โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วโดยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

Extraction of oil from roasted coffee bean by supercritical CO_2

ชื่อนิสิต นางสาวปาณิสรา เมธาเกียรติ **เลขประจำตัว** 5932941023

นายพชรพล อุตสาหกิจ **เลขประจำตัว** 5932942723

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานโครงงานวิจัย

เรื่อง

การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วโดยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

Extraction of oil from roasted coffee bean by supercritical CO_2

โดย

น.ส. ปาณิสรา เมธาเกียรติ 5932941023

นาย พชรพล อุตสาหกิจ 5932942723

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร. เรืองวิทย์ สว่างแก้ว

โครงการการเรียนการสอนเพื่อประสบการณ์ ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย น.ส. ปาณิสรา เมธาเกียรติ 5932941023 อาจารย์ที่ปรึกษา ศ. ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์

นาย พชรพล อุตสาหกิจ 5932942723 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. เรืองวิทย์ สว่างแก้ว

บทคัดย่อ

กาแฟเป็นหนึ่งในเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก การสกัดด้วยวิธีซอกส์เลตเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถใช้สกัดน้ำมันกาแฟ แม้ว่าวิธีนี้จะให้ผลได้ที่สูงแต่มีการปนเปื้อนของตัวทำละลายลงในผลิตภัณฑ์ การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากมีข้อดี คือ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้เป็นตัวทำละลายที่ราคาถูก เสถียร ไม่เป็นพิษ และสามารถแยกออกจากน้ำมันได้ง่ายจึงไม่ตกค้างอยู่ในน้ำมัน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสกัดเมล็ดกาแฟคั่วด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตโดยมุ่งเน้นความสนใจไปที่ร้อยละผลได้ของน้ำมันและองค์ประกอบในน้ำมัน ที่ความดัน 200 ถึง 300 บาร์และอุณหภูมิ 40 ถึง 60 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและความดัน 300 บาร์ สารสกัดที่ได้ให้ผลผลิตโดยรวมสูงสุดร้อยละ 8.11 คิดเป็น ร้อยละ 47.56 เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยวิธีซอกส์เลต และองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่พบในน้ำมันก็คือ สารกลุ่มที่เป็นอนุพันธ์ของสเตรียรอยด์ ซึ่งพบได้ในเมล็ดพืชทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

1. Araújom, M.N., Azevedo, A.Q.P.L., Hamerski, F., Voll, F.A.P., Corazza, M.L., *Enhanced extraction of spent coffee grounds oil using high-pressure CO2 plus ethanol solvents*, Industrial Crops and Products, 2019. 141
2. Bitencourt, R.G., Mello, F.M.P.A., Cabral, F.A., Meirelles, A.J.A., *High-pressure fractionation of spent coffee grounds oil using green solvents*, The Journal of Supercritical Fluids, 2020. 157.
3. Reverchon, E., Marco, I.D., *Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter*, The Journal Supercritical Fluids, 2006. 38:146–166.

Extraction of oil from roasted coffee bean by supercritical CO_2

By:	Ms. Panissara Methakiat	5932941023	Advisor: Prof. Dr. Somkiat Ngamprasertsith
	Mr. Pacharapon Autsahakit	5932942723	Co-advisor: Dr. Ruengwit Sawangkeaw

Abstract

Coffee is one of the most popular beverages in the world. The solvent extraction by Soxhlet apparatus produces the high oil yield but the roasted coffee oil was contaminated by a trace amount of solvent after extraction. Because of these problems, this research aims to use the supercritical carbon dioxide ($SCCO_2$) to extract the roasted coffee oil. The $SCCO_2$ can substitute to organic solvents because it is non-toxicity and easy to removal from the extracts. The aim of this research was to measure the oil yield of $SCCO_2$ extraction from roasted coffee. The composition of the roasted coffee oil extracted by $SCCO_2$ is measured as well. The extraction conditions are pressure of 200 and 300 bar, and temperature from 40 to 60 °C. The results show that the maximum yield of $SCCO_2$ extraction was 8.11 % at temperature of 60 °C and pressure of 300 bar. By comparison Soxhlet extraction, the yield from $SCCO_2$ was slightly lower than that from Soxhlet extraction. The oil composition is determined by gas chromatography/mass spectroscopy and the main composition is steroid which can be found in general seed.

References

1. Araújom, M.N., Azevedo, A.Q.P.L., Hamerski, F., Voll, F.A.P., Corazza, M.L., *Enhanced extraction of spent coffee grounds oil using high-pressure CO2 plus ethanol solvents*, Industrial Crops and Products, 2019. 141
2. Bitencourt, R.G., Mello, F.M.P.A., Cabral, F.A., Meirelles, A.J.A., *High-pressure fractionation of spent coffee grounds oil using green solvents*, The Journal of Supercritical Fluids, 2020. 157.
3. Reverchon, E., Marco, I.D., *Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter*, The Journal Supercritical Fluids, 2006. 38:146–166.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนระดับปริญญาตรี เพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ประจำปีการศึกษา 2562 ของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ความสำเร็จของโครงการ “การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วโดยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต”

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร. เรืองวิทย์ สว่างแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัย เสียสละเวลาอันมีค่าให้ความช่วยเหลือตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดทั้งโครงการ

ขอขอบคุณ คุณ กนกพร ผลมานะ ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา คำแนะนำวิธีการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในงานวิจัย ดูแลการทำวิจัย และแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการพร้อมทั้งคำแนะนำต่าง ๆ ในการใช้เครื่องมืออย่างปลอดภัย

ขอขอบคุณหน่วยเครื่องกล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยช่วยเหลือซ่อมแซมอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้ที่เกี่ยวข้องที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในด้านต่าง ๆ เสมอมา

โครงการนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากโครงการการเรียนการสอนเพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กาแฟ	3
2.2 การสกัดน้ำมันเมล็ดกาแฟ	8
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย	13
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	13
3.2 รายละเอียดวิธีการทดลอง	13
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	16
4.1 ลักษณะของสารตัวอย่างและผลิตภัณฑ์ที่ได้	16
4.2 ผลได้ของน้ำมันกาแฟจากการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลตและการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	17

บทที่	หน้า
4.3 ผลของอุณหภูมิต่อการสกัดน้ำมันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	18
4.4 ผลของความดันต่อการสกัดน้ำมันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	20
4.5 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้	21
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในงานวิจัย	22
5.1 สรุปผลการทดลอง	22
5.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย	22
ภาคผนวก	23
บรรณานุกรม	25

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (โดยน้ำหนักแห้ง)	6
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว (โดยน้ำหนักแห้ง)	7
2.3 คุณสมบัติของน้ำมันกาแฟ	8
ก.1 ผลได้ของน้ำมันกาแฟโดยวิธีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 200 บาร์	24
ก.2 ผลได้ของน้ำมันกาแฟโดยวิธีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 300 บาร์	24

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 เมล็ดกาแฟคั่วสายพันธุ์อาราบิก้าและโรบัสต้า	3
2.2 ลักษณะของรากกาแฟ	4
2.3 ลักษณะของลำต้นและกิ่งกาแฟ	4
2.4 ลักษณะของใบกาแฟ	5
2.5 ลักษณะของช่อดอกและดอกกาแฟ	5
2.6 ลักษณะของผลและเมล็ดกาแฟ	6
2.7 ชุดเครื่องมือสกัดซอกส์เลต	9
2.8 แผนผังวัฏภาคของคาร์บอนไดออกไซด์	10
3.1 เมล็ดกาแฟคั่วบด	13
3.2 ชุดการสกัดแบบซอกส์เลต	14
3.3 เครื่องระเหยแบบหมุน	14
3.4 ชุดการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	15
4.1 ก) เมล็ดกาแฟคั่วบดก่อนการสกัด และ ข) เมล็ดกาแฟคั่วบดหลังการสกัด	16
4.2 ก) น้ำมันกาแฟได้จากการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลต และ ข) น้ำมันกาแฟที่ได้จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	16
4.3 ผลได้ของน้ำมันกาแฟจากการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลตและการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	17
4.4 แนวโน้มร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่ความดัน 200 บาร์ จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	18
4.5 แนวโน้มร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่ความดัน 300 บาร์ จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	18
4.6 ร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่ความดัน 200 บาร์ จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	19
4.7 ร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่ความดัน 300 บาร์ จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	19
4.8 ร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	20
4.9 ร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	20
4.10 ร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต	21

รูปที่ หน้า

4.11 โครมาโตแกรมของสารสกัด 21

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

กาแฟเป็นไม้ยืนต้นที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของโลกและเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศต่าง ๆ มากกว่า 50 ประเทศ เพราะกาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ทุกคนรู้จักกันเป็นอย่างดีและเป็นเครื่องดื่มที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ในเมล็ดกาแฟมีสารชนิดหนึ่งเรียกว่า คาเฟอีน (Caffeine) ซึ่งเป็นสารกระตุ้นประสาททำให้เกิดความกระปรี้กระเปร่า ตื่นตัว ไม่ง่วงนอน ทำให้สมองปลอดโปร่ง ผลผลิตกาแฟของไทยส่วนใหญ่เป็นกาแฟโรบัสต้ามากกว่าร้อยละ 99 มีแหล่งผลิตที่สำคัญอยู่ในเขตภาคใต้ ประกอบด้วย จังหวัดชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี กระบี่ และจังหวัดพังงา สามารถผลิตกาแฟโรบัสต้าได้ ประมาณ 40,000 ตัน โดยส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศร้อยละ 70 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 30 ถูกใช้บริโภคภายในประเทศ [1]

โดยทั่วไปเมล็ดกาแฟคั่วที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจะมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 1-3 เดือน กาแฟที่คั่วเสร็จใหม่ไม่เหมาะที่จะนำมาชงดื่มโดยทันที เนื่องจากว่ากาแฟคั่วใหม่จะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมาจากการคั่วมาก ซึ่งจะถูกสกัดออกมากับน้ำกาแฟ ทำให้เกิดรสขมฝาด ด้วยเหตุผลข้างต้น เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วแล้วจำเป็นต้องให้เกิดกระบวนการคายแก๊ส (Degas) ก่อนนำไปบริโภคเวลาประมาณ 5-7 วันหลังจากนั้นจะได้กาแฟที่มีกลิ่นและรสดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามคุณภาพของเมล็ดกาแฟจะเสื่อมลงอย่างช้าๆและจะลดลงไปตามวิธีการเก็บรักษาและสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟคั่ว

1. อากาศ เนื่องจากในเมล็ดกาแฟคั่วมีน้ำมันอยู่ในเมล็ด เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศเป็นเวลานานๆ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้มีรสชาติและกลิ่นเปลี่ยนไป

2. ความชื้น เนื่องจากเมล็ดกาแฟมีสมบัติที่สามารถดูดความชื้นได้ เมื่อนำเมล็ดกาแฟคั่วมาอยู่ในที่เปียกชื้น จะทำให้รสชาติ และ กลิ่นเปลี่ยนแปลงไป

3. ความร้อน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้กาแฟคายแก๊ส (Degas) เร็วขึ้น ซึ่งจะมีผลให้กาแฟเก่าเร็วขึ้น [2]

เทคนิคการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต คือ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถจำแนกได้ว่าอยู่ในสถานะที่เป็นแก๊สหรือของเหลว โดยใช้ที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าจุดวิกฤตของคาร์บอนไดออกไซด์ คือ ความดันมากกว่า 73.9 เท่าของความดันบรรยากาศ และ อุณหภูมิสูงกว่า 31°C ที่ภาวะนี้คาร์บอนไดออกไซด์จะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย โดยภายหลังการสกัดคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกลดความดันทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนสถานะจากของไหลภาวะเหนือวิกฤตเป็นแก๊ส ซึ่งจะทำให้สารที่ถูกสกัดได้ไม่เกิดการปนเปื้อน และมีความบริสุทธิ์สูง ยิ่งไปกว่านั้นการใช้อุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิเหมาะสมประมาณ 40 °C จะทำให้สาระสำคัญยังคงสภาพอยู่และไม่ถูกทำลาย สารที่สกัดได้มีความใกล้เคียงกับองค์ประกอบที่มีอยู่ในธรรมชาติ ดังนั้นการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต จึงนับว่าเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะกับการสกัดที่ให้สารสกัดจากธรรมชาติมากที่สุด [3]

งานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วใหม่ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตโดยจะทำการทดลองที่อุณหภูมิช่วง 40-60°C และความดันช่วง 200-300 บาร์ เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัด และศึกษาองค์ประกอบของสารสกัดด้วยเครื่อง GC และ GC-MS น้ำมันเมล็ดกาแฟสามารถนำไปใช้เป็นสารแต่งกลิ่นในอุตสาหกรรมอาหารหรือสุคนธบำบัด (Aromatherapy) [4]

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อศึกษาและหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ทดลองสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่ว โดยเปรียบเทียบร้อยละผลได้และองค์ประกอบในน้ำมันจากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต และหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเมล็ดกาแฟคั่วด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูล ทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อีกทั้งจากการทำการทดลองทำให้ทราบถึงภาวะที่เหมาะสมที่จะสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตเพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดในงานวิจัยอื่นๆต่อไป

เมื่อทราบถึงภาวะที่เหมาะสมที่จะสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตแล้ว สามารถนำภาวะเหล่านี้ไปสกัดเพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปต่อยอดผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่มีประโยชน์ อีกทั้งยังนำทรัพยากรที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์และทรงคุณค่ามากที่สุดด้วย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กาแฟ

กาแฟ เป็นเครื่องดื่มที่ทำมาจากเมล็ดที่ได้จากต้นกาแฟ หรือเรียกว่า เมล็ดกาแฟคั่ว ปัจจุบันมีการปลูกกาแฟมากกว่า 70 ประเทศทั่วโลก กาแฟเขียว ซึ่งเป็นกาแฟที่ไม่ผ่านการคั่วก็เป็นอีกหนึ่งสินค้าทางการเกษตรที่มีการซื้อขายกันมากที่สุดในโลก และในปัจจุบันกาแฟได้กลายเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมมากที่สุดด้วย

สำหรับสายพันธุ์กาแฟที่นิยมปลูกกันทั่วไปจะมีอยู่ด้วยกัน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ กาแฟอาราบิก้า (Coffee arabica) และกาแฟโรบัสต้า (Coffee canephora) เนื่องจากกาแฟโรบัสต้ามีรสชาติที่ขมกว่าและให้รสชาติได้น้อยกว่ากาแฟอาราบิก้า กาแฟอาราบิก้าจึงเป็นกาแฟที่ได้รับความนิยมในการดื่มมากกว่าและเพาะปลูกกันเป็นจำนวนมากกว่า 3 ใน 4 ของโลก

นอกเหนือจากกาแฟสองสายพันธุ์หลักแล้วก็ยังมีกาแฟพันธุ์ Coffea liberica และ Coffea esliaca อีกด้วย โดยที่เชื่อว่าเป็นพืชท้องถิ่นของประเทศไลบีเรียและทางตอนใต้ของประเทศซูดานตามลำดับ

กาแฟอาราบิก้า

กาแฟอาราบิก้า ชื่อสามัญ Arabian coffee, Coffee, Kofi, Koffie, Brazillian coffee

กาแฟอาราบิก้า ชื่อวิทยาศาสตร์ *Coffea arabica* L. จัดอยู่ในวงศ์เข็ม (RUBIACEAE)

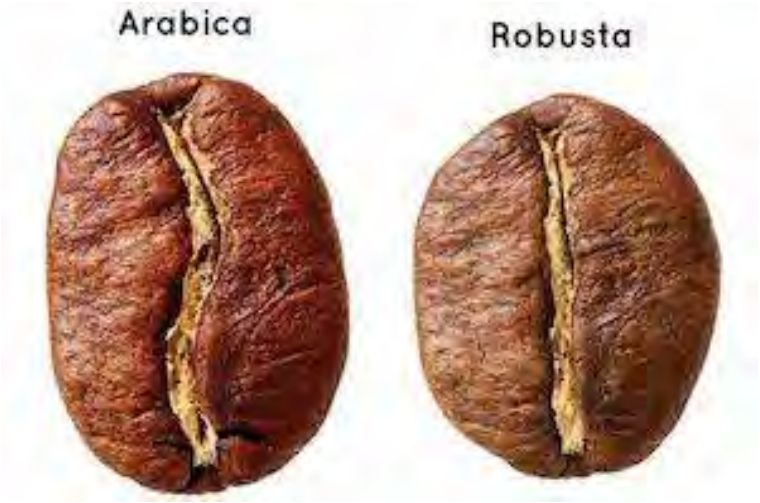
จุดเด่นของกาแฟอาราบิก้า เป็นกาแฟที่มีคุณภาพสูง มีกลิ่นหอมและสารกาแฟสูง ปริมาณคาเฟอีนต่ำ เมื่อดื่มแล้วจะทำให้รู้สึกถึงความกระปรี้กระเปร่า มีชีวิตชีวา ในประเทศไทยมีการปลูกกาแฟชนิดนี้กันมากทางภาคเหนือบนดอยสูง

กาแฟโรบัสต้า

กาแฟโรบัสต้า ชื่อสามัญ Robusta coffee

กาแฟโรบัสต้า ชื่อวิทยาศาสตร์ *Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner (ชื่อพ้องวิทยาศาสตร์ *Coffea robusta* L.Linden)

จุดเด่นของกาแฟโรบัสต้า โดยส่วนใหญ่จะนำมาผลิตเป็นกาแฟสำเร็จรูป หรือนำมาผสมกับกาแฟอาราบิก้าบางส่วนเพื่อผลิตเป็นกาแฟคั่วบดให้มีรสชาติที่แตกต่างออกไป สำหรับกาแฟโรบัสต้า เมื่อดื่มแล้วจะรู้สึกได้ถึงความนุ่ม ชุ่มคอ ปริมาณคาเฟอีนสูงกว่ากาแฟอาราบิก้าเป็น 2 เท่า ในประเทศไทยนิยมเพาะปลูกกันมากทางภาคใต้บนพื้นที่ราบ เช่น จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดชุมพร [5]



รูปที่ 2.1 เมล็ดกาแฟคั่วสายพันธุ์อาราบิก้าและโรบัสต้า [6]

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นกาแฟ มีดังนี้

2.1.1.1 ราก

กาแฟมีรากแก้วและมีรากแขนงแตกออกจากรากแก้ว ประมาณ 4 ถึง 8 ราก รากแขนงจะมีรากฝอยและรากฝอยจะมีรากแตกออกมาอีกเป็นรากสำหรับดูดอาหาร รากชนิดนี้มีจำนวนประมาณร้อยละ 60 ถึง 80 แผ่กระจายในระดับผิวดินลึก ประมาณ 20 เซนติเมตร

รูปที่ 2.2 ลักษณะของรากกาแฟ [7]

2.1.1.2 ลำต้นและกิ่ง

ลำต้น (Main Stem) ลักษณะเป็นข้อและปล้อง ในขณะที่ต้นยังมีขนาดเล็กจะเห็นได้ชัด โดยใบจะอยู่ตามข้อของลำต้น เมื่อต้นโตขึ้นใบจะร่วงหล่นไป ที่โคนใบจะมีตาบนและตาล่าง ตาบนจะแตกกิ่งออกมาเป็นกิ่งแขนงที่ 1 (Primary Branch) ลักษณะเป็นกิ่งนอนขนานกับพื้นดินมีข้อและปล้อง แต่ละข้อของกิ่งแขนงนี้จะมีกลุ่มตาดอกที่จะติดดอกเป็นผลต่อไป ส่วนตาล่างจะแตกออกเป็นกิ่งตั้ง (Sucker) จะตั้งตรงขึ้นไปเหมือนลำต้น ไม่ติดดอก แต่สามารถสร้างกิ่งแขนงที่สามารถให้ดอกได้ เรียกเป็นกิ่งแขนงที่ 1 เช่นกัน กิ่งแขนงที่ 1 สามารถแตกกิ่งแขนงต่อไปได้อีกเป็นกิ่งแขนงที่ 2 และกิ่งแขนงที่ 2 สามารถแตกเป็นกิ่งแขนงที่ 3 ได้อีก กิ่งแขนงเหล่านี้จะเกิดในลักษณะเป็นคู่สลับเยื้องกันบนลำต้นหรือกิ่งตั้ง เมื่อมีการตัดลำต้นกาแฟ ตาล่างบนลำต้นจะแตกกิ่งตั้งขึ้นมา กิ่งตั้งจะแตกเป็นกิ่งแขนงที่ 1 กิ่งที่ 2 และ 3 จากนั้นมีการสร้างดอกและผลต่อไป

รูปที่ 2.3 ลักษณะของลำต้นและกิ่งกาแฟ [7]

2.1.1.3 ใบ

ใบเดี่ยว ก้านใบสั้น โคนใบและปลายใบเรียวแหลม ตรงกลางใบกว้าง ผิวใบเรียบ นุ่มเป็นมัน ขอบใบหยักเป็นคลื่น ขนาดของใบขึ้นกับสายพันธุ์กาแฟ ใบจะเกิดที่ข้อเป็นคู่ตรงข้ามกัน แต่ละใบจะมีส่วนปากใบอยู่ด้านท้องใบประมาณ 3 ล้านถึง 6 ล้านรู ปากใบของกาแฟโรบัสต้ามีขนาดเล็กกว่าปากใบของกาแฟอาราบิก้า แต่มีจำนวนมากกว่า อายุใบประมาณ 250 วัน

รูปที่ 2.4 ลักษณะของใบกาแฟ [7]

2.1.1.4 ช่อดอกและดอก

ดอกกาแฟจะมีลักษณะเป็นดอกเดี่ยวสมบูรณ์เพศ มีกลีบดอก จำนวน 4 ถึง 9 กลีบ กลีบเลี้ยง จำนวน 4 ถึง 5 ใบ มีเกสร 5 อัน รังไข่ 2 ห้อง แต่ละห้องของรังไข่จะมีไข่ 1 ใบ ผลกาแฟจึงมี 2 เมล็ด ดอกจะออกเป็นกลุ่มๆ บริเวณโคนใบบน ข้อของกิ่งแขนงที่ 1 แขนงที่ 2 หรือ 3 กลุ่มดอกแต่ละข้อมีดอก จำนวน 2 ถึง 20 ดอก ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของต้นตา ดอกจะออกจากกิ่งแขนงจากข้อที่อยู่ใกล้ลำต้นออกไปหาปลายกิ่งแขนง ปกติจะออกดอกตามข้อของกิ่ง ข้อที่ออกดอกแล้วปีต่อไปจะไม่ออกดอกและให้ผลอีก

รูปที่ 2.5 ลักษณะของช่อดอกและดอกกาแฟ [7]

2.1.1.5 ผลและเมล็ด

ผลของกาแฟมีลักษณะคล้ายลูกหว้า รูปรี ก้านผลสั้น ผลดิบสีเขียว ผลสุกสีเหลือง สีส้ม สีแดง ผลของกาแฟแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1. เปลือก (Skin) 2. เนื้อ (Pulp) มีสีเหลือง สุกแล้วจะมีรสหวาน 3. กะลา (Parchment) จะห่อหุ้มเมล็ด ระหว่างเมล็ดกับกะลาจะมีเยื่อบางๆ หุ้มเมล็ดอยู่ เรียกว่า เยื่อหุ้มเมล็ด (Silver Skin) ผลกาแฟแต่ละผลจะมี 2 เมล็ดประกบกัน ด้านที่ประกบกันอยู่ ด้านในมีลักษณะแบน มีร่องบริเวณกลางเมล็ด 1 ร่อง ส่วนด้านนอกมีลักษณะโค้ง ลักษณะเมล็ดจะเป็นเดี่ยวหรือเมล็ดโทน (Pea Bean, Pea Berry) ในบางครั้งการผสมเกสรเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ จะทำให้ผลติดเมล็ดเพียงเมล็ดเดียว เมล็ดเพียงเมล็ดเดียวรูปร่างกลมรีทั้งเมล็ด โดยมีร่องบริเวณกลางเม็ด 1 ร่อง

รูปที่ 2.6 ลักษณะของผลกาแฟสด (ซ้าย) และเมล็ดกาแฟคั่ว (ขวา) [7]

2.1.2 สมบัติทางกายภาพและเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก มีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าร้อยละ 71 องค์ประกอบส่วนใหญ่ของเมล็ดกาแฟเป็นเซลลูโลส ดังตารางที่ 2.2

2.1.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกาแฟ

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (โดยน้ำหนักแห้ง) [8]

class and components	Percent of Green Coffee	
	soluble	insoluble
1. Carbohydrates (60%)		
Reducing sugars	1.0	-
Sucrose	7.0	-
Pectin	2.0	-
Starch	-	10.0
Pentosans	-	5.0
Hemi-celluloses	-	15.0
Holo-celluloses	-	18.0
Lignin	-	2.0
2. Oil	-	13.0
3. Proteins (N x 6.25)	9.0	4.0
4. Ash as oxide	2.0	2.0
5. Non-volatile acids		
Chlorogenic	6.8	-
Oxalic	0.2	-
Malic	0.3	-
Citric	0.3	-
Tartaric	0.4	-
6. Trigonelline	-	1.0
7. Caffeine (Arabica 1.0%, Robusta 2.0%)	-	1.0
Total	29.0	71.0

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว (โดยน้ำหนักแห้ง) **[8]**

class and components	Percent	
	soluble	insoluble
1. Carbohydrates (53%)		
Reducing sugars	1.0-2.0	-
Caramelized sugars	10.0-17.0	7.0-0.0
Hemi-celluloses(hydrolysable)	1.0	14.0
Fiber (not hydrolysable)	-	22.0
2. Oil	-	15.0
3. Proteins (N x 6.25)	1.0-2.0	11.0
4. Ash as oxide	3.0	1.0
5. Non-volatile acids		-
Chlorogenic	4.5	-
Caffeic	0.5	-
Quinic	0.5	-
Oxalic, Maliic, Citric, Tartaric	1.0	-
Volatile acids	0.35	-
6. Trigonelline	1.0	-
7. Caffeine (Arabica 1.0%, Robusta 2.0%)	1.2	-
8. Phenolics (estimate)	2.0	-
9. Volatiles		-
Carbon dioxide	trace	2.0
Essence of aroma and flavor	0.04	-
Total	27.0 to 35.0	65.0 to 73.0

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของน้ำมันกาแฟ [9]

Property	น้ำมันกากกาแฟด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์	น้ำมันกาแฟด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์ต่างๆ	น้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลาย hexane และ isopropanol
Color	Dark brown	Dark brown	Dark brown
Moisture (%)	-	-	0.118
HHV ($MJkg^{-1}$)	-	-	40.8
Density at 15 ^{o}C ($kg\ m^{-3}$)	941	904.2	912
Viscosity 40 ^{o}C ($mm^{2}\ s^{-1}$)	49.64	33.92	39.8
Acid value ($mg\ KOH\ g^{-1}$)	11.27	8.0	9.9
Iodine value ($g\ Iodine\ g^{-1}$)	-	-	0.476

2.1.3 การนำไปใช้

ปัจจุบันมีความสนใจเพิ่มขึ้นที่จะผลิตไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันที่เหลือที่ได้จากกากกาแฟเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากเป็นแนวทางปฏิบัติที่ยั่งยืนสำหรับการลดของเสีย และยังเป็นแหล่งกรดไขมันที่มีต้นทุนต่ำด้วย กากกาแฟสามารถใช้ในการผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากมีปริมาณน้ำมันตั้งแต่ 12% ถึง 18.3% และ ยังมีงานวิจัยแสดงถึงร้อยละของน้ำมันจากกาแฟที่ถูกเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล คิดเป็น 85.5% และ 98.61% โดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของแอลคาไล หากตั้งสมมติฐานว่ากาแฟมีปริมาณน้ำมันอยู่ 15% และ 92% ของน้ำมันจากกาแฟถูกเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล จะสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ประมาณ 0.85 ล้านตันต่อปี นอกจากนี้คุณภาพน้ำมันของกากกาแฟยังสามารถปรับปรุงให้เหมาะกับการใช้งานในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและยา หรือใช้เป็นแหล่งของสารประกอบที่มีค่าอื่น ๆ เช่น คาเฟอีน สเตอรอลส์เทอร์เพน และโทโคฟีรอส คาเฟอีนเป็นสารประกอบที่ถูกศึกษามากที่สุดจากกาแฟ เนื่องจากส่งผลกระทบต่อร่างกาย และช่วยในการเผาผลาญพลังงาน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสารประกอบฟีนอลจากน้ำมันกาแฟ เนื่องจากมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น ป้องกันโรคเรื้อรัง ต้อกระจก จอประสาทตาเสื่อม โรคเกี่ยวกับระบบประสาท และโรคเบาหวาน และฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ เช่นสารต้านอนุมูลอิสระ ต้านแบคทีเรีย ไวรัส ต้านการอักเสบ และต้านมะเร็ง [10]

2.2 การสกัดน้ำมันกาแฟ

วิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟมีหลายวิธี เช่น การบีบเย็น (cold compression) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) การสกัดโดยใช้ไขมัน (effleurages) และการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (supercritical carbon dioxide extraction) [11] โดยในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงวิธีการสกัดทั้งหมด 2 วิธี คือ การสกัดด้วยตัวทำละลายและการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

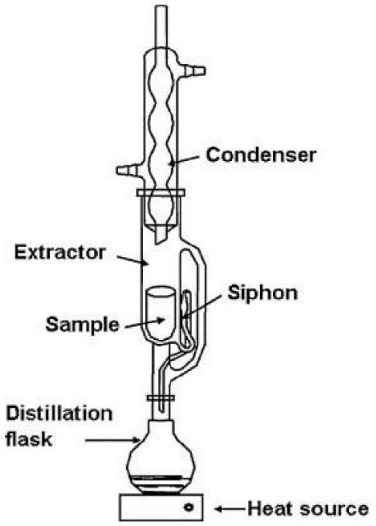
2.2.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นวิธีทำสารให้บริสุทธิ์หรือเป็นวิธีแยกสารออกจากกันวิธีหนึ่ง การสกัดด้วยตัวทำละลายอาศัยสมบัติของการละลายของสารแต่ละชนิด สารที่ต้องการสกัดต้องละลายอยู่ในตัวทำละลาย หลักใน

การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ ต้องเป็นตัวทำละลายที่ละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี ไม่ละลายสารอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ หรือละลายได้น้อยมาก ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการจะแยก ที่สำคัญไปกว่านั้นคือ ควรแยกออกจากสารละลายได้ง่ายและทำให้บริสุทธิ์ได้ง่ายเพื่อจะได้นำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก มีราคาถูก หาง่าย ไม่มีพิษ และมีจุดเดือดต่ำ [12]

การสกัดแบบซอกส์เลต (Soxhlet extraction) หลักการของเครื่องมือซอกส์เลต (Soxhlet apparatus) จะใช้ตัวทำละลายในปริมาณน้อย เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้สกัดสารแล้วจะถูกทำให้ระเหยและควบแน่นกลับมาเมื่อเจอระบบหล่อเย็น ทำให้สกัดได้อีกเป็นลักษณะหมุนเวียน โดยตัวทำละลายที่ใส่ลงไปในเครื่องมือจะหมุนเวียนผ่านสารที่ต้องการสกัดหลายๆครั้งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด จนกระทั่งสารที่ต้องการสกัดออกมามีปริมาณเข้มข้นมากพอ

ตัวแปรที่ส่งผลต่อการสกัด มีดังนี้ ปริมาตรตัวทำละลายต้องมีมากพอ คือ เมื่อตัวทำละลายส่วนหนึ่งเกิดการระเหยขึ้นทาง Reflux sidearm แล้วควบแน่นหยดลงตัวอย่างใน extraction chamber เมื่อตัวทำละลายเต็มเกิดกาลักน้ำ ทำให้การสกัดเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ซึ่งตัวทำละลายที่มากเกินพอ สามารถระเหยออกได้เมื่อสกัดสารที่สนใจได้ตามที่ต้องการ ด้วยเครื่อง Rotary evaporator เวลาที่ใช้ในการสกัดต้องมีความเหมาะสม ที่จะสามารถสกัดเอาสารที่สนใจออกจากตัวอย่างให้ได้มากที่สุด ซึ่งในเทคนิคนี้ ส่วนใหญ่เวลาที่ใช้สกัดมักยาวนานเป็นชั่วโมง เพื่อให้เกิดการ reflux ของตัวทำละลายหลายๆ ซ้ำ ทำให้สารที่สนใจถูกสกัดออกจากตัวอย่างได้มากที่สุด ส่วนสุดท้ายคือ วัตถุดิบที่ใช้สกัด มักใช้ตัวอย่างเป็นของแข็ง ดังนั้นจำเป็นต้องทำให้ตัวอย่างมีขนาดเล็กลงเพื่อให้มีพื้นที่สัมผัสมากขึ้น [13]



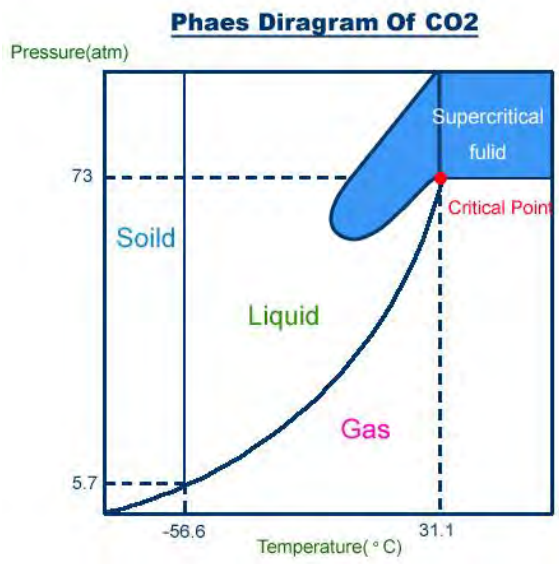
รูปที่ 2.7 ชุดเครื่องมือสกัดซอกส์เลต [14]

2.2.2 การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (supercritical carbon dioxide extraction)

ของไหลภาวะเหนือวิกฤต (supercritical fluid) หมายถึง ของไหลที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถจำแนกได้ว่าสสารนั้นอยู่ในสถานะแก๊สหรือของเหลว อธิบายได้จากเฟสไดอะแกรมและภาวะวิกฤตของสารบริสุทธิ์ใด ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งแสดงถึงภาวะที่สสารอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยมีเส้นหลอมเหลว (fusion line) แบ่งขอบเขตระหว่างของแข็งกับของเหลว และเส้นความดันไอ (vapor pressure line หรือ boiling line) จะเป็นเส้นที่แบ่งขอบเขตระหว่างของเหลวกับแก๊ส สำหรับจุดที่อยู่ระหว่างทั้งสามสถานะ เรียกว่า จุดร่วมสาม (triple point)

แก๊สสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ 2 วิธีคือ โดยการเพิ่มความดัน หรือการลดอุณหภูมิเพื่อลดพลังงานจลน์ (kinetic energy) และทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลของแก๊สลดลง เกิดแรงดึงดูดระหว่างกันมากขึ้นจนกระทั่งสามารถควบแน่นเป็นของเหลว แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตโมเลกุลของแก๊สจะมีพลังงานจลน์มาก แม้เพิ่มความดันเท่าไหร่ก็ไม่สามารถทำให้แก๊สเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวได้ โดยอุณหภูมิสูงสุดที่แก๊สยังสามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้เรียกว่าอุณหภูมิวิกฤต (critical temperature) และความดันที่จุดนี้เรียกว่า ความดันวิกฤต (critical pressure) สำหรับจุดที่เป็นอุณหภูมิวิกฤตและความดันวิกฤต เรียกว่าจุดวิกฤต (critical point) เมื่ออุณหภูมิและความดันสูงกว่าจุดวิกฤต สารจะอยู่ในสถานะที่ไม่สามารถจำแนกได้ว่าเป็นแก๊ส หรือของเหลว และเรียกสสารที่อยู่ในสถานะนี้ว่า ของไหลภาวะเหนือวิกฤต (supercritical fluid) ซึ่งอุณหภูมิวิกฤตและความดันวิกฤตเป็นค่าคงที่และเป็นสมบัติเฉพาะของสสาร โดยการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต เป็นวิธีการสกัดประเภทหนึ่งที่เหมาะสำหรับการสกัดสารที่เสื่อมสภาพได้ง่ายด้วยความร้อน และเป็นสารที่มีขั้วต่ำ อุณหภูมิวิกฤตและความดันวิกฤตของคาร์บอนไดออกไซด์คือ 31.1 องศาเซลเซียส และ 73.9 บาร์ [15,16]

การสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ให้สารสกัดที่ปราศจากตัวทำละลายและคาร์บอนไดออกไซด์ ต้นทุนต่ำ เฉื่อย ปลอดสารพิษ และเหมาะสำหรับการสกัดสารประกอบที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การใช้การสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤต ส่วนใหญ่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต การใช้ตัวทำละลายร่วมอาจมีความสำคัญในการปรับปรุงช่วงสภาพขั้วของสารสกัด เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนสมบัติการละลายของของไหลภาวะเหนือวิกฤตได้แม้ที่ความเข้มข้นต่ำ ตัวทำละลายสีเขียว (green solvents) ที่ใช้ ได้แก่ เอทานอล และ/หรือน้ำเป็นตัวทำละลายร่วม นอกจากนี้การรวมกันของการสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤตและการสกัดด้วยของไหลความดันสูง อย่างน้อยสองขั้นตอนขึ้นไป ขั้วของตัวทำละลายจะเพิ่มขึ้นในแต่ละขั้นตอน เป็นทางเลือกเพื่อเพิ่มการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพให้ได้มากที่สุด [17]



รูปที่ 2.8 แผนผังวัฏภาคของคาร์บอนไดออกไซด์ [16]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Araújom และคณะ [10] ศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟโดยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตร่วมกับเอทานอล ($SCCO_2$ + EtOH) ผ่านกระบวน semi-batch ซึ่งเป็นทางเลือกในการทดแทนการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากการสกัดถูกนำไปเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

และเอทานอลที่ความดันสูง โดยวิธีที่ใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการสกัดคือ Soxhlet ในงานวิจัยนี้มีการหาร้อยละผลได้สูงสุดของการสกัด ปริมาณกรดไขมัน ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (TPC) สารต้านอนุมูลอิสระผ่านวิธี ABTS และ DPPH สารประกอบฟีนอลิกและปริมาณคาเฟอีน รวมถึงเส้นโค้งการสกัดโดยรวม ร้อยละผลได้ของการสกัดสูงสุดคือ 15.9% โดยใช้ $SCCO_2$ + EtOH ที่ อุณหภูมิ 80 °C, ความดัน 20 MPa โดยมีอัตราส่วนเอทานอลต่อกากกาแฟเป็น 2:1 ในเวลาสกัด 25 นาที กรดไขมันหลักที่พบในน้ำมันคือ linoleic (45%) และ palmitic (31%) น้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วย $SCCO_2$ + EtOH (2:1) มีค่า TPC สูง (294.47 ถึง 392.96 mg GAE / น้ำมัน 100 กรัม) ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอลที่ความดันสูง นอกจากนี้สารต้านอนุมูลอิสระในน้ำมันสำหรับการสกัดด้วย $SCCO_2$ + EtOH นั้นมีค่าสูงเช่นกัน กรดฟีนอลิกหลักที่พบคือกรด dihydroxybenzoic และกรด caffeic ซึ่งค่าความเข้มข้นที่สูงที่สุดของ dihydroxybenzoic คือ17.66 mg ในน้ำมัน 100 กรัม และ กรด caffeic คือ 9.36 mg ในน้ำมัน100 g ซึ่งได้จากการสกัดด้วย $SCCO_2$ + EtOH (2:1) ที่อุณหภูมิ 80 °C และ ความดัน10 MPa สำหรับปริมาณคาเฟอีนสูงสุด (711.70 มิลลิกรัมในน้ำมัน 100 กรัม) ได้จากการสกัดด้วย $SCCO_2$ + EtOH (0.5:1) ที่อุณหภูมิ 60 °C และความดัน 15 MPa ผลลัพธ์ที่ได้ในงานวิจัยนี้ให้ร้อยละผลได้ของการสกัดสูงกว่าวิธีการสกัดด้วย $SCCO_2$ และมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการสกัดด้วยเอทานอลที่ความดันสูงแต่ใช้เวลาในการสกัดที่น้อยกว่าและใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่น้อยลง ซึ่งแสดงถึงความเป็นไปได้ในทางเทคนิคที่นำของเสียทางการเกษตรไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้ $SCCO_2$ + EtOH ในการสกัด

Bitencourt และคณะ [17] ศึกษาการสกัดและแยกส่วนประกอบของน้ำมันจากกากกาแฟโดยมุ่งเน้นความสนใจไปที่ปริมาณสารประกอบฟีนอล ที่อุณหภูมิ 333 เคลวิน และ ความดัน 40 เมกะพาสคัล ใน 1 หรือ 2 ขั้นตอน ด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน คือ คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต เอทานอล และสารผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตกับเอทานอล ในสัดส่วน 90 ต่อ 10 โดยมวล การแยกส่วนประกอบถูกประเมินโดยเครื่องแยก 4 ตัวต่ออนุกรมกัน ณ อุณหภูมิ 323 เคลวิน ที่ความดันและความเข้มข้นของเอทานอลที่แตกต่างกัน สารสกัดจากเอทานอลจะให้ผลผลิตโดยรวมสูงสุด ร้อยละ 25 ตัวอย่างที่ได้จากเครื่องแยกตัวแรกพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดจากเอทานอลได้ผลลัพธ์สูงกว่าการสกัดแบบธรรมดาถึง 4 เท่า และการเพิ่มประสิทธิภาพปริมาณสารประกอบฟีนอลที่คล้ายกันถูกตรวจพบผ่านการสกัดแบบสองขั้นตอน ผลการวิจัยพบว่าวิธีการดังกล่าวที่เสนอนั้นแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการสกัดกากกาแฟให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงขึ้น

Reverchon และคณะ [18] ศึกษาการสกัดแบบภาวะเหนือวิกฤตและการแยกส่วนประกอบของสสารธรรมชาติเป็นหนึ่งในการประยุกต์ที่ได้รับการศึกษามาก่อนและส่วนใหญ่ในสาขาของไหลภาวะเหนือวิกฤต ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมามีการเผยแพร่การศึกษาการสกัดสารประกอบดั้งเดิม เช่น น้ำมันหอมระเหย และน้ำมันเมล็ดจากแหล่งต่าง ๆ เช่น เมล็ด ผลไม้ ใบไม้ ดอกไม้ เหง้า ฯลฯ โดยมีหรือไม่มีตัวทำละลายร่วมเพิ่ม นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระยาสารสี และสารกำจัดศัตรูพืช การแยกส่วนผสมของของเหลวและการสกัดแบบตัวต้านการละลายเป็นกระบวนการอื่นที่สามารถแยกได้อย่างน่าสนใจ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงสำหรับกระบวนการเหล่านี้

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ทิศทางดั้งเดิมและทิศทางใหม่ในการวิจัยเกี่ยวกับการแยกสารธรรมชาติโดยการสกัดและการแยกส่วนประกอบของเหลวที่ภาวะเหนือวิกฤต

Melo และคณะ [19] ศึกษาถึงแง่มุมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเชิงเศรษฐศาสตร์ของการสกัดของเหลวที่ภาวะเหนือวิกฤต ของกากกาแฟซึ่งเป็นที่สนใจภายใต้บริบทโรงกลั่นชีวภาพ (biorefinery) การทดลองทำด้วยซอกส์เลต และวัดส่วนโค้งการสกัดแบบของไหลภาวะเหนือวิกฤต ที่ 190 บาร์และ 40 องศาเซลเซียส หรือ 55 องศาเซลเซียส สารสกัดถูกระบุลักษณะด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีโดยเลือกใช้ตัวตรวจวัดชนิดเฟลมไอออไนเซชัน (GC-FID) และไตรเอซิล

กลีเซอรอลเกือบคงที่ตามเส้นโค้งการสกัดและคล้ายกับผลของซอกส์เลตด้วยเฮกเซน ปริมาณของกรดลิโนเลอิกและกรดปาล์มิติกในสารสกัดทั้ง 2 คือ ร้อยละ 44.5 และ 37.5 โดยมวล ตามลำดับ

ค่าความสามารถในการละลายของน้ำมัน การแพร่กระจายภายในเซลล์ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลและฟลักซ์การกำจัดน้ำมัน สรุปได้ว่าความสามารถในการละลายเป็นพารามิเตอร์หลักเบื้องหลังเส้นโค้งการสกัดแบบสะสมที่แตกต่างกันและการทดลองทั้งหมดจะต้องมีค่าความต้านทานการถ่ายโอนมวลเท่ากัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

- ชุดสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดซอกส์เลต (Soxhlet Extraction Apparatus)
- ชุดสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical carbon dioxide Extraction Apparatus)
- เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance)
- เตาหลุมให้ความร้อน (Heating Mantle)
- เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator)
- ตู้อบ (Oven)

3.1.2 สารเคมี

- เมล็ดกาแฟคั่วบด *(Coffea robusta* Pierre ex Froehner L.)
- เฮกเซน (n-Hexane, C_6H_6): Commercial Grade
- คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide)
- น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)

3.2 รายละเอียดวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วบดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต โดยศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันในช่วง 40-60 °C และ 200-300 บาร์ ตามลำดับ และเปรียบเทียบผลได้กับวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายโดยเครื่องซอกส์เลต โดยมีรายละเอียดดังนี้

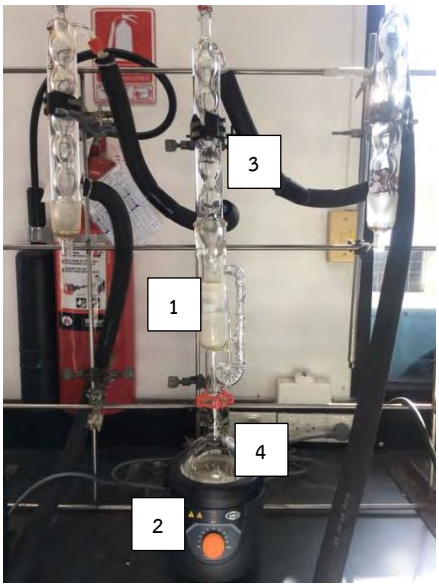
3.2.1 การเตรียมเมล็ดกาแฟ

เมล็ดกาแฟคั่วอ่อนจากดอยช้าง จังหวัดเชียงราย บดผ่านตะแกรงเบอร์ 14 ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร เพื่อรอการสกัดต่อไป

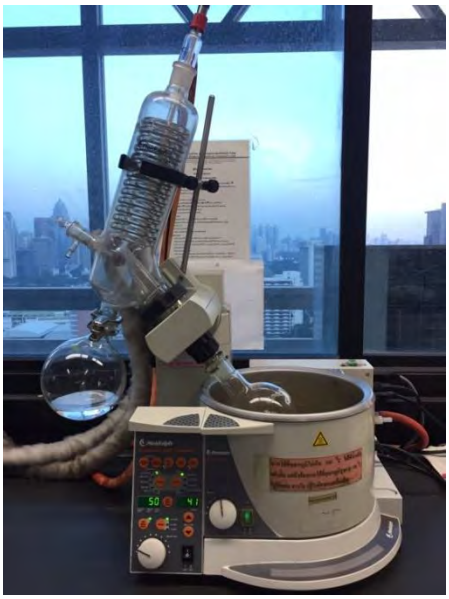
รูปที่ 3.1 เมล็ดกาแฟคั่วบด

3.2.2 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วบดด้วยตัวทำละลายโดยเครื่องซอกส์เลต

การใช้เครื่องสกัดซอกส์เลต (Soxhlet Extractor) เตรียมวัตถุดิบประมาณ 20 กรัม ใส่ในกระดาษกรองสำหรับการสกัด (extraction thimble) (หมายเลข 1) แล้วตั้งชุดการทดลองการสกัดแบบซอกส์เลตขนาด 500 มิลลิลิตร แสดงดังรูปที่ 3.2 จากนั้นเติมตัวทำละลาย ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ปริมาณ 200 มิลลิลิตร แล้วดำเนินการสกัดโดยเริ่มเปิดเครื่องทำความร้อน (หมายเลข 2) ให้ตัวทำละลายระเหยและผ่านระบบหล่อเย็น (หมายเลข 3) ให้ควบแน่นลงมาผ่านสารที่ต้องการสกัด สารที่สกัดได้จะอยู่ในขวดก้นกลม (หมายเลข 4) ส่วนตัวทำละลายก็จะระเหยกลับขึ้นไปใหม่ แล้วกลั่นตัวลงบนเมล็ดกาแฟคั่วบดซ้ำจนกว่าสารละลายบริเวณส่วนสกัดไม่มีสี จึงเก็บสารละลายที่ได้จากการสกัดไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนแสดงดังรูปที่ 3.3 จนตัวทำละลายถูกแยกออกไปหมดเหลือเพียงสารที่สกัดได้ จากนั้นนำมาหาผลได้น้ำมันหอมระเหยจากการสกัด



รูปที่ 3.2 ชุดการสกัดแบบซอกส์เลต

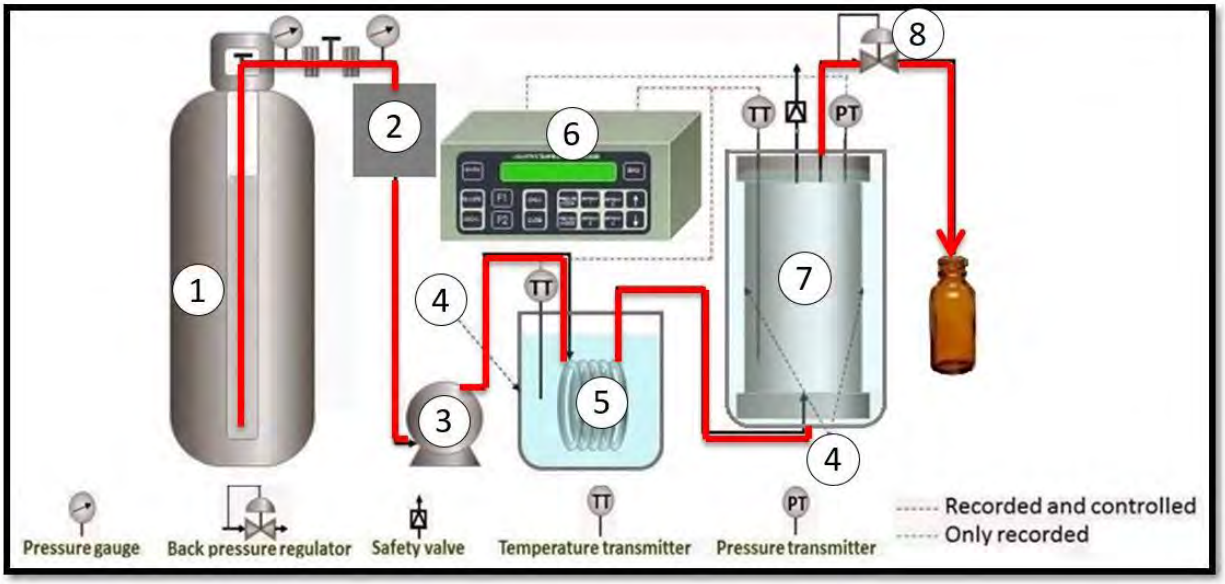


รูปที่ 3.3 เครื่องระเหยแบบหมุน

3.2.3 การสกัดน้ำมันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical Carbon Dioxide Extraction)

การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตใช้ชุดการสกัดและแยกด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤตดังแสดง ในรูปที่ 3.4 เริ่มจากบรรจุตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วบด 20 กรัม ในเครื่องสกัด (Extractor) (หมายเลข 7) แล้วปั๊มคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบโดยใช้ปั๊มแรงดันสูงที่มีระบบหล่อเย็นเพื่อให้คาร์บอนไดออกไซด์คงสภาพเป็นของเหลวก่อนปั๊ม แล้วปรับเพิ่มความดันด้วย Back-pressure regulator เมื่อความดันในระบบถึงค่าที่ต้องการจึงเริ่มจับเวลา โดยทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 30 นาที จนครบ 5 ชั่วโมง

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลได้การสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วที่ความดัน 200 และ 300 บาร์ และอุณหภูมิการสกัดที่ 40, 50, 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 ชุดการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต [20] 1) ถังแก๊สคาร์บอนไดดอกไซด์ 2) อ่างน้ำเย็น 3) ปั๊มแรงดันสูง 4) และ 5) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 6) แผงควบคุม 7) เครื่องสกัด และ 8) ขวดเก็บตัวอย่าง

เครื่องสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ประกอบด้วยถังแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อ่างน้ำเย็น ปั๊มแรงดันสูง อ่างควบคุมอุณหภูมิ เครื่องสกัด ขวดเก็บตัวอย่าง และแผงควบคุม โดยการทำงานของเครื่องสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตเริ่มจากคาร์บอนไดออกไซด์จากถัง (1) ผ่านเข้าสู่อ่างน้ำเย็น (2) เพื่อลดอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะจากแก๊สเป็นของเหลว จากนั้นคาร์บอนไดออกไซด์เหลวถูกปั๊ม (3) เข้าไปยังท่อสกัดที่แช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (4, 5) เพื่อปรับอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ และเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เหลวให้อยู่ในภาวะเหนือวิกฤต แล้วจึงสกัดสารภายในเครื่องสกัด (7) ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการปนเปื้อนของตัวทำละลาย (8) เนื่องจากที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ คาร์บอนไดออกไซด์มีสถานะเป็นแก๊ส ทั้งนี้ความดันและอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการสกัดถูกควบคุมโดยแผงควบคุม (6)

3.2.4 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันที่สกัดได้

ส่งตัวอย่างวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันที่สถาบันวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) รุ่น Algilent GC 6850N วิธีการเตรียมตัวอย่างมาตรฐานน้ำมันของประเทศสหรัฐอเมริกา (American Oil Chemists' Society, AOCS Ce 1j-07)

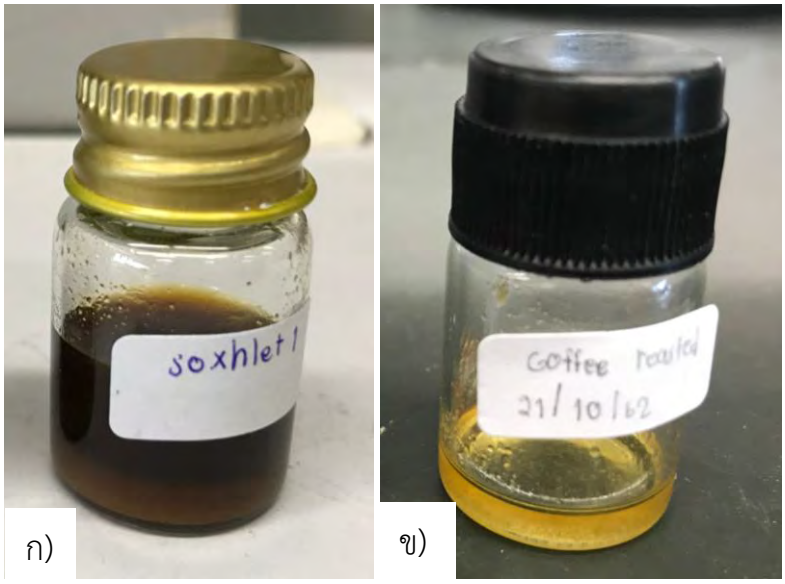
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะของสารตัวอย่างและผลิตภัณฑ์ที่ได้

จากรูปที่ 4.1 สามารถเปรียบเทียบระหว่างเมล็ดกาแฟคั่วบดก่อนสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลต (ก) และเมล็ดกาแฟคั่วบดหลังสกัด (ข) พบว่าเมล็ดกาแฟคั่วบดก่อนการสกัดจะมีกลิ่นหอมและสีเข้ม เนื่องจากมีน้ำมันที่เหลืออยู่มาก ส่วนเมล็ดกาแฟคั่วบดหลังการสกัดจะมีกลิ่นจางลงและมีสีอ่อนลง เนื่องจากน้ำมันได้ถูกสกัดออกมาจนหมด

รูปที่ 4.1 ก) เมล็ดกาแฟคั่วบดก่อนการสกัด และ ข) เมล็ดกาแฟคั่วบดหลังการสกัด

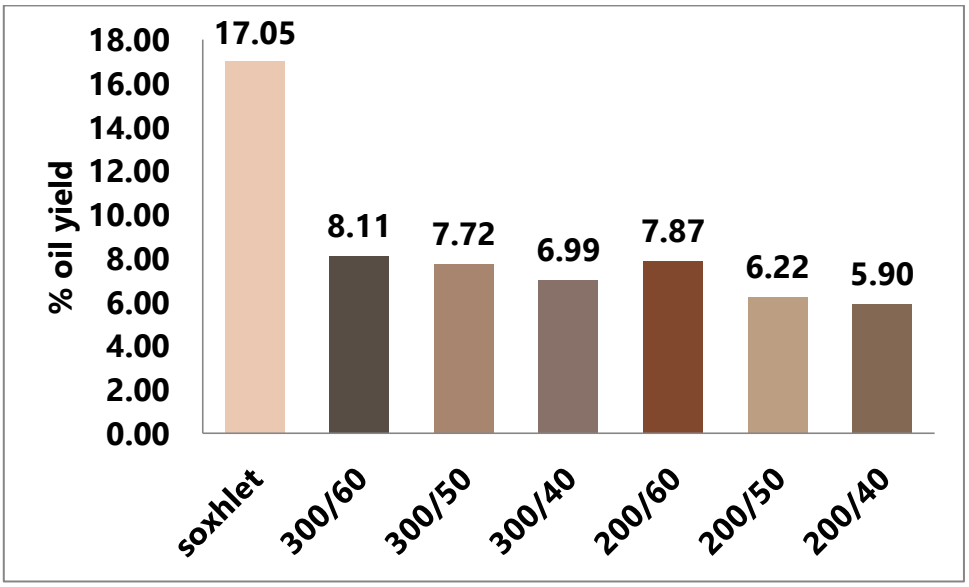


รูปที่ 4.2 ก) น้ำมันกาแฟได้จากการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลต
และ ข) น้ำมันกาแฟที่ได้จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

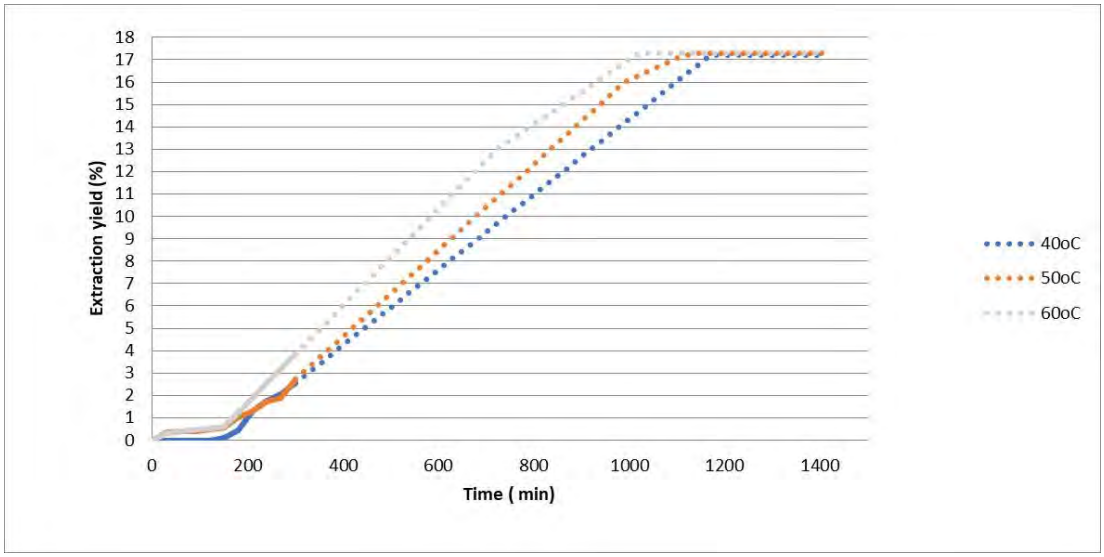
จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงน้ำมันกาแฟที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลต (ก) จะมีลักษณะสีเหลืองเข้มกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต (ข) และยังคงเหลือกลิ่นเฮกเซน ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

4.2 ผลได้ของน้ำมันกาแฟจากการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลตและการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

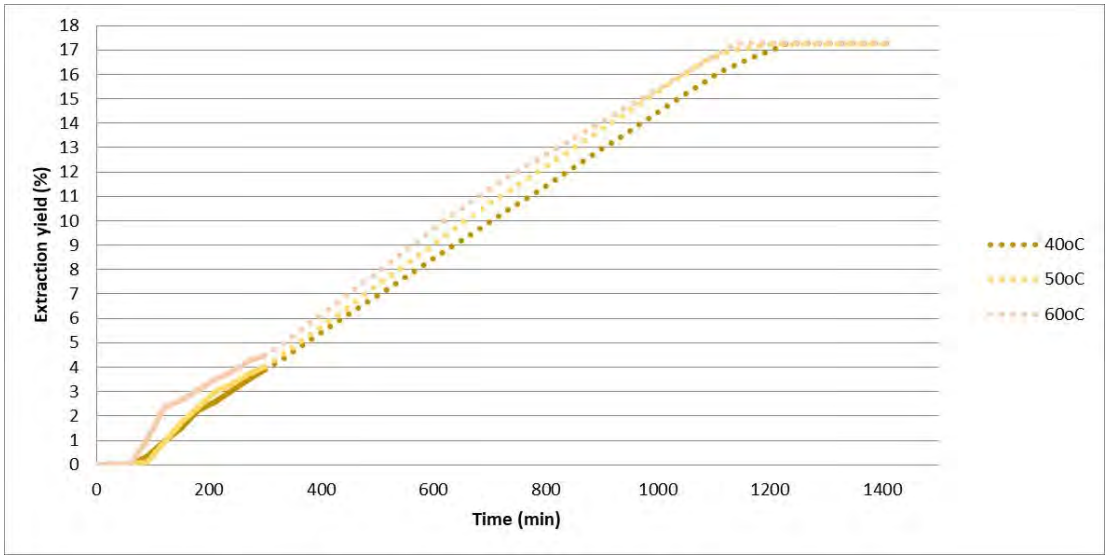
เนื่องจากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่ใช้สำหรับหาร้อยละผลได้ของน้ำมันสูงที่สุด ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบผลการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลต แสดงดังรูปที่ 4.3 โดยการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมงและทำการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 40 ถึง 60 องศาเซลเซียสและความดัน 200 ถึง 300 บาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่า ร้อยละผลได้ของการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลตมีร้อยละผลได้มากถึง 17.05 จากการเปรียบเทียบการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต พบว่า การสกัดจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มจากร้อยละผลได้ โดยกลุ่มแรกคือที่ความดัน 300 บาร์จะได้ร้อยละผลได้มากที่สุดในช่วงร้อยละ 6 ถึง 8 กลุ่มที่ 2 คือที่ความดัน 200 บาร์จะมีร้อยละผลได้ลดลงมาอยู่ในช่วง 5 ถึง 7 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการสกัดทั้ง 2 วิธี นอกจากนี้จะเห็นว่า การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตทำให้มีน้ำมันเหลือค้างอยู่ในเมล็ดกาแฟคั่ว อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตนั้น สาเหตุที่ทำให้ได้ผลได้ที่น้อยกว่าการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลตนั้น คือ น้ำมันน่าจะมีการติดสะสมตามท่อและระหว่างเก็บสารตัวอย่าง อีกทั้งเวลาในการทดลองมีอย่างจำกัด ทำให้ไม่สามารถสกัดน้ำมันออกจากตัวอย่างได้หมด จึงนำร้อยละผลได้ที่สกัดได้ไปสร้างกราฟดูแนวโน้มความสัมพันธ์และคาดคะเนเวลาที่เหมาะสมต่อการสกัด ซึ่งเวลาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 17 ถึง 19 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.3 ร้อยละผลได้ของน้ำมันกาแฟจากการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลตและการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่ภาวะต่างๆ (ความดัน, บาร์/อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4.4 แนวโน้มร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่ความดัน 200 บาร์ จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

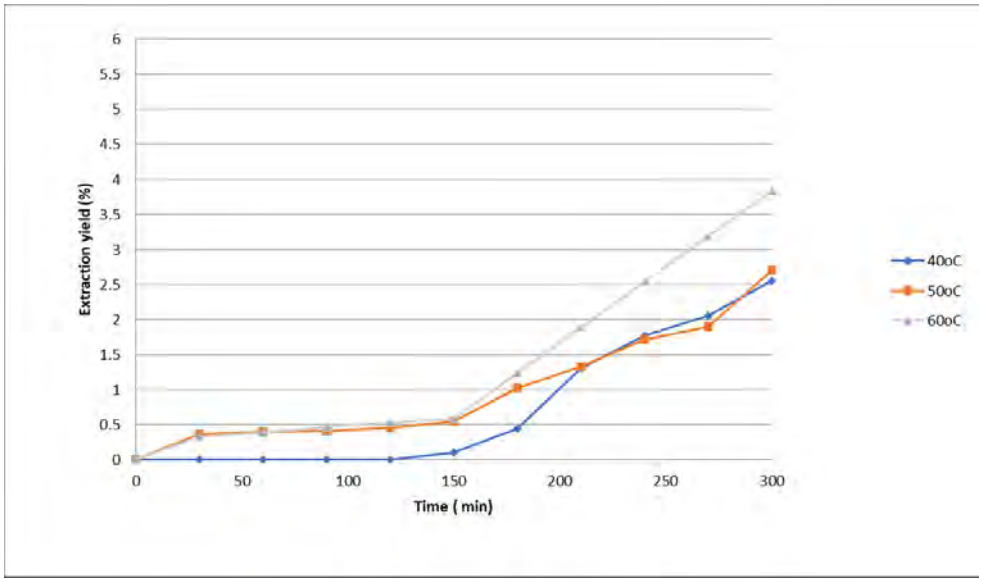


รูปที่ 4.5 แนวโน้มร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่ความดัน 300 บาร์ จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

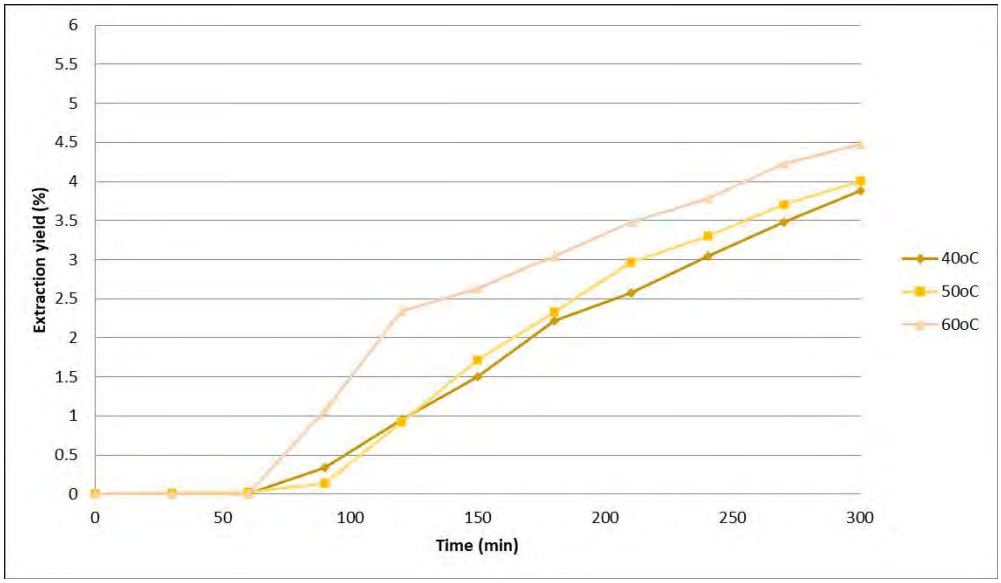
4.3 ผลของอุณหภูมิต่อการสกัดน้ำมันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

ด้วยการทดลองจริง ทำการสกัดเพียง 5 ชั่วโมง ผลได้จึงน้อยกว่าซอกส์เลตมาก แต่การศึกษานี้ต้องการเปรียบเทียบอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต งานวิจัยนี้จึงกำหนดอุณหภูมิที่ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ความดันคงที่ที่ 200 บาร์ ผลการสกัดแสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่า ร้อยละผลได้สุดท้ายของน้ำมันที่มากที่สุดคือที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เท่ากับ 7.87 จากตัวอย่างกาแฟ 20 กรัม และที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ได้ร้อยละผลได้น้ำมันที่ใกล้เคียงกัน คือ 5.90 และ 6.22 ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิทำให้การสกัดดีขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความดันไอของน้ำมันจึงมีแนวโน้มที่จะทำให้น้ำมันถูกสกัดได้ง่ายมากขึ้น แต่หากเพิ่มอุณหภูมิมากเกินไปจะส่งผลในทางตรงกันข้าม เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ความหนาแน่นของ

คาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการทำละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจึงทำให้ร้อยละผลได้ที่สกัดได้ลดลง ดังนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้คือ 60 องศาเซลเซียส [10]



รูปที่ 4.6 ร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่ความดัน 200 บาร์ จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

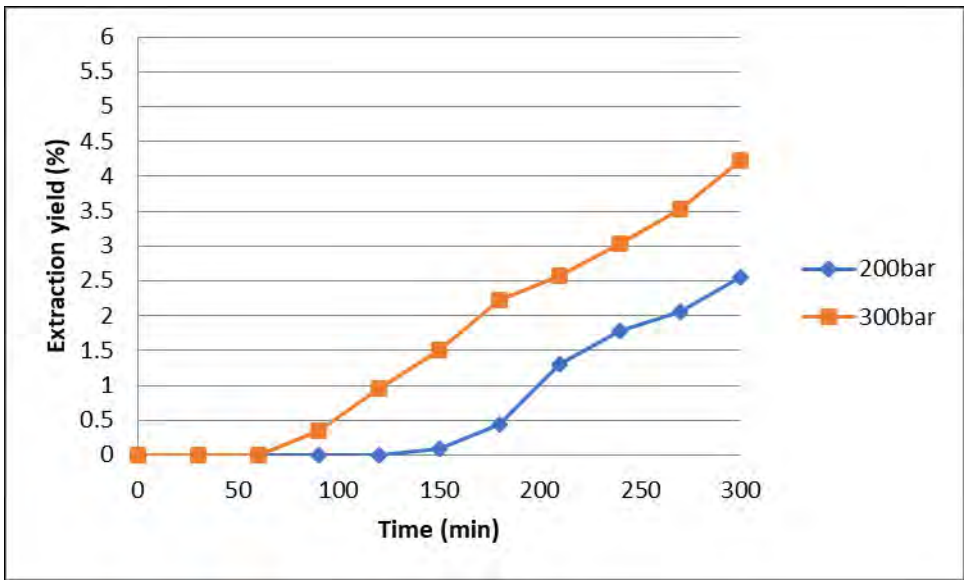


รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่ความดัน 300 บาร์ จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

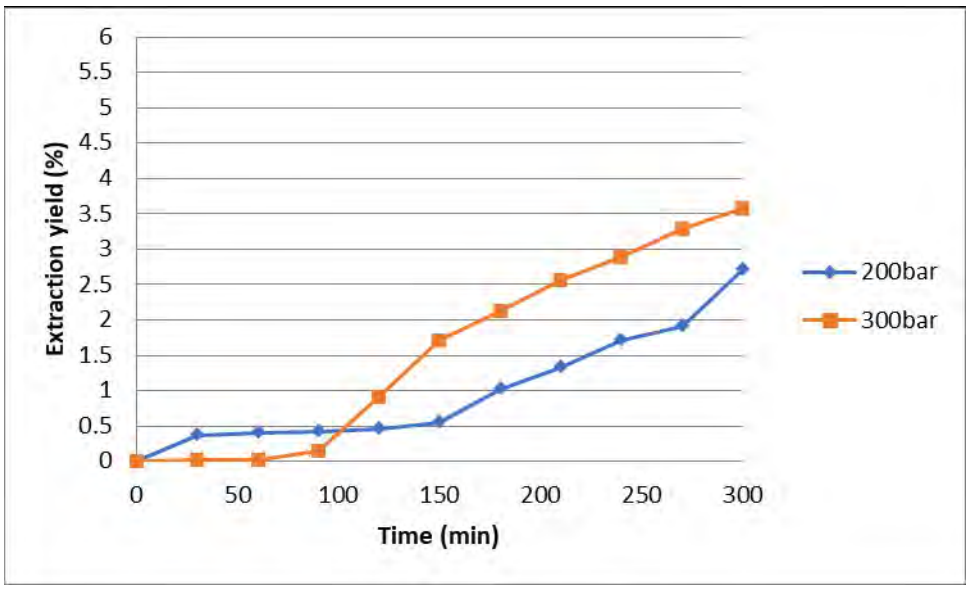
จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเส้นโค้งการสกัดน้ำมันที่ความดัน 300 บาร์ และที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต พบว่า ร้อยละผลได้ของการสกัดจะเพิ่มขึ้นตามเวลาและพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีร้อยละการสกัดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการสกัดที่ 200 บาร์ ผลการสกัดแสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าร้อยละผลได้สุดท้ายของน้ำมันที่มากที่สุดคือที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คือ 8.11 จากตัวอย่างกาแฟ 20 กรัม และที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ได้ร้อยละผลได้น้ำมันที่ใกล้เคียงกัน คือ 6.99 และ 7.72 ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้คือ 60 องศาเซลเซียส

4.4 ผลของความดันต่อการสกัดน้ำมันด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

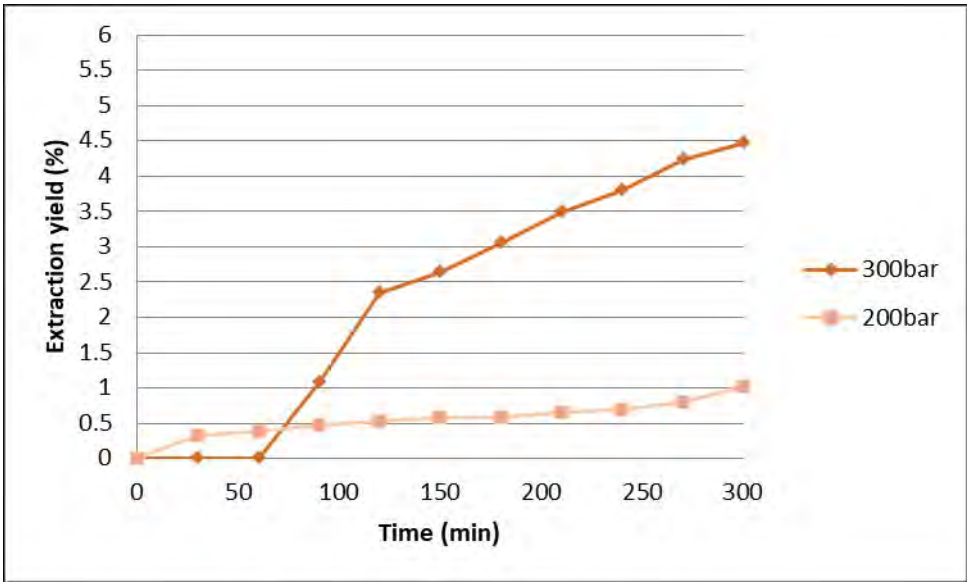
ในทำนองเดียวกันสามารถเปรียบเทียบความดันต่อร้อยละผลได้ของน้ำมันที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความดันที่ 200 และ 300 บาร์ และที่อุณหภูมิคงที่ที่ 40 องศาเซลเซียส ดังแสดงรูปที่ 4.8 พบว่าน้ำหนักของน้ำมันที่ได้สุดท้ายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ 5.90 และ 6.99 ที่ความดัน 200 และ 300 บาร์ ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความดันทำให้ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายสูงขึ้น จึงทำให้น้ำมันถูกสกัดออกมาได้เพิ่มขึ้น ดังนั้น เพื่อให้ได้ร้อยละผลได้สูงสุด ความดัน 300 บาร์จึงเป็นความดันที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งผลสอดคล้องทั้งในการทดลองที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียสด้วย แสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

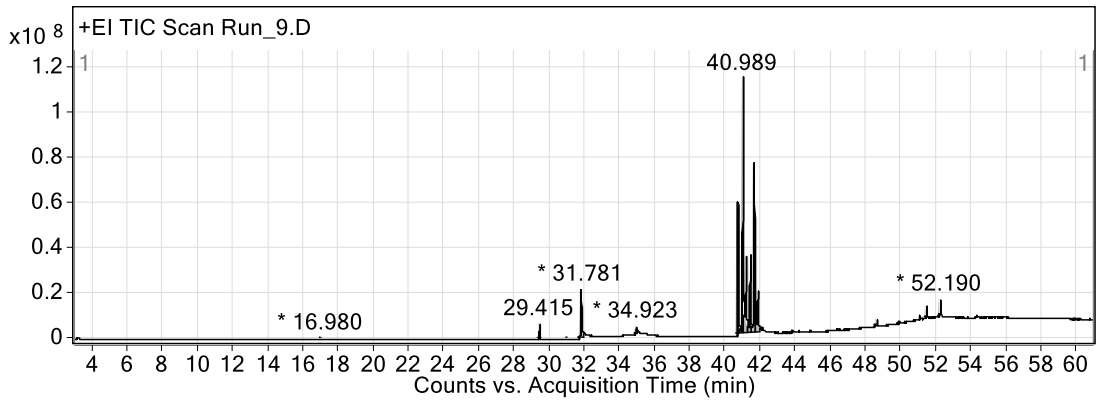


รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต



รูปที่ 4.10 ร้อยละผลได้ของน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต

4.5 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้



รูปที่ 4.11 โครมาโตแกรมของสารสกัดจากเครื่อง GC-MS

จากรูปที่ 5.1 ได้แสดงโครมาโตแกรมจากการวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันกาแฟ พบว่าองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในน้ำมัน ส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่ม Pregnatrien ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ Steroids พบในเมล็ดพืชทั่วไป

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในงานวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตให้ผลได้ที่น้อยกว่าการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลต อาจเป็นเพราะเวลาที่ใช้ในการสกัดยังไม่เพียงพอ สังเกตจากเส้นโค้งการสกัดยังไม่คงที่ และการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่ภาวะต่างๆ ที่อุณหภูมิและความดันมากกว่าจะให้ร้อยละผลได้ที่มากกว่าด้วย ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดกาแฟคั่วด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความดัน 300 บาร์ นอกจากนี้เมื่อนำน้ำมันกาแฟที่ได้ไปตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมัน พบว่า ส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่ม Pregnatrien ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ Steroids พบในเมล็ดพืชทั่วไป

5.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

หลังจากการสกัดน้ำมันทั้ง 2 วิธีนั้น การสกัดเมล็ดกาแฟคั่วด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตควรสกัดน้ำมันจนน้ำหนักของน้ำมันคงที่ เพื่อที่จะทราบเวลาที่แน่นอนที่ใช้ในการสกัด เนื่องจากมีการใช้การสกัดแบบซอกส์เลตมาเป็นตัวเปรียบเทียบร้อยละผลได้ในการสกัดจากคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ดังนั้นควรมีการศึกษาผลของตัวทำละลายด้วย โดยการเปลี่ยนตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดด้วยเครื่องซอกส์เลต เช่น เอทานอล เพื่อเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จากตัวทำลายที่ต่างกันว่าตัวทำละลายใดให้ร้อยละผลได้ที่ดีกว่ากัน สามารถนำกากกาแฟซึ่งเป็นขยะจากอุตสาหกรรมกาแฟมาสกัดเป็นน้ำมันจากกากกาแฟและเปรียบเทียบผลจากการสกัดด้วยเมล็ดกาแฟคั่วบด เพื่อศึกษาตัวแปรในการสกัด ทั้งเวลา อุณหภูมิ และความดัน รวมถึงศึกษาองค์ประกอบในน้ำมันเปรียบเทียบกัน ทั้งนี้ยังเป็นการลดปริมาณกากกาแฟที่เป็นขยะของกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมกาแฟด้วย นอกจากนี้ควรวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันเพิ่มขึ้น เช่น ปริมาณสารประกอบฟีนอล ค่าไอโอดีน ค่าสะพอนิฟิเคชั่น เป็นต้น เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำน้ำมันที่ได้จากการสกัดไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม ยา เครื่องสำอาง อื่นๆ ในอนาคตอีกต่อไป

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ผลได้ของน้ำมันกาแฟโดยวิธีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 200 บาร์

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	น้ำหนักเมล็ดกาแฟคั่วบด (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)	ร้อยละผลได้
40	20.0291	1.1816	5.90
50	20.0830	1.2496	6.22
60	20.3607	1.6020	7.87

ตารางที่ ก.2 ผลได้ของน้ำมันกาแฟโดยวิธีการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 300 บาร์

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	น้ำหนักเมล็ดกาแฟคั่วบด (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)	ร้อยละผลได้
40	20.3954	1.4258	6.99
50	20.0589	1.5463	7.72
60	20.8363	1.6907	8.11

บรรณานุกรม

[1] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์กรมหาชน). 2020. *กาแฟในประเทศไทย*. [online] Available at: http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/coffee/history/01-02.php [Accessed 3 Feb 2020].

[2] Bluekoff Co.,Ltd. 2020. *วิธีการเก็บรักษากาแฟคั่ว*. [online] Available at: https://www.bluekoff.com/Article.aspx?m=view&id=10 [Accessed 3 Feb 2020].

[3] Conversant Technology CO., LTD. 2020. *Extraction Machine*. [online] Available at: https://www.conversant.co.th/herbsextraction [Accessed 3 Feb 2020].

[4] Hartado-Benavides, A., Dorado A., D., and Sanchez-Camargo, A.P., *Study of the fatty acid profile and the aroma composition of oil obtained from roasted Colombian coffee beans by supercritical fluid*, The Journal of Supercritical Fluids, 2016. 113:44-52.

[5] Coffee by Nitchakan Jongpaijitsakun. 2020. *ข้อมูลทั่วไปของกาแฟ*. [online] Available at: https://sites.google.com/a/samakkhi.ac.th/kafae35/ [Accessed 9 Apr 2020].

[6] I.G.Management Co.,Ltd. 2020. *ทำความรู้จักกับ Arabica & Robusta สายพันธุ์กาแฟยอดนิยม*. [online] Available at: http://suzuki-coffee.com/ทำความรู้จักกับ-arabica-robusta/ [Accessed 9 Apr 2020].

[7] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์กรมหาชน). 2020. *กาแฟ Coffee*. [online] Available at: http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/coffee/controller/index.php [Accessed 9 Apr 2020].

[8] Silvetz, M., *Aromatization, Properties, Brewing, Decaffeination and Plant Design*, Coffee Processing Technology, 1963. 2:598.

[9] พิชัย เอี่ยวเล็ก, *การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยวิธีการสกัดของแข็งด้วยของเหลว*, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2016), หน้า 19

[10] Araújom, M.N., Azevedo, A.Q.P.L., Hamerski, F., Voll, F.A.P., Corazza, M.L., *Enhanced extraction of spent coffee grounds oil using high-pressure CO2 plus ethanol solvents*, Industrial Crops and Products, 2019. 141

[11] Botanicessence.com. 2020. *ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับน้ำมันหอมระเหย*. [online] Available at: https://www.botanicessence.com/essential-oil/home/knowledge.jsp [Accessed 10 Apr. 2020].

[12] ศศิกัญญา ดอนดีไพร. 2020. *การสกัดด้วยตัวทำละลาย*. [online] Available at: https://www.slideshare.net/jub21/ss-8396895 [Accessed 10 Apr 2020]

[13] Share.psu.ac.th 2020. *เทคนิคการสกัดแบบ ซอกส์เลต (Soxhlet Extraction)*. [online] Available at: http://share.psu.ac.th/blog/sci-discus/18284 [Accessed 10 Apr 2020].

[14] Zoologist S World. 2020. *Soxhlet extraction*. [online] Available at: https://iubzoologists.blogspot.com/2018/06/soxhlet-extraction-process-of.html [Accessed 10 Apr 2020].

[15] อุษณีย์ ดวงหฤทัยกุล, *การสกัดเปลาโนทอลด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต*, (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2006), หน้า 19

[16] Tst.tw. 2020. *Supercritical Fluid Technology - Taiwan Supercritical Technologies Co., Ltd.*. [online] Available at: http://www.tst.tw/en/technology-more.php?Key=1 [Accessed 10 Apr 2020].

[17] Bitencourt, R.G., Mello, F.M.P.A., Cabral, F.A., Meirelles, A.J.A., *High-pressure fractionation of spent coffee grounds oil using green solvents*, The Journal of Supercritical Fluids, 2020. 157.

[18] Reverchon, E., Marco, I.D., *Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter*, The Journal Supercritical Fluids, 2006. 38:146–166.

[19] Melo, M.M.R., Barbosa, H.M.A., Passos, C.P., Silva, C.M., *Supercritical fluid extraction of spent coffee grounds: measurement of extraction curves, oil characterization and economic analysis*, The Journal Supercritical Fluids, 2014. 86:150–159.

[20] อติพร พิพัฒน์ธาดานุกูล และเบญจวรรณ สุระเรืองชัย. การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไวด์ภาวะเหนือวิกฤต. การสกัดสารมีค่าจากเศษพืชด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต, หน้า 9