

ขอแจ้งชี้การส่งบทความปรับแก้ไข รอบ Final ดังนี้

1. ท่านจะได้รับข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง ผ่านระบบ <http://www.conference.ssru.ac.th/IRD-Conference2021> ตั้งแต่วันจันทร์ที่ 21 มิถุนายน 2564 เป็นต้นไป
2. ขอให้ผู้นำเสนอปรับแก้ตามผู้ทรงประจำห้อง และส่งปรับแก้เข้ามาที่ระบบ <http://www.conference.ssru.ac.th/IRD-Conference2021> ภายในวันอาทิตย์ที่ 27 มิถุนายน 2564

ทั้งนี้ หากบทความใดได้เฉพาะเอกสารแจ้งชี้การส่งบทความปรับแก้ไข รอบ Final นั้น ขอให้ปรับแก้จากผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้องให้ข้อเสนอแนะในวันนำเสนอ และส่งกลับมายังในระบบให้ทันระยะเวลาที่กำหนด และขอความอนุเคราะห์ส่งไฟล์ที่แก้ไขกลับมาเป็นไฟล์ word เพื่อออกเล่ม Proceeding Online

ขอขอบคุณค่ะ

การวิเคราะห์พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในกระบวนการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ จากดอกทิวลิปด้วยตัวทำละลายและคลื่นไมโครเวฟร่วม

วนิดา โมกโธสงค์ และ บรรพต ศิริณัฐสมบูรณ์

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 และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายร่วมกับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม และการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลาย จากการทดลองพบว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิมที่ใช้ เฮกเซน, เอทานอล และน้ำกลั่น ในอัตราส่วนที่เท่ากันคือ 1 ต่อ 40 ใช้เวลาสกัด 4.5 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเป็น 0.082, 0.922 และ 16.057 ตามลำดับ ในขณะที่ การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับน้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 40 ใช้เวลาเพียง 1 นาที ที่กำลังคลื่น ไมโครเวฟ 600 วัตต์ ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเป็น 14.8 นอกจากนี้การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมดังกล่าว สามารถลดการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 8.33 และสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็น ร้อยละ 8.02 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. The goal of this research was to extract antioxidant compounds of anthocyanin type from tulip (Ad Rem, Darwin hybrid) as a value-added waste utilization. It was also to study energy and environmental impacts (greenhouse gas emission) of conventional extraction with solvent and heat and of microwave-assisted extraction. With hexane, ethanol and water as solvents, the tulip-to-solvent ratio of 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, the tulip-to-solvent ratio of 1:40, the microwave power of 600 W, and the extraction time of 1 min, the microwave-assisted extractions provided a yield of antioxidant compounds at 14.8 %. The microwave-assisted extraction had a lower energy consumption by 8.33 % and a lower environmental impact by 8.02 %. Consequently, the microwave-assisted extraction was more efficient, with the lower energy consumption and environmental impact.

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

บทนำ

ทิวลิปเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจสำคัญ นิยมปลูกเพื่อจำหน่ายหรือปลูกเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว หลังการเก็บเกี่ยวหรือใช้ประโยชน์ ดอกทิวลิปกลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จึงมีแนวคิดที่จะนำดอกทิวลิปมาสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เนื่องจากมีรายงานวิจัยศึกษาการสกัดสารสำคัญจากทิวลิปพบสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เช่น แอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบทั้งในดอกและผลของพืชที่มีสีส้ม แดง น้ำเงิน หรือม่วง เป็นสารที่ละลายในน้ำได้ดี มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของลิโปโปรตีน และการตกตะกอนของเกล็ดเลือด (Arici และคณะ, 2016) ดังนั้นการนำทิวลิปมาสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ โดยสามารถนำสารสกัดที่ได้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและเครื่องสำอาง

การสกัดสารจากพืชสามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งในวิธีที่นิยมใช้คือการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) โดยมีหลักการที่สำคัญคือการเลือกชนิดตัวทำละลายที่มีความมีขั้วใกล้เคียงกับสารที่ต้องการสกัด มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัด ได้แก่ ชนิดตัวทำละลาย อัตราส่วนปริมาณตัวทำละลายต่อตัวอย่างพืชที่ต้องการสกัด อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัด อย่างไรก็ตาม การสกัดสารด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิมมีการใช้เวลานานและพลังงานในปริมาณที่สูง มีเทคนิคการสกัดอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า เช่น การสกัดด้วยเอนไซม์ (enzyme assisted extraction) การสกัดด้วยอัลตราซาวด์ (ultrasound assisted extraction) และการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม (microwave assisted extraction) เป็นต้น (วิภาวรรณ และคณะ, 2561)

การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมอาศัยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลาย ทำให้โมเลกุลของพืชเกิดการสั่น และเกิดความร้อนขึ้นทำให้สามารถสกัดสารออกมาได้ มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดไม่แตกต่างกับการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิม แต่มีปัจจัยเพิ่มเติมคือกำลังคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการสกัด Bandar และคณะ (2013) ได้ศึกษาการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) จากต้นตำแยกัด (*Urtica dioica*) โดยพบว่าความถี่ของสารละลายและเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารสกัด และการสกัดด้วยไมโครเวฟร่วมโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายให้ปริมาณของสารสกัดสูงสุด นอกจากนี้ Gullon และคณะ (2019) ได้ศึกษาการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟีนอลิก (phenolics) จากใบยูคาลิปตัส พบว่าการใช้เทคนิคการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุด และเมื่อวิเคราะห์ด้านการใช้พลังงานพบว่าการใช้พลังงานต่ำกว่าการสกัดแบบดั้งเดิมถึง 13 เท่า

ในงานวิจัยนี้ นอกจากจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกทิวลิป ระหว่างการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิมและการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมแล้ว ยังให้ความสำคัญกับเปรียบเทียบการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการสกัดทั้งสองประเภท เพื่อสร้างองค์ความรู้ที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้กระบวนการและสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการประยุกต์ใช้กระบวนการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกทิวลิปในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกทิวลิป ระหว่างการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิมและการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม
2. ศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกทิวลิป ระหว่างการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิมและการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

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 ชั่วโมง แล้วนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดบดแรงสูง และเก็บรักษาไว้ในที่ปราศจากแสง ความร้อน และความชื้น

การสกัดด้วยตัวทำละลาย

ชั่งตัวอย่างทิวลิปแห้งปริมาณ 2 กรัม เติมตัวทำละลาย (เฮกเซน, เอทานอล หรือ น้ำกลั่น) ที่อัตราส่วนดอกทิวลิปแห้งต่อตัวทำละลาย คือ 2 ต่อ 13.33, 2 ต่อ 20 หรือ 2 ต่อ 26.66 (กรัม ต่อ มิลลิลิตร) ผสมให้เข้ากัน และนำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส และเขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศเป็นเวลา 1 นาที โดยใช้กระดาษกรองขนาด 45 ไมโครเมตร เพื่อแยกกากตะกอนออก จากนั้นทำการบดและการกรองนี้ซ้ำอีก 2 รอบ คิดเป็นอัตราส่วนดอกทิวลิปแห้งต่อตัวทำละลายโดยรวมเท่ากับ 1 ต่อ 20, 1 ต่อ 30 หรือ 1 ต่อ 40 (มวล ต่อ ปริมาตร) และเวลาการสกัดโดยรวมเป็น 4.5 ชั่วโมง นำสารละลายทั้งหมดที่ได้มาอบให้แห้งสนิทด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 - 1,320 นาที (ขึ้นอยู่กับชนิดและอัตราส่วนของตัวทำละลาย) จากนั้นนำสารสกัดหยาบที่ได้มาชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบ และเก็บไว้ในที่ปราศจากแสง ความร้อน และความชื้น เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป สภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายนี้นสรุปไว้ในตารางที่ 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

การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

จากผลการทดลองซึ่งจะแสดงให้เห็นในภายหลังพบว่า การสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายที่อัตราส่วนทิวลิปแห้งต่อตัวทำละลาย 1 ต่อ 40 ให้ผลผลิตร้อยละปริมาณสารสกัดหยาบสูงสุด ดังนั้นการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมนี้จึงเลือกใช้ตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว คือ น้ำกลั่น ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 40

ซึ่งตัวอย่างทิวลิปแห้งปริมาณ 2 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำมาเข้าเครื่องไมโครเวฟขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือน ใช้กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 400, 600 หรือ 800 วัตต์ ใช้เวลาในการสกัด คือ 1, 2 หรือ 4 นาที นำตัวอย่างที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศเป็นเวลา 1 นาที โดยใช้กระดาษกรองขนาด 45 ไมโครเมตร เพื่อแยกกากตะกอนออก และนำส่วนที่เป็นสารละลายมาอบให้แห้งสนิทด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1,320 นาที จากนั้นนำสารสกัดหยาบที่ได้มาชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบ และเก็บไว้ในที่ปราศจากแสง ความร้อน และความชื้น เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป สภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมนั้นสรุปไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

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

ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยเทคนิค DPPH (เบญจมาศ และคณะ, 2561) โดยนำสารสกัดหยาบที่ได้จากกระบวนการสกัดที่สภาวะต่าง ๆ และสาร butylated hydroxytoluene (BHT) ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระควบคุมเชิงบวก มาทำปฏิกิริยายับยั้งกับสารอนุมูลอิสระ 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) เพื่อหาค่าการกำจัดอนุมูลอิสระ Half maximum inhibitory concentration (IC_{50}) ที่อยู่ในหน่วยไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ($\mu\text{g/mL}$) จากนั้นนำค่า IC_{50} ของสารสกัดจากกระบวนการต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับค่า IC_{50} ของ BHT ซึ่งเท่ากับ 34.9 $\mu\text{g/mL}$ เพื่อคำนวณหาร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่า BHT

การวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์นี้จะคำนวณหาการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในแต่ละกระบวนการสกัดเพื่อให้ได้มาซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณ 1 กรัมเทียบเท่า BHT (คิดเป็น 1 หน่วยผลผลิต) โดยอาศัยสมการที่ 1 ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้นั้นจะคิดต่อการสกัด 1 ตัวอย่าง (สารตั้งต้นทิวลิปแห้ง 2 กรัม) ส่วนเวลาที่ใช้งานเครื่องมือจะคิดบนพื้นฐานที่ว่า ให้ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 1 กรัมเทียบเท่า BHT ข้อมูลดังกล่าวจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาวะการสกัด และค่าร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งข้อมูลกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้งานของเครื่องมือต่าง ๆ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3

$$W = \frac{P \times t}{1000} \quad (1)$$

W คือ พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

t คือ เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)

ตารางที่ 3 ข้อมูลกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้งานของเครื่องมือต่าง ๆ ในกระบวนการสกัด

เครื่องมือ	กำลังไฟฟ้า ต่อการสกัด 1 ตัวอย่าง (วัตต์)	เวลาที่ใช้งานเพื่อให้ได้สารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณ 1 กรัมเทียบเท่า BHT (ชั่วโมง)
อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ	313.67	14.01 - 3,122.72
ตู้อบสุญญากาศ	354.67	45.03 - 1,272.08
เครื่องไมโครเวฟ	850, 1,050 และ 1,250	0.06 - 0.22
ปั๊มสุญญากาศ	418	0.06 - 34.70

การวิเคราะห์ผลต่อกระทบสิ่งแวดล้อม

ในการวิเคราะห์นี้จะคำนึงถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณตัวทำละลาย, ทิวลิป และวัสดุสิ้นเปลือง เช่น กระดาษกรอง ที่ใช้ในแต่ละกระบวนการสกัด เพื่อให้ได้สารต้านอนุมูลอิสระปริมาณ 1 กรัมเทียบเท่า BHT (คิดเป็น 1 หน่วยผลิต) การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมนี้จะพิจารณาเฉพาะกระบวนการสกัดเท่านั้น ซึ่งเริ่มจากสารตั้งต้นดอกทิวลิปแห้ง จนถึงการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์สารสกัดหยาบ โดยอ้างอิงข้อมูลจากคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ การคำนวณค่าศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใช้วิธีตาม IPPC (2006) โดยอาศัยสมการที่ 2 ซึ่งข้อมูล Activity Data และค่า Emission Factor ได้แสดงในตารางที่ 4

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

GHG คือ ศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่าต่อหน่วย)

Activity Data คือ ปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณวัตถุดิบ หรือสารเคมี (กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือ กิโลกรัม)

Emission Factor คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในกระบวนการสกัด

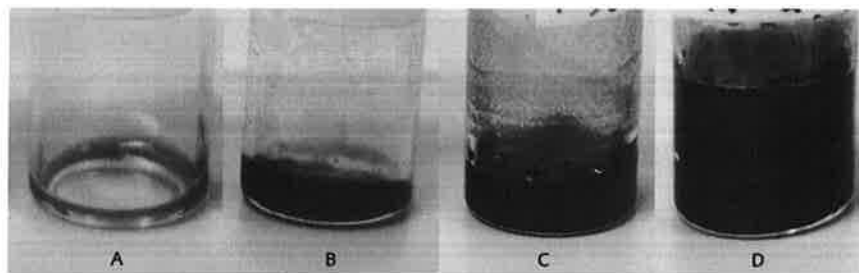
รายการ	ค่าสัมประสิทธิ์การ ปล่อยก๊าซเรือนกระจก	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ดอกทิวลิปแห้ง (กิโลกรัม)	0.0032	เทียบจากค่าต้นไม้ ดอกไม้ในสวน จากข้อมูล IPPC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
เฮกเซน (กิโลกรัม)	0.62	National Greenhouse Accounts Factors (July, 2017)
เอทานอล (กิโลกรัม)	6.5236	แปลงข้อมูลจาก 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

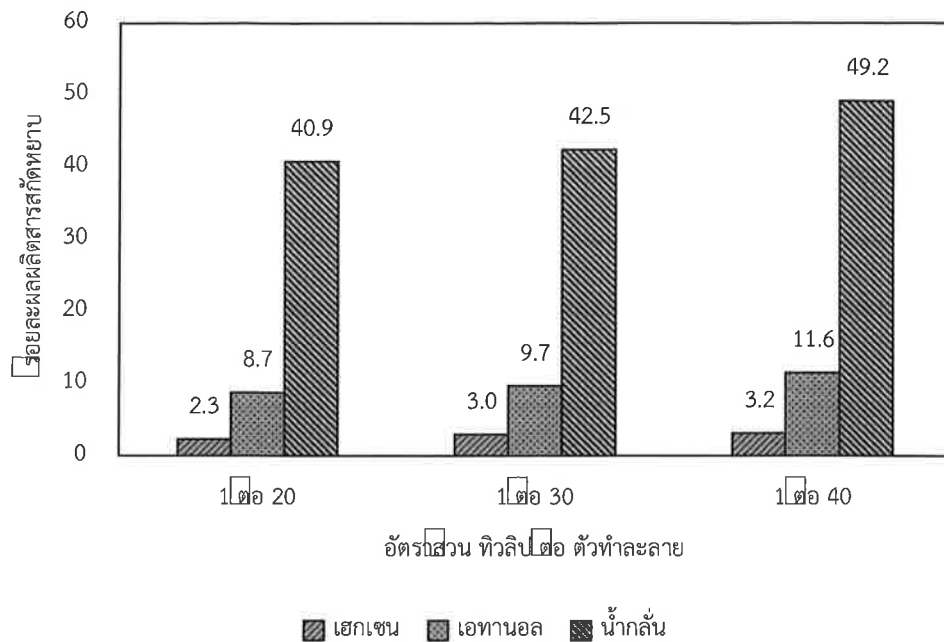
สารสกัดหยาบที่ได้จากการบวกรสสกัดมีลักษณะเป็นของแข็งแห้งกรังติดภาชนะ มีสีเหลืองไปจนถึงน้ำตาลเข้ม สารสกัดหยาบที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนมีสีอ่อนสุด ส่วนสารสกัดหยาบที่สกัดด้วยตัวละลายน้ำกลั่นมีสีเข้มสุด ซึ่งอัตราส่วนของตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการสกัดนั้นไม่ได้มีผลต่อลักษณะภายนอกของสารสกัดหยาบ แต่พบว่าชนิดของตัวทำละลายมีผลต่อสีของสารสกัดหยาบที่ได้แตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 1



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

ผลการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิม

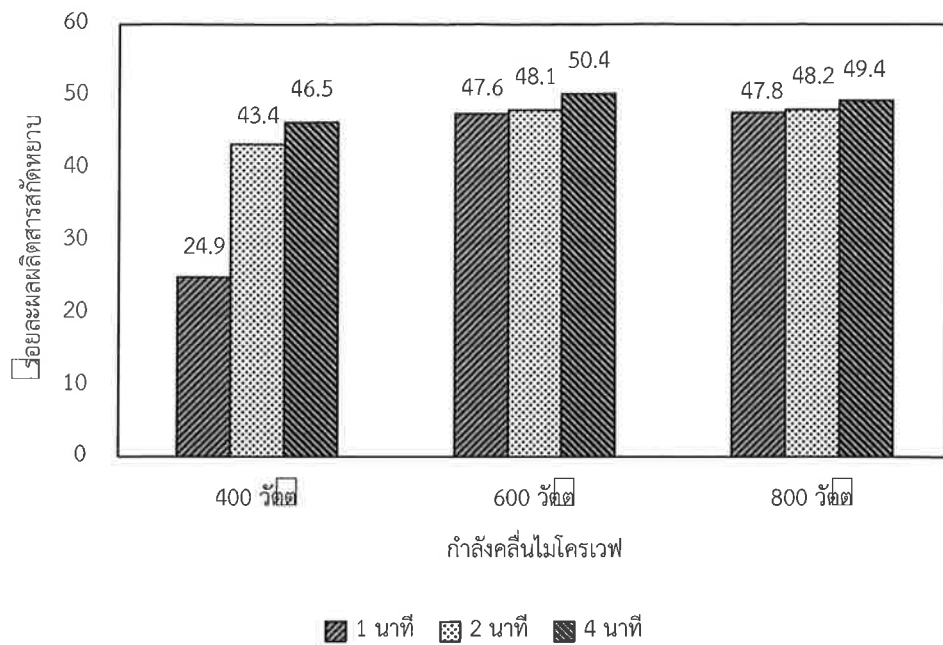
จากการสกัดดอกทิวลิปแห้งด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ เฮกเซน, เอทานอล, หรือ น้ำกลั่น ในอัตราส่วนดอกทิวลิปแห้งต่อตัวทำละลายที่แตกต่างกัน คือ 1 ต่อ 20, 1 ต่อ 30 หรือ 1 ต่อ 40 ใช้เวลา 4.5 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ผลร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายในการสกัดส่งผลให้ปริมาณร้อยละสารสกัดหยาบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายให้ผลร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบสูงสุด ตามด้วยตัวทำละลายเอทานอล และเฮกเซน ตามลำดับ และเมื่อใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายที่อัตราส่วนดอกทิวลิปแห้ง ต่อ ตัวทำละลาย ที่ 1 ต่อ 40 ให้ผลร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบสูงสุดที่ 49.2 ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปริมาณร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

ผลการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

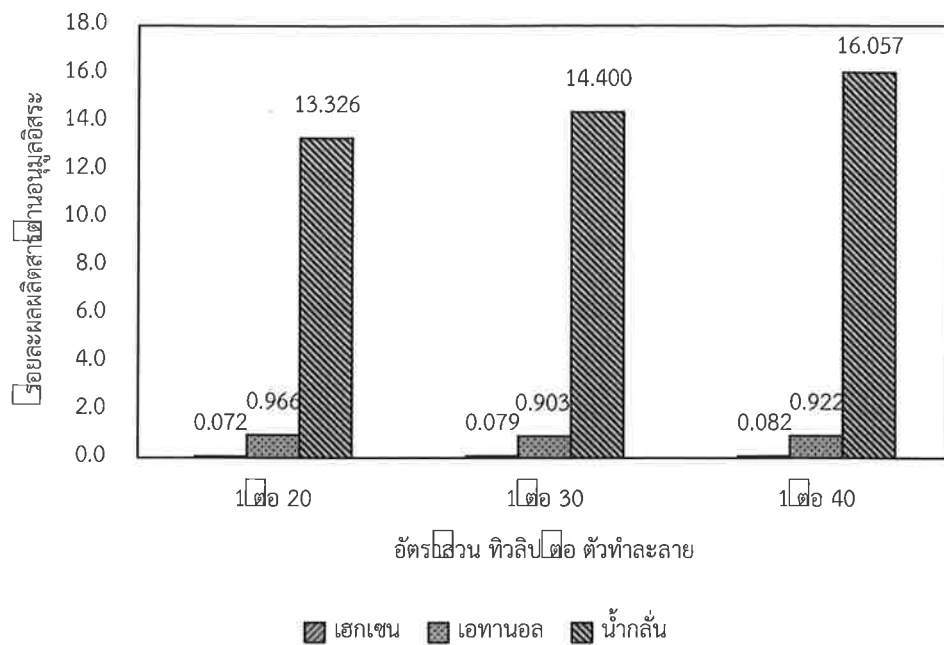
จากการสกัดดอกทิวลิปแห้งที่ใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วนดอกทิวลิปแห้งต่อตัวทำละลาย 1 ต่อ 40 ใช้กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 400, 600 หรือ 800 วัตต์ ที่เวลา 1, 2, หรือ 4 นาที พบว่าการสกัดที่กำลัง 600 และ 800 วัตต์ ได้ปริมาณร้อยละสารสกัดหยาบใกล้เคียงกัน แต่เฉพาะที่กำลัง 400 วัตต์ เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดจะส่งผลให้ปริมาณร้อยละสารสกัดหยาบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ และการสกัดที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที ให้ปริมาณร้อยละสารสกัดหยาบสูงสุดที่ 50.4 ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ปริมาณร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

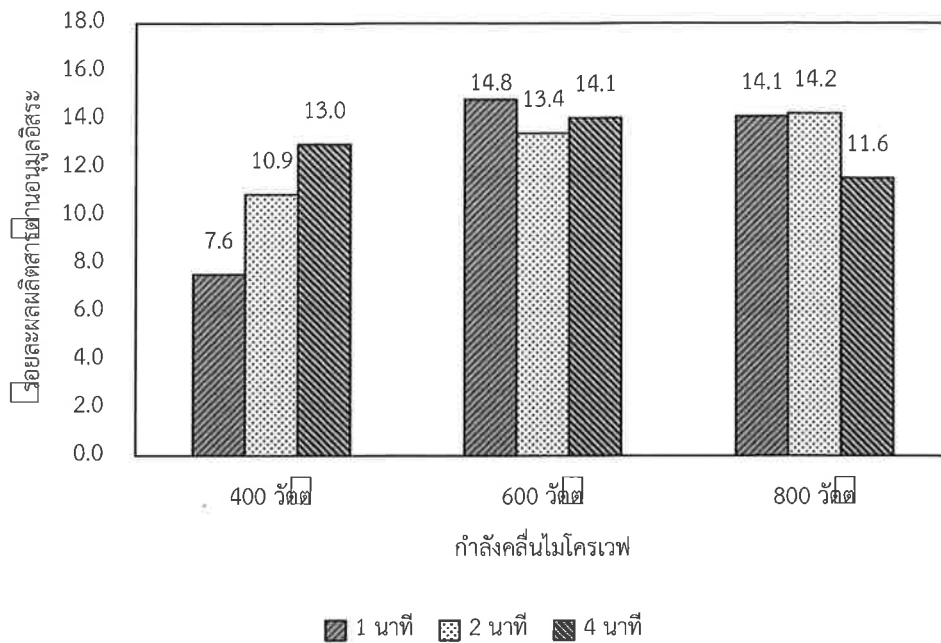
ผลการคำนวณหาร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่า

เมื่อวิเคราะห์หาค่าร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้สาร BHT เป็นตัวอ้างอิง พบว่าการใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายได้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ตามด้วยตัวทำละลายเอทานอล และเฮกเซน ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายในการสกัดไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระของการสกัดที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลและเฮกเซน แต่มีผลทำให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำกลั่น และที่อัตราส่วนตอกทิวลิปแห้งต่อตัวทำละลาย 1 ต่อ 40 ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดที่ 16.057 ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย

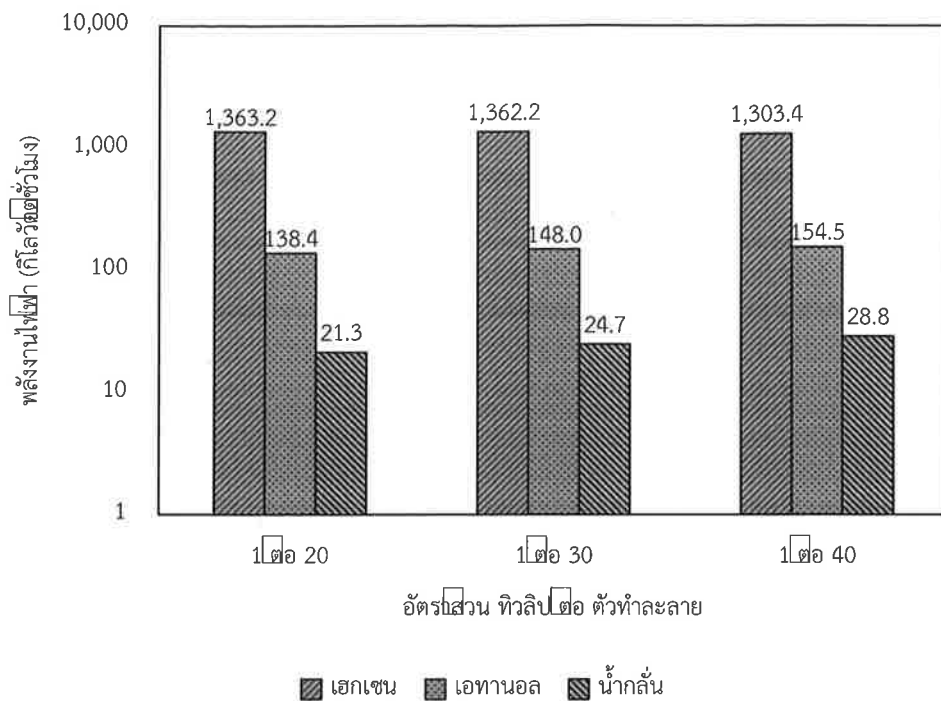
จากการสกัดดอกทิวลิปแห้งในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลายน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 1 ต่อ 40 ใช้กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 400, 600 หรือ 800 วัตต์ เป็นเวลา 1, 2, หรือ 4 นาที พบว่าที่ กำลัง 600 และ 800 วัตต์ ให้ปริมาณ ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกัน และสูงกว่าที่ กำลัง 400 วัตต์ นอกจากนั้นยังพบว่าการเพิ่มเวลาในการสกัดไม่มี ผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระที่ กำลัง 600 และ 800 วัตต์ แต่มีผลทำให้ร้อยละผลผลิตสาร ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นที่ กำลัง 400 วัตต์ การสกัดที่ กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ สูงสุดที่ 14.8 ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

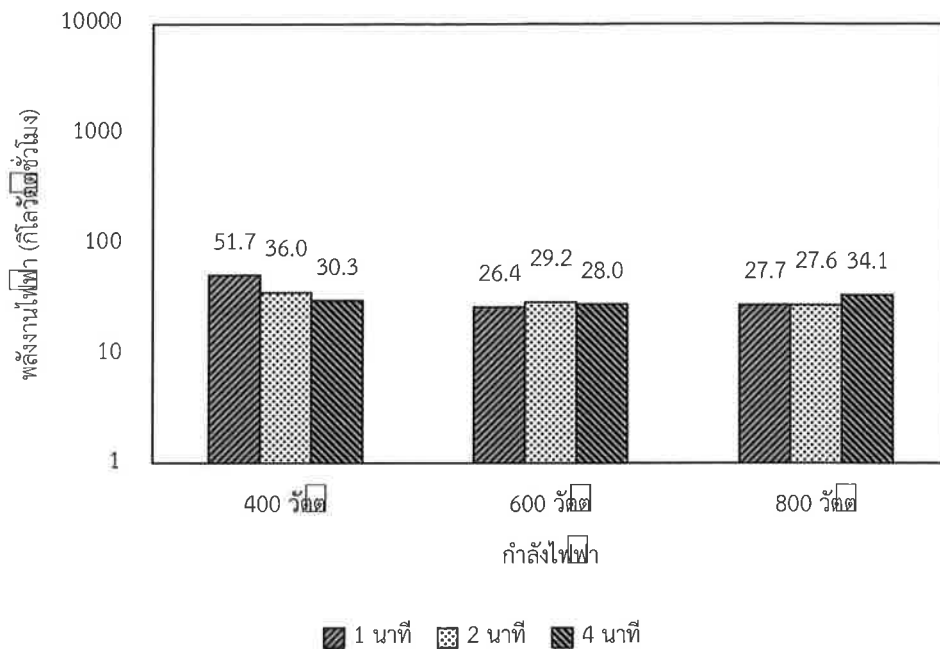
ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สารต้านอนุมูลอิสระ 1 กรัมเทียบเท่า BHT โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นแสดงในภาพที่ 6 พบว่าชนิดและอัตราส่วนของตัวทำละลายมีผลต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งตัวทำละลายเฮกเซนใช้พลังงานสูงสุด ตามด้วยเอทานอล และน้ำกลั่น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายเฮกเซน พบว่ามีแนวโน้มการใช้พลังงานลดลง เนื่องจากได้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายเอทานอล หรือน้ำกลั่น พบว่ามีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องใช้เวลาในการอบแห้งมากขึ้น การใช้ น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วน 1 ต่อ 20 ใช้พลังงานต่ำที่สุด (21.3 กิโลวัตต์ชั่วโมง) เนื่องจากที่สภาวะนี้ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น และใช้ปริมาณน้ำกลั่นน้อยกว่าที่อัตราส่วนอื่น ๆ จึงใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด ส่วนการใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่อัตราส่วน 1 ต่อ 20 ใช้พลังงานสูงสุด (1,363.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง) เนื่องจากที่สภาวะนี้ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 6 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

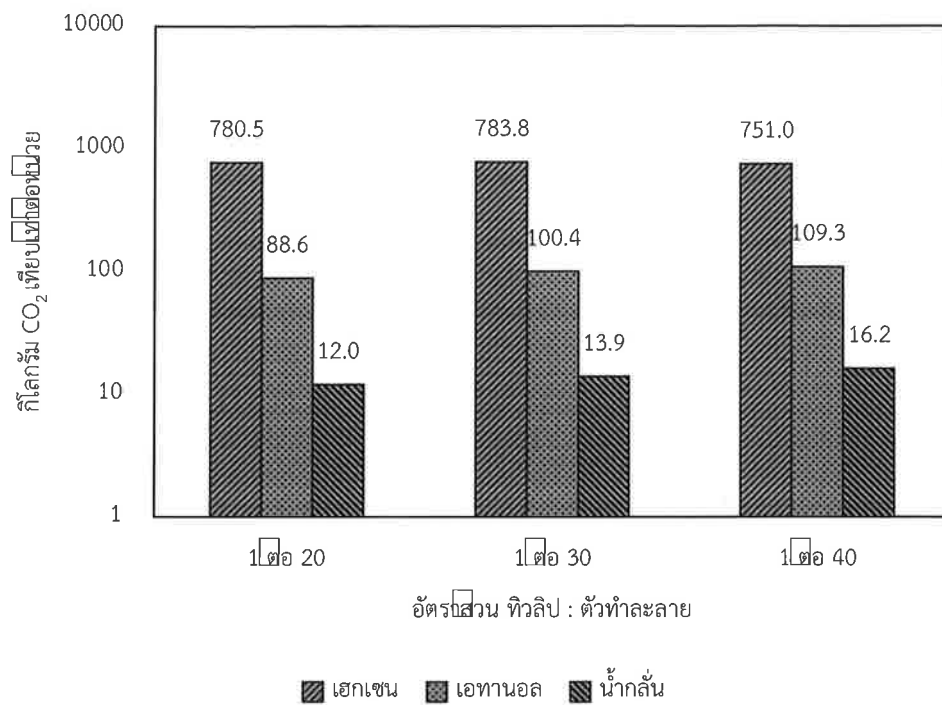
ผลการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สารต้านอนุมูลอิสระ 1 กรัมเทียบเท่า BHT โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นแสดงในภาพที่ 7 พบว่า ที่กำลัง 400 วัตต์ เมื่อเพิ่มเวลาสกัดส่งผลทำให้ปริมาณการใช้พลังงานลดลง เนื่องจากให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าที่ กำลัง 600 และ 800 วัตต์ ใช้พลังงานในการสกัดใกล้เคียงกันและต่ำกว่าที่ กำลัง 400 วัตต์ เนื่องจากมีร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่า การสกัดที่ กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด (26.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง) การสกัดที่ กำลัง 400 วัตต์ เวลา 1 นาที ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด (51.7 กิโลวัตต์ชั่วโมง) เมื่อพิจารณาที่สภาวะที่ให้ร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดของทั้งสองกระบวนการสกัด (ดังแสดงในภาพที่ 4 และ 5) พบว่าการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิม (26.4 และ 28.8 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ)



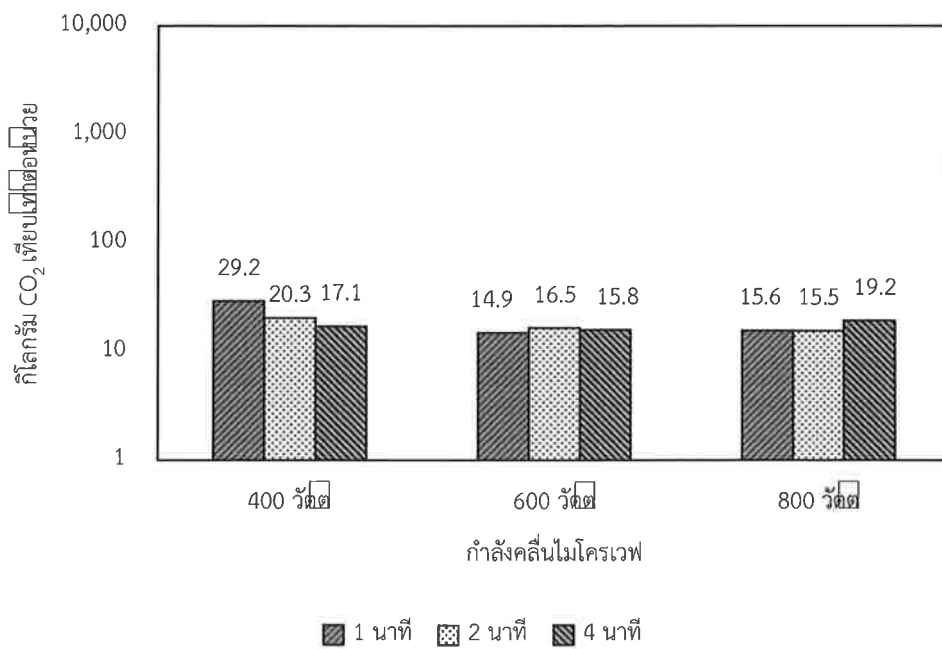
ภาพที่ 7 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

ผลการวิเคราะห์ผลต่อกระทบสิ่งแวดล้อม

จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ตัวทำละลาย และวัสดุสิ้นเปลือง ที่ใช้ในแต่ละกระบวนการสกัด เพื่อให้ได้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 1 กรัมเทียบเท่า BHT เพื่อคำนวณหาปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่าแนวโน้มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นไปในทางเดียวกันกับผลการใช้พลังงานไฟฟ้า เนื่องจากอิทธิพลของการใช้ไฟฟ้ามีผลต่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าอิทธิพลของปริมาณการใช้ตัวทำละลาย และวัสดุสิ้นเปลือง กล่าวคือ ชนิดตัวทำละลายมีผลต่อศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายมีศักยภาพปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำที่สุด และการเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 8 ในส่วนของศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับน้ำกลั่น โดยรวมพบว่าที่กำลังคลื่นไมโครเวฟ 600 และ 800 วัตต์ มีศักยภาพปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าการสกัดที่กำลัง 400 วัตต์ ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย



ภาพที่ 9 ศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วม

สรุปและอภิปรายผล

การสกัดโดยใช้น้ำเป็นเป็นตัวทำละลายมีศักยภาพสูงสุดในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากทิวลิป และยังช่วยลดความเสี่ยงจากการใช้ตัวทำละลายอื่น ๆ ที่เป็นพิษ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อการเพิ่มปริมาณร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gullon และคณะ (2013) ที่ศึกษาการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพโดยใช้เทคนิคคลื่นไมโครเวฟร่วมกับตัวทำละลายที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายสามารถสกัดสารได้ปริมาณสูงที่สุด และเนื่องจากน้ำเป็นสารละลายที่มีขั้วสูง แสดงว่าสารสกัดหยาบที่ได้ในงานวิจัยนี้เป็นสารประกอบที่ส่วนใหญ่มีขั้วสูงจึงละลายได้ดีในน้ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Arici และคณะ (2016) ที่ได้ศึกษาการสกัดสารจากทิวลิปและพบสารกลุ่มแอนโทไซยานินในดอกทิวลิปที่มี สีส้ม แดง น้ำเงิน หรือ ม่วง ซึ่งเป็นสารมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ละลายได้ดีในน้ำ

การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับกำลัง 600 และ 800 วัตต์ ให้ผลร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีเท่ากัน และสูงกว่าที่ 400 วัตต์ แสดงว่าการเพิ่มกำลังคลื่นไมโครเวฟช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดได้ในระดับหนึ่ง และการเพิ่มเวลาในการสกัดที่ กำลัง 400 วัตต์ มีผลต่อการเพิ่มร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากที่สภาวะนี้ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสั่นของโมเลกุลต่าง ๆ ในตัวอย่างยังมีอุณหภูมิไม่สูงมาก แต่การเพิ่มเวลาไม่มีผลต่อการสกัดที่ กำลัง 600 และ 800 วัตต์ เนื่องจากที่ 2 สภาวะนี้เพียง 1 นาทีแรกก็ทำให้อุณหภูมิสูงเพียงพอต่อการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่ให้ออกมาได้แล้ว

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจาก 2 กระบวนการสกัด แม้ว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบดั้งเดิมจะให้ผลร้อยละผลผลิตสารต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าการสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมคิดเป็นร้อยละ 1.26 (16.057 และ 14.8 ตามลำดับ) แต่ใช้เวลาในการสกัดนานกว่ามาก (4.5 ชั่วโมง และ 1 นาที ตามลำดับ) และในแง่ของการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่า การสกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมใช้พลังงานต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 8.33 เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการสกัดสั้นกว่ามาก และส่งผลให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่า ด้วยเช่นกัน คิดเป็นร้อยละ 8.02 เนื่องจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปริมาณสารเคมีและวัสดุสิ้นเปลืองเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลน้อยกว่ามาก

องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกทิวลิป ในระดับอุตสาหกรรมแทนที่กระบวนการสกัดแบบดั้งเดิมได้

ข้อเสนอแนะ

การเลือกใช้ตัวทำละลายในกระบวนการสกัดควรมีการศึกษาความเป็นพิษของตัวทำละลาย และเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีความเป็นพิษต่ำ เพื่อความปลอดภัยในการนำสารสกัดที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมสุขภาพและเครื่องสำอาง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันนวัตกรรม ปตท. และโรงแยกก๊าซธรรมชาติระยอง ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ อุปกรณ์ และดอกทิวลิป เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ธนภัทร ทรงศักดิ์. (2559, 3 มีนาคม). การสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. ศูนย์การศึกษาต่อเนื่องทางเภสัชศาสตร์. https://ccpe.pharmacycouncil.org/index.php?option=article_detail&subpage=article_detail&id=79
เบญจมาศ คูชนี, อัจฉรา พรหมลาร์ภัก, ชญาณัฒม์ พญูช, ธนาวุธ เขาคี, บุญญวัฒน์ บุญระดม, วณิชชกร สิงห์บรรณ, อธิดา จารุโชติภม, และปวีตรา พูลบุตร. (2561). ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากผลมะเดื่ออุทุมพรด้วยเอทานอล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 62(27), 952-960.

- วิภาวรรณ นิละพัช, บุชบา 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 anovel 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.