

การวิเคราะห์พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกระบวนการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ จากดอกทิวลิปด้วยตัวทำละลายและคลื่นไมโครเวฟร่วม

วนิดา โมกโธสงค์ และ บรรพต ศิริณัฐสมบุญ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

email: wanida.mok@dome.tu.ac.th

บทคัดย่อ

ทิวลิป เป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจสำคัญ ที่นิยมปลูกเพื่อจำหน่าย หรือปลูกเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว หลังการเก็บเกี่ยว หรือใช้ประโยชน์ ดอกทิวลิปกลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำดอกทิวลิปสายพันธุ์ Ad Rem (สายพันธุ์ผสม Darwin) มาสกัดสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เพื่อเพิ่มมูลค่า และมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายร่วมกับการให้พลังงานความร้อนแบบดั้งเดิม และการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลาย จากการทดลองพบว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิมที่ใช้ เฮกเซน, เอทานอล และน้ำกลั่น ในอัตราส่วนที่เท่ากันคือ 1 ต่อ 40 ใช้เวลาสกัด 4.5 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเป็น 0.082, 0.922 และ 16.057 ตามลำดับ ในขณะที่การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับน้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 40 ใช้เวลาเพียง 1 นาที ที่กำลังคลื่นไมโครเวฟ 600 วัตต์ ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเป็น 14.8 นอกจากนี้การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมดังกล่าวสามารถลดการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 15.30 และสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 15.20 ดังนั้นการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมเป็นการสกัดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งในแง่การใช้พลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ต่ำกว่า

คำสำคัญ: ทิวลิป, สารต้านอนุมูลอิสระ, การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม, การประหยัดพลังงาน, ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Energy and environmental impact analysis of solvent and microwave-assisted extractions of antioxidants from tulip.

Wanida Moktaisong and Bunpot Sirinutsomboon

Department of Chemical Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University

email: wanida.mok@dome.tu.ac.th

Abstract

Tulip is an important economic crop, widely grown for sale or tourist attractions. After being harvested or utilized, tulip becomes agricultural waste. It is possible to extract antioxidant compounds, that are anthocyanin types, from Ad Rem tulip petal (Darwin hybrid Tulip) as a value-added waste utilization. The goal of this research is to study energy and environmental impacts (greenhouse gas emission) from conventional solvent with heat energy and microwave-assisted extractions. With hexane, ethanol, and water as solvents, using the same ratio, tulip: solvent is 1: 40 and the extraction time of 4.5 h, the conventional extraction provided yields of antioxidant compounds at 0.082, 0.922 and 16.057, respectively. With water as a solvent, using the ratio, tulip: solvent is 1: 40, the microwave power of 600 W and the extraction time of 1 min, the microwave-assisted extractions provided yields of antioxidant compounds at 14.8%. When comparing the conventional and microwave-assisted extractions with the same solvent of water, the microwave-assisted extraction had a lower energy consumption by 15.30 % and a lower environmental impact by 15.20 %. Consequently, the microwave-assisted extraction was more efficient, which the lower energy consumption and environmental impact (greenhouse gas emissions).

Keywords: Tulip, Antioxidant, Microwave-assisted extraction, Energy saving, Environmental impact

บทนำ

ทิวลิปเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจสำคัญ นิยมปลูกเพื่อจำหน่ายหรือปลูกเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว หลังการเก็บเกี่ยวหรือใช้ประโยชน์ ดอกทิวลิปกลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จึงมีแนวคิดที่จะนำดอกทิวลิปมาสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เนื่องจากมีรายงานวิจัยด้านศึกษาการสกัดสารสำคัญจากทิวลิป พบสารกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เช่น แอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบในพืชทั้งในดอก และผลของพืช ที่มี สีส้ม แดง น้ำเงิน หรือม่วง เป็นสารที่ละลายในน้ำได้ดี มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของลิโปโปรตีน และการตกตะกอนของเกล็ดเลือด (Arici และคณะ, 2016) ดังนั้นการนำทิวลิปมาสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ โดยนำสารสกัดไปใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและเครื่องสำอาง

การสกัดสารจากพืชสามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ คือสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) หลักการคือ เลือกชนิดตัวทำละลายที่มีความเข้ากันได้กับสารที่ต้องการสกัด ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัด ได้แก่ ชนิดตัวทำละลาย อัตราส่วนปริมาณตัวทำละลายต่อตัวอย่างพืชที่ต้องการสกัด อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัด อย่างไรก็ตาม การสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิมมีการใช้เวลา และพลังงานในปริมาณที่สูง มีเทคนิคการสกัดอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า เช่น การสกัดด้วยเอนไซม์ (enzyme assisted extraction) การสกัดด้วยอัลตราซาวด์ (ultrasound assisted extraction) และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม (microwave assisted extraction) (วิภาวรรณ และคณะ, 2561)

การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม อาศัยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลาย ทำให้โมเลกุลของพืชเกิดการสั่น และเกิดความร้อนขึ้นทำให้สามารถสกัดสารออกมาได้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดไม่แตกต่างกับการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิม แต่มีปัจจัยเพิ่มเติมคือกำลังคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการสกัด Bandar และคณะ (2013) ได้ศึกษาการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) จากต้นตำแยกัด (*Urtica dioica*) พบว่าความเข้มข้นของสารละลายและเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารสกัด และการสกัดด้วยไมโครเวฟร่วมโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายได้ปริมาณของสารสกัดที่สูงที่สุด นอกจากนี้ Gullon และคณะ (2019) ได้ศึกษาการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟีนอลิก (phenolics) จากใบยูคาลิปตัส พบว่าการใช้เทคนิคการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุด และเมื่อวิเคราะห์ด้านการใช้พลังงานพบว่า การใช้พลังงานต่ำกว่าการสกัดแบบดั้งเดิมถึง 13 เท่า

งานวิจัยนี้นอกจากจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกทิวลิป ระหว่างการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิม และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมแล้ว ยังให้ความสำคัญในเรื่องเปรียบเทียบการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการสกัดทั้งสองกระบวนการ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกทิวลิป ระหว่างการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิม และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม
2. ศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกทิวลิป ระหว่างการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิม และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

ระเบียบวิธีวิจัย

การเตรียมตัวอย่าง

นำกลีบดอกทิวลิปสายพันธุ์ Ad Rem (เป็นสายพันธุ์ผสม Darwin เกิดจากการผสมระหว่าง *Tulipa gesneriana* และ *Tulipa fosteriana* (Jaap และ Marjan, 2006)) ที่เหลือทิ้งหลังการจัดงานมหัศจรรย์ไม้เมืองหนาวทิวลิปบานที่สวนหลวง

ร.9 ซึ่งดอกมีสีส้มแดง และมีอายุของดอกประมาณ 10 - 15 วัน มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสใช้เวลา 72 ชั่วโมงแล้ว นำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดบดเนกประสงค์ และเก็บรักษาไว้ในที่ปราศจากแสง ความร้อน และความชื้น

การสกัดด้วยตัวทำละลาย

ชั่งตัวอย่างทิวลิปแห้ง ปริมาณ 2 กรัม เติมตัวทำละลาย (เฮกเซน, เอทานอล หรือ น้ำกลั่น) ที่อัตราส่วนดอกทิวลิปแห้ง ต่อ ตัวทำละลาย คือ 2 ต่อ 13.33, 2 ต่อ 20 หรือ 2 ต่อ 26.66 (กรัม ต่อ มิลลิลิตร) ผสมให้เข้ากัน และนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ เป็นเวลา 1 นาที โดยใช้กระดาษกรองขนาด 45 ไมโครเมตร เพื่อแยกกากตะกอนออกจากนั้นทำการบดและการกรองนี้ซ้ำอีก 2 รอบ คิดเป็นอัตราส่วนดอกทิวลิปแห้ง ต่อ ตัวทำละลาย โดยรวม เท่ากับ 1 ต่อ 20, 1 ต่อ 30 หรือ 1 ต่อ 40 (มวล ต่อ ปริมาตร) และเวลาการสกัดรวมเป็น 4.5 ชั่วโมง นำสารละลายทั้งหมดที่ได้หลังการกรอง มาอบให้แห้งสนิทด้วยตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 – 1,320 นาที (ขึ้นอยู่กับชนิดและอัตราส่วนของตัวทำละลาย) จากนั้นนำสารสกัดหยาบที่ได้มาชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบ และเก็บไว้ในที่ปราศจากแสง ความร้อน และความชื้น เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไป สภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายนี้นั้นสรุปไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

ชนิดตัวทำละลาย	อัตราส่วน ทิวลิปแห้ง ต่อ ตัวทำละลาย (กรัม ต่อ มิลลิลิตร)	เวลาในการสกัด (นาที)	เวลาในการอบแห้ง (นาที)
เฮกเซน	1 ต่อ 20	270	90
	1 ต่อ 30		120
	1 ต่อ 40		120
เอทานอล	1 ต่อ 20		210
	1 ต่อ 30		210
	1 ต่อ 40		240
น้ำกลั่น	1 ต่อ 20		720
	1 ต่อ 30		960
	1 ต่อ 40		1,320

การสกัดด้วยคลีนไมโครเวฟร่วม

จากผลการทดลองซึ่งจะแสดงให้เห็นในภายหลัง พบว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วนทิวลิปแห้ง ต่อ ตัวทำละลาย 1 ต่อ 40 ให้ผลผลิตร้อยละปริมาณสารสกัดหยาบสูงสุด ดังนั้นการสกัดด้วยคลีนไมโครเวฟร่วมนี้ จึงเลือกใช้ตัวทำละลายเพียงชนิด คือ น้ำกลั่น ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 40

ชั่งตัวอย่างทิวลิปแห้ง ปริมาณ 2 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ผสมให้กันนำมาเข้าเครื่องไมโครเวฟขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือน เพื่อสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ ใช้กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 400, 600 หรือ 800 วัตต์ ใช้เวลาในการสกัด คือ 1, 2 หรือ 4 นาที นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรองขนาด 45 ไมโครเมตร เพื่อแยกกากตะกอนออก และนำส่วนที่เป็นสารละลายมาอบให้แห้งสนิทด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

1,320 นาที จากนั้นนำสารสกัดหยาบที่ได้มาชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบ และเก็บไว้ในที่ปราศจากแสง ความร้อน และความชื้น เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไป สภาวะต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วนนั้นสรุปไว้ใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วน

ชนิดตัวทำละลาย	อัตราส่วน ทิวลิปแห้ง ต่อ ตัวทำละลาย (กรัม ต่อ มิลลิลิตร)	กำลังคลื่นไมโครเวฟ (วัตต์)	เวลาในการสกัด (นาที)	เวลาในการอบแห้ง (นาที)
น้ำกลั่น	1 ต่อ 40	400, 600 และ 800	1, 2 และ 4	1,320

การวิเคราะห์ค่าร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ
 ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยเทคนิค DPPH (เบญจมาศ และคณะ, 2561) โดยนำสารสกัดหยาบที่ได้จากกระบวนการสกัดต่างๆ และสาร butylated hydroxytoluene (BHT) ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระควบคุมเชิงบวก มาทำปฏิกิริยายับยั้งกับสารอนุมูลอิสระ 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) เพื่อหาค่าการกำจัดอนุมูลอิสระ Half maximum inhibitory concentration (IC₅₀) ที่อยู่ในหน่วย ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (µg/mL) จากนั้นนำค่า IC₅₀ ของสารสกัดจากกระบวนการต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับค่า IC₅₀ ของ BHT ซึ่งเท่ากับ 34.9 µg/mL เพื่อคำนวณหาร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่า BHT

การวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า
 ในการวิเคราะห์จะคำนวณหาการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในแต่ละกระบวนการสกัดเพื่อให้ได้มาซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณ 1 กรัมเทียบเท่า BHT (คิดเป็น 1 หน่วยผลผลิต) โดยอาศัยสมการสมการที่ 1 เพื่อคำนวณหาพลังงานไฟฟ้า ในส่วนของข้อมูลกำลังไฟฟ้าของเครื่องมือต่างๆ และเวลาที่ใช้งาน ในกระบวนการสกัด ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3

$$W = \frac{P \times t}{1000} \tag{1}$$

- W คือ พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)
- P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
- t คือ เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)

ตารางที่ 3 ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของเครื่องมือต่าง ๆ และเวลาที่ใช้งาน ในกระบวนการสกัด

รายการเครื่องมือ	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)
อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ	2,823	4.50 - 3,343.4
ตู้อบสุญญากาศ	3,192	12.2 - 4,953.1
เครื่องไมโครเวฟ	850, 1,050 และ 1,250	0.0167 - 0.05
ปั๊มสุญญากาศ	418	0.0235 - 297.1

การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ข้อมูลจะคำนึงถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า, ตัวทำละลาย, ทิวลิป และปริมาณวัสดุสิ้นเปลือง เช่น กระดาษกรอง ที่ใช้ในแต่ละกระบวนการสกัด เพื่อให้ได้สารต้านอนุมูลอิสระปริมาณ 1 กรัมเทียบเท่า BHT (คิดเป็น 1 หน่วย) การวิเคราะห์พลังงาน และผลกระทบสิ่งแวดล้อม จะพิจารณาเฉพาะกระบวนการสกัดเท่านั้น ซึ่งเริ่มจากสารตั้งต้น (ดอกทิวลิปแห้ง) จนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ (สารสกัดหยาบ) โดยอิงข้อมูลจากคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของผลิตภัณฑ์ การคำนวณหาค่าศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ใช้วิธีตาม IPCC (2006) อาศัยสมการที่ 2 ซึ่งข้อมูล Activity Data และค่า Emission Factor ได้แสดงในตารางที่ 4

$$GHG = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor} \quad (2)$$

GHG คือ ศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่าต่อหน่วย)

Activity Data คือ ปริมาณการใช้พลังงาน, ปริมาณวัตถุดิบ หรือสารเคมี (กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือ กิโลกรัม)

Emission Factor คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

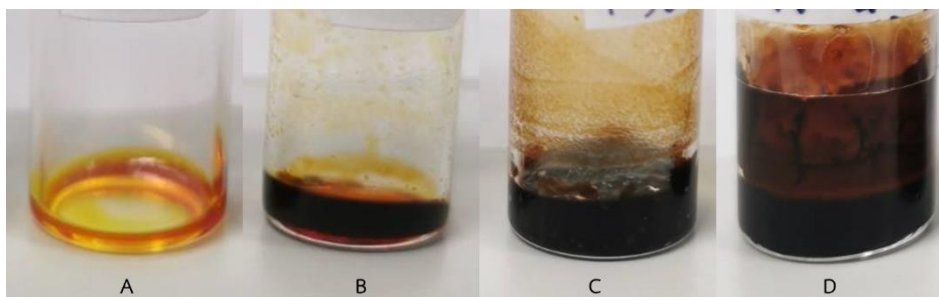
ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในกระบวนการสกัด

รายการ	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ดอกทิวลิปแห้ง (กิโลกรัม)	0.0032	เทียบจากค่าต้นไม้ ดอกไม้ในสวน จากข้อมูล IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
เฮกเซน (กิโลกรัม)	0.62	National Greenhouse Accounts Factors (July, 2017)
เอทานอล (กิโลกรัม)	6.5236	แปลงข้อมูลจาก JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
น้ำกลั่น (กิโลกรัม)	0.2575	Thai National LCI Database
กระดาษกรอง (กิโลกรัม)	1.879	Thai National LCI Database
พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.561	TC Common data

ผลการวิจัย

ลักษณะทางกายภาพของสารสกัดหยาบ

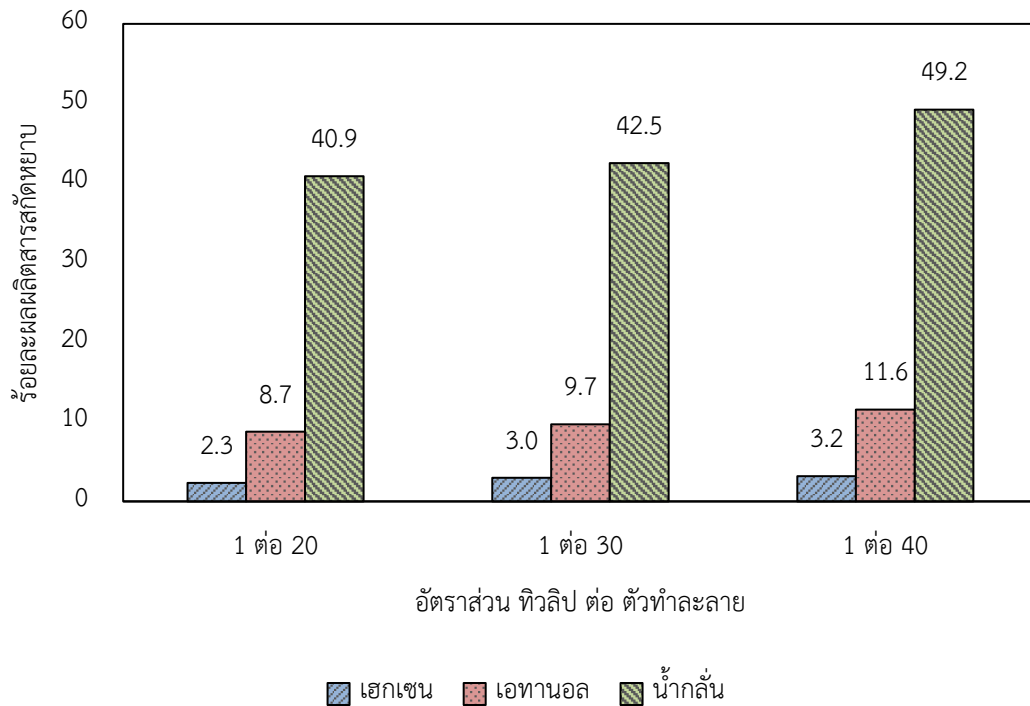
สารสกัดหยาบที่ได้จากกระบวนการสกัด มีลักษณะเป็นของแข็งแห้งทรงติดยาขนะ มีสีเหลืองไปจนถึงน้ำตาลเข้ม และการสกัดหยาบที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนมีสีอ่อนสุด ส่วนการสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำกลั่นมีสีเข้มสุด ซึ่งอัตราส่วนของตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการสกัดนั้นไม่ได้มีผลต่อลักษณะภายนอกของสารสกัดหยาบ แต่พบว่าชนิดของตัวทำละลายมีผลต่อสีของสารสกัดหยาบที่ได้แตกต่างกัน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพลักษณะของสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดที่สภาวะแตกต่างกัน : (A) สกัดด้วยเฮกเซน, (B) สกัดด้วยเอทานอล, (C) สกัดด้วยน้ำกลั่น และ (D) สกัดด้วยคลีนไมโครเวฟร่วมกับน้ำกลั่น

ผลการสกัดด้วยตัวทำละลาย

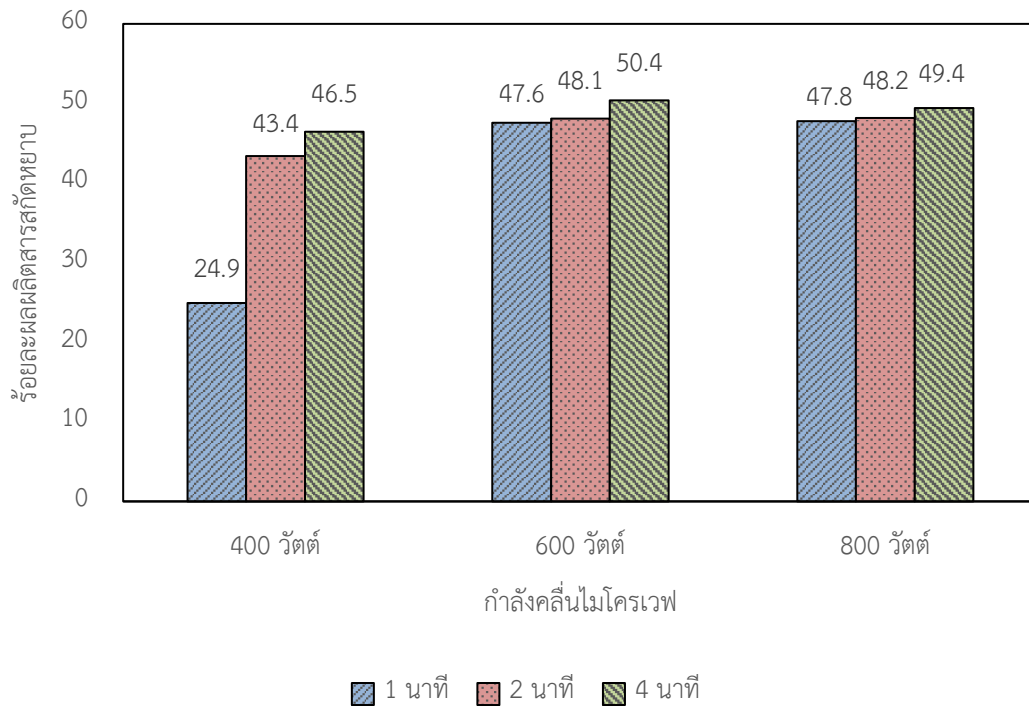
จากการสกัดดอกทิวลิปแห้งด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ เฮกเซน, เอทานอล, หรือ น้ำกลั่น ในอัตราส่วนดอกทิวลิปแห้ง ต่อ ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน คือ 1 ต่อ 20, 1 ต่อ 30 หรือ 1 ต่อ 40 ใช้เวลา 4.5 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ผลร้อยละผลผลิตสารสกัด หยาบ พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายในการสกัดส่งผลให้ปริมาณร้อยละสารสกัดหยาบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การใช้ น้ำกลั่น เป็นตัวทำละลาย ให้ผลร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบสูงสุด ตามด้วยตัวทำละลายเอทานอล และเฮกเซน ตามลำดับ และเมื่อใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายที่อัตราส่วนดอกทิวลิปแห้ง ต่อ ตัวทำละลาย ที่ 1 ต่อ 40 ให้ผลร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบสูงสุดที่ 49.2 ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพปริมาณร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

ผลการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

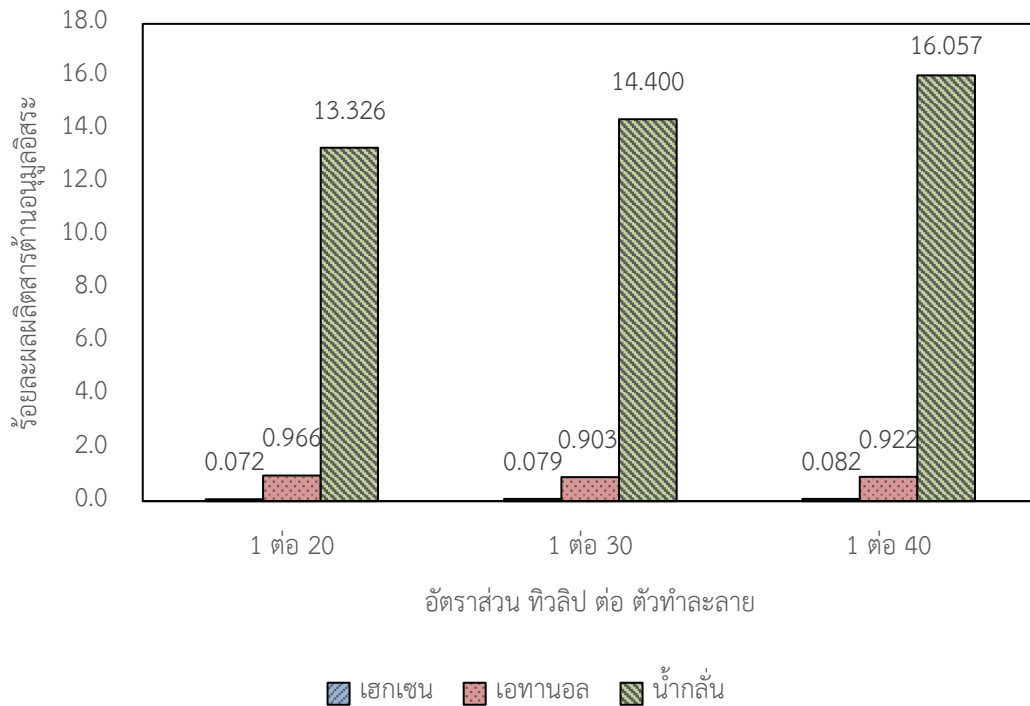
จากการสกัดดอกทิวลิปแห้งที่ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ในอัตราส่วนดอกทิวลิปแห้ง ต่อ ตัวทำละลาย 1 ต่อ 40 ใช้กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 400, 600 หรือ 800 วัตต์ ที่เวลา 1, 2, หรือ 4 นาที พบว่าการสกัดที่กำลังคลื่นไมโครเวฟ 600 และ 800 วัตต์ ได้ปริมาณร้อยละสารสกัดหยาบใกล้เคียงกัน แต่ที่กำลังคลื่นไมโครเวฟ 400 วัตต์ เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัด จะส่งผลให้ปริมาณร้อยละสารสกัดหยาบเพิ่มขึ้น และการสกัดที่กำลังคลื่นไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที ให้ปริมาณร้อยละสารสกัดหยาบสูงสุดที่ 50.4 ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ภาพปริมาณร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟรวม

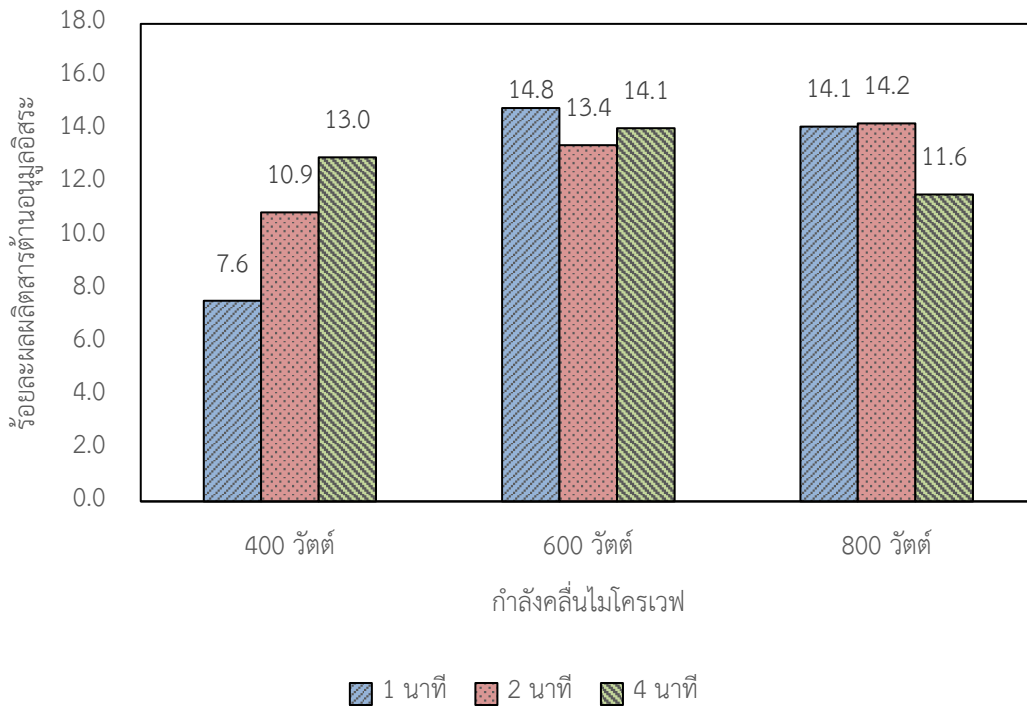
ผลการคำนวณหาร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่า

เมื่อวิเคราะห์หาค่าร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้สาร BHT เป็นตัวอ้างอิง พบว่าการใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายได้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ตามด้วยตัวทำละลายเอทานอล และเฮกเซน ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายในการสกัดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระของการสกัดที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอล และเฮกเซน แต่มีผลทำให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำกลั่น และที่อัตราส่วนดอกทิวลิปแห้ง ต่อ ตัวทำละลาย 1 ต่อ 40 ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดที่ 16.057 ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ภาพร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ ของสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย

จากการสกัดดอกทิวลิปแห้งในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลายน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 1 ต่อ 40 ใช้กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 400, 600 หรือ 800 วัตต์ เป็นเวลา 1, 2, หรือ 4 นาที พบว่าที่กำลังคลื่นไมโครเวฟเป็น 600 และ 800 วัตต์ ให้ปริมาณร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกัน และสูงกว่ากำลังคลื่นไมโครเวฟ 400 วัตต์ นอกจากนั้นยังพบว่าการเพิ่มเวลาในการสกัดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระที่กำลังคลื่นไมโครเวฟ 600 และ 800 วัตต์ แต่มีผลกับกำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 400 วัตต์ และการสกัดที่กำลังคลื่นไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดที่ 14.8 ดังภาพที่ 5

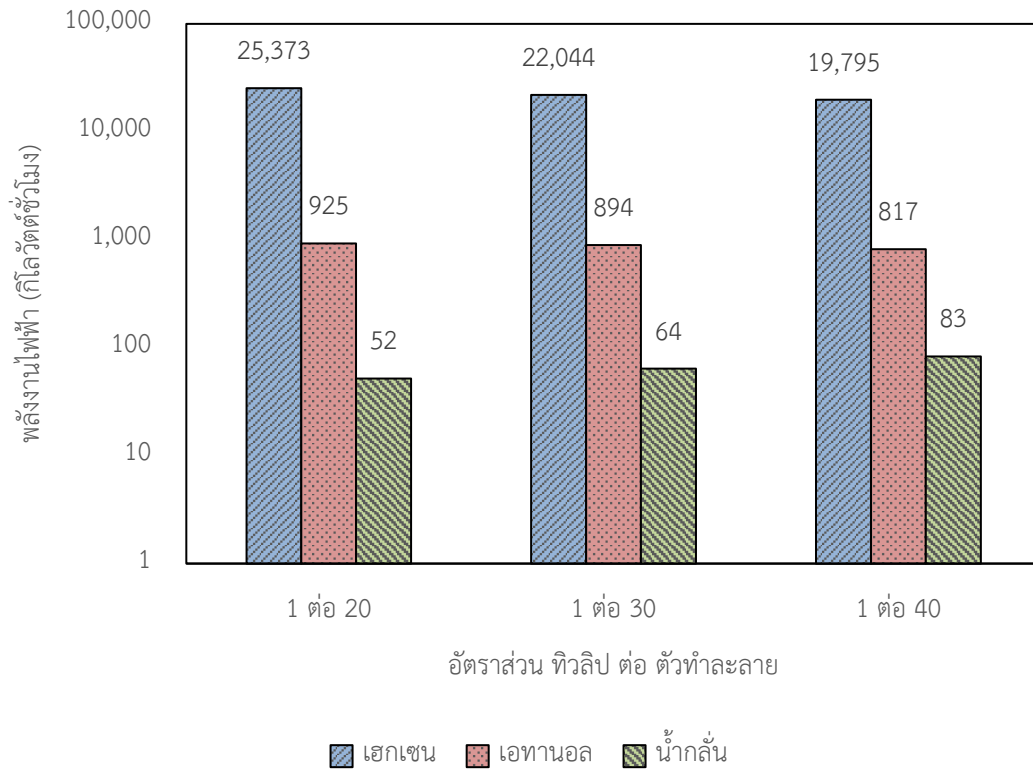


ภาพที่ 5 ภาพร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ ที่ได้จากการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

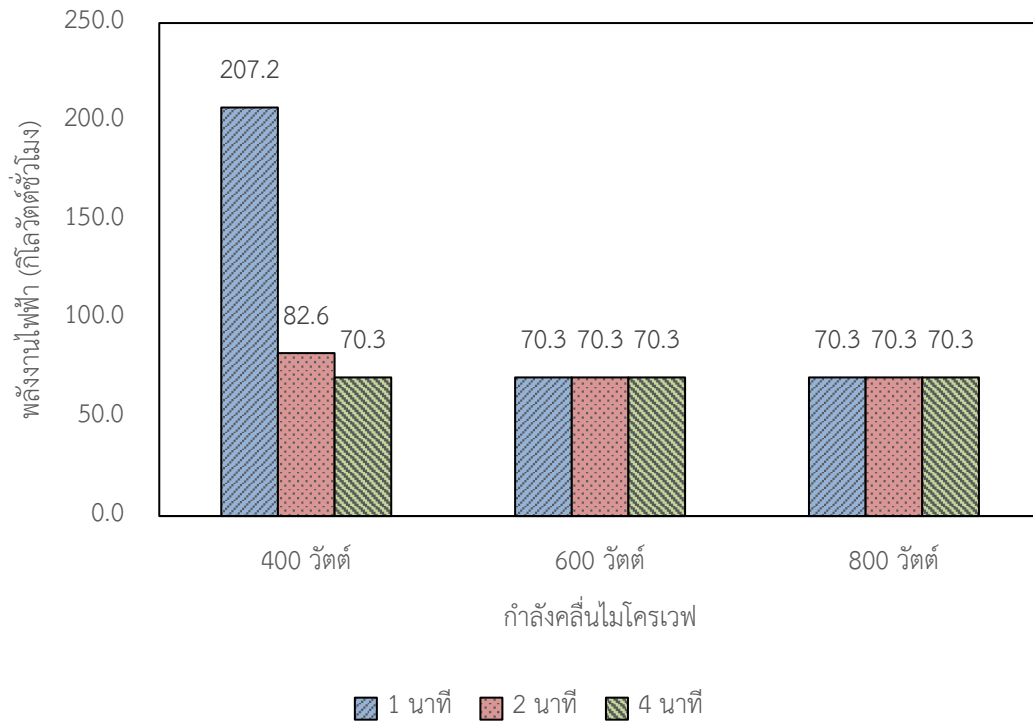
ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

วิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สารต้านอนุมูลอิสระ 1 กรัม เทียบเท่า BHT พบว่าชนิดของตัวทำละลายมีผลต่อปริมาณพลังงานที่ใช้ ซึ่งตัวทำละลายเฮกเซนใช้พลังงานสูงสุด ตามด้วยเอทานอล และน้ำกลั่น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายพบว่าการใช้ตัวทำละลายเฮกเซน และเอทานอลมีแนวโน้มการใช้พลังงานลดลง แต่การใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่นมีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น การใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วน 1 ต่อ 20 ใช้พลังงานไฟฟ้าในการสกัดต่ำสุด (52 กิโลวัตต์ชั่วโมง) เนื่องจากที่สภาวะนี้ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูง และใช้ปริมาณน้ำกลั่นน้อยกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจึงน้อยกว่าเช่นกัน ส่วนการใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่อัตราส่วน 1 ต่อ 20 ใช้พลังงานสูงสุด (25,373 กิโลวัตต์ชั่วโมง) เนื่องจากที่สภาวะนี้ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด ดังภาพที่ 6

ผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่ใช้กระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังคลื่นไมโครเวฟเป็น 600 และ 800 วัตต์ มีแนวโน้มปริมาณการใช้พลังงานลดลงไม่แตกต่างกัน ซึ่งต่ำกว่าการสกัดที่กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 400 วัตต์ ส่วนการสกัดที่กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 400 วัตต์ เมื่อเพิ่มเวลาสกัดส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานลดลงเนื่องจากให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น และการสกัดที่กำลังคลื่นไมโครเวฟ 400 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที่ ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดที่ 70.3 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเท่ากับการสกัดที่กำลังคลื่นไมโครเวฟ 600 และ 800 วัตต์ ดังภาพที่ 7 เมื่อวิเคราะห์ผลโดยรวมพบว่าการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าวิธีสกัดดั้งเดิม โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองกระบวนการสกัดที่นำกลั่นเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วน 1 ต่อ 40 เท่ากัน พบว่าการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม (70.3 กิโลวัตต์ชั่วโมง) ใช้พลังงานน้อยกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลาย (83 กิโลวัตต์ชั่วโมง) ดังภาพที่ 7



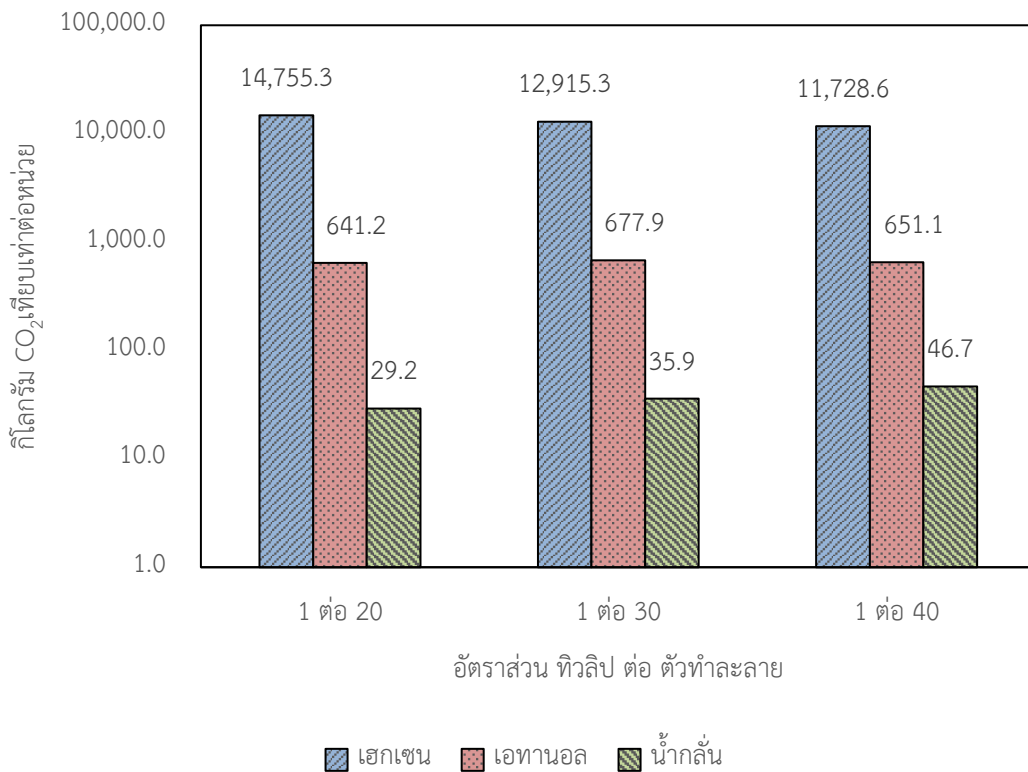
ภาพที่ 6 ภาพปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย



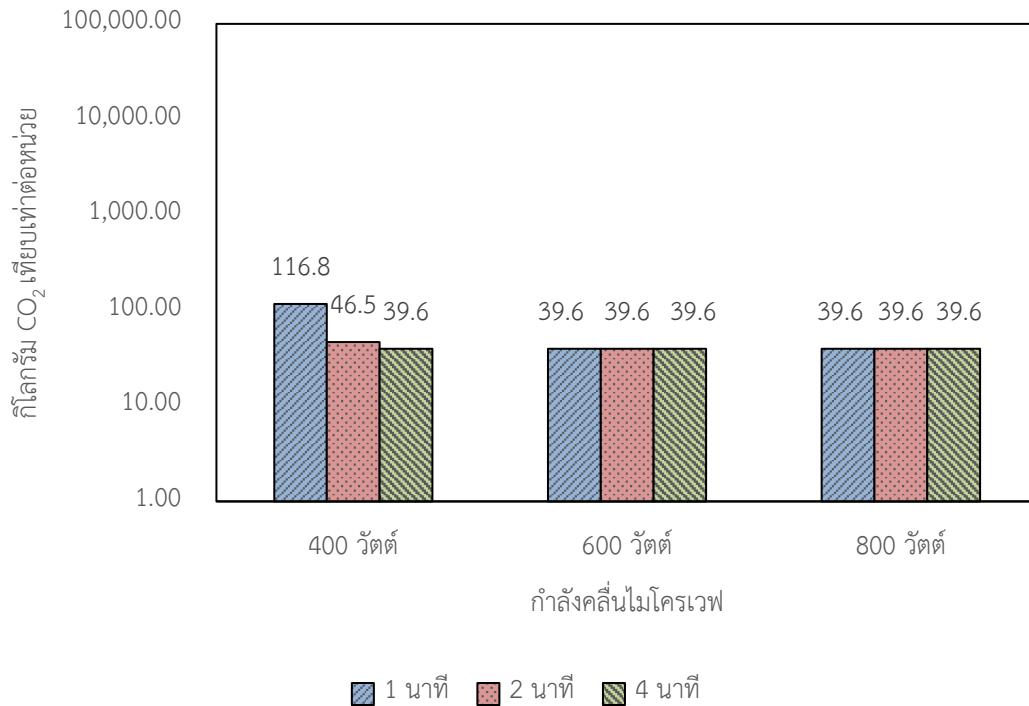
ภาพที่ 7 ภาพปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า, ตัวทำละลาย, วัสดุสิ้นเปลืองต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละกระบวนการสกัด เพื่อให้ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 1 กรัมเทียบเท่า BHT (คิดเป็น 1 หน่วย) เพื่อคำนวณหาปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่าชนิดตัวทำละลายมีผลต่อศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยการใช้ น้ำเป็นตัวทำละลายมีศักยภาพปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำสุด ดังภาพที่ 8 ส่วนศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟรวม โดยรวมพบว่าที่กำลังคลื่นไมโครเวฟ 600 และ 800 วัตต์ มีศักยภาพปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าการสกัดที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ภาพแสดงศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย



ภาพที่ 9 ภาพแสดงศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

สรุปและอภิปรายผล

การสกัดโดยใช้น้ำเป็นเป็นตัวทำละลาย มีศักยภาพสูงสุดในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากทิวลิป และยังช่วยลดความเสี่ยงจากการใช้ตัวทำละลายอื่น ๆ ที่เป็นพิษ การเพิ่มเวลา และอัตราส่วนตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อการเพิ่มปริมาณร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gullon และคณะ (2013) ที่ศึกษาการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยใช้เทคนิคคลื่นไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลายที่แตกต่างกันพบว่าการใช้ น้ำเป็นตัวทำละลายสามารถสกัดสารได้ปริมาณสูงที่สุด เนื่องจากน้ำเป็นสารละลายที่มีขั้วสูงแสดงว่าสารสกัดหยาบที่ได้นั้นมีเป็นสารประกอบที่สารส่วนใหญ่มีขั้วสูงจึงละลายได้ดีในน้ำสอดคล้องกับงานวิจัยของงานวิจัยของ Arici และคณะ (2016) ที่ได้ศึกษาการสกัดสารจากทิวลิป พบสารกลุ่มแอนโทไซยานิน ในดอกทิวลิปที่มี สีส้ม แดง น้ำเงิน หรือ ม่วง ซึ่งเป็นสารมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายในได้ดีในน้ำ

การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมที่กำลัง 600 และ 800 วัตต์ ให้ผลร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีเท่ากัน และสูงกว่าที่ 400 วัตต์ แสดงว่าการเพิ่มกำลังคลื่นไมโครเวฟช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดได้ในระดับหนึ่ง และการเพิ่มเวลาในการสกัดที่กำลัง 400 วัตต์ มีผลต่อการเพิ่มร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากสภาวะนี้มีปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสั่นของโมเลกุลต่าง ๆ ในตัวอย่างยังมีอุณหภูมิไม่สูงมาก แต่การเพิ่มเวลาไม่มีผลต่อการสกัดที่กำลัง 600 และ 800 วัตต์ เนื่องจากที่ 2 สภาวะนี้เพียง 1 นาทีแรกก็ทำให้อุณหภูมิสูงเพียงพอต่อการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่ออกมาได้แล้ว

แม้ว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิมจะให้ผลร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมเล็กน้อย (16.057 และ 14.8 ตามลำดับ) แต่ในแง่ของการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมใช้พลังงานต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 15.30 เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการสกัดสั้นกว่ามาก และส่งผลให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าด้วยเช่นกัน คิดเป็นร้อยละ 15.20 เนื่องจาก

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปริมาณสารเคมี และวัสดุสิ้นเปลืองต่าง ๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลน้อยกว่ามาก

องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีประโยชน์ต่อนำประยุกต์ใช้ในกระบวนการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระในระดับอุตสาหกรรมแทนที่กระบวนการสกัดแบบดั้งเดิมได้

ข้อเสนอแนะ

การเลือกใช้ตัวทำละลาย ในกระบวนการสกัดควรมีการศึกษาความเป็นพิษของตัวทำละลาย และเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีความเป็นพิษต่ำ เพื่อความปลอดภัยในการนำสารสกัดที่ได้ไปใช้ประโยชน์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันนวัตกรรม ปตท. และโรงแยกก๊าซธรรมชาติระยอง ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ อุปกรณ์ และดอกทิวลิป เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ชนภัทร ทรงศักดิ์. (2559, 3 มีนาคม). การสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. ศูนย์การศึกษาต่อเนื่องทางเภสัชศาสตร์. https://ccpe.pharmacycouncil.org/index.php?option=article_detail&subpage=article_detail&id=79
- เบญจมาศ คุชณี, อัจฉรา พรหมลารักษ์, ชญาณัฒม์ บัญชู, ธนาวุธ เขาคี, บุญญวัฒน์ บุญระดม, วณิชชกร สิงห์บรรณ, อชิรา จารุโชติกมล, และปวีตรา พูลบุตร. (2561). ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากผลมะเดื่อชุมพรด้วยเอทานอล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 62(27), 952-960.
- วิภาวรรณ นิละพัช, บุษบา ผลโยธิน, และวันแข็ง สิทธิกิจโยธิน. (2561). สารสกัดสำคัญจากสมุนไพรไทย : การสกัดด้วยไอน้ำและ การสกัดด้วยตัวทำละลาย. วารสารพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 28(4), 903-907
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2561). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ: บริษัท อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่งจำกัด.
- Arici, M., Karasu, S., Baslar, M., Toker, O.S., & Sagdic, O. (2016). Tulip petal as a novel natural food colorant source: Extraction optimization and stability studies. Industrial Crops and Products, 91, 215-222.
- Bandar, H., Hijazi, A., Rammal, H., Hachem, A., Saad, Z., & Badran, B. (2013). Techniques for the Extraction of Bioactive Compounds from Lebanese Urtica dioica. American Journal of Phytomedicine and Clinical Therapeutics, 16, 507-513.
- Chen, L., Hu, J.Y., & Wang, S.Q. (2012). The role of antioxidants in photoprotection: critical review. Journal of the American Academy of Dermatology, 67(5), 1013-1024.
- Embuscado, M. (2015). Spices and herbs: Natural sources of antioxidants - A mini review. Journal of Functional Foods, 18, 811-819.
- Gullon, B., Muniz-Mouro, A., Thelmo, A., Chau, L., Moreira, M.T., & Lema, J.M. (2019). Green approaches for the extraction of antioxidants from eucalyptus leaves. Industrial Crops & Products, 138, 1-8.
- Jaap, M. & Marjan, G.M. (2006). Chapter 23 Tulip. In N.O. Anderson (Ed.), Flower Breeding and Genetics (pp.623-641). Netherlands: Published by Springer.

- Pereira, P., Cebola, M.J., Oliveirad, M.C., & Bernardo, G.G. (2016). **Supercritical fluid extraction vs conventional extraction of myrtle leaves and berries: Comparison of antioxidant activity and identification of bioactive compounds.** *Journal of Supercritical Fluids*, 113, 1–9.
- Potrich, E., Miyoshi, S.C.M., Machado, P.F.S., Ribeiro, M.P.A., Tardioli, P.W., Giordano, R.L.C., Cruz, A.J.G., & Giordano, R.C. (2020). **Replacing hexane by ethanol for soybean oil extraction: Modeling, simulation, and techno-economic-environmental analysis.** *Journal of Cleaner Production*, 244, 1–12.
- Todd, R. & Baroutian, S. (2017). **Techno-economic comparison of subcritical water, supercritical CO₂ and organic solvent extraction of bioactive from grape marc.** *Journal of Cleaner Production*, 158, 349–358.