



รายงานโครงการ

วิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิค
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก

Research and Development on Components Natural oil Extractor
with Supercritical carbon dioxide Technique (SC-CO₂) and
Combination Mixer Magnetic

หัวหน้าโครงการ
ดร. พินิจ จิรัคกุล
Dr. Pinit Jirukakul

ปี พ.ศ. 2562



รายงานโครงการ

วิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิค
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก

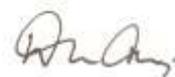
Research and Development on Components Natural oil Extractor
with Supercritical carbon dioxide Technique (SC-CO₂) and
Combination Mixer Magnetic

หัวหน้าโครงการ
ดร. พินิจ จิรัคกุล
Dr. Pinit Jirukakul

ปี พ.ศ. 2562

คำปรารภ

โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก ได้เริ่มตั้งแต่ปีงบประมาณ 2559-2562 (ตุลาคม 2558 – กันยายน 2561) ระยะเวลา 3 ปี และมีจำนวน 1 กิจกรรม 2 การทดลอง คือ 1) วิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก 2) ทดสอบและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตกับพืชโดยใช้เทคนิค Press swing extractions โดยโครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต เพื่อแก้ปัญหาการนำเข้าเทคโนโลยีและเทคนิคการสกัดเพื่อลดต้นทุนการสกัดสารสำคัญจากพืชและได้เทคโนโลยีที่ผลิตขึ้นในประเทศ



(นายพินิจ จิรัคคกุล)

หัวหน้าโครงการวิจัย

31 มีนาคม 2562

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
ผู้วิจัย	ค
บทคัดย่อ.....	ง
บทนำ.....	1
ชื่อกิจกรรมงานวิจัย 1 วิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมัน ธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับ ระบบผสมแบบแม่เหล็ก.....	34
บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	73
เอกสารอ้างอิง	77

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนทุนวิจัยโครงการบูรณาการ ประจำปี 2559 ระยะเวลาทำการวิจัย 3 ปี ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสำนักผู้เชี่ยวชาญพิจารณาโครงการ ผอ. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม เกษตร ได้ให้คำแนะนำข้อเสนอแนะต่อคณะผู้วิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิค
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก
Research and Development on Components Natural oil Extractor with Supercritical
carbon dioxide Technique (SC-CO₂) and Combination Mixer Magnetic

ดร.พินิจ จิรัคกุล
Dr. Pinit Jirukakul

(ผู้ร่วมวิจัย)

ดร. เวียง อากรชี
Dr. Weang Arekornchee

นายอนุชา เชาว์โชติ
Mr. Anucha Chaochot

นายสิทธิชัย ดาศรี
Mr. Sittichai Dasri

คำสำคัญ (Keyword)

เครื่องสกัดน้ำมัน, น้ำมันสกัดจากธรรมชาติ, คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต
Extractor, Natural oil, Supercritical carbon dioxide

บทคัดย่อ (abstract)

การพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตเป็นเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตหรือการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลายตัวอื่น โดยการแช่ที่ความดันสูงและตัวทำละลายซึมผ่านวัสดุดิบ และทำให้ตัวทำละลายสารสำคัญออกมาในรูปของน้ำมัน ซึ่งจากงานวิจัยนักวิจัยได้ทำการออกแบบถังสกัดขนาดเล็กก่อนเพื่อต้องการหาสัดส่วนของเวลาและความดันในการสกัดสารสำคัญในแต่ละพืช โดยถังสกัดขนาด 200, 5,000 และ 10,000 มิลลิลิตร (ซึ่งความดันใช้งานไม่เกิน 320 บาร์) และมี heater ควบคุมอุณหภูมิ โดยวัสดุดิบที่นำมาใช้ควรมีการบดย่อยให้มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 30 เมท การสกัดน้ำมันธรรมชาติจากพืช ของใส่พริกและเมล็ดพริก 40.21 กรัม สามารถสกัดแคปไซซินได้ 6.7874 mg/ml เมื่อเทียบกับตัวอย่างสกัดด้วยอะซิโตน ประสิทธิภาพการสกัดแคปไซซินได้ 33.75 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน แต่ข้อดีของระบบแช่จะมีประสิทธิภาพในการสกัดสารโดยไม่จำเป็นต้องเดินเครื่องตลอดระยะเวลาสกัด ลดการสึกหรอ ความดันระบบคงที่ ประหยัดพลังงาน และอายุการใช้งานเครื่องและระบบจะยาวนานมากกว่าระบบการสกัดแบบไหลผ่าน

การสกัดสารสำคัญของผงพริกแห้ง ผงมะเขือเทศ และผงเมล็ดต้องงุ่น เริ่มทดสอบจากการสกัดพริกพันธุ์ยอดสนเข้ม 80 และ มะเขือเทศพันธุ์อีเปอ ปัจจัย ความดัน 10, 15, 20 MPa เอทานอล 10, 25, 40 มิลลิลิตร และ เวลา 30, 60, 90 นาที ได้ปริมาณน้ำมันพริกที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 5.16 - 20.3 สารแคปไซซินทั้งหมดอยู่ในช่วง 9.0863 - 19.5999 mg/100 g dw น้ำมันที่สกัดได้สูงสุดคือที่ความดัน 15 MPa ปริมาณเอทานอล 40 ml ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 90 นาที แต่**สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารแคปไซซิน คือการใช้ความดัน 15 MPa เอทานอล 25 ml และใช้ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที** โดยเทคนิคชอกเทคใช้ตัวทำละลายเอทานอลสามารถสกัดสารแคปไซซินได้ 25.702 mg/100 g dw ใช้เวลา 3 ชั่วโมง แต่เมื่อใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions 24.570 mg/100 g dw มีค่าใกล้เคียงกับเทคนิคชอกเทค ส่วนการสกัดน้ำมันมะเขือเทศ ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 3.04-14.02 การสกัดสารไลโคปีนออกมาในปริมาณสูงมีค่า **14.467 mg/100 g dw** ที่ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml และระยะเวลา 60 นาที การสกัดสารกลุ่มไลโคปีน**ต้องใช้ความดันที่ 20 MPa ขึ้นไป** เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการแช่ร่วมกับเอทานอลเป็นสภาวะควบคุม (control) ที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลสามารถสกัดสารไลโคปีนได้ 67.610 mg/100 g dw และเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions 17.114 mg/100 g dw ส่วนการสกัดน้ำมันเมล็ดต้องงุ่น ที่สกัดได้ของเมล็ดต้องงุ่นพันธุ์ชิลีจากสภาวะการสกัดที่ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลา 90 นาที ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดอยู่ที่ร้อยละ 9.32 และการนำเทคนิค Pressure swing extractions เข้ามาร่วมในการสกัดจะสามารถให้ปริมาณน้ำมันอยู่ที่ร้อยละ 13.45 ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 4.13 โดยเทคนิค Pressure swing extractions ให้ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินส์สูงสุด (15.661 mg/100 g dw) เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับเอทานอล (6.202 mg/100 g dw) และเทคนิคการแช่ (3.590 mg/100 g dw) ตามลำดับ

The development of natural oil extractor with supercritical carbon dioxide was extraction oil components with supercritical carbon dioxide or supercritical carbon dioxide and co-solvent. The soaking with High pressure cause the oil leak out from raw materials. The research started from the pilot extractor design to fine the suitable time and pressure for each plant extraction. The 200, 5,000 and 10,000 milliliters (pressure was not more than 320 bar) with heater for temperature control was purchased. The raw materials were ground for pass 30 mesh of screen. The 40.21 g of chilli was extracted 6.7874 mg/ml of capsaicin. Comparing with acetone extraction, efficiency of extraction was 33.75% of the standard method. The soaking advantage was the high efficiency with out all time operate extractor. Thus, this method caused erode reduction, maintain pressure, save energy, extend useful life of machine more than fluid flow extraction.

The extraction of dried chilli, tomato and grape seed powder started form Yodson Khem 80 chilli and E-per tomato. The 10, 15 and 20 Mpa. Of pressure, 10, 25 and 40 milliliters of ethanol and 30, 60 and 90 min of time gave 5.16-20.3% of chilli oil. The total capsaicin was 9.0863-19.5999 mg/100 g_{dw}. The highest oil yield condition was 15 Mpa of pressure, 40 ml of ethanol and 90 min of time. The suitable condition for capsaicin extraction was 15 Mpa of pressure, 25 ml of ethanol and 60 min of time. The soxtec extraction with ethanol solvent showed 25.702 mg/100 g_{dw} of capsaicin with in 3 h but supercritical carbon dioxide with ethanol solvent and pressure swing extraction expressed 24.570 mg/100 g_{dw} of capsaicin which was similar to soxtec extraction.

The tomato extraction gave 3.04-14.02 %yield with 14.467 mg/100 g_{dw} of lycopene at 20 Mpa of pressure, 40 ml of ethanol and 60 min of time. The lycopene extraction must be operate the pressure more than 20 Mpa. The comparing with soaking ethanol solvent technique with enzyme for control condition expressed 67.610 mg/100 g_{dw} of lycopene and the supercritical carbon dioxide with ethanol solvent and pressure swing extraction showed 17.114 mg/100 g_{dw} of lycopene.

The grape seed was extracted from chili grape seed with 20 Mpa of pressure, 40 ml of ethanol and 90 min of time. This condition ware 9.32% oil yield. The pressure swing extraction showed 13.45% oil yield which increased 4.13% and expressed the highest anthocyanin 15.611 mg/100 g_{dw} Where as the supercritical carbon dioxide with ethanol and soaking method showed 6.202 mg/100 g_{dw} and 3.590 mg/100 g_{dw}, respectively.

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสกัดสารระเหยจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมีอยู่หลายวิธี โดยแต่ละวิธีใช้เครื่องสกัดที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่สกัดและความต้องการของคุณภาพของสารระเหย เช่น การสกัดโดยใช้เครื่องหีบหรือเครื่องบีบ การสกัดโดยการกลั่นจากไอน้ำ (Distillation) การสกัดด้วย ตัวทำละลาย (Solvent Extraction) ซึ่งสารระเหยจะอยู่ในรูปน้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบ ที่ให้กลิ่นในพืชมีปริมาณเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนัก ทำให้การสกัดน้ำมันหอมระเหยจะมีข้อจำกัดในการใช้เครื่องมือสกัด ปัจจุบันสารระเหยที่สกัดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมีความต้องการสูงทั้งในภาคอุตสาหกรรมยาและอาหาร เช่น สารแคโรทีนอยด์และวิตามินอี จากน้ำมันปาล์มแดง สารโพรแอนโทไซยานินสีจากเมล็ดองุ่น สารแคปไซซินจากพริก สารไลโคปีนในมะเขือเทศ ซึ่งสารเหล่านี้ปัจจุบันยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากการสกัดสารระเหยเหล่านี้จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและลงทุนมาก การพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการสกัดสารระเหยและการศึกษากระบวนการผลิตที่มีคุณภาพจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง การนำเทคโนโลยีการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤตมาเป็นตัวทำละลาย มีข้อดี คือ เป็นตัวทำละลายที่ไม่กลั่นและรสที่ระบกวาน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ ปลอดภัยเมื่อใช้กับผลิตภัณฑ์ยาและอาหาร เป็นสารที่ไม่ติดไฟ ความหนืดต่ำ สามารถแทรกซึมเข้าตัวอย่างได้ง่าย จากสมบัติของคาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤตจะมีลักษณะของเหลวและก๊าซในตัวเดียวกัน และถ้าต้องการกำจัดสารสกัดก็ทำได้ง่ายโดยการปรับความดันจะทำให้สถานะของคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นก๊าซ จึงทำให้ไม่มีตัวทำละลายหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ ตลอดจนสามารถปรับสภาพการสกัดได้โดย ปรับความดัน และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสกัดพืชชนิดต่างๆได้ โดยปัจจุบันสถาบันไทย-เยอรมัน(TGI) ได้พัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยเทคโนโลยีของไหลที่สถานะเหนือวิกฤตโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลายแบบกะ (Batch) ภายได้ โครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยกระบวนการวิศวกรรมเพื่อการสร้างสรรค์คุณค่า โดยราคาเริ่มต้นที่ 3,000,000 บาทต่อเครื่อง ที่ขนาดห้องสกัดขนาด 1 ลิตร ซึ่งการวิจัยและพัฒนาต่อยอดครั้งนี้ เป็นศึกษาและพัฒนาการสร้างเครื่องสกัดเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตตลอดจนลดระยะเวลาของการสกัดลง โดยจะนำแนวทางระบบผสมหรือกวนด้วยแม่เหล็กมาใช้จะเป็นการเพิ่มสัมประสิทธิ์การแพร่(Diffusion Coefficient) ทำให้ความสามารถในการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่วนการออกแบบระบบการสกัดจะทำการพัฒนาและออกแบบตามหลักวิศวกรรม เพื่อให้สามารถทำงานได้และปลอดภัย ลดการนำเข้าเครื่องจักร เครื่องจักรที่มีต้นทุนต่ำ ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาการคืนทุนในการลงทุนเร็วขึ้น เพิ่มศักยภาพในการผลิต ลดการนำเข้าเครื่องจักรและวัตถุดิบจากต่างประเทศตลอดจน เป็นเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และส่งเสริมการแปรรูปผลิตผลการเกษตรที่มีจำนวนมากในประเทศ

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 สารสำคัญในพืช หรือ สารพฤกษเคมี

สารสำคัญในพืช หรือ สารพฤกษเคมี (Phytochemical หรือ Phytonutrients) หมายถึง สารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบเฉพาะในพืช สารกลุ่มนี้อาจเป็นสารที่ทำให้พืชผักชนิดนั้นๆ มีสี กลิ่นหรือรสชาติที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว สารพฤกษเคมีเหล่านี้หลายชนิดมีฤทธิ์ต่อต้านหรือป้องกันโรคบางชนิดปัจจุบันพบสารพฤกษเคมี มากกว่า 15,000 ชนิด จึงมีการแบ่งกลุ่มสาร พฤกษเคมีหรือสารสำคัญในพืช แบ่งเป็น 7 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต , สารในกลุ่มไขมัน lipids wax. , น้ำมันหอมระเหย, เรซิน และบาลซัม, โปรตีน กรดอะมิโน และเอนไซม์, แอลคาลอยด์, โกลโคไซด์ เป็นสารกลุ่มใหญ่ที่ในการรักษา (วินัย, 2550)

2.2 สารให้กลิ่นรส

สารให้กลิ่นรสที่ใช้ในอุตสาหกรรม สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทได้แก่ สารให้กลิ่นรสธรรมชาติ (Natural flavor) สารให้กลิ่นรสเลียนแบบธรรมชาติ (Artificial flavor) และสารให้กลิ่นรสสังเคราะห์ (Synthetic flavor)

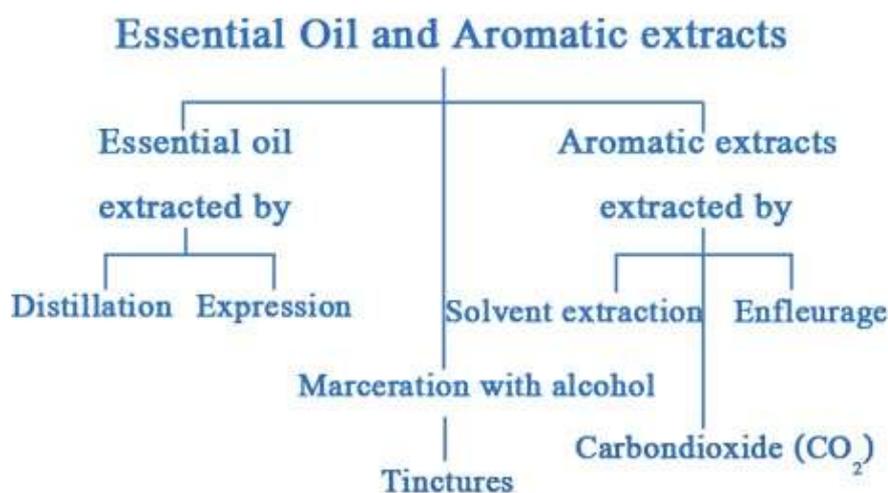
สารให้กลิ่นรสธรรมชาติ (Natural flavor) เป็นสารที่ได้จากพืชหรือ สัตว์ที่ปกติมนุษย์นำมาบริโภค โดยผ่านวิธีกายภาพ เช่น สารสกัดที่ได้จากการกลั่น (Distillate) หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคั่ว (Roasting), การให้ความร้อน (Heating) หรือ การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ (Enzymolysis) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีกายภาพเหล่านี้ได้แก่ น้ำมันหอมระเหย(Essential Oil), โอเรโอเลซิน (Oleo-resin), สารสกัด (Essence หรือ Extractive), โปรตีนไฮโดรไลเซต (Protein Hydrolysate), วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารให้กลิ่นรสในธรรมชาติ (Flavoring Raw Materials) แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

1. วัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ (Plant – Based Flavoring Materials) ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบที่ ให้กลิ่นรสที่ได้จากเครื่องเทศ (Spice), ผลไม้ (Fruit Juice), ผัก (Vegetable) หรือน้ำผัก (Vegetable Juice), สมุนไพร (Herb), เปลือกไม้(Bark), รากไม้ (Root), ใบไม้ (Leaf) หรือชิ้นส่วนของพืช, วัตถุดิบที่ได้จากสัตว์ (Animal Based Flavoring Material), สัตว์ เช่น เนื้อ (Meat), อาหารทะเล (Seafood), สัตว์ปีก (Poultry), ไข่(Eggs), ผลิตภัณฑ์นม (Dairy Products) สารให้กลิ่นรสที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างกระบวนการผลิต (Reaction and Process Flavors) สารให้กลิ่นรสที่ผลิตโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ ยีสต์ที่รับประทานได้ (Edible Yeast)หรือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก (Fermentation Products) ซึ่งมีหน้าที่ในการให้กลิ่นรสในอาหารมากกว่าคุณค่าทางโภชนาการ

2. สารให้กลิ่นที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic Aroma Chemicals) น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil) น้ำมันหอมระเหยเป็นองค์ประกอบที่ให้กลิ่นในพืชซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับ น้ำหนักของพืช ซึ่งพืชจะผลิตน้ำมันหอมระเหยขึ้นเพื่อไล่แมลงที่จะเข้ามาทำลาย หรือดึงดูดแมลงให้มาผสมพันธุ์เกสรให้ สำหรับน้ำมันหอมระเหยแบ่งได้ 2 ชนิดคือ น้ำมันหอมระเหยที่พบตามธรรมชาติ เช่น น้ำมันจากส้ม เครื่องเทศ และ สมุนไพร และน้ำมันหอมระเหยที่เกิดจากปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ เช่น onion oil องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยขึ้นอยู่กับ ชนิดพืช สายพันธุ์ สภาพการปลูก และระยะการเจริญเติบโต และขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการสกัดอีกด้วย (ข้อมูลจาก [http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463\(50\)/FY463](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463) ,2017)

การสกัดสารระเหยจากพืชมีหลายวิธีด้วยกัน การสกัดบางวิธีก็ให้น้ำมันหอมระเหย (True Essential Oil) การสกัดบางวิธีก็ได้สารระเหยที่สกัดจากพืช (Aromatic Extracts) ซึ่งเราไม่ถือว่าเป็นน้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหยจะได้จากการกลั่นจากไอน้ำ (Distillation) และการบีบ (Expression) เท่านั้น ในงานสวดมนต์บำบัด (Aromatherapy) แบบดั้งเดิมจะใช้เฉพาะน้ำมันหอมระเหย (True Essential Oil) เท่านั้น แต่ในระยะหลังการนำเอาสารสกัดจากพืช (Aromatic Extracts) มาใช้ใน Aromatherapy ได้รับการยอมรับมากขึ้น โดยลำดับ คู่มือภาพที่ 2-1 จะพบความแตกต่างในการสกัดสารจากพืชที่เป็นน้ำมันหอมระเหย (Essential oil) และ สารระเหยจากพืช (Aromatic extracts)



ภาพที่ 2-1 กระบวนการผลิต Essential Oil และ Aromatic Oil

แหล่งที่มา: AromaHub.com, 2014

2.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหยและสารสำคัญในพืช

2.3.1 การกลั่น (distillation)

การกลั่นเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการสกัดน้ำมันหอมระเหย หลักการของการกลั่น คือ ใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำเข้าไปแยกน้ำมันหอมระเหยออกมาจากพืช โดยการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อพืช ความร้อนจะทำให้สารละลายออกมากลายเป็นไอ ปนมากับน้ำร้อนหรือไอน้ำ การกลั่นเพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพดี ต้องอาศัยเทคนิคและขบวนการทางเคมีและกายภาพหลายอย่างประกอบ ซึ่งเทคนิคการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมี 3 วิธี ได้แก่

1. การกลั่นด้วยน้ำร้อน (Water distillation & Hydro - distillation) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการกลั่นน้ำมันหอมระเหย การกลั่นโดยวิธีนี้ พื้นที่กลั่นต้องจุ่มในน้ำเดือดทั้งหมด หรือให้ท่อไอน้ำผ่าน การกลั่นน้ำมันหอมระเหยนี้ใช้กับวัตถุดิบที่ติดกันง่าย เช่น ใบไม้บางๆ กลีบดอกไม้อ่อนๆ ข้อควรระวังในการกลั่นโดยวิธีนี้คือ พืชจะได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ บริเวณตรงกลางมักจะได้รับความร้อนมากกว่าด้านข้าง มีปัญหาในการไหม้ของตัวอย่าง กลิ่นไหม้จะปนมากับน้ำมันหอมระเหยและมีสารไม่พึงประสงค์ติดมาในน้ำมันหอมระเหยได้ วิธีแก้ไข คือ ใช้น้ำ หรืออาจใช้ closed steam coil จุ่มในหม้อต้ม แต่การใช้ steam coil นี้ไม่เหมาะสมกับดอกไม้บางชนิด เพราะเมื่อกลิบบอกไม้ถูก steam coil จะหดกลายเป็น glutinous mass จึงต้องใช้วิธีใส่ลงในน้ำ กลีบดอกไม้จะสามารถหมุนเวียนไปอย่างอิสระใน การกลั่น เปลือกไม้ก็เช่นกัน ถ้าใช้วิธีกลั่นด้วยน้ำ

ร้อน น้ำจะซึมเข้าไปและนำกลิ่นออกมา หรือกลิ่นจะแพร่กระจายออกจากเปลือกไม้ได้ง่ายขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อนจึงขึ้นกับชนิดของพืชที่นำมากลั่นด้วย

2. การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water and steam distillation) การกลั่นโดยวิธีนี้ใช้ตะแกรงรองวัตถุดิบที่จะกลั่นให้เหนือระดับน้ำในหม้อกลั่น ต้มน้ำให้เดือด ไอน้ำจะลอยตัวขึ้นไปผ่านพืชหรือตัวอย่างที่จะกลั่น ส่วนน้ำจะไม่สัมผัสกับตัวอย่างเลย ไอน้ำจากน้ำเดือดเป็นไอน้ำที่อิ่มตัว หรือเรียกว่า ไอเปียก ไม่ร้อนจัด เป็นการกลั่นที่สะดวกที่สุด คุณภาพของน้ำมันออกมาดีกว่าวิธีกลั่นด้วยน้ำร้อน การกลั่นแบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตน้ำมันหอมระเหยทางการค้า

3. การกลั่นด้วยไอน้ำ (direct steam distillation) วิธีนี้ วางวัตถุดิบไว้บนตะแกรงในหม้อกลั่นซึ่งไม่มีน้ำอยู่เลย ไอน้ำภายนอกที่อาจจะเป็นไอน้ำเปียก หรือไอร้อนจัดแต่ความดันสูงกว่าบรรยากาศส่งไปตามท่อใต้ตะแกรง ให้ไอน้ำผ่านขึ้นไปถูกกับวัตถุดิบบนตะแกรง ไอน้ำต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะช่วยให้น้ำมันแพร่ระเหยออกมาจากตัวอย่าง ตัวอย่างบางชนิดอาจใช้ไอร้อนได้ แต่บางชนิดใช้ไอเปียก น้ำมันจึงจะถูกปล่อยออกมาข้อดีของการกลั่นวิธีนี้ คือ สามารถกลั่นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเอาพืชใส่หม้อกลั่นไม่ต้องเสียเวลารอให้ร้อน ปล่อยไอร้อนเข้าไปได้เลย ปริมาณของสารที่นำเข้ากลั่นก็ได้มากทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยมาก

การกลั่นทั้ง 3 วิธี ควรพิจารณาการแพร่กระจายของน้ำมันหอมระเหยและที่นำร้อนผ่านเยื่อต่างๆของพืช การไฮโดรไลซ์ของสาร องค์ประกอบต่างๆ เนื่องจากตัวอย่างสัมผัสกับน้ำตลอดเวลา ตลอดจนการสลายตัวของสารในน้ำมันหอมระเหย อันเนื่องมาจากความร้อนถึงแม้ว่าก่อนนำพืชมากลั่นจะต้องหั่นหรือทำให้เซลล์แตกก่อน เพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยออกมาจากเซลล์ได้ง่าย แต่ยังมีน้ำมันหอมระเหยบางส่วนที่อยู่ผิวและถูกทำให้กลายเป็นไออย่างรวดเร็วด้วยไอน้ำ น้ำมันส่วนที่เหลือภายในจะออกมาสู่ผิวได้โดยการซึมผ่านผนังบางๆ ของพืช และจะดำเนินไปได้ดีที่อุณหภูมิสูง สารประกอบพวก เอสเทอร์จะถูกไฮโดรไลซ์ให้เป็นกรดและแอลกอฮอล์ได้ง่ายดังนั้น เพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพดีที่สุดควรกลั่นที่อุณหภูมิต่ำที่สุด หากได้น้ำมันน้อยควรใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ใช้เวลาให้สั้นที่สุด การกลั่นจะต้องพิจารณาให้รอบคอบ ควรวัดอุณหภูมิและเวลาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่สุด

4 การกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ vacuum distillation

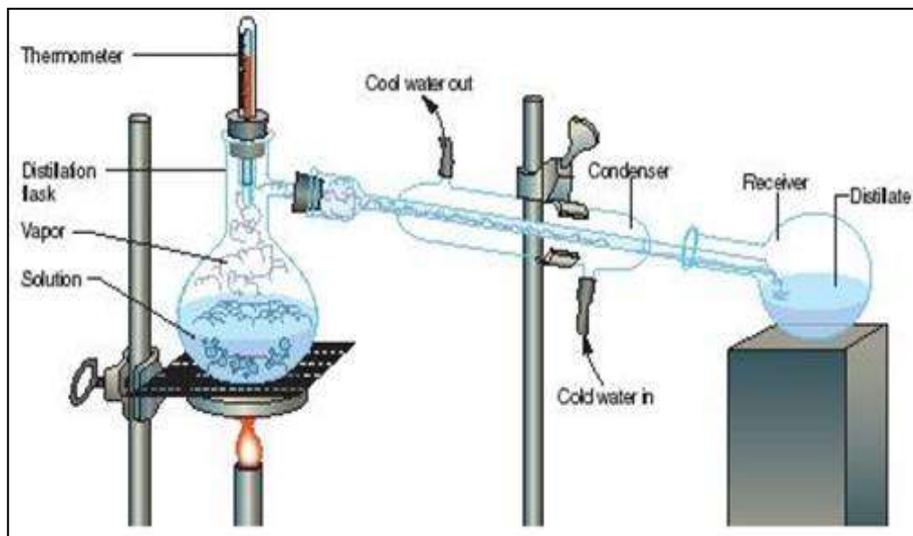
สารบางชนิดที่อยู่ในของเหลวผสม หากให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงจะสลายตัวหรือทำปฏิกิริยา ในกรณีเช่นนี้ จะใช้การกลั่น vacuum distillation คือ ทำการกลั่นของเหลวผสมภายใต้สภาวะลดความดัน จะทำให้สารนั้นระเหยและเดือดที่อุณหภูมิต่ำได้ โดยทั่วไปเมื่อลดความดันจะทำให้เกิดผลต่างอุณหภูมิต่ำกว่าเมื่อเพิ่มความดันเทียบกับความดันที่เปลี่ยนไปเท่านั้น ปรากฏการณ์นี้หมายความว่าหากเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันเพียงเล็กน้อย จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการแยกสารอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการลดความดันสูญเสียที่แต่ละชั้นของหม้อกลั่นและในท่อให้น้อยลง

ตัวอย่างสมุนไพรที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

- ไพล เหมาะสมกับการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and steam distillation) ใช้เหง้าในการกลั่นก่อนจะทำการกลั่นควรมีการหั่นบางๆเพื่อให้ไปน้ำผ่านได้ง่าย และได้น้ำมันที่มีคุณภาพและปริมาณมากเมื่อกลั่นแล้วจะได้เป็นของเหลว ไม่มีสี หรือมีสีเหลืองอ่อนปราศจากตะกอนและสารแขวนลอยไม่มีการแยกชั้นของน้ำมีกลิ่นเฉพาะตัวของไพล

- ขมิ้น เหมาะสมกับการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water and steam distillation) ใช้ส่วนเหง้าในการกลั่นก่อนจะทำการกลั่นควรมีการหั่นบางๆเพื่อให้ไอน้ำผ่านได้ง่ายและได้น้ำมันที่มีคุณภาพและปริมาณมากเมื่อกลั่นแล้วจะได้เป็นของเหลวใสมีสีเหลืองอ่อนปราศจากตะกอนและสารแขวนลอย ไม่มีการแยกชั้นของน้ำมีกลิ่นเฉพาะตัวของขมิ้น

- ตะไคร้หอม เหมาะสม กับการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water and steam distillation) ใช้ส่วนใบของตะไคร้หอมในการกลั่น เมื่อกลั่นแล้วจะได้ของเหลวใส สีเหลืองอ่อน ปราศจากตะกอนและแยกชั้นของน้ำมีกลิ่นเฉพาะตัวของตะไคร้ (ประเทืองศรี, 2550)



ภาพที่ 2-2 การสกัดสารด้วยวิธีการกลั่น

ที่มา : <http://www.neutron.rmutphysics.com,2561>

2.3.2. การสกัดด้วยไขมัน (extraction by animal fat)

การสกัดไขมันเย็นไขมันมีคุณสมบัติในการดูดกลืนได้สูงมาก จึงนำไขมันมาดูดกลั่นหอมของดอกไม้ที่ส่งกลิ่นหอมมาก เช่น มะลิ ซ่อนกลิ่น ฯลฯ โดยเก็บดอกไม้สด เมื่อถึงเวลาที่ส่งกลิ่นหอมมาก ก็นำไปวางบนไขมันที่เตรียมไว้ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง นำดอกไม้เก่าไปสกัดน้ำมันโดยวิธีอื่นๆ ส่วนดอกสดใหม่มาวางอีกทำเช่นนี้หลายๆ ครั้ง จนสิ้นฤดูดอกไม้ ต่อจากนั้นใช้แอลกอฮอล์ละลายน้ำมันหอมระเหยนั้น นอกจากนั้นแล้วนำไปแยกต่อไป

การสกัดด้วยไขมันร้อนดอกไม้บางชนิด เช่น กุหลาบ ดอกส้ม ฯลฯ เมื่อเด็ดมาจากต้นแล้ว Physiological Activity จะหยุดทันทีไม่เหมือนกับมะลิ ซ่อนกลิ่น ฯลฯ ที่จะมีกลิ่นหอมออกมาตลอดเวลา เมื่อสกัดด้วยไขมันร้อนจะได้น้ำมันหอมระเหยมากและกลิ่นหอมกว่าสกัดด้วยไขมันเย็น วิธีการเตรียมไขมันเช่นเดียวกับการสกัดด้วยไขมันเย็น แต่อุ่นไขมันให้ร้อนประมาณ 80 องศาเซลเซียส แخذดอกไม้ลงไปประมาณครึ่งชั่วโมงแล้วทำให้เย็น สูดทำอุ่นให้ร้อนอีกครั้งเพื่อหลอมเหลวและกรองดอกไม้ออกล้างไขมันที่ติดมาด้วยน้ำอุ่น หรือวางบนผ้ากรองบีบหรือราดน้ำร้อน ชั้นของน้ำและไขมันจะแยกกันง่าย อาจใช้เซนติฟิวส์เข้าช่วยเอาดอกไม้ออกใช้ไขมันเติม เปลี่ยนดอกไม้สดหลายครั้งจนอิมตัว ไขมันร้อนมีกลิ่นน้ำมันหอมระเหยนี้เรียกว่า ปอมเปต เหมือนกับการสกัดด้วยไขมันเย็น แล้วนำแอลกอฮอล์ชนิดดีมาสกัดเอาน้ำมันหอมระเหยออกมาทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง จะได้น้ำมันหอมระเหยอย่างดีเยี่ยม เช่นเดียวกับการสกัดด้วยไขมันเย็น (ประเทืองศรี, 2550)

2.3.3 การคั้นหรือสกัดด้วยวิธีการบีบเย็น (Expression หรือ Cold Pressed หรือ mechanically Pressed)

ทำให้น้ำมันที่อยู่ในเปลือกของผลไม้ เช่น เปลือกพีชตระกูลส้ม ออกมาแต่น้ำมันหอมระเหยที่ได้จะมีปริมาณน้อยและไม่ค่อยบริสุทธิ์ การนำน้ำมันหอมระเหยหรือน้ำมันหอมด้วยวิธี Cold Pressed หรือ Mechanically Pressed ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากผิวของพืชตระกูลส้ม เช่น ส้ม มะนาว เลมอน มะกรูด เบอร์กามอท แมนดาริน และอื่น ๆ วิธีการสกัดคือการนำผิวของผลจากพืชแต่ละชนิดมาใส่ในหม้อขนาดใหญ่ แล้วกดด้วยแท่นไฮดรอลิกโดยใช้แรงกดสูง เมื่อแท่นไฮดรอลิก บีบลงบนวัตถุดิบ ทำให้เซลล์ผิวของพืชเกิดการแตกตัวให้น้ำมันออกมาลงในภาชนะที่รองรับเอาไว้ วิธีการใช้ไฮดรอลิกแบบนี้มีข้อดีคือไม่มีความร้อนเกิดขึ้นในกระบวนการบีบ ซึ่งแตกต่างกับการใช้การบีบแบบเครื่องบีบเกลียวหมุน หรือ Screw Pressed ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนและอาจทำลายคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้ จริง ๆ แล้วน้ำมันสกัดด้วยวิธีนี้จะไม่เรียกว่าน้ำมันหอมระเหย เพราะฉะนั้นน้ำมันที่ได้จากการสกัด จะมีสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ละลายในน้ำมันหรือระเหยไม่ได้อยู่ด้วย หากเรียกให้ถูกต้องตามหลักสากลแล้ว น้ำมันสกัดจากพืชทุกชนิดด้วยวิธีนี้ จะต้องเรียกว่า Essence ไม่ใช่ "Essential Oil (<http://www.botanicessence.com>, 2018)

2.3.4. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

วิธีนี้จะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้นสูง แต่คุณภาพไม่ดีเท่าการกลั่นเพราะหลังจากการสกัดจะได้สารอื่นปนออกมาด้วย การสกัดแบบนี้จะได้น้ำมันหอมระเหยที่เรียกว่า absolute oil วิธีนี้ใช้กับพืชใช้กับพืชทนความร้อนสูงไม่ได้ เช่น มะลิ และที่สำคัญคือ หลังจากการสกัดต้องทำการระเหยสารเคมีที่ใช้เป็นตัวสกัดออกให้หมด สารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวสกัดคือ แอลกอฮอล์ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้ตัวทำละลายในระดับอุตสาหกรรม ต้องนำวัตถุดิบมาผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่าง (Pretreat) ก่อนนำไปสกัดด้วยตัวทำละลาย การเลือกวิธีการและชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัตถุดิบและชนิดของสารสกัด (Extract) ที่ต้องการ แต่ละประเทศอาจมีการอนุญาตให้ใช้ตัวทำละลายในการสกัดต่างกัน เช่น ในการผลิต วนิลาในประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดให้ใช้ตัวทำละลายซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำ ตามอัตราส่วนกำหนด การเลือกชนิดตัวทำละลายในการสกัดสารให้กลิ่นรสเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร จะมีข้อจำกัดเกี่ยวกับชนิดของตัวทำละลายที่อนุญาตให้ใช้ โดย EEC Solvents Direction ระบบชนิดของตัวทำละลายที่อนุญาตให้ใช้ในการสกัดและได้กำหนดปริมาณตัวทำละลายที่อนุญาตให้เหลืออยู่ (Trace Residue) ในผลิตภัณฑ์ (Ashurst, 1995) ดังข้อมูลในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ตัวทำละลายที่อนุญาตให้ใช้ในการสกัดและปริมาณตัวทำละลายที่อนุญาตให้เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร

ชนิดตัวทำละลาย	ปริมาณตัวทำละลายที่อนุญาตให้เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร (ppm)
Ethanol	Technically unavoidable quantities
Butane ,propane	Technically unavoidable quantities
Acetone	Technically unavoidable quantities
Butyl and ethyl acetates	Technically unavoidable quantities
Nitrous oxide	Technically unavoidable quantities
Carbon dioXide	Technically unavoidable quantities
Dichloromethane	1ppm (1ppm confectionery/pastry,5ppm decaffeinated tea, 10ppm decaffeinated coffee)
Hexane	1ppm (5ppm oil/cocoa, 10ppm defat flour, 30ppm defat soy products)
Methanol,propen-1-ol propen-2-ol	1ppm
Methyl acetate	1ppm (20ppm in decaffeinated tea and coffee)
Ethyl methyl ketone	1 ppm (5ppm fat or oil ,20ppm in decaffeinated tea and coffee)
Chlorohexane , Butanois	1 ppm
Diethyl ether	2 ppm

ที่มา : Ashurest, 1995

1) การสกัดในระบบของแข็ง-ของเหลว (Solid-liquid extraction)

การสกัดแบบนี้ตัวทำละลายจะทำหน้าที่เป็นสารสกัด สารที่ปนอยู่ในของผสมที่มีสถานะเป็นของแข็ง (ข้อมูลจาก ผกาวัตติ,2560) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กระบวนการคือ

1.1) การหมัก (Maceration) คือ กระบวนการสกัดองค์ประกอบสำคัญจากพืชสมุนไพร โดยการแช่ผงสมุนไพรในตัวทำละลาย จนกระทั่งตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าไปละลายองค์ประกอบภายในผงสมุนไพรออกมาได้ วิธีการทำ Macertion คือการแช่ผงสมุนไพรในตัวทำละลายที่เหมาะสมเป็นเวลา 2-4 วัน หรือตาม กำหนดในเภสัชตำรับหรือจนกระทั่งองค์ประกอบที่ต้องการออกมาหมดหลังจากนั้นจึงกรองแยกกากสมุนไพรออกจากตัวทำละลายและปรับปริมาตรสารสกัดตามต้องการ

1.2) การแช่ (Percolation) คือ กระบวนการสกัดองค์ประกอบสำคัญจากพืชสมุนไพร โดยปล่อยให้สารละลายไหลผ่านผงสมุนไพรอย่างช้าๆ พร้อมกับละลายองค์ประกอบจากผงสมุนไพรออกมา วิธีการ Percolation คือ บรรจุผงสมุนไพรที่ทำให้ขึ้นด้วยสารละลายใน Percolation ซึ่งมีลักษณะเป็นคอลัมน์ทรงกระบอกปลายเปิดทั้งสองด้านโดยที่ปลายบนจะกว้างกว่าปลายล่างเพื่อสะดวกในการบรรจุผงสมุนไพร ส่วนปลายล่างมักจะต่อกับท่อสายยาง ปิด-เปิดได้ เพื่อที่ได้เป็นระยะเวลาพอสมควร แล้วจึงปล่อยให้ให้น้ำยาสกัดไหลผ่านผงสมุนไพรในอัตราเร็วพอเหมาะ พร้อมกับเติมสารละลายใหม่ผ่านผงสมุนไพรในอัตราเร็วพอเหมาะจนองค์ประกอบที่ต้องการในผงสมุนไพรละลายออกมาจนหมดโดยการตรวจสอบจากสารสกัดสุดท้าย

1.3) การสกัดแบบต่อเนื่อง (Continuous extraction) คือ กระบวนการสกัดองค์ประกอบจากสมุนไพร แบบเดียวกันกับ Percolation แตกต่างกันว่าขบวนการนี้จะต้องใช้ความร้อนเข้าช่วยและใช้

เครื่องมือที่เป็นระบบปิดเรียกว่า soxhlet extractor โดยที่เมื่อตัวทำละลายไหลผ่านผงสมุนไพรที่บรรจุอยู่ในเครื่องที่ใช้ extraction แล้วมารวมกันในขวดแก้วที่ได้รับความร้อนจนสารละลายระเหยขึ้นไป และควบแน่นตกลงมาผ่านผงสมุนไพรซ้ำแล้วซ้ำอีกจนองค์ประกอบในสมุนไพรถูกสกัดออกมาหมด (ข้อมูลจาก ประเสริฐ,2428)

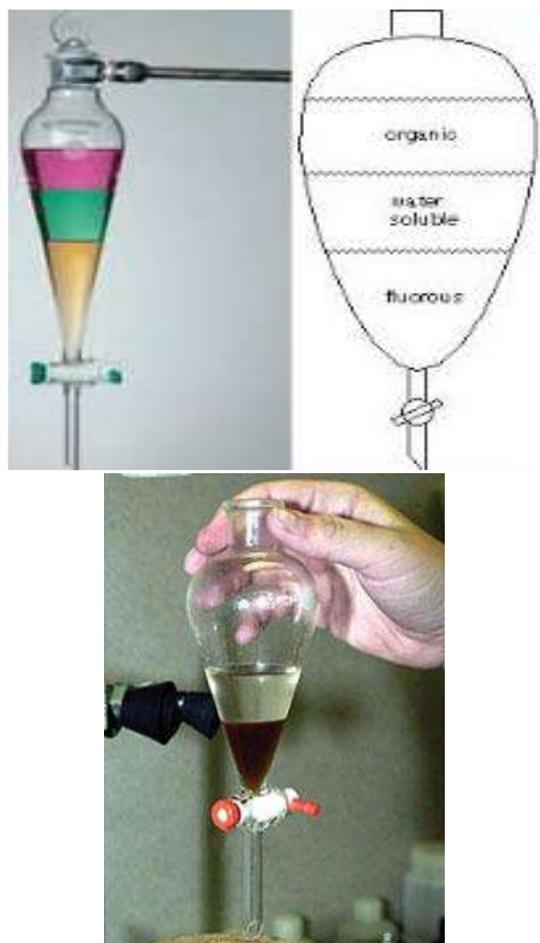


ภาพที่ 2-3 เครื่องสกัดสารแบบต่อเนื่อง soxhlet extractor

ที่มา: <http://cyberlab.lh1.ku.ac.th> ,2017

2) การสกัดในระบบของเหลว-ของเหลว

การสกัดในระบบของเหลวของเหลวหรือเรียกว่าการละลายบางส่วน มักใช้ในกระบวนการทางเคมีและกายภาพ โดยใช้ในการแยกการประกอบภายใต้หลักการคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องในแง่ของการละลายภายใต้ของเหลวที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันสองชนิด ที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน โดยทั่วไปมักใช้น้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ ภายใต้ระบบเดียวกันซึ่งกระบวนการสกัดแบบนี้จะทำให้เกิดวัฏภาคของเหลวหนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่ง กระบวนการสกัดเช่นนี้จัดเป็นเทคนิคพื้นฐานในห้องปฏิบัติการเคมี โดยใช้กรวยแยกสารเป็นเครื่องมือในกระบวนการสกัด (ข้อมูลจาก ผกาวัต,2560)



ภาพที่ 2-4 การสกัดสารโดยใช้กรวยแยกสาร

ที่มา : <http://www.science.cmru.ac.th,2017>

3) การสกัดแบบซูเปอร์คริติคอลลูอิด (Super Critical Fluid Extraction)

ของไหลวิกฤตยิ่งยวด เป็นตัวทำละลายชนิดหนึ่งที่ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหย ตัวอย่างตัวทำละลายของการสกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด เช่น เอทิลีน ,ไนตรัสออกไซด์ ,โพรเพน ,ซิลเฟอร์เฮกซะออกไซด์ เป็นต้น ค่าคงที่วิกฤตของสารประกอบแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2-2 กรณีของ การสกัดสารกลุ่มที่มีขั้วสูงจะเลือกใช้ของไหลเหนือวิกฤต ของไนตรัสออกไซด์ แต่ข้อเสียคือทำให้เกิดการระเบิดได้จึงควรเลือกใช้เมื่อมีความจำเป็นเท่านั้น กรณีที่ต้องการใช้ตัวทำละลายที่ราคาถูกและ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสามารถใช้ของไหลเหนือวิกฤตของน้ำ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ แต่การทำให้น้ำอยู่ในสถานะของไหลเหนือวิกฤตมีข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิและความดันสูง และน้ำที่อยู่ในสถานะของไหลเหนือวิกฤต มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้น้ำไม่ได้รับความนิยมที่จะนำมาใช้มากนัก (ข้อมูลจาก ธนภัทร,2558) การใช้สารในสถานะที่มีอุณหภูมิและความดันเหนือจุดวิกฤต จะมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของแข็งได้เหมือนแก๊ส และสามารถละลายสารได้เหมือนของเหลวจึงใช้เป็นสารสกัดได้อย่างดี (ข้อมูลจาก ผกาวัต,2560) ตัวอย่างของสารที่ใช้ในทางปฏิบัติเกือบ 90 % นิยมใช้ของไหลเหนือวิกฤต ของคาร์บอนไดออกไซด์ (ข้อมูลจาก ธนภัทร,2558) ซึ่งมีสถานะผสมระหว่างแก๊สและของเหลว ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายสารพวกไม่มีขั้ว (Non-Polar Compound) ซึ่งปัจจุบันมีการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและยาใช้เพื่อสกัดสาร เช่น สารให้กลิ่นรส (Flavoring Agent), สารให้สี (Coloring Agent), น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil), คาเฟอีน (Caffeine), วิตามิน และ คลอ

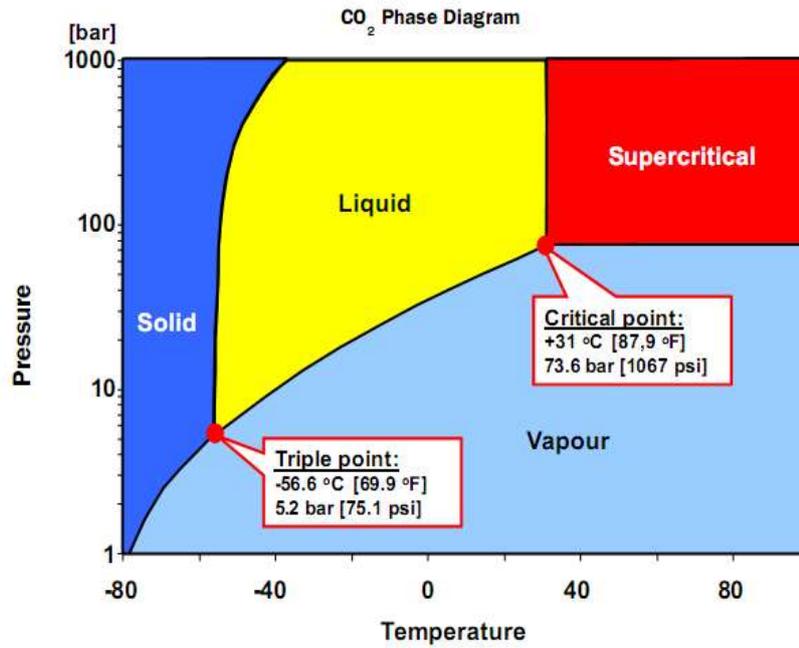
เลสเตอร์อล เป็นต้น สารสกัดที่ได้จากวิธีการนี้ มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภคมากกว่าวิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ที่อาจไม่สามารถแยกตัวทำละลายออกมาได้หมดโดยสมบูรณ์ จึงอาจทำให้มีตัวทำละลายตกค้าง (Mohammed,2012)

ตารางที่ 2-2 ค่าคงที่วิกฤตของตัวทำละลายบางชนิดที่ใช้เป็นตัวทำละลายของการสกัดสารด้วยของไหล วิกฤตยิ่งยวด

สารประกอบ	อุณหภูมิวิกฤต		ความดันวิกฤต		ความหนาแน่นวิกฤต (g/mL)
	K	°C	MPa	Bar (atm)	
Ethylene	283.0	9.9	5.12	51.2 (50.5)	0.23
Carbon dioxide	304.1	31	7.39	73.9 (72.9)	0.47
Nitrous oxide	309.6	36.5	7.26	72.6 (71.7)	0.46
Propane	369.8	96.7	4.26	42.6 (42.0)	0.22
Sulfur hexafluoride	318.8	45.7	3.76	37.6 (37.1)	0.75
Methanol	513.4	240.3	7.99	79.9 (78.9)	0.27
Water	637.0	363.9	22.1	221.0 (218.1)	0.32
Ammonia	405.4	132.3	11.3	113.0 (111.5)	0.24
n-Pentane	469.8	196.7	3.37	33.7 (33.3)	0.23

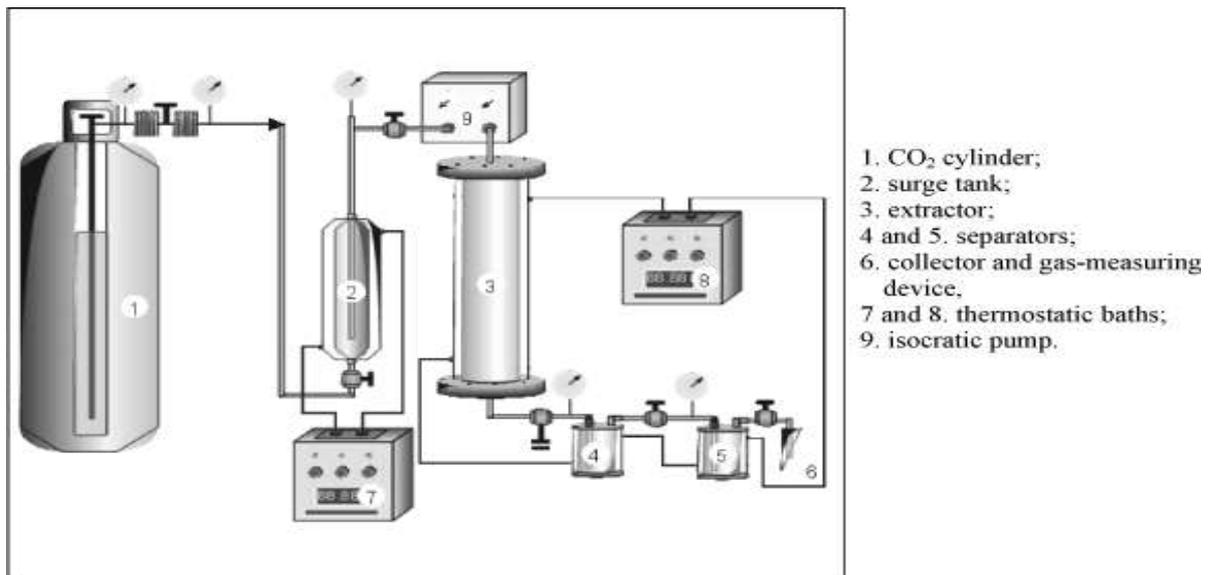
ที่มา: ธนภัทร,2558

คาร์บอนไดออกไซด์เมื่ออยู่ใต้ภาวะเหนือวิกฤติ (Supercritical State) คือที่อุณหภูมิ 31.1 °C และความดัน 73.8 บาร์ จะมีสภาพเป็นของไหล และมีสมบัติหลายประการที่เหมือนทั้งแก๊สและของเหลว สมบัติที่เหมือนแก๊ส คือ ขยายตัวง่ายจนเต็มภาชนะที่บรรจุ มีลักษณะไหลได้ ส่วนสมบัติที่เหมือนของเหลวคือ มีความสามารถในการละลายของแข็งหรือของเหลวได้ดี ดังนั้นจึงสามารถใช้ในการสกัดสารประกอบที่ต้องการแยกออกจากของผสมโดยการควบคุมอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสม หรืออาจใช้เทคนิคนี้ในการทำให้สารบริสุทธิ์ CO₂ ไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่น ที่สำคัญคือไม่มีสารตกค้างเนื่องจาก CO₂ ที่ปะปนอยู่ในรูปแก๊สสามารถแพร่ออกจากผลิตภัณฑ์ได้



ภาพที่ 2-5 Carbon dioxide Pressure-Temperature Phase Diagram

ที่มา: คงศักดิ์, 2557



ภาพที่ 2-6 Supercritical Fluid Extraction Unit

ที่มา: C. M. P. Sarmiento, S. R. S. Ferreira and H. Hense. 2006

จากตารางที่ 2-3 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียแต่ละเทคโนโลยีในการสกัดน้ำมัน ซึ่งจากการศึกษา (Norhuda I and Jusoff K. 2009) การสกัดด้วยวิธี Supercritical CO₂ เป็นเทคโนโลยีสะอาดและสามารถนำมาสกัดน้ำมันของพาล์มเมล็ดในได้ดี ช่วยประหยัดเวลา ประหยัดพลังงาน ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถสกัดได้เร็วและปลอดภัยผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2-3 ข้อดีและข้อเสียในการสกัดแต่ละวิธี

Extraction Process	Advantages	Disadvantages
Distillation	Economical, Simple apparatus, large quantity scale, little labor	Time consumption, Changing constituents
Expression	Simple apparatus, no heat	Oxidize quickly, Only Citrus peel oil,
Enfleurage	Low temperature needed, solvent residue left	Time consuming, labor intensive
CO ₂ Extraction	No heat, pure product, long lasting product	Expensive
Solvent extraction	Constant product	Solvent residues

แหล่งที่มา: AromaHub.com, 2014



ภาพที่ 2-7 เครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยอัตโนมัติ โดยใช้หลักการสกัดแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเหนือจุดวิกฤติ
ที่มา: อรัญญา ,มมป

ส่วนประกอบและหน้าที่ของเครื่องสกัดแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเหนือจุดวิกฤติ

1. ถังคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide tank) ทำหน้าที่เป็นส่วนที่เอาไว้บรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเข้าสู่ระบบการสกัด
2. Surge Tank เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบการสกัดให้ เป็นไปตามอัตราการไหลที่กำหนด
3. ถังสกัด (Extractor) เป็นส่วนที่วัตถุดิบ และตัวทำละลายหรือคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่กระบวนการสกัด
4. Separator เป็นเครื่องแยกหรือเป็นตัวกรองอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ออกจากสารสกัดที่ต้องการเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น หรือเป็นอุปกรณ์แยกสารที่สกัดได้กับคาร์บอนไดร์ออกไซด์
5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger System) ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)
6. ส่วนเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide Collecting Vessel)
7. ส่วนเก็บสารสกัด (Extract Collecting Vessel)
8. ปั๊มแรงดันสูง (Hing Pressure Pump)

คุณสมบัติสำคัญของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติที่ส่งผลให้การสกัดเกิดขึ้นได้ดีกว่าการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายทั่วไปคือ

1 คุณสมบัติการถ่ายเท (Transportation Property)

คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติ มีความหนืดต่ำ และมีสัมประสิทธิ์การแพร่สูงทำให้สามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง สามารถแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างของของแข็ง หรืออนุภาคที่มีตัวถูกละลายได้ดี ทำให้ตัวถูกละลายที่ละลายเข้าไปในคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติ กระจายออกจากบริเวณการสกัดไปยังบริเวณอื่นได้ง่าย และมีอัตราการถ่ายเทมวลสูง ความหนืด สัมประสิทธิ์การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่นอุณหภูมิ ความดัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสภาวะของอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสม เพื่อให้สกัดสารที่ต้องการได้มากที่สุด อัตราการถ่ายเทมวลนอกจากจะเป็นผลโดยตรงอันเนื่องมาจากความหนืด และสัมประสิทธิ์การแพร่แล้ว ยังขึ้นกับระยะทางการแพร่ด้วย

2. คุณสมบัติในการละลายของตัวทำละลาย (Solvent Power Property)

ความสามารถในการละลายของตัวทำละลายเป็นคุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติ ที่เหนือกว่าตัวทำละลายที่เป็นของเหลวทั่วไป เนื่องจากสามารถเลือก และปรับให้มีค่าตามต้องการได้ โดยปรับอุณหภูมิ ในกรณีที่ตัวทำละลายเป็นของเหลว การเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้มีการละลาย ของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติการเพิ่มอุณหภูมิจะเพิ่มการละลายของตัวถูกละลายเช่นกัน แต่ในขณะเดียวกันการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลทำให้ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติ ลดลงซึ่งจะส่งผลให้โมเลกุลของของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติกับตัวถูกละลายอยู่ห่างกัน ทำให้ผลลัพธ์ของการละลายของตัวถูกละลายมีค่าลดลง ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความดันให้กับคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติ เพื่อให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับสภาวะเริ่มต้น ดังนั้นการปรับอุณหภูมิและความดันให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมจะสามารถปรับคุณสมบัติของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติ ให้เหมาะกับการสกัดสารในแต่ละครั้งได้ดียิ่งขึ้น

3. คุณสมบัติในการเลือกสกัด (Selectivity Property)

ความสามารถในการเลือกสกัดเป็นคุณสมบัติที่ติดอีกข้อหนึ่งของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต โดยการปรับอุณหภูมิและความดัน เพื่อให้มีความสามารถในการละลายที่เหมาะสมในการสกัด ในการสกัดเฉพาะสาร ที่ต้องการ โดยให้มีสารที่ไม่ต้องการปนเปื้อนออกมาน้อยที่สุด เช่นในการสกัดสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ ถ้าใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ในการสกัดแทนการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยเลือกเฉพาะน้ำมันหอมระเหย จะต้องใช้ตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติในการแพร่ช้า ดังนั้นจึงทำการปรับให้อยู่ในจุดวิกฤต แต่อยู่ในช่วงความดันที่ไม่สูงมากนัก เช่น ความดันเท่ากับ 870 PSI และอุณหภูมิ เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส (ข้อมูลจาก สมใจ ,2546)

2.4 คุณสมบัติของตัวทำละลายที่มีผลต่อสารสกัด

1. ความมีขั้ว (Polarity)

คุณสมบัติด้านความมีขั้วของตัวทำละลายสามารถใช้เป็น Guideline สำหรับโปรไฟล์(Profile) ขององค์ประกอบของสารสกัดที่ได้ทำให้สามารถทราบได้ว่าองค์ประกอบใดจะถูกสกัดออกมาภายใต้สภาวะการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ ซึ่งคุณสมบัติของตัวทำละลายที่นิยมใช้แสดงดังตารางที่ 2-4

2. จุดเดือด (Boiling Point)

จุดเดือดของตัวทำละลายภายใต้ความดันบรรยากาศหรือระบบสุญญากาศที่ใช้จะมีอิทธิพลต่อโปรไฟล์ของสารสกัดที่ได้ ดังนั้นการเปลี่ยนตัวทำละลายจาก Methanol เป็น Ethanol หรือ Isopropanol หรือ Butanol ที่ความดันบรรยากาศจะเปลี่ยน โปรไฟล์ของน้ำหนักโมเลกุลของสารสกัด ยิ่งใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดสูงจะสามารถสกัดองค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆได้ (ข้อมูลจาก [http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463\(50\)/FY463](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463) ,2018)

ตารางที่ 2-4 การแบ่งกลุ่มของตัวทำละลายและคุณสมบัติความมีขั้ว

ตัวทำละลาย	สูตรเคมี	จุดเดือด	Polarity	ความหนาแน่น
Non-Polar Solvents				
เฮกเซน	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	69 °C	2.0	0.655 g/ml
เบนซีน	C_6H_6	80 °C	2.3	0.879 g/ml
โทลูอีน	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$	111 °C	2.4	0.867 g/ml
Diethyl ether	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$	35 °C	4.3	0.713 g/ml
คลอโรฟอร์ม	CHCl_3	61 °C	4.8	1.498 g/ml
Ethyl acetate	$\text{CH}_3\text{-C(=O)-O-CH}_2\text{-CH}_3$	77 °C	6.0	0.894 g/ml
Tetrahydrofuran (THF)	$\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}$	66 °C	7.5	0.886 g/ml
Methylene chloride	CH_2Cl_2	40 °C	9.1	1.326 g/ml
Polar Aprotic Solvents				
Acetone	$\text{CH}_3\text{-C(=O)-CH}_3$	56 °C	21	0.786 g/ml
Acetonitrile (MeCN)	$\text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{N}$	82 °C	37	0.786 g/ml
Dimethylformamide (DMF)	$\text{H-C(=O)N(CH}_3)_2$	153 °C	38	0.944 g/ml
Dimethyl sulfoxide (DMSO)	$\text{CH}_3\text{-S(=O)-CH}_3$	189 °C	47	1.092 g/ml
Polar Protic Solvents				
กรดน้ำส้ม	$\text{CH}_3\text{-C(=O)OH}$	118 °C	6.2	1.049 g/ml
n-Butanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	118 °C	18	0.810 g/ml
Isopropanol	$\text{CH}_3\text{-CH(-OH)-CH}_3$	82 °C	18	0.785 g/ml
n-Propanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	97 °C	20	0.803 g/ml
เอทานอล	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$	79 °C	24	0.789 g/ml
เมทานอล	$\text{CH}_3\text{-OH}$	65 °C	33	0.791 g/ml
กรดฟอร์มิก	H-C(=O)OH	100 °C	58	1.21 g/ml
น้ำ	H-O-H	100 °C	80	0.998 g/ml

ที่มา : <https://th.wikipedia.org> ,2018

3. ความหนืด (Viscosity) ความหนืดของตัวทำละลายจะเป็นตัวกำหนดความสามารถของตัวทำละลายในการแทรกซึมเข้าไปในชั้นส่วนของพืช ดังนั้นความหนืดของตัวทำละลายจึงเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพในการสกัดเนื่องจากจะลดระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างตัวทำละลายและ ชั้นส่วนของพืช ยิ่งตัวทำละลายมีความหนืดต่ำจะทำให้มีประสิทธิภาพในการสกัดสูง

4. ความร้อนแฝงของการระเหย (Latent Heat of Evaporation) การใช้ตัวทำละลายที่มีความร้อนแฝงในการระเหยต่ำมีข้อดีคือสามารถแยกตัวทำละลายออกจากสารสกัดโดยใช้พลังงานน้อยกว่าตัวทำละลายที่มีความร้อนแฝงของการระเหยสูง

5. อุณหภูมิ/ความดัน (Temperature/Pressure) อุณหภูมิในการ Reflux ตัวทำละลายจะขึ้นอยู่กับความดันโดยปกติอุณหภูมิจะลดลงประมาณ 150 องศาเซลเซียส เมื่อความดันภายในระบบลดลงครั้งหนึ่ง ดังนั้นจึงทำให้สามารถทำการกลั่นเพื่อแยกตัวทำละลายออกจากสารสกัดที่อุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะสูญญากาศ คุณสมบัตินี้จะใช้ในการแยกตัวทำละลายออกจากสารสกัดในเครื่องระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง (Falling Film Evaporator) :จากการศึกษาทางวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความดันและอุณหภูมิในกระบวนการสกัดสารด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเหนือจุดวิกฤติ พบว่า

จากข้อมูลของ Sami Gokhan Ozkal. ในปี 2004 ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันจากผลแอปเปิ้ลโดยใช้ Supercritical CO₂ ทำการสกัดช่วงความเร็วสูงและต่ำ พบว่าน้ำมันที่สกัดได้ในการสกัดอย่างรวดเร็ว น้ำมันจะกลับคืนน้อยมาก โดยผลการสกัดจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคที่ใส่เข้าไป และอัตราการสกัดจะเพิ่มตาม ความดัน อุณหภูมิ และความเข้มข้นของเอทานอล โดยอัตราสูงสุดที่สามารถสกัดได้ที่ 0.26 g/g ที่อัตราการไหล 4 g/min อุณหภูมิ 60 C ที่ความดัน 450 bar และเอทานอล 3%

จากการทดลองของ Ugur Salgin .และคณะ ในปี 2005 ทำการทดสอบการสกัด Supercritical CO₂ กับน้ำมันทานตะวัน โดยใช้ความดัน 20, 30, 40 50 และ 60 MPa ที่อุณหภูมิ 313, 333 และ 353 K ที่อัตราการไหลของ CO₂ 1-4 และ 6 M3/min ที่ขนาดแตกต่างกัน พบว่า อัตราการสกัดจะเพิ่มขึ้นตามความดันเป็นปัจจัยที่มีประสิทธิผลมากที่สุด โดยอัตราการไหลไม่ส่งผลต่อการสกัดน้ำมัน

จากการรวบรวมงานวิจัยการสกัดน้ำมันระเหยง่ายโดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเหนือจุดวิกฤติ โดย ธนภัทร ในปี 2558 รายงานว่า การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกระวาน (Elettaria cardamomum Maton) พบว่า การเพิ่มความดัน ส่งผลให้ผลผลิตของสารสกัดเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ผลผลิตของสารสกัดลดลง เมื่อนำน้ำมันที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญที่มีอยู่ในน้ำมันเมล็ดกระวาน ได้แก่ β -pinene, cineole, linalool, α - terpineol และ terpinyl acetate กลับให้ผลในทางตรงกันข้าม คือ การเพิ่มความดันจะส่งผลให้ปริมาณ สารที่สกัดได้ลดลง แต่การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปริมาณสารที่สูงขึ้น การสกัดสาร thymoquinone จาก *Monarda didyma* L. และ *Monarda fistulosa* L. พบว่า การเพิ่มความดันจาก 9 เป็น 12 และ 30 MPa โดยใช้อุณหภูมิ 40 °C ทำให้ปริมาณสารที่สกัดได้ เพิ่มขึ้นจาก 5.37 เป็น 12.01 และ 13.98 mg/g สำหรับ *M. Didyma* L. และจาก 8.66 เป็น 17.00 และ 21.78 mg/g สำหรับ *M. fistulosa* L. ตามลำดับ (ข้อมูลจาก Sovova et al 2015) จากศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันในการสกัดน้ำมันระเหยง่าย จาก *Cleome coluteoides* Boiss. พบว่า การเพิ่มความดันส่งผลให้ผลผลิตของสารสกัดเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่ม อุณหภูมิทำให้ผลผลิตของสารสกัดลดลง (ข้อมูลจาก Sodeifian et al,2016)

จากตัวอย่างงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่า การปรับเปลี่ยนความดันและอุณหภูมิของการสกัดไม่ได้เป็นไปตามหลักการที่กล่าวข้างต้น ทั้งนี้ต้องมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยดังกล่าวเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากพืชแต่ละชนิด

2.5 การพิจารณาในการเลือกตัวทำละลาย

1. ต้องละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี
2. ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด
3. ถ้าต้องการแยกสี ตัวทำละลายจะต้องไม่มีสี ถ้าต้องการแยกกลิ่น ตัวทำละลายต้องไม่มีกลิ่น
4. ไม่มีพิษ มีจุดเดือดต่ำ และแยกตัวออกจากสารที่ต้องการสกัดได้ง่าย
5. ไม่ละลายปนเป็นเนื้อเดียวกับสารที่นำมาสกัด
6. มีราคาถูก

สำหรับข้อมูลในการเลือกคาร์บอนไดร็อกไซด์เพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและการเลือกใช้ให้เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ แสดงความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดร็อกไซด์ที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆซึ่งการนำกาซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการสกัดสารสำคัญควรเลือกใช้คาร์บอนไดออกไซด์เกรดอาหารที่ความเข้มข้น 99.8% เพื่อความปลอดภัยและเป็นที่ยอมรับในผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2-5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อัดและคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (CO₂) โดยมีความบริสุทธิ์และความเข้มข้นต่างกัน

ชื่อผลิตภัณฑ์	ความเข้มข้น
เครื่องต้มเกรดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	99.9%
คาร์บอนไดออกไซด์เกรดอาหาร	99.8%
ของเหลวคาร์บอนไดออกไซด์ USP	> 99.5%
คาร์บอนไดออกไซด์ผสมอากาศ	0.5 ppm - 50%
คาร์บอนไดออกไซด์ผสมแก๊สอาร์กอน	0.5 ppm - 50%
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก๊าซฮีเลียมผสม	0.5 ppm - 50%
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แก๊สผสมไฮโดรเจน	0.5 ppm - 50%
ก๊าซไนโตรเจนผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.5 ppm - 50%

ที่มา : <https://translate.google.co.th> ,2018

2.6 เปรียบเทียบการสกัดสารแต่ละวิธี

การสกัดสารระเหยจากพืชมีหลายวิธีด้วยกัน การสกัดบางวิธีก็ให้น้ำมันหอมระเหย (True Essential Oil) การสกัดบางวิธีก็ได้สารระเหยที่สกัดจากพืช (Aromatic Extracts) ซึ่งเราไม่ถือว่าเป็นน้ำมันหอมระเหย น้ำมันหอมระเหยจะไดจากการกลั่นจากไอน้ำ (Distillation) และการบีบ (Expression) เท่านั้น ในงานสวดนธบำบัด (Aromatherapy) แบบดั้งเดิมจะใช้เฉพาะน้ำมันหอมระเหย (True Essential Oil) เท่านั้น แต่ในระยะหลังการนำเอาสารสกัดจากพืช (Aromatic Extracts) มาใช้ใน Aromatherapy ได้รับการยอมรับมากขึ้น แสดงวิธีการสกัด จะพบความแตกต่างในการสกัดสารจากพืชที่เป็นน้ำมันหอมระเหย (Essential oil) และ สารระเหยจากพืช (Aromatic extracts) ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ข้อดีและข้อเสียในกระบวนการสกัดแต่ละวิธี

Extraction Process	Advantages	Disadvantages
Distillation	Economical, Simple apparatus, large quantity scale, little labor	Time consumption, Changing constituents
Expression	Simple apparatus, no heat	Oxidize quickly, Only Citrus peel oil,
Enfleurage	Low temperature needed, solvent residue left	Time consuming, labor intensive
CO ₂ Extraction	No heat, pure product, long lasting product	Expensive
Solvent extraction	Constant product	Solvent residues

ที่มา: AromaHub.com,2014

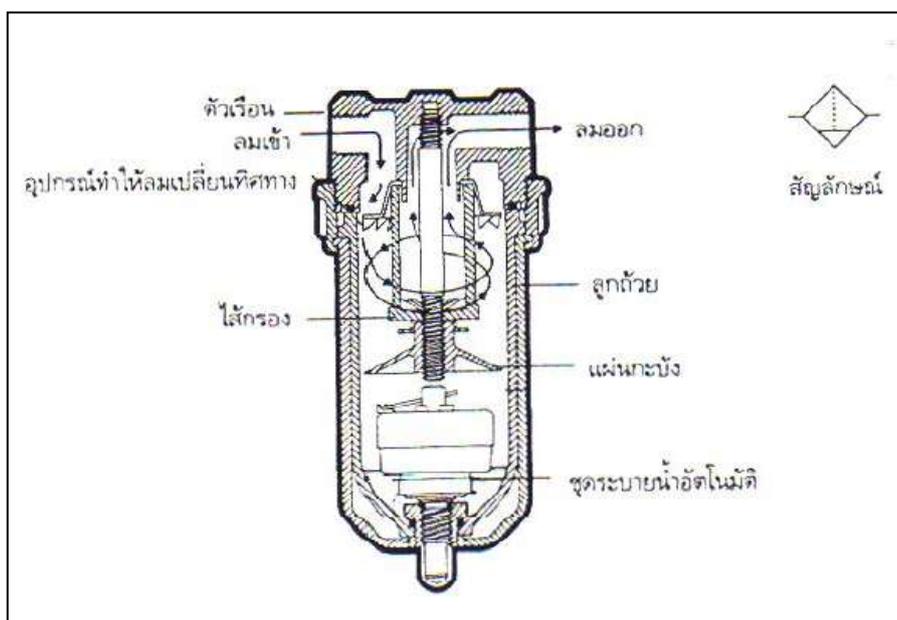
จากการศึกษาของ Norhuda I and Jusoff K. ในปี 2009 ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียแต่ละเทคโนโลยีในการสกัดน้ำมัน การสกัดด้วยวิธี Supercritical CO₂ เป็นเทคโนโลยีสะอาดและสามารถนำมาสกัดน้ำมันของปาล์มเมล็ดในได้ดี ช่วยประหยัดเวลา ประหยัดพลังงาน ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยสามารถสกัดได้เร็วและปลอดภัยผลิตภัณฑ์ 2012 Mohammed Jahural Haque Akanda และคณะ ได้ทำการประยุกต์ใช้การสกัด Supercritical CO₂ เป็นตัวทำละลาย พบว่าเป็นการกระบวนการผลิตที่ใช้น้ำมันน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบ Screw press ซึ่งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประเมินว่าเทคโนโลยี SFE เป็นวิธีที่ดีสำหรับการขยายการสกัดน้ำมันปาล์มในระดับอุตสาหกรรม

2.7 ระบบดูดซับแบบสลับความดัน (Pressure Swing Adsorption: PSA)

ระบบดูดซับแบบสลับความดันเป็นกระบวนการแยกสารที่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ให้ความสำคัญบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์สูง หลักการทำงานของกระบวนการดูดซับนี้จะประกอบด้วยสอง ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการดูดซับ ภายใต้อุณหภูมิสูงและขั้นตอนการคายซับหรือการคืนสภาพของตัวดูดซับ (Regeneration) ภายใต้อุณหภูมิต่ำ โดยสารที่ถูกดูดซับจะคายซับออกจาก ตัวดูดซับโดยการลดความดัน โดยทั้งสองขั้นตอนนี้จะทำงานสลับกัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอน การดูดซับจะมีความบริสุทธิ์สูง เรียกว่า ราฟฟินเนต (Raffinate) ส่วนสารที่ คายออกมาจากตัวดูดซับ เรียกว่า เอกซ์แทรค (Extract) ซึ่ง ควบคุมให้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการดูดซับ และการคายซับ ระบบดูดซับแบบสลับความดันจะเหมาะกับการดูดซับในสถานะแก๊สเนื่องจากความดัน มีผลต่อสภาวะสมดุลในการดูดซับสารที่เป็นของเหลวน้อยมาก กระบวนการดูดซับแบบสลับความดันไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ สำหรับข้อได้เปรียบของการดูดซับ ด้วยระบบนี้คือใช้กับ สารป้อนที่มีความเข้มข้นของสารที่ต้องการดูดซับสูง (จรัสศักดิ์ 2557)

2.8 ตัวกรองลมอัด (Air Filter)

เมื่อเครื่องอัดลมทำการอัดลมเพื่อเพิ่มความดันเพิ่มขึ้นนั้นลมที่ถูกเครื่องอัดลมดูดเข้าไปเพื่ออัดเก็บในถังลมเก็บลมนั้น จะมีส่วนผสมของมวลสารอื่นๆ ด้วย เช่นไอน้ำ ฝุ่นผง หรือมวลสารที่ไม่ล่องลอยในบริเวณที่เครื่องอัดลมทำงานอยู่ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเอามวลสารที่ไม่ต้องการเหล่านี้ให้ออกจากลมอัด เพราะมวลสารและสิ่งสกปรกต่างๆ นี้จะเป็นตัวที่ทำให้อุปกรณ์ทำงานของระบบนิวแมติกส์เสียหาย ทำงานติดขัดอายุการใช้งานสั้นลงได้ ลมอัดไหลเข้ามาทางด้านท่อลมเข้า และไหลผ่านลงไปที่ตัวกรองลมอัด ที่ไหลเข้ามาจะมีความดันสูง และต้องผ่านแผ่นกะบังบังคับการไหลทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของลมอัดไปปะทะกับผนังของลูกถ้วย อากาศที่สะอาดก็จะไหลผ่านไส้กรองออกทางด้านท่อลมออกและสิ่งสกปรกก็จะติดอยู่ที่ไส้กรอง ส่วนละอองน้ำที่ติดอยู่ผนังของลูกถ้วยจะมีขีดจำกัดปริมาณละอองน้ำไม่ให้สูงเกินไป การระบายละอองน้ำออกสามารถทำได้โดยการระบายน้ำออกด้วยการหมุนสกรูที่ได้ลูกถ้วยหรือติดตั้งตัวระบายน้ำอัตโนมัติที่ลูกถ้วยได้



ภาพที่ 2-8 ตัวกรองลมอัด (Air Filter)

ที่มา : <http://www.aircompressors.in.th> ,2017

2.9 การวัดประสิทธิภาพของกระบวนการสกัด (Measure of Extraction Effective)

2.9.1. อัตราส่วนการกระจายตัว (Distribution Ratio: D)

อัตราส่วนการกระจายตัวถูกกำหนดขึ้นในการสกัดด้วยตัวทำละลาย เพื่อใช้วัดว่ากระบวนการสกัดที่เกิดขึ้นมีประสิทธิภาพหรือไม่ โดยทั่วไปอัตราส่วนการกระจายตัว มีค่าเท่ากับความสัมพันธ์ของตัวถูกละลายในวัฏภาคสารอินทรีย์ต่อความสัมพันธ์ของตัวถูกละลายในวัฏภาคน้ำ ซึ่งค่า D จะขึ้นอยู่กับ การเดินระบบสกัดสาร เนื่องจากค่าดังกล่าวขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้นของชนิดสารเคมีในระบบ และปัจจัยอื่นๆ ซึ่งค่า D มีค่าเกี่ยวข้องกับค่า ΔG ในกระบวนการสกัด

บางครั้งอัตราส่วนการกระจายตัวจะใช้ในความหมายของสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วน (Partition Coefficient) ซึ่งส่วนใหญ่แสดงเป็นค่าลอกลิทึม ในการสกัดด้วยตัวทำละลาย เมื่อของเหลวสองชนิดไม่ละลายซึ่งกันและกัน (Immiscible Liquids) ถูกเขย่าให้ผสมกันตัวถูกละลายที่มีขี้้มากจะละลายได้ดีในในสารสกัดหรือตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขี้้นน้อยกว่า (ข้อมูลจาก ผกาวัตติ,2560)

$$D = [CA]_2 / [CA]_1$$

D คือ อัตราส่วนการกระจาย

$[CA]_1$ คือ ความเข้มข้นรวมของ A ในตัวทำละลายน้ำ

$[CA]_2$ คือ ความเข้มข้นรวมของ A ในตัวทำละลายอินทรีย์

2.9.2 สัมประสิทธิ์การแยก (Separation Factors: SF)

ค่าสัมประสิทธิ์การแยกเป็นค่าที่ได้จากอัตราส่วนการกระจายตัวของสารหนึ่ง ต่ออัตราส่วนการกระจายตัวของสารอีกชนิดหนึ่ง เป็นค่าการวัดที่บ่งบอกความสามารถของระบบในการแยกตัวตัวถูกละลายสองตัวในระบบสกัด เช่น ถ้าค่าอัตราส่วนการกระจายตัวของสารนิกเกิล (Nickel: D_{Ni}) ในระบบการสกัดของผสมชนิดหนึ่งมีค่าเท่ากับ 10 และอัตราส่วนการกระจายตัวของสารซิลเวอร์ (Silver: Ag) เท่ากับ 100 ค่าสัมประสิทธิ์การแยกสามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{Separation Factors: SF} &= D_{AG} / D_{Ni} \\ &= 100/10 \\ &= 10 \end{aligned}$$

ดังนั้นระบบการสกัดจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การแยกของผสมระหว่างโลหะนิกเกิลกับซิลเวอร์เท่ากับ 10

2.9.3. สัมประสิทธิ์การปนเปื้อน (Decontamination Factor: DF)

ค่าสัมประสิทธิ์การปนเปื้อน เป็นค่าที่ใช้แสดงความสามารถของระบบในการกำจัดสารปนเปื้อนออกจากสารที่สกัดได้หรือ ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเช่น ถ้ากระบวนการสกัดมีการปนของผสมที่มีสัดส่วนของผสมแคดเมียม (Cadmium) และ อินเดียม (Indium) เท่ากับ 1:9 ค่าสัมประสิทธิ์การปนเปื้อนเพื่อกำจัดแคดเมียม หาได้จาก

$$\text{Decontamination Factor: DF} = 0.1 / 0.01 = 10$$

2.9.4. ความชันของกราฟการสกัด (Slope of Graphs)

วิธีการที่ง่ายวิธีหนึ่งในการที่จะศึกษาพลวัตของกระบวนการสกัดคือศึกษาพลวัตการสกัด โดยการพลอตกราฟและวัดค่าความชันของกราฟการสกัดหลายๆค่า เช่น ถ้าระบบการสกัดระบบหนึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า Square ของความเข้มข้นของสาร (Z) ความชันของกราฟจะหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{Slope of Graphs} &= \text{Log}_{10} (D) / \text{Log}_{10} ([Z]) \\ &= 2 \end{aligned}$$

2.9.5. จลนพลศาสตร์ของกราฟการสกัด (Kinetics of Extraction)

ค่าจลนพลศาสตร์ของกราฟการสกัดเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญที่ต้องทราบอัตราที่ตัวถูกละลายถูกขนถ่ายระหว่างสารทั้งสองวัฏภาค ในหลายกรณีเมื่อมีการปรับเปลี่ยนระยะเวลาที่สารสกัดและตัวถูกละลายในระบบการสกัด จะทำให้ค่าความบริสุทธิ์ของระบบการสกัดหรือสารผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง

2.9.6. สารตัวกลางเชิงซ้อน (Aqueous Complexion Agents)

ถ้ามีสารตัวกลางเชิงซ้อนผสมอยู่ในวัฏภาคของน้ำ จะส่งผลทำให้สัมประสิทธิ์การกระจายตัวต่ำ ตัวอย่างเช่น ในกรณีของสารไอโอดีน จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการกระจายตัวระหว่างวัฏภาคของน้ำและการสารสกัดหรือตัวทำละลายอินทรีย์ เช่นคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ดังนั้นการพบสารไอโอดีนอยู่ในชั้นน้ำจะทำให้เคมีของการสกัดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (ข้อมูลจาก ผกาวัตติ, 2560)

2.10 พืชที่ใช้ในการศึกษา

2.10.1 พริก

พริกเป็นพืชในตระกูล Solanaceae พริก ชื่อวิทยาศาสตร์ :Capsicum frutescens L. ภาษาอังกฤษ :Chili, Chilli Pepper พริกที่มีขนาดเล็กมีความเผ็ดมากจะเรียกว่า Chilli peppers, chili, chile หรือ chilli มาจากคำภาษาสเปน ว่า chile พริกชนิดต่างๆ มีต้นกำเนิดมาจากทวีปอเมริกา โดยมีถิ่นกำเนิดมาจากทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีปลูกกันในหลายประเทศทั่วโลกพริกมีการนำเข้ามาในประเทศไทยตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยาตอนต้น ความเผ็ดของพริกมาจากสารชื่อ “แคปไซซิน” (Capsaicin) ซึ่งจะมีอยู่มากในบริเวณเยื่อแกนกลางสีขาว (คือส่วนเผ็ดมากที่สุด) ส่วนเปลือกและเมล็ดนั้นจะมีสารนี้น้อย ซึ่งคนทั่วไปมักเข้าใจผิดว่าส่วนเมล็ดและเปลือกคือส่วนที่เผ็ดที่สุด และสารชนิดนี้จะทนทานต่อความร้อนและความเย็นอย่างมาก แม้จะนำมาต้มให้สุกหรือแช่แข็งก็ไม่ได้ทำให้สูญเสียความเผ็ดไปแต่อย่างใด หน่วยในการวัดความเผ็ดของพริก เดิมคือ สโควิลล์ (Seoville) เป็นค่าที่ตั้งขึ้นตามชื่อผู้คิดค้นวิธีการวัดระดับ ซึ่งก็คือ วิลเบอร์ สโควิลล์ นักเคมีชาวอเมริกัน ดัชนีความเผ็ดของพริกและปริมาณสารแคปไซซิน จะขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ ระยะการสุกแก่ของผลพริก แหล่งเพาะปลูกและสภาพอากาศ (ข้อมูลจาก Maga,1975) จากข้อมูลพื้นที่การผลิตและผลผลิตพริกของกรมส่งเสริมการเกษตรพบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกพริก 413,839 ไร่ ผลผลิตประมาณ 520,412 ตัน โดยพริกที่ปลูกมากที่สุดคือ พริกชี้หนูเม็ดใหญ่ ปลูกมาที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ นครราชสีมา ชัยภูมิ เลย ศรีสะเกษ และอุบลราชธานี (ข้อมูลจาก สุชีลา , 2557)

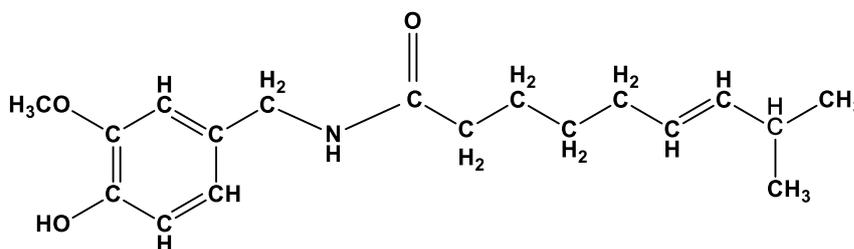
ตารางที่ 2-7 คุณค่าทางอาหารของพริกชี้หนูในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
น้ำ	82 กรัม
ไขมัน	1.4 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	12.4 กรัม
เยื่อใย	5.2 กรัม
โปรตีน	3.4 กรัม
แคลเซียม	4 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	14 มิลลิกรัม
เหล็ก	1.2 มิลลิกรัม
วิตามินบี 1	0.29 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.11 มิลลิกรัม
ไนอาซีน	1.5 มิลลิกรัม
วิตามินซี	44 มิลลิกรัม

ที่มา: คู่มือเกษตรกร,2525

2.10.1.1 แคปไซซิน (Capsaicin)

แคปไซซินเป็นสารกลุ่มแคปไซซินอยด์ เป็นสารที่ให้ความเผ็ดในพริก ประกอบด้วยแคปไซซิน 70% และไฮโดรแคปไซซิน 22% และสารอื่นๆ อีก 8% แคปไซซิน $C_{18}H_{27}NO_3$ (ภาพที่2-9) โครงสร้างเคมีคือ 8-methyl-n-vanillyl-6-noneamide มีน้ำหนักโมเลกุล 305.46 mol^{-1} (ประเสริฐ,2544) เป็นส่วนประกอบของพริกซึ่งเป็นพืชที่อยู่ในสกุลแคปซิคัม (genus Capsicum) สารแคปไซซินสามารถละลายได้ในสารละลายพวก แอลกอฮอล์ อีเทอร์ และไขมัน แต่ไม่ละลายในน้ำ นอกจากจะให้ความเผ็ดร้อนแล้วยังมีคุณสมบัติช่วยบรรเทาอาการปวด ลดการอักเสบของ กล้ามเนื้อและข้อ ซึ่งปัจจุบันมีผู้นำมาทำเป็นเจล ทาแก้ปวดกล้ามเนื้อ นอกจากนี้แคปไซซินยังมีส่วนเพิ่มการเคลื่อนไหว ของระบบทางเดินอาหารและที่น่าสนใจคือผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือดและปัจจัยเสี่ยงของโรคหัวใจและ หลอดเลือด แคปไซซิน (capsaicin) เป็นสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ที่พบตามธรรมชาติในพริก ส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณเยื่อแกนกลางสีขาวหรือเรียกว่า "รก"(placenta) ส่วนของเนื้อผลพริก เปลือกผล และเมล็ดจะมีสารแคปไซซินอยู่น้อยมาก ผลของพริก เป็นสารสำคัญที่ทำให้พริกมีรสเผ็ด (ตติยา, 2541) สารแคปไซซินมีความคงตัวต่ออุณหภูมิสูง แสง และ PH ที่เป็นต่างแต่จะสลายตัวได้ใน Oxidising agen สารแคปไซซินจะกระจายตัวอยู่ในส่วนต่างๆของผลพริก โดยพบมากในเนื้อเยื่อชั้นในติดกับไส้พริกสูงถึงร้อยละ 89 .ในปริมาณพริกทั้งผล ส่วนในเมล็ดพริกพบเพียงร้อยละ 10.8 เท่านั้น ซึ่งปริมาณของสารกลุ่มแคปไซซินอยด์นี้จะมีปริมาณต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิดพันธุ์พริก อายุ ลักษณะดินที่ปลูก และสภาพอากาศ (ข้อมูลจาก apichatsite, 2560)



ภาพที่ 2-9 โครงสร้างทางเคมีของแคปไซซิน

ตารางที่ 2-8 ข้อมูลสารให้ความเผ็ดในพริกชี้หู

ชื่อทางเคมี	ปริมาณ (% ของปริมาณสารให้ความเผ็ดทั้งหมด)
Capsaicin	61
Dihydrocapsaicin	22
Nordihydrocapsaicin	7
Homodihydrocapsaicin	1
Homocapsaicin	1

ที่มา:Salzer et al ,1975

ในปี 2007 Jorge Pinoet ได้ทำการศึกษา ลักษณะของแคปไซซินอยด์ สารประกอบและสารระเหย ของ พริก Habanero พันธุ์ที่ปลูกในยูคาทาน วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างพริกแบ่งตามสีของพริกคือ แดง ส้ม และน้ำตาล อย่างละ 150 กรัมอบที่ 60 องศาเซลเซียสจนน้ำหนัก คงที่ (3 วัน) จากนั้นการ

วิเคราะห์แคปไซซินอยด์ตัวอย่างพริกที่อบแห้ง 1 กรัมผสม acetonitrile 10 มิลลิลิตร และเก็บไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่ 80 องศาเซลเซียส ด้วยการเขย่า กรองสารสกัดที่ได้ด้วยกระดาษกรองใส่ลงในขวดรูปชมพู่ นำไปวัด UV ที่ 280 นาโนเมตรเทียบกับกราฟมาตรฐานแคปไซซินบริสุทธิ์พบว่าพริก ที่มีสีน้ำตาลมีปริมาณแคปไซซินสูงที่สุด 65.8 mg g⁻¹ dry fruit เมื่อศึกษาเปรียบเทียบแคปไซซินอยด์และดัชนีความเผ็ดในพริกตามระยะการสุกแก่ของผล โดยเปรียบเทียบกับพริก 5 สายพันธุ์ ได้แก่ พริกพันธุ์หัวเรือ พันธุ์ทองคำ พันธุ์ซูปเปอร์ฮอท พันธุ์พริกช่อ และพันธุ์จินดา โดยใช้การสกัดวิธี Solvent extraction พบว่า พริกพันธุ์ซูปเปอร์ฮอทมีความเผ็ดสูงที่สุดทุกระยะการสุกแก่ของพริกดิบ และพริกแคปไซซินอยด์มากที่สุด 5.83 มิลลิกรัม ในระยะพริกดิบ โดยพันธุ์หัวเรือมีปริมาณแคปไซซินอยด์มากที่สุด 6.23 มิลลิกรัม ในระยะพริกสุก (จารุวรรณ และสุตารัตน์, 2554) จากการศึกษาข้อมูลจาก Rakesh, 2015 วิเคราะห์ผลขององค์ประกอบพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระในสายพันธุ์พริกพื้นเมืองจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดียวิธีการสกัดนำพริก ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบนำเมล็ดของพริกที่สุกทั้ง 25 สายพันธุ์มาทำแห้ง นำพริกแห้ง 50 มก ใส่ในขวดที่มีอะซิโตน 10 มิลลิลิตร เขย่าอย่างต่อเนื่อง 3 ชั่วโมงแล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีจากนั้นระเหยอะซิโตนออกจนหมด และนำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณแคปไซซินพบว่า พริกจากทิศตะวันออก เมือง อรุณาจัล ในประเทศอินเดียสายพันธุ์ capsicum chinense ซึ่งชาวพื้นเมืองเรียกพริกชนิดนี้ว่า Mithun mircha มีปริมาณแคปไซซินสูงที่สุดคือ 3.03 % จากปริมาณโอเลโอเลซินที่สกัดได้ 8.5%

จากการวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่า ปริมาณ สารแคปไซซินที่สกัดได้จะขึ้นอยู่กับระยะการสุกแก่ ของพริก ซึ่งพริกที่มีระยะสุกแก่ที่มีผลสีแดง จะพบปริมาณสารแคปไซซินสูง และปริมาณสารแคปไซซินยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพริก และตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดอีกด้วย

2.10.2 มะเขือเทศ

มะเขือเทศเป็นพืชผักที่อยู่ในวงศ์ Solanaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum* Mill มะเขือเทศเป็นพืชล้มลุกอายุเพียง 1 ปี ลำต้นตั้งตรง มีลักษณะเป็นพุ่มมีขนอ่อน ๆ ปกคลุม ใบเป็นใบประกอบ ออกสลับกัน ใบย่อยมีขนาดไม่เท่ากัน บางใบเล็กเรียวยาว บางใบกลมใหญ่ ปลายใบแหลม ขอบใบเป็นหยักลึกคล้ายฟันเลื่อยมีขนอ่อน ๆ ออกดอกเป็นช่อหรือดอกเดี่ยว บริเวณซอกใบ ดอกมีสีเหลือง มีกลีบเลี้ยงสีเขียวประมาณ 5-6 กลีบ ผลเป็นผลเดี่ยว มีขนาดรูปร่างและสีต่างกัน ซึ่งมีขนาดเล็กประมาณ 3 เซนติเมตร จนถึงใหญ่ประมาณ 10 เซนติเมตร รูปร่างมีทั้งกลม กลมแบน หรือกลมรี ผิวนอกเป็นมัน ผลดิบมีสีเขียว หรือเขียวอมเทาของรงควัตถุคลอโรฟิลล์ เมื่อสุกจะมีสีเหลือง สีส้ม หรือสีแดง ของรงควัตถุ แคโรทีนอยด์ และ แซนโทฟิลล์ เนื้อภายในฉ่ำด้วยน้ำมีรสเปรี้ยว ซึ่งสารสำคัญที่พบในมะเขือเทศได้แก่สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะ ไลโคปีน กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี วิตามินอี โฟเลต ฟลาโวนอยด์ สารฟีนอลิกไลโคโปแซน (กันยนา , 2548)

ตารางที่ 2-9 คุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศขนาด 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ	
น้ำ	94.34	กรัม
พลังงาน	18	กิโลแคลอรี
โปรตีน	0.95	กรัม
ไขมัน	0.11	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	4.01	กรัม
กากใยอาหาร	0.7	กรัม
น้ำตาล	2.49	กรัม
แคลเซียม	11	มิลลิกรัม
ธาตุเหล็ก	0.68	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	9	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	28	มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	218	มิลลิกรัม
โซเดียม	11	มิลลิกรัม
สังกะสี	0.14	มิลลิกรัม
วิตามินซี	22.8	มิลลิกรัม
โฟเลต	13	µg
วิตามินเอ	489	IU
วิตามินอี	0.56	มิลลิกรัม
วิตามินเค	2.6	µg
ลูทีนและซีแซนทีน	123	µg

ที่มา: ข้อมูลจาก <https://medthai.com>, 2018

จากการศึกษาพบว่ามะเขือเทศสดมีปริมาณไลโคปีน 12 มิลลิกรัม ใน 100 กรัม ส่วนมะเขือเทศผรมีปริมาณไลโคปีน 1.13-1.26 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งไลโคปีนส่วนใหญ่อยู่ในเปลือกและส่วนของเนื้อมะเขือเทศที่ไม่สามารถละลายในน้ำได้

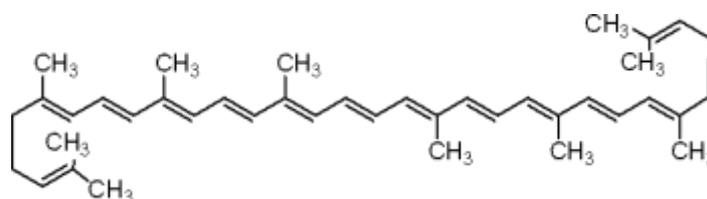
ตารางที่ 2-10 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในมะเขือเทศสุก และส่วนต่างๆของมะเขือเทศในของเหลือจากกระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้น

ประเภทแคโรทีนอยด์	ปริมาณที่พบ (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักเปียก)			
	มะเขือเทศสุก	เมล็ด	เปลือก	มะเขือเทศเข้มข้น
ไลโคปีน	8.8-42	0.04	11.98	16.79
เบต้า-แคโรทีน	0.23	0.13	0.30	1.06
ไฟโทอิน	1.86	0	เล็กน้อย	2.29
ไฟโทฟลูทีน	0.08	0	เล็กน้อย	1.86

ที่มา: กัญญา ,2548

2.10.2.1 ไลโคปีน (Lycopene)

ไลโคปีน (lycopene) เป็นสาร phytochemical ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งเป็นรงควัตถุ (pigment) ที่พบมากตามธรรมชาติในผัก ผลไม้ ที่มีสีแดงหรือสีชมพู เช่น มะเขือเทศ แดงโม เกรพฟรุตสีชมพู (pink grapefruit) ฝรั่งไล่แดง เป็นต้น มีบทบาทสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงของพืช รวมทั้งสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ เช่น สาหร่าย รา แบคทีเรีย เป็นสารตั้งต้นสำคัญทางชีวภาพ เพื่อการสังเคราะห์สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น เช่น บีตา-แคโรทีน (beta-carotene) แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) โครงสร้างโมเลกุลของไลโคปีน เป็นแคโรทีนอยด์ โครงสร้างเป็นแบบ tetraterpene ประกอบด้วย isoprene 8 หน่วย ต่อเป็นสายยาว ไม่วงแหวนปิด มีพันธะคู่ 11 ตำแหน่ง (<http://www.foodnetworksolution.com>, 2018) lycopersicum เป็นชื่อวิทยาศาสตร์ บอกสปีชีส์ ของมะเขือเทศ *Solanum lycopersicum* ไลโคปีนเป็นสารที่มีประโยชน์ ต่อร่างกาย ไลโคปีนมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยลดความผิดปกติและความเสื่อมของเซลล์ อันเนื่องมาจากการทำลายของอนุมูลอิสระ การได้รับไลโคปีนในปริมาณที่สูง อาจช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเป็นโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด ป้องกันการเกิดมะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งต่อมลูกหมาก แต่ร่างกายไม่สามารถสร้าง ไลโคปีนขึ้นมาได้เอง จึงต้องมีการบริโภคเข้าไป (ฐิตาและคณะ , 2555) ไลโคปีนที่พบมี โครงสร้างทางเคมี 2 แบบคือ trans – configuration และแบบ cis-isomer โดยในธรรมชาติจะพบไลโคปีนแบบ trans – configuration แต่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแบบ cis-isomer ได้เมื่อสัมผัสกับความร้อนหรือแสง โดยในกระแสเลือดของคนเราพบไลโคปีนแบบ cis-isomer อยู่ถึง 60% ไลโคปีนสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิดแต่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ และเสื่อมสลายได้อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน แสง และออกซิเจน



ภาพที่ 2-10 โครงสร้างทางเคมีของไลโคปีน

ที่มา: <http://th.gmp-factory.com/herbal-medicine/anti-tumor/lycopene.html>, 2016

จากการศึกษาผลของสายพันธุ์มะเขือเทศและวิธีการสกัดไลโคปีนต่อ สมบัติทางเคมีและกายภาพของมะเขือเทศผงโดยทดสอบมะเขือเทศพันธุ์พื้นเมือง 5 สายพันธุ์ พื้นเมืองเบอร์ 1 พื้นเมืองเบอร์ 2 เพชรชมพู สีดา และอีเป้อ พบว่ามะเขือเทศพันธุ์อีเป้อมีปริมาณไลโคปีนสูงสุด 67.61 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักมาตรฐานแห้ง (กานดาวดี และจิรภา, 2556)

2.10.3 องุ่น

องุ่นมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vitis vinifera L.* จัดอยู่ในวงศ์องุ่น (VITACEAE) องุ่น จัดเป็นพุ่มไม้เลื้อยจำพวกเถา ซึ่งจะเลื้อยไปได้ยาวถึงประมาณ 10 เมตร ซึ่งปกติการปลูกมักจะต้องสร้างค้ำไว้รองรับ เถาอ่อนจะมีลักษณะเป็นปล้อง ผิวเรียบ มีขนปกคลุมทั่วต้น ตามข้อเถามีส่วนยื่นสำหรับเกี่ยวยึดและเกาะกับค้ำ หรือสิ่งต่างๆใบบองุ่น จะมีก้านใบยื่นออกมายาวประมาณ 4 – 5 ซม. บริเวณข้อของต้นองุ่น และตรงปลายก้านจะออกเป็นใบเดี่ยวอยู่เรียงสลับกันไป เนื้อใบบาง ใต้ใบมีขน ลักษณะของใบด้าน

ปลายจะคล้ายกับนิ้วมือ 3 – 5 หยัก ปลายแหลม ด้านโคนใบจะเว้าเข้าหากันเป็นรูปหัวใจ ขอบใบจะมีรอยหยักเหมือนฟันเลื่อย ขนาดกว้างยาวใกล้เคียงกัน คือประมาณ 10-20 ซม. บริเวณโคนก้านใบจะมีกิ่งแขนงเล็กๆ และตา อยู่ โดยกิ่งแขนงจะมี 1 กิ่ง ส่วนตา จะมี 3 ตา เป็นตาเอก 1 ตา และตารอง 2 ตา ตาเอกจะเป็นส่วนที่สำคัญเพราะจะเป็นส่วนของตಾಯอดจะมีกลุ่มของดอกและผลอยู่ ดอกองุ่น จะมีลักษณะกลมยาว ออกเป็นช่อบนกิ่ง โดยลักษณะของดอกจะต่างกันตามพันธุ์ที่ปลูก โดยทั่วไปดอกจะเป็นดอกสมบูรณ์ แต่บางพันธุ์ก็จะมีดอกเพศผู้ และเพศเมียแยกจากกัน สังเกต ถ้าดอกเพศผู้และเพศเมียแยกจากกัน ก้านเกสรเพศผู้มักจะมีขนาดยาวกว่า ผลองุ่น เกิดขึ้นจากดอกที่ได้รับการผสมพันธุ์แล้ว หากดอกใดไม่ได้รับการผสมพันธุ์ ดอกก็จะหลุดร่วงออกจากต้น ดอกที่ได้รับการผสมจนเป็นผลนั้น ผลจะออกเป็นช่อและโตเร็วในระยะแรก ก่อนจะเริ่มขาลง ในระยะแรกผลองุ่นจะเป็นสีเขียวทุกพันธุ์ แต่เมื่อโตขึ้นสีจะเปลี่ยนไปตามพันธุ์ขององุ่นที่ปลูก ภายในผลองุ่นจะมีเมล็ด 1-3 เมล็ด และแต่ละผลส่วนใหญ่จะเป็นลูกกลมหรือรี จนถึงรีเป็นรูปไข่ สารยพันธ์องุ่นแดงทำไวน์ ที่นิยมปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ชิราส (Shiraz/Syrah) , ดอร์นเฟลเดอร์ (Dornfelder), เซอนิน บลองค์ (Chenin Blanc) ,โคลอมบาร์ด (Colombard),ซานจีโอเวเซ่ (Sangiovese) (ข้อมูล จาก https://www.monsoonvalley.com/th/articles/_news-blog-list/monsoon_grape_variety,2017) ในอุตสาหกรรมการทำไวน์จะพบของเสียหรือของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตไวน์ ได้แก่เปลือกและเมล็ดขององุ่นซึ่ง ใน เมล็ดองุ่นมีปริมาณน้ำมันอยู่ 10-20% ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ น้ำมันจากเมล็ดองุ่นประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง โดยเฉพาะกรด ลิโนเลอิกและโอเลอิก ประมาณ 53-78% และ 16-31% ตามลำดับ (ข้อมูลจาก Sabir และคณะ, 2012) และยังพบสารสำคัญที่สกัดได้มาจากเมล็ดองุ่นในกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ โดยเฉพาะสารโปรแอนโทไซยานิน (Proanthocyanidins) (จิราวัฒน์ และคณะ 2557)

2.10.3.1 โปรแอนโทไซยานินส์ (Proanthocyanidins)

โปรแอนโทไซยานินส์เป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) เช่นเดียวกับสาร catechin และepicatechin สารนี้เมื่อรวมตัวกันจะอยู่ในรูป Oligomeric Proanthocyanidins (OPCs) พบในเมล็ดองุ่น เปลือกต้นสน เปลือก ต้นมะนาว แครนเบอร์รี่ เปลือกส้ม อัลมอนด์ และชา สารโปรแอนโทไซยานินส์ (Proanthocyanidins) ส่วน มากจะประกอบด้วยสาร catechin และ epicatechin และสารประกอบในรูป gallate โดยจะมีโครงสร้างแบบ diners, trimers และ tetramers ซึ่งจะพบสารนี้อยู่ประมาณ 60-70 % ของสารประกอบพวก polyphenols ในเมล็ดองุ่น กลไกการทำงานของสารโปรแอนโทไซยานินส์ (Proanthocyanidins) ที่พบในเมล็ดองุ่นจะใช้เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) รวมไปถึงการกำจัดสารพวกไฮดรอกซิลและเปอร์ออกซิลและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ lipoprotein ที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งสาร catechin และ epicatechin ในสารโปรแอนโทไซยานินส์ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้ง นอกจากนี้ตำแหน่งของพันธะระหว่างโมเลกุล flavans ในสารนี้ยังมีอิทธิพลต่อการยับยั้งปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของไขมันอีกด้วย ซึ่งสารโปรแอนโทไซยานินส์ (Proanthocyanidins) ที่ประกอบด้วยพันธะ 4-6 พันธะ จะมีคุณสมบัติในการยับยั้งดีกว่าสารที่ประกอบด้วยพันธะ 4 – 8 พันธะ และสารนี้ที่ประกอบด้วยกลุ่ม gallate ซึ่งเชื่อมกันด้วยพันธะไฮดรอกซี 3 พันธะจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยานี้ได้ดี ประโยชน์ของโปรแอนโทไซยานินส์ (Proanthocyanidins) นอกจากจะมีคุณสมบัติในการต่อต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)แล้ว ยังช่วยป้องกันโรคเกี่ยวกับหัวใจและตับ รักษาความผิดปกติของหลอดเลือด เส้นเลือดฝอย เส้นเลือดขาด เส้นเลือดฝอยเปราะ รักษาเบาหวาน

ตารางที่ 2-11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดโลโคป็น แคปไซซิน และโปรแอนโทไซยานินดีนส์ โดยการใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต

อ้างอิง	ตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด	วิธีการสกัด	สภาวะที่ใช้ในการสกัด	สภาวะที่ให้ปริมาณสารสกัดสูง.ในการทดลอง	ปริมาณและสารที่สกัดได้
สมใจ, 2006	เมล็ดองุ่น	-SFE-CO ₂ - SFE-CO ₂ Co solvent	-ความดัน 30-40 MPa อุณหภูมิ ในช่วง อุณหภูมิ 35-45 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาค 20-80 mesh เวลา 180 นาที	ความดัน 40 MPa อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	โปรแอนโทไซยานินดีนส์มากที่สุด 50.71 % และเมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวสกัดร่วม จะเพิ่มขึ้นอีก 4.03%
,Siti M. et al, 2012	เปลือกมะเขือเทศรวมเมล็ด อัตราส่วน 37/63	SFE-CO ₂	อุณหภูมิ 70-90 องศาเซลเซียส ความดัน 20-40 MPa ขนาดอนุภาค 0.10 -1.05มิลลิเมตร อัตราการไหล CO ₂ 2-4 มิลลิเมตร / นาที เวลาในการสกัด 180 นาที	อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความดัน 40 MPa	-โลโคป็น 56 % yields
Ana C.et al, 2013	พริกไทย	SFE-CO ₂	พริกไทย 3 สายพันธุ์ Dedo-de-moca,Malaguete ,bocly amarela ตัวอย่าง 4 กรัม อุณหภูมิ 40,50,60 องศาเซลเซียส ความดัน 15,25,35 MPa อัตราการไหลของCO ₂ 1.98x10 ⁻⁴ กก/วินาที เวลาที่ใช้ 320 นาที	พริกไทย Malaguete อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน15 MPa	-แคปไซซิน 42 ,มิลลิกรัม/กรัม ตัวอย่างแห้ง

ตารางที่ 2-11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดโลโคป็น แคปไซซิน และโปรแอนโทไซยานินดีนส์ โดยการใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต (ต่อ)

อ้างอิง	ตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด	วิธีการสกัด	สภาวะที่ใช้ในการสกัด	สภาวะที่ให้ปริมาณสารสกัดสูง. ในการทดลอง	ปริมาณและสารที่สกัดได้
จิระวัฒน์ และคณะ, 2014	เมล็ดองุ่นเปลือกดำ	SFE-CO ₂	ความดัน 200,300 บาร์ อุณหภูมิ -30,40,50 องศาเซลเซียส	ความดัน 300 บาร์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	ปริมาณน้ำมัน 5.5 กรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง
Da Porto C et al. 2014	Grape marc เปลือกกรวมเมล็ด	SFE-CO ₂ Co solvent	ความดัน 8,10,20,30 MPa อัตราการไหลของCO ₂ 4 ,6 กก./ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ 7.5% EtW, 10% EtW, 15% EtW อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 240 นาที	ความดัน 8 MPa อัตราการไหลของCO ₂ 4 กก./ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ 7.5% EtW	-ฟีนอลิก 2600mg/100 ตัวอย่างแห้ง -โพรแอนโทไซยานินดีนส์ 441.7 มิลลิกรัม/100 ตัวอย่างแห้ง
Santos P.etal, 2015	พริกไทย	SFE-CO ₂ Co ultrasound	ความดัน 15 MPa อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของ CO ₂ 1.67x10 ⁻⁴ กก/วินาที พลังงาน 200,280,360 W เวลา 60,150,240 ๐นาที่	ความดัน 15 MPa อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พลังงาน 360 W 60 นาที	แคปไซซิน 0.37 มิลลิกรัม/กรัม ตัวอย่างแห้ง
Natolino et al. 2016	กากองุ่น	SFE-CO ₂	ความดัน 10,12 MPa อุณหภูมิ 40,45 องศาเซลเซียส ปริมาณ CO ₂ 0.97,0.99 molar ตัวอย่าง 10 กรัม	ความดัน 12 MPa ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และปริมาณ CO ₂ 0.99 molar	-โพรแอนโทไซยานินดีนส์ 150 มิลลิกรัม/100 กรัม ตัวอย่างแห้ง
Krhilli et al. 2017	Tomato peels	SFE-CO ₂	อุณหภูมิ 50,70,80 องศาเซลเซียส ความดัน 300,400,500 บาร์ อัตราการไหลของCO ₂ 3,4,6 กรัม/นาที ระยะเวลาในการสกัด 105 นาที	50 เซลเซียสความดัน 400 บาร์ ที่อัตราการไหล 4 กรัม/นาที	ไลโคปีน 60.85 % แคโรทีน 58.8 % (% yields)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2012 Mohammed Jahural Haque Akanda และคณะ ได้ทำการประยุกต์ใช้การสกัด Supercritical CO₂ เป็นตัวทำละลาย พบว่าเป็นการกระบวนการผลิตที่ใช้ใช้น้ำน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบ Screw press ซึ่งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประเมินว่าเทคโนโลยี SFE เป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการขยายการสกัดน้ำมันปาล์มในระดับอุตสาหกรรม การสกัดสารสำคัญในพืชโดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตถูกนำไปใช้ในการสกัดน้ำมันอย่างแพร่หลายในพืชสมุนไพรหลายชนิด และมีการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารที่สกัด

ศึกษาการสกัดวิตามินอีจากใบปาล์มน้ำมันโดยใช้วิธีการสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวดซึ่งจะทำการศึกษาลักษณะที่เหมาะสมในการสกัดและศึกษาปัจจัยอุณหภูมิในเครื่องสกัด ความดันในเครื่องสกัด และอัตราการป้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นต้น สำหรับการวิเคราะห์ HPLC (High performance Liquid chromatography) (ข้อมูลจาก สุภาภรณ์, 2552)

ในปี 2553 กัญญรัตน์ และ จันทนิศึกษาการสกัดไลโคปีนจากการมะเขือเทศจากโรงงานอุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับมะเขือเทศจากตลาดท้องถิ่นโดยใช้เอนไซม์และสารทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ พบว่า ผงกามะเขือเทศจากตลาดท้องถิ่นมีปริมาณไลโคปีนสูงกว่าผงกามะเขือเทศโรงงาน และผงกามะเขือเทศโรงงานที่ใช้เอนไซม์ทางการค้า 2 ชนิด Enz A และ Enz B ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์เพคตินเนส, เซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส โดยใช้เวลา 5 ระดับ พบว่า ระยะเวลาการย่อย 50 นาทีร่วมกับเอทิลอะซิเตตได้ปริมาณไลโคปีนสูงสุด 50.3 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัมแห้ง ส่วนมะเขือเทศจากตลาดท้องถิ่นให้ปริมาณไลโคปีนสูงสุด 80.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแห้ง

ในปี 2010 Go-Woon Jung และคณะ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดโดยใช้ Supercritical กับ Near Critical ของ CO₂ ในการสกัดเพื่อเพิ่ม Carotenoid ในน้ำมันรำข้าวฟาง พบว่า Near Critical CO₂ มีสมรรถนะการสกัดน้ำมันสูงสุดที่ อุณหภูมิ 25 C และ 30 MPa และ Critical ของ CO₂ มีสมรรถนะการสกัดน้ำมันสูงสุดที่ อุณหภูมิ 45 C และ 30 MPa โดยปริมาณ Carotenoid แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันไทย-เยอรมันได้พัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่สภาวะเหนือวิกฤติ ซึ่งออกแบบปฏิกรณ์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้บรรจุสมุนไพรบดละเอียด และใช้แรงดันอัดที่ 150-200 bar ใช้ต้นกำลังมอเตอร์ 5 A 220 V ราคาการจำหน่ายเริ่มต้นเครื่องละ 3,000,000 บาท ภายใต้โครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยกระบวนการวิศวกรรมเพื่อการสร้างสรรค์คุณค่าประจำปีงบประมาณ 2555 (สถาบันไทย-เยอรมัน, มมป)

จากงานวิจัยข้างต้นพบว่าเทคโนโลยีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่สภาวะเหนือวิกฤติ มาสกัดสารสำคัญ ในพืชนั้นมีความเหมาะสม ทั้งด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และด้านการส่งเสริมกลุ่มเกษตรกรแต่เนื่องจากราคาเครื่องจักรที่มีต้นทุนสูงทำให้การขยายผลเป็นไปได้ยาก ซึ่งถ้าเราสามารถเพิ่มสมรรถนะในการผลิตได้ จะทำให้การลงทุนมีการคืนทุนเร็วขึ้นจะทำให้เกษตรกรสามารถลงทุนได้ และลดความเสี่ยงต่อการลงทุน

(Mohammed Jahural Haque Akanda et al. 2012) ได้ทำการประยุกต์ใช้การสกัด Supercritical CO₂ เป็นตัวทำละลาย พบว่าเป็นการกระบวนการผลิตที่ใช้ใช้น้ำน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบ Screw press ซึ่งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงงาน

อุตสาหกรรม ซึ่งประเมินว่าเทคโนโลยี SFE เป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการขยายการสกัดน้ำมันปาล์มในระดับอุตสาหกรรม

(Ugur Salgin .et al. 2005) ทำการทดสอบการสกัด Supercritical CO₂ กับน้ำมันทานตะวัน โดยใช้ความดัน 20, 30, 40 50 และ 60 MPa ที่อุณหภูมิ 313, 333 และ 353 K^o ที่อัตราการไหลของ CO₂ 1-4 และ 6 M³/min ที่ขนาดแตกต่างกัน พบว่า อัตราการสกัดจะเพิ่มขึ้นตามความดันเป็นปัจจัยที่มีประสิทธิผลมากที่สุด โดยอัตราการไหลไม่ส่งผลต่อการสกัดน้ำมัน

(Sami Gokhan Ozkal. 2004) ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันจากผลแอปเปิ้ลโดยใช้ Supercritical CO₂ ทำการสกัดช่วงความเร็วสูงและต่ำ พบว่าน้ำมันที่สกัดได้ในการสกัดอย่างรวดเร็ว น้ำมันจะกลับคืนน้อยมาก โดยผลการสกัดจะเพิ่มหรือลดลงขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคที่ใส่เข้าไป และอัตราการสกัดจะเพิ่มตาม ความดัน อุณหภูมิ และความเข้มข้นของเอทานอล โดยอัตราสูงสุดที่สามารถสกัดได้ที่ 0.26 g/g ที่อัตราการไหล 4 g/min อุณหภูมิ 60 C ที่ความดัน 450 bar และเอทานอล 3%

(Go-Woon Jung.et al. 2010) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดโดยใช้ Supercritical กับ Near Critical ของ CO₂ ในการสกัดเพื่อเพิ่ม Carotenoid ในน้ำมันรำข้าวฟาง พบว่า Near Critical CO₂ มีสมรรถนะการสกัดน้ำมันสูงสุดที่ อุณหภูมิ 25 C และ 30 MPa และ Critical ของ CO₂ มีสมรรถนะการสกัดน้ำมันสูงสุดที่ อุณหภูมิ 45 C และ 30 MPa โดยปริมาณ Carotenoid แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

(สุภาภรณ์, 2552) ศึกษาการสกัดวิตามินอีจากใบปาล์มน้ำมันโดยใช้วิธีการสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด ซึ่งจะทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและศึกษาปัจจัยอุณหภูมิในเครื่องสกัด ความดันในเครื่องสกัด และอัตราการป้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นต้น สำหรับการวิเคราะห์ HPLC (High performance Liquid chromatography)

(สมใจ, 2549) ศึกษาการสกัดสารโพรแอนโธไซยานินส์จากเมล็ดองุ่นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด พบว่าการสกัดสารจากเมล็ดองุ่นโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด เป็นตัวสกัดอย่างเดียวจะได้ปริมาณของสารโพรแอนโธไซยานินส์มากที่สุด 50.13 มิลลิกรัม/100กรัมเมล็ดองุ่น ภายใต้สภาวะความดันที่ 40 MPa อุณหภูมิ 40 °C และ ขนาดอนุภาคของเมล็ดองุ่น 60-80 mesh และปริมาณสารโพรแอนโธไซยานินส์ที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น 4.03 % เมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวสกัดร่วมภายใต้สภาวะการสกัดเดียวกัน

(กัญญรัตน์ และ จันทน์, 2553) ศึกษาการสกัดไลโคปีนจากการมะเขือเทศจากโรงงานอุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับมะเขือเทศจากตลาดท้องถิ่นโดยใช้เอนไซม์และสารทำลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ พบว่า ผงกามะเขือเทศจากตลาดท้องถิ่นมีปริมาณไลโคปีนสูงกว่าผงกามะเขือเทศโรงงาน และผงกามะเขือเทศโรงงานที่ใช้เอนไซม์ทางการค้า 2 ชนิด Enz A และ Enz B ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์เพคตินเนส, เซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส โดยใช้เวลา 5 ระดับ พบว่า ระยะเวลาการย่อย 50 นาทีร่วมกับเอทิลอะซีเตตได้ปริมาณไลโคปีนสูงที่สุด 50.3 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัมแห้ง ส่วนมะเขือเทศจากตลาดท้องถิ่นให้ปริมาณไลโคปีนสูงสุด 80.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแห้ง

(กานดาวดี และจิรภา, 2556) ศึกษาผลของสายพันธุ์มะเขือเทศและวิธีการสกัดไลโคปีนต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของมะเขือเทศผง โดยทดสอบมะเขือเทศพันธุ์พื้นเมือง 5 สายพันธุ์ พันธุ์เบอร์ 1 พันธุ์เบอร์ 2 เพชรชมพู สีดา และอีเป้อ พบว่ามะเขือเทศพันธุ์อีเป้อมีปริมาณไลโคปีนสูงสุด 67.61 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักมาตรฐานแห้ง

(จารุวรรณ และสุตารัตน์, 2554) ศึกษาเปรียบเทียบแคปไซซินอยด์และดัชนีความเผ็ดในพริกตามระยะการสุกแก่ของผล โดยเปรียบเทียบกับพริก 5 สายพันธุ์ ได้แก่ พริกพันธุ์หัวเรือ พันธุ์ทองคำ พันธุ์ซูเปอร์ฮอท พันธุ์พริกขี้หนู และพันธุ์จินดา โดยใช้การสกัดวิธี Solvent extraction พบว่า พริกพันธุ์ซูเปอร์ฮอทมีความเผ็ดสูงที่สุดทุกระยะการสุกแก่ของพริกดิบ และพริกแคปไซซินอยด์มากที่สุด 5.83 มิลลิกรัม ในระยะพริกดิบ โดยพันธุ์หัวเรือมีปริมาณแคปไซซินอยด์มากที่สุด 6.23 มิลลิกรัม ในระยะพริกสุก

(สถาบันไทย-เยอรมัน, มมป) ได้พัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่สภาวะเหนือวิกฤติ ซึ่งออกแบบปฏิกรณ์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้บรรจุสมุนไพรบดละเอียด และใช้แรงดันอัดที่ 150-200 bar ใช้ต้นกำลังมอเตอร์ 5 A 220 V ราคาการจำหน่ายเริ่มต้นเครื่องละ 3,000,000 บาท ภายใต้โครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยกระบวนการวิศวกรรมเพื่อการสร้างสรรค์คุณค่าประจำปีงบประมาณ 2555

3. วัตถุประสงค์

3.1 วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรต้นแบบในการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบกวนผสมแม่เหล็ก

3.2 วิจัยและพัฒนาเทคนิคการสกัดน้ำมันธรรมชาติโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบกวนผสมแม่เหล็ก

4. ขอบเขตการวิจัย

4.1 พัฒนาเครื่องจักรต้นแบบในการสกัดน้ำมันธรรมชาติขนาดปริมาณบรรจุมากกว่า 2,000 มิลลิลิตร

4.2 ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันธรรมชาติ ในเมล็ดองุ่น พริกพันธุ์ยอดสนเข้ม 80 และ มะเขือเทศพันธุ์อีเป้อ

5. สมมติฐาน

5.1 การสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลายที่สภาวะแตกต่างกัน มีผลต่อปริมาณน้ำมันธรรมชาติที่สกัดได้แตกต่างกัน

5.2 การเพิ่มความสามารถในการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลาย โดยใช้เทคนิคpressure swing มีผลต่อการเพิ่มปริมาณน้ำมันธรรมชาติที่สกัดได้

ระเบียบวิธีการวิจัย (อุปกรณ์และวิธีการทดลอง)

สำหรับงานวิจัยนี้มี 1 กิจกรรม คือ วิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก และแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง เพื่อพัฒนาเครื่องจักรในการสกัดสารด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต และเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดด้วยเทคนิค Press swing extractions เพื่อให้การวิจัยสามารถตอบสนองการผลิตเชิงพาณิชย์ สำหรับอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร และอุตสาหกรรมยา

สถานที่ทำการวิจัย

ในประเทศ/ ต่างประเทศ	ชื่อประเทศ/ จังหวัด	พื้นที่ที่ทำวิจัย	ชื่อสถานที่
ในประเทศ	ขอนแก่น	ห้องปฏิบัติการ	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
ในประเทศ	หนองคาย	ห้องปฏิบัติการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย
ในประเทศ	นครราชสีมา	ห้องปฏิบัติการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ในประเทศ	กรุงเทพมหานคร	ห้องปฏิบัติการ	ศูนย์บริการวิชาการ/ศูนย์วิจัยของกรมวิชาการเกษตร
ในประเทศ	-	ห้องปฏิบัติการ	โรงงานเอกชน

ระยะเวลาดำเนินงาน

ระยะเวลาโครงการ 3 ปี 0 เดือน

วันที่เริ่มต้น 1 ตุลาคม 2559 วันที่สิ้นสุด 30 กันยายน 2561

วิธีการดำเนินการ

การทดลองที่ 1.1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก (2559-2560)

1. ออกแบบชุดทดสอบเครื่องสกัดน้ำมัน Supercritical carbon dioxide

1.1 ออกแบบชุดทดสอบเครื่องสกัดน้ำมัน Supercritical carbon dioxide ภาวะวิกฤติยิ่งยวด (Supercritical state) คือที่อุณหภูมิ 31.1 °C และความดัน 7.38 MPa เงื่อนไขการออกแบบปริมาตรการสกัด (Reactor) 1000 มิลลิลิตร (แยกเป็น 4 ภาชนะ) เพื่อให้เหมาะสมต่อการหาอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมก่อนการสกัดสารในถังสกัดใหญ่ สามารถปรับอัตราการไหลคาร์บอนไดออกไซด์ 5-20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และสามารถทนแรงดันได้มากกว่า 200 บาร์ โดยมีระบบป้องกันแรงดันเกิน

- 1.2 ออกแบบชุดแยกน้ำมันและกาก โดยศึกษาระบบกรองแบบฟิลเตอร์
- 1.3 ออกแบบระบบควบคุมไฟฟ้า
- 1.4 ออกแบบระบบความปลอดภัยในการใช้งาน
2. สร้างเครื่องต้นแบบสกัดน้ำมัน Supercritical carbon dioxide ปรับปรุงและพัฒนาตลอดการติดตั้งระบบป้องกันอันตราย
3. ทำการทดสอบระบบและต้นแบบเบื้องต้น
4. ปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิต

การทดลองที่ 1.2 ทดสอบและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตกับพืชโดยใช้เทคนิค Press swing extractions

สำหรับในการทดลองที่ 1.2 เป็นส่วนของการทดสอบเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต เพื่อ เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องสกัด เปรียบเทียบเทคนิคการสกัด และปริมาณสารสำคัญที่ได้จากการทดลอง สำหรับกระบวนการวิจัยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ทดสอบและเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต
2. ศึกษากระบวนการเตรียมวัตถุดิบและขนาดอนุภาคที่นำมาใช้ในการสกัด
3. ศึกษาการสกัดน้ำมันและสารสำคัญของพืชทั้ง 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ ฝรั่ง) ด้วยเทคนิคซอกเทค (Soxtec Extraction)
4. ศึกษาเทคนิคการการสกัดสารจากพืช 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ ฝรั่ง) ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล)
5. ศึกษาเทคนิคเทคนิคการการสกัดสารจากพืช 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ ฝรั่ง) ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล) และเทคนิค Press swing extractions

อุปกรณ์และสารเคมี

- 1.1 ตู้อบลมร้อนลมร้อน รุ่น LC-233 B1
- 1.2 เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง (RADWAG รุ่น AS220.R2)
- 1.3 เครื่องแยกกาก (รุ่น EJE 3000 Electrolux : China)
- 1.4 เครื่องบดหยาบแบบค้อน (hammer mill.รุ่น HM-5 Taiwan)
- 1.5 เครื่องบดละเอียดแบบเข็ม (Pin mill.รุ่น YPT-302 Thailand)
- 1.6 เครื่องสกัดชอกเทค (รุ่น Soxtec system HT 1046 SERVICE Unit USA)
- 1.7 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (รุ่น EFL 300, Pamalyne :USA)
- 1.8 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV-Vis Spectrometer Shimadzu UV 1800)
- 1.9 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) (ยี่ห้อ Waters รุ่น Water 600E)
- 1.10 คอลัม HPLC ขนาด C18 (บริษัท Purospher® รุ่น STAR RP-18 endcapped (5µm)
- 1.11 เอทานอล (99.9 % AR grade , บริษัท RCI-Labscan)
- 1.12 เมทานอล (99.99 HPLC grade, บริษัท RCI-Labscan)
- 1.13 น้ำ double DI
- 1.14 กรดฟอร์มิก (99.99 HPLC grade, บริษัท RCI-Labscan)
- 1.15 สารมาตรฐานเบต้าแคโรทีน ความบริสุทธิ์ 98% (บริษัท Sigma)
- 1.16 สารมาตรฐานไลโคปีน ความบริสุทธิ์ 99.98 % (บริษัท Sigma)
- 1.17 สารมาตรฐานแคปไซซิน ความบริสุทธิ์ 99.8% (บริษัท Sigma)
- 1.18 สารมาตรฐานไซยานิดีนส์ ความบริสุทธิ์ 99.99% (บริษัท Sigma)
- 1.19 สารมาตรฐานไซยานิน ความบริสุทธิ์ 99.80 % (บริษัท Sigma)

1.2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและศึกษาขนาดอนุภาคเบื้องต้นของพืชทั้ง 3 ชนิดก่อนทำการสกัด

นำพริกยอดสนเข็ม 80 สด จากพื้นที่ปลูกศูนย์การเรียนรู้ยางชุมน้อยโมเดลชุมชนบ้านโนนดี ตำบลโนนคูณ อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ 2561 โดยใช้ผลพริกที่อยู่ในระยะแก่ (160 วันหลังการเพาะปลูก รุ่น 1) มะเขือเทศสายพันธุ์อีแปะ จากศูนย์การค้าผักและผลไม้ตลาดศรีเมืองทอง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ทั้งพริกและมะเขือเทศ ต้องมีสีแดงสุกทั่วทั้งผลและไม่มีร่องรอยการบอบช้ำหรือเน่าเสีย และองุ่นสายพันธุ์ชิลีจาก ศูนย์การค้า แม็คโคร อำเภอเมืองจังหวัดขอนแก่น นำมาแช่ด้วย Potassium Permanganate ใน อัตราส่วนต่อน้ำ 1 mg: 5 L เพื่อสลายสารพิษตกค้าง จากนั้นล้างผ่านด้วยน้ำสะอาดและผึ่งวัตถุดิบให้ สะเด็ดน้ำ สำหรับพริกนำก้านขั้วพริกออก มะเขือเทศแยกน้ำมะเขือเทศออกด้วยเครื่องแยกกาก (รุ่น EJE 3000 Electrolux : China) เพื่อลดขนาดและความชื้นเบื้องต้นก่อนการทำแห้ง อนุญาตการแยก เมล็ดออกจากผล จากนั้นนำวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด เข้าตู้อบลมร้อนลมร้อน รุ่น LC-233 B1 อุณหภูมิใน

การทำแห้งอยู่ที่ 55 ± 2 °C จนระดับความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10-11 % dw (ดัดแปลงวิธี จาก Santos et al., 2015) บดวัตถุดิบแห้งด้วยเครื่องบดหยาบแบบค้อน (hammer mill. รุ่น HM-5 Taiwan) ให้มีขนาดเล็กลงและทำการบดซ้ำด้วยเครื่องบดละเอียดแบบเข็ม (Pin mill. รุ่น YPT-302 Thailand) ผ่านขนาดตะแกรง 50 Mesh จะได้วัตถุดิบพริกในรูปแบบผงเก็บตัวอย่างในถุงออลูมิเนียมฟอยด์เพื่อรอการสกัดและวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

สำหรับการศึกษาขนาดอนุภาคเบื้องต้นของพืชทั้ง 3 ชนิด นำ พริกแห้ง ผงมะเขือเทศ และผงองุ่น จากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ มาทำการชั่งน้ำหนัก 150 ± 1 g ใส่ลงใน เครื่องวัดขนาดอนุภาค (รุ่น EFL 300, Pamalyne :USA) โดยใช้ตะแกรงในการทดลองขนาด 30, 40, 70 ,100 , 140 mesh วิเคราะห์ขนาดของอนุภาคผงพริกที่นำมาสกัด (ASTM C136)

1.2.2 ศึกษาการสกัดน้ำมันของพืชทั้ง 3 ชนิด ด้วยเทคนิคซอกเทค (Soxtec Extraction)

ชั่งตัวอย่างผงพริกแห้ง ผงมะเขือเทศ และผงเมล็ดองุ่น ที่ต้องการสกัด 2 ± 0.1 g ในกระดาษกรอง และใส่ลงในเครื่องสกัดซอกเทค (รุ่น Soxtec system HT 1046 SERVICE Unit USA) (เตรียม 5 ชุด) ใช้เอทานอล 99.9% (Analytical Reagent grade, AR) เป็นตัวทำละลายปริมาณ 20 ml ต่อชุด สกัด ชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ ด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง (RADWAG รุ่น AS220.R2) และเก็บน้ำมันที่สกัดได้ ในขวดสีชาเก็บรักษาไว้อุณหภูมิ -18 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป (Aguiar et al., 2014)

1.2.3 ศึกษาเทคนิคการสกัดสารจากพืช 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ องุ่น) ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล)

สำหรับในขั้นตอนนี้ จะแบ่งการสกัดออกเป็น 4 ส่วน ปัจจัยควบคุมสภาวะการทดลองคือ ใช้วัตถุดิบ (ผงพริก ผงมะเขือเทศ ผงเมล็ดองุ่น) 10 ± 1 g บรรจุลงในถุงกรองชา อุณหภูมิในการสกัด 40 ± 3 °C

1. เทคนิคการสกัดโดยการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว สภาวะในการสกัด ความดันที่ 15 MPa ระยะเวลาในการสกัด 180 นาที ใช้ผงพริกในการสกัด
2. เทคนิคการสกัดโดยการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลายร่วมกับเอทานอล โดยใช้สภาวะการสกัด ที่ความดัน 8 MPa (ช่วง near critical) ระยะเวลาในการสกัด 180 นาที ปริมาณ เอทานอล 40 ml. ใช้ผงพริกในการสกัด
3. เทคนิคการสกัดโดยการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติเป็นตัวทำละลายร่วมกับเอทานอลโดยการวางแผนการทดลองแบบ การวางแผนทดลองแบบ Box-Behnken (15 Run Order) แสดงดัง ตารางที่ 3-1 และตารางที่ 3-2 ใช้ผงพริกและผงมะเขือเทศในการสกัด
4. เทคนิคการสกัดโดยการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติเป็นตัวทำละลายร่วมกับเอทานอลโดยใช้สภาวะจากการทดลองที่ 3 คือ ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลาในการสกัด 60 นาที ในผงมะเขือเทศ และ ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลาในการสกัด 90 นาที ในผงเมล็ดองุ่น

ระบบการอัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีสถานะเป็นของเหลวที่มีความบริสุทธิ์ 99.8% (Food grade) โดยจะใช้ปั๊มอัดคาร์บอนไดออกไซด์ (รุ่น 3RC SERIES CO2 ASPIRATOR-PUMP) ซ้ำจำกัดของปั๊มการอัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าต้องมีสถานะเป็นของเหลว (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

ตารางที่ 3-1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองสกัดสารแคปไซซินอยด์จากพริกยอดสนเข้ม 80 และโลโคป็นจากมะเขือเทศพันธุ์โอเปอ ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย

ปัจจัย	หน่วย	ระดับปัจจัย		
		-1	0	1
ความดัน (P)	MPa	10	15	20
เวลา (t)	min	30	60	90
อัตราส่วนวัตถุดิบต่อเอทานอล (RM:EtOH)	g:ml	1:1	1:2.5	1:4

-1 = หมายถึง ระดับของปัจจัยระดับต่ำ

0 = หมายถึง ระดับของปัจจัยระดับกลาง

1 = หมายถึง ระดับของปัจจัยระดับสูง

ตารางที่ 3-2 จำนวนชุดการทดลองและสภาวะการสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย

Treatment	Code X ₁	Pressure (MPa) X ₁	Code X ₂	Time (min) X ₂	Code X ₃	Ethanol (ml) X ₃
1	-1	10	-1	30	0	1:2.5
2	-1	10	+1	90	0	1:2.5
3	+1	20	-1	30	0	1:2.5
4	+1	20	+1	90	0	1:2.5
5	-1	10	0	60	-1	1:1
6	-1	10	0	60	+1	1:4
7	+1	20	0	60	-1	1:1
8	+1	20	0	60	+1	1:4
9	0	15	-1	30	-1	1:1
10	0	15	-1	30	+1	1:4
11	0	15	+1	90	-1	1:1
12	0	15	+1	90	+1	1:4
13	0	15	0	60	0	1:2.5
14	0	15	0	60	0	1:2.5
15	0	15	0	60	0	1:2.5

1.2.4 ศึกษาเทคนิคการสกัดสารจากพืช 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ องุ่น) ด้วยเทคนิค คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล) โดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions

สำหรับเทคนิคการสกัดสารจากพืชทั้ง 3 ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล) โดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions เป็นการนำเทคนิค Pressure swing หรือการสลับความดันเข้ามาเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดให้ได้ปริมาณสารที่ต้องการเพิ่มขึ้น โดยในการทดลองออกแบบการ Pressure swing ปัจจัยควบคุมในการทดลองคือ วัสดุดิบ (ผงพริก ผงมะเขือเทศ และ ผงเมล็ดองุ่น) 10 ± 1 g บรรจุลงในถุงกรองชา อุณหภูมิในการสกัด 40 ± 3 °C และรอบ Pressure swing 3 รอบ ซึ่งพืชแต่ละชนิดใช้ระยะเวลา Pressure swing ในแต่ละรอบที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. การสกัดสารแคปไซซินจากผงพริก ความดัน 15 MPa ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที โดยแบ่งรอบการ swing ความดันออกเป็น 3 รอบ คือที่เวลา 15 ,30 และ 45 นาที โดยจะลดความดันจาก 15 MPa จนถึงความดันบรรยากาศ เก็บตัวอย่างการสกัดแต่ละรอบการสกัดในขวด และเพิ่มปริมาณเอทานอลรอบละ 25 ml

2. การสกัดสารไลโคปีนจากผงมะเขือเทศ ความดัน 20 MPa ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที โดยแบ่งรอบการ swing ความดันออกเป็น 3 รอบ คือที่เวลา 15 ,30 และ 45 นาที โดยจะลดความดันจาก 20 MPa จนถึงความดันบรรยากาศเก็บตัวอย่างการสกัดแต่ละรอบการสกัดในขวด และเพิ่มปริมาณเอทานอลรอบละ 40 ml

3. การสกัดสารโปรแอนโทไซยานินดีนส์จากผงเมล็ดองุ่น ความดัน 20 MPa โดยแบ่งรอบการ swing ความดันออกเป็น 3 รอบ คือที่เวลา 23 , 45 และ 68 นาที โดยจะลดความดันจาก 20 MPa จนถึงความดันบรรยากาศเก็บตัวอย่างการสกัดแต่ละรอบการสกัดในขวด และเพิ่มปริมาณเอทานอลรอบละ 40 ml

1.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันจาก พริก มะเขือเทศ และเมล็ดองุ่น จากการสกัดด้วยวิธีชอกเทค และการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย จากการสกัดแต่ละสภาวะจะถูกรวบรวมนำไประเหยเอทานอลเพื่อนำตัวทำละลายออก ด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ จนเหลือแต่น้ำมัน จากนั้นบันทึกน้ำหนักของน้ำมันหลังการระเหย ปริมาณสารสกัดรายงานผลเป็น g / 100 g dw (Srichaen *et al.*, 2017) แสดงสมการที่ 1

$$\% \text{ น้ำมัน} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังการระเหย}}{\text{น้ำหนักพริกที่ใช้ในการสกัด}} \times 100 \quad (1)$$

1.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณสารแคปไซซินด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High-Performance Liquid Chromatography, HPLC)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารแคปไซซินในพริกด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Waters รุ่น Water 600E โดยวิเคราะห์แบบ isocratic elution เป็นการใช้สัดส่วน Mobile phase คงที่ตลอดการวิเคราะห์โดยจะใช้ Mobile phase ชนิดผสมกันและ ใช้คอลัมน์ C18 (บริษัท Purospher® รุ่น STAR RP-18 endcapped (5µm) LiChroCART® 250-4.6) จับสัญญาณด้วยยูวี-วิส ดีเทคเตอร์ (UV-Vis detector) ความยาวคลื่น 280 nm โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็น เมทานอล (HPLC grade, บริษัท RCI-Labscan) และน้ำ double DI อัตราส่วน 80 :20 อัตราการไหล 1 ml/ml อุณหภูมิ 30 ° C ฉีดตัวอย่าง 10 µl สร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้แคปไซซินบริสุทธิ์ (บริษัท Sigma) เป็นสารมาตรฐาน ปรับความเข้มข้นที่ 0.2 , 0.4, 0.6, 0.8 1.0 mg/ml ด้วยเอทานอล เพื่อคำนวณหาปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้ (ดัดแปลงจาก Sricharoen. *et al.*, 2017)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารไลโคปีนในมะเขือเทศด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารไลโคปีน วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Waters รุ่น Water 600E โดยวิเคราะห์แบบ isocratic elution เป็นการใช้สัดส่วน Mobile phase คงที่ตลอดการวิเคราะห์โดยจะใช้ Mobile phase ชนิดผสมกันและ ใช้คอลัมน์ C18 (บริษัท Purospher® รุ่น STAR RP-18 endcapped (5µm) LiChroCART® 250-4.6) จับสัญญาณด้วยยูวี-วิส ดีเทคเตอร์ (UV-Vis detector) ความยาวคลื่น 470 nm โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็น อะซิโตไนโตรและ ไดคลอโรมีเทน (HPLC grade, บริษัท RCI-Labscan) อัตราส่วน 75 :25 อัตราการไหล 1.5 ml/ml อุณหภูมิ 30 ° C ฉีดตัวอย่าง 20 µl สร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้ไลโคปีนบริสุทธิ์ (บริษัท Sigma) เป็นสารมาตรฐาน ปรับความเข้มข้นที่ 0.2 , 0.4, 0.6, 0.8 1.0 mg/ml ด้วยอะซิโตไนโตร เพื่อคำนวณหาปริมาณสารไลโคปีนที่สกัดได้ (ดัดแปลงจาก Kehili *et al.*, 2017)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารโปรแอนโทไซยานินดีนส์ในเมล็ดองุ่นด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Waters รุ่น Water 600E โดยวิเคราะห์แบบ isocratic elution เป็นการใช้สัดส่วน Mobile phase คงที่ตลอดการวิเคราะห์โดยจะใช้ Mobile phase ชนิดผสมกันและ ใช้คอลัมน์ C18 (บริษัท Purospher® รุ่น STAR RP-18 endcapped (5µm) LiChroCART® 250-4.6) จับสัญญาณด้วยยูวี-วิส ดีเทคเตอร์ (UV-Vis detector) ความยาวคลื่น 520 nm โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็น เมทานอล (HPLC grade, บริษัท RCI-Labscan) และน้ำ double DI ผสมกรดฟอร์มิก 5% อัตราส่วน 75 :25 อัตราการไหล 1 ml/ml อุณหภูมิ 30 ° C ฉีดตัวอย่าง 20 µl สร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้สารแอนโทไซยานินดีนส์บริสุทธิ์ 99.9% (บริษัท Sigma) เป็นสารมาตรฐาน ปรับความเข้มข้นที่ 0.2 , 0.4, 0.6, 0.8 1.0 mg/ml ด้วยเอทานอล เพื่อคำนวณหาปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้ (ดัดแปลงจาก Natolino *et al.*, 2016)

1.2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวางแผนทดลองแบบ Box-Behnken (15 Run Order) โดยมีปัจจัยศึกษา 3 ปัจจัยคือ ความดัน (10,15,20 MPa) ปริมาณเอทานอล (10,25,40 ml) และระยะเวลาในการสกัด (30 ,60, 90 min) และกำหนดให้วิธีการสกัดแบบซอกเทค เป็นชุดควบคุม ทำการทดลอง 3 ซ้ำค่าสังเกตนำมา วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance) แบบ one way anova เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตที่วิเคราะห์ด้วย Duncan' s Multiple Rang Test (DRMT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics (Version 19.0)

การทดลองที่ 1.3 ศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้ Supercritical carbon dioxide ในการสกัดน้ำมัน

1.3.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

1.3.2 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return: IRR)

1.3.3 วิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break Even Point Analysis: BEP)

1.3.4 อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: B/C)

1.4 ถ่ายทอดเทคโนโลยีเผยแพร่งานวิจัย

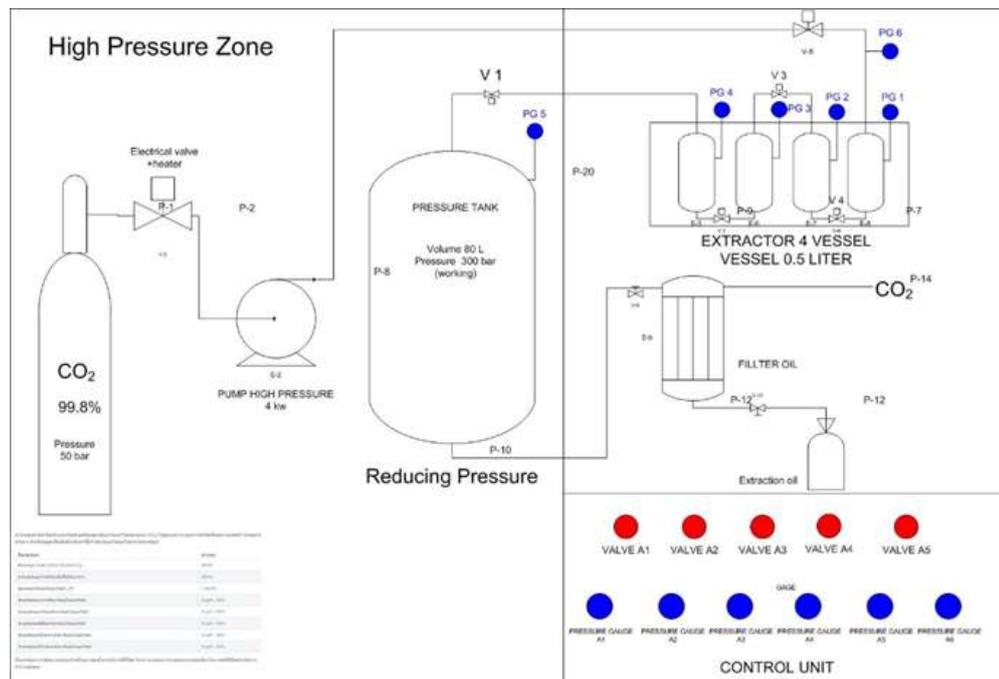
- เผยแพร่เอกสารวิชาการ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1.) ออกแบบและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก 2.) ทดสอบและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตกับพืชโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions 3.) ศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้ Supercritical carbon dioxide ในการสกัดน้ำมัน ซึ่งผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก

การออกแบบพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก ทำการออกแบบทางวิศวกรรมของกระบวนการสกัดสำคัญด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต แสดงภาพ ที่ 4-1 โดยส่วนประกอบหลัก คือ



ภาพที่ 4-1 Super Critical Carbon Dioxide Extraction Diagram ต้นแบบที่ 1

ส่วนประกอบหลักของเครื่องต้นแบบสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต

1. ถังบรรจุคาร์บอนไดออกไซด์ ขนาด 6 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 3 ถัง ดังภาพที่ 4-2
2. ระบบหล่อเย็นเพื่อใช้ในการลดอุณหภูมิก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มีสถานะของเหลว ก่อนเข้าปั๊ม ดังภาพที่ 4-2
3. ปั๊มคาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพที่ 4-2 และคุณลักษณะของปั๊มแสดงดังตารางที่ 4-1
4. ถังสกัดขนาด 0.2 ลิตร จำนวน 4 ถัง
5. ชุดกรองน้ำมันแบบฟิลเตอร์ Ceramic 2 นิ้ว ยาว 10 นิ้ว กรอง 0.5 Micron
6. ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ประกอบด้วย
 - 6.1 Inverter ขนาด 4 kw 380 volt 0-50 Hz ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบปั๊มคาร์บอนไดออกไซด์ และปรับอัตราการไหลของ working fluid
 - 6.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิระบบ PID โดยมี heater เป็นแหล่งความร้อนควบคุมระบบ
7. ท่อและวาล์วควบคุมการเก็บสารสกัดลงขวดเก็บสารสกัด(โดยตรง)
8. วาล์วควบคุมการไหลทางเข้า-ทางออกของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ระบบถังสกัด
9. เกจวัดระดับความดัน ประกอบด้วย 1) เกจความดันเข้าปั๊ม 2) เกจความดันเข้าถังสกัด ทั้ง 4 ถัง 3) เกจความดันทางออก 4) เกจความดันผ่านกรองหรือทางออก
10. จอแสดงอุณหภูมิ เป็นระบบ PID ควบคุมอุณหภูมิถังสกัดให้คงที่



ภาพที่ 4-2 แสดงส่วนประกอบเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต



Model		3RC40-0.2/32
Actuating medium		Liquefied CO ₂
Input pressure (Mpa)		4-5
Output pressure (Mpa)		32
Flux (m³/h)		0.2
Plunger diameter (mm)		20
Stroke (mm)		40
Reciprocating frequency (min)		133
Motor	Model	Y160M1-8
	Power (Kw)	4
	Speed (r/min)	720
	Voltage (V)	380
Drive part	Lubrication	Diesel oil, use 20# in winter, 50# in summer
	Dosage (Kg)	2.5
Feeding pipe diameter (mm)		Φ18×2
Draining pipe diameter (mm)		Φ18×1.5
Volume (mm)		800×500×450
Total weight (Kg)		430

ภาพที่ 4-3 คุณลักษณะของปั๊มอัดคาร์บอนไดออกไซด์

การออกแบบระบบการสกัดต้นแบบแสดงดังภาพที่ 4-1 ซึ่งการออกแบบเริ่มจากถังสกัด จากงานวิจัยนักวิจัยได้ทำการออกแบบถังสกัดขนาดเล็กก่อนเพื่อต้องการหาสัดส่วนของเวลาและความดันในการสกัดสารสำคัญในแต่ละพืช โดยการออกแบบถังสกัดขนาด 200 มิลลิลิตร จำนวน 4 ถัง ดังภาพที่ 4-4 พบว่าการสร้างถังสกัดควรมีจุดต่อที่เป็นเกลียวให้น้อยที่สุด เนื่องจากจะเกิดการรั่วไหลของของเหลวในช่วงจุดต่อ ซึ่งจะทำให้การควบคุมความดันไม่สามารถกระทำที่ความสูง และส่งผลต่อการสกัดสารสำคัญในบางตัวที่ใช้ความดันสูงมากๆ เช่นสารโพรแอนโทไซยานินดีนส์ โดยแบบถังสกัดต้นแบบที่ 1 ดังภาพที่ 4-4 จะมีปัญหาเรื่องการเปิด ปิดในการเอากากตะกอนออกได้ยาก โดยคณะผู้วิจัยได้ออกแบบถังสกัดที่ใช้ในการขนาด 5,000 มิลลิลิตร ดังภาพที่ 4-5 เพื่อใช้ในการสกัด พบว่ามีปัญหาเรื่องจุดต่อที่เป็นเกลียวมีการรั่วไหลของก๊าซดังภาพ 4-6



ภาพที่ 4-4 ลักษณะของถังสกัดขนาด 200 มิลลิลิตร



ภาพที่ 4-5 ลักษณะของถังสกัดขนาด 5,000 มิลลิลิตร จำนวน 2 ถัง

โดยถังสกัดขนาด 5,000 มิลลิลิตร ได้ออกแบบระบบป้องกันความดันสองชั้นได้ฟ้าถึงบรรจุ เป็นเกลียวและมีประเก็นยางเพื่อป้องกันการรั่วและมีหุ้รัดฝาถึง 4 หุ้ สามารถรับแรงดันได้มากกว่า 600 บาร์ (ซึ่งความดันใช้งานไม่เกิน 320 บาร์) และมี heater ขนาด 150 วัตต์ ให้ความร้อนและควบคุม ด้วย Temperature control ระบบ PID พบว่า การให้ความร้อนได้รับส่งผลจากการสะสมความร้อน ของถังสกัดที่มีความหนา ทำให้การควบคุมอุณหภูมิจำเป็นต้องตั้งค่าให้ต่ำกว่าค่าจริง เพื่อให้เซ็นเซอร์ สามารถสัญญาณค่าถูกต้อง



ภาพที่ 4-6 ลักษณะของถังสกัดขนาด 5,000 มิลลิลิตร ที่มีการรั่วไหลของก๊าซ

การดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบที่ 1 ดังภาพที่ 4-7 และเริ่มทำการทดสอบพบว่า ยังพบปัญหาการรั่วของระบบบริเวณจุดต่อของทางเข้าและออกของถังสกัด ซึ่งเป็นลักษณะรอยรั่วในรอยเชื่อมการ จำนวน 2 ถังสกัด ซึ่งอีกสองถังสกัดสามารถดำเนินการสกัดได้จึงเริ่มทดสอบและสร้างถังสกัดใหม่อีก 2 ถังขนาด 5000 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทดแทนและขยายกำลังการสกัด ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-7 ต้นแบบเครื่องสกัดสารสำคัญด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือส่วนการสกัดสารและส่วนเครื่องจักรต้นกำลังและแหล่งเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

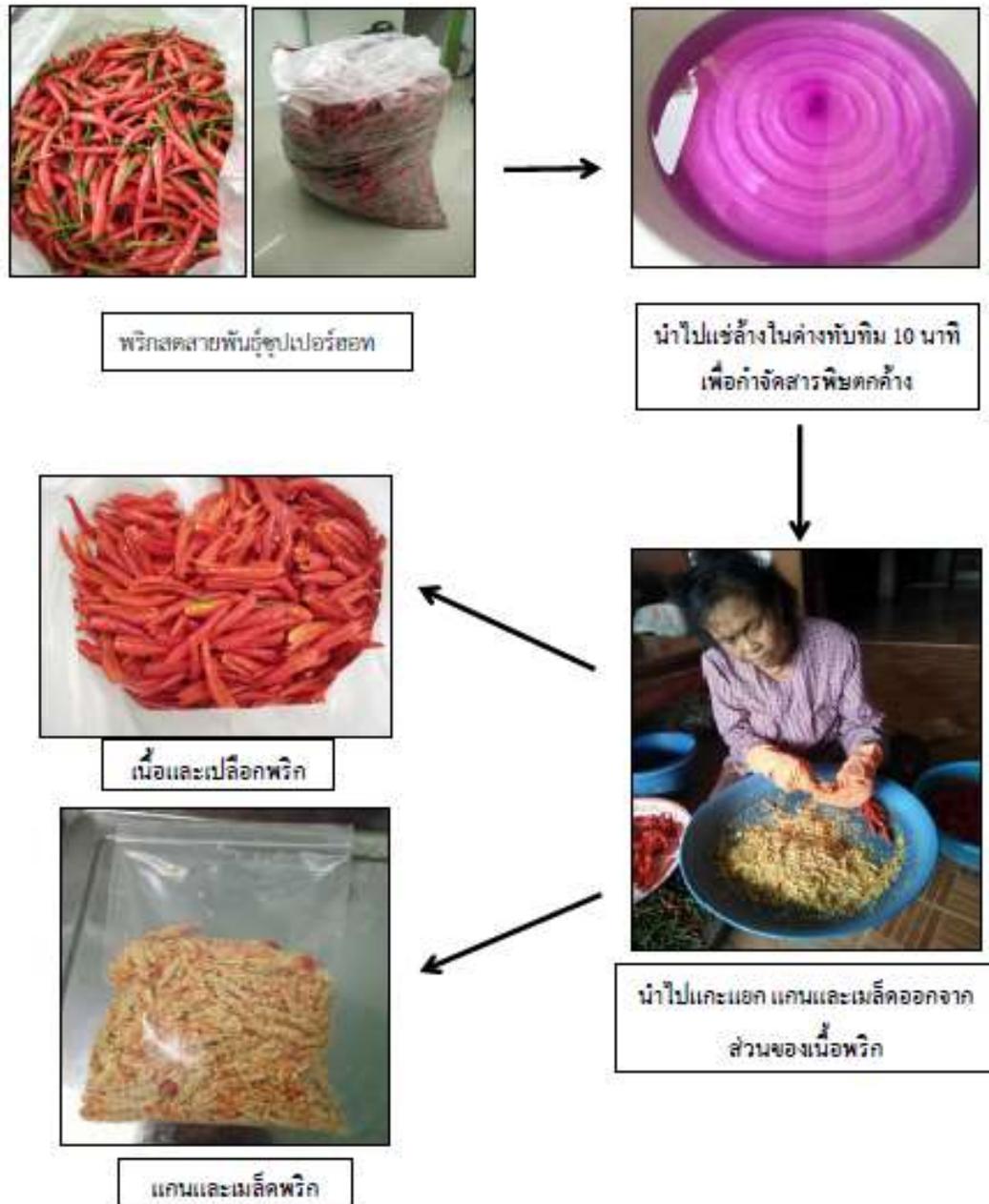
ส่วนในการออกแบบระบบผสมซึ่งจะนำระบบหัวอัลตราโซนิกมาช่วยในการทำการผสม แต่เนื่องจากทางบริษัทที่นำเข้าเทคโนโลยีผลิต หัวอัลตราโซนิกไม่สามารถทำหัว Horn ที่สามารถปรับคลื่นความถี่ได้ ให้ได้ผู้วิจัยจึงมีแนวทางการออกแบบใหม่โดยการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นใหม่ และเปลี่ยน Reactor เป็นสเตเลส เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อสนามแม่เหล็ก ซึ่งในรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ได้สร้าง reactor ใหม่ ขนาด D_{in} 73 mm, H 180 mm, T 8 mm, Volume 0.75 L, material Stainless steel 304 ดังภาพที่ 4-8 โดยทำการทดสอบใช้ Magnetic stirrer ทดสอบสนามแม่เหล็กเพื่อใช้ในการกวน และจะนำ reactor ไปติดตั้งในระบบและทดสอบซึ่งจะเป็นแนวทางการพัฒนาการสกัดต่อไป



ภาพที่ 4-8 ลักษณะ reactor ที่พัฒนาขึ้นและทำการทดสอบการผสมด้วย Magnetic stirrer



ภาพที่ 4-9 ลักษณะการปรับปรุง reactor เนื่องจาก reactor ต้องใช้งานที่ความดันสูง



ภาพที่ 4-10 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบในการสกัดสารสำคัญในพริก ซึ่งจะใช้ใส่พริกซึ่งมีปริมาณสารแคปไซซินอยู่จำนวนมาก



ภาพที่ 4-11 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบในการสกัดสารสำคัญในพริก นำพริกที่ผ่านการแยกเปลือก ออกมาอบที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 55 ชั่วโมง และบดพริกด้วยเครื่องบดผ่านตะแกรง ก่อนนำไป สกัด

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคพริกที่จะนำสกัด

ตัวอย่าง	ขนาดตะแกรง (เบอร์)	ตัวอย่างที่ 1 น้ำหนัก 150.25(g)	ตัวอย่างที่ 2 น้ำหนัก 150.07(g)	ตัวอย่างที่ 3 น้ำหนัก 150.05(g)	ค่าเฉลี่ย
แกนใน+เมล็ด พริก	30	93.69	92.9	95.23	94.03
	40	23.23	23.96	23.46	23.55
	70	22.83	22.14	22.66	22.63
	100	10.29	12.01	8.16	10.15
	140	0.05	0.03	0.09	0.07

จากผลการทดลองการหาขนาดอนุภาคของพริก จากการใช้วิธี Sieve Analysis โดยใช้ ตะแกรงร่อนขนาด 30, 40, 70, 100 และ 140 แมท พบว่าขนาดของอนุภาคทั้งของพริก ร่อนไม่ผ่าน จะแกรงขนาด 30 แมท ได้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 62.58 ในตัวอย่างพริก จึงสามารถสรุปได้ว่า ตัวอย่างผงพริกและองุ่น ที่จะนำไปสกัดสารสำคัญส่วนใหญ่จะไม่ผ่านตะแกรง ขนาด 30 แมท ซึ่ง Santos et al. (2015) ศึกษาอนุภาคของผงพริกในการสกัดสารแคปไซซินด้วยเทคนิค คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตพบว่าผงพริกที่มีขนาด 0.177- 0.342 mm มีผลเพิ่มปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้ในพริก

การทดสอบระบบเบื้องต้นเริ่มต้นจากการเตรียมพริกที่ผ่านการเตรียมดังภาพที่ 4-10 และ 4-11 และวิเคราะห์ขนาดของพริกที่นำมาสกัด โดยการเลือกพริกมาทดสอบเบื้องต้นเนื่องจากสารแคปไซซินที่อยู่ในพริกมีความคงทนต่ออุณหภูมิสูงและสามารถสกัดได้ที่ความดันไม่สูงมากอยู่ในช่วง 73.6-200 บาร์ โดยการทดสอบระบบสกัดด้วยเครื่องสกัดเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืช ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 4-12 ถึง 4-24



ภาพที่ 4-12 ชั่งตัวอย่างพริกกรกและเมล็ดพริกที่ผ่านการ
ทำแห้งและลดขนาด 40 กรัม



ภาพที่ 4-13 ใส่ตัวอย่างผ่านกรวยแก้ว(glass funnel)



ภาพที่ 4-14 ติดตั้งระบบวัดอุณหภูมิในระบบสกัดให้แน่น
หนาปิดระบบเพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศรอบนอก



ภาพที่ 4-15 เปิดระบบการสกัดโดยผ่านเครื่องควบคุม
ระบบไฟและมอเตอร์



ภาพที่ 4-16 ระบบสกัดและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิพร้อมทำงาน



ภาพที่ 4-17 เปิดวาล์วก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ระบบ



ภาพที่ 4-18 วัดอุณหภูมิและความดันของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าระบบสกัด



ภาพที่ 4-19 ระบบสกัดรีแอกเตอร์ 1 และ 2 ความดันเริ่มต้นของก๊าซคาร์บอนไดรอกไซด์เข้าสู่ระบบเริ่มต้น อยู่ที่ 50-200 บาร์



ภาพที่ 4-20 อุณหภูมิเริ่มต้นของระบบสกัดอยู่ระหว่างช่วง 33.2 -37.5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-21 ผู้วิจัยทำการเพิ่มความดันให้แก่ระบบสกัด โดยการปรับที่ตู้ควบคุมและทำการตรวจสอบความปลอดภัยของไลน์สกัด



ภาพที่ 4-22 ทำการทดสอบระบบด้วยเทคนิค Pressure swing โดยการปรับรอบความถี่ของปั๊มเพื่อให้ คาร์บอนไดรอกไซด์ในระบบเพิ่มและลดตามแผนการทดลอง



ภาพที่ 4-23 หลังจากครบกำหนดระยะเวลาการสกัดตามแผนการทดลองทำการปล่อยตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้ และคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากระบบโดยการเริ่มลดความดัน ละเปิดวาล์วให้น้ำมันไหลผ่านระบบกรองและท่อ ลงสู่ขวดเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 4-24 ตัวอย่างน้ำมันพริกที่สกัดได้จากเครื่องสกัด จะถูกนำไประเหยตัวทำละลายบางส่วนที่เหลืออยู่โดยใช้ความร้อนจาก Hot plate เป็นเครื่องระเหยจากนั้นเก็บน้ำมันในขวด Vial ในอุณหภูมิที่เหมาะสม และไม่มีแสงเพื่อรอการวิเคราะห์ในลำดับต่อไป



ภาพที่ 4-25 เก็บกากตัวอย่างที่ผ่านการสกัดมาทดสอบการเหลืออยู่ของปริมาณแคปไซซิน



ภาพที่ 4-26 แซ่กากตัวอย่างด้วยอะซิโตนปริมาณ 100 ml นาน 24 ชั่วโมง กรองแยกสารละลายที่สกัดได้



ภาพที่ 4-27 ทำการระเหยตัวทำละลายบางส่วนที่ยังออกจากน้ำมันที่สกัดด้วยอะซิโตนด้วยการใช้ Hotplate



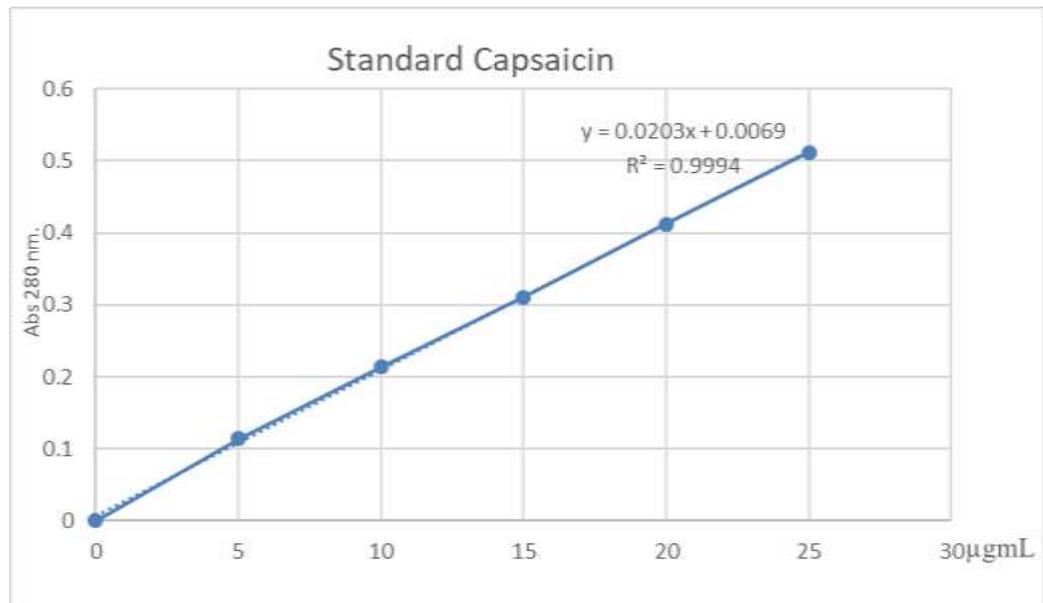
ภาพที่ 4-28 ซ้ำตัวอย่างของน้ำมันที่ได้จากเครื่องสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลาย ขวาน้ำมันที่สกัดได้จากตัวทำละลายอะซิโตนผ่านการระเหยทำตัวทำละลายบางส่วนออก

ผลการทดลองการสร้างเครื่องสกัด พบว่าเครื่องมีความสามารถในการสกัดน้ำมันธรรมชาติจากพืช แต่ยังมีประสิทธิภาพการสกัดต่ำและไม่สมบูรณ์ ยังคงพบรอยรื้อและต้องมีการปรับปรุงระบบท่อของระบบสกัดบางส่วน เพื่อป้องกันไม่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รื้อออกสู่บรรยากาศภายนอกและจากผลการวิเคราะห์น้ำมันที่ได้จากเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต พบว่าน้ำมันจากไส้พริกและเมล็ดพริกจำนวน 40.21 กรัม ที่ความดัน 50-200 บาร์ อุณหภูมิ 33.2-37.5 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งสามารถสกัดน้ำมันจากตัวอย่างได้ประมาณ 3 ml จากปริมาณพริก และเมื่อนำไปตรวจสอบหาปริมาณแคปไซซินพื้นฐานด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยจัดทำกราฟมาตรฐาน เตรียมสารแคปไซซินมาตรฐาน ให้มีความเข้มข้นที่ 5,10,15,20 และ 25 $\mu\text{g mL}^{-1}$ ใน 75 % Methanol และเตรียมสารแคปไซซินมาตรฐาน 0.01 กรัม ละลายด้วย 75 % Methanol ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะทำให้ได้ความเข้มข้น 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ แล้วเจือจางให้ได้ความเข้มข้นดังกล่าวข้างต้น แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 280 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (T80 UV/VIS spectrophotometer) นำค่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟมาตรฐานแคปไซซิน (ตติยา โศคนุญเปี่ยม.2550) ดังภาพที่ 4-29 เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณสารแคปไซซิน

พบว่า พริก 40.21 กรัม สามารถสกัดแคปไซซินได้ 6.7874 mg/ml เพราะฉะนั้นพริก 1 กรัม สกัดแคปไซซินได้ 0.1688 mg/ml และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานโดยการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายอะซิโตน (Arthur,2016) โดยการใช้ชอกเลตในการกระบวนการสกัด พบว่าในตัวอย่าง 100 กรัม สามารถสกัดแคปไซซินได้ สูงถึง 50 mg เมื่อเทียบกับตัวอย่างจากการทดลองโดยใช้การสกัดด้วยอะซิโตนเทียบเป็น 100 % ในการสกัดพบว่าเครื่องเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตมีประสิทธิภาพการสกัดแคปไซซินได้ 33.75 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน จากเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตการสกัดสารแบบแซ่คาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มการสกัดได้สูงขึ้นได้ ถ้าเพิ่มตัวทำละลายในการช่วยนำสารสำคัญที่อยู่ในพืชอีกทั้งเพื่อช่วยแก้ปัญหาสารสำคัญเกิดการคั่งในระบบ

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้เอทานอลร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต พบว่าปัญหาสารที่สกัดคั่งในระบบลดลงและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จึงได้นำเอทานอลมาเป็นตัวทำละลายร่วมเพื่อให้ระบบการสกัดมีประสิทธิภาพทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพของสารที่สกัดได้ ดังภาพที่ 4-30 ซึ่งแนวทางการสกัดและศึกษาในการทดลองที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4-2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด

เพราะฉะนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการปรับปรุงเครื่องต้นแบบรุ่น 2 โดยติดตั้ง heater และมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และปรับปรุงสร้างถังสกัดขนาด 10,000 มิลลิลิตรใหม่ทดแทน ถังสกัด 200 มิลลิลิตร และ 5000 มิลลิลิตร ที่ยังมีปัญหาการรั่วซึม โดยทำการออกแบบระบบฝาเกี่ยวเป็นเกลียวคางหมูและเป็นเกี่ยวสองปากเพื่อให้เมื่อทำการหมุนเพียงเล็กน้อยจะได้ระยะพิตมาก ดังภาพที่ 4-30 และ 4-31



ภาพที่ 4-29 ค่าดูดกลืนแสงที่ 280 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (T80 UV/VIS spectrophotometer) ของสารมาตรฐานแคปไซซินมาตรฐาน

อ้างอิงจาก : ตติยา โชคบุญเปี่ยม.2550. การศึกษาการทำให้สารแคปไซซินบริสุทธิ์. ปัญหาพิเศษ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.



ภาพที่ 4-30 ทดสอบการใช้ CO_2 ร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลในการสกัดสาระสำคัญจากพริก

ตารางที่ 4-2 แนวทางการวิเคราะห์สารสำคัญในพืชที่ทำการศึกษา พริก มะเขือเทศ และเมล็ดองุ่น

ชนิดพืช	ชื่อพันธุ์	แหล่งวัตถุดิบ	ส่วนที่นำมาสกัด	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง	Block control	ตัวแปรที่ทำการศึกษา	สารเคมีที่ใช้สกัด	สารเคมีHPLC	สารมาตรฐาน	สารที่ต้องการ
มะเขือเทศ	-	จ. สกลนคร จ. ขอนแก่น	กากมะเขือเทศที่เหลือจากการทำซอสมะเขือเทศ	-อบตัวอย่างที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง -บดตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 0.5 mm	การสกัดด้วยวิธี soxhlet โดยใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether) เป็นตัวสกัด	-ความดัน (Pa) -เวลา(นาท)	-Ethanol 95% -Hexane AR - Butylated Hydroxy Toluene (BHT)	-Chorofrom AR <u>-Acetonitrile</u> - Dichloromethane -Methanol (HPLC grade)	-ไลโคปีนบริสุทธิ์ -เบต้าแคโรทีนบริสุทธิ์	-ไลโคปีน -เบต้าแคโรทีน
พริก	Super hot ของศรีแดง	จ. ศรีสะเกษ	-เมล็ด+แกนกลาง -เปลือกพริก -พริกทั้งผล	-อบตัวอย่างที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 55 ชั่วโมง -บดตัวอย่างผ่านตะแกรง 0.2 mm	การสกัดด้วยวิธี soxhlet โดยใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether) เป็นตัวสกัด	-ความดัน (Pa) -เวลา(นาท)	- Ethanol 95% -Hexane AR	- Methanol HPLC - Deionized water	แคปไซซินบริสุทธิ์	-แคปไซซิน -ไดโรไฮโดรแคปไซซิน -นอร์ไดโรไฮโดรแคปไซซิน -เตคาโนอิคแอซิด วา นิลิลเอมายด์
องุ่น	-	จ. ขอนแก่น	เมล็ดองุ่นที่เหลือจากการผลิตไวน์	อบตัวอย่าง 45 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง	การสกัดด้วยวิธี soxhlet โดยใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether) เป็นตัวสกัด	-ความดัน (Pa) -เวลา(นาท)	- Ethanol 95% -Hexane AR	-acetonitrile -acetic acid -phosphoric acid (HPLC grade)	cyanidin -3-O-glucoside	-แอนโทไซยานิน

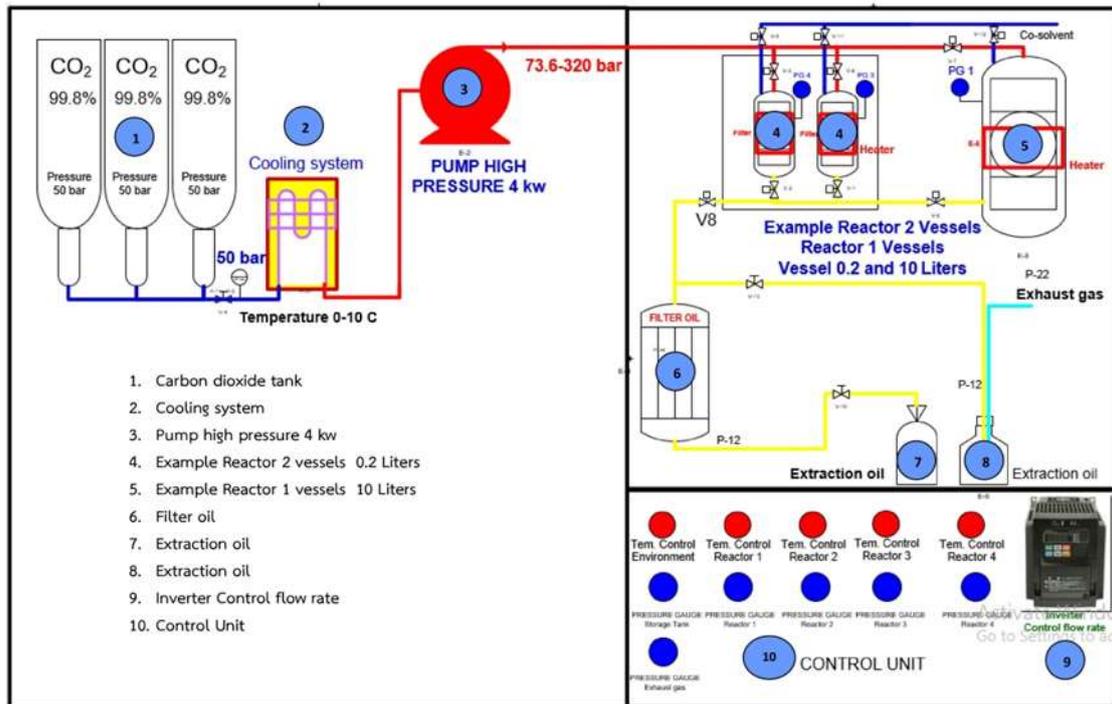


ภาพที่ 4-31 ลักษณะเกลียวล๊อกของถังสกัดขนาด 5000 มิลลิลิตร ที่เป็นเกลียวสามเหลี่ยมชนิดปาเดียว



ภาพที่ 4-32 ลักษณะเกลียวล๊อกของถังสกัดขนาด 10,000 มิลลิลิตร ที่เป็นเกลียวคางหมูชนิดสองปาก

ซึ่งจากปรับปรุงแผนการสกัดและมีการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อปรับให้มีความสามารถในการสกัดเพิ่มมากขึ้น โดยการปรับปรุงระบบ Cooling system ให้มีอุณหภูมิต่ำโดยใส่ฉนวนหุ้มท่อเพื่อทำให้สถานะของคาร์บอนไดร้ออกไซด์ก่อนเข้าสู่ระบบเปลี่ยนจากสถานะแก๊สเป็นของเหลว และมีการเพิ่มระบบควบคุมอุณหภูมิในการสกัด ด้วย heater รอบถังสกัดเพื่อควบคุมอุณหภูมิการสกัดให้อยู่ในช่วง 35-45 องศาเซลเซียส ภายใต้การสกัดเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ดังภาพที่ 2-5 และผังการออกแบบและปรับปรุงแสดงดังภาพที่ 4-32 ระบบแห่งนี้จะมีประสิทธิภาพในการสกัดสารโดยไม่จำเป็นต้องเดินเครื่องตลอดระยะเวลาสกัด ซึ่งหมายถึงลดการสึกหรอ ความดันในระบบจะคงที่ ประหยัดพลังงาน และอายุการใช้งานเครื่องและระบบจะยาวนานมากกว่าระบบการสกัดแบบไหลผ่าน



ภาพที่ 4-33 Super Critical Carbon Dioxide Extraction Diagram ที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่ ส่วนประกอบของระบบสกัดสารสำคัญจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต

1. ถังบรรจุคาร์บอนไดออกไซด์
2. ระบบทำความเย็น
3. ปั๊มคาร์บอนไดออกไซด์
4. ถังสกัดขนาด 0.2 L จำนวน 2 ถัง
5. ชุดแยกน้ำมันและกากระบบกรองแบบฟิลเตอร์ และเมมเบรน
6. ตู้ควบคุมระบบไฟและชุดปรับรอบความถี่ของปั๊มและความร้อนของระบบ
7. ขวดเก็บสารสกัด
8. วาล์วควบคุมการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ระบบสกัด
9. จอแสดงระดับความดัน
10. จอแสดงอุณหภูมิ

การทดสอบระบบการสกัดใช้อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลเข้าสู่ระบบอยู่ที่ 12.8 L/hr ควบคุมด้วย Inverter ปรับความรอบมอเตอร์ที่ความถี่ที่ 3.2 Hz ที่ความดันทางเข้ามากกว่า 50 บาร์ (ณ. อุณหภูมิภายนอก 25-40 องศาเซียเซียส) ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์จะผ่านระบบ Cooling system เพื่อลดอุณหภูมิที่จะส่งผลให้คาร์บอนไดออกไซด์มีสถานะเป็นของเหลวและพัฒนาไปเป็นสถานะความดันเหนือวิกฤต ด้วยการผ่านปั๊มอัดคาร์บอนไดออกไซด์ (รุ่น 3RC SERIES CO2 ASPIRATOR-PUMP) โดยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าสู่ระบบมีสถานะเป็นของเหลว และความดันจะเพิ่มขึ้นตามเวลาในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งจะต้องมีการควบคุมอย่างระมัดระวัง โดยเครื่องสกัดน้ำมัน Supercritical carbon dioxide จะเริ่มภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical state) คือที่อุณหภูมิสูงกว่า 31.1 °C และความดันสูงกว่า 7.38 MPa ซึ่งในปัจจุบันเครื่องสกัดที่ออกแบบขึ้นมีความสามารถ

ในการสกัดสูงสุดอยู่ที่ การใช้ความดัน 32 MPa (320 บาร์) และอุณหภูมิของระบบสามารถควบคุมได้ตามต้องการเพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของสารที่ต้องการสกัด

ในส่วนของระบบความปลอดภัยวัสดุที่ใช้ในระบบเช่น ท่อ วาล์ว และ อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบมีมาตรฐาน และทนแรงดันได้สูงกว่า 50 MPa จึงมีความปลอดภัยสูงเมื่อใช้ในระบบการสกัดที่ความสามารถของเครื่องสกัดที่กำหนดการใช้ความดันสูงสุดของเครื่องสกัดอยู่ที่ 32 MPa และในส่วนของพื้นที่ความดันยังมีระบบกันคอกเพื่อป้องกันการรั่วของความดันและเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน แสดงดังภาพที่ 4-34



ภาพที่ 4-34 มีการกำหนดพื้นที่ความดันสูงเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

การทดสอบระบบการสกัดเบื้องต้นพบว่าอุณหภูมิของเครื่องที่ใช้ในการสกัดอยู่ในช่วง 35-45 องศาเซลเซียส ระบบสกัด ถึงสกัด 1 และ ถึงสกัด 2 ความดันเริ่มต้นของก๊าซคาร์บอนไดรอกไซด์เข้าสู่ระบบเริ่มต้นอยู่ที่ 5-20 MPa อุณหภูมิของระบบทำความเย็น อยู่ในช่วง -5 ถึง 26 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของปั๊มคาร์บอนไดรอกไซด์อยู่ที่ 5.13 Hz แสดงดังภาพที่ 4-35 ซึ่งการทดสอบการสกัดและการวิเคราะห์เชิงคุณจะกล่าวในการทดลองที่ 2



ภาพที่ 4-35 การทดสอบระบบการสกัดด้วยเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืช ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตเบื้องต้น

4.2 ผลทดสอบและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิค

คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตกับพืชโดยใช้เทคนิค Press swing extractions

4.2.1 ผลทดสอบข้อมูลการทำงานของเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต

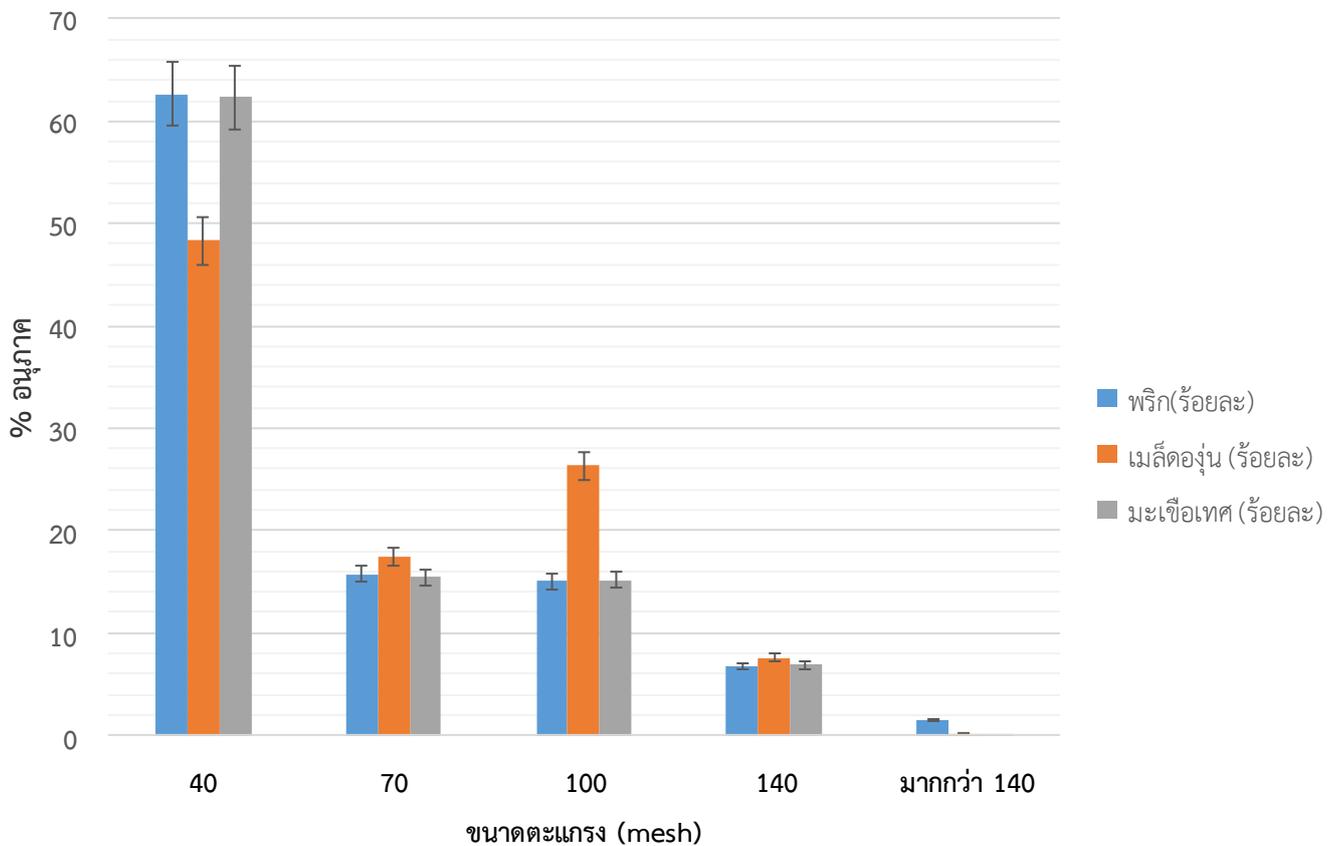
การทดลองการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ร่วมกับเอทานอลในการสกัดพริกพันธุ์ยอดสนเข้ม 80 ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในการสกัดความดัน และอุณหภูมิของระบบการทำความเย็น แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ข้อมูลการทำงานของเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตจากสภาวะการสกัดที่แตกต่างกัน

Pressure : EtOH : time	อุณหภูมิระบบสกัด (° C)		
	ถึงสกัด 1	ถึงสกัด 2	Cooling system
10:25:30	36.7 ± 0.29	40.7 ± 0.42	5.9
10:10:60	38.9 ± 2.19	37.6 ± 0.98	4.3
10:40:60	38.2 ± 5.03	36.7 ± 0.43	6.4
10:25:90	36.8 ± 4.02	35.2 ± 0.50	5.6
15:10: 30	41.8 ± 3.25	37.2 ± 0.22	5.8
15:40:30	37.2 ± 0.77	39.9 ± 1.84	5.4
15:25:60	38.7 ± 0.97	36.6 ± 1.23	5.4
15:10:90	35.7 ± 1.22	34.7 ± 0.69	5.4
15:40:90	36.7 ± 0.64	34.8 ± 0.64	5.4
20:25:30	37.8 ± 0.43	38.1 ± 1.45	5.4
20:10:60	39.8 ± 2.68	37.8 ± 1.41	5.4
20:40:60	37.5 ± 0.79	38.8 ± 2.09	5.4
20:25:90	36.6 ± 1.35	35.1 ± 0.40	5.4

สำหรับอุณหภูมิของการสกัดในระบบของถึงสกัดที่ 1 อยู่ในช่วง 36.6 -41.8 องศาเซลเซียส ในถึงสกัดที่ 2 อยู่ในช่วง 34.7 40.7 องศาเซลเซียส จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการสกัดอยู่ในช่วงคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ซึ่งสูงกว่า 7.3 MPa อุณหภูมิสูงกว่า 31 องศาเซลเซียส ในทุกสภาวะการสกัด และอุณหภูมิของระบบทำความเย็น ของคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเข้าสู่ระบบมีอุณหภูมิอยู่ที่ 4.3 – 5.9 องศาเซลเซียส

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค พริก มะเขือเทศ เมล็ดองุ่น



สกัดส่วนใหญ่จะมีขนาดอนุภาคที่ไม่ผ่านตะแกรงในช่วง 40-100 mesh (0.15 - 0.40 mm) พริกแห้งผง ร้อยละ 93.39 มะเขือเทศแห้งผงร้อยละ 92.08 เมล็ดองุ่นแห้งผงร้อยละ 93.01 ซึ่งรายละเอียดแสดงดัง ภาพที่ 4-36 โดยขนาดของอนุภาคเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการสกัด Richard (1982) ได้ศึกษา ผลของขนาดอนุภาคของผงถั่วเหลืองต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดพบว่าขนาดอนุภาคถั่วเหลืองที่มีขนาดเล็กลงทำ ให้น้ำมันที่สกัดได้เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการลดขนาดอนุภาคเป็นการลดระยะทางในการแพร่ของตัวทำละลาย ทำให้ความสามารถในการสกัดสูงขึ้น Santos *et al.* (2015) ศึกษาอนุภาคของผงพริกในการสกัดสารแคปไซซินด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตพบว่าผงพริกที่มีขนาด 0.177- 0.342 mm มีผลเพิ่ม ปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้ในพริก

4.2.3 ผลการศึกษาเทคนิคการสกัดสารจากพืช 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ องุ่น) ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล)

ตารางที่ 4-4 แสดงผลปริมาณน้ำมันพริก (%) และปริมาณสารแคปไซซิน (mg/100 g dw) ด้วยเทคนิคการสกัดคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล)

Pressure : EtOH : time	% น้ำมันพริก	Capsaicin (mg/100 g dw)
10:25:30	5.16 ± 0.25 ^h	11.899 ± 0.38 ^{cd}
10:10:60	5.58 ± 0.26 ^{gh}	9.086 ± 0.64 ^f
10:40:60	18.26 ± 0.18 ^b	13.504 ± 1.04 ^b
10:25:90	13.87 ± 0.73 ^d	13.228 ± 0.53 ^{bc}
15:10: 30	6.00 ± 0.13 ^{gh}	10.228 ± 1.02 ^{ef}
15:40:30	9.41 ± 0.17 ^e	17.939 ± 0.93 ^a
15:25:60	8.33 ± 0.35 ^{ef}	19.599 ± 0.87 ^a
15:10:90	7.82 ± 0.22 ^f	11.173 ± 0.63 ^{de}
15:40:90	20.32 ± 0.46 ^a	13.736 ± 0.56 ^{bc}
20:25:30	9.16 ± 0.31 ^e	17.809 ± 0.80 ^a
20:10:60	6.57 ± 0.08 ^g	12.265 ± 0.48 ^{cd}
20:40:60	18.52 ± 0.44 ^b	18.422 ± 0.50 ^a
20:25:90	16.73 ± 0.39 ^c	17.092 ± 1.16 ^a

*สภาวะการสกัด Pressure: EtOH : time (MPa : ml: min)

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ปริมาณน้ำมันพริก (% Oleoresin) ที่สกัดได้ของพริกยอดสนเข็ม 80 จากการสกัดทั้ง 15 สภาวะ (สภาวะกึ่งกลางทำซ้ำ 3 จุด รายงานผล 13 สภาวะ) พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 5.16 - 20.3 ซึ่งสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดคือที่ความดัน 15 MPa ปริมาณเอทานอล 40 ml ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 90 นาที ดัง ตารางที่ 4-4 และจากผลการทดลองพบว่าปริมาณเอทานอลในการสกัดร่วมจะส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงเกือบทุกสภาวะที่ความดันเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบการสกัดปริมาณน้ำมันของพริกพันธุ์เดียวกันด้วยวิธีเทคนิคอัลตราโซนิกร่วมกับเมธานอลและน้ำสามารถสกัดปริมาณน้ำมันได้ร้อยละ 28.03 (Srichaen et al., 2017) ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าเทคนิคการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลจากทุกเงื่อนไขการทดลอง

ปริมาณการสกัดสารแคปไซซินของพริกแห้งผง จากพริกยอดสนเข็ม 80 โดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอล โดยที่ปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้จากการทดลอง 15 สภาวะ (สภาวะกึ่งกลางทำซ้ำ 3 จุด รายงานผล 13 สภาวะ) จากการวิเคราะห์สถิติพบว่าปัจจัยหลัก (Main Effects) ที่มีผลต่อปริมาณแคปไซซิน ได้แก่เมื่อเพิ่มความดันและปริมาณเอทานอลจะสามารถสกัดปริมาณแคปไซซินได้สูงขึ้น ในส่วนของอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อปริมาณแคปไซซิน (Interaction Effects) เมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลสามารถลดระยะเวลาในการสกัดให้สั้นลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยวิธี Duncan, s Multiple Range Test (DMRT) ของปริมาณแคปไซซินในพริก ระหว่างปัจจัย ความดัน เอทานอล และ เวลา พบว่า เมื่อสภาวะเหมาะสมในการสกัดที่ใช้ความดันที่ 10 MPa มีความแตกต่างทางสถิติกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับความดัน 15 MPa และ 20 MPa โดยที่ความดัน 15 MPa กับ 20 MPa มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารแคปไซซิน คือ การใช้เอทานอล 25 ml ความดัน 15 MPa และใช้ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที โดยผลการสกัดสารแคปไซซินทั้งหมดอยู่ในช่วง 9.0863 - 19.5999 mg/100 g dw แสดง ตารางที่ 4-4 และเมื่อเปรียบเทียบเทคนิคชอกเทคเป็นสภาวะควบคุม (control) ที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลสามารถสกัดสารแคปไซซินได้ 25.702 mg/100 g dw ใช้เวลา 3 ชั่วโมงเพราะฉะนั้นการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลมีความสามารถในการสกัดที่ให้แคปไซซินสูงสุดร้อยละ 76.26 อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบการสกัดพริกยอดสนเข็ม 80 จากการทดลองของ Sricharoen et al. (2017) พบว่ามีปริมาณแคปไซซินที่ 18.26 mg/100 g dw ซึ่งความสามารถในการสกัดมีค่าใกล้เคียงกับการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลที่ความดัน 15 MPa, เอทานอล 25 ml ซึ่งเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลใช้เวลาเพียง 60 นาที โดยลักษณะของน้ำมันพริกที่สกัดได้ แสดงดังภาพที่ 4-37



ภาพที่ 4-37 แสดงลักษณะของน้ำมันพริกในตัวทำละลายเอทานอลที่สกัดได้จากเครื่องสกัด

ตารางที่ 4-5 การเปรียบเทียบปริมาณสารแคปไซซินจากเทคนิคการสกัดที่แตกต่างกัน

เทคนิคการสกัด	แคปไซซิน (mg/100 g dw)
ซอกเทค (Control)	25.702 ± 0.666 ^a
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติ	4.010 ± 0.409 ^d
คาร์บอนไดออกไซด์ก่อนวิกฤติพร้อมกับเอทานอล	12.810 ± 0.633 ^c
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติพร้อมกับเอทานอล*	19.599 ± 0.870 ^b
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติพร้อมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions	24.570 ± 0.819 ^a

*.ใช้สภาวะการสกัด ที่ ความดัน 15 MPa เอทานอล 25 ml เวลา 60 นาที

** ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

ตารางที่ 4-6 แสดงผลปริมาณน้ำมันมะเขือเทศสารไลโคปีน (mg/100 g dw) ด้วยเทคนิคการสกัด คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติพร้อมกับตัวทำละลาย (เอทานอล)

Pressure : EtOH : time	% น้ำมันมะเขือเทศ	ไลโคปีน (mg/100 g dw)
10:25:30	4.28 ± 0.15 ^f	1.588 ± 0.027 ^{fg}
10:10:60	3.04 ± 0.23 ^h	1.097 ± 0.021 ^g
10:40:60	4.56 ± 0.12 ^{ef}	1.481 ± 0.043 ^{fg}
10:25:90	4.77 ± 0.43 ^{ef}	1.390 ± 0.049 ^{fg}
15:10:30	3.68 ± 0.43 ^g	1.220 ± 0.047 ^g
15:40:30	9.41 ± 0.25 ^b	3.982 ± 0.024 ^e
15:25:60	5.03 ± 0.85 ^d	2.666 ± 0.073 ^f
15:10:90	4.42 ± 0.52 ^{ef}	1.689 ± 0.051 ^{fg}
15:40:90	13.52 ± 0.76 ^a	12.330 ± 0.155 ^b
20:25:30	9.16 ± 0.31 ^b	9.182 ± 0.175 ^d
20:10:60	6.57 ± 0.68 ^c	8.023 ± 0.228 ^d
20:40:60	14.02 ± 0.54 ^a	14.467 ± 0.133 ^a
20:25:90	10.13 ± 0.59 ^b	10.980 ± 0.163 ^c

*สภาวะการสกัด Pressure: EtOH : time (MPa : ml: min)

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

ปริมาณน้ำมันมะเขือเทศ ที่สกัดได้ของมะเขือเทศพันธุ์อูเปโอ จากการสกัดทั้ง 15 สภาวะ (สภาวะกึ่งกลางทำซ้ำ 3 จุด รายงานผล 13 สภาวะ) พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 3.04-14.02 ซึ่งสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดคือที่ความดัน 20 MPa ปริมาณเอทานอล 40 ml ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาที ดัง ตารางที่ 4.4 และจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณเอทานอล และความดันที่เพิ่มขึ้นในการสกัดจะส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงเกือบทุกสภาวะที่ความดันเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบการสกัดปริมาณน้ำมันมะเขือเทศที่สกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตแบบไหลผ่านโดยใช้ความดันที่ 50 MPa. ใช้เวลาสกัดนาน 105 นาที และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสร้อยละ 32.02 (Kehili et al., 2017) ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าเทคนิคการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับเอทานอลจากเงื่อนไขการทดลอง

ปริมาณ การสกัด สารไลโคปีนในผงมะเขือเทศสายพันธุ์อูเปโอ โดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลายเอทานอล โดยที่ปริมาณสารไลโคปีนที่สกัดได้จากการทดลอง 15 สภาวะ (สภาวะกึ่งกลางทำซ้ำ 3 จุด รายงานผล 13 สภาวะ) จากการวิเคราะห์สถิติปัจจัยหลัก (Main Effects) ที่มีผลต่อปริมาณไลโคปีน เมื่อเพิ่มความ เอทานอล และ เวลา สารไลโคปีนที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ของปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยพบว่า การใช้ ความดันที่ 20 MPa เอทานอลที่ 40 ml และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาที จะมีความสามารถในการสกัดสารไลโคปีนออกมาในปริมาณสูงมีค่า 14.467 mg/100 g dw และการใช้ความดันที่ 20 MPa ขึ้นไป สารกลุ่มไลโคปีนที่สกัดได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในทุกสภาวะการสกัด เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการแชร์ร่วมกับเอานไซม์เป็นสภาวะควบคุม (control) ที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลสามารถสกัดสารไลโคปีนได้ 67.610 mg/100 g dw และเมื่อเปรียบเทียบการสกัดมะเขือเทศด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลมีความสามารถในการสกัดร้อยละ 21.39 และเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions มีความสามารถในการสกัดร้อยละ 25.31 จากการทดลองของ Kehili et al. (2017) พบว่ามีปริมาณไลโคปีนอยู่ที่ 28.38 mg/100 g dw ซึ่งความสามารถในการสกัดมีสูงกว่าการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลายที่ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml, เวลา 60 นาที เนื่องจากความดันที่ใช้ในสูงถึง 40 MPa และใช้เทคนิคแบบตัวทำละลายเอทานอลไหลผ่าน

ตารางที่ 4-7 เปรียบเทียบปริมาณสารแคปไซซินจากเทคนิคการสกัดที่แตกต่างกัน

เทคนิคการสกัด	ไลโคปีน** (mg/100 g dw)
การแชร์ร่วมกับเอานไซม์ (Control) (อ้างอิงจากกานดาวดี และจิรภา, 2556)	67.610 ± 0.782 ^a
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับเอทานอล*	14.467 ± 0.890 ^c
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions	17.114 ± 0.819 ^b

*.ใช้สภาวะการสกัด ที่ ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลา 60 นาที

** ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณการสกัดสารไลโคปีนของผงมะเขือเทศสายพันธุ์อีเปอ โดยเปรียบเทียบเทคนิคการสกัดที่ต่างกันพบว่า การสกัดทั้ง 3 เทคนิค มีปริมาณสารไลโคปีนแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยเทคนิคที่ให้ปริมาณแคปไซซินสูงสุดคือ เทคนิคการแช่ (67.61 mg/100 g dw) เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions (17.114 mg/100 g dw) คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล (14.467 mg/100 g dw) แสดงดัง ตารางที่ 4-7 เมื่อเปรียบเทียบ ความสามารถในการสกัดของเทคนิคการสกัดสารไลโคปีน โดยให้เทคนิคการแช่ร่วมกับเอนไซม์ (Control) มีความสามารถในการสกัดร้อยละ 100 พบว่าเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions มีความสามารถในการสกัดร้อยละ 25.32 ปริมาณเทคนิคการสกัดที่ให้ปริมาณไลโคปีนสูงสุด จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการนำเทคนิค Pressure swing extractions เข้ามาเพิ่มความสามารถในการสกัดทำให้สามารถสกัดสารไลโคปีนได้เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 3.93 เมื่อใช้เพียงเอทานอลเป็นตัวทำละลายร่วมเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 4-38 แสดงลักษณะของน้ำมันมะเขือเทศในตัวทำละลายเอทานอลที่สกัดได้จากเครื่องสกัด

ตารางที่ 4-8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินส์จากผงเมล็ดองุ่น

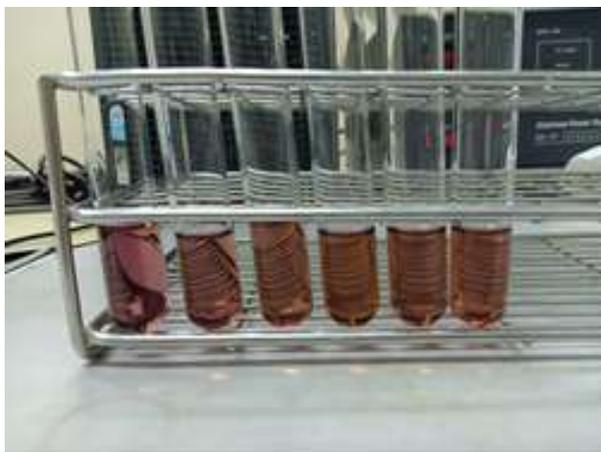
เทคนิคการสกัด	% น้ำมันเมล็ดองุ่น	โพรแอนโทไซยานินส์** (mg/100 g dw)
การแช่ (Control) (อ้างอิงจาก Liazid et al. 2011)	6.61 ± 0.13^c	3.590 ± 0.300^c
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล*	9.32 ± 0.86^b	6.202 ± 0.416^b
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดย ใช้เทคนิค Pressure swing extractions	13.45 ± 0.48^a	15.661 ± 1.037^a

*.ใช้สภาวะการสกัด ที่ ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลา 90 นาที

** ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณน้ำมันเมล็ดตองุ่น ที่สกัดได้ของเมล็ดตองุ่นพันธุ์ชิลีจากสภาวะการสกัดที่ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลา 90 นาที ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดอยู่ที่ร้อยละ 9.32 และการนำเทคนิค Pressure swing extractions เข้ามาร่วมในการสกัดจะสามารถให้ปริมาณน้ำมันอยู่ที่ร้อยละ 13.45 ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 4.13 และเทคนิคการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล ยังให้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าเทคนิคการสกัดแบบวิธีการแช่อีกด้วย

ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินดิส ของผงเมล็ดตองุ่น เปรียบเทียบเทคนิคการสกัดที่แตกต่างกัน 3 เทคนิค พบว่าปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินดิสแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions ให้ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินสูงที่สุด (15.661 mg/100 g dw) เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล (6.202 mg/100 g dw) และเทคนิคการแช่ (3.590 mg/100 g dw) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสกัดสารโพรแอนโทไซยานินดิส โดยใช้วิธีการแช่ (Control) มีความสามารถในการสกัดร้อยละ 100 พบว่าเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions ให้ความสามารถในการสกัดสูงกว่า Control ถึง 3.36 เท่า จากการทดลองของ Porto at al.(2014) ศึกษาปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินดิสจากเมล็ดตองุ่นโดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายผสมเอทานอลและน้ำที่ความดัน 30 MPa.แบบไหลผ่านนาน 180 นาที ให้ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินดิส 14 mg/100 g dw ใกล้เคียงกับการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions



ภาพที่ 4-39 แสดงลักษณะของน้ำมันเมล็ดตองุ่นในตัวทำละลายเอทานอลที่สกัดได้จากเครื่องสกัด

4.3 ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้ Supercritical carbon dioxide ในการสกัดน้ำมัน

กรณีใช้สารสกัดแคปไซซินเพื่อผลิตในอุตสาหกรรมยาสูตรการหาปริมาณการผลิตและขายที่จะคุ้มทุนที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{สูตร } Q_x = \text{TFC} / (\text{P} - \text{VC})$$

โดยที่ Q_x = ปริมาณขาย ณ ระดับคุ้มทุน

TFC = ต้นทุนคงที่รวม

P = ราคาขายต่อหน่วย

VC = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย = TVC/Q

TFC = ต้นทุนคงที่รวม ราคาเครื่องจักรในการสกัดสารสำคัญจากพริก 2,000,000 บาทต่อเครื่องอายุการใช้งาน 10 ปี

โดยที่ 1 ปี ทำงาน 241 วัน เพราะฉะนั้น 830 บาทต่อวัน

VC = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

1. การสกัดสารในถังสกัดขนาด 10 ลิตร ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลว 20 กิโลกรัม ราคา 1500 บาท 1 วันสกัดสาร 5 รอบ เพราะฉะนั้น 7,500 บาทต่อวัน

2. ราคาพริกสดยอดสนเข้ม 80 ราคา 150 บาทต่อกิโลกรัม, 1 กิโลกรัมสดเท่ากับ 300 กรัมแห้ง เพราะฉะนั้นการสกัดถึง 10 ลิตร ใช้พริก 500 กรัมแห้ง ราคา 250 บาท 1 วันสกัดสาร 5 รอบ เพราะฉะนั้น 1,250 บาทต่อวัน

3. เอทานอล 1.25 ลิตร ราคา 4,000 บาท ต้นทุนเอทานอล 800 บาท 1 วันสกัดสาร 5 รอบ เพราะฉะนั้น 4,000 บาทต่อวัน

รวมต้นทุนแปรผันต่อ 12750 บาทต่อวัน

หมายเหตุ: ราคาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลวถึงขนาด 6 ลูกบาศก์เมตร (20 กิโลกรัม)

เอทานอลสามารถนำมาหมุนแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ 80%

สารที่สกัดได้จากพริกยอดสนเข้ม 80 0.5 กิโลกรัม ได้สารสกัดแคปไซซิน 1133.6 มิลลิกรัม น้ำมันพริก 41.95 กรัม

ถ้า 1 วันสามารถสกัดสารได้ 5 รอบๆ ละ 90 นาที เพราะฉะนั้น 1 วันสกัดสารได้ 5,668 มิลลิกรัม หรือ 209.75 กรัม

ถ้าใช้สารสกัดแคปไซซิน 25 มิลลิกรัม ในยา 100 กรัมตัวอย่างเพราะฉะนั้นสามารถผลิตยาได้ $226.72(100/35) = 647.78$ หลอด (หลอดละ 35 กรัม)

ยาที่ใช้สารสกัดแคปไซซิน หลอดละ 35 กรัม ราคา 175 บาท

ต้นทุนการผลิตรวมต่อวัน = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนแปรผัน

$$= 830 + 12,750 = 13,580 \text{ บาทต่อวัน}$$

เพราะฉะนั้นต้นทุนต่อหลอด $13,580 / 647.78 = 20.96$ บาทต่อหลอด

หรือ คิดปริมาณสารที่สกัดได้ $13,580 / 5,668 = 2.396$ บาทต่อมิลลิกรัม

ถ้าพิจารณาต้นทุนสารสกัดแคปไซซินในการผลิตยา 20 % มูลค่า 35 บาทต่อหลอด

$$\text{จากสูตร } Q_x = \text{TFC} / (\text{P} - \text{VC}) = 2,000,000 / (35 - 20.96) = 142,450 \text{ หลอด}$$

ระยะเวลาคืนทุน $142,450 / 647.78 = 219.905$ วัน หรือระยะเวลา 1 ปีคืนทุน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุป

การพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตที่ทำการออกแบบและพัฒนาขึ้นจะเป็นเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต หรือการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลายตัวอื่น โดยการสกัดจะเป็นลักษณะการแช่และให้ตัวทำละลายซึมผ่านวัสดุดิบ และทำให้ตัวทำละลายสารสำคัญออกมาในรูปของน้ำมันที่ความดันสูงเหนือวิกฤตของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจากงานวิจัยนักวิจัยได้ทำการออกแบบถึงสกัดขนาดเล็กก่อนเพื่อต้องการหาสัดส่วนของเวลาและความดันในการสกัดสารสำคัญในแต่ละพืช โดยการออกแบบถึงสกัดขนาด 200 มิลลิลิตร จำนวน 2 ถึง และขนาด 5,000 มิลลิลิตรจำนวน 2 ถึง และขนาด 10,000 มิลลิลิตรจำนวน 1 ถึง ขึ้นอยู่การใช้งานสกัด ได้ออกแบบสามารถรับแรงดันได้มากกว่า 600 บาร์ (ซึ่งความดันใช้งานไม่เกิน 320 บาร์) และมี heater ขนาด 150 วัตต์ ให้ความร้อนและควบคุมด้วย Temperature control ระบบ PID โดยวัสดุที่นำมาใช้ควรมีการบดย่อยให้มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 30 เมท ซึ่งมีผลต่อการสกัด ส่วนการทดลองการสร้างเครื่องสกัดพบว่าเครื่องมีความสามารถในการสกัดน้ำมันธรรมชาติจากพืช แต่ยังมีประสิทธิภาพการสกัดต่ำและไม่สมบูรณ์ เนื่องจากรอยรั่ว และต้องมีการปรับปรุงระบบท่อของระบบสกัดอย่างเข้มงวด เพื่อป้องกันไม่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รั่วออกสู่บรรยากาศภายนอกและจากผลการวิเคราะห์น้ำมันที่ได้จากเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต พบว่าน้ำมันจากใ้พริกและเมล็ดพริกจำนวน 40.21 กรัม ที่ความดัน 50-200 บาร์ อุณหภูมิ 33.2-37.5 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งสามารถสกัดน้ำมันจากตัวอย่างได้ประมาณ 3 ml จากปริมาณพริก และเมื่อนำไปตรวจสอบหาปริมาณแคปไซซินพื้นฐานด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า พริก 40.21 กรัม สามารถสกัดแคปไซซินได้ 6.7874 mg/ml เพราะฉะนั้นพริก 1 กรัม สกัดแคปไซซินได้ 0.1688 mg/ml และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานโดยการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายอะซิโตน (Arthur,2016) โดยการใช้ชอกเลตในการกระบวนการสกัด พบว่าในตัวอย่าง 100 กรัม สามารถสกัดแคปไซซินได้ สูงถึง 50 mg เมื่อเทียบกับตัวอย่างจากการทดลองโดยใช้การสกัดด้วยอะซิโตนเทียบเป็น 100 % ในการสกัดพบว่าเครื่องเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตมีประสิทธิภาพการสกัดแคปไซซินได้ 33.75 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน เพราะฉะนั้นจำเป็นต้องเพิ่มตัวทำละลายในการช่วยนำสารสำคัญที่อยู่ในพืชอีกทั้งเพื่อช่วยแก้ปัญหาสารสำคัญเกิดการคั่งในระบบ ปรับปรุงระบบ Cooling system ให้มีอุณหภูมิต่ำโดยใส่ฉนวนหุ้มท่อ ทำให้สถานะของคาร์บอนไดร็อกไซด์ก่อนเข้าสู่ระบบเปลี่ยนจากสถานะแก๊สเป็นของเหลว และมีการเพิ่มระบบควบคุมอุณหภูมิในการสกัด ด้วย heater รอบถึงสกัดเพื่อควบคุมอุณหภูมิการสกัดให้อยู่ในช่วง 35-45 องศาเซลเซียส ภายใต้การสกัดเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ระบบแช่จะมีประสิทธิภาพในการสกัดสารโดยไม่จำเป็นต้องเดินเครื่องตลอดเวลาสกัด ซึ่งหมายถึงลดการสึกหรอ ความดันในระบบจะคงที่ ประหยัดพลังงาน และอายุการใช้งานเครื่องและระบบจะยาวนานมากกว่าระบบการสกัดแบบไหลผ่าน

การทดสอบระบบการสกัดใช้อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลเข้าสู่ระบบอยู่ที่ 12.8 L/hr ที่ความดันทางเข้ามากกว่า 50-80 บาร์ (ณ. อุณหภูมิภายนอก 25-40 องศาเซลเซียส)

ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์มีสถานะเป็นของเหลวผ่านระบบทำความเย็นช่วง -5 ถึง 26 องศาเซลเซียส ผ่านปั๊มอัดคาร์บอนไดออกไซด์ ความดันจะเพิ่มขึ้นตามเวลาในระยะเวลาอันสั้น ความดันจะอยู่เหนือวิกฤต อุณหภูมิถึงสักตอยู่ในช่วง 35-45 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการสกัด 50-200 บาร์ ซึ่งจะต้องมีการควบคุมอย่างระมัดระวัง โดยเครื่องสกัดน้ำมัน Supercritical carbon dioxide จะเริ่มภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical state) คือที่อุณหภูมิสูงกว่า 31.1 °C และความดันสูงกว่า 7.38 MPa (73.8 บาร์) ซึ่งในปัจจุบันเครื่องสกัดที่ออกแบบขึ้นจะมีความสามารถในการสกัดสูงสุด ขึ้นอยู่กับการใช้ความดัน 32 MPa (320 บาร์) และอุณหภูมิของระบบสามารถควบคุมได้ตามต้องการ เพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของสารที่ต้องการสกัด ในส่วนของระบบความปลอดภัยวัสดุที่ใช้ในระบบเช่น ท่อ วาล์ว และ อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบมีมาตรฐานและทนแรงดันได้สูงกว่า 50 MPa

การสกัดสารสำคัญของผงพริกแห้ง ผงมะเขือเทศ และผงเมล็ดองุ่นส่วนใหญ่ผ่านตะแกรง ขนาด 30 และไม่ผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh ซึ่งผลของอนุภาคจะส่งผลต่อการสกัดดัง Santos et al. (2015) ศึกษาอนุภาคของผงพริกในการสกัดสารแคปไซซินด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตพบว่าผงพริกที่มีขนาด 0.177- 0.342 mm มีผลเพิ่มปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้ในพริก การสกัดพริกพันธุ์ยอดสนเข้ม 80 ได้ปริมาณน้ำมันพริก (% Oleoresin) พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ อยู่ในช่วงร้อยละ 5.16 - 20.3 ซึ่งสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดคือที่ความดัน 15 MPa ปริมาณเอทานอล 40 ml ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 90 นาที และปริมาณเอทานอลในการสกัดรวม จะส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงเกือบทุกสภาวะที่ความดันเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบการสกัด ปริมาณน้ำมันของพริกพันธุ์เดียวกันด้วยวิธีเทคนิคอัลตราโซนิคร่วมกับเมธานอลและน้ำสามารถสกัด ปริมาณน้ำมันได้ร้อยละ 28.03 (Sricharoen et al., 2017) ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าเทคนิค การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับเอทานอล แต่ปริมาณการสกัดสารแคปไซซินของ พริกแห้งผง จากพริกยอดสนเข้ม 80 โดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำ ละลายเอทานอล โดยที่ปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้จากการทดลอง 15 สภาวะ จากการวิเคราะห์ สถิติพบว่าปัจจัยหลัก (Main Effects) ที่มีผลต่อปริมาณแคปไซซิน ได้แก่เมื่อเพิ่มความดันและปริมาณ เอทานอลจะสามารถสกัดปริมาณแคปไซซินได้สูงขึ้น ในส่วนของอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อปริมาณแคป-ไซซิน (Interaction Effects) เมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลสามารถลดระยะเวลาในการสกัดให้สั้นลง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยวิธี Duncan, s Multiple Range Test (DMRT) ของปริมาณแคปไซซินในพริก ระหว่างปัจจัย ความดัน เอทานอล และ เวลา พบว่า เมื่อสภาวะเหมาะสมในการสกัดที่ใช้ความดันที่ 10 MPa มีความแตกต่างทางสถิติกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับความดัน 15 MPa และ 20 MPa โดยที่ความดัน 15 MPa กับ 20 MPa มีค่าไม่ แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารแคปไซซิน คือ การใช้เอทานอล 25 ml ความดัน 15 MPa และใช้ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที โดยผลการ สกัดสารแคปไซซินทั้งหมดอยู่ในช่วง 9.0863 - 19.5999 mg/100 g dw โดยเทคนิคชอกเทคเป็น สภาวะควบคุม (control) ที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลสามารถสกัดสารแคปไซซินได้ 25.702 mg/100 g dw ใช้เวลา 3 ชั่วโมงเพราะฉะนั้นการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำ ละลายเอทานอลมีประสิทธิภาพร้อยละ 76.26 แต่เมื่อเปรียบเทียบการสกัดพริกยอดสนเข้ม 80 จาก การทดลองของ Sricharoen et al. (2017) พบว่ามีปริมาณแคปไซซินที่ 18.26 mg/100 g dw ซึ่งความสามารถในการสกัดมีค่าใกล้เคียงกับการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลที่ความดัน 15 MPa, เอทานอล 25 ml ซึ่งเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์

เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลใช้เวลาเพียง 60 นาที แต่เมื่อพัฒนาเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions 24.570 mg/100 g dw มีค่าใกล้เคียงกับเทคนิคชอกเทค

การสกัดน้ำมันมะเขือเทศ ที่สกัดได้ของมะเขือเทศพันธุ์โอเปโอ พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 3.04-14.02 ซึ่งสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดคือที่ความดัน 20 MPa ปริมาณเอทานอล 40 ml ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาที ดัง ซึ่งปริมาณเอทานอลและความดันที่เพิ่มขึ้นในการสกัดจะส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงเกือบทุกสภาวะที่ความดันเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบการสกัดปริมาณน้ำมันมะเขือเทศที่สกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติแบบไหลผ่านโดยใช้ความดันที่ 50 MPa.ใช้เวลากักนาน 105 นาที และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสร้อยละ 32.02 (Kehili et al., 2017) ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าเทคนิคการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล จากการวิเคราะห์สถิติปัจจัยหลัก (Main Effects) ที่มีผลต่อปริมาณไลโคปีน เมื่อเพิ่มความ เอทานอล และ เวลา สารไลโคปีนที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น การใช้ ความดันที่ 20 MPa เอทานอลที่ 40 ml และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาที จะมีความสามารถในการสกัดสารไลโคปีนออกมาในปริมาณสูงมีค่า 14.467 mg/100 g dw และการใช้ความดันที่ 20 MPa ขึ้นไป สารกลุ่มไลโคปีนที่สกัดได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ในทุกสภาวะการสกัด เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการแช่ร่วมกับเอนไซม์เป็นสภาวะควบคุม (control) ที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลสามารถสกัดสารไลโคปีนได้ 67.610 mg/100 g dw การสกัดมะเขือเทศด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลมีความสามารถในการสกัดร้อยละ 21.39 และเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions มีความสามารถในการสกัดร้อยละ 25.31 แต่จากการทดลองของ Kehili et al. (2017) ใช้ความดันที่ใช้ในสูงถึง 40 MPa และใช้เทคนิคแบบตัวทำละลายเอทานอลไหลผ่าน พบว่ามีปริมาณไลโคปีนอยู่ที่ 28.38 mg/100 g dw เพราะฉะนั้นการสกัดสารไลโคปีนควรใช้ความดันสูง

การสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่น ที่สกัดได้ของเมล็ดองุ่นพันธุ์ซีลีจากสภาวะการสกัดที่ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลา 90 นาที ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดอยู่ที่ร้อยละ 9.32 และการนำเทคนิค Pressure swing extractions เข้ามาร่วมในการสกัดจะสามารถให้ปริมาณน้ำมันอยู่ที่ร้อยละ 13.45 ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 4.13 และเทคนิคการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล ยังให้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าเทคนิคการสกัดแบบวิธีการแช่อีกด้วย ส่วนปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินดีนส์ ของผงเมล็ดองุ่น เปรียบเทียบเทคนิคการสกัดที่แตกต่างกัน 3 เทคนิค พบว่าปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินดีนส์แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions ให้ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินดีนส์สูงสุด (15.661 mg/100 g dw) เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล (6.202 mg/100 g dw) และเทคนิคการแช่ (3.590 mg/100 g dw) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการทดลองของ Porto et al.(2014) ศึกษาปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินดีนส์จากเมล็ดองุ่นโดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายผสมเอทานอลและน้ำที่ความดัน 30 MPa.แบบไหลผ่านนาน 180 นาที ให้ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินดีนส์ 14 mg/100 g dw ใกล้เคียงกับการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions

ข้อเสนอแนะ

1. การให้ความร้อนได้รับส่งผลจากการสะสมความร้อนของถังสกัดที่มีความหนา ทำให้การควบคุมอุณหภูมิจำเป็นต้องตั้งค่าให้ต่ำกว่าค่าจริง จำเป็นต้องชดเชยสัญญาณ เพื่อให้เซ็นเซอร์สามารถสัญญาณค่าถูกต้อง
2. ส่วนในการออกแบบระบบผสมซึ่งจะนำระบบหัวอัลตราโซนิกมาช่วยในการทำการผสม เนื่องจากทางบริษัทที่นำเข้าเทคโนโลยีผลิตหัวอัลตราโซนิกไม่สามารถทำหัว Horn ที่สามารถปรับคลื่นความถี่ได้ จำเป็นต้องนำเข้าเทคโนโลยีหรือทำการวิจัยต่อ
3. การสกัดสารไลโคปีนควรใช้ความดันสูงกว่า 200 บาร์

เอกสารอ้างอิง

- กัญญรัตน์ กัญญาคำ และ จันทนี อูริยะพงศ์สรรค, 2553. การสกัดไลโคปีนจากกากมะเขือเทศโดยใช้ เอนไซม์และสารละลายอินทรีย์ต่างชนิด. ว.วิทย์ กษ. 41(3/1)(พิเศษ): 289-292
- กันยนา กรณ์เกษม. 2548. ความคงตัวของไลโคปีนที่สกัดได้จากกากมะเขือเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต.มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- กานดาวดี โนชัย และจิรภา พงษ์จันทา, 2556. ผลของสายพันธุ์มะเขือเทศและวิธีการสกัดสารไลโคปีนต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของมะเขือเทศผง. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 36 ฉบับที่ 4 ตุลาคม – ธันวาคม
- จารุวรรณ และสุตารัตน์. 2554. การเปรียบเทียบปริมาณแคปไซซินอยด์และดัชนีความเผ็ดในพริก ตามระยะ การสุกแก่ของผล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปี ที่ 13 ฉบับที่ 2: 6-13
- จิระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์, ปารมี เพ็งปรีชา, ภัทรนันท์ กมลนัถ, กนกวรรณ ไพรพนาพงศ์. 2557. การ สกัดและ ลักษณะน้ำมันจากเมล็ดองุ่นไทยที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต. ว.วิทย์. กษ. 45(2)(พิเศษ): 157-160
- จිරศักดิ์ เพ็งคุณ. 2557. การศึกษาทดลองการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยถ่านกัมมันต์และคูซิม โดยน้ำ.สืบค้นข้อมูลจาก <http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/9815/1/387943.pdf> [5 มกราคม 2561]
- เฉลิม อยู่วิทยา. มปป. สายพันธุ์องุ่นที่นิยมปลูกในประเทศไทย สืบค้นข้อมูลจาก https://www.monsoonvalley.com/th/articles/_news-blog-list/monsoon_grape_variety [3กันยายน2560]
- ชวิตา ปัญญาสุรยุทธ, ลักคณา เอ็งบริบูรณ์ และอุมาพร ไชชัยภูมิ. 2549. การสกัดสารโพรแอนโธไซยานินดีนส์ จากเมล็ดองุ่นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด. รายงานการศึกษาระดับ วิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
- ฐิตา พูเผ่า, ฐิตินาถ สุคนเขตร์, วีรชน ภูหินกอง และคณะ. 2556. การเปรียบเทียบการสกัดไลโคปีน จากผล ฟักข้าวด้วยการใช้เอนไซม์ร่วมกับตัวทำละลายและการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเหนือจุดวิกฤต. สืบค้นข้อมูลจาก <http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/9815/1/387943.pdf> [1,มกราคม 2561]
- ณกัญภัทร จินดา. อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันพืชและสัตว์. สืบค้น จาก:course.ku.ac.th/lms/files/resources_files/20904/89985/biot_i.ppt. [22 มิ.ย.2555].
- ตติยา ไชบุญเปี่ยม. 2550. การศึกษาการทำให้สารแคปไซซินบริสุทธิ์.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ บัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- ธนภัทร์ ทรงศักดิ์. มปป. การสกัดน้ำมันระเหยง่ายโดยใช้ของไหลวิกฤตยิ่งยวด.กลุ่มวิชาเภสัชเวท มหาวิทยาลัยรังสิต,ปทุมธานี
- ประเทืองศรี สิ้นชัยศรี. 2545. การผลิตสมุนไพรและเครื่องเทศ. กรมส่งเสริมการเกษตร.คู่มือพืช สมุนไพรและเครื่องเทศ ชุดที่ 3 พืชสมุนไพรน้ำมันหอมระเหย.

- ประเสริฐ ประภานภสินธุ์. 2544. เปรียบเทียบเทคนิคการสกัดสารแคปไซซิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ผกาวดี แก้วกันเนตร. 2560. เทคโนโลยีกระบวนการแยกสาร. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. ไลโคปีน. สืบค้นจาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2755/lycopene>. [พฤศจิกายน 2559]
- วินัย ดะห์ลัน. 2550. โภชนาการพื้นฐานเพื่อการมีสุขภาพสมบูรณ์สูงสุด. เอกสารประกอบการบรรยาย "
- วิชชุดา ชัยพร. 2549. การสกัดสารไลโคปีนจากมะเขือเทศ โดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดร็อกไซด์วิกฤตยิ่งยวด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
- สถาบันไทย-เยอรมัน.มมป. เครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวสถานะเหนือวิกฤต. เทคโนโลยีการเกษตร. Catalog สถาบันไทยเยอรมัน
- สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร. 2557. พริกนวัตกรรมจากทฤษฎีการปรับปรุงพันธุ์พืชสู่การใช้ประโยชน์. ขอนแก่น: หจกโรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.
- สุภาภรณ์ ตึกกลาส, สุวิสา พงษ์อำไพ และละเอียด เฟ็งโสภา. 2552. การสกัดวิตามินอีจากใบปาล์มน้ำมัน. 20 มีนาคม 2557. www.kmutt.ac.th/rippc/plamoil2.htm
- สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. 2549. การสกัดสารโพรแอนโทไซยานินส์จากเมล็ดองุ่นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด. วิศวกรรมสาร มข. ปีที่33 ฉบับที่4 (431- 442) กรกฎาคม - สิงหาคม 2549
- สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม และอาทิตย์ รัชสีสันติวานนท์. 2546. การสกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด. วารสาร ศูนย์บริการวิชาการ. ปีที่11 ฉบับที่ 2 เมษายน-มิถุนายน Apichatsite.มปป.องประกอบทางเคมีของพริก.7มิถุนายน 2560.<https://apichatsite.wordpress.com/62-AromaHub.com>. 2014. วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหย. บทความ <http://www.aromahub.com/articles/essential-oils/176-2012-10-07-08-57-20/59-2010-04-03-15-40-01>. 15 July 2014
- Botanicessence.nd. prue essential oil. cited Available from: <http://www.botanicessence.com/essential-oil/home/knowledge.jsp> [5 January 2018]
- C. M. P. Sarmiento, S. R. S. Ferreira, and H. Hense. 2006. Supercritical fluid extraction (SFE) of rice bran oil to obtain fractions enriched with tocopherols and tocotrienols. Brazilian. Journal of Chemical Engineering, vol.23 no.2
- Da Porto C, Natolino A, and Decorti D. 2014. Extraction of proanthocyanidins from grape marc by supercritical fluid extraction using CO₂ as solvent and ethanol-water mixture asco- solvent. The Journal of Supercritical Fluids, 87:59-64

- E-books มหาวิทยาลัยรามคำแหง. มปป. สารให้กลิ่นรสในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส. สืบค้น ข้อมูลจาก [http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463\(50\)/FY463-1.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-1.pdf). [1,มกราคม 2561]
- Go-Woon Jung, Md. Salim Uddin, Kyung-Tae Kwon and Byung-Soo Chun. 2010. Comparison of supercritical and near-critical carbon dioxide extraction of carotenoid enriched wheat bran oil African. *Journal of Biotechnology*, Vol.9(45):7702-7709
- Kehilia M, Kammlott M, Chouraa S, Zammelc A, Zetzlb C, Smirnovab I, et al. 2017. Supercritical CO₂ extraction and antioxidant activity of lycopene and carotene-enriched oleoresin from tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) peels by-product of a Tunisian industry. *Food and Bioproducts Processing*, 102:340-349
- MedThai .2560. มะเขือเทศ สรรพคุณและประโยชน์ของมะเขือเทศ 28 ข้อ. สืบค้นจาก [.https://medthai.com/%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%82%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%A8/](https://medthai.com/%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%82%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%A8/) [10 ธันวาคม 2560]
- Norhuda I, and Jusoff K. 2009. Supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) as a clean technology for palm kernel oil extraction. *J Biochem Tech* ,1(3): 75-78
- Natolinoa A, Da Portoa C, Rodríguez-Rojob S, Morenob T, José Cocero M. 2016. Supercritical antisolvent precipitation of polyphenols from grape marc extract. *The Journal of Supercritical Fluids*, 118: 54-63
- Perez-Galvez A, Jaren- Galvez M, Minguez-Mosquera I. 2006. Processing of red pepper fruits (*Capsicum annum* L.) For production of paprika and paprika oleoresin. In *Handbook of Fruits and Fruit Processing.*; Blackwell Pub, Oxford, U. K, 565–579.
- Poise Proud.2555. สารสกัดจากเมล็ดองุ่น Grape Seed Extract คืออะไร..? สืบค้นข้อมูลจาก <http://poiseandproud.blogspot.com/2012/06/grape-seed-extract.html> [10 ธันวาคม 2560]
- Rakesh Kr Dubey, Vikas Singh , Garima Upadhyay , A.K. Pandey , Dhan Prakash. 2015. Assessment of phytochemical composition and antioxidant potential in some indigenous chilli genotypes from North East India. *Food Chemistry.*, (188): 119-125.
- Sabir, A., Unver, A. and Kara, Z., 2012, The Fatty Acid and Tocopherol Constituents of the Seed Oil Extracted from Grape Varieties (*Vitis* spp.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92: 1982-1987.
- Salzer, U.J, Haarmann G., and Reimer, G. Analytical. 1975. evaluation of seasoning extracts (oleoresin) and essential oils from seasonings. *Flavours.*, 64: 206-210

- Sami Gokhan Özkal. 2004. Supercritical carbon dioxide extraction of apricot kernel oil, Thesis submitted to The graduate school of natural and applied sciences of the middle east technical University. Ugur Salgın, Önur Doker, Ayla Calımlı.2006.Extraction of sunflower oil with supercritical CO₂:Experiments and modeling.*J. of Supercritical Fluids*, 38:326–331
- Santos P, Aguiar C, Gerardo F, Barbero, Camila A., Rezende et al. .2015. Supercritical carbon dioxide extraction of capsaicinoids from malagueta pepper (*Capsicum frutescens* L.) assisted by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 22: 78-88
- Sodeifian G, Ardestani NS, Seyed Ali Sajadian, et al. 2016. Application of supercritical carbon dioxide to extract essential oil from *Cleome coluteoides* Boiss: Experimental, response surface and grey wolf optimization methodology. *The Journal of Supercritical Fluids*; 114: 55-63
- Sovova H, Sajfřtova M, Topiar M. 2015. Supercritical CO₂ extraction of volatile thymoquinone from *Monarda didyma* and *M. fistulosa* herbs. *The Journal of Supercritical Fluids*; 105: 29-34.
- Sricharoen P, Lamaiphan N, Patthawaro P, et al. 2017. Phytochemicals in *Capsicum* oleoresin from different varieties of hot chili peppers with their antidiabetic and antioxidant activities due to some phenolic compounds. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38: 629–639.