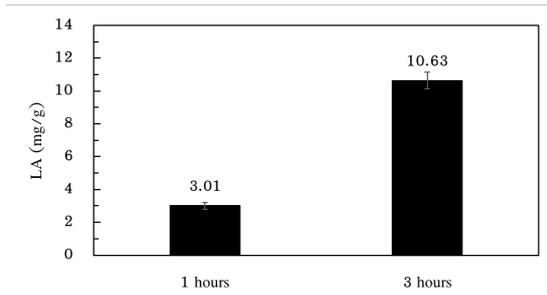
1) ศึกษาระยะเวลาการเก็บอ้อย 0-5 สัปดาห์ โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบในอ้อยดิบ ได้แก่ น้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) และน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar), ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS), ความหนาแน่น, ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความหวานของอ้อย เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บต่อผลได้ องค์ประกอบ และสมบัติทางกายภาพ

2) ทาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดลิวูลินิกโดยตัวอย่างอ้อยที่เตรียมไว้จะถูกเติมกรดซัลฟิวริกในความเข้มข้นที่กำหนด (0.01 หรือ 0.03 โมลต่อลิตร) ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้ง จะใช้กรดซัลฟิวริกปริมาณ 10 มิลลิลิตร ต่อสารละลายอ้อย 200 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์ความดันที่อุณหภูมิ 160, 180 หรือ 200 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 หรือ 3 ชั่วโมง หลังจากการสังเคราะห์ตัวอย่างจะถูกทำให้เย็นและกรองด้วยกระดาษกรอง จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างในภาชนะสำหรับการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดลิวูลินิกด้วยเครื่อง HPLC ตามวิธีของ Hijazi et al. (2022) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

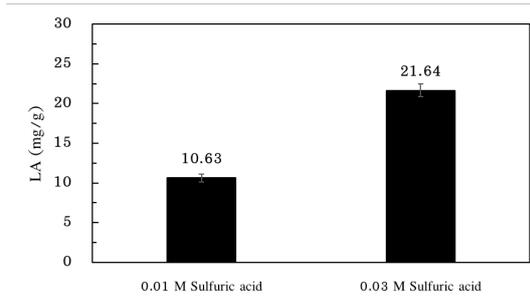
(1) การสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณกรดลิวูลินิกในการทดลองใช้สารลิวูลินิกเกรดสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการความบริสุทธิ์ร้อยละ 98

(2) นำสารมาตรฐานกรดลิวูลินิกมาทำการชั่งที่น้ำหนัก 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 กรัม เติมน้ำ DI (Deionized Water) แต่ละขวดให้ได้ 10 กรัม เขย่าให้เข้ากัน

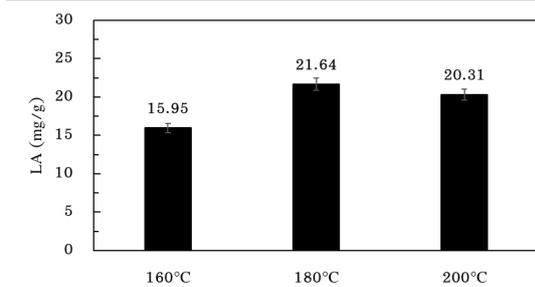
(3) นำสารมาตรฐานที่เตรียมไว้ผ่านการกรองด้วย Nylon Syringe filter ขนาด 0.22 ไมครอนเมตร ทำการกรองเก็บไว้ในขวดแก้ว ขนาด 2 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท



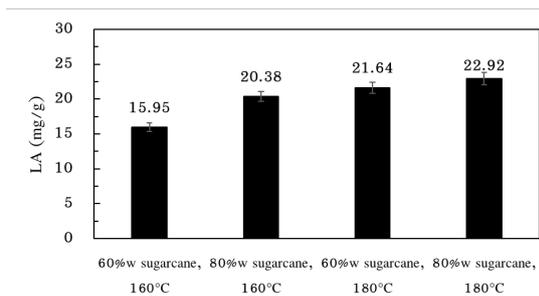
ภาพที่ 2 ผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดลิวลินิก



ภาพที่ 3 ผลการศึกษาปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดลิวลินิก



ภาพที่ 4 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดลิวลินิก



ภาพที่ 5 ผลการศึกษาความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดลิวลินิก

(4) นำตัวอย่างที่ได้จากการสังเคราะห์ที่สภาวะต่างๆ มาผ่านการกรอง บรรจุใส่ขวดแก้วตัวอย่างขนาด 2 มิลลิลิตร พร้อมปิดฝาให้สนิท

(5) นำสารมาตรฐานและตัวอย่างที่เตรียมจากข้อที่ 3 และ 4 มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ด้วย คอลัมน์ AcclaimR Organic Acid Dionex (5 ไมโครเมตร, 120 Å, 4.0X250 มิลลิเมตร) ความยาว 250 มิลลิเมตร ดีเทคเตอร์ชนิด UV-DAD ที่ 210 นาโนเมตร เฟสเคลื่อนที่ โซเดียม

ซัลเฟต 0.5 มิลลิโมลาร์ และปรับ pH โดยเติม Methanesulfonic acid ปริมาณ 0.55 mL/L (pH = 2.65) ที่อัตราการไหลของตัวเคลื่อนที่ 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรในการฉีดตัวอย่าง จำนวน 5 ไมโครลิตร และ อุณหภูมิของคอลัมน์ 30 องศาเซลเซียส

(6) นำข้อมูลหาพื้นที่ใต้กราฟสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นในการสร้างสมการเพื่อทำนายความเข้มข้นของกรดลิวลินิก

3) ศึกษาการเพิ่มความบริสุทธิ์กรดลิวลินิก โดยการแยกสารปนเปื้อน ได้แก่ สี กรดซัลฟิวริก กรดฟอร์มิก และ น้ำออกจากกรดลิวลินิกด้วยการดูดซับด้วยเซจีน ร่วมกับ ถ่านกัมมันต์ และการใช้ดินเบา และการระเหยสุญญากาศ

3. ผลลัพธ์และอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาระยะเวลาในการเก็บอ้อยก่อนหีบอ้อย

จากการศึกษาพบว่า ระยะเวลาในการเก็บอ้อยก่อนการหีบ (0-5 สัปดาห์) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลลัพธ์ที่สำคัญบางประการ เช่น ผลได้ ค่าความหนาแน่น (Density) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าความหวาน (Brix) ของน้ำอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 1 ผลได้จากการหีบอ้อยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 66 ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.04-5.32 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 1.12 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความหวานเฉลี่ย 23.30 บริกซ์ และค่า SS ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระยะเวลาเก็บอ้อยเพิ่มขึ้น แสดงถึงการเสื่อมสภาพขององค์ประกอบในน้ำอ้อย เมื่อระยะเวลาเก็บอ้อยเพิ่มขึ้น กระบวนการย่อยสลายโดยเอนไซม์และจุลินทรีย์ในเซลล์พืชจะเปลี่ยนน้ำตาลที่ไม่รีดิวิซ์ (เช่น ซูโครส) ไปเป็นน้ำตาลรีดิวิซ์ (กลูโคสและฟรุกโตส) ทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันค่า SS ลดลงเนื่องจากของแข็งที่ไม่ละลายถูกแปรสภาพเป็นสารละลายที่เล็กลง อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการหีบอ้อยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บอ้อยไว้นานขึ้น โดยน้ำตาลที่วัดได้นั้นประกอบด้วยน้ำตาลรีดิวิซ์ (Reducing sugar) และนอนรีดิวิซ์ (Non-reducing sugar) น้ำตาลรีดิวิซ์คือน้ำตาลที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde) หรือคีโตน (Ketone) ที่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย เช่น กลูโคส และฟรุกโตส ผลการศึกษาแสดงว่าเมื่อหีบอ้อยทันทีหลังจากได้รับอ้อย ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะสูงที่สุด เมื่อเก็บอ้อยไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์จะเพิ่มขึ้นชัดเจน และเมื่อเก็บ

ตารางที่ 1 ผลของระยะเวลาการกักเก็บอ้อยต่อคุณสมบัติของน้ำอ้อยดิบ

คุณสมบัติของน้ำอ้อยดิบ	ระยะเวลาการกักเก็บอ้อย		
	0	2	5
ร้อยละผลได้	65.40±0.5	66.17±0.6	66.61±0.5
SS (mg/L)	626.67±20.0	359.00±15.0	168.33±12.0
Density (g/cm ³)	1.124±0.002	1.121±0.002	1.123±0.002
pH	5.32±0.10	5.04±0.08	5.26±0.09
Brix	23.40±0.3	23.20±0.2	23.40±0.3
Total sugar (g/kg)	352.82±10.0	228.85±80.0	225.20±80.0
Reducing sugar (g/kg)	9.20±0.5	15.42±0.6	15.82±0.7

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยอื่น

วัตถุุดิบ	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นของ H ₂ SO ₄ (M)	เวลา (hrs)	ความเข้มข้น LA (g/L)	อ้างอิง
เซลลูโลส	175	0.2	3	58.63±1.62	Khon Kaen University (2022)
ชานอ้อย	216	0.2	0.56	10.83	Cheng et al. (2020)
น้ำอ้อย	180	0.03	3	22.92±0.9	งานวิจัยนี้

อ้อยไว้เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการหีบอ้อยทันที แต่ไม่ต่างจากการเก็บอ้อย 2 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเก็บอ้อยก่อนการหีบมีผลต่อปริมาณน้ำตาลในน้ำอ้อย โดยเฉพาะน้ำตาลรีดิวซ์ที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บอ้อยไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ แต่มีการลดลงของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

3.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดลิวูลินิก

ผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดลิวูลินิก 1 และ 3 ชั่วโมง ความเข้มข้นน้ำอ้อยร้อยละ 60 โดยปริมาตร อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดซัลฟิวริก 0.01 โมลาร์ พบว่า ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมงสามารถสังเคราะห์กรดลิวูลินิกได้ ความเข้มข้น 3.01±0.2 และ 10.63±0.5 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แสดงว่าที่ปริมาณความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกต่ำ ต้องใช้เวลาการทำปฏิกิริยาที่นาน แสดงดังภาพที่ 1

ผลการศึกษาปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดลิวูลินิกความเข้มข้น 0.01 และ 0.03 โมลาร์ ซึ่งความเข้มข้นน้ำอ้อยร้อยละ 60 โดยปริมาตร อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้น กรดซัลฟิวริก 0.03 โมลาร์ ให้กรดลิวูลินิกสูงกว่าที่ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.01 โมลาร์ แสดงดังภาพที่ 2

ผลการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดลิวูลินิกที่อุณหภูมิ 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นน้ำอ้อยร้อยละ 60 โดยปริมาตร ความเข้มข้น

กรดซัลฟิวริก 0.03 โมลาร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาตรตั้งต้น 200 มิลลิลิตร หลังทำปฏิกิริยาพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาตรที่ได้หลังทำปฏิกิริยาจะลดลง และอุณหภูมิที่สามารถสังเคราะห์กรดลิวูลินิกได้สูงสุดคือ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งได้ความเข้มข้นกรดลิวูลินิก 21.64±0.8 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 160 และ 200 องศาเซลเซียส สามารถสังเคราะห์กรดลิวูลินิกมีความเข้มข้น 15.95±0.6 และ 20.31±0.7 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิจาก 180°C เป็น 200°C ไม่ได้เพิ่มปริมาณกรดลิวูลินิกอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าอุณหภูมิ 180°C จะให้ผลผลิตสูงสุด แต่การทดลองที่ 160°C ถูกใช้เพื่อยืนยันว่าผลที่ได้จากน้ำอ้อยความเข้มข้นร้อยละ 80 ไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิที่ต่ำกว่าในแง่ของการเกิดผลพลอยได้ การวิเคราะห์นี้ช่วยเพิ่มความมั่นใจในประสิทธิภาพการสังเคราะห์ที่สภาวะ 180°C แสดงดังภาพที่ 3 ดังนั้น อุณหภูมิ 180°C เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นจุดสมดุลระหว่างอัตราเร่งปฏิกิริยาและการเกิดผลพลอยได้ (by-products) เช่น HMF และฟอร์มิก ซึ่งมักเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป (200°C) ทำให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงเป็นกรดลิวูลินิกลดลง

ผลการศึกษาความเข้มข้นของน้ำอ้อยที่ใช้ในการสังเคราะห์กรดลิวูลินิกที่ความเข้มข้นน้ำอ้อยร้อยละ 60 และ 80 โดยปริมาตร ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.03 โมลาร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 160 และ

180 องศาเซลเซียส พบว่าความเข้มข้นน้ำอ้อยร้อยละ 80 โดยปริมาตร ให้ ความเข้มข้นกรดลิวลินิกสูงกว่า เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4 ดังนั้นความเข้มข้นน้ำอ้อยร้อยละ 80 โดยปริมาตรจึงเป็น ความเข้มข้นที่เหมาะสม

ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต กรดลิวลินิก (ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.03 โมลาร์, อุณหภูมิ 180°C, เวลา 3 ชั่วโมง) ให้ผลผลิตกรด ลิวลินิกสูงสุด 22.92±0.9 กรัม/ลิตร ซึ่งสูงกว่าผลจาก Cheng et al. (2020) ที่สังเคราะห์กรดลิวลินิกจากชานอ้อยด้วยสภาวะที่ เหมาะสม อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง 16 มิลลิลิตร/กรัม อุณหภูมิ 216 องศาเซลเซียส เวลา 34 นาที ได้ความเข้มข้น กรดลิวลินิก 10.83 กรัม/ลิตร และใกล้เคียงกับผลจาก โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลสูงผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง (Khon Kaen University, 2022) ที่สภาวะการสังเคราะห์ กรดลิวลินิกที่เหมาะสมจากน้ำอ้อย คือน้ำอ้อยเข้มข้นร้อยละ 50 อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.2 โมลาร์ เวลา 3 ชั่วโมง ได้ความเข้มข้นกรดลิวลินิกสูงถึง 58.63±1.62 กรัมต่อลิตร

ค่าผลได้กรดลิวลินิกทางทฤษฎีสูงสุดที่ผลิตจากเซลลูโลส คือ 71.6 เปอร์เซ็นต์ จากซูโครส 67.8 เปอร์เซ็นต์ และจาก น้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ 64.4 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลอง สังเคราะห์กรดลิวลินิกด้วยน้ำตาลโดยศึกษาสภาวะต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของกรด (กรดซัลฟิวริก, Methanesulfonic Acid, Ethanesulfonic Acid, p-Toluenesulfonic Acid) ปริมาณ กรด (0.1-0.5 M) ความเข้มข้นกลูโคส (0.05-0.1 M) ความ เข้มข้นไฮโดร (0.017-0.073 M) อุณหภูมิ (160-200 องศา เซลเซียส) เวลา (15-60 นาที) สภาวะที่ให้ กรดลิวลินิกสูงสุดคือใช้กรดซัลฟิวริก ปริมาณ 0.5 M ความ เข้มข้นกลูโคส 0.1 M ความเข้มข้นไฮโดร 0.03 M อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ได้ผลได้กรดลิวลินิก 65.7 เปอร์เซ็นต์ (Reckmann & Doherty, 2012) จากการ รวบรวมข้อมูลการผลิตกรดลิวลินิกจากงานวิจัยต่างๆ พบว่า ผลได้กรดลิวลินิกจากการใช้กลูโคสเป็นวัตถุดิบมีค่าอยู่ในช่วง 5-80.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลได้กรดลิวลินิกจากการใช้ฟรุกโตส เป็นวัตถุดิบมีค่าอยู่ในช่วง 7-79 เปอร์เซ็นต์ โดยปัจจัยที่ ส่งผลต่อผลได้กรดลิวลินิกได้แก่ ชนิดและปริมาณวัตถุดิบ ชนิดและปริมาณคะตะลิสต์ ชนิดและปริมาณตัวทำละลาย อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา

จากการศึกษาของโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำตาลสูง ผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง (High Value) ประจำปีงบประมาณ 2565 (Khon Kaen University, 2022) สภาวะ การ สังเคราะห์กรดลิวลินิกที่เหมาะสมจากน้ำอ้อยคือน้ำอ้อย เข้มข้นร้อยละ 50 ในปริมาตร 180 มิลลิลิตร หรือคิดเป็น ร้อยละ 72 ในถึงปฏิกรณ์ความดันอุณหภูมิที่ 175 องศา เซลเซียส ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.2 โมลาร์ ที่เวลา 3 ชั่วโมง จะได้ปริมาณกรดลิวลินิก 58.63±1.62 กรัมต่อลิตร และปริมาณกรดฟอร์มิก 17.59±0.65 กรัมต่อลิตร โดยเมื่อ ทำปฏิกิริยาแล้วคงเหลือน้ำตาลกลูโคสปริมาณ 6.58±0.57 กรัมต่อลิตร

3.3 ผลการศึกษาสภาวะที่ทำให้กรดลิวลินิกมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น

1) ผลการศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับสี

กรดซัลฟิวริก กรดลิวลินิก และกรดฟอร์มิก ไม่มี สี เมื่อให้สารละลายตัวอย่างดังกล่าวไหลผ่านถ่านกัมมันต์ สารละลายที่ได้ไม่เปลี่ยนสี แต่เมื่อเติมน้ำอ้อยในสารตัวอย่าง สารที่ได้มีสีเขียว-เหลืองของน้ำอ้อย เมื่อนำสารละลาย น้ำอ้อยไหลผ่านถ่านกัมมันต์ พบว่า สารตัวอย่างมีสีเข้มขึ้น โดยมีสีดำของถ่านกัมมันต์ติดมาด้วย แสดงว่าถ่านกัมมันต์ไม่ สามารถดูดซับสีในน้ำอ้อยได้ จากการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้ ตัวอย่างที่ได้จากการสังเคราะห์กรดลิวลินิกซึ่งมีสีน้ำตาล พบว่า เมื่อไหลผ่านถ่านกัมมันต์สีของสารตัวอย่างเข้มขึ้น ปริมาณกรดลิวลินิกลดลงเล็กน้อย สรุปได้ว่าไม่สามารถใช้ ถ่านกัมมันต์ดูดซับสีจากตัวอย่างได้ และยังทำให้ปริมาณ กรดลิวลินิกลดลง

2) ผลการศึกษากรณีไม่ปรับสภาพเรซิน

ผลการศึกษาโดยการเติมสารละลายกรดซัลฟิวริก ร้อยละ 0.5 ลงในคอลัมน์ที่มีเรซินที่ไม่ผ่านการ ปรับสภาพ พบว่าหลังสารตัวอย่างผ่านเรซิน pH มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงดัง ตารางที่ 3 ซึ่งเรซินสามารถจับกรดซัลฟิวริกได้ เมื่อเติม กรดลิวลินิกร้อยละ 5 ในสารละลายกรดซัลฟิวริกร้อยละ 0.5 แล้วเติมลงในคอลัมน์ที่มีเรซินที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพบว่า หลังสารตัวอย่างผ่านเรซิน pH เพิ่มขึ้น และปริมาณ กรดลิวลินิกมีค่าลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่า เรซิน สามารถจับกรดลิวลินิกได้เช่นกัน

ตารางที่ 3 ค่า pH และปริมาณกรดสปีกูลินิกใน Pretreat เรซิน

	pH	LA ที่เหลือในสารตัวอย่าง (mg/g)
สารละลายกรดซัลฟิวริก		
ก่อนผ่านเรซิน	1±0.1	-
หลังผ่านเรซิน	5±0.2	-
สารละลายกรดซัลฟิวริกที่เติมกรดสปีกูลินิก		
ก่อนผ่านเรซิน	1±0.1	45.17±1.5
หลังผ่านเรซิน	5±0.2	0.21±0.01
ชะด้วยกรดฟอสฟอริก (รอบ 1 นาน 1 ชั่วโมง)	2±0.1	13.80±0.5
ชะด้วยกรดฟอสฟอริก (รอบ 2 นาน 1 ชั่วโมง)	2±0.1	18.06±0.7
ชะด้วยกรดฟอสฟอริก (ค้างคืน)	2±0.1	16.87±0.6

ตารางที่ 4 ค่า pH และปริมาณกรดสปีกูลินิกของสารตัวอย่างกรณี Pretreat เรซิน

สารตัวอย่าง	pH	LA (mg/g)
สารตัวอย่างที่ผ่านถ่านแล้ว	3±0.1	2.46±0.10
NaCl 4%	5±0.2	1.50±0.08
NaOH 4%	7±0.2	1.48±0.07
HCl 1%	5±0.2	1.53±0.06
HCl 3%	5±0.2	1.26±0.05
H ₂ SO ₄ 0.5%	6±0.2	0.82±0.03
H ₂ SO ₄ 3%	4±0.1	2.17±0.09

จากทฤษฎีเรซิน D301 ซึ่งเป็นเรซินแบบประจุลบต่าง อ่อนควรกำจัดได้เฉพาะกรดแก่แต่ไม่กำจัดกรดอ่อน ส่วนงานวิจัยของ Cheng et al. (2020) ที่เรซิน D301 จับกรดสปีกูลินิกและกรดฟอสฟอริกแต่ไม่จับกรดซัลฟิวริก แต่ผลการทดลองที่ดำเนินการนี้พบว่าเรซิน D301 จับทั้งกรดแก่คือกรดซัลฟิวริกและกรดอ่อนคือกรดสปีกูลินิก ซึ่งความแตกต่างในประสิทธิภาพการจับกรดของเรซิน D301 ในแต่ละงานวิจัยอาจมาจากปัจจัย เช่น สภาพการปรับสภาพเรซินก่อนใช้งาน ความเข้มข้นของกรด และชนิดของกรดที่อยู่ในสารตัวอย่าง การปรับสภาพด้วย H₂SO₄ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจับกรดสปีกูลินิกในบางกรณี ซึ่งผลดังกล่าวทำให้การใช้เรซิน D301 เพิ่มความบริสุทธิ์ให้กับกรดสปีกูลินิกยังเป็นไปได้ยาก

3) ผลการศึกษากรณีปรับสภาพเรซิน

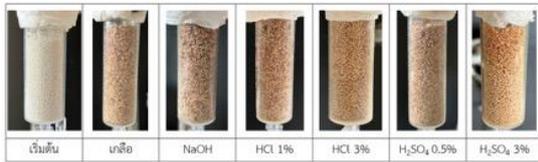
ผลการปรับสภาพเรซินที่ผ่านการแช่ด้วย NaCl ร้อยละ 4, NaOH ร้อยละ 4, HCl ร้อยละ 1, HCl ร้อยละ 3 และ H₂SO₄ ร้อยละ 0.5 เกิดการลอยของเรซิน และเรซินที่ผ่านการแช่ด้วย H₂SO₄ ร้อยละ 3 เกิดการดูดซับสารตัวอย่างจนพองตัว แสดงดังรูปภาพ 6 และเมื่อผ่านสารตัวอย่างจนหมดแล้วเรซินมีลักษณะดังรูปภาพ 7 โดยเรซินที่ผ่านการแช่

ด้วย NaCl ร้อยละ 4, NaOH ร้อยละ 4, HCl ร้อยละ 1, HCl ร้อยละ 3 และ H₂SO₄ ร้อยละ 0.5 มีสีไม่สม่ำเสมอ เรซินบางส่วนดำ และเรซินที่ผ่านการแช่ด้วย H₂SO₄ ร้อยละ 3 มีสีสม่ำเสมอ สารหลังผ่านเรซินที่แช่ด้วย NaCl ร้อยละ 4, NaOH ร้อยละ 4 และ HCl ร้อยละ 1 มีสีเข้มกว่าสารตัวอย่างก่อนผ่านเรซิน สารตัวอย่างหลังผ่านเรซินที่แช่ด้วย H₂SO₄ ร้อยละ 0.5 มีสีใกล้เคียงสารตัวอย่างก่อนผ่านเรซิน และสารตัวอย่างหลังผ่านเรซินที่แช่ด้วย HCl ร้อยละ 3, และ H₂SO₄ ร้อยละ 3 มีสีอ่อนกว่าสารตัวอย่างก่อนผ่านเรซิน โดยสารตัวอย่างหลังผ่านเรซินที่แช่ด้วย H₂SO₄ ร้อยละ 3 มีสีอ่อนที่สุด สารหลังผ่านเรซินที่แช่ด้วย NaCl ร้อยละ 4, NaOH ร้อยละ 4 และ HCl ร้อยละ 1 มีสีเข้มขึ้น เนื่องจากสารตกค้างจากเรซินที่ไม่เหมาะสมในกระบวนการปรับสภาพอาจปนเปื้อนในสารตัวอย่าง ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี ดังภาพที่ 8 แสดงว่า เรซินช่วยดูดซับสีของตัวอย่างได้

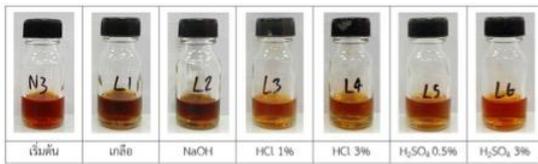
ค่า pH ของสารตัวอย่างหลังผ่านเรซินมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสารตัวอย่างหลังผ่านเรซินที่แช่ด้วย NaOH 4% มีค่า pH เป็นกลาง และสารตัวอย่างที่ผ่านเรซินที่แช่ด้วยสารอื่น ๆ มีค่า pH ตั้งแต่ 4-6 และพบว่าปริมาณกรดสปีกูลินิกในสารตัวอย่างหลังผ่านเรซินมีปริมาณลดลง โดยสารหลังผ่านเรซิน



ภาพที่ 6 เรซินระหว่างการแช่ด้วยสารตัวอย่างที่เติมกรดสีวูลินิก



ภาพที่ 7 เรซินหลังจากสารตัวอย่างที่เติมกรดสีวูลินิกไหลผ่าน



ภาพที่ 8 สีของสารตัวอย่างที่เติมกรดสีวูลินิกหลังจากผ่านเรซิน



ภาพที่ 9 การศึกษาการทำบริสุทธิ์กรดสีวูลินิกด้วยเรซินและถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 10 การเพิ่มความบริสุทธิ์กรดสีวูลินิกด้วยการเติมดินเบา

ที่แช่ด้วย H_2SO_4 ร้อยละ 0.5 มีปริมาณกรดสีวูลินิกต่ำสุด คือ 0.82 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนสารหลังจากผ่านเรซินที่แช่ด้วย H_2SO_4 ร้อยละ 3 มีปริมาณกรดสีวูลินิกสูงสุด คือ 2.17 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อกรัม (ตารางที่ 4) แสดงว่าการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก ร้อยละ 3 ทำให้เรซินดูดซับกรดสีวูลินิกได้น้อยลง

จากการศึกษาการใช้เรซินเพิ่มเติม กรณีเรซินที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและปรับสภาพ โดยศึกษาระยะเวลาการแช่สารตัวอย่างในเรซินเป็นเวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง กรณีเรซินที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่าหลังสารตัวอย่างผ่านเรซิน pH มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 5 ทั้งสองเวลาที่ศึกษา ปริมาณกรดสีวูลินิกในสารตัวอย่างที่ผ่านเรซินที่แช่นาน 30 นาที

เหลือน้อยกว่าที่แช่เรซินนาน 1 ชั่วโมง โดยมีอัตราการไหลของสารที่ผ่านเรซินต่ำลง แสดงว่าเรซินดูดซับกรดซัลฟิวริกและกรดสีวูลินิกจากตัวอย่าง การแช่นาน 30 นาทีเพียงพอให้เกิดการดูดซับกรดสีวูลินิกได้ดี การแช่นาน 1 ชั่วโมงทำให้เรซินเกิดการอิ่มตัว ไม่ดูดซับสารเพิ่มเติม และหลังจากชะเรซินด้วยกรดฟอร์มิกโดยแช่นาน 15 นาที รอบที่ 1 ค่า pH มีค่าลดลงเท่ากับ 4 ทั้งสองชุด และหลังจากชะเรซินด้วยกรดฟอร์มิกรอบที่ 1 แช่ทิ้งไว้นาน 15 นาทีเป็นรอบที่ 2 และรอบที่ 3 ค่า pH มีค่าลดลง เท่ากับ 3 ทั้งสองชุด โดยมีปริมาณกรดสีวูลินิกบ่งบอกว่าการชะเรซินด้วยกรดฟอร์มิกรอบที่ 2 ได้ปริมาณกรดสีวูลินิกเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่การชะรอบที่ 3 ปริมาณกรดสีวูลินิกเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ศึกษาการชะล้างเรซินด้วยการเติมกรดฟอร์มิก 1 M เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Cheng et al. (2020) โดยแช่ทิ้งไว้นาน 1 ชั่วโมง สำหรับรอบที่ 1 และ 2 และค้างคืนสำหรับรอบที่ 3 พบว่า pH ของสารหลังชะเรซินด้วยกรดฟอร์มิกทั้ง 3 รอบ มีค่าลดลงเท่ากับ 2 และปริมาณกรดสีวูลินิกในสารตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 13.80, 18.06 และ 16.87 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การชะด้วยกรดฟอร์มิก 1 M จำนวน 3 รอบที่ดำเนินการยังไม่สามารถชะกรดสีวูลินิกจากเรซินได้หมด และพบว่ามีกรดซัลฟิวริกถูกชะออกด้วย

4) ผลการศึกษาการเพิ่มความบริสุทธิ์ของกรดสีวูลินิกด้วยการใช้เรซินร่วมกับถ่านกัมมันต์

การศึกษาการทำบริสุทธิ์กรดสีวูลินิกด้วยเรซินและถ่านกัมมันต์ พบว่า ลักษณะของตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ โดยปริมาณกรดสีวูลินิกของสารหลังจากกระบวนการเทียบกับตัวอย่างก่อนผ่านกระบวนการ มีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ลักษณะทางกายภาพ สียังคงเข้มไม่ต่างจากเดิม แต่มีความขุ่นลดลง ดังแสดงภาพที่ 9 แสดงว่ากระบวนการนี้ลดการปนเปื้อนได้ แต่ยังมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก เนื่องจากเรซินและถ่านกัมมันต์ดูดซับกรดสีวูลินิกไปมาก ทำให้กรดสีวูลินิกในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

5) ผลการศึกษาการเพิ่มความบริสุทธิ์ของกรดสีวูลินิกด้วยการเติมดินเบา

การศึกษาระบวนการใหม่ในการเพิ่มความบริสุทธิ์กรดสีวูลินิกด้วยการเติมดินเบา (Diatomaceous earth) ลงในสารตัวอย่าง โดยศึกษาอัตราส่วนดินเบา (กรัม) : ตัวอย่าง (มิลลิลิตร) 1:3 และ 1:6 ผสมดินเบาและตัวอย่างให้เข้ากันดี

แล้วทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง กรองดินเบาออกด้วยกระดาษกรองพบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการตกตะกอนด้วยดินเบาที่มีสีอ่อนลงมาก ความขุ่นลดลง โดยปริมาณกรดลิวูลินิกลดลงเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ การใช้อัตราส่วน 1:6 ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายเพราะใช้ดินเบาน้อยกว่า แต่ยังคงประสิทธิภาพในการลดสารปนเปื้อนได้ดีเพียงพอ โดยการใช้อัตราส่วนที่ต่ำกว่า (1:3) แม้จะลดสารปนเปื้อนได้มากกว่า แต่ความแตกต่างไม่เพียงพอที่จะชดเชยต้นทุนที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เรซินและถ่านกัมมันต์ การใช้ดินเบาที่มีชั้นตอนน้อยกว่าและลดสารปนเปื้อนได้ดีกว่า และเมื่อนำสารตัวอย่างที่ได้ไปประเหยเอาน้ำและกรดฟอร์มิกออกด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ ที่ความดัน 8 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ผลผลิตกรดลิวูลินิกที่ได้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากตอนเริ่มต้น 180.24 ± 20.10 มิลลิกรัม/กรัม เป็น 482 ± 23.0 มิลลิกรัม/กรัม คิดเป็นความเข้มข้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 63 เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ได้กับกรดลิวูลินิกมาตรฐานร้อยละ 98 ความเข้มข้นผลผลิตกรดลิวูลินิกคือร้อยละ 50 ซึ่งสูงกว่าผลการศึกษาของ Kang et al. (2018) ได้ผลิตกรดลิวูลินิก (LA) ที่มีความเข้มข้นสูงจากกากน้ำตาลอ้อย โดยมีค่าเฉลี่ยผลได้ร้อยละ 23.9-30.5 ซึ่งสามารถสรุปกระบวนการดังภาพที่ 10 เป็นกระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์กรดลิวูลินิกที่เหมาะสม

5. บทสรุป

การเก็บอ้อยเป็นเวลา 5 สัปดาห์ไม่ส่งผลต่อสมบัติของน้ำอ้อยในการเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตกรดลิวูลินิกอย่างมีนัยสำคัญ การสังเคราะห์กรดลิวูลินิกที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก 0.03 โมลาร์ และระยะเวลา 3 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตกรดลิวูลินิกจากน้ำอ้อย นอกจากนี้ การเพิ่มความบริสุทธิ์กรดลิวูลินิกด้วยการเติมดินเบา (Diatomaceous earth) สามารถเพิ่มความเข้มข้นผลผลิตกรดลิวูลินิกได้ร้อยละ 50 ผลการศึกษานี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นกระบวนการผลิตกรดลิวูลินิกจากน้ำอ้อยในระดับอุตสาหกรรม เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตจากน้ำอ้อยอย่างยั่งยืนได้

6. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังไม่สามารถดำเนินการให้ได้ผลผลิตกรดลิวูลินิกความบริสุทธิ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากยังไม่

สามารถแยกกรดซัลฟิวริกและสารปนเปื้อนบางส่วนออกจากกรดลิวูลินิกที่ได้ ตามทฤษฎีการใช้เรซินแบบประจุลบต่างอ่อนกว่ากรดซัลฟิวริกจากกรดลิวูลินิกได้ แต่จากการทดลองผลไม่ได้เป็นเช่นนั้น การใช้ดินเบาช่วยลดสารปนเปื้อนได้ดีกว่าการใช้เรซินร่วมกับถ่านกัมมันต์ แต่ความบริสุทธิ์ได้เพียง 50 เปอร์เซ็นต์ ยังต้องมีการศึกษาการเพิ่มความบริสุทธิ์กรดลิวูลินิก นอกจากนี้ จะต้องมีการยืนยันโครงสร้างทางเคมีของกรดลิวูลินิกด้วยวิธี FT-IR ในการวิจัยต่อไป เพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์และคุณลักษณะตรงตามเป้าหมาย เทคนิค FT-IR สามารถช่วยยืนยันลักษณะของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนากระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

- Antonetti, C., Licursi, D., Fulignati, S., Valentini, G., & Raspolli Galletti, A. M. (2016). New frontiers in the catalytic synthesis of levulinic acid: from sugars to raw and waste biomass as starting feedstock. *Catalysts*, 6(12), 196.
- Changzhou University. (2021). *Method for separating and purifying levulinic acid*. China Patent No. CN113929571A.
- Cheng, S., Zheng, W., Liu, W., Liu, L., & Sun, W. (2020). Optimization and purification of levulinic acid extracted from bagasse. *Sugar Tech*, 22(5), 830-841.
- Hijazi, A., Pisano, I., Illek, P., & Leahy, J. J. (2022). A rapid HPLC method for the simultaneous determination of organic acids and furans: Food applications. *Beverages*, 8(1), 1-13.
- Kang, S., Fu, J., Zhou, N., Liu, R., Peng, Z., & Xu, Y. (2018). Concentrated Levulinic Acid Production from Sugar Cane Molasses. *Energy & Fuels*, 32(3), 3526-3531.
- Khon Kaen University. (2022). *Development of High-Value Sugar Products for the Fiscal Year 2022*. Khon Kaen University.
- Li, X., Xu, R., Yang, J., Nie, S., Liu, D., Liu, Y., & Si, C. (2019). Production of 5-hydroxymethylfurfural and levulinic acid from lignocellulosic biomass and catalytic upgradation. *Industrial Crops and Products*, 130, 184-197.
- Ministry of Industry. (2023). *Measures for the Development of Bio Industry in Thailand (2018-2027)*. Retrieved January 3, 2023, from www.oie.go.th/assets/portals/1/fileups/2/files/action%20plan/bio_plan.pdf.
- Office of the cane and sugar board. (2024). *General Information*. Retrieved January 3, 2023, from <https://www.ocsb.go.th/>
- Rackemann, D. W., Doherty, W. O. S. (2012). A review on the production of levulinic acid and furanics from sugars. *International Sugar Journal*, 114(0000), 30-36.
- Sowcharoensuk, C. (2023). *Business/Industry Trends 2023-2025: Sugar Industry*. Retrieved January 3, 2023, from <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/sugar/io/sugar-2023-2025>