

ผลของการใช้คลื่นเหนือเสียงต่อการสกัดสารสำคัญจากบัวบก



นางสาวสมจิตร วงศ์กำชัย

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

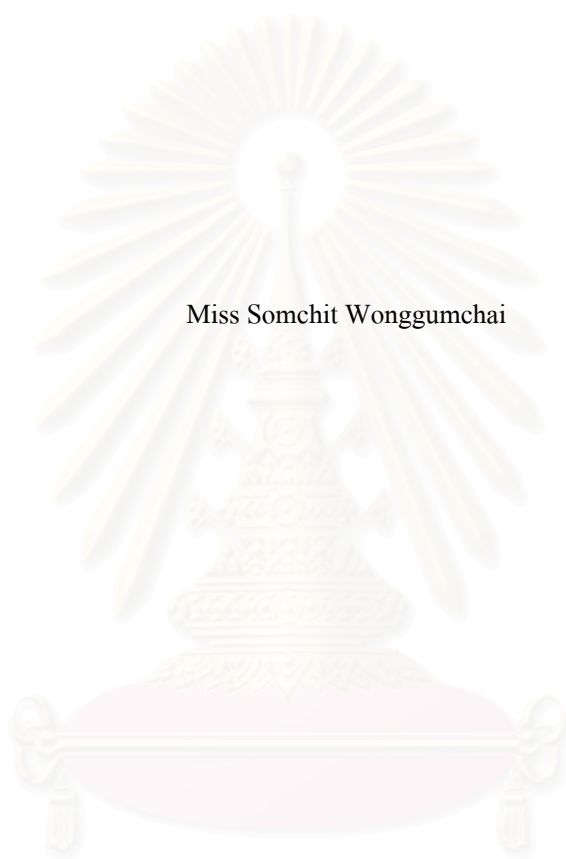
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1265-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF ULTRASOUND ON THE EXTRACTION OF PRINCIPAL SUBSTANCES FROM

Centella asiatica (Linn.) Urban



Miss Somchit Wonggumchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

For the Degree of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1265-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้คลื่นเหนือเสียงต่อการสกัดสารสำคัญจากบัวบก
โดย	นางสาวสมจิตร วงศ์คำชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยชนก วานิชศรี
อาจารย์ที่ปรึกษา (ร่วม)	รองศาสตราจารย์ ชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย สุกาญจน์จันทิ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หทัยชนก วานิชศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

สมจิตร วงศ์กำชัย : ผลของการใช้คลื่นเหนือเสียงต่อการสกัดสารสำคัญจากบัวบก (EFFECTS OF ULTRASOUND ON THE EXTRACTION OF PRINCIPAL SUBSTANCES FROM *Centella asiatica* (Linn.) Urban) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.หทัยชนก วานิชศรี, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ จำนวนหน้า หน้า. ISBN 974-03-1265-9.

การสกัดสารอะเซติโคไซด์ซึ่งเป็นสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางรักษามากมายจากพืชสมุนไพรบัวบกด้วยวิธีการสกัดที่ใช้กัมปคติ พบว่า การสกัดด้วยวิธีนี้ยังคงมีประสิทธิภาพต่ำ ทั้งในแง่ของปริมาณสารที่สกัดได้, เวลาที่ใช้ในการสกัด และการใช้ตัวทำละลายซึ่งเป็นอันตราย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากผงบัวบกด้วยคลื่นเหนือเสียง โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสกัด ได้แก่ เวลาในการสกัด (0.5-90 นาที), ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย (เอทานอล, เมทานอลและอะซิโตนที่ความเข้มข้น 0-100 เปอร์เซ็นต์), ขนาดผงบัวบก (ระหว่าง 0.15-0.85 มิลลิเมตร), อัตราส่วนของผงบัวบกต่อตัวทำละลาย (1-15 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร) และความเข้มของคลื่นเหนือเสียง (9-100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) โดยใช้แหล่งกำเนิดคลื่นเหนือเสียงต่างกัน 2 ชนิดได้แก่ อัลตราโซนิคโพรบ (ความถี่ 20 กิโลเฮิรซ์) และอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (ความถี่ 47 กิโลเฮิรซ์) แล้วทำการเปรียบเทียบปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้จากกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง เพื่อหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัด

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สำหรับกรณีของการใช้อัลตราโซนิคโพรบ เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาในการสกัดเท่ากัน (คือ 1 นาที) พบว่า การสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงสามารถให้ปริมาณอะเซติโคไซด์มากกว่าในกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงสูงถึง 3 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณของอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้เท่ากัน (คือ 1.2 กรัมอะเซติโคไซด์ต่อ 100 กรัมผงบัวบก) พบว่า เมื่อใช้คลื่นเหนือเสียงจะใช้เวลาในการสกัดเพียง 1 นาที ส่วนกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ต้องใช้เวลาในการสกัดนานถึง 90 นาที ในทำนองเดียวกัน สำหรับกรณีของอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง พบว่า เมื่อใช้เวลาของการสกัดเท่ากัน (คือ 10 นาที) การใช้คลื่นเหนือเสียง จะทำให้สกัดได้มากกว่า 1.5 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้เท่ากัน (คือ 1 กรัมอะเซติโคไซด์ต่อ 100 กรัมผงบัวบก) พบว่า การใช้คลื่นเหนือเสียงจะใช้เวลาในการสกัดเพียง 1/4 ของเวลาในการสกัดเมื่อไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง

สำหรับการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด พบว่า ได้ผลการทดลองในทำนองเดียวกันทั้งกรณีของการใช้อัลตราโซนิคโพรบและอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง โดยพบว่า สถานะที่เหมาะสมในการสกัด ได้แก่ ตัวทำละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร), อนุภาคของผงบัวบกที่มีขนาดระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร, อัตราส่วนของอนุภาคผงบัวบกต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร, ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงเท่ากับ 35 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และเวลาที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 1 นาที สำหรับการศึกษผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสูญเสียสภาพของสารอะเซติโคไซด์ พบว่า คลื่นเหนือเสียงไม่มีผลทำลายสภาพของสารอะเซติโคไซด์ภายใต้สภาวะการทดลองนี้ การเลือกสภาวะการสกัดที่เหมาะสมจะทำให้วิธีการสกัดด้วยคลื่นเหนือเสียงมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อย่างสูง

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2544.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4170556321 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : EXTRACTION / ASIATICOSIDE / ULTRASOUND

SOMCHIT WONGGUMCHAI : EFFECTS OF ULTRASOUND ON THE EXTRACTION OF PRINCIPAL SUBSTANCES FROM *Centella asiatica* (Linn.) Urban. THESIS ADVISOR: ASSIST.PROF.HATHAICHANOK VANISRI, Ph.D. THESIS COADVISOR: ASSOC. PROF. CHAIYO CHAICHANTIPYUTH, pp. ISBN 974-03-1265-9.

The extraction of asiaticoside of which shows many healing effects from *Centella asiatica* (Linn.) Urban by the conventional method was found the low efficiency in terms of the amount of asiaticoside and the extraction time; and the hazardous solvent used. Thus, the use of ultrasound to enhance the extraction efficiency of asiaticoside is proposed and studied in this present research. To investigate the factors affecting the extraction process, series of experiments were carried out at various conditions i.e. the irradiation time between 0.5-90 minutes, the three different kinds and concentration of solvent (ethanol, methanol and acetone with the concentration between 20-100%), the particle sizes between 0.15-0.85 mm, the ratio of solid to solvent between 1-15 g/100 ml and the intensity of ultrasound between 9-100 W/cm². Two types of the ultrasonic sources have been used i.e. an ultrasonic probe (20 kHz) and an ultrasonic bath (47 kHz). The amounts of asiaticoside obtained from the cases with ultrasound have been compared to the cases without ultrasound to investigate the most suitable operating conditions.

From the experimental results, it is shown that in case of the ultrasonic probe, within the same extraction time (i.e.1 minute) the use of ultrasound can enhance the yield of the extraction up to 3 times compared with the case without ultrasound. When the same amount of asiaticoside extracted is compared (i.e. 1.2 g asiaticoside/100 g dried particle solids), the extraction time used is only one minute in the case with ultrasound compared to 90 minutes used in the case without ultrasound. Similarly, for the case of the ultrasonic bath, it is found that the amount of asiaticoside extracted can be increased by 1.5 times in the case of ultrasonic irradiation compared to the case without the irradiation under the same extraction time (i.e. 10 minutes). When the same amount of asiaticoside extracted is compared (i.e. 1 g asiaticoside/100 g dried particle solids), the extraction time is reduced to ¼ of the time used in the case without an ultrasonic irradiation.

The results concerning with the factors affecting the extraction process obtained from the use of the ultrasonic probe have the similar trends. The suitable operating conditions are found as the following: the 40% ethanol solvent (V/V), a particle size of 0.25-0.425 mm, a ratio of solid to solvent of 1 g/100 ml, an ultrasonic intensity of 35 W/cm² within 2 min of the extraction time. The effect of ultrasonic on the chemical composition of asiaticoside is unfound under the experiment conditions. Under an appropriated operating condition, the use of ultrasound in the extraction is found economically attractive.

Department.....Chemical Engineering.....Student 's signature.....

Field of study..... Chemical Engineering.....Advisor 's signature.....

Academic year.....2001.....Co-advisor 's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยชนก วานิชศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ชัยโย ชัยชาญพิทยุทธ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำในการดำเนินการวิจัยและความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจน์จิติ ประธานกรรมการ และรองศาสตราจารย์ ดร.จिरกานต์ เมืองนาโพธิ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก ทุนผู้ช่วยวิจัยโครงการเมธีวิจัยอาวุโส ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัฒตะพานิชกุล – สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณภาควิชาเภสัชเวช ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณอรสา ชูสกุล ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณสาวิตรี แสงแก้ว ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณศศิธร คงเรือง ที่ให้ความช่วยเหลือในการค้นคว้าข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ อ้อย จุ่ม และเป็ด เพื่อนเก่าจากโรงเรียนสตรีศรีสุริโยทัย ที่ช่วยเติมสีสันให้ชีวิต และเป็นกำลังใจในทุกๆเรื่อง

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีอนุภาค ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย ให้ความรู้ทางคอมพิวเตอร์ และให้สีสันแก่ชีวิตตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว ที่ให้ชีวิต ความรัก ความอบอุ่น ความเอาใจใส่และเป็นกำลังใจเสมอมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ฉ
สัญลักษณ์	ค
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของบัวบก	6
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของบัวบก	7
2.3 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและการทดลองทางคลินิคของบัวบก	11
2.4 อะเซติลโคลีน	12
2.4.1 โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมี.....	12
2.4.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ.....	14
2.4.3 การสกัดแยกและการทำให้บริสุทธิ์.....	15
2.4.4 ชีวสังเคราะห์	17
2.4.5 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา	18
2.5 งานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดสารสำคัญจากบัวบก	20
2.6 งานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดสมุนไพรด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง	23
3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการสกัด	27
3.1 คำจำกัดความในกระบวนการสกัดสมุนไพร	27
3.2 การสกัดสมุนไพร	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
3.2.1	ขั้นตอนต่างของกระบวนการสกัด	29
3.2.2	กลไกของกระบวนการสกัด	29
3.2.3	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการสกัด	31
3.2.4	การเตรียมสมุนไพรสำหรับการสกัด	34
3.2.5	การเลือกตัวทำละลาย	34
3.2.6	วิธีการสกัด	38
3.2.6.1	การแช่เย็น	39
3.2.6.2	การปล่อยให้ไหลซึมผ่าน	42
3.2.6.3	การสกัดอย่างต่อเนื่อง	46
4	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นเหนือเสียง	49
4.1	ปรากฏการณ์คาวิตേഷัน	50
4.2	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดคาวิตേഷัน	52
4.3	อุปกรณ์ทดลองที่ใช้ร่วมกับคลื่นเหนือเสียง	56
5	อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	58
5.1	วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	58
5.2	การเตรียมตัวอย่างบับก	59
5.3	วิธีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิกโพรบ	60
5.3.1	คุณลักษณะของอัลตราโซนิกโพรบ	60
5.3.2	การสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิกโพรบ	61
5.3.3	ตัวแปรที่ศึกษา	64
5.4	วิธีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง	66
5.4.1	คุณลักษณะของอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง	66
5.4.2	การสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง	66
5.4.3	ตัวแปรที่ศึกษา	68
5.5	ขั้นตอนการวิเคราะห์สารตัวอย่าง	69
5.5.1	การทำกราฟมาตรฐานของสารอะเซติลโคโคไซด์	69

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารอะเซติลโคโคไซด์ของสารตัวอย่าง	70
5.6 วิธีการศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของผงไบบับก..	70
5.7 วิธีการศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสูญเสียสภาพของสารอะเซติลโคโคไซด์	72
6 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	73
6.1 ผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิคโพรบ.....	75
6.1.1 เวลาในการสกัด	75
6.1.2 ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย	79
6.1.3 ขนาดของอนุภาคผงไบบับก	86
6.1.4 อัตราส่วนของผงไบบับกต่อตัวทำละลาย	88
6.1.5 ความเข้มของคลื่นเหนือเสียง	93
6.2 ผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยอ่างทำความสะอาด้วย คลื่นเหนือเสียง	96
6.2.1 เวลาในการสกัด	96
6.2.2 ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย	100
6.2.3 ขนาดของอนุภาคผงไบบับก	101
6.2.4 อัตราส่วนของผงไบบับกต่อตัวทำละลาย	104
6.3 ผลผลิต (Yield) อะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้จากผงไบบับก.....	108
6.4 ผลของคลื่นเหนือเสียงต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของการสกัดสาร อะเซติลโคโคไซด์	108
6.5 ผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของผงไบบับก	112
6.5.1 การศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเซลผงไบบับกด้วยเครื่องวัดขนาด อนุภาค.....	112
6.5.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของผงไบบับกจากการถ่ายภาพจาก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	115
6.6 ผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสูญเสียสภาพของสารอะเซติลโคโคไซด์	119
6.7 การประเมินต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์จากบับกและ การประเมินความคุ้มค่าจากการปรับปรุงกระบวนการสกัดด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง....	122

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.7.1 การคำนวณต้นทุนและค่าใช้จ่ายของการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์จากบัวบก.....	122
6.7.2 การประเมินความคุ้มค่าจากการปรับปรุงกระบวนการสกัดด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง..	125
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม	126
7.1 สรุปผลการวิจัย	126
7.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม	129
7.2.1 อัลตราโซนิคโพรบ	129
7.2.2 อย่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง	129
7.2.3 การวิจัยเพิ่มเติมอื่นๆที่น่าสนใจ	130
รายการอ้างอิง	131
ภาคผนวก	135
ภาคผนวก ก	136
ข	143
ค	145
ง	160
จ	162
ฉ	170
ช	173
ซ	177
ประวัติผู้ทำการวิจัย	180

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ส่วนประกอบและสูตรโครงสร้างทางเคมีที่พบในบัวบก.....	7
2.2	สารประกอบทางเคมีของบัวบกที่พบในแหล่งต่างๆของแถบอินเดียและศรีลังกา.....	20
2.3	รายละเอียดเกี่ยวกับแหล่งปลูก จำนวนโครโมโซมและปริมาณอะเซติโคไซด์จาก บัวบกในประเทศอินเดีย.....	22
2.4	ผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรต่างๆ.....	26
5.1	สถานะที่ใช้ทดสอบการสูญเสียคุณสมบัติของสารอะเซติโคไซด์.....	72
6.1	ตารางแสดงปริมาณและอัตราการสกัดสารอะเซติโคไซด์กรณีที่ใช้อัลตราโซนิกโพรบ ที่เพิ่มขึ้นจากกรณีไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียง.....	78
6.2	ตารางแสดงค่าความมีขั้วและค่าความหนืดของตัวทำละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ใช้ในการสกัด.....	83
6.3	ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ใน กรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงโดยใช้ตัวทำละลายต่างกัน.....	86
6.4	ตารางแสดงการเพิ่มขึ้นของสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้กรณีการลดขนาด อนุภาคต่างกัน.....	87
6.5	ตารางปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้จากกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงที่ความเข้มข้นเหนือ เสียงและเวลาของการสกัดต่างกัน.....	94
6.6	ตารางแสดงปริมาณและอัตราการสกัดสารอะเซติโคไซด์กรณีที่ใช้่างทำความสะอาด ด้วยคลื่นเหนือเสียงที่เพิ่มขึ้นจากกรณีไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียง	99
6.7	ตารางแสดงการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์อะเซติโคไซด์ที่สกัดได้กรณีการลดขนาด อนุภาคต่างกันสำหรับ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	102
6.8	ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของการสกัดโดยวิธีใช้และไม่ใช้คลื่น เหนือเสียง.....	110
6.9	ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการสกัดสารอะเซติโคไซด์ด้วยวิธีอัลตราโซนิกโพรบและวิธีที่ไม่ ใช้คลื่นเหนือเสียง	123
6.10	ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการสกัดสารอะเซติโคไซด์ด้วยวิธี่างทำความสะอาดด้วยคลื่น เหนือเสียง และวิธีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง.....	124

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	ลักษณะของบ๊วบก.....	6
2.2	สูตร โครงสร้างทางเคมีของสารอะเซตีลโคโคไซด์.....	13
2.3	ขั้นตอนการสกัดแยกสารอะเซตีลโคโคไซด์ให้บริสุทธิ์.....	16
2.4	ชีวสังเคราะห์ของ α - อะไมริน.....	18
3.1	ถังแช่เย็น.....	39
3.2	การสกัดแบบมีการหมุนเวียนของตัวทำละลาย.....	40
3.3	การสกัดแบบหลายขั้นตอน(Multiple Stage Extraction.....	40
3.4	เพอร์คอลลีเตอร์.....	42
3.5	การสกัดแบบเบดเตอรีแบบที่ 1.....	43
3.6	การสกัดแบบเบดเตอรีแบบที่ 2.....	43
3.7	การสกัดแบบเบดเตอรีแบบที่ 3.....	44
3.8	การสกัดแบบเบดเตอรีแบบที่ 4.....	44
3.9	การสกัดแบบเบดเตอรีแบบที่ 5.....	45
3.10	การสกัดแบบเบดเตอรีแบบที่ 6.....	45
3.11	เครื่องสกัดอย่างต่อเนื่องแบบ บี.พี. (B. P. Continuous Extractor).....	47
3.12	ซอกเล็ตเอ็กซ์แทรกเตอร์ (Soxhlet Extractor).....	48
4.1	อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic cleaning bath).....	56
4.2	อัลตราโซนิคโพรบ (Ultrasonic probe).....	57
5.1	ชุดอุปกรณ์ของการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิคโพรบ.....	62
5.2	ไดอะแกรมชุดอุปกรณ์ของการสกัดอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิคโพรบ.....	62
5.3	คอลัมน์แก้ว 2 ชั้นที่ใช้กับอัลตราโซนิคโพรบ.....	63
5.4	ขนาดของคอลัมน์แก้ว 2 ชั้นที่ใช้กับอัลตราโซนิคโพรบ.....	63
5.5	ตำแหน่งการวางหัวโพรบในคอลัมน์.....	64
5.5	ชุดอุปกรณ์ของการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	67
5.6	ไดอะแกรมชุดอุปกรณ์ของการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	67

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.7	ตำแหน่งการวางขวดรูปชมพูในอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง..... 68
6.1	แสดงลักษณะการสกัดด้วยคลื่นเหนือเสียงที่ทำให้เกิดการปั่นกววน..... 74
6.2	แสดงลักษณะการสกัดด้วยคลื่นเหนือเสียงที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนผิวหน้าอนุภาคของแข็ง..... 75
6.3	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ที่เวลาต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบและวิธีแช่..... 77
6.4	กราฟแสดงอัตราการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ที่เวลาต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบและวิธีแช่..... 78
6.5	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบและวิธีแช่..... 80
6.6	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายเมทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบและวิธีแช่..... 80
6.7	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตนที่ความเข้มข้นต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบและวิธีแช่..... 81
6.8	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายความเข้มข้นต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบและวิธีแช่..... 81
6.9	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้โดยใช้ขนาดอนุภาคผงบวบกแห้งต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบและวิธีแช่..... 87
6.10	กราฟแสดงความเข้มข้นของอะเซติลโคโคไซด์ในตัวทำละลายที่สกัดได้ ที่อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบและวิธีแช่..... 90
6.11	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ที่อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบและวิธีแช่..... 90
6.12	รูปแสดงตำแหน่งของหัวโพรบและลักษณะการกระจายของผงบวบกในตัวทำละลายในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงในการสกัด 92
6.13	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้กรณีที่ใช้ความเข้มข้นของคลื่นเหนือเสียงต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบ..... 94

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
6.14	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ที่เวลาต่างๆกัน โดยวิธีอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงและวิธีแช่.....	97
6.15	กราฟแสดงอัตราการสกัดอะเซติลโคไนด์ที่เวลาต่างๆกันในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง	97
6.16	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆกันในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	100
6.17	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้โดยใช้ขนาดอนุภาคผงบัวบกต่างๆกันในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	102
6.18	กราฟแสดงความเข้มข้นของสารอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้โดยใช้อัตราส่วนบัวบกต่อตัวทำละลายต่างๆกันในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงและวิธีแช่.....	105
6.19	กราฟแสดงปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้โดยใช้อัตราส่วนบัวบกต่อตัวทำละลายต่างๆกันในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงและวิธีแช่.....	105
6.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $\ln(C_{AS} / C_{AS} - C_A)$ กับเวลาเพื่อหาค่าความชันของกราฟกรณีการสกัดด้วยวิธีต่างๆกัน.....	110
6.21	กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของผงใบบัวบกก่อนและหลังการสกัดในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิกโพรบที่เวลาในการสกัดต่างกัน.....	112
6.22	กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของผงใบบัวบกก่อนและหลังการสกัดใน กรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงที่เวลาในการสกัดต่างกัน.....	113
6.23	กราฟแสดงปริมาณที่เพิ่มขึ้นของอนุภาคบัวบกที่มีขนาดเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตรก่อนและหลังการสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงที่เวลาในการสกัดต่างกัน.....	113
6.24	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงใบบัวบกขนาดที่อยู่ระหว่าง 0.6-0.85 มิลลิเมตรก่อนทำการสกัด.....	115
6.25	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงใบบัวบกขนาดที่อยู่ระหว่าง 0.6-0.85 มิลลิเมตรหลังการสกัด โดยวิธีอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง.....	116

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.26 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงไบบัวบก ขนาดที่อยู่ระหว่าง 0.6-0.85 มิลลิเมตรหลังการสกัดโดยวิธีอัลตราโซนิคโพรบ.....	116
6.27 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงไบบัวบก ขนาดที่อยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตรก่อนทำการสกัด.....	117
6.28 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงไบบัวบกขนาด ที่อยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตรหลังการสกัด โดยวิธีอ่างทำความสะอาด้วยคลื่น เหนือเสียง.....	117
6.29 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงไบบัวบกขนาดที่ อยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตรก่อนหลังการสกัดโดยวิธีอัลตราโซนิคโพรบ.....	118
6.30 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงตามความยาวคลื่นในช่วง 200-500 นาโนเมตรของสาร สกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบที่ความเข้มข้นของคลื่นเหนือเสียงต่างกันโดยใช้เวลาในการ สกัด 1 นาที.....	119
6.31 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงตามความยาวคลื่นในช่วง 200-500 นาโนเมตรของสาร สกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบที่ความเข้มข้นของคลื่นเหนือเสียงต่างกันโดยใช้เวลาในการ สกัด 2 นาที.....	120
6.32 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงตามความยาวคลื่นในช่วง 200-500 นาโนเมตรของสาร สกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบที่ความเข้มข้นของคลื่นเหนือเสียงต่างกันโดยใช้เวลาในการ สกัด 5 นาที.....	120
6.33 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงตามความยาวคลื่นในช่วง 200-500 นาโนเมตรของสาร สกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบที่ความเข้มข้นของคลื่นเหนือเสียงต่างกันโดยใช้เวลาในการ สกัด 10 นาที.....	121

สัญลักษณ์

A	พื้นที่ผิวของอนุภาคของแข็ง (ตารางเมตร)
C_A	ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลาย ณ เวลาใดๆ (กิโลกรัมโมลต่อลูกบาศก์เมตร)
C_{AS}	ค่าความเข้มข้นอิ่มตัวของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลาย (กิโลกรัมโมลต่อลูกบาศก์เมตร)
D_A	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (ตารางเมตรต่อวินาที)
K	ค่าโพลีโทรปิกอินเด็ก (polytropic index) ของก๊าซ
K_L	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (เมตรต่อวินาที)
K_r	ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (ต่อวินาที)
N_A	อัตราการถ่ายโอนจำนวนโมลของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลาย (กิโลกรัมโมลต่อวินาที)
N_{AR}	อัตราการถ่ายโอนจำนวนโมลของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลาย (กิโลกรัมโมลต่อตารางเมตร-วินาที)
P	ความดันภายในควิวเทชัน (กิโลปาสกาล)
P_a	ความดันของคลื่นเหนือเสียง (กิโลปาสกาล)
P_g	ความดันของก๊าซภายในควิวเทชัน (กิโลปาสกาล)
P_h	ความดันของของเหลวเนื่องจากแรงกดของน้ำ (กิโลปาสกาล)
P_m	ความดันภายในควิวเทชันของเหลว ณ เวลาที่เกิดการยุบตัวของฟอง (กิโลปาสกาล)
P_v	ความดันไอภายในควิวเทชัน (กิโลปาสกาล)
P_{vg}	ความดันของไอหรือก๊าซภายในควิวเทชัน (กิโลปาสกาล)
R_m	รัศมีของควิวเทชันก่อนการยุบตัว (ไมโครเมตร)
T	เวลาที่ใช้ในการสกัด (วินาที)
T_0	อุณหภูมิของของเหลว (เคลวิน)
Y	ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลาย (กิโลกรัมโมลต่อลูกบาศก์เมตร)
Y_{max}	ค่าความเข้มข้นสูงสุดของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลาย (กิโลกรัมโมลต่อลูกบาศก์เมตร)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

- ρ ความหนาแน่นของของเหลว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
 σ แรงตึงผิวของของเหลว (นิวตันต่อเมตร)
 τ เวลาที่ใช้ในการยุบตัวของคาพิเทชัน (นาที่)
 ω แอมพลิจูดของคลื่นเสียง (-)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันมีการนำพืชสมุนไพรมาใช้ในการรักษาโรคมามากขึ้น เพื่อทดแทนยาที่ได้มาจากการสังเคราะห์ ในวงการเภสัชกรรมและวงการแพทย์ ทั้งในรูปของยาทา ยากิน และยาฉีด ทั้งนี้เนื่องจากยารักษาโรคที่ผลิตได้จากพืชสมุนไพรมีราคาต่ำกว่า มีความปลอดภัยในการใช้ยาสูง ช่วยลดผลกระทบของอาการข้างเคียงที่เกิดจากการใช้ยาและมีประสิทธิภาพในการรักษาที่ดี

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีทรัพยากรทางด้านพืชสมุนไพรอยู่มากและมีประโยชน์มากมาย อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์ของสมุนไพรไทยส่วนใหญ่ยังทำกันในรูปแบบง่ายๆ เช่น ต้มกับน้ำเพื่อใช้ดื่ม ด่าให้ละเอียดเพื่อใช้ปิดแผล นอกจากนี้การแปรรูปสมุนไพรยังคงจำกัดเพียงแค่การอบแห้งสมุนไพรเพื่อให้เก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานานเท่านั้น ทำให้ไม่สะดวกในการใช้และไม่สามารถควบคุมความแรงของยาได้ รวมทั้งมีการเสื่อมสภาพของตัวยาอันเนื่องมาจากการกระทำของเอนไซม์ที่ปนอยู่ในสมุนไพร จึงเป็นข้อดีและเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะมีการนำพืชสมุนไพรมาสกัดทำยารักษาโรคต่างๆ ตามสรรพคุณทางยาของพืชสมุนไพรแต่ละชนิดต่อไป เพื่อให้ได้ตัวยาที่เข้มข้นพอที่สามารถควบคุมความแรงของยาได้ง่าย ลดการเสื่อมสภาพของตัวยาให้น้อยลง ง่ายต่อการพัฒนาตำรับยาเตรียมชนิดต่างๆ ให้มีความคงตัว รวมทั้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สวยงาม นำใช้ สะดวกในการเก็บและขนส่งมากกว่าในรูปสมุนไพร [1] ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาทางด้านองค์ประกอบเคมี และเภสัชวิทยาของพืชสมุนไพร รวมทั้งยังมีการค้นคว้าและทำการสกัดยาจากพืชสมุนไพร เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้มีการนำพืชสมุนไพรมาใช้เป็นยารักษาโรค

บัวบกเป็นพืชท้องถิ่นที่พบทั่วไปในประเทศไทย เคยมีผู้ตรวจพบว่าบัวบกมีสารสำคัญที่ชื่อว่า อะเซียติโคไซด์ (asiaticoside: $C_{48}H_{78}O_{19}$) ซึ่งเป็นไตรเทอร์พีนอยด์ กลัยโคไซด์ (triterpenoid glycoside) ชนิดหนึ่ง เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ (hydrolysis) จะให้อะเซียติก แอซิด (asiatic acid), กลูโคส (glucose) และ แรมโนส (rhamnose) สารอะเซียติโคไซด์ มีฤทธิ์ละลายส่วนที่เป็นไขมันกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคเรื้อรังและวัณโรคผิวหนัง จึงมีคุณสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย และรักษาแผลเนื่องจาก lupus erythematosus และ herpes simplex โดยปรับสภาพให้ผิวหนังเพิ่มความหนาโดยเร็ว กระตุ้นการเจริญเติบโตของผมและเล็บ [2] นอกจากนี้ อะเซียติโคไซด์ยังมีผลช่วยทำให้แผลกระจุกตาหายเร็วขึ้น ให้ผลในการรักษาแผลไหม้ แผลผ่าตัดที่ใช้ผิวหนังส่วนอื่นมาปะ (skin graft) และผิวหนังที่แข็งกระด้าง ได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ ป้องกันอาการท้องลาย รวมทั้งยับยั้งการสร้างมิวโคโพลีแซคคาไรด์ (mucopolysaccharide) และ คอลลาเจน (collagen) และลดการเกิดแกรนูลเลชัน (granulation) ซึ่งเป็นสาเหตุของแผลเป็น จากความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงมีผู้นำสารสกัดจากบัวบกมาผลิตในรูปแบบต่างๆ เช่น แป้ง ครีม ขี้ผึ้ง เม็ด เพื่อใช้ในการรักษา

แผล เช่น บาดแผลแยกจากการผ่าตัด และแผลเซลล์อักเสบจากความร้อนใหม่ นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้เป็น ส่วนประกอบของเครื่องสำอางหลายชนิด [3]

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [4] แสดงให้เห็นว่าการสกดอะเซติลโคไลด์จากบัวบกยังคงมีประสิทธิภาพที่ต่ำ ทั้งในแง่ของปริมาณสารสกัดที่ได้, ระยะเวลาที่ใช้ในการสกด และตัวทำลายซึ่งมีราคาแพงและเป็นอันตราย รวมทั้งแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ก็มีข้อจำกัดในการลดขนาดอนุภาค เนื่องจากถ้าปริมาณตัวถูกละลายที่มีอยู่ในของแข็งมีน้อยมาก การบดของแข็งให้ละเอียดจะสิ้นเปลืองพลังงานสูงทำให้ต้นทุนสูง นอกจากนี้ หากของแข็งถูกทำให้เล็กมากๆ เมื่อเราใช้ระบบกวนให้ของแข็งอยู่ในสภาวะแขวนลอย อาจทำให้เกิดความยุ่งยากในการแยกในขั้นตอนสุดท้าย ส่วนในกรณีของการเพิ่มอุณหภูมิในการสกดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพก็ไม่สามารถทำได้มากนัก เนื่องจากตัวยาในสมุนไพรส่วนใหญ่จะถูกทำลายได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง [5]

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1965 เริ่มมีผู้นำคลื่นเหนือเสียงมาประยุกต์ใช้ในการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพร เช่น การสกัดอัลคาลอยด์จากสมุนไพร [6] การสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง [7] การสกัดซาโปนินจากโสม [8] การสกัดสารจากใบชา [9] และการสกัดแคปไซซินจากพริก [10] ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้คลื่นเหนือเสียงในการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรจะได้ปริมาณสารสกัดที่สูงกว่า ใช้ระยะเวลาที่น้อยกว่า และใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีที่ไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียง ผลการศึกษานี้จึงเป็นเหตุให้เกิดความสนใจที่จะนำคลื่นเหนือเสียงมาใช้ในการสกัดสมุนไพร และเนื่องจากบัวบกเป็นพืชที่หาได้ง่าย ราคาถูก และมีสารสำคัญที่มีประโยชน์มากมาย แต่การสกัดสารสำคัญจากบัวบกในปัจจุบันยังมีประสิทธิภาพต่ำ บัวบกจึงถูกเลือกเป็นสมุนไพรที่จะนำมาใช้เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการสกด รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกดอะเซติลโคไลด์ด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการสกดสมุนไพรและการนำคลื่นเหนือเสียงไปใช้ในกระบวนการสกดสมุนไพรในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

การนำคลื่นเหนือเสียง (ultrasound) หรือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยิน (นั่นคือ คลื่นเสียงที่มีความถี่มากกว่า 20 กิโลเฮิรซ์) ที่มีกำลังสูงมาใช้ในปฏิกิริยาเคมีเป็นเทคโนโลยีที่เรียกว่า Sonochemistry [11] ซึ่งมีการค้นพบมามากกว่า 80 ปีแล้ว จนกระทั่งประมาณ 15 ปีที่ผ่านมา การนำคลื่นเหนือเสียงมาใช้กลายเป็นหนึ่งในสาขาวิจัยที่มีความตื่นตัวอย่างสูง พร้อมด้วยแนวโน้มที่สามารถนำไปใช้ได้ ในอุตสาหกรรมกระบวนการทางเคมี เนื่องจากกระบวนการนี้สามารถลดเวลาในการผลิต หรือเพิ่มผลผลิตภายใต้สภาวะของปฏิกิริยาที่ไม่รุนแรง เป็นต้น มีหลายทฤษฎีที่อธิบายการเกิดปรากฏการณ์นี้ แต่ทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด คือ การเกิดฟอง (cavitation formation) ซึ่งเชื่อว่าเป็นต้นเหตุสำคัญของประโยชน์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการใช้คลื่นเหนือเสียง ฟองที่เกิดขึ้นนี้มี 2 ชนิด คือ 1) ชนิดที่มีเสถียรภาพ (stable cavitation) ฟองชนิดนี้จะมีการสั่นประมาณขนาดสมดุลของมันเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งการสั่นนี้เชื่อว่าเป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์การกำจัดก๊าซในของเหลว (degassing) นอกจากนั้น ยังเป็นต้นเหตุของการเกิด microstreaming ซึ่งปรากฏการณ์นี้เชื่อว่าจะช่วยการส่งผ่านมวลสาร (mass transfer) ระหว่างเฟสต่างๆ และ

การผสม (mixing) 2) ชนิดที่ไม่มีเสถียรภาพ (transient cavitation) ซึ่งฟองชนิดนี้จะมียุขใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ และเกิดการยุบตัวในที่สุด การยุบตัวนี้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงของความดัน การเคลื่อนที่อย่างรุนแรงของของเหลว และการเกิดจุดความร้อนสูง (hot spot) เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เองที่เป็นสาเหตุของการเร่งให้เกิดปฏิกิริยา, การเพิ่มผลผลิต (yield improvement), การสึกกร่อนของของแข็งที่ปนอยู่ในของเหลว (erosion of metal surface), การแตกสลายของผนังของเซลล์ (rupture of biological cell walls) เป็นต้น ปรากฏการณ์การเกิดควิเทชัน และ microstreaming ดังกล่าวนี้อาจเชื่อว่าจะเป็นสาเหตุสำคัญหนึ่งของการเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของฟองเล็กๆจำนวนมากจะก่อให้เกิดกระบวนการกวนอย่างรุนแรง การยุบตัวของควิเทชันก่อให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวหน้าของอนุภาคของแข็งเกิดเป็นอนุภาคเล็กๆ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งกับของเหลวที่ใช้ในการสกัดและลดความต้านทานของการส่งถ่ายมวล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการสกัด รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอะเซติลโคโคไซด์จากบวบกด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการสกัดสมุนไพร และการนำคลื่นเหนือเสียงไปใช้ในกระบวนการสกัดสมุนไพรในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำคลื่นเหนือเสียงมาใช้ในการสกัดสารสำคัญจากบวบก
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการสกัดอะเซติลโคโคไซด์จากบวบกด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง
3. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดอะเซติลโคโคไซด์จากบวบกด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง
4. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสกัดอะเซติลโคโคไซด์จากบวบกที่ใช้คลื่นเหนือเสียงกับวิธีที่ไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการสกัดอะเซติลโคโคไซด์จากบวบกโดยพิจารณาจากปริมาณสารสกัดที่ได้ ดังนี้
 - ชนิดของแหล่งให้กำเนิดคลื่นเหนือเสียง ได้แก่ อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic bath) ที่ระดับความถี่ 47 กิโลเฮิรซ์ และ อัลตราโซ-นิคโพรบ (Ultrasonic probe) ที่ระดับความถี่ 20 กิโลเฮิรซ์
 - เวลาที่ใช้ในการสกัด

- ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายได้แก่ น้ำ เอทานอล (ethanol) เมทา-นอล (methanol) และ อะซิโตน (acetone)
- ขนาดของอนุภาคผงใบบั่วบักที่ 0.15-0.85 มิลลิเมตร
- อัตราส่วนบั่วบักต่อตัวทำละลาย
สำหรับกรณีอัตราไซคลิกโพรบ :
0.12, 0.3, 0.6, 0.96, 1.2, 1.44, 1.8 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สำหรับอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง :
1, 2.5, 5, 8, 10, 12 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร:
- ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงในช่วง 0-100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร
(สำหรับกรณีอัตราไซคลิกโพรบ)

2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสกัดอะเซียติโคไซด์จากบั่วบักโดยพิจารณาจากปริมาณสารสกัดที่ได้ เวลา พลังงานและค่าใช้จ่ายด้วยวิธีการสกัดที่ใช้คลื่นเหนือเสียงกับที่ไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียง
3. หาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอะเซียติโคไซด์จากบั่วบักด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของบัวบก [12]

บัวบกมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Centella asiatica* (Linn.) Urban อยู่ในวงศ์ Umbelliferae เป็นพันธุ์ไม้ในเขตร้อน ชอบขึ้นตามพื้นที่เปียกชื้น พบทั่วไปในทวีปอเมริกา ออสเตรเลีย และเอเชีย เช่น ประเทศไทย อินเดีย และอินโดนีเซีย สำหรับประเทศไทยมีการเรียกชื่อบัวบกแตกต่างกันไป เช่น ผักหนอก (ภาคเหนือ), ผักแว่น (จันทบุรี, ภาคใต้), จำปาเครือ, กะบังนอก (ลำปาง), ปะหนะ เอชาเด้าะ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน) และมีชื่อในภาษาอังกฤษว่า Asiatic Pennywort, Indian Pennywort, Gotu Kola และ Tiger Herbal ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ต้นบัวบกเป็นไม้ล้มลุกสูงประมาณ 1 ฟุตมือ ลำต้นชอบเลื้อยไปตามพื้นดินที่ชื้นแฉะ มีรากงอกออกมาตามข้อของลำต้น คือ เมื่อลำต้นทอดไปแตะดินก็จะแตกรากและใบเป็นต้นใหม่อีก ทำให้ขึ้นแผ่ติดต่อกันเป็นพืดเป็นบริเวณกว้างได้ ใบเป็นใบเดี่ยวออกเป็นกระจุกที่ข้อ ข้อละ 2-10 ใบ ใบมีสีเขียวเป็นรูปกลมหรือไต เส้นผ่านศูนย์กลาง 2-4 เซนติเมตร ขอบใบหยักเป็นคลื่น ผิวด้านหลังใบเรียบ ด้านท้องใบมีขนสั้นๆเล็กน้อย ก้านใบยาว 1.5-7 เซนติเมตร ดอกมีลักษณะเป็นช่อคล้ายร่ม อาจมีช่อเดี่ยวหรือมีประมาณ 2-5 ช่อ ช่อหนึ่งมักจะมีประมาณ 3-4 ดอก ดอกจะเป็นสีม่วงอมแดง ก้านช่อดอกยาว 0.5-5 เซนติเมตร เมื่อแรกตั้งตรง ต่อไปจะโค้ง ริวประดับมี 2-3 ใบ ผลมีขนาดเล็ก เปลือกแข็ง รูปกลมแบนยาวประมาณ 30-40 เซนติเมตร มีสีเขียวหรือม่วงน้ำตาล ดังแสดงในรูปที่ 2.1

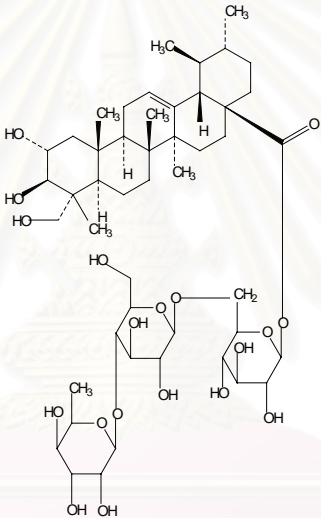
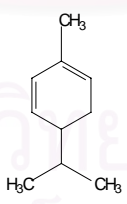


รูปที่ 2.1 ลักษณะของบัวบก

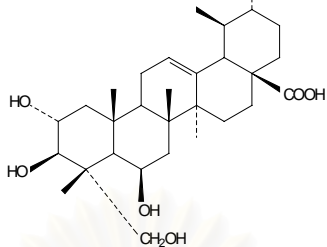
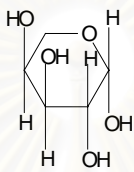
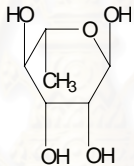
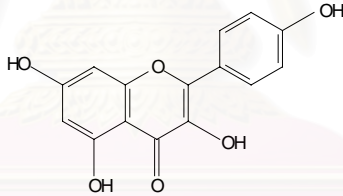
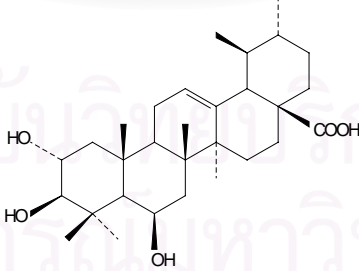
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของบัวบก

Bonstem เป็นคนแรกที่สกัดแยกสารสำคัญจากบัวบกในปี 1941 [13] ต่อมา Polonsky และคณะ [14] ได้ค้นพบสูตรโครงสร้างทางเคมีของสารดังกล่าว คือ อะเซียดิโคไซด์ซึ่งเป็นสารประกอบพวก ไตรเทอร์พีนอยด์กลัยโคไซด์ซึ่งพบว่ามีมากที่สุด การศึกษาข้างต้นนับเป็นการเริ่มต้นการศึกษาบัวบกตามหลักวิทยาศาสตร์ หลังจากนั้นได้มีผู้ทำการศึกษาสารประกอบทางเคมีของบัวบกมากมาย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวกไตรเทอร์พีนอยด์ กลัยโคไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

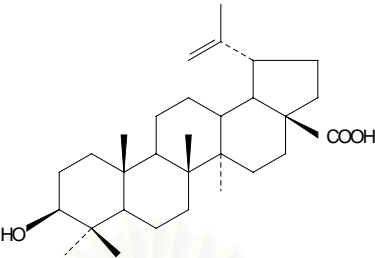
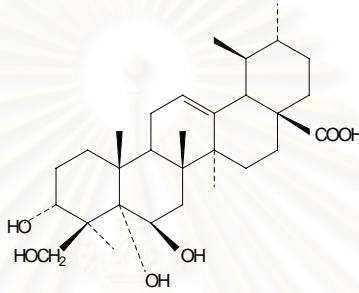
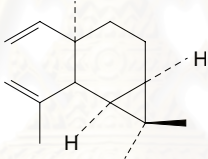
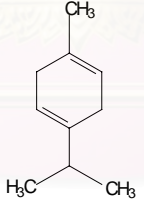
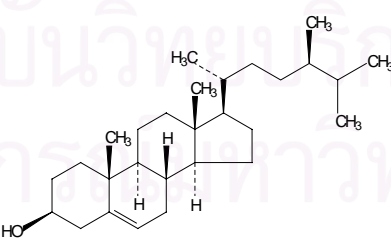
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบและสูตรโครงสร้างทางเคมีที่พบในบัวบก

ส่วนประกอบทางเคมี	สูตรโครงสร้างทางเคมี	เอกสารอ้างอิง
Asiaticoside		[13], [14]
Phellandrene		[15]

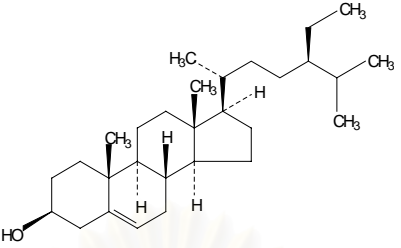
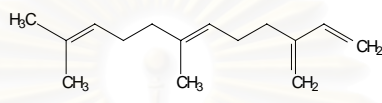
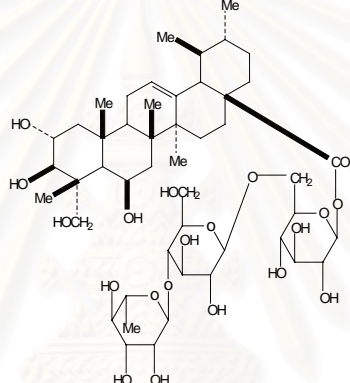
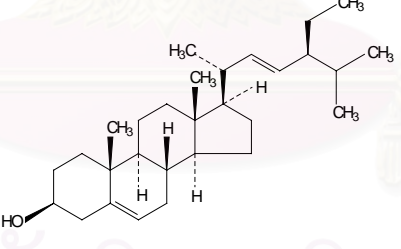
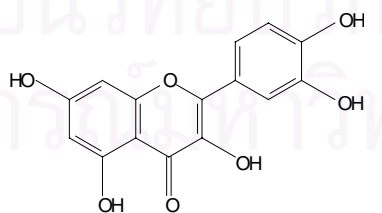
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ส่วนประกอบทางเคมี	สูตรโครงสร้างทางเคมี	เอกสารอ้างอิง
Madecassic acid		[16]
D-Arabinose		[17]
L-Rhamnose		[17]
Kaempferol		[18]
Madasiatic acid		[19]

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ส่วนประกอบทางเคมี	สูตรโครงสร้างทางเคมี	เอกสารอ้างอิง
Betulinic acid		[20]
Isothankunic acid		[21]
Bicycloelemene		[21]
γ - Terpinene		[21]
Campesterol		[21]

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ส่วนประกอบทางเคมี	สูตรโครงสร้างทางเคมี	เอกสารอ้างอิง
β-Sitosterol		[21]
β - Trans - farnesene		[21]
Madecassoside		[21]
Stigmasterol		[21]
Quercetin		[22]

2.3 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและการทดลองทางคลินิกของบัวบก [12]

2.3.1 ฤทธิ์ในการสมานบาดแผล: สารสกัดจากบัวบกซึ่งประกอบด้วยสารสำคัญในการออกฤทธิ์ คือ อะเซเชียติโคไซด์, อะเซเชียติก แอซิด, มาเดคาสโซไซด์ (Madecassoside) และ มาเดคาสซิก แอซิด (Madecassic acid) พบว่า เมื่อใช้สารสกัดจากบัวบกดังกล่าวทาบริเวณที่เป็นบาดแผลในหนูขาว จะพบว่า มีผลช่วยเร่งการเจริญเติบโตของผิวหนังที่เป็นแผลทำให้หายเร็วขึ้น

2.3.2 ฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย: สารสกัดจากบัวบกทั้งต้นด้วยน้ำร้อนพบว่า มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของการเกิดหนอง คือ *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Bacillus subtilis* แต่ไม่มีผลต่อเชื้อ *Escherichia coli* นอกจากนี้ยังมีผู้ได้ทดลองนำเอาอนุพันธ์ของอะเซเชียติโคไซด์ที่ได้จากบัวบก คือ ออกซีอะเซเชียติโคไซด์ (Oxyasiaticoside) ไปทดลองกับเชื้อวัณโรค พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรคได้ โดยนำไปทดลองกับหนูตะเภา ซึ่งทำให้เป็นวัณโรคก่อน แล้วจึงฉีดสารละลายอะเซเชียติโคไซด์ให้พบว่าสามารถลดปริมาณแผลที่เกิดจากเชื้อวัณโรคในตับ ปอด ปมประสาทและม้ามได้

2.3.3 ฤทธิ์ในการต้านเชื้อรา: บัวบกสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อกลาก *Trichophyton mentagrophytes* และ *Trichophyton rubrum* ได้ดี

2.3.4 ฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็ง: น้ำคั้นสดของบัวบกมีฤทธิ์ทำลายเซลล์มะเร็ง นอกจากนี้สารที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ผสมน้ำ ยังสามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งชนิด CA-9KB ได้

2.3.5 ฤทธิ์ในการลดการอักเสบ: ทดลองให้ผู้ป่วยไขข้ออักเสบรับประทานบัวบก พบว่าสามารถลดการอักเสบได้

2.3.6 ฤทธิ์ต่อระบบประสาท: ทดลองฉีดสารสกัดบัวบกด้วยแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ เข้าช่องท้องของหนูขาว พบว่า มีฤทธิ์ในการเป็นยาระงับประสาท นอกจากนี้ ยังมีผู้พบว่าบราโมไซด์ (brahmoside) จากบัวบกมีฤทธิ์ในการสงบประสาทได้เช่นเดียวกับคลอโพรมาซีน (Chlorpromazine) และเมโพรบามัท (meprobamate)

2.3.7 ฤทธิ์ต่อระบบสืบพันธุ์: เมื่อนำสารสกัดจากใบบัวบกเข้าใส่ผิวหนังของหนูถีบจักร ปริมาณ 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะส่งผลให้เกิดการยับยั้งการฝังตัวของตัวอ่อนและเมื่อให้น้ำคั้นจากบัวบกทั้งต้น พบว่า มีผลคุมกำเนิดในหนูถีบจักรได้ ส่วนสารซาโปนินที่ได้จากบัวบกเมื่อนำไปทดลองกับเชื้ออสุจิ พบว่า ไม่มีผลต่อเชื้ออสุจิ

2.3.8 ฤทธิ์ต่อกล้ามเนื้อเรียบ : สารสกัดจากใบบวบกด้วยแอลกอฮอล์ผสมน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 สามารถลดการเกร็งของกล้ามเนื้อเรียบของลำไส้ของหนูตะเภาได้ นอกจากนี้สารสกัดจากใบบวบกด้วยแอลกอฮอล์ยังสามารถทำให้กล้ามเนื้อเรียบของลำไส้กระต่ายตอนบนคลายตัว และยังคงการเกร็งของกล้ามเนื้อมดลูกในหนูขาวซึ่งไม่ได้ตั้งครรภ์

2.3.9 ฤทธิ์ในการลดอาการแพ้ : สารสกัดจากใบบวบกด้วยแอลกอฮอล์ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 สามารถลดอาการแพ้ได้

2.3.10 ฤทธิ์ในการลดความดันโลหิต : สารสกัดจากใบบวบกด้วยแอลกอฮอล์ผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 มีผลช่วยลดความดันโลหิตในหนูขาวเมื่อนำเข้าหลอดเลือดดำ

2.3.11 ฤทธิ์ในการลดไข้ : เมื่อนำสารสกัดจากใบบวบกด้วยแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ เข้าทางช่องท้องหนูขาวสามารถลดไข้ได้ 1.2 องศาฟาเรนไฮด์

2.3.12 ฤทธิ์ในการฆ่าแมลง : สารสกัดจากบวบกด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ สามารถฆ่าตัวอ่อนของแมลง *Pieris rapae cruciflora* ส่วนสารสกัดจากบวบกด้วยน้ำร้อนสามารถฆ่าแมลงสาบพันธุ์อเมริกัน *Periplaneta americana* ได้

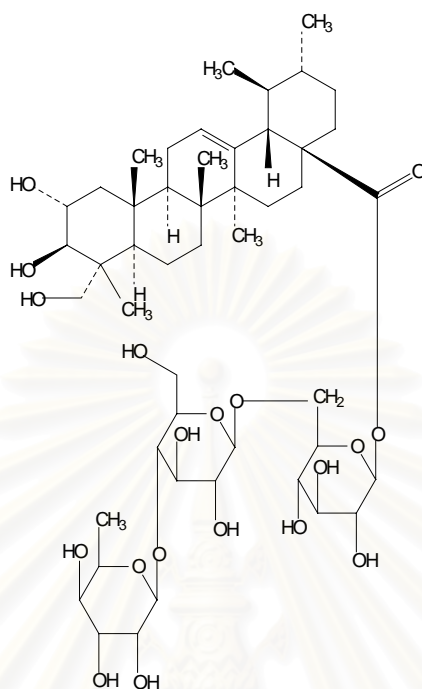
2.3.13 ฤทธิ์ในการรักษาแผลในกระเพาะอาหาร : เมื่อให้คนป่วยทั้งชายและหญิงกินสารสกัดจากผลแห้งของบวบก จะช่วยรักษาแผลในกระเพาะอาหารให้หายเป็นปกติได้ ซึ่งจะใช้ได้ผลดีขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับยาลดกรดและยา ซิเมเตดีน (Cimetadine) ซึ่งเป็นยาลดการหลั่งกรด

นอกจากนี้ยังมีผู้พบฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาอื่นๆ เช่น ฤทธิ์ในการกระตุ้นให้ร่างกายสร้างภูมิคุ้มกันทาน ฤทธิ์ลดน้ำตาลและฤทธิ์ต่อหัวใจ เป็นต้น

2.4 อะเซียติโคไซด์ (Asiaticoside)

2.4.1 โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมี

สารอะเซียติโคไซด์ (Asiaticoside, $C_{48}H_{78}O_{19}$) เป็นสารประกอบพอลิไตรเทอร์พีนอยด์กลัยโคไซด์ซึ่งเป็นสารสำคัญที่สามารถสกัดได้จากส่วนของใบ, ก้านใบ, และลำต้นของบวบก โดยส่วนของใบบวบกจะสามารถสกัดสารอะเซียติโคไซด์ได้มากที่สุด [23] อะเซียติโคไซด์มีชื่อทางเคมีว่า 2,3,23 - Trihydroxyurs - 12 - en - 28 - oicacid o - 6 - deoxy - α - L - mannopyranosyl-(1 \rightarrow 4) - O - β - D - glucopyranosyl-(1 \rightarrow 6) - O - β - D - glucopyranosyl ester โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สูตร โครงสร้างทางเคมีของสารอะเซียดิโคไซด์

สารอะเซียดิโคไซด์มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็มสีขาว มีจุดหลอมเหลวประมาณ 235-237 องศาเซลเซียส ละลายได้ดีในเอทานอล เมทานอล หรือในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำและเอทานอล หรือเมทานอล และอาจตกผลึกโดยใช้อีเทอร์ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ (Hydrolysis) จะให้อะเซียดิกแอซิด, กลูโคส (Glucose) และแรมนโนส (rhamnose)

โครงสร้างทางเคมีของอะเซียดิโคไซด์ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ ส่วนไกลโคโคนซึ่งประกอบด้วยแซคคาไรด์ชนิดกลูโคสจำนวน 2 หมู่และแรมนโนสจำนวน 1 หมู่ และส่วนอะไกลโคโคน (Sapogenin) เป็นพวกไตรเทอร์พีนอยด์ซึ่งจับกับส่วนที่เป็นน้ำตาลโดยผ่านทางพันธะกลัยโคไซด์ (glycosidic bond) โดยหมู่รีดิวซิง (reducing group) ของน้ำตาลจะเชื่อมกับหมู่คาบอซิด (carboxylic group) ของส่วนอะไกลโคโคน

ชนิดของแซคคาไรด์ในโครงสร้างไกลโคโคนของกลัยโคไซด์จะก่อให้เกิดความแตกต่างของจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ (free hydroxyl group) ที่แตกต่างกันไป นั่นคือโมเลกุลของกลัยโคไซด์ซึ่งมีแซคคาไรด์ชนิดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลหลายหมู่ก็ยังมีสมบัติของความมีขั้วสูง ดังนั้นจะละลายได้ดีในตัวทำละลายชนิดมีขั้ว (polar solvents) ในทางกลับกัน หากโมเลกุลของแซคคาไรด์เป็นชนิดที่มีหมู่

ไฮดรอกซิลอิสระอยู่จำนวนน้อย การละลายของกลัยโคไซด์ในตัวทำละลายชนิดมีขั้วก็จะละลายได้น้อยลงเช่นกัน ถ้าพิจารณาถึงโครงสร้างโมเลกุลของอะไกลโคโคนในโมเลกุลกลัยโคไซด์พบว่า หากในโครงสร้างโมเลกุลของอะไกลโคโคนประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันเป็นชนิดที่มีความมีขั้วสูง การละลายในตัวทำละลายชนิดมีขั้วก็จะมีมากเช่นกัน ยกเว้น อะไกลโคโคนอิสระที่ถูกไฮโดรไลซิสแล้วเท่านั้น จะละลายได้ดีในตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้ว เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์

นอกจากนี้อะเซตีโคไซด์ ยังแตกตัวได้ง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับกรด อาจเกิดการแตกตัวตรงส่วนของอะไกลโคโคนหรือส่วนไกลโคโคนก็ได้ ความรุนแรงของการแตกตัวจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นกับความแตกต่างของระดับความเป็นกรดของสารละลายแต่ละชนิด อะเซตีโคไซด์เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง การแยกอะเซตีโคไซด์จากพืชให้บริสุทธิ์จึงทำได้ยาก

2.4.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารอะเซตีโคไซด์

มีรายงานการศึกษาการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารอะเซตีโคไซด์หลายวิธีด้วยกัน คือ Titrimetric analysis, Gas chromatography/mass spectrometry, high-speed countercurrent chromatography, Thin layer chromatography และ High performance liquid chromatography แต่วิธีการวิเคราะห์ที่นิยมใช้มี 2 วิธีด้วยกัน คือ การวิเคราะห์ด้วยวิธีทีนเลเยอร์โครมาโตกราฟี [24] และการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮเพอร์ฟอแมนต์ลิควิดโครมาโตกราฟี [25,26] เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว ใช้ปริมาณสารตัวอย่างน้อยและมีความแม่นยำสูง

Gupta และคณะ [24] ได้พัฒนาวิธีไฮเพอร์ฟอแมนต์ทีนเลเยอร์โครมาโตกราฟีในการหาปริมาณสารอะเซตีโคไซด์และสารซาโปนินอื่นๆจากบัวบก โดยใช้ซิลิกาเจล (Silica gel 60 F254) เป็นวัฏภาคคงที่ (Stationary phase) และใช้อัตราส่วนของเอทิลอะซิเตตต่อเมทานอลต่อน้ำ (Ethyl acetate: methanol: water) ในอัตราส่วน 60:12:8 เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) และใช้สารละลายวานิลลิน-ซัลฟิวริกแอซิด (Vanilla-Sulfuric acid) เป็นสารตรวจหา โดยทำการสเปรย์ลงบนแผ่นซิลิกาเจลก่อนนำไปตรวจวัดพื้นที่ใต้กราฟที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

Inamdar และคณะ [25] ศึกษาความคงตัวของครีมบัวบก ซึ่งประกอบด้วยสารที่มีฤทธิ์ทางการรักษา 4 ตัวด้วยกัน คือ อะเซตีคอกแอซิด, อะเซตีโคไซด์, มาเดกาสติกแอซิดและมาเดกาสไซไซด์ โดยทำการศึกษาที่สภาวะการเก็บรักษาต่างกันเป็นเวลา 3, 6 และ 12 เดือน จึงนำมาตรวจวัดปริมาณอะเซตีโคไซด์ด้วยเครื่องไฮเพอร์ฟอแมนต์ทีนเลเยอร์โครมาโตกราฟี โดยมีเงื่อนไขของการวิเคราะห์ดังนี้ คือ

คอลัมน์ : Bondapak, C-18, 10 ไมครอน, 30x0.39 เซนติเมตร

สภาวะการวิเคราะห์

เวลา (นาทีก)	อัตราการไหล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	ปั๊ม A (เปอร์เซ็นต์น้ำ)	ปั๊ม B (เปอร์เซ็นต์อะซิโตนไตรท์)
0	1.4	80	20
30	1.4	45	55

การตรวจวัด : UV 200 นาโนเมตร

ปริมาณการวิเคราะห์ : 2×10^5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

P. Morganti และคณะ [26] ทำการวิเคราะห์ปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์ในตัวอย่างเครื่องสำอางด้วยเครื่องไฮเพอร์ฟอแมนต์ทีนเลเซอร์โครมาโตกราฟีโดยมีสภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้ คือ

คอลัมน์ : Varian MICROPAC, C-18, 5 ไมครอน, 4x12 เซนติเมตร

สภาวะการวิเคราะห์

เวลา (นาทีก)	อัตราการไหล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	ปั๊ม A (0.3 เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอริกแอซิด)	ปั๊ม B (เปอร์เซ็นต์อะซิโตนไตรท์)
0	1	70	30
4	1	70	30
20	1.2	50	50

การตรวจวัด: Photodiode array 200 นาโนเมตร

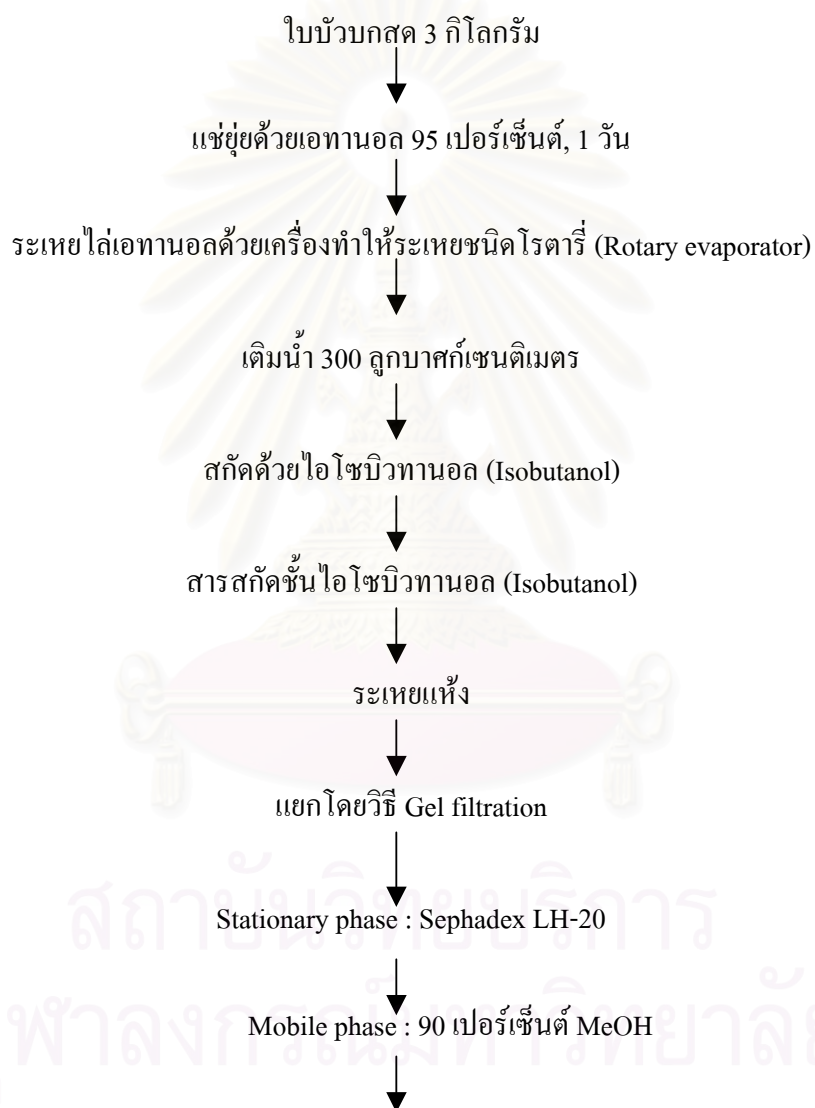
ปริมาณการวิเคราะห์ : 2×10^5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

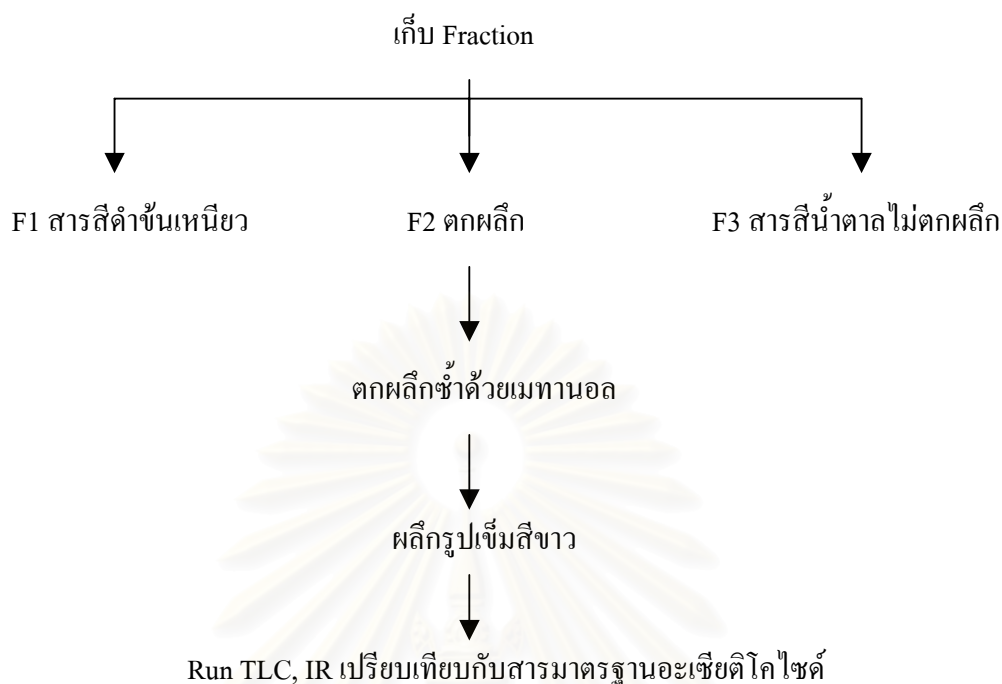
2.4.3 การสกัดแยกและการทำให้บริสุทธิ์ [27]

การสกัด (Extraction) อะเซตีลโคโคไซด์จากบับบกทำได้โดยการแช่ขุ่ยส่วนต่างๆของบับบกสดหรือแห้งที่ทำการบดละเอียดแล้วในตัวทำละลายที่เหมาะสม (Maceration) ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ เอทานอล เมทานอล อะซิโตนและน้ำ โดยใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกันไป จากงานวิจัยดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า ในบับบกแห้งมีองค์ประกอบของอะเซตีลโคโคไซด์อยู่ประมาณ 1-10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของบับบก, แหล่งปลูก, ฤดูกาล, วิธีการและตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

การแยก (Isolation) สารอะเซยีติโคไชด์ออกจากองค์ประกอบอื่นในบับวก สามารถทำได้ 2 วิธีกร คือ การใช้ทีนเลเยอร์โครมาโตกราฟฟีและการใช้ไฮเพอร์ฟอมานต์ลึควิดโครมาโตกราฟฟี

สำหรับการสกัดแยกสารอะเซยีติโคไชด์ให้บริสุทธิ์ (Purification) ทำโดยสกัดบับวกด้วยการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ตามขั้นตอนดังรูปที่ 2.3

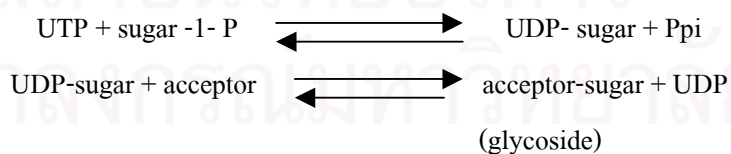




รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสกัดแยกสารอะเซียติโคไซด์ให้บริสุทธิ์

2.4.4 ชีวสังเคราะห์ [28]

ชีวสังเคราะห์ของสารอะเซียติโคไซด์ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนแรกเกี่ยวข้องกับการย้ายหมู่ยูริดีล (uridylyl group) จากยูริดีนไตรฟอสเฟต (uridine triphosphate) (UTP) ไปที่ น้ำตาล-1-ฟอสเฟต (sugar -1- phosphate) โดยอาศัยเอนไซม์ชื่อ ยูริดีลทรานสเฟอเรส (uridylyl transferase) (1) ซึ่งพบได้ในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ขั้นตอนที่ 2 เกิดจากเอนไซม์กลัยโคซิลทรานสเฟอเรส (glycosyl transferase) เป็นตัวย้ายน้ำตาลจากยูริดีนไดฟอสเฟต (uridine diphosphate) (UDP) ไปยังตัวรับ (acceptor : aglycone) ทำให้ได้สารกลัยโคไซด์เกิดขึ้น



ในที่นี้ น้ำตาล คือ กลูโคสและแรมโนส ส่วนตัวรับ คือ อะโกลโคนซึ่งเป็นสารซาโปจีนิน (sapogenin) ที่มีโครงสร้างหลักเป็นพวกเออเซนไตรเทอร์พีน (ursane triterpene) ได้แก่ แอลฟา-อะไมริน (α -amyrin)

สำหรับสารแอลฟา-อะไมรินซึ่งเป็นส่วนอะไกลโคน เกิดขึ้นจากการจับกันแบบ head-to-tail ของ acetate units ผ่านเมวาโลนิค แอซิด (mevalonic acid) และสควาลีน (squalene) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ชีวิตสังเคราะห์ของ α -Amyrin

2.4.5 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา [3]

จากการศึกษาพบว่า อะเซอีติโคไซด์มีฤทธิ์ในการสมานแผล โดยจะช่วยเพิ่มแรงดึง (tensile strength) ของแผล ทำให้แผลหายเร็วขึ้น ซึ่งผลของการรักษาจะขึ้นกับระดับความเข้มข้นของอะเซอีติโคไซด์ นอกจากนี้ อะเซอีติโคไซด์ยังมีผลกระตุ้นเอนไซม์ลิวซีนอะมิโนเปปติเดส (leucine aminopeptidase) ทำให้การสร้างเนื้อเยื่อซ่อมแซมแผลเร็วขึ้น จากการทดลองฉีดอะเซอีติโคไซด์เข้ากล้ามเนื้อหรือปลูกฝัง (implants) ที่ผิวหนังหนูกีบจักร หนูขาว หนูตะเภา และกระต่าย พบว่า จะช่วยเพิ่มความหนาของผิวหนัง เพิ่มการทำลายสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว เพิ่มการหลั่งเมือก เพิ่มการเจริญของขนและเล็บ ทำให้เลือดมาหล่อเลี้ยงเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) มากขึ้น

นอกจากนี้ยังได้มีการนำสารสกัดที่ได้จากใบบวบกมาทดลองรักษาแผลต่างๆ ได้แก่ ทดลองรักษาแผลที่กระจกตา (cornea) กระต่าย พบว่า อะเซอีติโคไซด์ช่วยทำให้แผลกระจกตาหายเร็วขึ้น สำหรับการรักษาแผลไหม้ โดยทดลองใช้ร่วมกับวิธีการ Oxygen dressing พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ในประเทศอิตาลีได้ทดลองใช้อะเซอีติโคไซด์รักษาแผลผ่าตัดที่ใช้ผิวหนังส่วนอื่นมาปะ (skin graft) พบว่า ช่วยทำให้แผลหายเร็วขึ้นและให้ผลดีในการรักษา ส่วนในประเทศญี่ปุ่นก็ได้้นำอะเซอีติโคไซด์มาใช้รักษาผิวหนังที่แข็งกระด้าง (scleroderma) พบว่า ให้ประสิทธิภาพสูงในการรักษา นอกจากนี้ อะเซอีติโคไซด์ยังสามารถยับยั้งการสร้างมิวโคโพลิแซคคาไรด์และคอลลาเจน และลดการเกิดแกรนูเลชันซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดแผลเป็น

เนื่องจากผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นประสิทธิภาพในการรักษาแผลของสารสำคัญจากบวบก จึงได้มีผู้ศึกษาและเตรียมอนุพันธ์ของอะเซอีติโคไซด์ โดยเตรียมอนุพันธ์เตตระเฮมิซัคซิเนท (tetrahemisuccinate) และได้ทดลองรักษาแผลไหม้ แผลที่ผ่าตัดเอาผิวหนังดีส่วนอื่นมาต่อ (skin graft) แผลวันโรคผิวหนัง และแผลกดทับ พบว่า ปริมาณสาร 10 – 25 มิลลิกรัมต่อวัน จะให้ประสิทธิภาพสูงในการรักษา

นอกจากการรักษาแผลและแผลเป็นแล้ว ยังได้มีการใช้บวบกในการป้องกันอาการท้องลาย โดยทำยาเตรียมสารสกัดบวบก ผสมกับแอลฟาโทโคเฟอรอล (α -tocopherol) และ คอลลาเจนทดลองในหญิงมีครรภ์ 80 คน พบว่า ในกลุ่มที่ได้รับยาจะเกิดรอยท้องลายน้อยกว่ากลุ่มควบคุม

สำหรับในประเทศไทย ได้มีการศึกษาผลของบัวบกต่อการรักษาแผล โดยนายแพทย์เกษียร ภัฏกานนท์ [29] ได้ทดลองใช้ครีมบัวบก (1 เปอร์เซ็นต์) ในการรักษาแผลเรื้อรังในคนไข้ 22 คน โดยคนไข้เหล่านี้มีแผลกว้าง 1 – 12 เซนติเมตร ยาว 1 – 19 เซนติเมตร และลึก 0.5 – 3.7 เซนติเมตร พบว่า ขนาดของแผลจะลดลง 24 เปอร์เซ็นต์ ในสัปดาห์แรก, 37 เปอร์เซ็นต์ ในสัปดาห์ที่ 2 และ 47 เปอร์เซ็นต์ ในสัปดาห์ที่ 3 และพบว่าแผลดีขึ้นเร็วกว่าการสมานแผลทั้งด้านกว้างและยาว นอกจากนี้ นายแพทย์วีรสิงห์ เมืองมัน [30] ได้ทดลองใช้สารสกัดอะเซติโคไลไซด์ ในผู้ป่วยหลังการผ่าตัด 14 ราย พบว่า ได้ผลดี 28.5 เปอร์เซ็นต์ ผลปานกลาง 28.5 เปอร์เซ็นต์ ผลพอใช้ 35.7 เปอร์เซ็นต์ และไม่ได้ผลเพียง 1 ราย

นอกจากนี้อะเซติโคไลไซด์ยังมีฤทธิ์ช่วยลดการอักเสบ โดยพบว่าเมื่อให้ผู้ป่วยไขข้ออักเสบรับประทานสารสกัดจากบัวบกจะมีฤทธิ์ลดการอักเสบ และยังมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ ซึ่งในการรักษาแผลนั้น การติดเชื้อเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องระมัดระวัง เพราะหากมีการติดเชื้อจะทำให้กลายเป็นแผลเรื้อรังและหายยากขึ้น สารสกัดจากบัวบกมีข้อดี คือ สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียอันเป็นสาเหตุของหนอง คือ *Staphylococcus aureus* และ *Pseudomonas aeruginosa* อีกทั้งยังมีฤทธิ์ห้ามเลือด ทำให้เลือดแข็งตัวเร็ว โดยออกฤทธิ์ทำให้ Activated Partial Thromboplastin Time (APTT) และ Prothrombin Time ลดลง

2.5 งานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดสารสำคัญจากบัวบก

Rao และ Seshadri [31] ได้ทำการสกัดสารประกอบทางเคมีของบัวบกที่ได้จากพื้นที่แถบต่างๆ ในอินเดียและศรีลังกา ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ความแตกต่างของปริมาณและส่วนประกอบของบัวบกนี้อาจเกิดจากบัวบกมาจากแหล่งที่ต่างกัน เทคนิคในการแยกสกัดแตกต่างกัน หรือเตรียมจากส่วนของพืชที่ใช้ต่างกัน เช่น ใบ กิ่งและราก

ตารางที่ 2.2 สารประกอบทางเคมีของบัวบกที่พบในแหล่งต่างๆของแถบอินเดียและศรีลังกา

Origin	Saponins	Sapogenins	Sugars	Other compounds
Madagascar 1	Asiaticoside	Asiatic acid	Glucose, Rhamnose	-
Madagascar 2	Madecassoside	Madecassic acid	Glucose, Rhamnose	-
Ceylon	Centelloside	Centellic acid	Glucose, Fructose	Centicacid, Centoic acid
India 1	-	Indocentoic acid	-	-
India 2	(a) Brahmoside	Brahmic acid	Glucose, Rhamnose, Arabinose	Isobrahmic acid
	(b) Brahminoside	Brahmic acid	Glucose, Rhamnose, Arabinose	Betulic acid
	(c) Asiaticoside	Asiatic acid	Glucose, Rhamnose	Stigasterol
India 3	(a) Thankuniside	Thankunic acid	Glucose, Rhamnose	Asiatic acid
	b) Isothankuniside	Isothankunic acid	-	-

แคทรียา ปวุตติกุล และคณะ [32] ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์ในบัวบก จากแหล่งต่างๆ จำนวน 10 จังหวัด โดยนำไปบวบกสดมาอบแห้ง แล้วสกัดโดยการแช่ด้วยอะซิโตน 80 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) และทำการวิเคราะห์โดยวิธีทินเลเยอร์โครมาโตกราฟีเฟนซิโทมิเตอร์ พบว่า บัวบกจากจังหวัดพิษณุโลกมีปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์มากที่สุดเท่ากับ 10.02 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง จังหวัดนครนายก 9.90 เปอร์เซ็นต์, จังหวัดนนทบุรี 5.78 เปอร์เซ็นต์, จังหวัดภูเก็ต 5.12 เปอร์เซ็นต์, จังหวัดกาฬสินธุ์ 4.58 เปอร์เซ็นต์, จังหวัดกรุงเทพมหานคร 4.40 เปอร์เซ็นต์, จังหวัดอยุธยา 2.95 เปอร์เซ็นต์, จังหวัดตรัง 0.98 เปอร์เซ็นต์, จังหวัดบุรีรัมย์ 0.90 เปอร์เซ็นต์ และจังหวัดเลยมี น้อยที่สุดเท่ากับ 0.22 เปอร์เซ็นต์

สมใจ ชัยเจริญกิจ และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาสารสำคัญและปริมาณสารสำคัญอะเซตีลโคโคไซด์ในส่วนต่าง ๆ ของบัวบก คือ ใบ, ก้านใบ, และลำต้นพร้อมราก โดยเตรียมสารสกัดจากบัวบก ด้วยวิธี การกวน (rotate) บัวบกแห้งด้วยสารละลายเมทานอลแล้วทำการตรวจเอกลักษณ์ด้วยวิธีทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี (Thin Layer Chromatography : TLC) และวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ โดยการวัดค่า การดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารสำคัญที่ทำให้เกิดสีด้วยสารละลายแอนโทรน (anthrone reagent) ที่ความยาวคลื่น 590 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง TLC scanner เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน พบว่า ส่วนต่างๆของบัวบกมีส่วนประกอบของสารสำคัญประเภทเดียวกัน และสารที่มีปริมาณมาก ได้แก่ อะเซตีลโคโคไซด์, อะเซตีลิก แอซิด, มาเคลาสซิก แอซิด และ new compound ที่เป็นพวงกลัยโคไซด์ อีกชนิดหนึ่ง ส่วนสารสำคัญอื่น ๆ มีปริมาณน้อย ค่าเฉลี่ยของอะเซตีลโคโคไซด์ ที่ตรวจพบใน 5 ตัวอย่าง จากส่วนใบ, ก้านใบ และลำต้นพร้อมราก มีปริมาณ 1.07 เปอร์เซ็นต์, 0.16 เปอร์เซ็นต์ และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ของบัวบกแห้งตามลำดับ

รัชดาวรรณ พิษิตชาติ และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์จากผง ใบบัวบกแห้ง ด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำ, เอทานอล (ethanol) ที่ระดับความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์, 80 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ และอะซิโตน (acetone) ที่ระดับความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์, 80 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยแช่ผงใบบัวบกแห้งในสารละลายดังกล่าวทิ้งไว้ค้างคืน กรองและนำไประเหยแห้ง แล้วทำการวัดปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยเครื่อง TLC scanner ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร พบว่า อะซิโตน 80 เปอร์เซ็นต์ จะให้ประสิทธิภาพการ สกัดสูงที่สุด โดยได้ปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์ ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ของใบบัวบกแห้ง ในขณะที่ หากใช้เอทานอลที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย จะได้ปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และหากใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจะได้ปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์เพียง 0.56 เปอร์เซ็นต์ ของใบบัวบกแห้งเท่านั้น

Anathbandhu Das และคณะ [33] ทำการศึกษาปริมาณอะเซียติโคไซด์จากใบบวบจากแหล่งปลูกต่างๆกันในประเทศอินเดีย จำนวน 10 ecotype ซึ่งมีจำนวน Somatic chromosome เท่ากัน ($2n = 18$) แต่มี Karyotype formula แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าบริเวณ subtemperate Himalaya ซึ่งเป็นแหล่งปลูกของ ecotype II และ X สามารถสกัดปริมาณอะเซียติโคไซด์ได้มากที่สุดเป็น 0.144 เปอร์เซ็นต์ และ 0.105 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของใบบวบแห้งตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดเกี่ยวกับแหล่งปลูก จำนวนโครโมโซมและปริมาณอะเซียติโคไซด์จากบวบในประเทศไทย

Ecotype	Location	Soil type	Karyotype formula	Asiaticoside (%of dry leave)
I	Konarak	Coastal saline	B2+C4+D4+E8	0.062+0.006
II	Rudraprayag	Rocky soil	C2+D10+E6+2B	0.114+0.004
III	Sukhna	Sandy loam soil with humus	C2+D14+E2	0.075+0.004
IV	Midnapore	Laterite soil	A2+C2+D8+E6	0.082+0.004
V	Darjeeling	Rocky soil	C4+D4+E10	0.097+0.009
VI	Kamakha	Sandy rocky soil with sand	C6+D8+E4	0.088+0.013
VII	Indian Garde	Alluvial soil	C4+D4+E10	0.006+0.002
VIII	Sagar Island clay soil	Coastal saline	B2+C4+D12+1B	0.060+0.006
IX	Caluctta	Sandy loam soil	B4+C2+D8+E4	0.017+0.005
X	Shillong	Sandy rocky soil	B2+C2+D4+E10+2B	0.105+0.007

2.6 งานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดสมุนไพรด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง

M.E. Ovardia และ D.M. Skauen [6] ทำการสกัดอัลคาลอยด์จากส่วนต่างๆของพืชสมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ ส่วนเนื้อไม้ของ Cinchona, ส่วนรากของ Ipecac และส่วนใบของ Jaborandi ด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง เปรียบเทียบกับวิธี Soxhlet Extraction พบว่า การใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยให้อัตราการสกัดอัลคาลอยด์จากส่วนเนื้อไม้ของ Cinchona เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าวิธีการสกัดด้วยคลื่นเหนือเสียงแบบควบคุมอุณหภูมิและวิธี Soxhlet Extraction ในขณะที่ปริมาณอัลคาลอยด์ที่สกัดได้จากส่วนรากของ Ipecac ด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียงกรณีที่ควบคุมอุณหภูมิ (25 องศาเซลเซียส) และไม่ควบคุมอุณหภูมิ (สูงสุด 55 องศาเซลเซียส) ให้ผลใกล้เคียงกัน และมากกว่าวิธี Soxhlet Extraction กล่าวคือ ปริมาณอัลคาลอยด์ที่สกัดได้จากวิธีที่ใช้คลื่นเหนือเสียงที่เวลา 30 วินาที สูงกว่าปริมาณอัลคาลอยด์ที่สกัดได้ที่เวลา 5 ชั่วโมงโดยวิธี Soxhlet Extraction นอกจากนี้การใช้คลื่นเหนือเสียงยังช่วยเพิ่มอัตราในการสกัดอัลคาลอยด์จากส่วนใบของ Jaborandi โดยพบว่า ที่เวลา 15 วินาที สามารถสกัดอัลคาลอยด์ได้มากกว่าวิธี Soxhlet Extraction ที่เวลา 5 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามอัลคาลอยด์ที่สกัดได้จากส่วนใบของ Jaborandi โดยวิธีที่ใช้คลื่นเหนือเสียงจะถูกทำลายหลังจากการสกัดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และยังพบอีกว่า อัตราการถูกทำลายของอัลคาลอยด์ที่สกัดได้โดยวิธีใช้คลื่นเหนือเสียงแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ สูงกว่าวิธีที่ใช้คลื่นเหนือเสียงแบบควบคุมอุณหภูมิ

Hirokazu Fukase และคณะ [7] ได้ทดลองนำคลื่นเหนือเสียงมาใช้ในการสกัดโปรตีนจากถั่วเหลือง โดยศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความดันของคลื่นเหนือเสียง (ultrasonic pressure) กับปริมาณของโปรตีน ถั่วเหลืองที่สกัดได้ โดยใช้่างทำความเข้าใจความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงซึ่งมีความถี่ของคลื่นเหนือเสียงเท่ากับ 28 กิโลเฮิร์ตซ์ จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณของโปรตีนที่สกัดได้จากถั่วเหลืองจะเพิ่มขึ้นตามค่าความดันของคลื่นเหนือเสียงที่ต่ำกว่าค่าวิเท-ชันเทรสโฮลด์ (cavitation threshold) (50 กิโลปาสกาล) คือ ที่ประมาณ 28 กิโลปาสกาล นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาถึงการสูญเสียคุณภาพของโปรตีนที่สกัดได้ พบว่า โปรตีนที่สกัดได้ จะสูญเสียคุณภาพเมื่อใช้ค่าความดันที่สูงกว่าค่าความดันที่ทำให้เกิดวิเทชัน และการสูญเสียจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น

Hui Li และคณะ [8] ได้ศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสกัดซาโปนิน (saponin) จาก Panex ginseng C.A. Mayer โดยการใช้่างทำความเข้าใจความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง ซึ่งใช้ความถี่ของคลื่นเหนือเสียงเท่ากับ 28 กิโลเฮิร์ตซ์ (π -type ferrite transducers) เป็นตัวให้กำเนิดคลื่นเหนือเสียง การสกัดสารทำได้โดยนำ ginseng มาบดเป็นผงละเอียด ขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 780 ไมโครเมตร และใช้สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol solution) 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด โดยสัดส่วนที่ใช้ คือ 10 กรัม ต่อ 150 มิลลิลิตร ค่าของความดันที่ให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 90 กิโลปาสกาล และระยะเวลาในการสกัดอยู่

ระหว่าง 0.5 ถึง 6 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณของสารสกัดที่ได้ทั้งหมด (total extraction) และชาโปนิน ที่สกัดได้จะมีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักตามลำดับ ที่ระดับความดันเท่ากับ 67 กิโลปาสกาล โดยปริมาณสารที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด รวมทั้งเพิ่มขึ้นตามค่าของความดันที่ใช้ด้วย นอกจากนี้ ชาโปนินที่สกัดได้ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีในช่วงของความดันที่ใช้

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าคลื่นเหนือเสียงมีผลช่วยให้ปริมาณชาโปนินที่สกัดได้มีค่ามากขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากปรากฏการณ์คาวิเทชัน ทำให้เกิดการกัดกร่อนบริเวณผิวหน้าของอนุภาค ginseng แยกเป็นอนุภาคเล็กๆ พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวทำละลาย และอนุภาค ginseng จึงเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งอนุภาคที่เล็กลง เป็นผลให้ระยะของการส่งถ่ายมวลสั้นลง ตัวถูกละลายที่อยู่ภายในอนุภาค ginseng จึงสามารถเคลื่อนตัวมาที่ผิวหน้าของอนุภาค โดยใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่า จากการเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่า อัตราเร็วในการสกัดจะเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า

Mason และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาการใช้คลื่นเหนือเสียงในการสกัดองค์ประกอบของแข็งที่เป็นของแข็ง (tea solids) จากใบชาด้วยน้ำ โดยศึกษาผลกระทบ เนื่องจากอุณหภูมิ, เวลาที่ใช้ในการสกัด และพลังงานของคลื่นเหนือเสียง พบว่า การใช้คลื่นเหนือเสียงในการสกัดใบชาด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีจะช่วยเพิ่มปริมาณขององค์ประกอบของแข็งที่สกัดได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง นอกจากนี้ยังพบว่า กรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงจะต้องใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดที่อุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะเพิ่มปริมาณสารสกัดขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยในการสกัดจะทำให้สามารถลดอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด

ชัยภัฏ การระวะวัฒนา และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาการใช้คลื่นเหนือเสียงในการสกัดแคปไซซินจากพริกแห้ง โดยใช้สารละลายเอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด โดยสัดส่วนที่ใช้ คือ 2.5 กรัม:50 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการสกัด ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการสกัด, ขนาดของพริกป่นที่ใช้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด โดยใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง และอัลตราโซนิคโพรบ พบว่า ก) เมื่อขนาดของพริกแห้งป่นที่นำมาใช้ในการสกัดมีขนาดเล็กลง ทำให้ปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น ข) สำหรับอุณหภูมิ ที่ใช้ในการสกัดที่สูงขึ้นจะช่วยให้ผลของการสกัดดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่ง อาจทำให้สารแคปไซซินสลายตัวได้ และทำให้ปริมาณสารสกัดน้อยลง ค) เมื่อเวลาที่ใช้ในการสกัดนานขึ้น จะทำให้สกัดสารแคปไซซินได้มากขึ้น ง) เมื่อเปรียบเทียบผลของการสกัดแคปไซซินด้วยวิธีการเขย่า, อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง และอัลตราโซนิคโพรบ พบว่า การสกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบ จะให้ปริมาณของแคปไซซินมากที่สุด รองลงมา คือ อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง และการสกัดด้วยวิธีการเขย่า ตามลำดับ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า การใช้คลื่นเหนือเสียงในการสกัดจะช่วยลดระยะเวลาในการสกัด สามารถสกัดได้ที่

อุณหภูมิที่ต่ำกว่า และสามารถใช้น้ำขนาดของอนุภาคที่โตกว่าได้ ทำให้ประหยัดเวลาในการสกัด และประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ การกวนและการลดขนาดอนุภาคด้วย

Haunold C. และคณะ [34] ได้ประยุกต์ใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยในการสกัดสาร Pyrethrins จากดอก Pyrethrum แห้ง (*Chrysanthemum cinerariae folium*) โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายในการสกัด พบว่า การใช้คลื่นเหนือเสียงมีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดมากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียส เป็น 40 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะในช่วงแรกของการสกัด ซึ่งเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ควิเทชันที่เกิดขึ้นบริเวณรูพรุนของอนุภาคของแข็ง นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพของการสกัดจะเพิ่มขึ้นตามกำลังงานของคลื่นเหนือเสียงที่เพิ่มขึ้น

H.H. Liang และคณะ [35] ได้ทดลองใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยในการสกัดโปรตีนถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม พบว่า คลื่นเหนือเสียงช่วยให้อัตราการสกัดโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น 12-20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่สกัดได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น 21-46 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองยังพบว่า คลื่นเหนือเสียงมีผลทำลายโปรตีนที่สกัดได้ อย่างไรก็ตาม เราสามารถลดผลของการทำลาย โดยทำการสกัดที่สภาวะที่เหมาะสม กล่าวคือ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และให้คลื่นเหนือเสียงเป็นเวลา 4 นาที ซึ่งที่สภาวะนี้ ค่าดัชนีการละลายของไนโตรเจน (Nitrogen solubility index : NSI) สูงถึง 92 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ Recovery ของแข็งที่ละลายได้จากตะกอนของถั่วเหลืองเป็น 35-47 เปอร์เซ็นต์ มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง

Sulman M.G. และคณะ [36] ทำการสกัดสารที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา (biologically active compound : BAC) จากพืชสมุนไพร 7 ชนิดด้วยกันโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายในการสกัด ศึกษาผลของตัวแปร 3 ชนิด ได้แก่ ความเข้มข้นของเอทานอล, ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงและเวลาที่ใช้ในการสกัด ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรต่างๆ

พืชสมุนไพร	ความเข้มข้นเหนือเสียง (วัดต่อตารางเซนติเมตร)	เวลาในการสกัด (วินาที)	ความเข้มข้นของเอทานอล (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณสารสกัดที่ได้ (เปอร์เซ็นต์)	
				กรณีไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง	กรณีใช้คลื่นเหนือเสียง
Panax ginseng(leaves)	70	300-420	20-70	6.4	9.7
Panax ginseng(roots)	70	300-420	25-70	6.1	9.5
Flores crataegi	12	300	70	< 1	2.5
Fructus crataegi	12	420	70	< 1	1.6
Herba hyperici	12	180	40	2.8	4.2
Herba leonuri	70	300-420	70	1.4	3.6
Pinus silvestris L.	70	300-420	25-40	1.6	2.6

บทที่ 3

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการสกัด

3.1 คำจำกัดความในกระบวนการสกัดสมุนไพร [37]

การสกัด (Extraction) คือ วิธีการแยกส่วนที่ต้องการออกจากส่วนที่ไม่ต้องการโดยใช้ตัวนำ (Carrier) และวิธีการที่เหมาะสม การสกัดด้วยยาจากสมุนไพรเป็นการสกัดในระบบของเหลว-ของแข็ง (liquid-solid extraction) ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การล้างออก (leaching)

การสกัดในระบบของเหลว-ของแข็งนี้เป็นกระบวนการแยกสารออกจากของแข็งที่ไม่ละลายในของเหลวใดๆ ด้วยของเหลวชนิดหนึ่ง สารที่แยกได้จากของแข็งอาจมีหนึ่งชนิดหรือมากกว่า และอาจจะ เป็นของเหลวหรือของแข็งก็ได้ ของเหลวที่ใช้ในการสกัด เรียกว่า ตัวทำละลาย (solvent) ส่วนสารที่สกัด ได้ เรียกว่า ตัวถูกละลาย (solute) ของแข็งที่นำมาสกัดมักจะอยู่ในรูปของอนุภาคที่มีรูพรุน หรือเซลล์ที่ ห่อหุ้มด้วยผนังเมมเบรนที่คูลน้ำได้บางส่วน

การสกัดของแข็งด้วยของเหลวอาจพิจารณาได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การใช้ตัวทำละลายสกัดตัวถูกละลายที่อยู่ในวัตถุของแข็งออกมาอยู่ในตัวทำละลาย เช่น การสกัดเม็สน้ำมัน เนื่องจากการสกัดของแข็งด้วยของเหลวมีใช้กันในหลายสาขา จึงมีชื่อเรียก ที่แตกต่างกันไปได้ เช่น washing (การล้าง), percolation (เทตัวทำละลายลงบนของแข็ง เช่น กาแฟ), decoction (จุ่มอนุภาคในตัวทำละลายเดือด เช่น การทำข้าวหมกในโรงต้มสุรา), maceration (จุ่มอนุภาคลงในตัวทำละลายเย็น เช่น สมุนไพรในทางเภสัชศาสตร์), elution (การนำตัวถูกละลายที่ติดอยู่ที่ผิวของของแข็งกลับคืนมา เช่น โครมาโตกราฟี) เป็นต้น
2. การใช้ตัวทำละลายทำปฏิกิริยากับวัตถุของแข็ง เพื่อผลิตสารประกอบที่ละลายได้ในตัวทำละลาย เช่น การทำสินแร่ เป็นต้น

สมุนไพร (Crude Drug) คือ ยาที่ได้จากพฤกษชาติ สัตว์หรือแร่ ซึ่งยังมีได้ผสม ปรง หรือแปรสภาพสมุนไพร ส่วนใหญ่ได้มาจากพืช สำหรับยาที่ได้จากสัตว์มีน้อยมาก ส่วนประกอบในสมุนไพรแต่ละชนิดมีมากมาย เช่น กัม (Gum), โปรตีน (Protein), อัลบูมิน (Albumins), เซลลูโลส (Cellulose), เรซิน (Resins), อัลคาลอยด์ (Alkaloids), กลัยโคไซด์ (Glycosides) เป็นต้น ซึ่งตัวยาสกัดได้ บางชนิดมีฤทธิ์ทางการแพทย์ บางชนิดไม่มีฤทธิ์ทางการแพทย์และบางชนิดเป็นสารพิษ ซึ่งมีอันตรายและมีผลต่อความคงตัวของยา หรือรสไม่ดี ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่

ต้องการ ดังนั้นจึงต้องเลือกตัวสกัดที่สามารถละลายด้วยที่ต้องการออกมาเท่านั้น ส่วนสารที่ไม่มีผลทางการรักษา หรือสารมีพิษ ต้องมีกระบวนการกำจัดออกหลังจากการสกัด

ตัวสกัดยา (Menstrum) คือ ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดเอาด้วยออกจากสมุนไพร เช่น น้ำ, แอลกอฮอล์, กลีเซอรินและอะซิโตน เป็นต้น การเลือกใช้ตัวสกัดใดขึ้นกับความสามารถในการละลายในตัวสกัดนั้นของตัวยาที่จะถูกสกัด

สารสกัด (Extractives) คือ ของเหลวที่ได้จากการสกัดไม่ว่าจะทำการสกัดโดยวิธีใดก็ตาม ประกอบด้วยสารที่มีฤทธิ์ทางการรักษา (Pharmaceutically active) ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการจากการสกัด กับสิ่งที่ไม่มีฤทธิ์ทางการรักษา (Pharmaceutically inactive หรือ Inert substance) ซึ่งสิ่งที่ไม่มีฤทธิ์ทางการรักษามักมีผลต่อความคงตัว (stability) ของตัวยา และอาจจะทำให้ยาเตรียมที่ได้มีสีจางลงหรือไม่น่าดู รสไม่ดี ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ จึงจะต้องป้องกันมิให้เกิดขึ้นในของเหลวที่ได้จากการสกัด หรือต้องกำจัดออกหากมีการปนอยู่ในของเหลวที่ได้หลังการสกัด

กากก้น (Marc) คือ กากของสมุนไพรที่เหลือจากการสกัดเอาด้วยสำคัญออกหมดแล้ว

3.2 การสกัดสมุนไพร [38, 39, 40]

เหตุผลของการสกัดด้วยจากสมุนไพร

- เพื่อให้ได้ตัวยาที่เข้มข้นพอที่สามารถควบคุมความแรงของยาได้
- เพื่อลดการเสื่อมสภาพของตัวยาให้น้อยลง เช่น อาจมีการเสื่อมสภาพของตัวยา อันเนื่องมาจากการกระทำของเอนไซม์ (enzyme) ที่ปนอยู่ในสมุนไพร
- เพื่อทำให้ง่ายต่อการพัฒนาตำรับยาเตรียมชนิดต่างๆ ให้คงตัวได้มากกว่าเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สวยงามและน่าใช้มากขึ้น
- ขนาดของยาที่รับประทานจากตัวยาที่สกัดได้จะมีขนาดน้อยลง และสะดวกในการเก็บและขนส่งมากกว่าในรูปสมุนไพร

3.2.1 ขั้นตอนของกระบวนการสกัด

1. การเตรียมของแข็งที่จะทำการสกัดให้มีสภาพที่สามารถนำไปสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งรวมถึงการบด การลดขนาด หรือเปลี่ยนสภาพใหม่
2. การใช้วิธีการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้มีการสัมผัสระหว่างตัวทำละลายกับของแข็งในลักษณะการแช่หรือการไหลผ่านกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการถ่ายเทตัวถูกละลายที่มีในเนื้อของของแข็ง (ส่วนประกอบที่ละลายได้) ไปยังตัวทำละลาย หลังจากการสัมผัสกัน

แล้วจะแยกสารออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งประกอบด้วยตัวทำละลายที่อยู่กับตัวถูกละลายซึ่งแยกออกจากของแข็ง เรียกส่วนนี้ว่า “overflow” (light phase) อีกส่วนหนึ่งประกอบด้วยของแข็งและตัวถูกละลายที่สกัดไม่หมด และมีตัวทำละลายปนอยู่บ้าง เรียกว่า “underflow” (heavy phase)

3. การแยกตัวถูกละลายออกจากตัวทำละลายพร้อมทั้งนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งปกติจะใช้กระบวนการระเหยหรือการกลั่น

3.2.2 กลไกของกระบวนการสกัด

การสกัดในระบบของเหลว-ของแข็ง ประกอบด้วยกระบวนการสำคัญ 5 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 สารละลายขนถ่ายจากรอบๆอนุภาคของแข็งไปสู่พื้นผิวของอนุภาคของแข็ง (solvent convection)

ขั้นตอนที่ 2 สารละลายแพร่เข้าไปในอนุภาคของแข็ง (diffusion)

ขั้นตอนที่ 3 ตัวทำละลายละลายตัวถูกละลาย (dissolution)

ขั้นตอนที่ 4 ตัวถูกละลายแพร่ออกมาจากอนุภาคของแข็งมาที่พื้นผิวของอนุภาคของแข็ง (back diffusion)

ขั้นตอนที่ 5 ตัวถูกละลายที่พื้นผิวของอนุภาคของแข็งถูกถ่ายโอนมายังสารละลายรอบๆอนุภาคของแข็ง (solute convection)

พิจารณาอัตราของขั้นตอนต่างๆในกระบวนการสกัด

ขั้นตอน Convection

ในขั้นตอนนี้พิจารณาว่าไม่มีความต้านทานที่รอยต่อระหว่างพื้นผิวอนุภาคของแข็งกับตัวทำละลาย ดังนั้น อัตราการถ่ายโอนตัวถูกละลาย (A) ไปสู่ตัวทำละลายปริมาตร (V) คือ

$$N_A = K_L A (C_{AS} - C_A) \quad (3.1)$$

โดย N_A = อัตราการถ่ายโอนจำนวนโมลของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลายต่อเวลา (กิโลกรัม โมลต่อวินาที)

A = พื้นผิวของอนุภาคของแข็ง (ตารางเมตร)

K_L = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (เมตรต่อวินาที)

C_{AS} = ค่าความเข้มข้นอิ่มตัวของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลาย (กิโลกรัม โมลต่อลูกบาศก์เมตร)

C_A = ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลาย ณ เวลาใดๆ (กิโลกรัม โมลต่อลูกบาศก์เมตร)

ขั้นตอน Diffusion

ในขั้นตอนนี้พิจารณาว่าความต้านทานภายในส่งผลต่ออัตราถ่ายเทมวลจากภายในอนุภาคของแข็งไปสู่ตัวทำละลาย ดังนั้น อัตราการแพร่ของตัวทำละลายเข้าสู่ภายในอนุภาคของแข็งและอัตราการแพร่ของสารละลายออกไปสู่ตัวทำละลายปริมาตร (V) คือ

$$N_{AR} = -D_A (dC_A / dr) \quad (3.2)$$

โดย N_{AR} = อัตราการถ่ายโอนจำนวนโมลของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลายต่อเวลา (กิโลกรัม โมลต่อตารางเมตร-วินาที)

D_A = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (ตารางเมตรต่อวินาที)

dC_A / dr = อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (A) เมื่อระยะทาง (r) เปลี่ยน (กิโลโมลต่อเมตร⁴)

ขั้นตอน Dissolution

คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงเฟสของตัวถูกละลายจากของแข็งที่ไม่ละลายให้มีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายได้ เนื่องจากสมบัติของตัวถูกละลายขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล เมื่อน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง จึงมีความสามารถในการละลายและการแพร่ในอนุภาคของแข็งเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาการละลายมีอัตราที่สูงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และปฏิกิริยาการละลายทั่วไปประกอบด้วย ปฏิกิริยาแตกตัวด้วยน้ำ เพราะน้ำเป็นส่วนประกอบหลักในสารละลายซึ่งน้ำอธิบายในสมการ ปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่ง (pseudo-first-order) และตัวถูกละลายอธิบายในสมการปฏิกิริยาอันดับสอง (second order) ซึ่งปฏิกิริยาที่ต้องการเพื่อให้ขนาดโมเลกุลเล็กลง คือ ปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่ง ดังนั้น เพื่อเพิ่มผลลัพธ์ของปฏิกิริยาเสมือนอันดับหนึ่งจึงต้องลดผลกระทบจากปฏิกิริยาอันดับสอง คือ เพิ่มปริมาณสัดส่วนตัวทำละลายต่ออนุภาคของแข็ง

ในขั้นตอนนี้ พิจารณาว่าเมื่ออัตราการละลายเร็วมาก สมการแสดงปฏิกิริยาการละลาย First order เป็นดังนี้

$$\ln \frac{(Y_{\max} - Y)}{Y_{\max}} = -K_r T \quad (3.3)$$

โดย Y_{\max} = ความเข้มข้นสูงสุดของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลาย
(กิโลกรัม โมลต่อลูกบาศก์เมตร)

Y = ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (A) ในสารละลาย
(กิโลกรัม โมลต่อลูกบาศก์เมตร)

K_r = ค่าคงที่ของปฏิกิริยา (1/วินาที)

T = เวลาที่ใช้ในการสกัด (วินาที)

3.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการสกัด

ก. คุณลักษณะของพืชสมุนไพร

พืชสมุนไพรแต่ละชนิดมีคุณลักษณะแตกต่างกันมาก บางชนิดมีเนื้ออ่อนและยุ่นจึงสกัดได้ง่าย แต่บางชนิดมีเนื้อแข็งกระด้าง เช่น ส่วนของเมล็ด ถึงแม้จะแช่น้ำเป็นเวลานานบางครั้งก็ยังแข็งอยู่ ทำให้สกัดด้วยยาได้ยาก นอกจากนี้โครงสร้างภายในของพืชสมุนไพรยังมีผลต่อความยากง่ายของการแทรกซึมตัวทำละลายเข้าสู่เซลล์สมุนไพร กล่าวคือ สมุนไพรที่เก็บตากแห้งแล้วมักจะเป็นรูพรุน เนื่องจากเซลล์หดตัวลง เพราะเสียน้ำไปตามรูพรุนที่มีอากาศอยู่ ตัวทำละลายต้องเข้าไปแทนที่อากาศตามช่องว่าง แล้วจึงจะสามารถแทรกซึมเข้าเซลล์ได้ ดังนั้น หากโครงสร้างภายใน

เซลพิชสมุนไพรมีลักษณะที่เอื้ออำนวยต่อการแทรกซึมของตัวทำละลายให้เกิดขึ้นง่ายและเร็วขึ้น จะมีผลช่วยเพิ่มอัตราของการสกัด

ข. ขนาดอนุภาค

อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวลสารมากขึ้น และระยะทางที่สั้นลง ซึ่งจะส่งผลทำให้ตัวถูกละลายที่อยู่ภายในของแข็งแพร่กระจายออกสู่ตัวทำละลายได้เร็วขึ้น นอกจากนี้การลดขนาดอนุภาคให้เล็กลงยังเป็นการทำลายผนังเซลล์ให้แตกออก ทำให้สารสำคัญภายในไหลออกมาได้ ทำให้สกัดได้ง่ายขึ้น

ระดับของการลดขนาดควรพิจารณาจากความแข็งแรงของโครงสร้างของสมุนไพรรวม สมุนไพรที่ประกอบด้วยเซลล์ที่อ่อนนุ่ม เพียงแต่บดให้เป็นแผ่นใหญ่ก็เพียงพอแก่การสกัด ส่วนสมุนไพรที่ประกอบด้วยเซลล์ที่แข็งแรงเป็นเนื้อไม้จำเป็นจะต้องลดขนาดให้เล็กลงตั้งแต่หยาบหรือหยาบปานกลางจนถึงขนาดละเอียดปานกลาง ขนาดที่เหมาะสมควรเป็นขนาดที่ทำให้ได้สารสกัดที่ต้องการสูงสุด ซึ่งขนาดของอนุภาคที่เหมาะสมแก่การสกัดนั้น ได้จากการทดลอง

ค. ตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่ดีควรมีค่าความมีขั้ว (polarity index) ที่เหมาะสมกับตัวถูกละลาย และมีความหนืด (viscosity) ต่ำเพื่อให้มีการไหลเวียนที่ดีและเป็นการลดความหนาของชั้นตัวทำละลายที่อยู่โดยรอบเซลล์

โดยทั่วไปมักไม่นิยมใช้ตัวทำละลายบริสุทธิ์ในการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร แต่จะใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอื่นในสัดส่วนที่พอเหมาะ เพื่อช่วยในการแทรกซึมของตัวทำละลายเข้าสู่เซลล์สมุนไพรได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุลเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการพองตัวของเซลล์สมุนไพรได้ง่าย การแทรกซึมของตัวทำละลายจึงเกิดได้ดีขึ้น นอกจากนี้สารบางอย่างอาจละลายได้ดีในน้ำผสมกับตัวทำละลายอื่นใกล้เคียงกับการละลายในตัวทำละลายบริสุทธิ์เพียงอย่างเดียว การใช้น้ำผสมตัวทำละลายอื่นเป็นน้ำยาสกัด จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสกัด

ในกระบวนการสกัดตัวทำละลายตอนเริ่มต้นจะไม่มีตัวถูกละลายอยู่เลย เมื่อเวลาของการสกัดผ่านไปความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งผลต่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายและในอนุภาคของสมุนไพรที่นำมาสกัดลดลง ทำให้ตัวถูกละลายสามารถละลายในตัวทำละลายได้ลดน้อยลง นั่นหมายถึง อัตราการสกัดน้อยลงนั่นเอง ดังนั้นในการสกัดสมุนไพร ปริมาณของตัวทำละลายที่ใช้จึงเป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งต่ออัตราการสกัด นั่นคือ หากอัตราส่วนของตัวทำละลายต่ออนุภาคที่นำมาสกัดมีค่ามากปริมาณการสกัดก็จะสูงขึ้นด้วย ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการก็จะมีค่าสูงด้วย ด้วย

เหตุนี้จึงต้องทำการทดลอง เพื่อศึกษาหาค่าอัตราส่วนของตัวทำละลายต่ออนุภาคที่นำมาสกัดที่เหมาะสมที่สุด

ง. อุณหภูมิของตัวทำละลาย

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น มีผลให้อัตราการสกัดสูงมากขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดของตัวทำละลายจะมีค่าลดลง ส่งผลให้ความหนาของชั้นตัวทำละลายที่อยู่โดยรอบเซลล์ลดลง และทำให้เกิดการหมุนวนซึ่งให้ผลคล้ายการกวน นอกจากนี้ อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ตัวถูกละลายแพร่กระจายสู่ตัวทำละลายได้มากขึ้น และโดยทั่วไปความสามารถในการละลายของสารจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

จ. เวลาในการสกัด

ถ้าใช้เวลาในการสกัดน้อย สารที่ต้องการสกัดจะถูกสกัดออกมาน้อย ดังนั้นจะต้องใช้เวลาในการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณของสารสกัดมากที่สุด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาสมการการถ่ายเทมวลสาร จะเห็นว่า ในช่วงแรกอัตราการสกัดสารจะมีค่ามากกว่าในช่วงหลัง ทั้งนี้เนื่องจากตัวทำละลายในตอนเริ่มต้นจะไม่มีตัวถูกละลายอยู่เลย ดังนั้นความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายจะมีค่าสูง และเมื่อเวลาผ่านไป อัตราการสกัดจะลดลงตามลำดับ จนกระทั่งความแตกต่างของความเข้มข้นเป็นศูนย์ จนไม่สามารถสกัดสารออกมาได้อีก ดังนั้นจะต้องเลือกใช้เวลาในการสกัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารสกัดปริมาณมากโดยสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

ฉ. การกวนของของไหล

การกวนตัวทำละลายเป็นสิ่งสำคัญมาก เนื่องจากการกวนเพราะจะช่วยเพิ่มอัตราการสกัด เพราะจะทำให้เกิดการปั่นป่วนของตัวทำละลายมากขึ้น และทำให้การถ่ายเทมวลสารจากผิวสัมผัสของอนุภาคไปยังสารละลายทั้งหมดได้มากขึ้น ซึ่งการกวนจะทำให้อนุภาคลอยตัวเป็นสารแขวนลอย และการเกิดเป็นสารแขวนลอยจะทำให้พื้นที่ผิวระหว่างของแข็งและของเหลวมีมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการสกัดเพิ่มขึ้น

3.2.4 การเตรียมสมุนไพรสำหรับการสกัด

สมุนไพรที่เก็บมาจะถูกทำให้แห้งก่อนทำการสกัดเพื่อ

- ลดการทำงานของเอนไซม์ที่อาจทำลายตัวยาสำคัญในสมุนไพรนั้น
- ป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย ราและยีสต์
- ทำให้ง่ายแก่การบรรจุ เก็บรักษา และการขนส่ง

สมุนไพรที่ใช้ต้องลดขนาดให้พอเหมาะ ไม่ควรให้หยาบหรือละเอียดเกินไปเนื่องจาก

- การลดขนาดเป็นระยะเวลานาน อาจทำให้สารสำคัญภายในสลายตัวหรือ สูญเสียไป โดยเฉพาะน้ำมันหอมระเหย
- อนุภาคที่ละเอียดมากที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลาง ถ้าต้องกรองออกจากกันในขั้นสุดท้ายของการสกัดจะทำให้ยากมาก
- การทำให้เซลล์แตกอาจช่วยในการแทรกซึมของตัวยาก็จริงอยู่ แต่มีข้อควรคำนึง คือ สารอื่นๆที่ไม่ต้องการจะมีโอกาสไหลออกมารวมกับสารที่สกัดได้ด้วย
- ไม่จำเป็นเสมอไปว่าผงที่ละเอียดจะสกัดสารได้ดีกว่า จากผลการทดลอง พบว่า สกัดอัลคาลอยด์ (alkaloids) จากพืช belladonna, stramonium ที่มีขนาดละเอียด จะได้ปริมาณสารสกัดทั้งหมด (total extraction) มาก แต่ถ้าสกัดจากขนาดหยาบปานกลาง จะได้สัดส่วนของอัลคาลอยด์มากกว่า
- โดยทั่วไปผงที่หยาบและแข็งสกัดสารได้ยาก

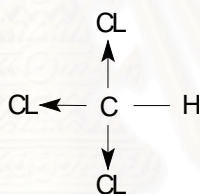
3.2.5 การเลือกตัวทำละลาย

การเลือกตัวทำละลายในการสกัดด้วยยาจากสมุนไพร มีปัจจัยที่สำคัญ ดังนี้

- ความสามารถในการละลายสารที่มีสมบัติเป็นยา
- ความปลอดภัย ต้องไม่เป็นพิษและไม่เป็นอันตราย เช่น ไม่ติดไฟง่าย ไม่ระเบิดง่าย
- ราคาตัวทำละลายที่ใช้ไม่ควรมีราคาแพงเกินไป ที่สำคัญควรเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตขึ้นได้ในประเทศ
- ความสะดวกและความปลอดภัยในการแปรรูปสารละลายสกัดที่ได้ โดยทั่วไปสารละลายสกัดจากสมุนไพรจะได้รับการแปรรูปก่อนนำไปใช้ เช่น ทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้แห้งเป็นผง แล้วนำไปบรรจุแคปซูล หรืออัดเป็นเม็ดยาต่อไป ในกระบวนการเหล่านี้ต้องใช้ความร้อนได้ คือ ไม่เกิดอันตราย เมื่อได้รับความร้อนเพื่อความสะดวกในการทำแห้ง

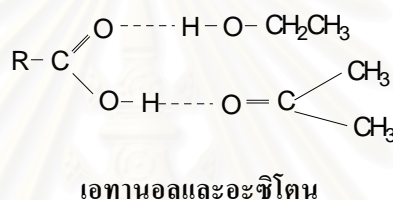
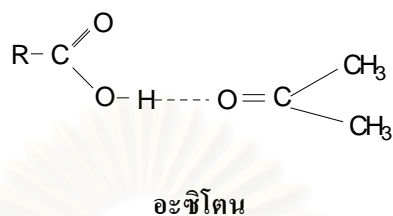
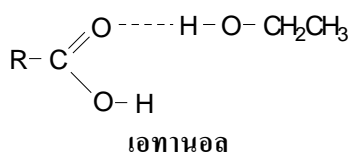
ในการเลือกใช้ตัวทำละลายสามารถอาศัยหลักเกณฑ์ต่อไปนี้ คือ

- ก. สารละลายและตัวทำละลายมีคุณสมบัติความมีขั้วคล้ายคลึงกัน
- ข. ละลายสารที่ต้องการออกมามากที่สุด ในขณะที่ละลายสารที่ไม่ต้องการออกมาน้อยที่สุด (selectivity)
- ค. แรง (force) แรงซึ่งเกี่ยวข้องในการละลายที่สำคัญคือ
- Dispersion force เป็นแรงที่เกิดจาก Transient charger induced ในโมเลกุล พวกตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วจะประกอบด้วยโมเลกุลซึ่งเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ทำให้พวกสารที่ไม่มีขั้วเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลได้ง่าย
 - Dipole-dipole force เป็นแรงที่พบในตัวทำละลายที่มีขั้วเกิดการเหนี่ยวนำในโมเลกุล เกิดเป็นขั้วบวกและขั้วลบ พวกนี้จะทำให้โมเลกุลของตัวทำละลายที่มีขั้วจับกันแน่น พวกสารซึ่งไม่มีขั้วจะแทรกตัวเข้าไปได้ยาก
 - H-bonding สารที่สามารถสร้าง H-bonding กับตัวทำละลายได้ดีก็จะละลายได้ดี สารซึ่งสามารถสร้าง H-bonding ได้แบ่งออกเป็น
 - สารซึ่งมี active hydrogen แต่ไม่มี donor atom เช่น CHCl_3



- สารที่มี donor atom แต่ไม่มี active hydrogen
- สารที่มีทั้ง donor และ active hydrogen
- สารซึ่งสามารถจับตัวต่อเนื่องกันเป็นร่างแหเกิดเป็นโมเลกุลใหม่(network of bonding) ได้แก่ น้ำ polyphenols และ hydroxy acids

โดยทั่วไป ตัวทำละลายที่มีขั้วเหมาะกับสารที่มีขั้ว และตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเหมาะกับสารที่ไม่มีขั้ว การผสมระหว่างตัวทำละลายที่มีขั้วและไม่มีขั้วอาจทำให้การละลายดีขึ้น เช่น กรดสามารถละลายได้ในเอทานอล อะซิโตน และส่วนผสมของตัวทำละลายทั้งสอง



บางครั้งการเลือกใช้ตัวทำละลายอาจจะอาศัยการพิจารณาสูตรโครงสร้างทางเคมีของสาร เช่น β -amyrene, β -amyrin และ oleanolic acid มีสูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกัน แต่ความสามารถในการละลายจะแตกต่างกัน คือ β -amyrene จะละลายได้ดีในเฮกเซนเพราะเป็นสารที่ไม่มีขั้ว β -amyrin ซึ่งมี -OH เพิ่มขึ้นจะละลายได้ดีในคลอโรฟอร์มและอีเธอร์เพราะมีขั้วเพิ่มขึ้น ส่วน oleanolic acid มีทั้ง -COOH และ -OH จึงต้องใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วมากขึ้น เช่น เอธิลอะซีเตท และอะซีโตน

ก. คุณสมบัติของน้ำ

น้ำเป็นตัวทำละลายสำหรับ โปรตีน (protein), สารที่มีสี (coloring matter), กัม (gum), น้ำตาล (sugar), แทนนิน (tannin), เอนไซม์ (enzyme), อนุพันธ์ของแอนทราควิโนน (anthraquinone derivative), เกลืออัลคาลอยด์ (alkaloidal salts), กลัยโคไซด์ (glycosides), กรดอินทรีย์ (organic acid) และ เกลืออนินทรีย์ (inorganic salts) แต่ไม่ละลายสารจำพวกแวกซ์ (wax), ไขมัน (fats), เบสอัลคาลอยด์ (alkaloidal bases)

ข้อดีของน้ำ

- ราคาถูก
- ใช้สกัดสารได้หลายชนิด
- ไม่มีพิษ
- ไม่ติดไฟ

ข้อเสียของน้ำ

- ไม่มีความเจาะจงในการละลายต่อสาร ทำให้ละลายสารที่ไม่ต้องการออกมาด้วย
- น้ำทำให้เกิดการสลายตัวของสารสำคัญโดยการเกิดไฮโดรไลซิส หรือมีผลทำให้เอนไซม์สามารถทำงานได้
- น้ำเป็นอาหารของเชื้อจุลินทรีย์และสัปดาห์เชื้อที่เป็นอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ออกมาด้วย ทำให้เกิดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้
- น้ำมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง คือ เท่ากับ 540 แคลอรีต่อกรัม กรณีที่ต้องการระเหยไอน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้จึงต้องใช้ความร้อนสูง ซึ่งอาจทำให้เกิดการสลายตัวของตัวยาสำคัญ
- ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อตั้งทิ้งไว้มักมีสารบางชนิดแยกตัวออกมา

ข. คุณสมบัติของเอทานอล

เอทานอลเป็นตัวทำละลายสำหรับอัลคาลอยด์, เกลืออัลคาลอยด์, กลัยโค-ไซค์, น้ำมันที่ระเหยได้ (volatile oil), เรซิน (resin) และรวมถึงสารมีสีบางชนิด (โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์), แทนนิน, อนุพันธ์ของแอนทราควิโนน และกรดอินทรีย์หลายชนิด แต่ไม่ละลายสารจำพวกอัลบูมิน, กัม, แวกซ์, ไขมัน

ข้อดีของเอทานอล

- มีความเจาะจงในการละลายมากกว่าน้ำ ตัวอย่างเช่น สมุนไพรที่มีส่วนประกอบของกัม, อัลบูมิน, กลัยโคไซค์ และเกลือของกลัยโคไซค์ ถ้าใช้น้ำในการสกัดจะละลายสารทั้ง 4 ตัวออกมา แต่ถ้าใช้เอทานอลในการสกัดจะละลายเฉพาะกลัยโคไซค์และเกลือของกลัยโคไซค์ออกมาเท่านั้น
- ยีสต์ รา และแบคทีเรีย ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในตัวทำละลายที่มีเอทานอลมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์
- ยาเตรียมที่ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายในจำนวนที่ใช้รับประทานโดยทั่วไปไม่ถึงระดับที่เป็นพิษแก่ร่างกาย
- เอทานอลมีปฏิริยาก่อนข้างน้อย
- ค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอน้อยกว่าน้ำ จึงใช้ความร้อนน้อยกว่าเมื่อต้องการทำให้ผลิตภัณฑ์เข้มข้นขึ้น
- สามารถผสมเข้ากับน้ำได้ทุกอัตราส่วน ทำให้เลือกอัตราส่วนในการผสมกับน้ำได้อย่างอิสระ

ข้อเสียของเอทานอล

เอทานอลบริสุทธิ์ราคาค่อนข้างแพง จึงใช้เป็นตัวทำละลายในกรณีที่เป็นเท่านั้น

ค. คุณสมบัติของอะซิโตน

อะซิโตนสามารถละลายไขมัน, เรซิน, น้ำมันที่จำเป็นสำหรับร่างกาย (essential oils) ได้ แต่มีข้อเสียคือ สามารถละลายสารละลายได้ดีเช่นเดียวกับน้ำ และ อะซิโตนมักมีกลิ่นไม่ดีติดอยู่ในสารสกัด รวมทั้งไล่กลิ่นออกได้ยาก

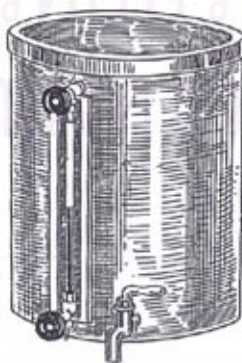
3.2.6 วิธีการสกัด

การสกัดสารสำคัญจากพืชอาจทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับลักษณะโดยธรรมชาติของสมุนไพร เช่น บางชนิดเพียงแช่ในตัวสกัด ตัวยาจะถูกสกัดออกได้ง่าย ชนิดของสารที่สกัด คุณสมบัติของสารในการทนต่อความร้อน ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ ลักษณะการละลายของตัวยา บางชนิดใช้วิธีเดียว บางชนิดต้องใช้หลายวิธีผสมกัน แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัด วิธีเหล่านี้ได้แก่

3.2.6.1 การแช่ยู่ (Maceration)

การแช่ยู่เป็นกระบวนการสกัดสารสำคัญจากพืชโดยวิธีหมักสมุนไพรกับตัวทำละลายในภาชนะที่ปิดสนิท ทิ้งไว้ 7 วัน หมั่นเขย่าหรือคนบ่อยๆ เมื่อครบกำหนดเวลา จึงค่อยๆรินเอาสารสกัดออก พยายามบีบเอาสารละลายออกจากกาก (marc) ให้มากที่สุด รวมสารสกัดที่ได้นำไปกรอง การสกัดถ้าจะสกัดให้หมดจด (exhausted) อาจจำเป็นต้องสกัดซ้ำหลายครั้ง วิธีนี้มีข้อดี คือ สารไม่ถูกความร้อน แต่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองตัวทำละลายมาก

กรณีที่ทำ การสกัดครั้งละปริมาณ น้อยไม่เกิน 1000 ลูกบาศก์-เซนติเมตร เครื่องมือที่ใช้ในการสกัดด้วยการแช่ยู่ คือ ขวดปากกว้างที่มีฝาแก้วที่ปิดได้สนิท (wide mouth bottle with ground glass stopper), ขวดโหลที่มีฝาปิด (canning jar with a cover) หรือขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) สำหรับกรณีทำการสกัดครั้งละปริมาณมาก คือ ในปริมาณ 10, 20, 50 แกลลอนหรือมากกว่าจะใช้ถังแช่ยู่ (Maceration Tank) ดังแสดงในรูปที่ 3.1

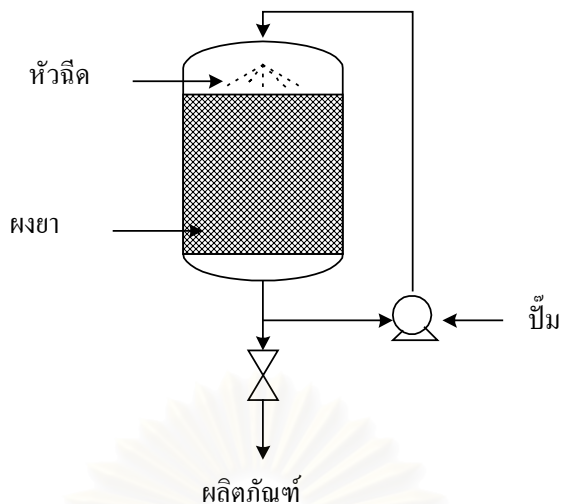


รูปที่ 3.1 ถังแช่ยู่

จากวิธีการสกัดด้วยการแช่อยู่ซึ่งแช่หรือหมักผงยาในตัวทำละลายที่กล่าวมาแล้วนั้น สามารถนำมาดัดแปลงเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการสกัดดียิ่งขึ้น โดยให้ตัวทำละลายหมุนวนเวียนผ่านผงยาตลอดเวลา (circulatory extraction) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยใช้เครื่องปั๊มตัวทำละลายออกจากด้านล่างของเครื่องมือ แล้วนำกลับขึ้นมาผ่านกลับเข้าไปในระบบที่ส่วนบนของภาชนะตามลูกศร เพื่อให้ตัวทำละลายผ่านซ้ำบนผงยาอย่างสม่ำเสมอ ด้วยการใช้หัวฉีด (spray nozzle) การที่ตัวทำละลายได้มีการเคลื่อนที่หมุนวนเช่นนี้ จะช่วยลดความเข้มข้นที่เกิดเป็นหย่อมๆทั่วภาชนะ ทำให้ได้ประสิทธิภาพดีในช่วงเวลาสั้น อย่างไรก็ตาม การสกัดที่กีดกันนั้นยังไม่ถึงขั้นสมบูรณ์ ดังเช่นการสกัดด้วยการแช่อยู่แบบธรรมดา เนื่องจากการถ่ายเทตัวยาสำคัญจากเซลล์ตัวทำละลายจะหยุดลงเมื่อถึงจุดสมดุล ถึงกระนั้นปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้การสกัดแบบหลายขั้นตอน (multi-stage extraction)

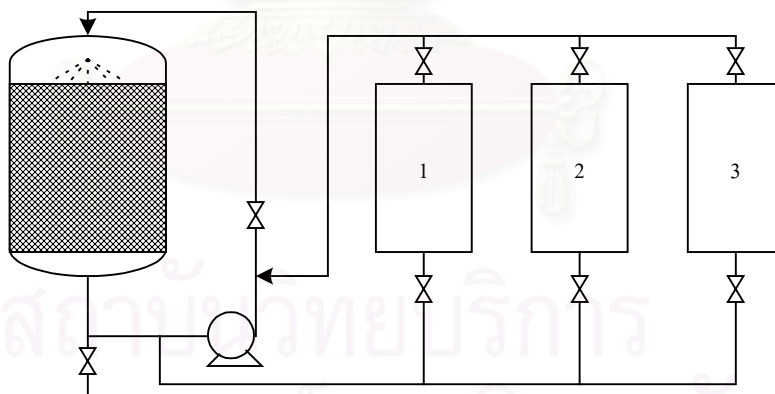


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 การสกัดแบบมีการหมุนเวียนของตัวทำละลาย

การสกัดแบบหลายขั้นตอนประกอบด้วยภาชนะบรรจุผงยาพร้อมด้วยปั๊ม (pump), หัวกระจายตัวทำละลาย (spray distributors) และถัง (tank) สำหรับใส่ของเหลวหรือผลผลิตที่สกัดได้ ทั้งภาชนะและถังเชื่อมต่อกันด้วยท่อและวาล์ว ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การสกัดแบบหลายขั้นตอน (Multiple Stage Extraction)

ขั้นตอนของกระบวนการสกัดเป็นดังนี้

1. บรรจุผงยาลงในภาชนะ เติมตัวทำละลาย และให้ไหลเวียนผ่านผงยา ทำการถ่ายเทของเหลวที่สกัดได้ไปยังถังใบที่ 1

2. เติมตัวทำละลายใหม่ลงในภาชนะ และให้ไหลเวียนผ่านผงยา ทำการถ่ายของเหลวที่สกัดได้ไปยังถังใบที่ 2
3. เติมตัวทำละลายใหม่ลงในภาชนะ และให้ไหลเวียนผ่านผงยา ทำการถ่ายของเหลวที่สกัดได้ไปยังถังใบที่ 3
4. นำผงยาเดิมออกจากภาชนะ แล้วบรรจุผงยาใหม่ ถ่ายของเหลวจากถังใบที่ 1 กลับมายังภาชนะบรรจุยา แล้วปล่อยให้ไหลออกสู่ด้านล่างภาชนะเก็บของเหลวที่ได้เพื่อนำไปประเหย
5. ถ่ายของเหลวจากถังใบที่ 2 กลับมายังภาชนะบรรจุผงยา แล้วถ่ายไปเก็บยังถังใบที่ 1
6. เก็บของเหลวจากถังใบที่ 3 กลับมายังภาชนะ แล้วถ่ายไปเก็บยังถังใบที่ 2 เติมตัวทำละลายใหม่ลงในภาชนะ และให้หมุนเวียนผ่านผงยา ถ่ายไปเก็บยังถังใบที่ 3
7. นำผงยาเดิมออกจากภาชนะ และบรรจุผงยาใหม่ แล้วทำซ้ำตั้งแต่ข้อที่ 1

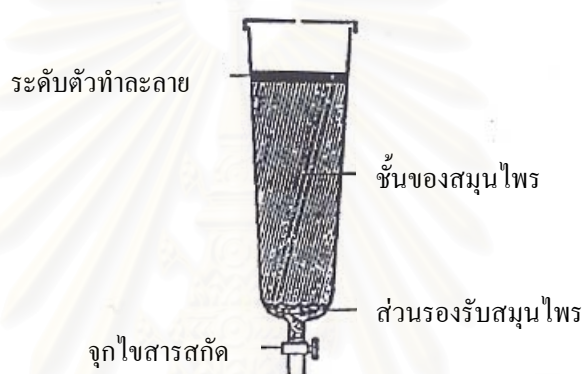
จากขั้นตอนดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ผงยาถูกสกัดด้วยตัวทำละลายหลายครั้ง และในหนึ่งรอบของการทำงาน เมื่อถึงทั้งสามเต็มไปด้วยของเหลวที่สกัดได้ ในถังใบที่ 1 มีความเข้มข้นของตัวยามากที่สุด และถังใบที่ 3 จะมีความเข้มข้นของตัวยาน้อยที่สุด

ข้อดีของการสกัดด้วยวิธีนี้ คือ ผงยาถูกสกัดได้มากกว่านี้เท่ากับจำนวนถังจากตัวอย่างนี้ผงยาถูกสกัด 3 ครั้ง ถ้าต้องการสกัดได้มากกว่านี้ก็เพียงแค่เพิ่มปริมาณถัง การที่ใช้ตัวทำละลายใหม่ผ่านผงยาครั้งสุดท้าย จะช่วยสกัดตัวยาได้มากขึ้น และการไหลของเหลวที่สกัดได้ในตอนแรก ผ่านผงยาใหม่อีกครั้งก่อนเก็บของเหลวเพื่อนำไปประเหย ทั้งสองประการนี้ช่วยให้สกัดตัวยาได้มากขึ้นกว่าวิธีการแช่อยู่แบบธรรมดา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.6.2 การปล่อยให้ไหลซึมผ่าน (Percolation)

การปล่อยให้ไหลซึมผ่านเป็นกระบวนการสกัดสารสำคัญจากพืชโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เพอร์คอลลีเตอร์ (percolator) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยนำสมุนไพรมาหมักกับตัวทำละลายพอชื้นทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้พองตัวเต็มที่ แล้วค่อยๆ บรรจุผงยาที่ละลายลงใน Percolator เติมตัวทำละลายลงไปให้ระดับตัวทำละลายสูงเหนือสมุนไพร (solvent head) ประมาณ 0.5 เซนติเมตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงเริ่มไขเอาสารสกัดออก โดยคอยเติมตัวทำละลายเหนือสมุนไพรอย่าให้แห้งเก็บสารสกัดจนการสกัดสมบูรณ์ บีบกากเอาสารสกัดออกให้มากที่สุด นำสารสกัดที่เก็บได้ทั้งหมดรวมกันนำไปกรอง



รูปที่ 3.4 เพอร์คอลลีเตอร์

จากวิธีการปล่อยให้ไหลซึมผ่านแบบธรรมดา เชื่อว่าการสกัดยังไม่สมบูรณ์ จึงได้ทำการปรับปรุงให้การสกัดดีขึ้น โดยใช้เครื่องมือที่มีลักษณะเรียกว่า การสกัดแบบแบตเตอรี่ (Extraction battery) ประกอบด้วยถังหลายใบเชื่อมต่อกันด้วยท่อเล็กๆ ซึ่งตัวทำละลายและของเหลวที่สกัดได้สามารถเข้าและออกได้

การสกัดแบบแบตเตอรี่มีหลายรูปแบบ โดยมีวิธีการดังนี้

กำหนด F = ผงยาใหม่

S = น้ำยาสกัด

P = ผลผลิตที่สกัดได้

E = กากผงยา

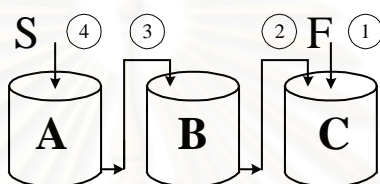
A, B, C = ภาชนะที่ใช้ในการสกัด

เริ่มต้น สมมติภาชนะ C วางเปล่า แต่ A และ B มีผงยาอยู่ ซึ่งผงยาใน A มีลักษณะเกือบเป็นกากผงยา

แบบที่ 1

กระบวนการเป็นดังนี้

1. เติมผงยาใหม่ลงใน C
2. ถ่ายเทสารละลายจาก B ไปยัง C
3. ถ่ายเทสารละลายจาก A ไปยัง B
4. เติมน้ำยาสกัดใหม่ลงใน A

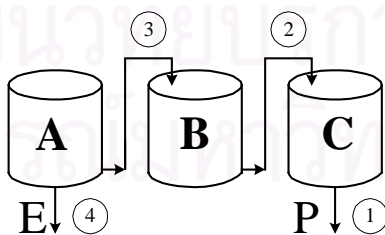


รูปที่ 3.5 การสกัดแบบแบตเตอรีแบบที่ 1

แบบที่ 2

กระบวนการเป็นดังนี้

1. ถ่ายเทผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้ออกจาก C
2. ถ่ายเทสารละลายจาก B ไปยัง C
3. ถ่ายเทสารละลายจาก A ไปยัง B
4. ขจัดกากผงยาออกจาก A

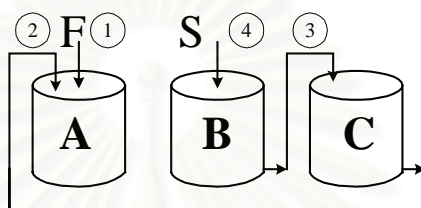


รูปที่ 3.6 การสกัดแบบแบตเตอรีแบบที่ 2

แบบที่ 3

กระบวนการเป็นดังนี้

1. เติมผงยาใหม่ลงใน A
2. ถ่ายเทสารละลายจาก C ไปยัง A
3. ถ่ายเทสารละลายจาก B ไปยัง C
4. เติมน้ำยาสกัดใหม่ลงใน B

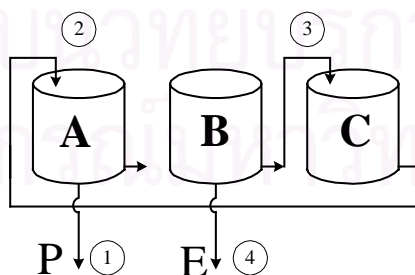


รูปที่ 3.7 การสกัดแบบแบตเตอรีแบบที่ 3

แบบที่ 4

กระบวนการเป็นดังนี้

1. ถ่ายเทผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้ออกจาก A
2. ถ่ายเทสารละลายจาก C ไปยัง A
3. ถ่ายเทสารละลายจาก B ไปยัง C
4. ขจัดกากผงยาออกจาก B

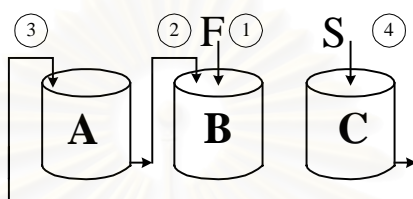


รูปที่ 3.8 การสกัดแบบแบตเตอรีแบบที่ 4

แบบที่ 5

กระบวนการเป็นดังนี้

1. เติมผงยาใหม่ลงใน B
2. ถ่ายเทสารละลายจาก A ไปยัง B
3. ถ่ายเทสารละลายจาก C ไปยัง A
4. เติมน้ำยาสกัดใหม่ลงใน C

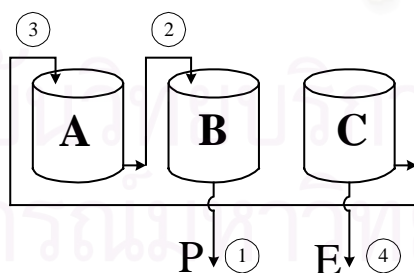


รูปที่ 3.9 การสกัดแบบแบดเทอรีแบบที่ 5

แบบที่ 6

กระบวนการเป็นดังนี้

1. ถ่ายเทผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้ออกจาก B
2. ถ่ายเทสารละลายจาก A ไปยัง B
3. ถ่ายเทสารละลายจาก C ไปยัง A
4. ขจัดกากผงยาออกจาก C



รูปที่ 3.10 การสกัดแบบแบดเทอรีแบบที่ 6

จากกระบวนการดังกล่าวสำหรับทุกรูปแบบ สามารถสรุปได้ว่า

1. หนึ่งรอบการทำงานของการสกัดทั้ง 6 แบบ ซึ่งมี 6 ขั้นตอน ต้องบรรจุผงยาใหม่ 3 ครั้ง, บรรจุตัวทำละลาย 3 ถัง และให้ของเหลวที่สกัดได้ 3 ครั้ง (ถัง) แสดงว่า อัตราส่วนระหว่างผงยาต่อตัวทำละลายทั้งหมด เท่ากับ 1 ต่อ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับ การสกัดแบบปล่อยให้ไหลซึมผ่านแบบธรรมดาซึ่งมีค่า เท่ากับ 1 ต่อ 4
2. ผงยาแต่ละถัง ถูกผ่านด้วยตัวทำละลาย 5 ครั้ง แสดงว่าอัตราส่วนระหว่างผงยาต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1 ต่อ 5 ซึ่งทำให้เราแน่ใจได้ว่าการสกัดมีประสิทธิภาพ อัตราส่วนนี้สามารถได้โดยเพิ่มจำนวนถัง โดยให้ N คือ จำนวนถัง ผงยาจะถูกสกัดด้วยจำนวนครั้งเท่ากับ $2N-1$ (โดยไม่ทำให้อัตราส่วนสุดท้ายของผงยาผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น)
3. ของเหลวที่สกัดได้ผ่านผงยาใหม่ทุกครั้ง ก่อนที่จะถูกถ่ายเทออกจากรอบการทำงาน ทำให้ได้ความเข้มข้นของตัวยามากที่สุด
4. ตัวทำละลายใหม่ผ่านผงยาเก่าก่อนที่จะทิ้ง การที่ผงยาเก่าสัมผัสกับตัวทำละลายใหม่เป็นครั้งสุดท้าย ทำให้แน่ใจได้ว่าผงยานั้นเหลือแต่กากเท่านั้น

จะเห็นได้ว่า การสกัดแบบเบตเตอรีให้ประสิทธิภาพในการสกัดสูงสุด และใช้ปริมาณของตัวทำละลายน้อยที่สุด ดังนั้น ของเหลวหรือผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้จึงมีความเข้มข้นมาก และอาจไม่ต้องระเหยตัวทำละลายอีกเลย

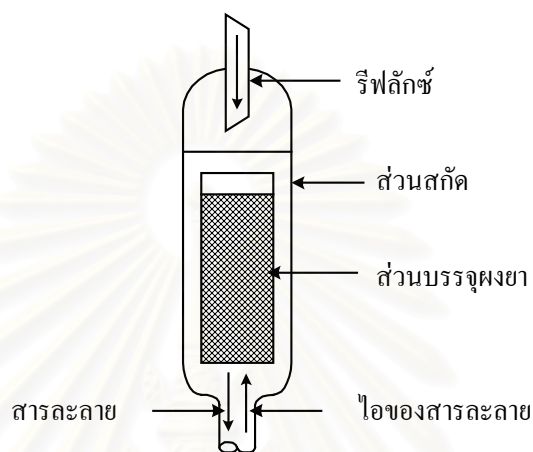
3.2.6.3 การสกัดอย่างต่อเนื่อง (Continuous extraction)

กระบวนการสกัดต่างๆดังที่กล่าวมา เมื่อได้ของเหลวแล้วต้องนำไประเหยตัวทำละลายเพื่อให้เหลือผลิตภัณฑ์ที่เข้มข้น แต่สำหรับการสกัดอย่างต่อเนื่อง จะรวมสองขั้นตอนไว้ด้วยกัน คือ เมื่อตัวทำละลายสัมผัสกับผงยาได้เป็นของเหลวที่สกัดได้แล้วทำให้ตัวทำละลายกลายเป็นไอผ่านไปยังเครื่องควบแน่นกลับเป็นของเหลวไหลกลับมาสกัดผงยาอีก ทำให้การสกัดดำเนินไปตลอดเวลา จึงเรียกว่า การสกัดอย่างต่อเนื่อง

ก. B.P. Continuous Extractor

ส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ ขวดรูปชมพู่, ส่วนที่ทำการสกัด (extraction chamber) ซึ่งภายในมีภาชนะบรรจุผงยา และเครื่องควบแน่น (reflux condensor) เมื่อต้มตัวทำละลาย ไอจากขวดรูปชมพู่จะพุ่งผ่านส่วนที่ทำการสกัดและภาชนะบรรจุผงยาขึ้น

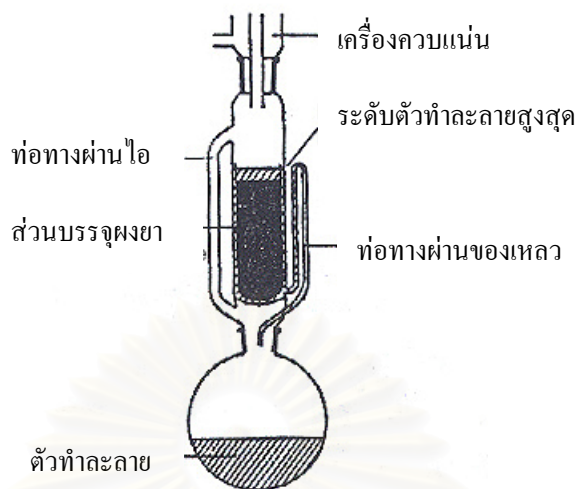
ไป เมื่อถึงเครื่องควบแน่นจะกลายเป็นของเหลวไหลย้อนกลับมาที่ภาชนะบรรจุผงยา พร้อมทั้งสกัดด้วยที่ละลายลงมาสู่ขวดรูปชมพู่ วิธีนี้เรียกว่า การสกัดอย่างต่อเนื่องแบบร้อน (continuous hot extraction) เพราะมีไออยู่โดยรอบภาชนะบรรจุผงยา และการสกัดเกิดขึ้นที่จุดเดือดของตัวทำละลาย ในลักษณะเช่นนี้จัดได้ว่าเป็นกระบวนการของการปล่อยให้ไหลซึมผ่านอย่างต่อเนื่อง (continuous percolation) ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องสกัดอย่างต่อเนื่องแบบ บี.พี. (B.P. Continuous Extractor)

ข. Soxhlet Extractor

การสกัดทำได้โดยใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำ และใช้ความร้อนทำให้ตัวทำละลายในขวดรูปชมพู่ระเหยขึ้นไป แล้วกลั่นตัวลงมาใน thimble ซึ่งบรรจุสมุนไพรไว้ เมื่อตัวทำละลายในส่วนที่ทำการสกัด (Extracting chamber) สูงถึงระดับจะเกิดกาลักน้ำ ทำให้สารสกัดไหลกลับลงในขวดก้นกลม ขวดก้นกลมนี้ได้รับความร้อนจากชุดลวดให้ความร้อน (heating mantle) หรือหม้ออั้งไอน้ำ ตัวทำละลายจึงระเหยขึ้นไป ที่งสกัดไว้ในขวดรูปชมพู่ ตัวทำละลายเมื่อกระทบเครื่องควบแน่น (Condenser) จะกลั่นตัวกลับลงมาสกัดสารใหม่ วงเวียนเช่นนี้จนกระทั่งการสกัดสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 การสกัดด้วยวิธีนี้ใช้ความร้อนด้วยจึงอาจทำให้สารเคมีบางชนิดสลายตัว การสกัดต่างจาก B.P. Continuous Extractor คือ วิธีนี้ให้ไอเคลื่อนที่ไปตามหลอดแก้วด้านข้างขึ้นไปยังเครื่องควบแน่นโดยไม่ผ่านผงยาก่อน เมื่อเป็นของเหลวแล้วจึงจะไหลลงมายังภาชนะและทำหน้าที่สกัดผงยา วิธีนี้จึงเรียกว่า Continuous Cold Extraction เพราะว่าไอไม่ได้ผ่านผงยาขึ้นไปโดยตรง อุณหภูมิขณะทำการสกัดต่ำกว่าอุณหภูมิของไอ หากพิจารณาจะพบว่ามีกระบวนการ Maceration เกิดขึ้นช่วงหนึ่ง กล่าวคือ ตัวทำละลายต้องแช่อยู่ในภาชนะบรรจุผงยา ทำให้ต้องใช้ตัวทำละลายในปริมาณที่มากกว่า



รูปที่ 3.12 ซอกเคิลท์เอ็กซ์แทรกเตอร์ (Soxhlet Extractor)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นเหนือเสียง

คลื่นเหนือเสียง คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่ามนุษย์ได้ยิน โดยทั่วไปมนุษย์จะได้ยินเสียงในช่วง 16 เฮิรซ์ – 16 กิโลเฮิรซ์ สำหรับคลื่นเหนือเสียงที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์จะมีความถี่อยู่ในช่วง 18 กิโลเฮิรซ์ – 500 เมกะเฮิรซ์ การนำไปใช้งานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วงความถี่ คือ

1. ช่วงความถี่สูง (1 – 10 เมกะเฮิรซ์) นำมาประยุกต์ใช้ในการวินิจฉัยและการรักษาทางการแพทย์ เช่น การตรวจอัลตราซาวด์ทารกในครรภ์มารดา
2. ช่วงความถี่ต่ำ (20 – 100 กิโลเฮิรซ์) นำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น อุปกรณ์ทำความสะอาด กระบวนการแตกเซลล์ การเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น

คลื่นเหนือเสียงเป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) นั่นคือ การเคลื่อนที่จะอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทพลังงาน โดยอนุภาคตัวกลางจะสั่นไปมาหรือย้ายตำแหน่งในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของพลังงาน การเคลื่อนที่ของคลื่น (Propagation of Wave) ไปในตัวกลางของเหลว จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน (Vibrate หรือ Oscillate) เกิดเป็นส่วนอัด (Compression) และส่วนขยาย (Rarefaction) สลับไปมาแพร่กระจายในตัวกลาง บริเวณผิวหน้าของของเหลวจะถูกอัด ทำให้ความหนาแน่นและความดันของของเหลวมากขึ้น เกิดการชนกันของโมเลกุลบริเวณนี้มาก ส่งผลให้เกิดการกดของของเหลวในชั้นถัดไปเรื่อยๆ และบริเวณที่ถูกกดตอนแรกจะกลับมาอยู่ในสภาพเดิม เมื่ออยู่ในส่วนขยายจะทำให้ความดันและความหนาแน่นลดลง ส่วนอัดและส่วนขยายนี้จะเดินทางด้วยความเร็วค่าหนึ่งขึ้นกับความหนาแน่น และค่าของสัมประสิทธิ์การยืดหยุ่น (Compressibility) ของสารที่เป็นตัวกลาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 ปรากฏการณ์ควิเทชัน [11]

พลังงานของคลื่นเหนือเสียงที่เกิดขึ้นมีผลกระทบทั้งทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพ โดยผ่านปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “ควิเทชัน” (Cavitation)

ควิเทชัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งปรากฏอยู่ภายในตัวของเหลว บริเวณผิวของของแข็งที่ปนอยู่ในของเหลวนั้น หรือบริเวณผิวของภาชนะที่บรรจุของเหลวนั้น ซึ่งถือเป็นจุดกำเนิด (nuclei) ของควิเทชัน เมื่อถูกแรงกระทำโดยแรงดันอัดและแรงดันขยาย เนื่องจากความดันของคลื่นเหนือเสียงทำให้ฟองมีขนาดโตขึ้นและหดตัวลงสลับกันเป็นจังหวะตามแรงดันของคลื่นเหนือเสียง ลักษณะที่ควิเทชัน โดและหดตัวลงนี้ เนื่องจากมีก๊าซภายในของเหลวแพร่ผ่านเข้าและออกจากฟองอากาศ เหล่านี้สลับกันไปทำให้เกิดลักษณะคล้ายการกวนของเหลวอย่างรุนแรง เหตุผลดังกล่าวนี้เองเป็นผลให้คลื่นเหนือเสียงมีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดด้วยระบบของเหลว-ของแข็ง

ควิเทชัน ที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. *ควิเทชันชนิดที่มีเสถียรภาพ (Stable Cavitation)* จะเกิดขึ้นในสภาวะที่ความถี่และความเข้มของเสียงเหมาะสมกับคุณสมบัติทางกายภาพของสารละลาย ฟองมีขนาดค่อนข้างคงที่ในหลายช่วงคลื่น
2. *ควิเทชันชนิดที่ไม่มีเสถียรภาพ (Transient Cavitation)* ฟองจะมีขนาดใหญ่ขึ้นในส่วนขยายของคลื่น และยุบตัวอย่างรวดเร็วในส่วนอัด การยุบตัวนี้จะเกิดเป็นฟองเล็กๆ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้น (nuclei) สำหรับการเกิดฟองต่อไปและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว (shock wave) เนื่องจากการยุบตัวของฟองนี้จะเกิดขึ้นในเวลาที่รวดเร็วมากในระดับนาโนวินาที จึงสมมติว่าไม่มีการแพร่ของก๊าซเข้า-ออก จากควิเทชัน ภายในควิเทชันสามารถประกอบด้วยไอของของเหลวหรือก๊าซหรือทั้งสองอย่าง ถ้าไม่มีก๊าซภายในควิเทชันนี้ การยุบตัวของควิเทชันจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรง เนื่องจากไม่มีก๊าซภายในฟองมาทำหน้าที่รับแรงกระแทก ส่วนไอของเหลวภายในฟอง สามารถเกิดการควบแน่นและระเหยได้อย่างอิสระในช่วงการยุบตัวของควิเทชัน ทำให้การยุบตัวของควิเทชันเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ (คือ มีขนาดเล็กลงจนมีรัศมีมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด) มากกว่าในกรณีที่มีก๊าซ ซึ่งจะทำหน้าที่รับแรงกระแทก เนื่องจากไม่สามารถแพร่ออกจากควิเทชันได้ในเวลาของการยุบตัวซึ่งสั้นมาก การยุบตัวจึงเกิดอย่างไม่สมบูรณ์ ในทางทฤษฎีสามารถคำนวณค่าอุณหภูมิสูงสุด (T_{\max}) และความดันสูงสุด (P_{\max}) ที่เกิดขึ้นภายในควิเทชัน ณ ขณะที่เกิดการยุบตัวได้จากสมการต่อไปนี้

$$T_{\max} = T_0 [P_m(K-1)/P] \quad (4.1)$$

$$P_{\max} = P[P_m(K-1)/P]^{K(K-1)} \quad (4.2)$$

โดยที่ T_0 คือ อุณหภูมิของของเหลว (เคลวิน)

K คือ ค่าโพลีโทรพิกอินเด็ก (polytropic index) ของก๊าซ

- P คือ ความดันภายในคavitेशन เมื่อมีขนาดใหญ่มากที่สุด โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ P_v ของของเหลว ซึ่งถ้าภายในคavitेशनมีก๊าซบรรจุอยู่ จะมีค่าเท่ากับ $P_v + P_g$ (กิโลปาสกาล)
- P_m คือ ความดันภายในคavitेशनของเหลว ณ เวลาที่เกิดการยุบตัวของฟอง โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ $P_h + P_a$ (กิโลปาสกาล)
- P_v คือ ความดันไอภายในคavitेशन (กิโลปาสกาล)
- P_g คือ ความดันของก๊าซภายในคavitेशन (กิโลปาสกาล)
- P_h คือ ความดันของของเหลวเนื่องจากแรงกดของน้ำ (กิโลปาสกาล)
- P_a คือ ความดันของคลื่นเหนือเสียง (กิโลปาสกาล)

จากการคำนวณ ค่าอุณหภูมิสูงสุดและความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการยุบตัวของคavitेशनชนิดที่ไม่มีเสถียรภาพนี้มีค่าสูงได้ในอันดับของหลายพันเคลวินและหลายร้อยความดันบรรยากาศตามลำดับ

ค่าแอมพลิจูดของคลื่นเสียงต่ำสุดที่ต้องการเพื่อทำให้เกิดฟองเหล่านี้ได้ เรียกว่า คavitेशन-เทรชโฮลด์ (cavitation threshold) ค่านี้ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลายตัว อาทิเช่น ค่าความหนืดของของเหลว, อุณหภูมิ, ความถี่ และการที่มีของแข็งหรือก๊าซปรากฏอยู่ในของเหลว เป็นต้น การที่มีฟองอากาศเล็กๆปรากฏในของเหลวนั้นจะช่วยทำให้เกิดคavitेशनได้ง่ายขึ้น นั่นคือ ค่าคavitेशन-เทรชโฮลด์มีค่าลดลง ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ฟองเหล่านี้จะกลายเป็นคavitेशनชนิดที่มีเสถียรภาพหรือคavitेशनชนิดที่ไม่มีเสถียรภาพขึ้นอยู่กับขนาดเริ่มต้นของฟองหรือถ้าฟองเริ่มต้นมีขนาดเล็กเกินไปก็ไม่สามารถโตได้ก็จะหดตัวเล็กลงและในที่สุดก็จะหายไปของเหลว ฟองบางชนิดที่มีขนาดระหว่างที่จะเป็นไปได้ทั้งชนิดที่มีเสถียรภาพหรือชนิดที่ไม่มีเสถียรภาพก็อาจเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า เรคติฟายด์ ดิฟฟิวชัน (rectified diffusion) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเพิ่มขึ้นและลดลงตามจังหวะของความดันของคลื่นที่ผ่านมา โดยมีแนวโน้มที่จะโตขึ้นเรื่อยๆ จนในที่สุดกลายเป็นคavitेशनชนิดที่ไม่มีเสถียรภาพและยุบตัวอย่างรวดเร็วในที่สุด ซึ่งบางครั้งคavitेशनเหล่านี้ก็อาจจะโตขึ้นแต่ไม่กลายเป็นคavitेशनชนิดที่ไม่มีเสถียรภาพโดยจะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำออกสู่อากาศภายนอกในที่สุด ปรากฏการณ์นี้สามารถนำไปใช้ได้ในการขจัดก๊าซ (degassing) ออกจากระบบนั่นเอง

4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดคavitेशन

1) ก๊าซและอนุภาคของแข็งที่ปรากฏในของเหลว

การที่มีก๊าซหรืออนุภาคของแข็งที่ปรากฏในของเหลวจะเป็นจุดอ่อนของโครงสร้างของของเหลวนั้น ทำให้ค่าแรงดึง (tensile strength) ของของเหลวลดลง ทำให้ค่าคavitेशन-เทรชโฮลด์ลดลง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การที่มีก๊าซปรากฏภายในของเหลว จะทำให้ความรุนแรงเนื่องจากการยุบตัวของคavitेशनที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง เนื่องจากก๊าซจะทำหน้าที่รับแรงกระแทกของการเปลี่ยนแปลงแรงดันอย่างรวดเร็ว

(shock wave) ที่เกิดขึ้น เนื่องจากก๊าซไม่สามารถแพร่ออกจากควิเทชันได้ในช่วงเวลาขยับตัวอันสั้นของควิเทชัน การขยับตัวจึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ รวมทั้งยังทำให้ค่าอุณหภูมิและความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการขยับตัวของควิเทชันมีค่าลดลง ดังสมการ (4.1) และ (4.3) ซึ่งค่า P มีค่าเท่ากับ $P_v + P_g$ ดังนั้นความรุนแรงเนื่องจากการขยับตัวของควิเทชันที่เกิดขึ้นจึงลดลงด้วย

2) ความดันภายในของเหลว

การเพิ่มความดันภายในของเหลวส่งผลทำให้จุดกำเนิดฟองบางส่วนอาจจะขยับตัวลงจนละลายเข้าไปในของเหลว จำนวนของจุดกำเนิดจึงมีน้อยลง นอกจากนี้ยังทำให้ฟองอากาศที่ติดอยู่บริเวณผิวของแข็งมีขนาดเล็กลง และมีลักษณะโค้งเว้าเข้าข้างใน ทำให้ต้องการความดันของคลื่นสูงมากขึ้นที่จะเอาชนะแรงดึงผิวของของเหลวให้ฟองอากาศเหล่านี้หลุดออกมาเป็นควิเทชันต่อไปได้ จึงทำให้ค่าควิเทชันเทสโบลด์มีค่าสูงขึ้น การเกิดควิเทชันจึงยากขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความดันภายในของเหลวจะทำให้ความรุนแรงเนื่องจากการขยับตัวของควิเทชันมีมากขึ้น จากสมการที่ (4.2) เนื่องจากค่า P_m เท่ากับ $P_h + P_a$ ดังนั้น เมื่อ P_a มีค่าสูงขึ้น จะทำให้ความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการขยับตัวของควิเทชันมีค่าสูงขึ้นด้วย สำหรับเวลาที่ใช้ในการขยับตัวของควิเทชันสามารถคำนวณได้จาก

$$\tau = 0.915 R_m (\rho / P_m)^{1/2} (1 + P_{vg} / P_m) \quad (4.3)$$

โดย P_{vg} คือ ความดันของไอหรือก๊าซภายในควิเทชัน (กิโบลาสกาล)

R_m คือ รัศมีของควิเทชันก่อนการขยับตัว (ไมโครเมตร)

ดังนั้น เมื่อ P_m มีค่ามากขึ้น τ จะลดลง ซึ่งหมายถึงจะทำให้การขยับตัวของควิเทชันจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ผลกระทบของคลื่นเสียงต่อระบบมีค่ามากขึ้นด้วยตามลำดับ

3) ความหนืดของของเหลว

ของเหลวที่มีค่าความหนืดสูงจะทำให้เกิดควิเทชันได้ยากกว่าของเหลวที่มีค่าความหนืดต่ำกว่า เนื่องจากในกระบวนการเกิดควิเทชัน ค่าความดันของเสียงในช่วงขยายจะต้องเอาชนะแรงดึงผิวระหว่างโมเลกุลของของเหลว ค่าแรงดึงผิวนี้อาจเพิ่มขึ้นเมื่อของเหลวมีความหนืดมากขึ้น

4) ความถี่ของคลื่นเสียง

จากที่กล่าวมาแล้วว่า การเกิดควิเทชันเนื่องจากการสูญเสียโครงสร้างของของเหลวในช่วงความดันขยายของคลื่นเหนือเสียง เนื่องจากการเกิดควิเทชัน ซึ่งจะต้องใช้เวลาค่าหนึ่งซึ่งเพียงพอจึงจะทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ ซึ่งหากว่าเวลาที่ต้องการนี้มีค่ามากกว่าช่วงเวลาในช่วงขยายของคลื่นซึ่งเป็นช่วงที่จะทำให้เกิดควิเทชัน ควิเทชันก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากมีเวลาไม่เพียงพอ ($f = 1/T$ โดย f คือความถี่ของคลื่น [รอบต่อวินาทีหรือเฮิรตซ์] และ T คือ คาบ[วินาที]) โดยที่ช่วงเวลาของความดันขยายมีค่าเท่ากับ

$T/2$ ดังนั้นการเพิ่มความถี่ของคลื่นเสียงซึ่งหมายถึงการลดช่วงเวลาของความดันขยาย จะทำให้เกิดคาวิตีเทชันยากขึ้น ดังนั้นค่าแอมพลิจูดของคลื่นเสียงที่ต้องใช้เพื่อให้เกิดฟองที่มีความถี่สูง จะต้องมีความถี่สูงขึ้น

นอกจากนั้น สำหรับความรุนแรงเนื่องจากการยุบตัวของคาวิตีเทชันที่เกิดขึ้นที่มีความถี่สูง คาบหรือเวลาของแต่ละรอบของคลื่นจะมีค่าสั้นลง ดังนั้นอาจจะไม่เพียงพอให้คาวิตี-

เทชันยุบตัวได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นค่าความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการยุบตัวของคาวิตีเทชันที่เกิดขึ้นนี้ก็จะมีความน้อยกว่าการยุบตัวอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะเกิดที่ความถี่ต่ำกว่า

5) อุณหภูมิ

โดยทั่วไปจะพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ค่าความหนืดของของเหลวมีค่าลดลง รวมทั้งค่าความดันไอ (vapor pressure) จะมีความเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะส่งผลให้ค่าคาวิตีเทชันเทรส โสโลคมีค่าลดลง นั่นคือที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น การเกิดคาวิตีเทชันจะง่ายขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาฟองเดี่ยวที่มีขนาด R_0 ในของเหลวที่มีความดันเนื่องจากแรงกดของน้ำ (hydrostatic pressure ; P_h) ถ้าฟองนี้อยู่ในสมดุล แรงดันภายในฟองต้องมีค่าเท่ากับแรงดันภายนอก ที่จะพยายามทำให้ฟองยุบตัว เขียนสมการสมดุลแรงได้ดังนี้

$$P_v + P_g = P_h + 2\sigma / R_0 \quad (4.4)$$

โดย σ คือ แรงตึงผิวของของเหลว

เมื่อมีคลื่นเหนือเสียงเดินทางผ่านของเหลวที่มีฟองนี้ ซึ่งมีขนาดความดัน (P_a) เท่ากับ $P_A \sin(2f\pi t)$ (P_A คือแอมพลิจูดของคลื่น) โดยมีค่าขึ้นกับเวลา ในระหว่างช่วงอัดของคลื่น ค่า P_a จะมีค่าเป็นบวก ดังนั้นในระหว่างนี้ค่าความดันในของเหลวจะเพิ่มขึ้นจาก P_h เป็น $P_h + P_a$ และในระหว่างช่วงขยายของคลื่น ค่า P_a จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้น ค่าความดันในของเหลวจะเท่ากับ $P_h - P_a$ สมการ(4.4) จึงเขียนใหม่ได้ว่า

$$P_v + P_g = P_h \pm P_a + 2\sigma / R_0 \quad (4.5)$$

ถ้าสมมติว่า ค่า P_g และ σ มีค่าน้อยมาก จนละทิ้งได้

$$P_v = P_h \pm P_a \quad (4.6)$$

จากสมการ (4.6) จะเห็นว่า ถ้า P_v มีค่ามากกว่าค่าน้อยที่สุดที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเสียงอยู่ในช่วงขยาย ซึ่งทำให้เทอมขวามือมีค่าน้อยที่สุด คือ เท่ากับ $P_h - P_a$ คาวิตีเทชันนี้จะมีความถี่สูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้ค่า P_v ของของเหลวเพิ่มขึ้น ดังนั้น คาวิตีเทชันจะสามารถโตได้ง่ายขึ้น จึงเป็นการเพิ่มผลกระทบของคลื่นเหนือเสียงต่อระบบด้วย ในอีกทางหนึ่ง การเพิ่มขนาดของแอมพลิจูดของคลื่นหรือ P_A ก็

ทำให้เกิดควาวิเทชันได้ง่ายขึ้น จึงเป็นการเพิ่มผลกระทบของคลื่นเหนือเสียงต่อระบบด้วย ในอีกทางหนึ่ง การเพิ่มขนาดของแอมพลิจูดของคลื่นหรือ P_A ก็จะทำให้เกิดควาวิเทชันได้ง่ายขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง หากเราพิจารณาค่าของแรงตึงผิว (σ) จากสมการ (4.6) จะได้

$$P_v - (2\sigma/R_0) = P_h - P_a \quad (4.7)$$

โดยทั่วไป การเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้ค่าแรงตึงผิวของของเหลวมีค่าลดลง ดังนั้นจะทำให้ควาวิเทชันสามารถโดได้ง่ายขึ้น หรือค่าควาวิเทชันเทรสโฮลด์ลดลงนั่นเอง

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาสมการ (4.1) จะพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งจะส่งผลให้ค่า P_v สูงขึ้น จะทำให้อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการยุบตัวของควาวิเทชันมีค่าลดลง

6) ความเข้มของคลื่นเหนือเสียง

โดยทั่วไปการเพิ่มความเข้มของเสียง คือ การเพิ่มค่า P_A ซึ่งจะทำให้ความดันและอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดจากการยุบตัวของควาวิเทชัน รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการยุบตัวของควาวิเทชันมีค่าสูงขึ้นด้วย ดังสมการ (4.2), (4.3) และ (4.4) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มของเสียงก็มีขีดจำกัด เนื่องจากขนาดของฟองที่ใหญ่ที่สุด (R_{max}) มีค่าขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของคลื่นเสียงด้วย ดังสมการ

$$R_{max} = (4/3\omega) \times (P_a - P_h) \times (2/\rho P_a)^{1/2} [1 + 2(P_a + P_h)/(3P_h)]^{1/3} \quad (4.8)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่นของเหลว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ω คือ แอมพลิจูดของคลื่นเสียง (-)

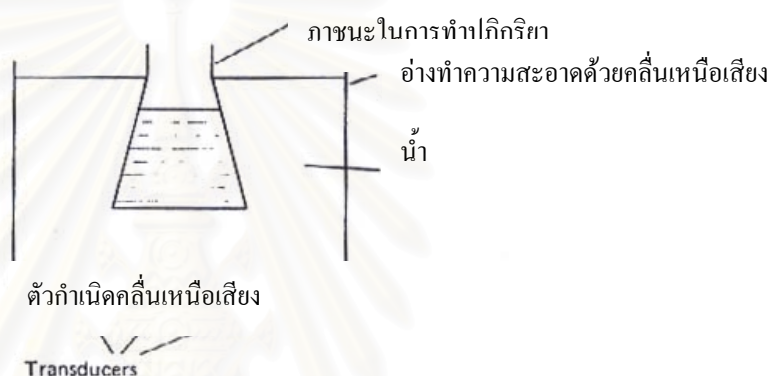
ถ้าขนาดของแอมพลิจูดสูงมากเกินไปอาจทำให้ขนาดของควาวิเทชันมีขนาดใหญ่มาก ซึ่งต้องการเวลาในการยุบตัวสูงขึ้น จึงอาจทำให้ควาวิเทชันไม่สามารถยุบตัวได้อย่างสมบูรณ์ภายในช่วงเวลาความดันขยายของคลื่น 1 รอบ ดังนั้นจึงทำให้ความรุนแรงเนื่องจากการยุบตัวของควาวิเทชันน้อยลง การเลือกค่าความเข้มของคลื่นเหนือเสียงที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อผลที่ได้รับ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งในการพิจารณาการใช้คลื่นเหนือเสียง

4.3 อุปกรณ์ทดลองที่ใช้ร่วมกับคลื่นเหนือเสียง [10]

4.3.1 อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเสียง (Ultrasonic cleaning bath)

โดยทั่วไปสำหรับอุปกรณ์นี้ ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงที่ได้รับมีค่าระหว่าง 1 – 5 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และใช้ความถี่ของคลื่นเหนือเสียงระหว่าง 20 – 40 กิโลเฮิรซ์ ข้อดีของอ่างทำความสะอาดชนิดนี้ คือ ใช้งานได้ง่าย สะดวก, ง่ายและกว้างขวาง, สามารถเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาได้โดยไม่มีเศษโลหะที่

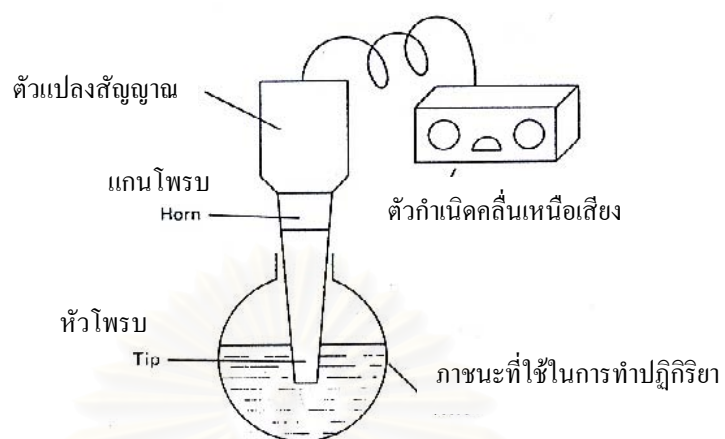
เกิดจากการก่กร่อนที่ผิวหน้าของตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงเข้ามาสู่ระบบ สำหรับการใช้งาน ภายในอ่างจะบรรจุด้วยน้ำหรือของเหลวชนิดอื่นซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้คลื่นเหนือเสียงเดินทางผ่านไปยังภาชนะที่บรรจุด้วยของเหลวที่ต้องการให้เกิดปฏิกิริยาหรือของเหลวที่ต้องการได้รับผลของคลื่นเหนือเสียง ซึ่งจุ่มลงในอ่างนี้อีกครั้งหนึ่ง ภาชนะที่ใช้นี้ควรมีควมด้านล่างเรียบตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นเหนือเสียงที่เดินทางมาจากก้นอ่าง และควรจุ่มภาชนะนี้ในบริเวณที่มีความเข้มของเสียงมากที่สุด อุปกรณ์นี้มีข้อด้อย คือ ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงที่ได้รับภายในอ่างมีค่าไม่สม่ำเสมอ, ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงที่ได้ค่อนข้างต่ำ และโดยส่วนใหญ่ไม่สามารถปรับความถี่ได้ (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic cleaning bath)

4.3.2 อัลตราโซนิกโพรบ (Ultrasonic Probe)

อัลตราโซนิกโพรบเป็นอุปกรณ์กำเนิดคลื่นเหนือเสียงที่มีการส่งพลังงานไปยังระบบโดยตรง และได้ใช้วิธีลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของหัวส่งที่ต่อมาจากคอมโพสิตทรานสดิวเซอร์ (composite transducer) เพื่อเพิ่มความเข้มของคลื่นเหนือเสียงให้สูงขึ้น สำหรับการใช้งาน ทำได้โดยจุ่มหัวส่งลงในภาชนะที่บรรจุของเหลวที่ต้องการให้เกิดปฏิกิริยาหรือที่ต้องการได้รับผลจากคลื่นเหนือเสียงได้โดยตรง ความเข้มของคลื่นเสียงที่ได้รับจากอุปกรณ์นี้มีค่าระหว่าง 10 – 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ขึ้นกับเครื่องส่งกำลังกำลังไฟฟ้าและขนาดของหัวส่ง ข้อดีของอุปกรณ์ชนิดนี้ คือ ให้ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงสูง, สามารถปรับความเข้มของคลื่นเหนือเสียงให้เหมาะสมกับสารแต่ละชนิด โดยปรับจากกำลังไฟฟ้าที่ป้อนและเลือกขนาดของหัวส่ง (horn) ให้เหมาะสม แต่เนื่องจากการจุ่มตัวกำเนิดคลื่นลงในสารละลายโดยตรง ทำให้มีข้อด้อย คือ การสึกกร่อนของหัวส่ง ของเหลวจึงเกิดการปนเปื้อนได้ เหมาะสำหรับสารปริมาณน้อย และถ้าความเข้มของพลังงานมากเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียคุณสมบัติของสารได้ และส่วนใหญ่ไม่สามารถปรับความถี่ได้ (รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 อัลตราโซนิกโพรบ (Ultrasonic Probe)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

5.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง (Material)

ก. พืชสมุนไพร (Crude drug)

บัวบกหรือ Centella asiatica (Linn.) Urban ซึ่งได้จากตลาดเทเวศน์ จังหวัด กรุงเทพมหานคร

ข. วัสดุเคมี (Chemicals)

1. สารมาตรฐานอะเซียติโคไซด์ (Asiaticoside standard) บริษัท Extrasynthese ประเทศฝรั่งเศส
2. เมทานอล (Methanol, AR Grade) บริษัท Merck ประเทศเยอรมัน
3. เอทานอล (Ethanol, AR Grade) บริษัท Mallinckrodt Baken ประเทศเม็กซิโก
4. อะซิโตน (Acetone, AR Grade) บริษัท Fisher Chemicals ประเทศอังกฤษ

ค. วัสดุปฏิบัติการ (Laboratory material)

กระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman filter paper No. 1)

ง. เครื่องมืออุปกรณ์ (Equipment)

1. เครื่องชั่ง (Analytical balance) model 1615 MP บริษัท Sartorius ประเทศเยอรมัน
2. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น WTC Binder ประเทศเยอรมัน
3. เครื่องบดสมุนไพร (Grinder)
4. เครื่องคัดแยกขนาด (Sieving)
5. หม้อดูดความชื้น (Desiccator)
6. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร (Erlenmeyer Flask 250 ml)
7. เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) model A-38 บริษัท Tokyo Rikakikai Co.,Ltd., ประเทศญี่ปุ่น
8. ขวดรูปชมพู่สำหรับกรอง (Filtering flask)
9. กรวยกระเบื้อง (Porcelain funnel)

10. ขวดใส่สารละลาย (Appendrop tube)
11. ชุดอ่างไหลเวียนน้ำ (Cooling water tank) ประกอบด้วยอ่างบรรจุน้ำเย็น ป้อนน้ำ ท่อ และวาล์ว
12. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) รุ่น SP-51 บริษัท Maximum electronic Co., Ltd. ประเทศไต้หวัน
13. ชุดอ่านค่าอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Digital thermometer) model S-506 บริษัท Maximum electronic Co., Ltd. ประเทศไต้หวัน
14. หลอดชนิดยา
15. เยื่อแผ่นไนลอนสำหรับกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร
16. คอลัมน์แก้วสองชั้นที่ใช้กับอัลตราโซนิกโพรบ
17. อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic cleaning bath) model B2200E-3 บริษัท Branson Ultrasonics Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา
18. อัลตราโซนิกโพรบ (อัลตราโซนิกโพรบ) รุ่น Vibra Cell บริษัท Sonics & materials Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา
19. เครื่องไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิกวิดโครมาโตกราฟี (High performance liquid chromatography : HPLC) model LC-3A บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น เครื่องตรวจวัด (Detector) model 4100 LDC ประเทศญี่ปุ่น
20. เครื่องเหวี่ยงแยกตะกอน (Centrifuge) model 4206 บริษัท Milano ประเทศอิตาลี
21. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Spectrophotometer) รุ่น UV-160 A บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
22. เครื่องวัดขนาดอนุภาคด้วยแสงเลเซอร์ (Laser particle size analyzer) รุ่น Mastersizer S long bed Ver.2.19 บริษัท Malvern Instruments Ltd. ประเทศอังกฤษ

5.2 การเตรียมตัวอย่างบับก

1. นำบับกสดมาชั่งน้ำหนักทั้งก้อนแล้วล้างทำความสะอาด (น้ำหนักบับกสดทั้งก้อนและใบ เท่ากับ 20 กิโลกรัม)
2. ตัดเอาแต่ใบและนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกข้อมูลแล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง (น้ำหนักใบบับกสดเท่ากับ 7.4 กิโลกรัม)

3. นำใบที่อบแห้งแล้วบดเป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร แล้วทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูล (น้ำหนักใบบวบกแห้งเท่ากับ 1.1 กิโลกรัม)

4. นำใบบวบกที่บดเป็นผงละเอียดแล้วทำการคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ ดังนี้

mesh no. 20	มีช่องเปิดขนาด	0.85	มิลลิเมตร
mesh no. 30	มีช่องเปิดขนาด	0.6	มิลลิเมตร
mesh no. 40	มีช่องเปิดขนาด	0.425	มิลลิเมตร
mesh No. 60	มีช่องเปิดขนาด	0.25	มิลลิเมตร
mesh No. 100	มีช่องเปิดขนาด	0.15	มิลลิเมตร

ขนาดของตัวอย่างอนุภาคผงใบบวบกที่อยู่บนตะแกรงช่องเปิดต่าง ๆ กัน มีค่าดังนี้

อนุภาคผงใบบวบกบนตะแกรง	mesh no. 20	มีขนาดใหญ่กว่า	0.85	มิลลิเมตร
อนุภาคผงใบบวบกบนตะแกรง	mesh no. 30	มีขนาดระหว่าง	0.6 – 0.85	มิลลิเมตร
อนุภาคผงใบบวบกบนตะแกรง	mesh no. 40	มีขนาดระหว่าง	0.425 – 0.6	มิลลิเมตร
อนุภาคผงใบบวบกบนตะแกรง	mesh no. 60	มีขนาดระหว่าง	0.25 – 0.42	มิลลิเมตร
อนุภาคผงใบบวบกบนตะแกรง	mesh no. 100	มีขนาดระหว่าง	0.15 – 0.25	มิลลิเมตร
อนุภาคผงใบบวบกที่ลอดผ่านตะแกรง	mesh no. 100	มีขนาดเล็กกว่า	0.15	มิลลิเมตร

5.3 วิธีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิคโพรบ

5.3.1 คุณลักษณะของอัลตราโซนิคโพรบ

อัลตราโซนิคโพรบรุ่น Vibra Cell ของบริษัท Sonics & materials Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

อเมริกา

ความถี่ของคลื่นเหนือเสียง 20 กิโลเฮิรซ์

กำลังของคลื่นเหนือเสียง 50 วัตต์

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวโพรบ 6 มิลลิเมตร

พื้นที่หน้าตัดของหัวโพรบ 0.28 ตารางเซนติเมตร

5.3.2 การสกัดสารอะเซตีลโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิคโพรบ

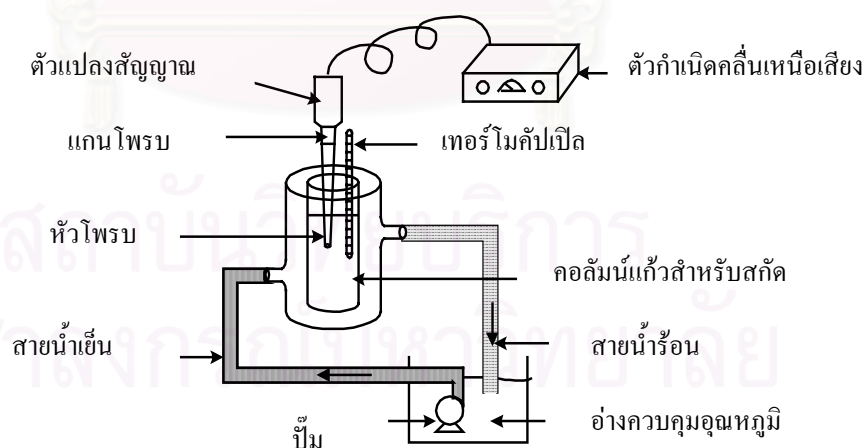
ชุดอุปกรณ์ของการสกัดสารอะเซตีลโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิคโพรบแสดงดังรูปที่ 5.1 และไดอะแกรมชุดอุปกรณ์ของการสกัดสารอะเซตีลโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิคโพรบแสดงดังรูปที่ 5.2 โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ชั่งผงใบบวบกที่มีขนาดอนุภาคที่กำหนดตามจำนวนที่ต้องการแล้วใส่ลงในคอลัมน์แก้ว 2 ชั้นที่ใช้กับอัลตราโซนิคโพรบ (ดังรูปที่ 5.3) โดยแสดงขนาดของคอลัมน์แก้ว 2 ชั้น ดังรูปที่ 5.4
2. เติมตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดปริมาตร 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วทำการปิดปากหลอดทดลองด้วยจุกยางที่มีการเจาะรูตรงกลางเพื่อสอดหัวโพรบและบริเวณด้านข้างเพื่อสอดเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิ
3. จุ่มหัวโพรบลงในหลอดทดลองโดยจัดวางให้ปลายหัวโพรบสูงจากก้นหลอดทดลอง 60 มิลลิเมตรและอยู่ตรงกลางของคอลัมน์ในทุกทิศทาง (ดังรูปที่ 5.5)
4. จุ่มเทอร์โมคัปเปิลลงในคอลัมน์โดยให้ส่วนปลายของเทอร์โมคัปเปิลอยู่ที่ระดับกึ่งกลางของสารละลาย
5. ต่อสายยางของชุดอ่างไหลเวียนน้ำเข้ากับท่อทางเข้าและทางออกของคอลัมน์ที่ใช้กับอัลตราโซนิคโพรบโดยให้ท่อด้านล่างเป็นทางเข้าของน้ำเย็นและท่อด้านบนเป็นทางออกของน้ำร้อน
6. ทำการเปิดปั๊มของชุดอ่างไหลเวียนและเปิดเครื่องวัดค่าอุณหภูมิแบบดิจิตอลซึ่งต่ออยู่กับเทอร์โมคัปเปิล
7. ปรับปุ่มปรับระดับกำลังงานของคลื่นเหนือเสียงตามที่ต้องการ บันทึกค่าตัวเลขที่อ่านได้จากแถบ เพื่อนำไปหาค่ากำลังงานของคลื่นเหนือเสียงที่แท้จริงจากกราฟในภาคผนวก
8. ตั้งเวลาของการให้คลื่นเหนือเสียงและทำการเปิดปั๊มของการให้คลื่นเหนือเสียง โดยควบคุมอุณหภูมิของการสกัดให้คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงเวลาของการสกัด ซึ่งทำได้โดยปรับอัตราการไหลของปั๊มน้ำในท่อทางเข้าน้ำเย็นของคอลัมน์แก้ว
9. เมื่อครบเวลาของการให้คลื่นเหนือเสียงตามที่กำหนด นำส่วนสกัดที่ได้ทั้งหมดไปกรองแยกผงใบบวบกออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และนำสารละลายสีที่ได้ไปแยกตะกอนโดยเครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนที่ความเร็วรอบ 4500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที โดยส่วนใสด้านบนนำไปกรองด้วยเยื่อแผ่นไนลอนขนาด 0.45 ไมโครเมตร

10. นำสารละลายสกัดที่ได้ผ่านการกรองแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์ด้วย เครื่องไฮเพอร์ฟอร์แมนต์ลิกวิดโครมาโตกราฟี



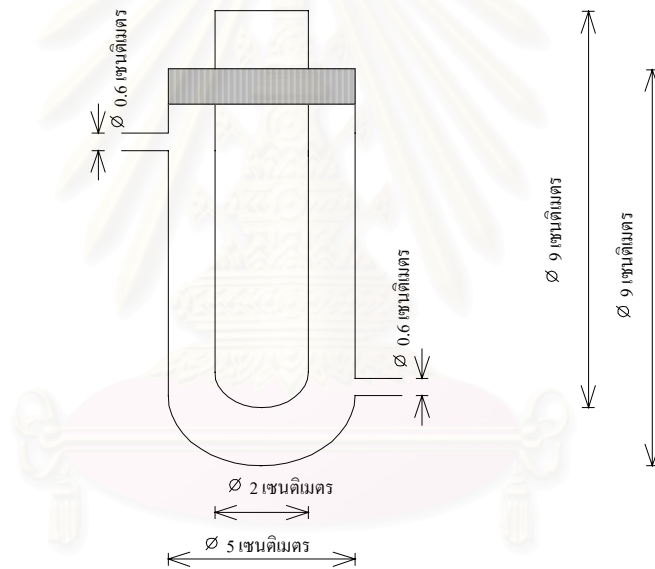
รูปที่ 5.1 ชุดอุปกรณ์ของการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิคโพรบ



รูปที่ 5.2 ไดอะแกรมชุดอุปกรณ์ของการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิคโพรบ

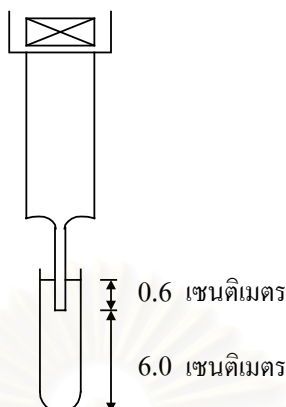


รูปที่ 5.3 คอลัมน์แก้ว 2 ชั้นที่ใช้กับอัลตราโซนิกโพรบ



รูปที่ 5.4 ขนาดของคอลัมน์แก้ว 2 ชั้นที่ใช้กับอัลตราโซนิกโพรบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 ตำแหน่งการวางหัวโพรบในคอลัมน์

5.3.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ก. เวลาที่ใช้ในการสกัด

การศึกษานี้ใช้การสกัดด้วยอัลตราโซนิคโพรบตามวิธีดังกล่าวข้างต้นโดยใช้ขนาดอนุภาคผงใบบั่วบกที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด คือ เอทานอล ร้อยละ 60 โดยปริมาตร อัตราส่วนบั่วบกต่อตัวทำละลายเท่ากับ 0.12 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร และปรับความเข้มข้นเหนือเสียงเท่ากับ 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยให้คลื่นเหนือเสียงเป็นเวลาต่างกัน คือ 1, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ หลังจากนั้น ทำการทดลองเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงในลักษณะเดียวกัน

ข. ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาหลังจากทราบเวลาที่เหมาะสมในการสกัดแล้ว โดยการศึกษานี้ใช้การสกัดด้วยอัลตราโซนิคโพรบตามวิธีดังกล่าวข้างต้น โดยให้คลื่นเหนือเสียงตามเวลาที่เหมาะสม และใช้ขนาดอนุภาคผงใบบั่วบกที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร อัตราส่วนบั่วบกต่อตัวทำละลายเท่ากับ 0.3 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร และความเข้มของคลื่นเหนือเสียงเท่ากับ 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ เอทานอล, เมทานอล และอะซิโตน ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงในลักษณะเดียวกัน

ค. ขนาดอนุภาคผงใบบวบก

การศึกษานี้เป็นการศึกษาหลังจากทราบเวลาและชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดแล้ว โดยการศึกษานี้ใช้การสกัดด้วยอัลตราโซนิกโพรบตามวิธีดังกล่าวข้างต้น โดยตั้งเวลาของการให้คลื่นเหนือเสียงและเลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่เหมาะสม อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายเท่ากับ 0.3 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงเท่ากับ 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่ใช้ศึกษา คือ

ขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่มีค่าระหว่าง 0.6-0.85 มิลลิเมตร

ขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่มีค่าระหว่าง 0.425-0.6 มิลลิเมตร

ขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่มีค่าระหว่าง 0.2-0.425 มิลลิเมตร

ขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่มีค่าระหว่าง 0.15-0.25 มิลลิเมตร

หลังจากนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงในลักษณะเดียวกัน

ง. อัตราส่วนผงใบบวบกต่อตัวทำละลาย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาหลังจากทราบเวลา ชนิด, ความเข้มข้นของตัวทำละลาย และขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่เหมาะสมในการสกัดแล้ว โดยการศึกษานี้ใช้การสกัดด้วยอัลตราโซนิกโพรบตามวิธีดังกล่าวข้างต้น โดยตั้งเวลาของการให้คลื่นเหนือเสียง เลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย และขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่เหมาะสม และใช้ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงเท่ากับ 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายต่างกัน คือ 0.12, 0.3, 0.6, 0.96, 1.2, 1.44 และ 1.8 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงในลักษณะเดียวกัน

จ. ความเข้มของคลื่นเหนือเสียง

การศึกษานี้เป็นการศึกษาหลังจากทราบเวลา ชนิด, ความเข้มข้นของตัวทำละลายเหมาะสม, ขนาดอนุภาคผงใบบวบกและอัตราส่วนผงใบบวบกต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดแล้ว โดยการศึกษานี้ใช้การสกัดด้วยอัลตราโซนิกโพรบตามวิธีดังกล่าวข้างต้น โดยตั้งเวลาของการให้คลื่นเหนือเสียง เลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย และขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่เหมาะสม โดยใช้ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงเท่ากับ 9, 35, 64, 88 และ 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และที่ระดับความเข้มของคลื่นเหนือเสียงระดับหนึ่ง ให้คลื่นเหนือเสียงเป็นเวลาต่างกัน คือ 1, 2, 5 และ 10 นาที ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงในลักษณะเดียวกัน

5.4 วิธีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

5.4.1 คุณลักษณะของอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง รุ่น Model B2200E-3 บริษัท Branson Ultrasonics Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา

ความถี่ของคลื่นเหนือเสียง	47	กิโลเฮิรต์ซ
กำลังของคลื่นเหนือเสียง	60	วัตต์
ขนาด (กxยxส)	15x25x9	เซนติเมตร
ปริมาตร	3.38×10^3	ลูกบาศก์เซนติเมตร

5.4.2 การสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

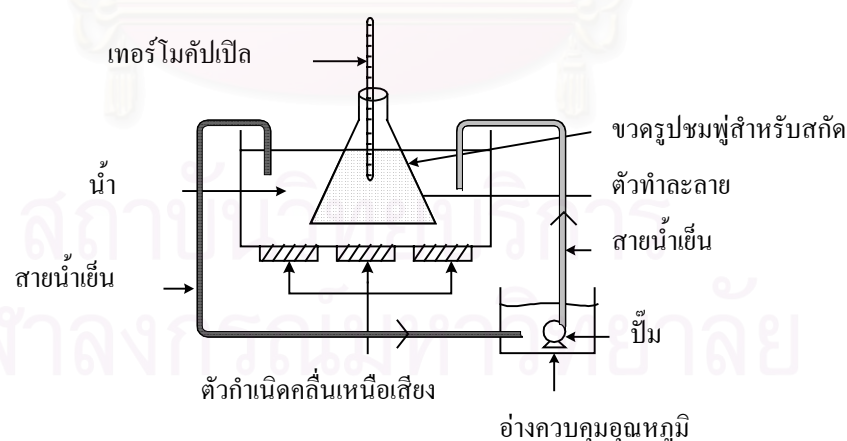
ชุดอุปกรณ์ของการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง แสดงดังรูปที่ 5.6 และไดอะแกรมชุดอุปกรณ์ของการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงแสดงดังรูปที่ 5.7 โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ชั่งผงใบบวบขนาดอนุภาคที่กำหนดตามจำนวนที่ต้องการใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. เติมน้ำทำละลายที่ใช้ในการสกัดลงไปปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วทำการปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยจุกยางที่มีการเจาะรูตรงกลางเพื่อจุ่มเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ
3. วางขวดรูปชมพู่ลงในอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงที่บรรจุด้วยน้ำผสมสารลดแรงตึงผิวเล็กน้อย (เพื่อช่วยให้เกิดคาวิเทชันได้ง่ายขึ้น) โดยให้ขวดรูปชมพู่อยู่ที่ระยะกึ่งกลางของอ่างในแนวระนาบ และอยู่เหนือจากก้นอ่างเป็นระยะ 1 เซนติเมตร โดยความสูงของน้ำในอ่างอยู่ระดับเดียวกับก้นขวดรูปชมพู่ (ดังรูปที่ 5.8)
4. ต่อชุดอ่างไหลเวียนน้ำเข้ากับอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง เพื่อให้ให้น้ำภายในอ่างมีการไหลเวียนน้ำเย็นและน้ำร้อนเข้าออกอยู่ตลอดเวลา เพื่อควบคุมอุณหภูมิของสารละลายในขวดรูปชมพู่ให้คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส
5. ทำการเปิดปุ่มของการให้คลื่นเหนือเสียง

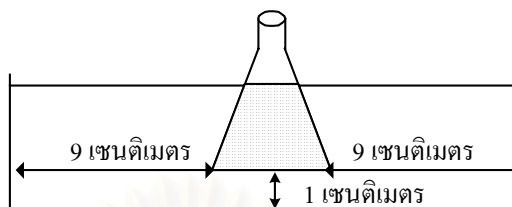
6. เมื่อครบเวลาของการให้คลื่นเหนือเสียงตามที่กำหนด นำส่วนสกัดที่ได้ทั้งหมดไปกรองแยกผงใบบั่วบออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และนำสารละลายสีที่ได้ไปแยกตะกอนโดยเครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนที่ความเร็วรอบ 4500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที โดยส่วนใสด้านบนนำไปกรองด้วยเยื่อแผ่นไนลอนขนาด 0.45 ไมโครเมตร
7. นำสารละลายสกัดที่ได้ผ่านการกรองแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยเครื่องไฮเพอร์ฟอร์แมนต์ลิกวิดโครมาโตกราฟี



รูปที่ 5.6 ชุดอุปกรณ์ของการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยอ่างทำความสะอาด้วยคลื่นเหนือเสียง



รูปที่ 5.7 ใคอะแกรมชุดอุปกรณ์ของการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยอ่างทำความสะอาด้วยคลื่นเหนือเสียง



รูปที่ 5.8 ตำแหน่งการวางขวดรูปชมพู่ในอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

5.4.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ก. เวลาที่ใช้ในการสกัด

การศึกษานี้ใช้การสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงตามวิธีดังกล่าวข้างต้น โดยใช้ขนาดอนุภาคผงใบบวบที่มีค่าระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดคือ เอทานอลร้อยละ 60 โดยปริมาตร อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยให้คลื่นเหนือเสียงเป็นเวลาต่างกัน คือ 1, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 60 และ 90 นาทีตามลำดับ หลังจากนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียงในลักษณะเดียวกัน

ข. ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาหลังจากทราบเวลาที่เหมาะสมในการสกัดแล้ว โดยการศึกษานี้ใช้การสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงตามวิธีดังกล่าวข้างต้น โดยให้คลื่นเหนือเสียงตามเวลาที่เหมาะสม และใช้ขนาดอนุภาคผงใบบวบที่มีค่าระหว่าง 0.6-0.85 มิลลิเมตร อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายเท่ากับ 2.5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยเลือกใช้ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมจากวิธีอัตราไซคลิกโพรบ 1 ชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน คือ ร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยปริมาตร ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียงในลักษณะเดียวกัน

ค. ขนาดอนุภาคผงใบบวบก

การศึกษานี้เป็นการศึกษาหลังจากทราบเวลาและชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดแล้ว โดยการศึกษานี้ใช้การสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงตามวิธีดังกล่าวข้างต้น ตั้งเวลาของการให้คลื่นเหนือเสียงและเลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่เหมาะสม อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายเท่ากับ 2.5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่ใช้ศึกษา แบ่งเป็น

ขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่มีค่าระหว่าง 0.6-0.85 มิลลิเมตร

ขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่มีค่าระหว่าง 0.425-0.6 มิลลิเมตร

ขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่มีค่าระหว่าง 0.2-0.425 มิลลิเมตร

ขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่มีค่าระหว่าง 0.15-0.25 มิลลิเมตร

โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงในลักษณะเดียวกัน

ง. อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลาย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาหลังจากทราบเวลา ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายที่เหมาะสม และขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่เหมาะสมในการสกัดแล้ว โดยการศึกษานี้ใช้การสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงตามวิธีดังกล่าวข้างต้น โดยตั้งเวลาของการให้คลื่นเหนือเสียงเลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย และขนาดอนุภาคผงใบบวบกที่เหมาะสม โดยใช้อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายต่างกัน คือ 1, 2.5, 5, 8, 10, 12 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรโดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงในลักษณะเดียวกัน

5.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

5.5.1 การทำกราฟมาตรฐานของสารอะเซติโคไซด์

ทำการชั่งสารมาตรฐานอะเซติโคไซด์ปริมาณ 0.0010, 0.0025, 0.0059 และ 0.0082 กรัมลงในขวดปริมาตรขนาด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรจำนวน 4 หลอด เติมน้ำจนเต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ให้ครบปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานอะเซติโคไซด์เข้มข้น 0.1, 0.25, 0.59 และ 0.82 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ นำไปฉีดในเครื่องไฮเพอร์ฟอร์แมนต์ลิวิดโครมาโตกราฟี เพื่อทำการหาพื้นที่ใต้กราฟและสร้างกราฟมาตรฐานอะเซติโคไซด์เพื่อใช้หาปริมาณอะเซติโคไซด์ของสารตัวอย่าง โดยมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ดังนี้

คอลัมน์ : Bondapak, C-18, 10 ไมครอน, 20 เซนติเมตร

ตัวทำละลายเคลื่อนที่ : Acetonitrile, water

สภาวะการวิเคราะห์

เวลา (นาทีก)	อัตราการไหล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	ปั๊ม A (เปอร์เซ็นต์น้ำ)	ปั๊ม B (เปอร์เซ็นต์อะซิโตนไนโตร)
0	1.4	85	15
20	1.4	75	25

การตรวจวัด : 220 นาโนเมตร

ปริมาณการวิเคราะห์ : 2×10^5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

เมื่อทำการวิเคราะห์จะใช้เวลาในการชะสารอะเซติลโคโคไซด์ ประมาณ 16 นาที

5.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารอะเซติลโคโคไซด์ของสารตัวอย่าง

นำสารละลายสกัดที่ได้จากการทดลองที่สภาวะต่างๆกันมาฉีดในเครื่องไฮเพอร์ฟอร์-
มานต์ลิวิดโครมาโตกราฟี ตามเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ในหัวข้อ 5.5.1 เพื่อทำการหาพื้นที่ใต้
กราฟแล้วนำไปหาปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ของสารตัวอย่างจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้
กราฟและความเข้มข้นที่ได้จากกราฟมาตรฐาน (ตามวิธีคำนวณในภาคผนวก ข) ทำการเปรียบเทียบผล
ของตัวแปรต่างๆต่อการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยวิธีใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง

5.6 วิธีการศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของผงใบ

บวบก

เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการใช้คลื่นเหนือเสียงทำให้เกิดปรากฏการณ์ควาวิเท-
ชันและไมโครสตรีมมิ่ง (microstreaming) ซึ่งเชื่อว่าเป็นสาเหตุสำคัญหนึ่งของการเพิ่มประสิทธิภาพ
ของการสกัด เนื่องจากการเคลื่อนที่ของฟองเล็กๆจำนวนมากจะก่อให้เกิดกระบวนการกววนอย่างรุนแรง
นอกจากนั้นการยุบตัวของควาวิเทชันก่อให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวหน้าอนุภาคของแข็งเกิดเป็นอนุภาค
เล็กๆ ซึ่งคาดว่าก่อให้เกิดการกัดกร่อนต่ออนุภาคของผงใบบวบกได้เช่นกันในกรณีของการใช้คลื่น
เหนือเสียง ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคผงใบบวบกหลังการสกัด ทั้งในกรณีที่ใช้
และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง เพื่อเปรียบเทียบผลของคลื่นเหนือเสียงที่มีต่ออนุภาคผงใบบวบก

ก. การศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเซลผงใบบัวบกด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค

ทำการศึกษารายการกระจายขนาดอนุภาคของตัวอย่างผงใบบัวบกที่ได้จากการกรองแยกผงใบบัวบกออกจากส่วนสกัดที่ได้ เปรียบเทียบกับผงใบบัวบกที่ไม่ได้ทำการสกัด (MT) ดังนี้

- เวลาในการสกัด 10 นาที กรณีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบ (PT10) และการสกัดโดยใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (BT10)
- เวลาในการสกัด 30 นาที กรณีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบ (PT30) และการสกัดโดยใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (BT30)
- เวลาในการสกัด 60 นาที กรณีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบ (PT60) และการสกัดโดยใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (BT60)

สภาวะการทดลอง :

ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด เอทานอล 40เปอร์เซ็นต์

อัตราส่วนผงใบบัวบกต่อตัวทำละลาย

: กรณีอัลตราโซนิคโพรบ 0.3 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร

: กรณีอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง 2.5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ขนาดอนุภาคผงใบบัวบกระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร

ความเข้มของคลื่นเหนือเสียง

: กรณีอัลตราโซนิคโพรบ ที่ 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

ข. การถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ตัวอย่างที่นำมาศึกษาด้วยการถ่ายภาพ ได้แก่ ตัวอย่างรหัส M30, M60, P30 , P60, B30, B60 (สภาวะที่ใช้ในการทดลองเช่นเดียวกับที่ใช้วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค)

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษ แสดงวิธีที่ใช้ในการสกัด

M คือ ไม่ได้ทำการสกัด

P คือ การสกัดด้วยอัลตราโซนิคโพรบ

B คือ การสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

: ตัวเลข แสดงขนาดอนุภาคผงใบบัวบก

30 คือ ขนาดอนุภาคผงใบบัวบกมีค่าระหว่าง 0.6-0.85 มิลลิเมตร

60 คือ ขนาดอนุภาคผงใบบัวบกมีค่าระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร

5.7 วิธีการศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสูญเสียสภาพของสารอะเซติโคไซด์

เนื่องจากสารอะเซติโคไซด์เป็นสารสำคัญที่สกัดได้จากบับกอาจถูกทำลายได้ง่ายด้วยปัจจัยทางกายภาพและทางเคมี ดังนั้นการใช้คลื่นเหนือเสียงที่มีพลังงานสูงช่วยในการสกัด แม้ว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดโดยสามารถนำสารอะเซติโคไซด์จากบับกออกสู่ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดได้มากขึ้น แต่การใช้ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงที่สูงเกินไปอาจมีผลทำลายคุณสมบัติของสารอะเซติโคไซด์ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ความยาวคลื่นต่างๆกัน (200-500 นาโนเมตร) หากสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ไม่มีการสูญเสียคุณสมบัติที่สภาวะการทดลองแล้ว รูปร่างของกราฟที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงตามความยาวของคลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลง [8]

ในการศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสูญเสียสภาพของสารอะเซติโคไซด์นี้ เลือการทำทดลองเฉพาะการใช้อัลตราโซนิคโพรบ เนื่องจากมีค่าความเข้มของคลื่นเหนือเสียงสูงกว่าอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงมาก

ตารางที่ 5.1 สภาวะที่ใช้ทดสอบการสูญเสียคุณสมบัติของสารอะเซติโคไซด์

ความเข้มของคลื่นเหนือเสียง (วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)	เวลา (นาที)
0	1, 2, 5, 10
9	1, 2, 5, 10
35	1, 2, 5, 10
64	1, 2, 5, 10
88	1, 2, 5, 10
100	1, 2, 5, 10

สภาวะการทดลอง :

การสกัดด้วย อัลตราโซนิคโพรบ
ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด เอทานอลร้อยละ 40 โดยปริมาตร
อัตราส่วนผงใบบับกต่อตัวทำละลาย 0.3 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร
ขนาดอนุภาคผงใบบับกที่มีค่าระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร

บทที่ 6

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

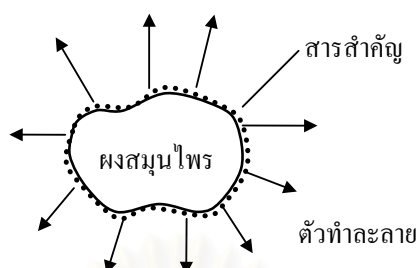
ในบทนี้จะกล่าวถึงกลไกของปรากฏการณ์ของคาวิตेशनต่อการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่างๆต่อการสกัดสารอะเซยีติโคไซด์จากบัวบกทั้งในกรณีใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของเซลล์บัวบกและการสูญเสียคุณสมบัติของสารอะเซยีติโคไซด์ ตลอดจนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการนำวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้งานจริง

จากที่กล่าวมาแล้วในบทนำเกี่ยวกับงานวิจัยที่ผ่านมาในการนำเทคนิคการใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยในการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพร พบว่า การนำคลื่นเหนือเสียงมาช่วยในการสกัดจะสามารถเพิ่มอัตราการสกัดได้เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง เนื่องจากการเกิดปรากฏการณ์คาวิตेशनเป็นผลให้สกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรออกมาได้มากขึ้น

กลไกของปรากฏการณ์คาวิตेशनที่กล่าวถึงนั้น เป็นกลไกหลักช่วยเพิ่มอัตราการสกัด โดยมีสมมติฐานของกลไกดังกล่าวได้ดังนี้

1. คาวิตेशनชนิดที่มีเสถียรภาพ (*Stable Cavitation*) จะช่วยเพิ่มอัตราการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรได้ เนื่องจากคาวิตेशनที่เกิดขึ้นจำนวนมากนี้จะมีการเคลื่อนที่ไปมา รวมทั้งมีการลดและขยายขนาดตลอดเวลา เกิดเป็นสายของฟองขนาดเล็กที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เรียกว่า ไมโครสตรีมมิ่ง (*microstreaming*) มีผลคล้ายการกวนอย่างรุนแรง ทำให้ระดับการปั่นป่วนบริเวณพื้นผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคของแข็งและสารละลายมากขึ้น จึงช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้น ทำให้การถ่ายเทมวลสารจากผิวสัมผัสของอนุภาคไปยังสารละลายได้มากขึ้น และเป็นการลดความต้านทานการส่งถ่ายมวลที่บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวอนุภาคกับตัวทำละลายอันเนื่องจากระดับความหนาของตัวทำละลายที่อยู่โดยรอบเซลล์อีกด้วย

การปั่นกวนที่เกิดขึ้นจากการใช้คลื่นเหนือเสียงจะช่วยให้สามารถนำสารสำคัญที่อยู่บริเวณผิวรอบนอกของผงพืชสมุนไพรออกสู่ตัวทำละลายได้เร็วกว่าในกรณีการสกัดโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง แสดงได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะการสกัดด้วยคลื่นเหนือเสียงที่ทำให้เกิดการปั่นกววน

2. คาวิเทชันชนิดที่ไม่มีเสถียรภาพ (*Transient Cavitation*) การยุบตัวของคาวิเทชันประเภทนี้ช่วยเพิ่มอัตราการสกัด โดยแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

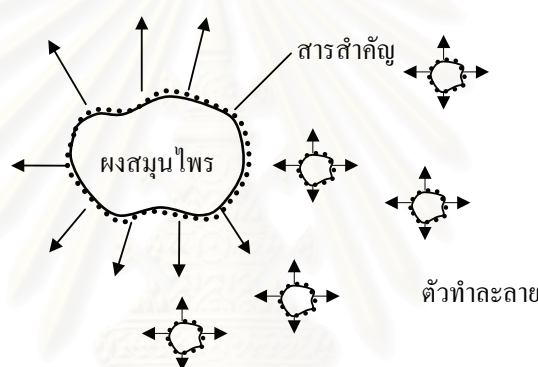
2.1 ทำให้เกิดอุณหภูมิสูง ณ บริเวณที่คาวิเทชันเหล่านั้นเกิดการยุบตัว กล่าวคือ เมื่อมีการเคลื่อนที่ของเสียงในตัวกลางของเหลว จะเกิดบริเวณอัด (compression) และบริเวณขยาย (rarefaction) ของโมเลกุล โดยการเกิดคาวิเทชันจะเกิดในช่วงขยาย เนื่องจากมีความดันในของเหลวต่ำกว่าความดันไอ (vapour pressure) ของของเหลวและจะมีขนาดเล็กลงจนสามารถยุบตัวลงได้ในบริเวณอัด เพราะมีความดันภายนอกสูงกว่าความดันภายในคาวิเทชัน ส่งผลให้บริเวณที่มีการยุบตัวเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจะสามารถช่วยให้อัตราการสกัดเพิ่มมากขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม ในระหว่างกระบวนการสกัดสารอะเซติโคไซค์จากบัวบก มีการควบคุมอุณหภูมิของสารละลายให้คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียสตลอดเวลาในช่วงเวลาของการสกัด ดังนั้นการเพิ่มการสกัดสารอะเซติโคไซค์จึงเป็นผลมาจากคลื่นเหนือเสียงเท่านั้น โดยไม่ได้เป็นผลเนื่องจากอุณหภูมิของตัวทำละลาย

2.2 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว (shock wave) โดยเกิดขึ้นจากการยุบตัวของคาวิเทชันที่เกิดขึ้นบริเวณของของแข็ง ส่งผลให้ผิวของของแข็งถูกทำลายหรือเกิดเป็นรอยแตก จุดเริ่มต้นของฟอง (nuclei) ที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ส่วนใหญ่ คือ ฟองอากาศหรือฟองก๊าซที่ติดอยู่บริเวณผิวของของแข็งในส่วนของที่ขรุขระหรือที่มีวัสดุแปลกปลอมติดอยู่ ผลกระทบดังกล่าวจะทำให้ผนังเซลล์ของพืชสมุนไพร์ถูกทำลาย มีผลช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการแพร่ของตัวทำละลายที่ผิวเข้าสู่เซลล์และการแพร่ของตัวถูกละลายที่ผิวออกสู่สารละลาย

2.3 ทำให้เกิดแรงเจาะทะลุ (pitting force) เนื่องจากการยุบตัวของคาวิเทชันเกิดขึ้นในบริเวณใกล้ผิวของของแข็ง การยุบตัวของคาวิเทชันประเภทนี้มีลักษณะแตกต่างจากการยุบตัวในหัวข้อ

2.2 คือ ทำให้เกิดการยุบตัวที่ไม่สมมาตร จึงก่อให้เกิดแรงเฉาะทะเลจุ (microjet) พุ่งเข้าสู่ผิวของของแข็ง ทำให้เกิดการกัดกร่อนผิวหน้าอนุภาคของแข็งเกิดเป็นอนุภาคเล็กๆ ซึ่งจะช่วยให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลวที่ใช้ในการสกัดและลดระยะทางการส่งถ่ายมวล ทำให้ตัวทำละลายภายในอนุภาคของแข็งเคลื่อนตัวมายังผิวของอนุภาคของแข็งได้

การนำคลื่นเหนือเสียงมาช่วยในการสกัด นอกจากมีผลทำให้เกิดการกัดกร่อนอนุภาคเดิมให้มีขนาดเล็กลง ทำให้สามารถนำสารสำคัญจากบริเวณผิวรอบนอกของอนุภาคเดิมที่มีขนาดเล็กลงแล้ว ยังสามารถนำสารสำคัญออกจากผิวรอบนอกของอนุภาคที่แตกออกมาจากอนุภาคเดิม ซึ่งเป็นอนุภาคเล็กๆ ได้อีกด้วย ดังรูปที่ 6.2 จึงช่วยสามารถทำให้สกัดสารสำคัญออกสู่ตัวทำละลายได้เร็วกว่ากรณีการสกัดโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง



รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะการสกัดด้วยคลื่นเหนือเสียงที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนผิวหน้าอนุภาคของแข็ง

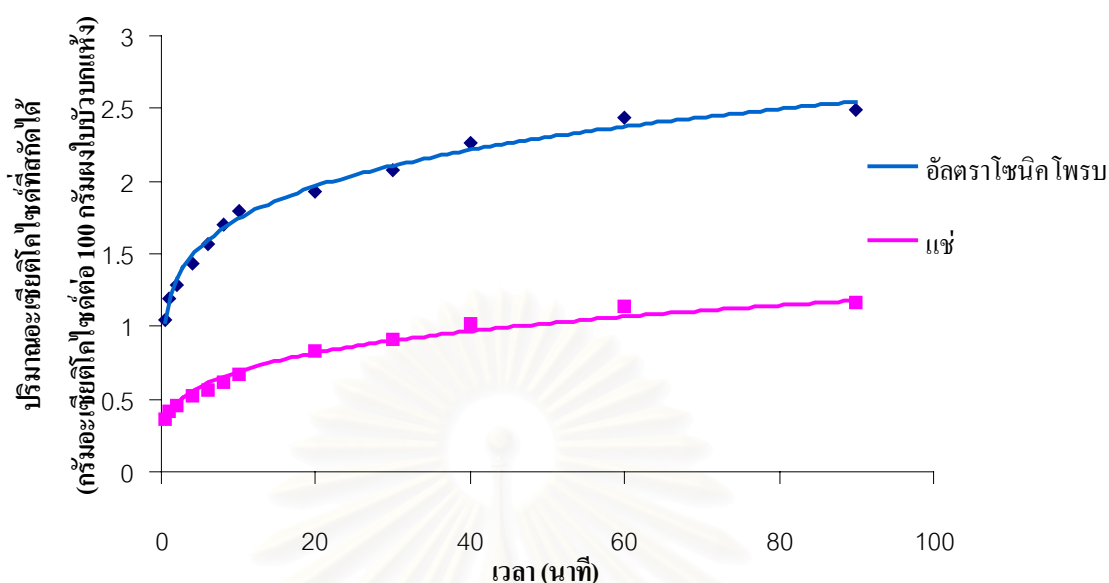
6.1 ผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการสกัดสารอะเซติโคไซด์ด้วยอัลตราโซนิคโพรบ

6.1.1 เวลาในการสกัด

การศึกษาผลของเวลาต่อการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบัวบกในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ทำได้โดยทำการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบัวบกที่เวลาต่างกัน คือ 1, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ จากผลการทดลองดังรูปที่ 6.3 พบว่า แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ตามเวลาที่เพิ่มขึ้นนั้น เป็นไปในแนวโน้มนเดียวกันทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง โดยเมื่อใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 นาที ปริมาณของสารที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นตามเวลาในการสกัดอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง และเมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณของสารที่สกัดได้นี้จะลดลงตามลำดับ จนกระทั่งเมื่อใช้เวลาในการสกัด

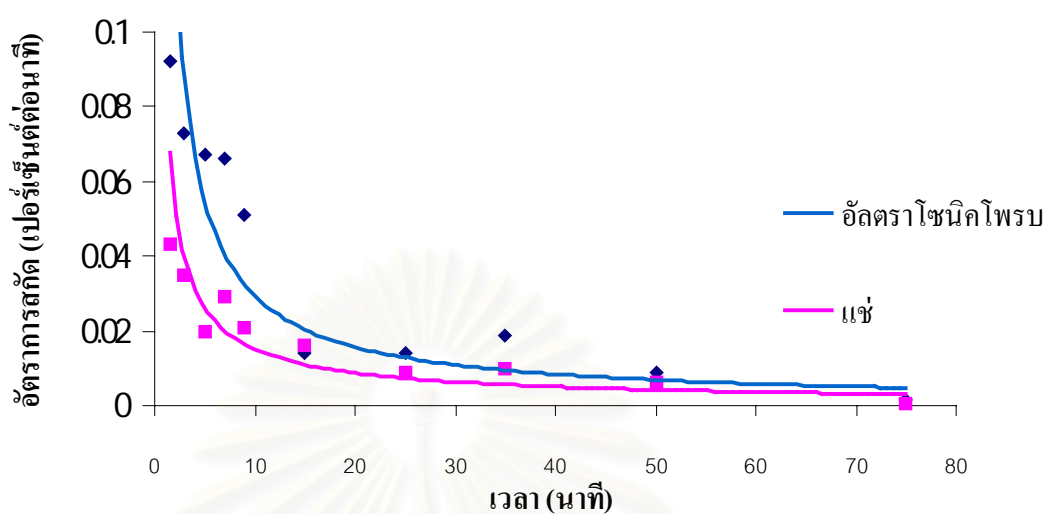
มากกว่า 60 นาที พบว่า สารที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อนำข้อมูลปริมาณอะเซติลโคไชลด์ที่สกัดได้มาคำนวณหาอัตราการสกัดตามวิธีคำนวณในภาคผนวก ข แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างอัตราการสกัดกับเวลาดังรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ชัดเจนว่า ในช่วงเวลาในการสกัด 10 นาทีแรก อัตราการสกัดจะสูง และลดลงตามลำดับจนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทั้งนี้สามารถอธิบายโดยอาศัยสมการการถ่ายเทมวลสาร(สมการ (3.1) ในหัวข้อ 3.2.3) ว่าอัตราการสกัดขึ้นอยู่กับผลต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายและในอนุภาคของสมุนไพรที่นำมาสกัด ในช่วงแรกของการสกัดจะไม่มีสารอะเซติลโคไชลด์อยู่ในตัวทำละลายเลย เมื่อเวลาผ่านไป ความเข้มข้นของสารอะเซติลโคไชลด์ในตัวทำละลายจะเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งผลต่างความเข้มข้นของอะเซติลโคไชลด์ในตัวทำละลายและในอนุภาคบวบกลดน้อยลง ทำให้สามารถสกัดสารอะเซติลโคไชลด์ได้ลดน้อยลงตามลำดับ นอกจากนี้ ผลการทดลองดังกล่าวรูปที่ 6.3 ยังสามารถอธิบายได้ว่า การสกัดในช่วง 10 นาทีแรก เป็นการสกัดอะเซติลโคไชลด์ที่อยู่บริเวณผิวรอบนอกของฝักบวบ ซึ่งการสกัดเกิดขึ้นได้ง่ายด้วยกระบวนการคอนเวกชัน และสามารถเพิ่มอัตราการสกัดได้จากการปั่นกววนตัวทำละลาย ดังนั้นปริมาณอะเซติลโคไชลด์ที่สกัดได้ในช่วง 10 นาทีแรก จึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ เมื่อเวลาในการสกัดมากขึ้น เป็นการสกัดอะเซติลโคไชลด์ที่อยู่บริเวณภายในของฝักบวบ ซึ่งการสกัดเกิดขึ้นด้วยกระบวนการแพร่ ตัวทำละลายจึงต้องแพร่เข้าสู่บริเวณภายในฝักบวบก่อนจึงจะเกิดการสกัดได้ ซึ่งจำเป็นจะต้องอาศัยระยะเวลาช่วงหนึ่ง โดยสามารถเพิ่มอัตราการสกัดได้จากการบดอนุภาคให้มีขนาดเล็กลง ดังนั้น ปริมาณอะเซติลโคไชลด์ที่สกัดได้ เมื่อเวลามากขึ้น จึงลดลงตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.3 กราฟแสดงปริมาณอะเซตีลโคไซด์ที่สกัดได้ที่เวลาต่างๆกัน โดยวิธีอัลตราโซนิกโพรบและวิธีแช่

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอะเซตีลโคไซด์ที่สกัดได้โดยวิธีใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่าในกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียงมีผลช่วยเพิ่มปริมาณและอัตราการสกัดสารอะเซตีลโคไซด์ได้มากกว่าในทุกช่วงเวลาของการสกัดดังแสดงในรูปที่ 6.3, 6.4 และตารางที่ 6.1 ซึ่งได้จากการประมวลผลข้อมูลดังกล่าว เนื่องจากผลของการเกิดปรากฏการณ์ควิเทชันที่ก่อให้เกิดกลไกการเพิ่มการสกัดได้ดังที่กล่าวมาแล้วว่าจะก่อให้เกิดการปั่นกววนของตัวทำละลายอย่างรุนแรง มีผลช่วยลดความเข้มข้นเฉพาะที่ (local concentration) เท่ากับเป็นการลดค่า C_A ในสมการการถ่ายเทมวลสาร (สมการ (3.1) ในหัวข้อ 3.2.3) จึงเป็นการเพิ่มค่า $C_{AS}-C_A$ และยังช่วยลดชั้นความหนาของตัวทำละลายรอบเซลล์ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มอัตราเร็วของการถ่ายเทมวลสาร ทำให้อัตราเร็วในการสกัดสูงขึ้น นอกจากนี้ ในช่วงแรกของการสกัดความเข้มข้นเฉพาะที่มีค่าต่ำ ดังนั้นการปั่นกววนจึงมีผลช่วยเพิ่มอัตราการสกัดได้มากกว่าในช่วงหลังซึ่งความเข้มข้นเฉพาะที่มีค่าสูงและใกล้เคียงกันในทุกบริเวณ จากผลการทดลองนี้ จึงสามารถสรุปได้ว่า การนำคลื่นเหนือเสียงซึ่งเป็นพลังงานที่มีราคาสูงมาใช้ในกระบวนการสกัด ต้องคำนึงถึงเวลาของการสกัดเป็นปัจจัยสำคัญหลักอย่างหนึ่ง อนึ่ง จากการที่อัตราการสกัดที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงในช่วงแรกของการสกัดโดยเฉพาะในกรณีใช้คลื่นเหนือเสียง นับว่าเป็นข้อดี เนื่องจากการใช้ระยะเวลาการสกัดที่สั้นกว่า อาจทำให้กระบวนการนี้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงอัตราการสกัดสารอะเซียดิโคไซด์ที่เวลาต่าง ๆ กัน

ในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิกโพรบและวิธีแช่

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงปริมาณและอัตราการสกัดสารอะเซียดิโคไซด์กรณีที่ใช้อัลตราโซนิกโพรบที่เพิ่มขึ้นจากกรณีไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียง

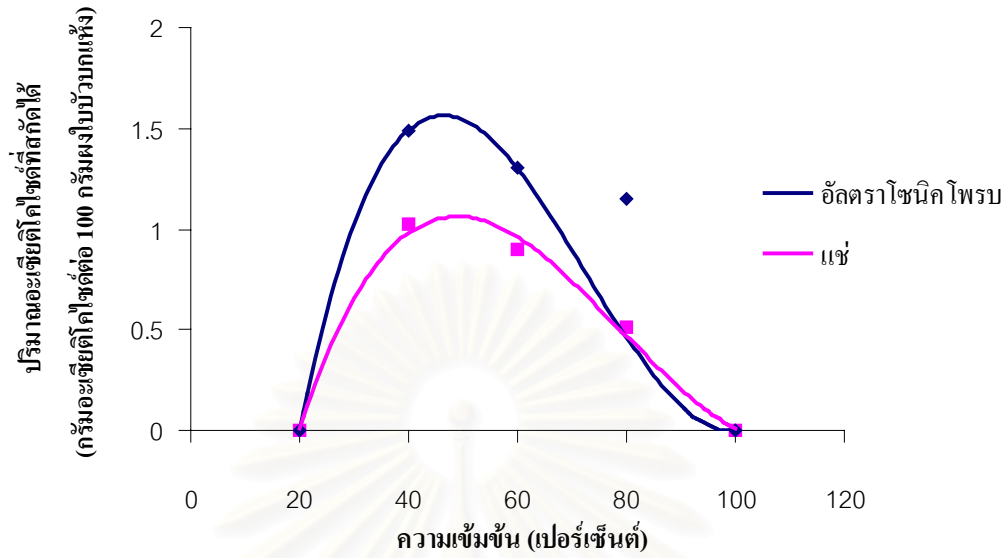
เวลา (นาที)	ปริมาณอะเซียดิโคไซด์ที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการสกัดที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)
0.5	187.67	187.67
1	190.05	208.51
2	182.86	113.95
4	173.28	108.57
6	177.66	235.00
8	172.83	124.14
10	170.78	142.86
30	126.64	53.85
40	123.65	91.92
60	113.36	32.31
90	113.61	120.78

จากผลการทดลองในหัวข้อผลของเวลาในการสกัดนี้ ทำให้สามารถเลือกเวลาที่เหมาะสมในการสกัด สำหรับการศึกษหาปัจจัยที่เหมาะสมอื่นๆของการสกัดอะเซติโคไซด์จากบัวบกในการทดลองต่อไป ซึ่งพบว่า เมื่อใช้เวลาในการสกัด 1 นาที การใช้คลื่นเหนือเสียงจะส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้สูงสุดคือ 190.05 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไฮเพอร์ฟอแมนต์ลิวิดโครมาโตกราฟีเป็นไปอย่างแม่นยำ จึงเลือกเวลาที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 10 นาที เนื่องจากปริมาณสารอะเซติโคไซด์ในตัวทำละลายที่ได้จากกรณีนี้ มีความเข้มข้นมากพอที่จะทำให้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างในปริมาณที่น้อยลงได้โดยยังคงให้ค่าที่ชัดเจน

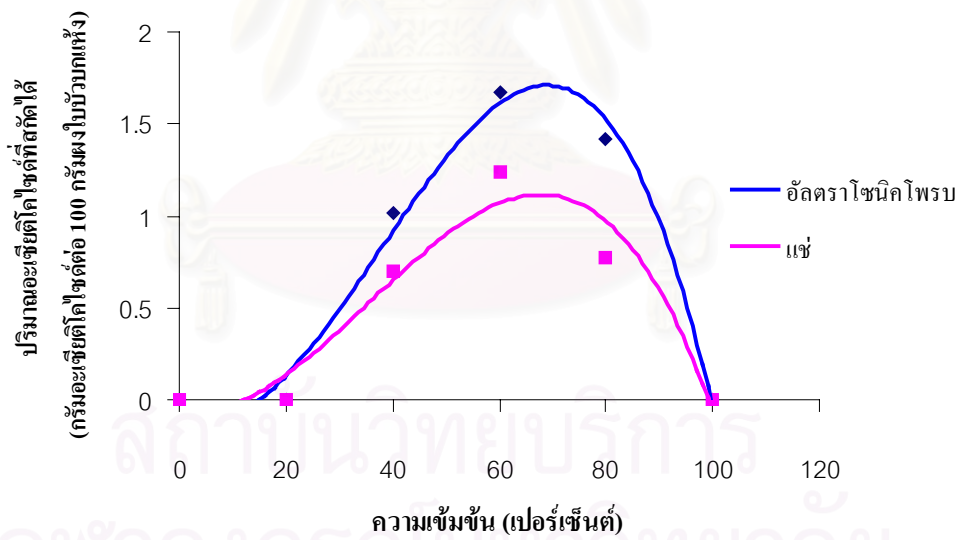
6.1.2 ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย

การศึกษาผลของตัวทำละลายในการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบัวบกในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ทำได้โดยทำการสกัดสารอะเซติโคไซด์โดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ เอทานอล, เมทานอล และอะซิโตน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยปริมาตรตามลำดับ

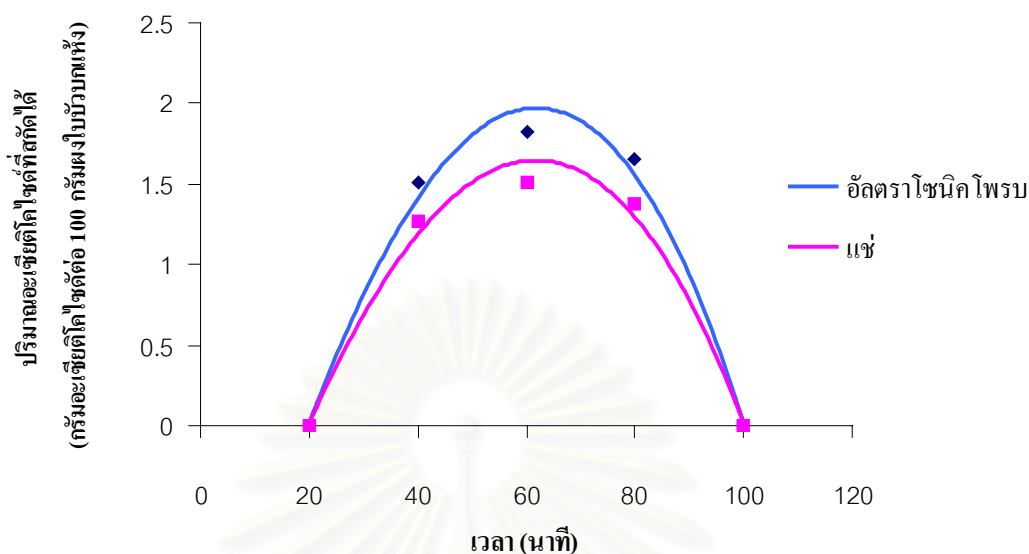
จากผลการทดลองดังรูปที่ 6.5, 6.6 และ 6.7 พบว่า เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้กับความเข้มข้นของตัวทำละลายที่เปลี่ยนแปลงไปของทั้ง 3 ตัวทำละลาย จะเห็นว่าแนวโน้มเดียวกันทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง โดยสำหรับตัวทำละลายเมทานอลและอะซิโตน ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถสกัดอะเซติโคไซด์ได้สูงสุด รองลงมาคือที่ 80 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อใช้ตัวทำละลายเอทานอลในการสกัดจะให้ผลแตกต่างจากตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด คือ ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สามารถสกัดสารอะเซติโคไซด์ได้มากที่สุด รองลงมาคือที่ 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ ตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 20 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไม่สามารถสกัดสารอะเซติโคไซด์ออกมาได้ และเมื่อนำผลการทดลอง คือ ปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้เมื่อใช้ตัวทำละลายต่างกันทั้ง 3 ชนิด มาเขียนลงในกราฟรูปเดียวกัน ดังรูปที่ 6.8 พบว่า ทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ที่ทุกความเข้มข้น อะซิโตนสามารถสกัดสารอะเซติโคไซด์ได้มากที่สุด รองลงมาคือเมทานอล (ยกเว้นที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ ตัวทำละลายเอทานอลสกัดได้มากกว่าเมทานอล) และเอทานอลตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปัจจัย 3 เรื่อง คือ ค่าความหนืดและค่าความมีขั้วของตัวทำละลาย รวมทั้งสัดส่วนปริมาณน้ำต่อตัวทำละลาย ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2.5



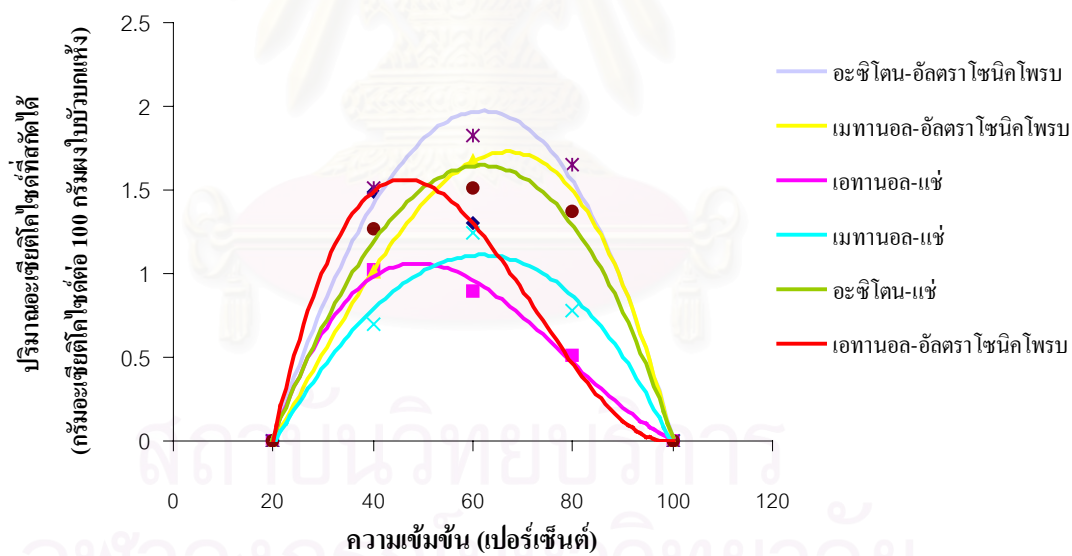
รูปที่ 6.5 กราฟแสดงปริมาณอะซีติโคไซด์ที่สกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิก โพรบและวิธีแช่



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงปริมาณอะซีติโคไซด์ที่ได้โดยใช้ตัวทำละลายเมทานอล ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิก โพรบและวิธีแช่



รูปที่ 6.7 กราฟแสดงปริมาณอะเซียติโคลไซด์ที่ได้โดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตน ที่ความเข้มข้นต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิกโพรบและวิธีแช่



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงปริมาณอะเซียติโคลไซด์ที่ได้โดยใช้ตัวทำละลายความเข้มข้นต่างๆกันในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิกโพรบและวิธีแช่

การอธิบายผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้ตัวทำละลายความเข้มข้นต่างกันในการสกัดสารอะเซติโคไซด์ออกจากบวบก ดังกราฟรูปที่ 6.5, 6.6 และ 6.7 จำเป็นจะต้องทำความเข้าใจถึงบทบาทของสัดส่วนปริมาณน้ำต่อตัวทำละลายที่มีต่อการสกัดสารอะเซติโคไซด์ออกจากบวบกและรวมถึงการพิจารณาค่าความมีขั้วและค่าความหนืดของตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

เมื่อพิจารณาการละลายของสารอะเซติโคไซด์บริสุทธิ์ (สารอะเซติโคไซด์ที่สกัดออกจากบวบกและทำให้บริสุทธิ์แล้ว มีลักษณะเป็นรูปผลึกสีขาว) ด้วยตัวทำละลายบริสุทธิ์ทั้ง 3 ชนิด (100 เปอร์เซ็นต์) พบว่า สารอะเซติโคไซด์บริสุทธิ์สามารถละลายในตัวทำละลายบริสุทธิ์ทั้ง 3 ชนิดได้ดีกว่าตัวทำละลายดังกล่าวผสมน้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าความมีขั้วของสารอะเซติโคไซด์มีค่าใกล้เคียงกับตัวทำละลายบริสุทธิ์ทั้ง 3 ชนิดมากกว่าตัวทำละลายดังกล่าวผสมน้ำ แต่ในกระบวนการสกัดสารนี้จากพืช จะต้องมีการนำสารอะเซติโคไซด์บริสุทธิ์ดังกล่าวออกจากเซลล์พืช โดยตัวทำละลายจะต้องสามารถแทรกซึมเข้าสู่เซลล์ก่อนจึงจะสามารถเข้าไปละลายสารอะเซติโคไซด์ออกมาได้ นั่นคือ เซลล์พืชต้องเกิดการพองตัวก่อน เพื่อให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าสู่เซลล์ได้ง่ายขึ้น ปัจจัยเรื่องปริมาณน้ำต่อตัวทำละลายจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญ เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำให้เกิดการพองตัวได้มาก

กลไกเกี่ยวกับการพองตัวของเซลล์พืช คือ สมุนไพรมันที่เก็บตากแห้งแล้ว มักจะเป็นรูปพรุณเนื่องจากเซลล์หดตัวลงเพราะเสียน้ำไปทำให้เกิดช่องว่างซึ่งอากาศสามารถเข้าไปแทนที่ได้ ตัวทำละลายต้องเข้าไปแทนที่อากาศตามช่องว่างก่อนแล้วจึงจะสามารถแทรกซึมเข้าเซลล์ได้ ดังนั้นกระบวนการสกัดจึงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวสมุนไพรมันเองด้วย ส่วนประกอบพื้นฐานของผนังเซลล์พืช คือ เป็นโมเลกุลของเซลลูโลส มีรูปร่างเป็นเกลียวพันกันเป็นเส้นใยเล็กมากที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เส้นใยจะขนานไปกับแกนของเซลล์ เป็นที่รู้จักกันในชื่อว่า ไมเซลล์ (micellae) ในพืชสด ไมเซลล์ถูกหุ้มด้วยฟิล์มบางๆของน้ำเมื่อทำให้พืชแห้ง แผ่นฟิล์มจะหายไป ส่วน ไมเซลล์เคลื่อนที่เข้าหากันและรวมตัวกันเป็นเนื้อเยื่อที่ต่อเนื่องกันไป (continuous membrane) เมื่อเราทำให้สมุนไพรมันที่แห้งกลับเปียกขึ้น ไมเซลล์จะหุ้มฟิล์มบางๆของน้ำอีกครั้ง ทำให้เนื้อเยื่อพองตัว ในการปฏิบัติจริง ปริมาณของการพองตัวเกิดได้ต่างกัน การพองตัวจะเกิดมากที่สุดเมื่อตัวทำละลายมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุลเป็นจำนวนมาก ดังนั้น น้ำจึงเป็นตัวทำให้เกิดการพองตัวได้มาก การพองตัวจะเกิดขึ้นต่อไปจนกระทั่งความดันจากตัวทำละลายเท่ากับแรงเกาะกัน (cohesive force) ระหว่างไมเซลล์ ดังนั้น น้ำจึงเป็นตัวการสำคัญแรกเริ่มที่ทำให้ตัวทำละลายสามารถแพร่เข้าสู่เซลล์สมุนไพรมันและละลายตัวถูกละลายออกมาได้ โดยถ้าปริมาณน้ำน้อยเกินไป เซลล์พืชจะไม่เกิดการพองตัว ตัวทำละลายจะไม่สามารถแทรกซึมเข้าสู่เซลล์ จึงไม่สามารถเข้าไปละลายสารอะเซติโคไซด์ออกมาได้ ในทางกลับกัน ถ้าปริมาณน้ำมากเกินไป แม้ว่าจะทำให้เซลล์พืชเกิดการพองตัวได้ดี แต่อาจจะทำให้ค่าความมีขั้วของตัวทำละลายไม่เหมาะสมกับสารที่ต้องการสกัดออกจากเซลล์พืช อีก

ทั้งยังมีผลให้ค่าความหนืดของตัวทำละลายเพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ ซึ่งอิทธิพลของค่าความหนืดต่อการสกัดจะได้กล่าวถึงต่อไป

เมื่อพิจารณาค่าความมีขั้วและความหนืดของตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 6.2 จะเห็นได้ว่า ที่ความเข้มข้นเท่ากัน ตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด มีค่าความมีขั้วใกล้เคียงกัน แต่มีค่าความหนืดแตกต่างกัน คือ เอทานอลมีค่าความหนืดมากที่สุด (ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำ) รองลงมา คือ เมทานอล และอะซีโตน (ซึ่งมีค่าความหนืดน้อยกว่าน้ำ) ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของตัวทำละลายตามความเข้มข้นมีแนวโน้มที่แตกต่างกันดังนี้ คือ สำหรับตัวทำละลายเมทานอลและอะซีโตน เมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนืดของเมทานอลและอะซีโตนจะลดลงตามลำดับ ในขณะที่ เมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอลเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนืดของเอทานอลจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ

สำหรับอิทธิพลของค่าความมีขั้วของตัวทำละลายต่อการสกัด สามารถอธิบายโดยอาศัย กฎเกณฑ์ของการละลายที่เรียกว่า "like dissolves like" คือ สารชนิดหนึ่งจะละลายในอีกชนิดหนึ่งได้ ต้องมีค่าความมีขั้วใกล้เคียงกัน และอิทธิพลของค่าความหนืดของตัวทำละลายต่อการสกัด เป็นผลให้ ตัวทำละลายซึ่งมีค่าความหนืดต่ำสามารถสกัดสารได้ดีกว่าตัวทำละลายซึ่งมีค่าความหนืดสูง ทั้งนี้เนื่องจาก ตัวทำละลายซึ่งมีค่าความหนืดต่ำ จะส่งผลให้ความหนาของชั้นตัวทำละลายที่อยู่โดยรอบเซลล์ลดลง และเกิดการไหลเวียนของตัวทำละลายที่ดีกว่า ซึ่งจะช่วยลดค่าความต้านทานการส่งถ่ายมวล ทำให้การแพร่ของตัวถูกละลายเกิดได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ ตัวทำละลายซึ่งมีค่าความหนืดต่ำ จะทำให้เกิดความเค้นได้ง่ายขึ้น จึงช่วยสนับสนุนการสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงให้สามารถสกัดสารอะเซียติโคไซด์ได้มากขึ้นด้วย

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงค่าความมีขั้วและค่าความหนืดของตัวทำละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ใช้ในการสกัด

ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	ค่าความมีขั้ว (Polarity Index)			ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)		
	เอทานอล	เมทานอล	อะซีโตน	เอทานอล	เมทานอล	อะซีโตน
20	8.24	8.22	8.22	1.04	0.92	0.86
40	7.48	7.44	7.44	1.08	0.84	0.73
60	6.72	6.66	6.66	1.12	0.76	0.59
80	5.96	5.88	5.88	1.16	0.68	0.46
100	5.20	5.10	5.10	1.20	0.60	0.32

หมายเหตุ : ค่าความหนืดของน้ำ เท่ากับ 1 เซนติพอยส์

: การคำนวณค่าความมีขี้และค่าความหนืดของตัวทำละลายที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงในภาคผนวก ข

จากตารางที่ 6.2 เมื่อพิจารณากรณีของเมทานอลและอะซิโตน พบว่า ค่าความมีขี้ของตัวทำละลายบริสุทธิ์ เท่ากับ 5.1 ซึ่งน่าจะเหมาะสมกับสารอะเซติลโคโคไซด์มากที่สุด ดังที่กล่าวมาแล้ว แต่จากการที่กระบวนการสกัด จำเป็นจะต้องทำให้เซลล์เกิดการพองตัวก่อนโดยอาศัยน้ำ จึงจะสามารถละลายสารอะเซติลโคโคไซด์ออกมาได้ ซึ่งปริมาณของน้ำที่เหมาะสมพิจารณาได้จากผลการทดลอง พบว่า ที่ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์การสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์จะเกิดขึ้นได้สูงสุด รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้น 80 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หากพิจารณาผลของปัจจัยทั้ง 3 ตัวไปพร้อมกัน พบว่า ถึงแม้ว่าที่ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ค่าความมีขี้เข้าใกล้ค่าที่เหมาะสมมากที่สุด อีกทั้งมีค่าความหนืดต่ำกว่า น่าจะทำให้สกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ได้มากกว่า แต่ด้วยปริมาณสัดส่วนของน้ำที่น้อยเกินไป จึงทำให้ที่ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ สามารถสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ได้มากที่สุด แม้ว่าค่าความหนืดและค่าความมีขี้จะสูงกว่าก็ตาม ในทำนองเดียวกันที่ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าจะมีปริมาณสัดส่วนของน้ำมากขึ้น แต่ค่าความมีขี้มีความแตกต่างจากค่าที่เหมาะสมมากขึ้น และค่าความหนืดมีค่าสูงขึ้น จึงทำให้ปริมาณสารอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้มีค่าน้อยกว่าที่ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์

สำหรับกรณีการสกัดด้วยเอทานอล ซึ่งให้ผลแตกต่างจากตัวทำละลาย 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว คือ ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า จะสามารถสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ได้มากที่สุด รองลงมาคือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่า ที่ความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการพองตัวของเซลล์พืช ดังผลการทดลองของตัวทำละลาย 2 ชนิดที่ผ่านมา และค่าความมีขี้ก็มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมมากกว่าที่ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ตัวทำละลายมีค่าความหนืดต่ำกว่า จึงทำให้ปริมาณสารอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้มากกว่ากรณีของตัวทำละลายที่มีความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าจะมีค่าความมีขี้แตกต่างจากค่าที่เหมาะสม มากกว่าตัวทำละลายที่มีความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าในกรณีของเอทานอล ซึ่งมีค่าความหนืดมากกว่าตัวทำละลายอื่นมาก ผลของความหนืดต่อการสกัดจะมีมากกว่าค่าความมีขี้

สำหรับกรณีการสกัดด้วยน้ำ หรือที่ความเข้มข้นตัวทำละลายเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไม่สามารถสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ออกมาได้เลย เนื่องจาก แม้ว่าจะมีองค์ประกอบของน้ำทำให้เซลล์สมุนไพรเกิดการพองตัวได้ แต่สูตรโครงสร้างของน้ำทำให้เกิดการสร้างแรงโพลาริตีกับสารอะเซติล-

โคไซด์เท่านั้น จึงไม่เพียงพอในการละลายสารดังกล่าว รวมทั้งมีค่าความมีขี้ที่ ไม่เหมาะสมกัน นอกจากนี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารอะเซติโคไซด์ เกิดเป็นอะเซติก แอซิด กลูโคส และแรมโนส ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 อีกด้วย

สำหรับตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้น 20 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ไม่สามารถสกัดสารอะเซติโคไซด์ออกมาได้เลย เนื่องจาก ที่ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าจะมีปริมาณน้ำมากเพียงพอต่อการพองตัวของเซลฟิช และมีค่าความหนืดที่น้อยลงในกรณีของเอทานอล (กรณีเมทานอลและอะซิโตนมีค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้น จึงยังส่งผลให้การสกัดน้อยลง) แต่ค่าความมีขี้แตกต่างจากค่าที่เหมาะสมมากเกินไป จึงเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อกระบวนการสกัด สำหรับเมื่อตัวทำละลายมีความเข้มข้นเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ คือเป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์ จึงไม่มีน้ำอยู่ในส่วนประกอบของตัวทำละลายที่จะทำให้เกิดการพองตัวของเซลฟิช ทำให้การแทรกซึมของตัวทำละลายเข้าสู่เซลฟิชเป็นไปได้ยาก จึงเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อกระบวนการสกัดเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้นในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงดังตารางที่ 6.3 พบว่า กรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียงปริมาณสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้มีค่ามากกว่าที่ทุกความเข้มข้นของตัวทำละลาย เนื่องจากผลของการเกิดปรากฏการณ์ควิวเทชัน ซึ่งอธิบายได้ในทำนองเดียวกับกรณีการศึกษาปัจจัยในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการสกัด โดยที่ความเข้มข้นเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลและเมทานอลในการสกัด แสดงให้เห็นว่า คลื่นเหนือเสียงมีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารอะเซติโคไซด์มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงสูงกว่าที่ความเข้มข้นอื่น อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ที่ความเข้มข้นดังกล่าวมีค่าต่ำ จึงเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการสกัด

จากผลการทดลองในหัวข้อผลของชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายในการสกัดนี้ ทำให้สามารถเลือกชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสมในการสกัด สำหรับการศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมอื่นๆของการสกัดอะเซติโคไซด์จากบวบกในการทดลองต่อไป คือ ตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 6.3 พบว่า ถึงแม้ตัวทำละลายอะซิโตนและเมทานอลจะสามารถสกัดสารอะเซติโคไซด์ออกมาได้ปริมาณมากกว่าเอทานอล แต่เมื่อเปรียบเทียบความสามารถของคลื่นเหนือเสียงในการช่วยเพิ่มการสกัด การใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายจะทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าในกรณีของอะซิโตนและเมทานอล นอกจากนั้น เอทานอลยังมีข้อได้เปรียบในเรื่องความปลอดภัยและการรักษาสิ่งแวดล้อม แม้ว่าเอทานอลจะมีราคาแพงกว่าตัวทำละลายอีก 2 ชนิดก็ตาม

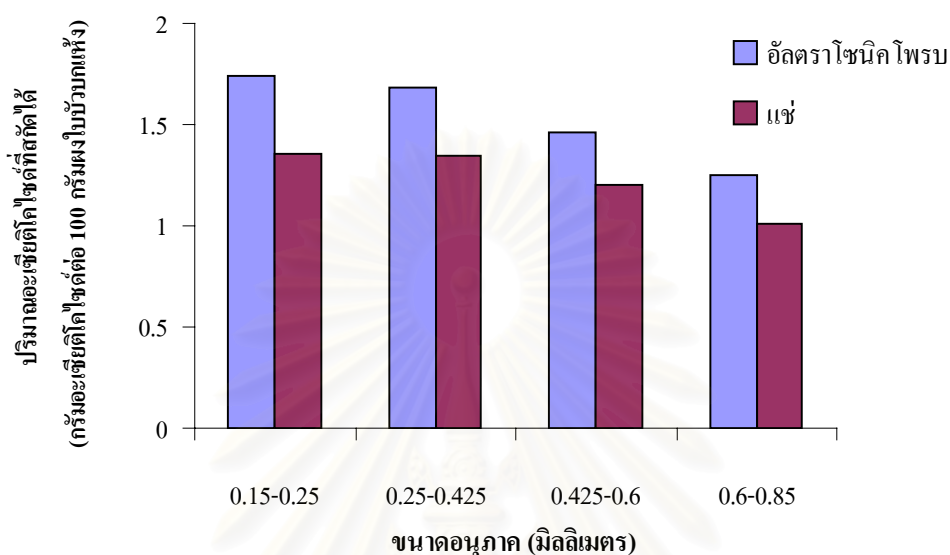
ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง โดยใช้ตัวทำละลายต่างๆกัน

ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้นสำหรับกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง (เปอร์เซ็นต์)		
	เอทานอล	เมทานอล	อะซิโตน
0	0	0	0
20	0	0	0
40	45.79	45.48	18.49
60	45.20	34.54	20.34
80	125.10	82.22	19.75
100	0	0	0

6.1.3 ขนาดอนุภาคผงใบบัวบก

การศึกษาผลของขนาดอนุภาคในการสกัดสารอะเซติลโคไนด์จากบัวบกในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ทำได้โดยสกัดสารอะเซติลโคไนด์โดยใช้ขนาดอนุภาคผงใบบัวบกที่มีขนาดแตกต่างกัน 4 ขนาด คือ ขนาดอนุภาคที่มีค่าระหว่าง 0.15-0.25, 0.25-0.425, 0.524-0.6 และ 0.6-0.85 มิลลิเมตร จากผลการทดลองดังรูปที่ 6.9 พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ตามขนาดอนุภาคเป็นไปในแนวโน้มนเดียวกันทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง คือ เมื่อขนาดอนุภาคผงใบบัวบกมีขนาดใหญ่ขึ้น ปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้จะลดลง นั่นคือ ยิ่งอนุภาคผงใบบัวบกมีขนาดเล็ก จะส่งผลช่วยเพิ่มอัตราการสกัด นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้น เมื่อทำการลดขนาดอนุภาคผงใบบัวบก ทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่าการลดขนาดอนุภาค เมื่อขนาดอนุภาคมีขนาดใหญ่ จะช่วยเพิ่มปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้มากกว่า การลดขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กอยู่แล้ว โดยสามารถสรุปการเพิ่มขึ้นของสารอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ในกรณีการลดขนาดอนุภาคเป็นลำดับชั้น ดังแสดงในตารางที่ 6.4 พบว่า สำหรับกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียงและไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง การลดขนาดของผงใบบัวบกจาก 0.25-0.425 มิลลิเมตร เป็น 0.15-0.25 มิลลิเมตร การเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้จะมีค่าน้อย คือ เพิ่มขึ้นเพียง 3.26 และ 0.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้จะมีค่ามากขึ้น เมื่อทำการลด

ขนาดของผงใบบั่วบจาก 0.425-0.6 มิลลิเมตร เป็น 0.25-0.425 มิลลิเมตร และการเพิ่มขึ้นจะมากที่สุด เมื่อทำการลดขนาดของผงใบบั่วบจาก 0.6-0.85 มิลลิเมตร เป็น 0.425-0.6 มิลลิเมตร



รูปที่ 6.9 กราฟแสดงปริมาณอะเซียติโคไซด์ที่สกัดได้โดยใช้ขนาดอนุภาคผงใบบั่วบแตกต่างกัน ในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิก โพรบและวิธีแช่

ตารางที่ 6.4 ตารางแสดงการเพิ่มขึ้นของสารอะเซียติโคไซด์ที่สกัดได้กรณีการลดขนาดอนุภาคต่างกัน

กรณีการลดขนาดอนุภาค	การเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซียติโคไซด์ (เปอร์เซ็นต์)	
	กรณีใช้คลื่นเหนือเสียง	กรณีไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
0.25-0.425 เป็น 0.15-0.25 มิลลิเมตร	3.26	0.89
0.425-0.6 เป็น 0.25-0.425 มิลลิเมตร	15.31	11.92
0.85-0.6 เป็น 0.425-0.6 มิลลิเมตร	17.13	18.34

ความแตกต่างของปริมาณอะเซียติโคไซด์ที่สกัดได้เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงใบบั่วบที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 6.9 เป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของการลดขนาดอนุภาคผงใบบั่วบ คือ จะช่วยลดระยะเวลาการส่งถ่ายมวลจากตัวทำละลายไปยังแหล่งสะสมสารอะเซียติโคไซด์ และช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ทำให้การแพร่ของตัวทำละลายจากผิวเข้าสู่เซลล์และการแพร่ของตัวถูกละลายจากผิวออกสู่สารละลายได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ผลการทดลองดังตารางที่ 6.4 สามารถอธิบายได้ว่า ขนาดอนุภาคมีค่า

ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร เป็นขนาดที่มีความเหมาะสมในการสกัด เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวสารอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้มีปริมาณมากและทำให้ความเข้มข้นเฉพาะที่มีค่าสูงและใกล้เคียงกันในทุกบริเวณ การที่ลดขนาดอนุภาคให้เล็กลง แม้ว่าจะนำสารอะเซติลโคโคไซด์ออกมาที่ผิวของอนุภาคได้มากขึ้น แต่การแพร่ของสารอะเซติลโคโคไซด์จากผิวมายังตัวทำละลายก็เกิดขึ้นได้ยาก เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นเฉพาะที่น้อยลงมากแล้ว เป็นผลให้การถ่ายเทมวลสารภายในตัวทำละลายเป็นไปได้ยากขึ้น ดังนั้นการลดขนาดอนุภาคให้เล็กลงอีก จึงมีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดเพียงเล็กน้อย และสำหรับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ซึ่งจะไม่เกิดการปั่นกววนของระบบ ทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอนุภาคขนาดเล็กมากซึ่งมีแรงในการเกาะกันสูง ดังนั้นการลดขนาดอนุภาคให้เล็กลงไปอีก จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้เพียงเล็กน้อยเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ กรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงที่ขนาดของอนุภาคของผงใบบัวบกเท่ากัน พบว่า การสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงสามารถสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ได้มากกว่าที่ทุกขนาดอนุภาคของผงใบบัวบก อันเป็นผลเนื่องมาจากปรากฏการณ์ควิวเทชัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

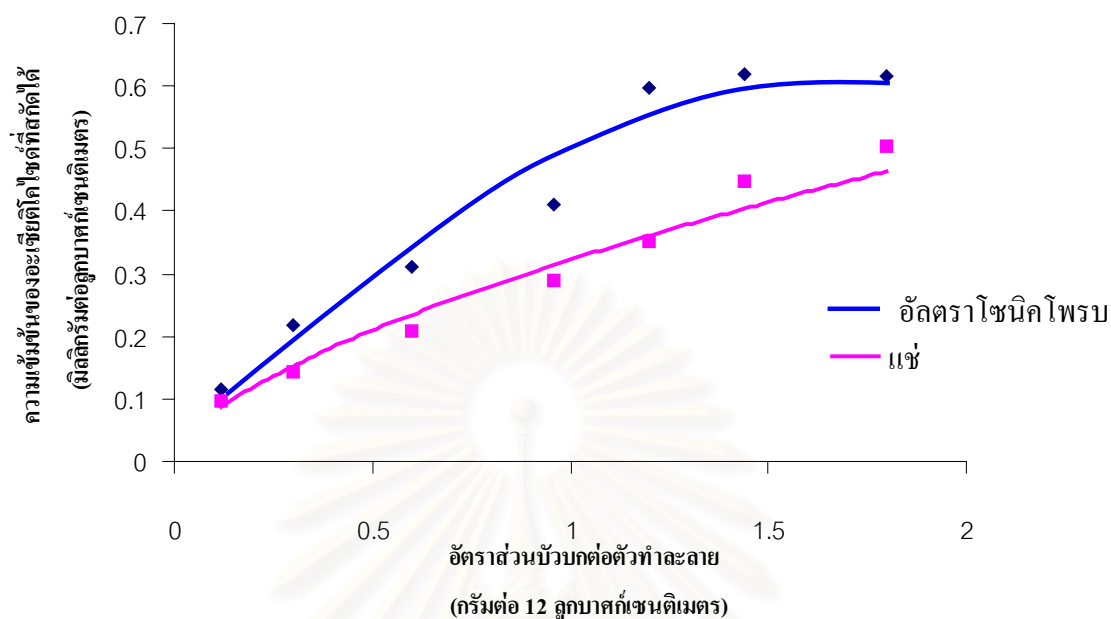
จากผลการทดลองในหัวข้อผลของขนาดอนุภาคของผงใบบัวบกในการสกัดนี้ ทำให้สามารถเลือกขนาดอนุภาคของผงใบบัวบกที่เหมาะสมในการสกัด สำหรับการศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมอื่น ๆ ของการสกัดอะเซติลโคโคไซด์จากบัวบกในการทดลองต่อไป คือ ขนาดอนุภาคผงใบบัวบกที่อยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับหัวข้อนี้ ควรคำนึงถึงพลังงานที่ต้องใช้บดขยี้ผงใบบัวบกให้มีขนาดเล็กกับปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้นด้วย

6.1.4 อัตราส่วนของผงใบบัวบกต่อตัวทำละลาย

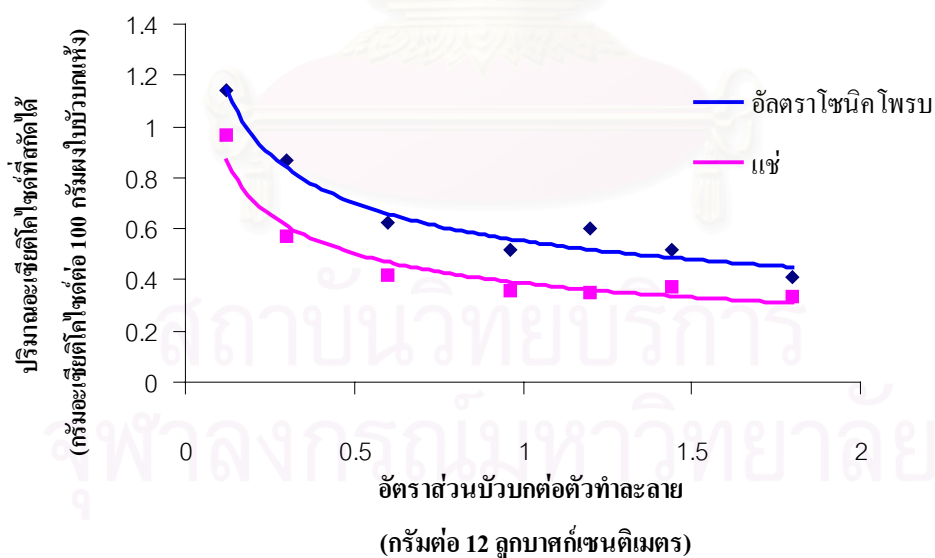
การศึกษาผลของอัตราส่วนบัวบกต่อตัวทำละลายในการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์จากบัวบกในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ทำได้โดยทำการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์โดยใช้อัตราส่วนบัวบกต่อตัวทำละลายต่างกัน คือ 0.12, 0.3, 0.6, 0.96, 1.2, 1.44 และ 1.8 กรัม ต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ จากผลการทดลองดังรูปที่ 6.10 พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอะเซติลโคโคไซด์ในตัวทำละลายตามอัตราส่วนบัวบกต่อตัวทำละลายที่เปลี่ยนแปลงไปมีแนวโน้มเดียวกันทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง คือ เมื่ออัตราส่วนบัวบกต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของสารอะเซติลโคโคไซด์ในตัวทำละลายที่สกัดได้ก็มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยสำหรับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของอะเซติลโคโคไซด์มีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างค่อนข้างคงที่

กับการเพิ่มของอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายตลอดทุกอัตราส่วน ส่วนสำหรับกรณีที่ใช้กลิ่นเหนื่อเสียง พบว่า ความเข้มข้นของอะเซติลโคไนด์เพิ่มขึ้นอย่างค่อนข้างคงที่กับการเพิ่มของอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายในช่วงอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายมีค่าต่ำ และเริ่มคงที่เมื่ออัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายมากกว่า 0.96 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า สำหรับกรณีการสกัดโดยไม่ใช้กลิ่นเหนื่อเสียง สามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 6.9 ได้ดังนี้ คือ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลาย ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณบวบกให้มากขึ้น จึงเป็นการเพิ่มปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่ละลายได้ในตัวทำละลาย แม้ว่าปริมาณบวบกที่เพิ่มมากขึ้นจะไปกองอยู่ที่บริเวณผิวของตัวทำละลายและบริเวณก้นของคอลัมน์ แต่ตัวทำละลายก็ยังสามารถแทรกซึมเข้าไปยังช่องว่างระหว่างผงบวบกได้ ทำให้ยังคงมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผงบวบกที่ผิวของตัวทำละลายและที่ตกลงมาที่ก้นคอลัมน์ซึ่งสัมผัสกับตัวทำละลายและเกิดการสกัดขึ้นได้ จึงส่งผลให้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลาย ความเข้มข้นของอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้จึงเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ส่วนในกรณีที่ใช้กลิ่นเหนื่อเสียง ปรากฏการณ์ควิเทชันก่อให้เกิดการปั่นกวอนอย่างรุนแรง จึงช่วยเพิ่มการสกัดได้มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้กลิ่นเหนื่อเสียง และการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซติลโคไนด์อย่างรวดเร็ว ทำให้ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารอะเซติลโคไนด์ที่ผิวและในตัวทำละลายแตกต่างกันน้อย จึงทำให้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายมากกว่า 0.96 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความเข้มข้นของสารอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้จึงเริ่มคงที่

เมื่อพิจารณาปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ต่อปริมาณผงบวบกที่เท่ากัน ดังรูปที่ 6.11 พบว่า เมื่ออัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้น ปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้กลิ่นเหนื่อเสียงมีค่าลดลงตามลำดับ และเริ่มคงที่เมื่ออัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายมีค่ามากขึ้น แสดงว่า การเพิ่มปริมาณของผงบวบก ไม่ได้ส่งผลต่อการเพิ่มของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มปริมาณผงบวบกให้มากขึ้น แม้ว่าจะเป็นการเพิ่มปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สามารถถูกสกัดออกมาได้ แต่เมื่ออัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายมากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ในตัวทำละลายสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น เป็นผลให้ความแตกต่างเฉพาะที่มีค่าน้อยลงจนทำให้อัตราการสกัดช้าลงอย่างรวดเร็ว อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ จึงน้อยกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณบวบก ดังนั้น เมื่อเทียบปริมาณผงบวบกที่เท่ากัน จึงทำให้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายจึงไม่ได้ส่งผลต่อการเพิ่มของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ต่อกรัมของผงบวบกที่เท่ากัน



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงความเข้มข้นของอะเซียติโคไซด์ในตัวทำละลายที่สกัดได้ ที่อัตราส่วนบัวบกต่อตัวทำละลายต่างกัน ในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิกโพรบและวิธีแช่

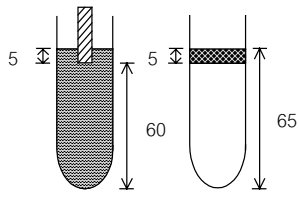


รูปที่ 6.11 กราฟแสดงปริมาณอะเซียติโคไซด์ที่สกัดได้ที่อัตราส่วนบัวบกต่อตัวทำละลายต่างกัน ในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิกโพรบและวิธีแช่

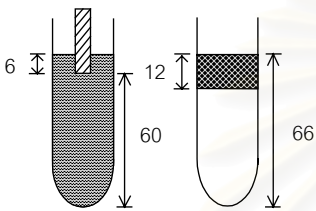
เมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่า กรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง สามารถสกัดสารอะเซติโคไซด์ได้มากกว่าในทุกอัตราส่วนบวบกดต่อตัวทำละลาย โดยความแตกต่างของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ตามอัตราส่วนบวบกดที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 6.10 เนื่องจากกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ไม่มีการกวนเกิดขึ้น สารอะเซติโคไซด์จากบวบกดจึงถูกสกัดออกมาได้ด้วยการแพร่อย่างช้าๆ ความเข้มข้นของอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้จึงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณบวบกดอย่างช้าๆ แต่กรณีการใช้คลื่นเหนือเสียง ปรากฏการณ์คาเวชันก่อให้เกิดการปั่นกวนอย่างรุนแรง จึงช่วยเพิ่มการสกัดได้มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง และอิทธิพลเนื่องจากปริมาณผงใบบวบกดที่มากขึ้นและตำแหน่งของหัวโพรบที่เหมาะสม ทำให้สามารถเพิ่มการสกัดได้อย่างรวดเร็ว

การศึกษาปัจจัยในเรื่องอัตราส่วนบวบกดต่อตัวทำละลายที่มีผลต่อการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบวบกดในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง นอกจากจะมีอิทธิพลเนื่องจากปริมาณผงใบบวบกดที่แตกต่างกัน ยังเป็นผลให้ตำแหน่งของหัวโพรบและลักษณะการกระจายของผงใบบวบกดในตัวทำละลายแตกต่างกันด้วย ดังรูปที่ 6.12

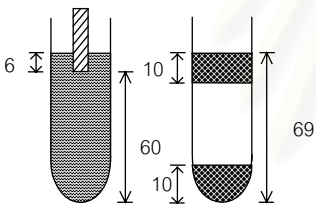
จากรูปที่ 6.12 สำหรับกรณีการสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียง มีการกำหนดตำแหน่งของหัวโพรบจากก้นคอลัมน์น้ำสูงที่ 60 มิลลิเมตร ในทุกอัตราส่วนบวบกดต่อตัวทำละลายต่างกัน ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนบวบกดต่อตัวทำละลาย ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณผงใบบวบกดให้มากขึ้น ทำให้ปริมาตรทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น ระดับของตัวทำละลายจึงสูงขึ้น เป็นผลให้ความลึกของหัวโพรบที่จุ่มในตัวทำละลายแตกต่างกัน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ที่อัตราส่วนบวบกดต่อตัวทำละลาย 0.12, 0.3 และ 0.6 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร คลื่นเหนือเสียงช่วยให้เกิดการปั่นกวนของบวบกดในตัวทำละลายอย่างทั่วถึง แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนบวบกดต่อตัวทำละลายจนมีค่ามากกว่า 0.6 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า กำลังของคลื่นเหนือเสียงไม่สูงมากพอที่จะทำให้เกิดการปั่นกวนได้อย่างทั่วถึง จึงเริ่มมีผงใบบวบกดตกลงมากองที่ก้นคอลัมน์มากขึ้น และปริมาณผงใบบวบกดที่ตกลงมากองที่ก้นคอลัมน์นี้จะมากขึ้นตามอัตราส่วนบวบกดต่อตัวทำละลายที่มากขึ้น ส่วนสำหรับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง เมื่ออัตราส่วนบวบกดต่อตัวทำละลายมากขึ้น เป็นผลให้บวบกดที่กองอยู่ที่ผิวของตัวทำละลาย และก้นคอลัมน์มากขึ้น ซึ่งการที่ผงใบบวบกดจะกองอยู่ที่ผิวของตัวทำละลาย หรือที่ก้นของคอลัมน์นั้น ขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของผงใบบวบกด ถ้าความหนาแน่นของผงใบบวบกดน้อยกว่าตัวทำละลาย คือ ไม่ค่อยมีการรวมกลุ่มกัน ก็จะลอยอยู่ที่ผิวของตัวทำละลาย แต่ถ้าความหนาแน่นของบวบกดมากกว่าตัวทำละลาย คือ มีการรวมกลุ่มกันของผงใบบวบกด ก็จะจมลงสู่ก้นของคอลัมน์



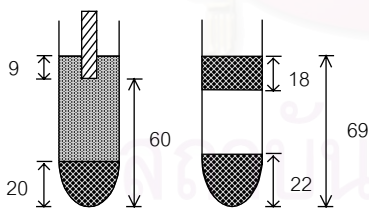
ข) 0.12 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร



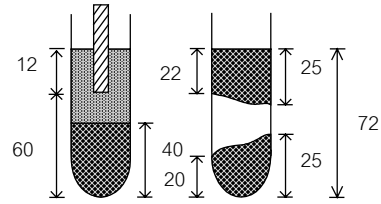
ข) 0.3 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร



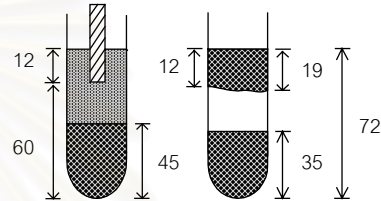
ค) 0.6 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร



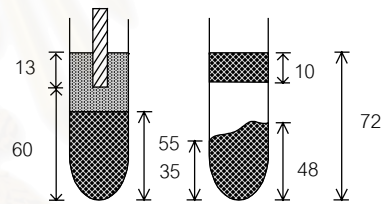
ง) 0.96 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร



จ) 1.2 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ฉ) 1.44 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ช) 1.8 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร

- บั้วบมีการปั่นกวอย่างทั่วถึงในตัวทำละลาย
- บั้วบกกองนิ่งอยู่กับที่
- ตัวทำละลาย

หมายเหตุ : ความยาวมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปด้านซ้ายมือเป็นการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบ

รูปด้านขวามือเป็นการสกัดโดยใช้อ่างทำความสะอาด้วยคลื่นเหนือเสียง

รูปที่ 6.12 รูปแสดงตำแหน่งของหัวโพรบและลักษณะการกระจายของผงใบบั้วบในตัวทำละลาย
ในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงในการสกัดที่อัตราส่วนบั้วบต่อตัวทำละลายต่างกัน

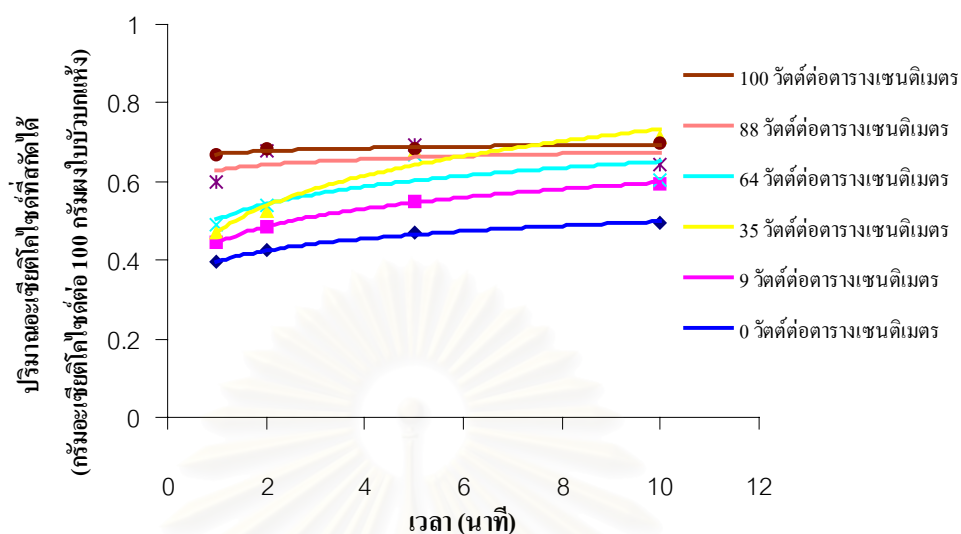
ดังนั้นการเลือกตำแหน่งการวางหัวโพรบและอัตราส่วนบิวบกต่อตัวทำละลายมีส่วนสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ควรจะเลือกตำแหน่งการวางหัวโพรบที่ทำให้เกิดการปั่นกววนของผงโพรบในตัวทำละลายอย่างทั่วถึง โดยที่สามารถใช้ผงโพรบในปริมาณที่สามารถสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ออกมาได้มากที่สุด

จากผลการทดลองในหัวข้อผลของอัตราส่วนบิวบกต่อตัวทำละลายในการสกัดนี้ ทำให้สามารถเลือกอัตราส่วนบิวบกต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัด สำหรับการศึกษาลำดับที่ 1 ที่เหมาะสมอื่น ๆ ของการสกัดอะเซติลโคโคไซด์จากบิวบกในการทดลองต่อไป คือ 0.12 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากให้ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ต่อกรัมของบิวบกสูงที่สุด และที่อัตราส่วนนี้จะให้ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ในตัวทำละลายมีความเข้มข้นมากพอที่จะทำให้สามารถนิตสารตัวอย่างปริมาณน้อยลงได้โดยยังคงให้ค่าที่ชัดเจนในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไฮเพอร์ฟอแมนต์ลิกวิดโครมาโตกราฟีอย่างแม่นยำ

6.1.4 ความเข้มของคลื่นเหนือเสียง

การศึกษาผลของความเข้มของคลื่นเหนือเสียงต่อการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์จากบิวบกในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ทำได้โดยทำการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์โดยปรับความเข้มของคลื่นเหนือเสียงที่ต่างกัน 5 ระดับ คือ 9, 35, 64, 88 และ 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียงโดยทำการสกัดที่เวลา 1, 2, 5 และ 10 นาที ตามลำดับ

จากผลการทดลองดังรูปที่ 6.13 และตารางที่ 6.5 พบว่า การใช้คลื่นเหนือเสียงจะช่วยเพิ่มการสกัดอะเซติลโคโคไซด์ได้อย่างชัดเจน ถึงแม้จะใช้คลื่นเหนือเสียงที่ความเข้มต่ำเพียง 9 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อพิจารณาผลของความเข้มของคลื่นเหนือเสียงต่อปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มของคลื่นเหนือเสียง ปริมาณสารอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ก็จะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้เวลาในการสกัดน้อย คือ 1 และ 2 นาที แต่เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้นเท่ากับ 5 และ 10 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มของคลื่นเหนือเสียงมากกว่า 35 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร จะส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้เพียงเล็กน้อยหรือแทบไม่มีผลเลย โดยเฉพาะเมื่อใช้ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงสูงถึง 88 และ 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้นเพียง 1-2 นาทีแรกเท่านั้น



รูปที่ 6.13 กราฟแสดงปริมาณอะแซยิติโคไซด์ที่สกัดได้กรณีที่ใช้ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงต่างๆกัน ในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิกโพรบ

ตารางที่ 6.5 ตารางแสดงปริมาณของอะแซยิติโคไซด์ที่สกัดได้จากกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงที่ความเข้มคลื่นเหนือเสียงและเวลาของการสกัดต่างกัน

ความเข้มคลื่นเหนือเสียง (วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร)	ปริมาณอะแซยิติโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะแซยิติโคไซด์ ต่อ 100 กรัมผงใบบั่วบค)			
	1 นาที	2 นาที	5 นาที	10 นาที
0	0.395	0.424	0.470	0.495
9	0.444	0.484	0.550	0.596
35	0.472	0.525	0.676	0.713
64	0.490	0.538	0.670	0.606
88	0.597	0.679	0.693	0.643
100	0.667	0.685	0.682	0.697

เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้กับความเข้มของคลื่นเหนือเสียงในช่วงความเข้มคลื่นเหนือเสียงไม่สูงมากนัก คือ ที่ 9, 35 และ 64 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้น ปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากที่ค่าความเข้มของคลื่นเหนือเสียงดังกล่าว คลื่นเหนือเสียงจะก่อให้เกิดควาเวชันชนิดที่มีเสถียรภาพมากกว่าชนิดที่ไม่มีเสถียรภาพ ฟองมีการลดและขยายขนาดอย่างค่อนข้างคงที่ ตลอดระยะเวลาของการสกัด ซึ่งมีผลช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวทำละลายและอนุภาคของผงไบบวบก จากการเกิดการแขวนลอยของบวบกในตัวทำละลาย และยังช่วยลดชั้นความหนาของตัวทำละลายที่อยู่โดยรอบเซลล์ดังกล่าวมาแล้วในตอนต้น ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ จึงเป็นไปอย่างช้าๆ ตามเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาในการสกัดเพิ่มมากกว่า 5 นาที การสกัดสารอะเซติลโคไนด์ออกจากบวบก โดยใช้ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงที่ค่าดังกล่าว ก็สามารถสกัดสารอะเซติลโคไนด์ได้มากพอจนกระทั่งความแตกต่างของความเข้มข้นของอะเซติลโคไนด์ที่ผิวอนุภาคของผงไบบวบกและในตัวทำละลายเข้าใกล้ศูนย์ จึงส่งผลให้เมื่อเพิ่มความเข้มของคลื่นเหนือเสียงมากขึ้น ปริมาณของอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

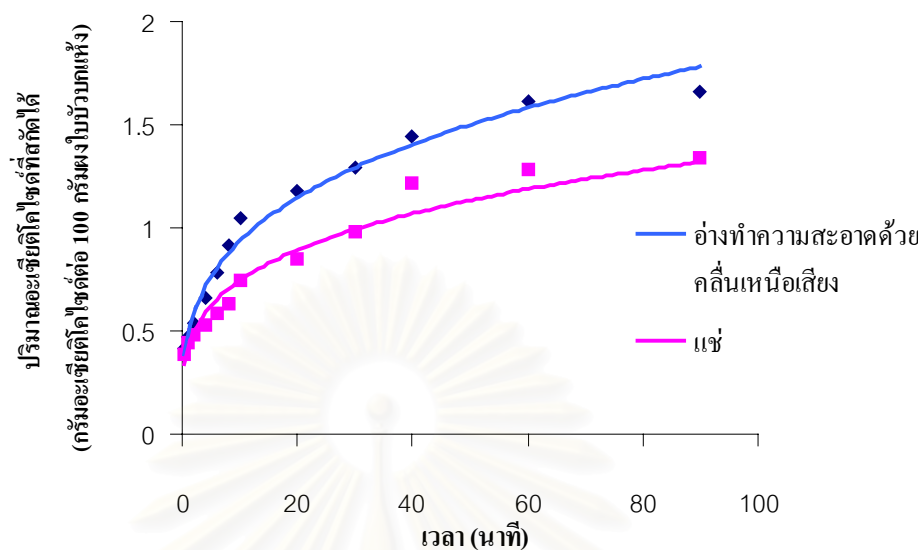
เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้กับความเข้มของคลื่นเหนือเสียงในช่วงความเข้มคลื่นเหนือเสียงที่สูงขึ้น คือ ที่ 88 และ 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้น ปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้แทบจะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากกว่า 2 นาที สามารถอธิบายได้ว่า ที่ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงดังกล่าว นอกจากจะช่วยให้เกิดการปั่นกววนมากขึ้นแล้วยังส่งผลให้เกิดควาเวชันชนิดที่ไม่มีเสถียรภาพมากขึ้น ฟองมีขนาดโตขึ้นและยุบตัวลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวอนุภาคด้วย ซึ่งมีผลช่วยเสริมในการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของบวบก เป็นผลช่วยเพิ่มปริมาณอะเซติลโคไนด์ได้อย่างรวดเร็วมากในระยะเวลาอันสั้น ทำให้ความเข้มข้นเฉพาะที่มีค่าใกล้เคียงกันในทุกบริเวณและมีค่าเข้าใกล้ความเข้มข้นของอะเซติลโคไนด์ที่ผิวด้วยโดยใช้เวลาในการสกัดเพียง 1-2 นาที ดังนั้นจึงเป็นผลให้ เมื่อเวลาในการสกัดมากขึ้น ปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้จึงแทบไม่เปลี่ยนแปลง

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับหัวข้อนี้ ควรพิจารณาถึงความเหมาะสมของการเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วน of ค่าพลังงานแต่ช่วยลดระยะเวลาในการสกัด เปรียบเทียบกับกรณีของการลดค่าใช้จ่ายในส่วน of ค่าพลังงานแต่ต้องเพิ่มระยะเวลาในการสกัด เพื่อให้ได้ปริมาณสารอะเซติลโคไนด์เท่ากัน

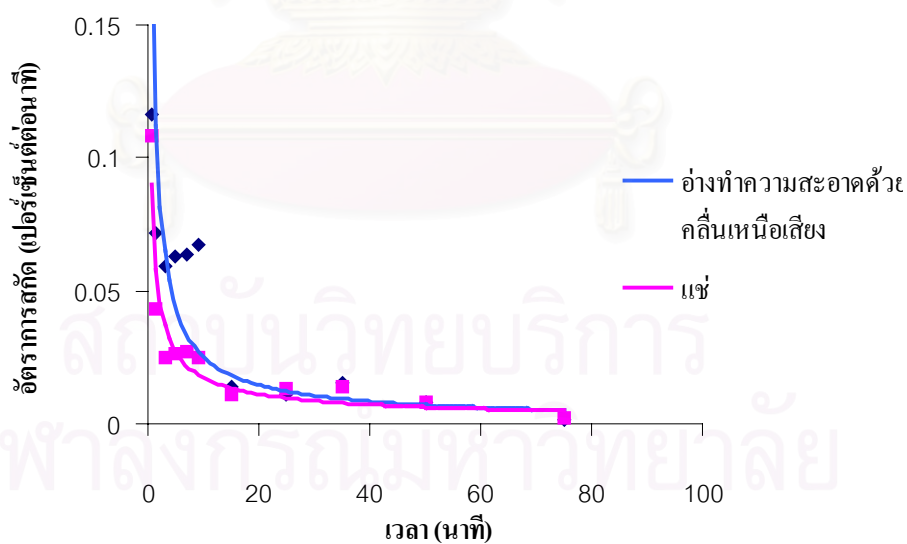
6.2 ผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการสกัดสารอะเซติลโคไนด์ด้วยอ่างทำความสะอาด้วย คลื่นเหนือเสียง

6.2.1 เวลาในการสกัด

การศึกษาผลของเวลาต่อการสกัดสารอะเซติลโคไนด์จากบัวบกในกรณีใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ทำได้โดยทำการสกัดสารอะเซติลโคไนด์จากบัวบกที่เวลาต่างๆกัน คือ 1, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ จากผลการทดลองดังรูปที่ 6.14 พบว่า แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ตามเวลาที่เพิ่มขึ้นนั้น เป็นไปในแนวโน้มนเดียวกันทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง โดยในช่วง 10 นาทีแรก ปริมาณของสารที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณของสารที่สกัดได้นี้จะลดลงตามลำดับ จนกระทั่งเมื่อใช้เวลาในการสกัดมากกว่า 60 นาที พบว่า สารที่สกัดได้แทบไม่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเลย เมื่อนำข้อมูลปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้มาคำนวณหาอัตราการสกัดตามวิธีคำนวณในภาคผนวก ช แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างอัตราการสกัดกับเวลาดังรูปที่ 6.15 จะเห็นได้ชัดเจนว่า ในช่วง 10 นาทีแรก อัตราการสกัดจะสูง และลดลงตามลำดับจนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทั้งนี้สามารถอธิบายโดยอาศัยสมการการถ่ายเทมวลสารว่า อัตราการสกัดจะขึ้นอยู่กับผลต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายและในอนุภาคของสมุนไพรที่นำมาสกัด ในช่วงเวลาแรกของการสกัดจะไม่มีสารอะเซติลโคไนด์อยู่ในตัวทำละลายเลย เมื่อทำการสกัดความเข้มข้นของสารอะเซติลโคไนด์ในตัวทำละลายจะเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งผลต่างความเข้มข้นของอะเซติลโคไนด์ในตัวทำละลายและในอนุภาคบัวบกลดน้อยลง ทำให้สกัดสารอะเซติลโคไนด์ได้ลดน้อยลงตามลำดับ



รูปที่ 6.14 กราฟแสดงปริมาณอะเซยีติโคไซด์ที่สกัดได้ที่เวลาต่างๆกัน
ในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลีนเนื้อเสียงและวิธีแช่



รูปที่ 6.15 กราฟแสดงอัตราการสัคตสารอะเซยีติโคไซด์ที่เวลาต่างๆกัน
ในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลีนเนื้อเสียงและวิธีแช่

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้โดยวิธีใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงพบว่า ฤทธิ์ที่ใช้คลื่นเหนือเสียงมีผลช่วยเพิ่มปริมาณและอัตราการสกัดสารอะเซติลโคไนด์ออกมาได้มากกว่าในทุกช่วงเวลาของการสกัด ดังแสดงในตารางที่ 6.6 โดยความแตกต่างของปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ฤทธิ์ที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง สามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 ช่วงเวลาด้วยกัน คือ ในช่วงเวลาการสกัดน้อยกว่า 10 นาที ความแตกต่างดังกล่าวจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ในขณะที่ในช่วงเวลามากกว่า 10 นาที ความแตกต่างจะลดน้อยลงตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก ถึงแม้ว่าในช่วงแรก ผลต่างความเข้มข้นของอะเซติลโคไนด์ที่ผิวอนุภาคบับกและในตัวทำละลายจะสูง แต่การสกัดด้วยอย่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของอนุภาคบับกในตัวทำละลายค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับวิธีใช้อัลตราโซนิคโพรบ ดังเห็นได้จากการสังเกตในการทดลอง พบว่า การปั่นกวนที่เกิดขึ้นมีผลให้บับกบางส่วนเกิดการเคลื่อนไหวตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันบางส่วนแทบจะไม่มีการเคลื่อนไหวเลย ดังนั้นในช่วงเวลาของการสกัดน้อยกว่า 10 นาที ที่ช่วงเวลาแรก (คือ 0.5, 1, 2 นาที) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นมากในการให้คลื่นเหนือเสียงเพื่อช่วยลดผลกระทบอันเนื่องมาจากความเข้มข้นเฉพาะที่ในบางบริเวณ ซึ่งเป็นบริเวณที่คลื่นเหนือเสียงมีผลช่วยเพิ่มกลไกการสกัด เกิดขึ้นเฉพาะบางจุดในระบบ ดังนั้นในช่วงเวลาแรก กลไกกระบวนการสกัดที่เกิดขึ้นจึงมากกว่าฤทธิ์แช่ยูธรรมาเพียงเล็กน้อย เมื่อเวลาในการสกัดมากขึ้น จึงพบว่าปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้จึงมากขึ้น ตามลำดับ จนกระทั่งถึงจุดนี้ ปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้ก็เริ่มมีปริมาณลดลง ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายแล้วในหัวข้อ 6.1.1

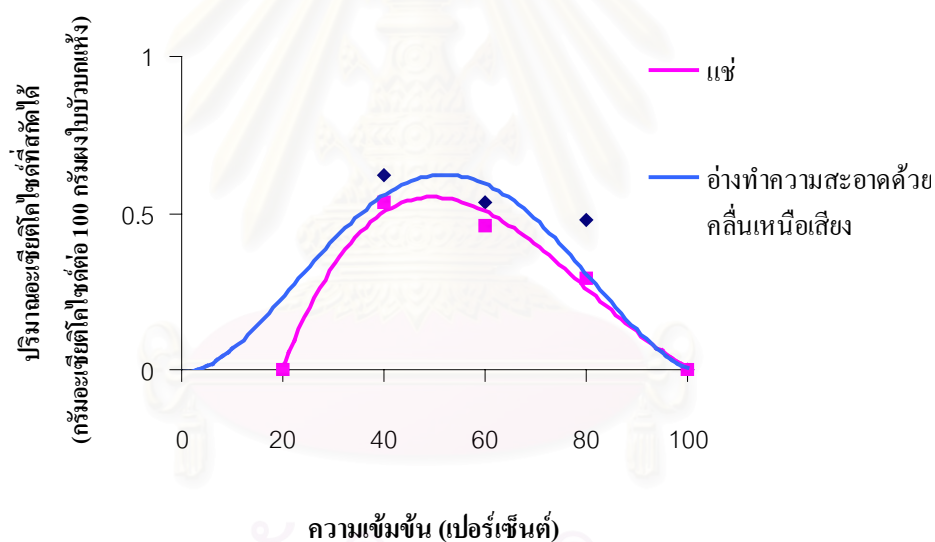
ตารางที่ 6.6 ตารางแสดงปริมาณและอัตราการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์กรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดยุค
คลื่นเหนือเสียงที่เพิ่มขึ้นจากกรณีไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียง

เวลา (นาที)	ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการสกัดที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)
0.5	6.74	6.74
1	6.82	7.41
2	12.22	67.44
4	23.87	136.00
6	34.48	142.31
8	43.24	137.04
10	41.03	28.85
20	39.32	27.27
30	32.14	-
40	18.54	10
60	25.21	-
90	23.38	-

จากผลการทดลองในหัวข้อผลของเวลาในการสกัดนี้ ทำให้สามารถเลือกเวลาที่เหมาะสมในการสกัด สำหรับการศึกษหาปัจจัยที่เหมาะสมอื่นๆของการสกัดอะเซติลโคโคไซด์จากบัวบกในการทดลองต่อไป คือ จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6.6 พบว่า เมื่อใช้เวลาในการสกัดเท่ากับ 8 นาที การใช้คลื่นเหนือเสียงจะส่งผลต่อการเพิ่มการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ได้สูงสุดคือ 43.24 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไฮเพอร์ฟอแมนต์ลิวควิด โครมาโตกราฟฟีเป็นไปอย่างแม่นยำ จึงเลือกเวลาที่ใช้ในการสกัด คือ 10 นาที เนื่องจากปริมาณสารอะเซติลโคโคไซด์ในตัวทำละลายมีความเข้มข้นมากพอที่จะทำให้สามารถนิตสารตัวอย่างปริมาณน้อยลงได้โดยยังคงให้ค่าที่ชัดเจน

6.2.2 ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย

จากผลการทดลองกรณีการสกัดด้วยอัลตราโซนิคโพรบ แสดงให้เห็นว่า อะซิโตนสามารถสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์ได้มากที่สุด รองลงมา คือ เมทานอล (ยกเว้นที่เอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลสกัดได้มากกว่าเมทานอล) และเอทานอลตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวควรจะเป็นไปในทำนองเดียวกันเมื่อสกัดโดยใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง เนื่องจากกลไกของกระบวนการสกัดเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกัน ดังนั้น เมื่อใช้ตัวทำละลายชนิดและความเข้มข้นเดียวกัน ควรจะให้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มเดียวกัน อย่างไรก็ตามเพื่อยืนยันข้อสมมติฐานดังกล่าวข้างต้น จึงได้ทำการทดลองศึกษาผลของตัวทำละลายในการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์จากบับกในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงและกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง โดยทำการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์ด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยปริมาตร ตามลำดับ

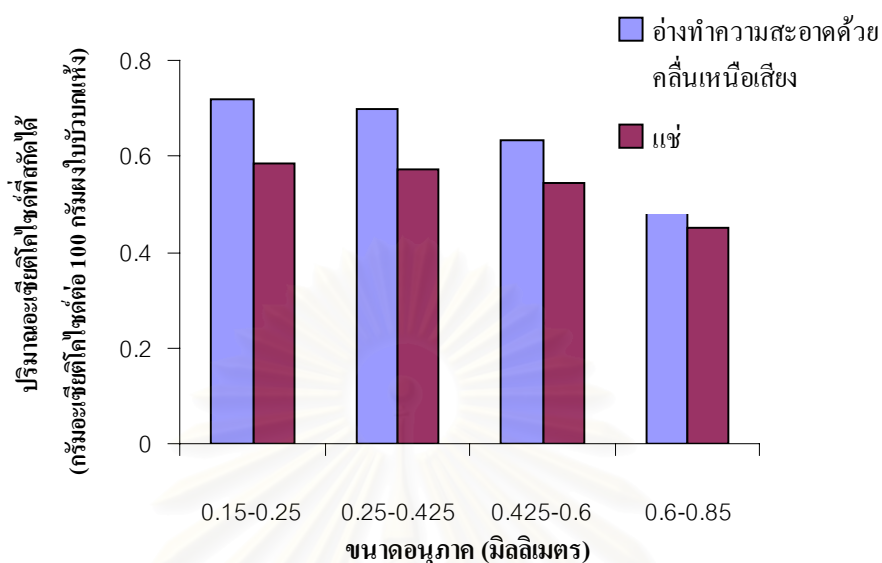


รูปที่ 6.16 กราฟแสดงปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์ที่สกัดได้โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆกันในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

จากผลการทดลองดังรูปที่ 6.16 พบว่า เอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์ สามารถสกัดสารอะเซตีลโคไชน์ได้มากที่สุด รองลงมาคือ 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มเป็นเช่นเดียวกับกรณีการสกัดด้วยอัลตราโซนิกโพรบ ดังนั้นผลของปัจจัยดังกล่าวสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับอัลตราโซนิกโพรบในหัวข้อ 6.1.2 ดังนั้น จึงเลือกตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์เพื่อศึกษาทดลองหาปัจจัยที่เหมาะสมอื่น ๆ ในการสกัดสารอะเซตีลโคไชน์จากบัวบกต่อไปด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน

6.2.3 ขนาดของอนุภาคผงบัวบก

การศึกษาผลของขนาดอนุภาคในการสกัดสารอะเซตีลโคไชน์จากบัวบกในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ทำได้โดยสกัดสารอะเซตีลโคไชน์โดยใช้ขนาดอนุภาคผงบัวบกที่มีขนาดต่างกัน 4 ขนาด คือ ขนาดอนุภาคที่มีค่าระหว่าง 0.15-0.25, 0.25-0.425, 0.524-0.6 และ 0.6-0.85 มิลลิเมตร จากผลการทดลองดังรูปที่ 6.17 พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะเซตีลโคไชน์ที่สกัดได้ตามขนาดอนุภาคเป็นไปในแนวโน้มเดียวกันทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง คือ เมื่อขนาดอนุภาคผงบัวบกมีขนาดใหญ่ ปริมาณอะเซตีลโคไชน์ที่สกัดได้จะลดน้อยลงคือ ยิ่งอนุภาคผงบัวบกมีขนาดเล็ก จะส่งผลช่วยเพิ่มอัตราการสกัด นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาปริมาณอะเซตีลโคไชน์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเมื่อทำการลดขนาดอนุภาคผงบัวบก ทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่า การลดขนาดอนุภาคเมื่อขนาดอนุภาคมีขนาดใหญ่ จะช่วยเพิ่มปริมาณอะเซตีลโคไชน์ที่สกัดได้มากกว่าการลดขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กอยู่แล้ว โดยสามารถสรุปการเพิ่มขึ้นของสารอะเซตีลโคไชน์ที่สกัดได้ในกรณีการลดขนาดอนุภาคเป็นลำดับขั้น ดังแสดงในตารางที่ 6.7 พบว่า สำหรับกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียงและไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง การลดขนาดของผงบัวบกจาก 0.25-0.425 มิลลิเมตร เป็น 0.15-0.25 มิลลิเมตร การเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซตีลโคไชน์ที่สกัดได้จะมีค่าน้อย คือ เพิ่มขึ้นเพียง 3.30 และ 2.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซตีลโคไชน์ที่สกัดได้จะมีค่ามากขึ้น เมื่อทำการลดขนาดของผงบัวบกจาก 0.425-0.6 มิลลิเมตร เป็น 0.25-0.425 มิลลิเมตร และการเพิ่มขึ้นจะมากที่สุด เมื่อทำการลดขนาดของผงบัวบกจาก 0.6-0.85 มิลลิเมตร เป็น 0.425-0.6 มิลลิเมตร แต่สำหรับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง การลดขนาดอนุภาคผงบัวบกจาก 0.25-0.425 มิลลิเมตร เป็น 0.15-0.25 มิลลิเมตร และการลดขนาดอนุภาคจาก 0.425-0.6 เป็น 0.25-0.425 มิลลิเมตร ทำให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณอะเซตีลโคไชน์ที่สกัดได้มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก



รูปที่ 6.17 กราฟแสดงปริมาณอะซีติโคไซด์ที่สกัดได้โดยใช้ขนาดอนุภาคผงบั่วบคต่างกัน
ในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

ตารางที่ 6.7 ตารางแสดงการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์อะซีติโคไซด์ที่สกัดได้กรณีการลดขนาดอนุภาค
ต่างกัน

กรณีการลดขนาดอนุภาค	การเพิ่มขึ้นของปริมาณอะซีติโคไซด์ (เปอร์เซ็นต์)	
	กรณีใช้คลื่นเหนือเสียง	กรณีไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
0.25-0.425 เป็น 0.15-0.25 มิลลิเมตร	3.30	2.45
0.425-0.6 เป็น 0.25-0.425 มิลลิเมตร	10.11	5.34
0.6-0.85 เป็น 0.425-0.6 มิลลิเมตร	12.63	20.94

ความแตกต่างของปริมาณอะซีติโคไซด์ที่สกัดได้เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงบั่วบคที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 6.17 เป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของการลดขนาดอนุภาคผงบั่วบค คือ จะช่วยลดระยะเวลาการส่งถ่ายมวลจากตัวทำละลายไปยังแหล่งสะสมสารอะซีติโคไซด์ และช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ทำให้การแพร่ของตัวทำละลายจากผิวเข้าสู่เซลล์และการแพร่ของตัวถูกละลายจากผิวออกสู่สารละลายได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ผลการทดลองดังตารางที่ 6.7 สามารถอธิบายได้ว่า สำหรับกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง

ขนาดอนุภาคที่มีค่าระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร เป็นขนาดที่มีความเหมาะสมในการสกัด เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวสารอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้มีปริมาณมากและทำให้ความเข้มข้นเฉพาะที่มีค่าสูงและใกล้เคียงกันในทุกบริเวณ การที่ลดขนาดอนุภาคให้เล็กลง แม้ว่าจะนำสารอะเซติลโคโคไซด์ออกมาที่ผิวของอนุภาคได้มากขึ้น แต่การแพร่ของสารอะเซติลโคโคไซด์จากผิวมายังตัวทำละลายก็เกิดขึ้นได้ยาก เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นเฉพาะที่น้อยลงมากแล้ว ดังนั้นการลดขนาดอนุภาคให้เล็กลงอีก จึงมีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดเพียงเล็กน้อย และอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากๆจะมีแรงในการเกาะกันค่อนข้างมาก ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ได้ง่ายขึ้น ดังนั้นการลดขนาดอนุภาคให้เล็กลงในกรณีนี้จึงไม่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการสกัด สำหรับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่า ขนาดอนุภาค ที่มีค่าระหว่าง 0.425-0.6 มิลลิเมตร เป็นขนาดที่มีความเหมาะสมในการสกัด เนื่องจากกรณีนี้ ไม่เกิดการกวนของตัวทำละลาย ดังนั้น โอกาสที่ผงบับกจะเกิดการรวมกันเป็นกลุ่มก้อน จึงมากกว่ากรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง ซึ่งก่อให้เกิดการกวนอยู่ตลอดเวลา การรวมกันเป็นกลุ่มก้อนของผงบับก ทำให้การแทรกซึมของตัวทำละลายเข้าไปยังช่องว่างระหว่างผงบับกมีน้อยลง ดังนั้น การลดขนาดอนุภาคของผงบับกในกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง จึงส่งผลช่วยเพิ่มการสกัดได้มากในช่วงการลดขนาดอนุภาคที่ไม่เล็กมากจนเกินไปเท่านั้น

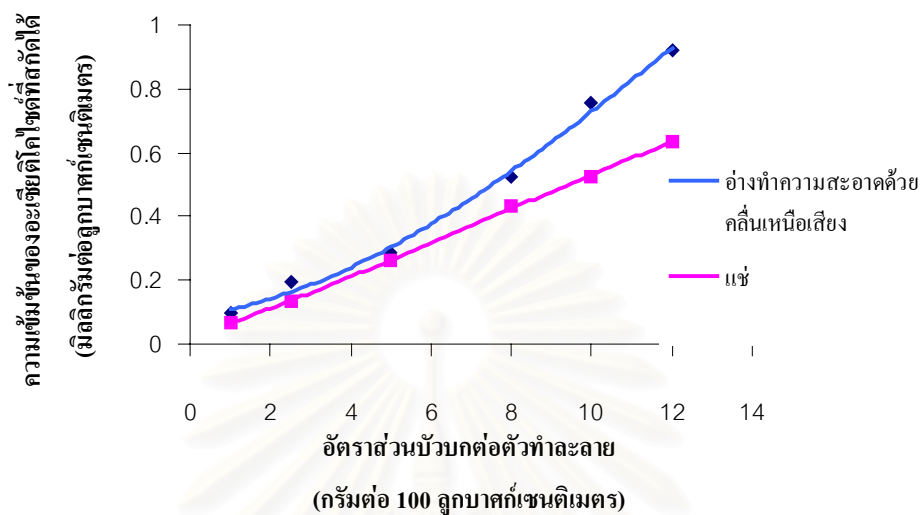
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ กรณีใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงที่ขนาดของอนุภาคบับกเดียวกัน พบว่า การสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงสามารถสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ได้มากกว่าที่ทุกขนาดอนุภาคของผงบับก เป็นผลเนื่องมาจากปรากฏการณ์คาวิตชัน ซึ่งก่อให้เกิดการกวนของตัวทำละลาย

จากผลการทดลองในหัวข้อผลของขนาดอนุภาคของผงบับกในการสกัดนี้ ทำให้สามารถเลือกขนาดอนุภาคของผงบับกที่เหมาะสมในการสกัด สำหรับการศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมอื่นๆของการสกัดอะเซติลโคโคไซด์จากบับกในการทดลองต่อไป คือ ขนาดอนุภาคบับกที่อยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร

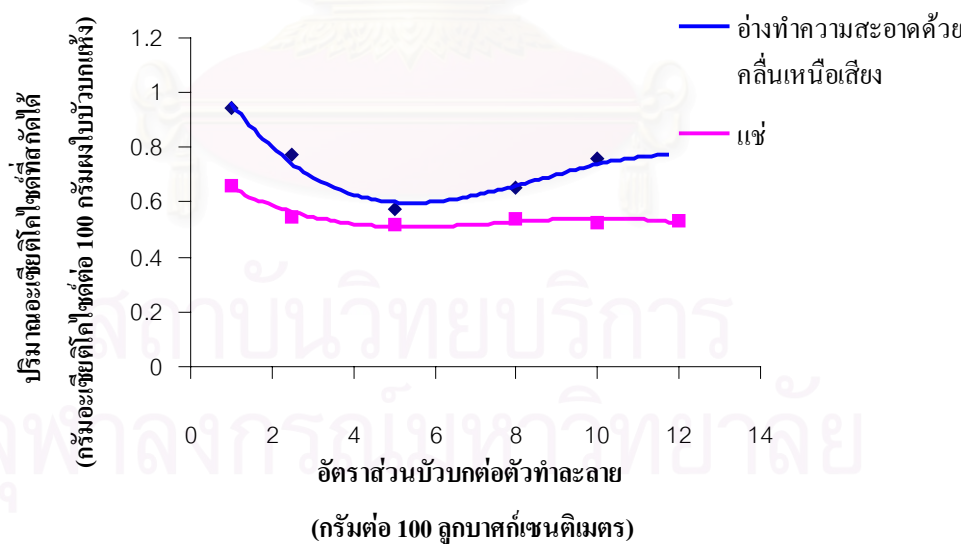
6.2.4 อัตราส่วนของผงใบบวบกต่อตัวทำละลาย

การศึกษาผลของอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายในการสกัดสารอะเซติโคไลด์จากบวบกในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ทำได้โดยสกัดสารอะเซติโคไลด์โดยใช้อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายต่างกันดังนี้ คือ 1, 2.5, 5, 8, 10, และ 12 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากผลการทดลองดังรูปที่ 6.18 พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอะเซติโคไลด์ในตัวทำละลายตามอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายที่เปลี่ยนแปลงไปมีแนวโน้มเดียวกันทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง คือ เมื่ออัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น โดยสำหรับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงพบว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของอะเซติโคไลด์ มีลักษณะเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่กับการเพิ่มของอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลาย และสำหรับกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของอะเซติโคไลด์ มีลักษณะเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่กับการเพิ่มของอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลาย จนถึงอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายเท่ากับ 5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความเข้มข้นของสารอะเซติโคไลด์ที่สกัดได้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วขึ้น แต่เมื่อพิจารณาปริมาณอะเซติโคไลด์ที่สกัดได้ต่อปริมาณผงบวบกที่เท่ากัน ดังรูปที่ 6.19 พบว่า สำหรับกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง ที่ช่วงอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายต่ำกว่า 5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณอะเซติโคไลด์ที่สกัดได้จะลดลงตามลำดับ เมื่ออัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ช่วงอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายสูงกว่า 5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณอะเซติโคไลด์ที่สกัดได้จะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งอัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายมากกว่า 10 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณอะเซติโคไลด์ที่สกัดได้เริ่มคงที่ และสำหรับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่า ปริมาณอะเซติโคไลด์ที่สกัดได้มีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายน้อยที่สุด คือ 1 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากนั้นปริมาณอะเซติโคไลด์ที่สกัดได้จะลดลงและเริ่มคงที่ เมื่ออัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลายมีค่ามากกว่า 2.5 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.18 ความเข้มข้นของสารอะเซตีลโคไซด์ที่สกัดได้โดยใช้อัตราส่วนปุ๋ยคอกต่อตัวทำละลายต่างกัน ในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงและวิธีแช่



รูปที่ 6.19 ปริมาณอะเซตีลโคไซด์ที่สกัดได้โดยใช้อัตราส่วนปุ๋ยคอกต่อตัวทำละลายต่างๆกัน ในกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงและวิธีแช่

สำหรับการสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียง สามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้น ดังกราฟรูปที่ 6.18 ได้ดังนี้ คือ การเพิ่มอัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลาย เป็นการเพิ่มผงบับกในตัวทำละลาย จึงเป็นการเพิ่มปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย เป็นผลให้ปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้เพิ่มมากขึ้น แต่กรณีการสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง การปั่นกวนเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้น จากรูปที่ 6.18 จึงเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ในช่วงอัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายต่ำกว่า 5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่า เมื่อใช้อัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายมากกว่า 5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่า ผลของการปั่นกวนเนื่องจากปรากฏการณ์คาเวชัน กรณีใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงนั้น มีผลช่วยเพิ่มการสกัดได้น้อยมาก เมื่อเทียบกับการเพิ่มปริมาณบับกที่ใช้ในการสกัด แต่เมื่อพิจารณาปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ต่อกรัมของผงบับกที่เท่ากัน ดังรูปที่ 6.19 สามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มปริมาณผงบับกให้มากขึ้น แม้ว่าจะเป็นการเพิ่มปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย แต่การเคลื่อนไหวของบับกเนื่องจากการปั่นกวนนั้นน้อยมาก และใช้ช่วงเวลาในการสกัดเพียง 10 นาที ดังนั้น จึงยังไม่สามารถสกัดสารอะเซติโคไซด์ออกจากปริมาณผงบับกได้มากนัก เป็นผลให้เมื่อเทียบอัตราส่วนบับกที่เท่ากัน ปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ตามอัตราส่วนบับกที่เพิ่มขึ้น จึงลดลงตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายมากกว่า 5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้เริ่มสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายมากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจาก ผลจากการปั่นกวนและการเพิ่มปริมาณบับกมีส่วนเสริมกันพอดีในช่วงอัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายมากกว่า 5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงทำให้ปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้กลับเพิ่มมากขึ้น เมื่ออัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายสูงขึ้น

สำหรับกรณีการสกัดโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง สามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้น ดังกราฟรูปที่ 6.18 ได้ดังนี้ คือ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลาย ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณบับกให้มากขึ้น จึงเป็นการเพิ่มปริมาณอะเซติโคไซด์ที่ละลายได้ในตัวทำละลาย แม้ว่าปริมาณบับกที่เพิ่มมากขึ้นจะไปกองอยู่ที่ผิวของตัวทำละลายและที่ก้นของขวดรูปชมพู่ แต่ตัวทำละลายก็ยังสามารถแทรกซึมเข้าไปยังช่องว่างระหว่างผงบับกได้ ทำให้ยังคงมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผงบับกที่ผิวของตัวทำละลายและที่ก้นของขวดรูปชมพู่ ซึ่งสัมผัสกับตัวทำละลายและเกิดการสกัดขึ้นได้ จึงเป็นผลให้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลาย ความเข้มข้นของอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้จึงเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ และในทำนองเดียวกับกรณีใช้คลื่นเหนือเสียง เมื่อพิจารณาปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ต่อกรัมของผงบับกที่เท่ากัน ดังรูปที่ 6.19 สามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกับกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง คือ ใช้เวลาในการสกัดเพียง 10 นาที ทำให้ยังไม่สามารถสกัดอะเซติโคไซด์ออกจากปริมาณของบับกได้มากนัก รวมทั้ง

สภาวะในการสกัด ไม่ก่อให้เกิดการปั่นกววน เป็นผลให้อะเซซิติโคไซด์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าการเพิ่มปริมาณบั่วบกดได้มาก จึงเป็นผลให้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนบั่วบกดต่อตัวทำละลาย ปริมาณอะเซซิติโคไซด์ที่สกัดได้จึงเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ใช่และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่า กรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง สามารถสกัดสารอะเซซิติโคไซด์ออกมาได้มากกว่าในทุกอัตราส่วนบั่วบกดต่อตัวทำละลาย โดยความแตกต่างของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะเซซิติโคไซด์ที่สกัดได้ตามอัตราส่วนบั่วบกดที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 6.18 ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากกรณีที่ใช่คลื่นเหนือเสียง ไม่มีการกวนเกิดขึ้น สารอะเซซิติโคไซด์จากบั่วบกดถูกสกัดออกมาได้ด้วยการแพร่อย่างช้าๆ ความเข้มข้นของอะเซซิติโคไซด์ที่สกัดได้จึงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณบั่วบกดอย่างช้าๆ และเนื่องจากความเข้มข้นของอะเซซิติโคไซด์ที่สกัดได้ยังไม่สูงมากนัก ความแตกต่างของความเข้มข้นที่ผิวอนุภาคบั่วบกดและในตัวทำละลายยังคงสูงมากพอที่จะทำให้เกิดการสกัดได้อย่างต่อเนื่อง ดังที่เห็นได้จากผลการทดลองว่า ความเข้มข้นของอะเซซิติโคไซด์ที่สกัดได้ยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกับอัตราส่วนบั่วบกดต่อตัวทำละลาย เช่นเดียวกับกรณีที่ใช่คลื่นเหนือเสียง

สำหรับในกรณีที่ใช่คลื่นเหนือเสียงและใช้อัตราส่วนบั่วบกดต่อตัวทำละลายมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความเข้มข้นของอะเซซิติโคไซด์ที่สกัดได้จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจาก ผลจากการปั่นกววนและการเพิ่มปริมาณบั่วบกดมีส่วนเสริมกันพอดีในช่วงอัตราส่วนบั่วบกดต่อตัวทำละลายมากกว่า 5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงทำให้ปริมาณอะเซซิติโคไซด์ที่สกัดได้เพิ่มมากขึ้น

จากผลการทดลองในหัวข้อผลของอัตราส่วนบั่วบกดต่อตัวทำละลายในการสกัดนี้ ทำให้สามารถเลือกอัตราส่วนบั่วบกดต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัด คือ 1 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากให้ปริมาณอะเซซิติโคไซด์ต่อกรัมของบั่วบกดที่เท่ากันสูงที่สุด

ปัจจัยในเรื่องอัตราส่วนสมุนไพรต่อตัวทำละลายมีส่วนสำคัญในการพิจารณาเรื่องความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ คือ แม้ว่าจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนต่ำสุด 1 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะสามารถสกัดสารอะเซซิติโคไซด์ได้มากที่สุด อีกทั้งใช้ปริมาณสมุนไพรจำนวนน้อย แต่ที่สภาวะดังกล่าวจะสิ้นเปลืองตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมาก ดังนั้นการพิจารณาเลือกอัตราส่วนสมุนไพรต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดจะต้องพิจารณาในเรื่องราคาของสมุนไพรที่นำมาสกัด, 18kตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด และมูลค่าของผลิตภัณฑ์ด้วย เช่น การเลือกใช้อัตราส่วนสมุนไพรต่อตัวทำละลายมีค่าต่ำ อาจจะเหมาะสมกรณีที่สมุนไพรมีราคาแพงและผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้มีมูลค่าสูง เช่น โสม (ginseng) เป็นต้น

6.3 ผลิตผล (Yield) อะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้จากผงใบบัวบก

จากการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์จากบัวบก พบว่า สามารถคำนวณผลิตผลอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ โดยเทียบกับปริมาณบัวบกสดที่ใช้

สำหรับการสกัดด้วยอัลตราโซนิคโพรบโดยใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยปริมาตร ขนาดอนุภาคผงใบบัวบก 0.25 – 0.425 มิลลิเมตร อัตราส่วนผงใบบัวบกต่อตัวทำละลายเท่ากับ 0.12 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเวลาในการสกัด 1 นาที เท่ากับ 0.066 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อสกัดโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง จะได้ผลิตผลเท่ากับ 0.023 เปอร์เซ็นต์ (การคำนวณแสดงได้ดังภาคผนวก ข) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบสามารถเพิ่มผลิตผลมากกว่าการสกัดโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง คิดเป็น 190 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงโดยใช้เอทานอลความเข้มข้น ร้อยละ 60 โดยปริมาตร ขนาดอนุภาคผงใบบัวบก 0.25 – 0.425 มิลลิเมตร อัตราส่วนผงใบบัวบกต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเวลาในการสกัด 10 นาที เท่ากับ 0.088 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อสกัดโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง จะได้ผลิตผลเท่ากับ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบสามารถเพิ่มผลิตผลมากกว่าการสกัดโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง คิดเป็น 41.47 เปอร์เซ็นต์

6.4 ผลของคลื่นเหนือเสียงต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารเป็นตัวบอกระสิทธิภาพของการสกัด เมื่อค่าดังกล่าวมากขึ้น อัตราการสกัดก็จะมีค่ามากขึ้นด้วย โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร ขึ้นอยู่กับรูปร่างของระบบ คุณสมบัติของของเหลว และอัตราการไหล

จากบทที่ 3 เกี่ยวกับเรื่องกลไกของกระบวนการสกัด จะเห็นได้ว่า ขั้นตอนที่ 1 และ 5 ของกระบวนการสกัด ถูกควบคุมด้วยกระบวนการ Convection ซึ่งสามารถอธิบายอัตราของกระบวนการด้วยสมการการถ่ายเทมวลสาร คือ

$$N_A = V \frac{dC_A}{dt} = k_c(C_{AS} - C_A) \quad (6.1)$$

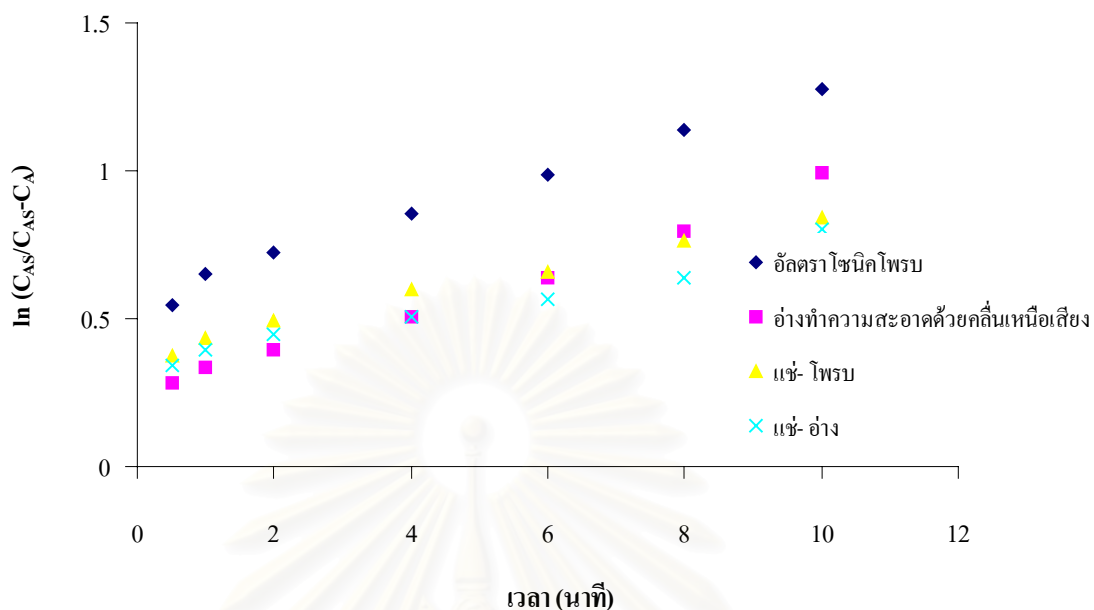
โดยค่า t เป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของสารที่สกัดได้จากความเข้มข้นเริ่มต้น C_{A0} ไปยังความเข้มข้น C_A ซึ่งคำนวณได้จากการอินทิเกรตสมการ (6.1) โดยตั้งสมมติฐานว่าค่า a และ b คงที่ จะได้

$$\ln \frac{C_{AS} - C_{AO}}{C_{AS} - C_A} = \frac{ka}{Vb} t \quad (6.2)$$

- โดย
- C_{AO} = ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลาย A ในตัวทำละลาย ณ เวลาเริ่มต้น
 - k = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร (นาที่⁻¹)
 - k_c = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม (นาที่⁻¹)
 - C_A = ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลาย A ในตัวทำละลาย ณ เวลา t ใดๆ
(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
 - C_{AS} = ค่าความเข้มข้นอิ่มตัวของตัวถูกละลาย A ในสารละลาย
(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
 - a = พื้นที่ผิวสัมผัสของอนุภาค (ตารางเซนติเมตร)
 - b = ความหนาของชั้นฟิล์มตัวทำละลายรอบๆอนุภาค (เซนติเมตร)
 - V = ปริมาตรของตัวทำละลายทั้งหมด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารทำได้โดยการวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln \frac{C_{AS}}{C_{AS} - C_A}$ กับเวลา และหาค่าความชันของกราฟ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารตามสมการที่ (6.2) สำหรับในทางปฏิบัติ การวัดค่า a และ b ทำได้ยาก ดังนั้นจึงวัดค่า $k \frac{a}{b}$ แทน

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 6.1 พบว่า ในช่วงเวลาของการสกัดเท่ากัน กรณีการสกัดโดยใช้ อัลตราโซนิคโพรบสามารถสกัดสารอะเซติโคไซด์ได้มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงสูงถึง 190 เปอร์เซ็นต์ และ หัวข้อที่ 6.2 พบว่ากรณีการสกัดโดยใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงสามารถสกัดสารอะเซติโคไซด์ได้มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงสูงถึง 43.24 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารสำหรับการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบับกของกระบวนการสกัดกรณีใช้คลื่นเหนือเสียงจึงควรมากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงอย่างชัดเจน โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารจะพิจารณาที่เวลาไม่เกิน 10 นาที เนื่องจาก เป็นช่วงเวลาที่การสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดมากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงมากกว่าเมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้น ดังนั้นการวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln \frac{C_{AS} - C_{AO}}{C_{AS} - C_A}$ กับ t ของการสกัดโดยวิธีใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงเพื่อหาค่าความชันของกราฟ จึงเลือกที่เวลาไม่เกิน 10 นาทีเท่านั้น แสดงได้ดังรูปที่ 6.21 ส่วนค่าความชันของกราฟและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารแสดงดังตารางที่ 6.7



รูปที่ 6.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า $\ln(C_{AS}/C_{AS}-C_A)$ กับเวลาเพื่อหาค่าความชันของกราฟกรณีการสกัดด้วยวิธีต่างๆกัน

ตารางที่ 6.8 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของการสกัดโดยวิธีใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง

วิธีการสกัด	ค่าความชัน กราฟรูปที่ 6.21	ค่า $k \frac{a}{b}$ (เซนติเมตรต่อนาที)
ก1 อัลตราโซนิกโพรบ	0.0727	7.27
ก2 การแช่ขุ่ย	0.0468	4.68
ข1 อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง	0.0714	8.18
ข2 การแช่ขุ่ย	0.0427	4.27

หมายเหตุ : การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร กำหนดปริมาตรของตัวทำละลายทั้งหมด (V) เท่ากับ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

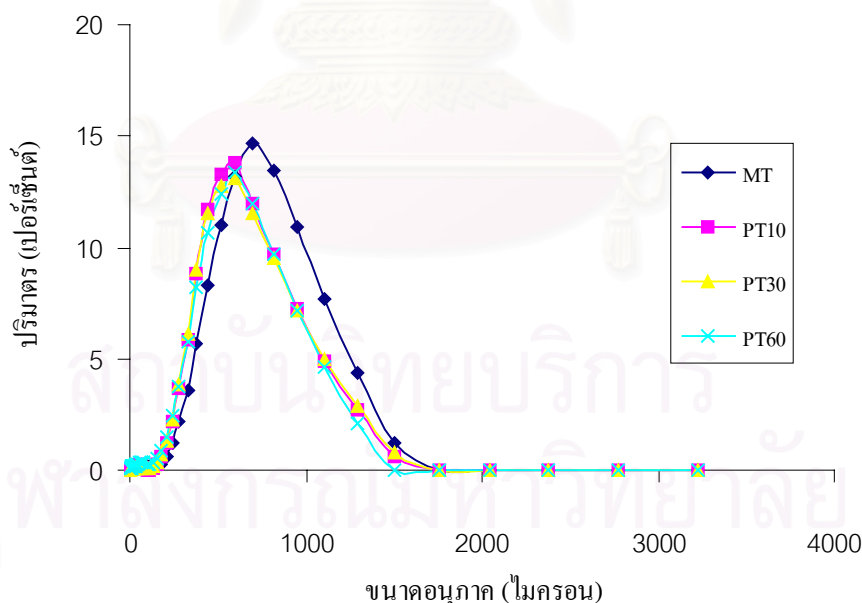
จากผลการทดลองดังตารางที่ 6.8 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของการสกัดโดยวิธีใช้คลื่นเหนือเสียงมากกว่ากรณีไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงเท่ากับ 1.55 และ 1.67 เท่า ในกรณีที่สกัดด้วยอัลตราโซนิกโพรบและอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการสกัดกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียงมีผลช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร สามารถอธิบายได้ว่า ดังที่กล่าวมาข้างต้น การวัดค่า a และ b ทำได้ยาก ดังนั้น จึงวัดค่า $k \frac{a}{b}$ การเพิ่มค่า a และลดค่า b จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้คลื่นเหนือเสียงมีอิทธิพลทำให้เกิดผลดังกล่าว คือ มีผลทำให้เกิดการกักร้อนที่ผิวอนุภาค ทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลง พื้นที่ผิวสัมผัสจึงมากขึ้น (เพิ่มค่า a) และคลื่นเหนือเสียงยังช่วยทำให้เกิดการปั่นกววนของตัวทำละลาย ทำให้เกิดการไหลเวียนที่ดี จึงช่วยลดชั้นความหนาของฟิล์มตัวทำละลายรอบอนุภาค (ลดค่า b) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิกโพรบและอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง จะเห็นได้ว่า ผลของรูปร่างของระบบที่ใช้ในการสกัดมีส่วนทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง ใกล้เคียงกับอัลตราโซนิกโพรบ ทั้งๆที่ปริมาณอะซิติกโคไซด์ที่สกัดได้น้อยกว่าอัลตราโซนิกโพรบมาก

6.5 ผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของผงไบบัวบก

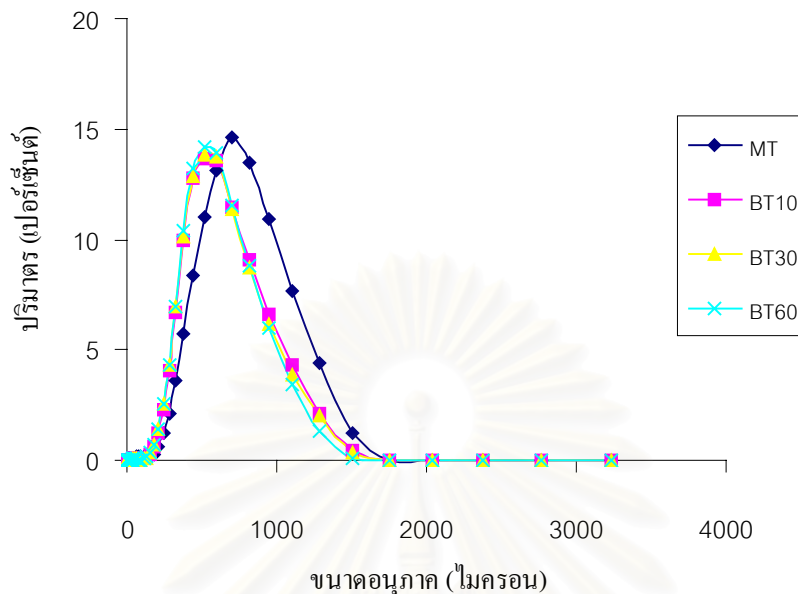
เนื่องจากรายงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการใช้คลื่นเหนือเสียงทำให้เกิดปรากฏการณ์คาวิทേഷันมีผลช่วยให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวหน้าอนุภาคของแข็งเกิดเป็นอนุภาคเล็กๆ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคผงไบบัวบกก่อนและหลังการสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียง

6.5.1 การศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของเซลล์ผงไบบัวบกด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค

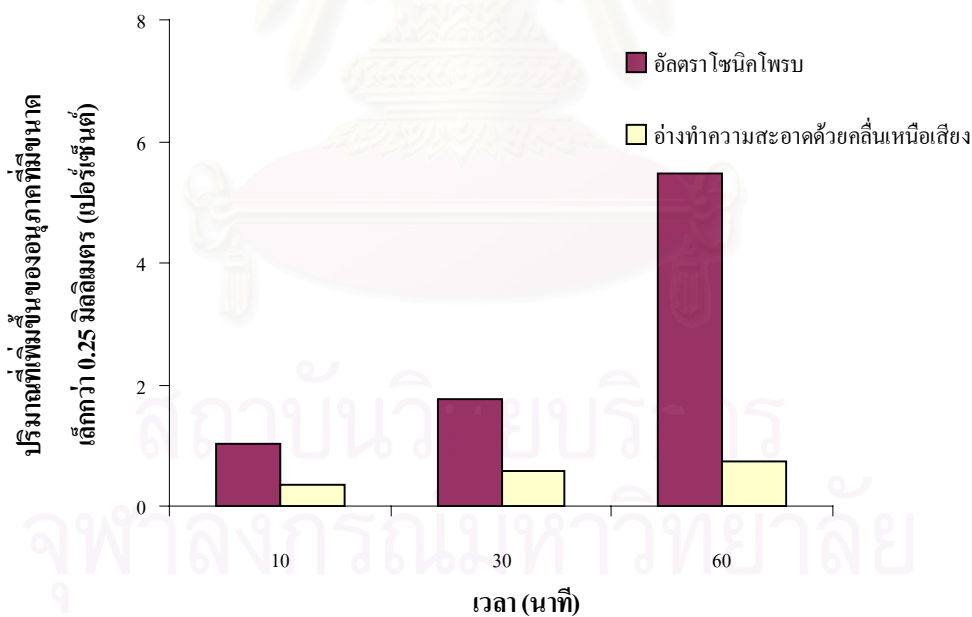
ปัจจัยที่ทำให้การสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงมีผลช่วยเพิ่มปริมาณและอัตราการสกัดสารอะเซติลโคลีนได้มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง นอกจากเป็นผลเนื่องมาจากปรากฏการณ์คาวิทേഷันทำให้เกิดการปั่นกววนของตัวทำละลายดังที่กล่าวมาแล้ว ยังอาจมีผลเนื่องมาจากปรากฏการณ์คาวิทേഷันทำให้เกิดแรงเฉาะทะลุ มีผลให้เกิดการกัดกร่อนผิวหน้าอนุภาคของแข็งเกิดเป็นอนุภาคเล็กๆ จึงได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเวลาในการสกัดกับการกัดกร่อนผิวหน้าอนุภาคของแข็งสำหรับกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียงเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง โดยทำการศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคของตัวอย่างผงไบบัวบกที่ได้จากการกรองแยกผงไบบัวบกกออกจากส่วนสกัดที่ได้จากการสกัดโดยใช้เวลาในการสกัดต่างกัน คือ 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ ทั้งกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบและอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง



รูปที่ 6.21 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของผงไบบัวบกก่อนและหลังการสกัดในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบที่เวลาในการสกัดต่างกัน



รูปที่ 6.22 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของผงใบบัวบกก่อนและหลังการสกัด ในกรณีที่ใช้่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงที่เวลาในการสกัดต่างกัน



รูปที่ 6.23 กราฟแสดงปริมาณที่เพิ่มขึ้นของอนุภาคบัวบกที่มีขนาดเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตรก่อนและหลัง การสกัด โดยใช้คลื่นเหนือเสียงที่เวลาในการสกัดต่างกัน

สำหรับกรณีการสกัดที่ใช้คลื่นเหนือเสียง หากปรากฏการณ์คาวิตชันทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวหน้าอนุภาคจริง การวัดการกระจายขนาดอนุภาคของผงใบบวบจะแสดงให้เห็นว่า มีการลดลงของขนาดอนุภาคของบวบที่ใช้ในการทดลอง และสำหรับกรณีของการสกัดที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง จะไม่ส่งผลทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวหน้าอนุภาคของบวบในการทดลองนี้ ขนาดอนุภาคผงใบบวบที่ใช้แรกเริ่มมีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร ดังนั้นถ้าปรากฏการณ์คาวิตชันก่อให้เกิดผลดังกล่าว จะส่งผลให้มีปริมาณของผงใบบวบที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตรเกิดขึ้น ภายหลังจากการใช้คลื่นเหนือเสียง

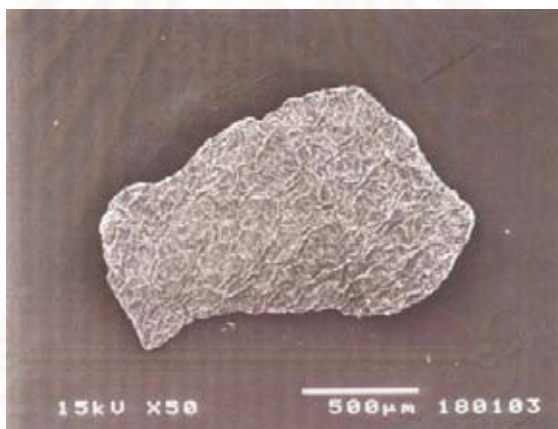
จากผลการทดลองดังรูปที่ 6.23 แสดงให้เห็นว่า กรณีการสกัดโดยใช้อัลตราโซนิคโพรบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณผงใบบวบที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตรมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า นอกเหนือจากปรากฏการณ์คาวิตชันที่ก่อให้เกิดการปั่นกววนของตัวทำละลายที่ส่งผลต่อการเพิ่มการสกัดเนื่องจากคลื่นเหนือเสียงแล้ว ปรากฏการณ์นี้ยังส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวหน้าของอนุภาคผงใบบวบด้วย ผลดังกล่าวจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคกับตัวทำละลาย อัตราการสกัดจึงมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาการสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงเป็นเวลานาน พบว่า ถึงแม้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอนุภาคบวบขนาดเล็กจะมากขึ้น แต่ไม่ได้ส่งผลให้อัตราการสกัดเพิ่มสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการที่ผงใบบวบมีขนาดเล็กมากเกินไป ทำให้มีแรงในการเกาะกันค่อนข้างมาก ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ได้ง่ายขึ้น มีผลให้พื้นที่ผิวของผงใบบวบส่วนที่สัมผัสกับตัวทำละลายมีน้อยลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ผงใบบวบไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดจึงไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้น ในช่วงเวลาของการสกัดที่มากกว่า 30 นาที ดังนั้นการมีปริมาณอนุภาคที่เล็กลงเพิ่มมากขึ้นในกรณีนี้จึงไม่ส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการสกัด นอกจากนี้ เมื่อเวลาของการสกัดผ่านไปจนกระทั่งความเข้มข้นเฉพาะที่มีค่าสูงและใกล้เคียงกันในทุกบริเวณ แม้ว่าสารอะเซติโคไซด์จะสามารถเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวของอนุภาคได้มากขึ้น แต่การแพร่ของสารอะเซติโคไซด์ที่ผิวมายังตัวทำละลายก็เกิดขึ้นได้ยาก เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นน้อยลงมาก จึงเป็นผลให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณอนุภาคที่เล็กลง เมื่อเวลาของการสกัดผ่านไประยะหนึ่งจึงส่งผลต่อการเพิ่มของอัตราการสกัดน้อยลง

สำหรับกรณีการสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง พบว่า เมื่อเวลาในการสกัดมากขึ้น ปริมาณของอนุภาคผงใบบวบที่ถูกกัดกร่อนให้เล็กลงกว่า 0.25 มิลลิเมตร เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยหลักที่ทำให้การสกัดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงมีผลช่วยเพิ่มปริมาณและอัตราการสกัดสารอะเซติโคไซด์มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง เป็นผลเนื่องจากปรากฏการณ์คา-

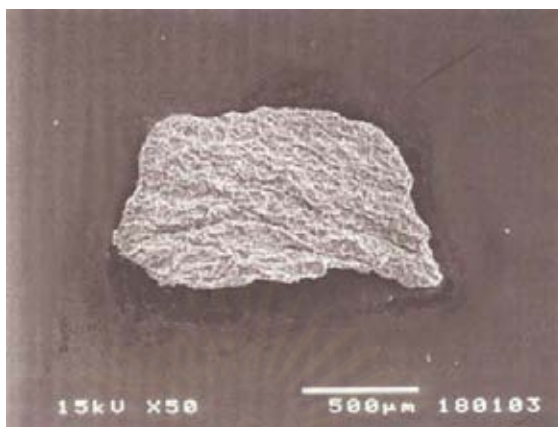
วิเทชนก่อนให้เกิดการปั่นกววนของตัวทำละลายดังที่กล่าวมาแล้ว จึงทำให้ปริมาณอะเซติลโคไซด์ที่สกัดได้มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงมีสัดส่วนที่น้อยกว่ากรณีการสกัดด้วยอัลตราโซนิคโพรบ

6.5.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของผงใบบัวบกจากการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

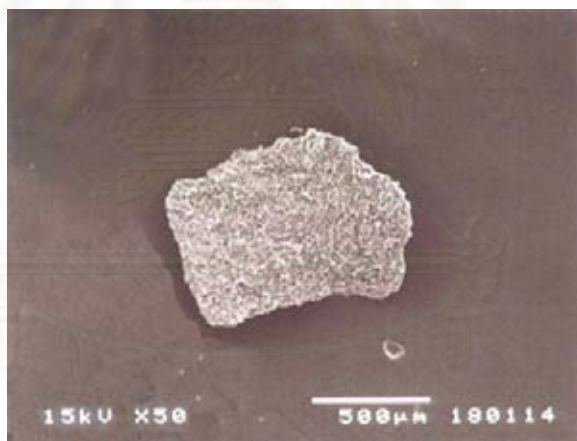
การศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของผงใบบัวบก โดยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ทำได้โดยทำการศึกษารดขนาดอนุภาคของตัวอย่างผงใบบัวบกที่มีขนาดอนุภาคมีค่าระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร และ 0.6-0.85 มิลลิเมตรที่ได้จากการกรองแยกผงใบบัวบกออกจากส่วนสกัดที่ได้จากการสกัดทั้งในกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบและอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงเปรียบเทียบกับอนุภาคผงใบบัวบกก่อนทำการสกัด ดังที่กล่าวถึงในหัวข้อ 5.6.2



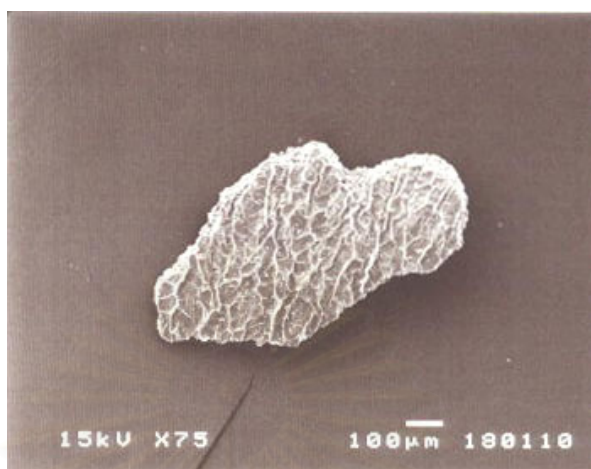
รูปที่ 6.24 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงใบบัวบกขนาดที่อยู่ระหว่าง 0.6-0.85 มิลลิเมตรก่อนทำการสกัด



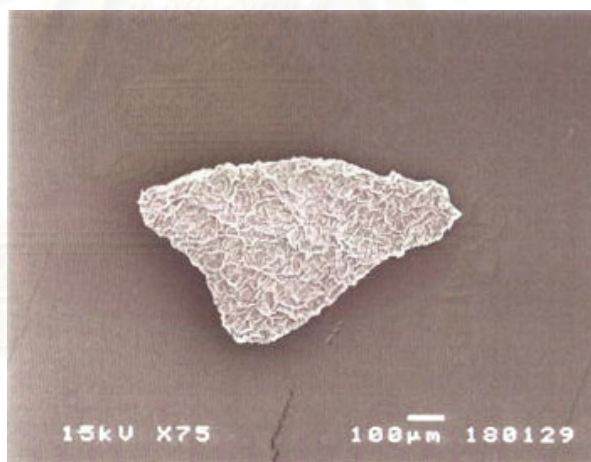
รูปที่ 6.25 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงไบบับก ขนาดที่อยู่ระหว่าง 0.6-0.85 มิลลิเมตรหลังการสกัดโดยวิธีอ่างทำความสะอาด ด้วยคลื่นเหนือเสียง



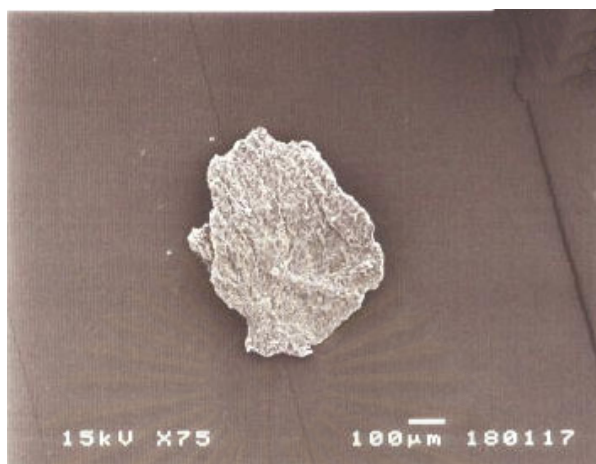
รูปที่ 6.26 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงไบบับก ขนาดที่อยู่ระหว่าง 0.6-0.85 มิลลิเมตรหลังการสกัดโดยวิธีอัลตราโซนิค โพรบ



รูปที่ 6.27 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงใบบัวบก ขนาดที่อยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตรก่อนทำการสกัด



รูปที่ 6.28 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงใบบัวบก ขนาดที่อยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตรก่อนหลังการสกัด โดยวิธีอ่างทำความ สะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

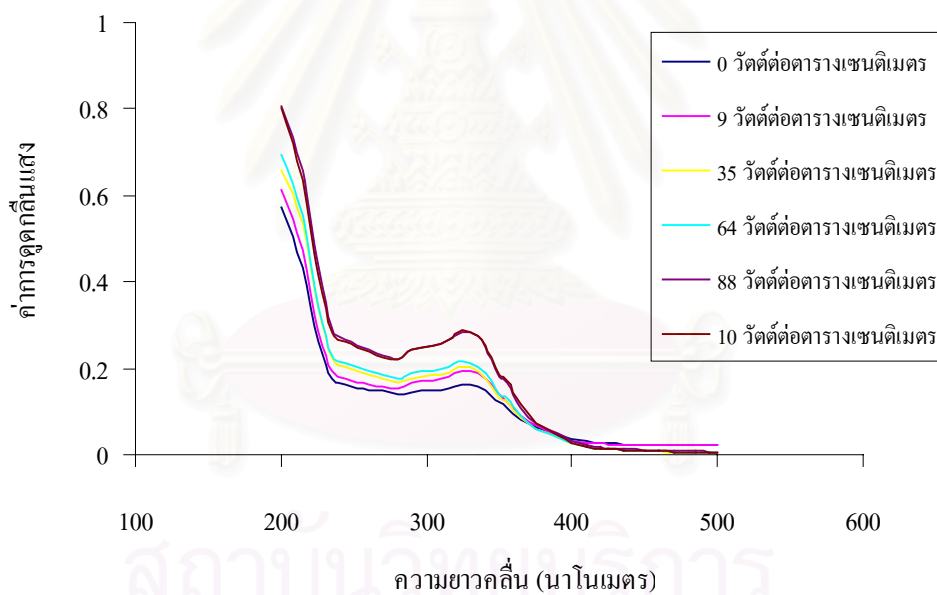


รูปที่ 6.29 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงอนุภาคผงใบบัวบก ขนาดที่อยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตรก่อนหลังการสกัดโดยวิธีอัลตราโซนิคโพรบ

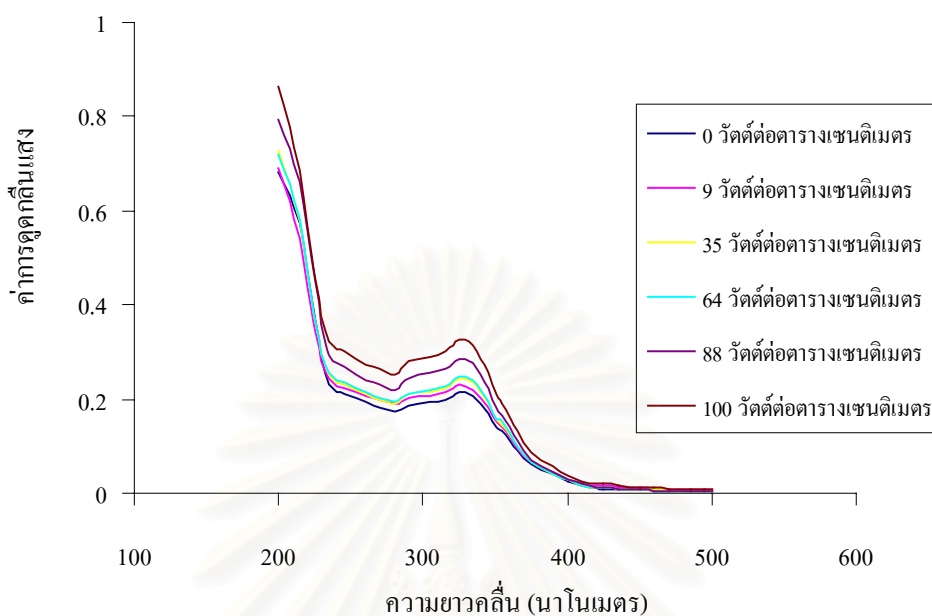
จากการศึกษาภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังรูปที่ 6.24, 6.25 และ 6.26 สำหรับอนุภาคที่มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.6-0.85 มิลลิเมตร และรูปที่ 6.27, 6.28 และ 6.29 สำหรับอนุภาคที่มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร พบว่า คลื่นเหนือเสียงช่วยทำให้เกิดการกักร่อนอนุภาคให้มีขนาดเล็กลง โดยลักษณะการกักร่อนจะค่อยๆเกิดขึ้นตามความยาวของผงใบบัวบก ทำให้ลักษณะผงใบบัวบกหลังจากผ่านการสกัดด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียงจะมีลักษณะพื้นผิวของขอบที่เรียบมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ทำการสกัด โดยวิธีอัลตราโซนิคโพรบมีผลช่วยในการกักร่อนอนุภาคมากกว่าวิธีอื่นที่ทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้นในหัวข้อ 6.4.1

6.6 ผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสูญเสียสภาพของสารอะเซติโคไซด์

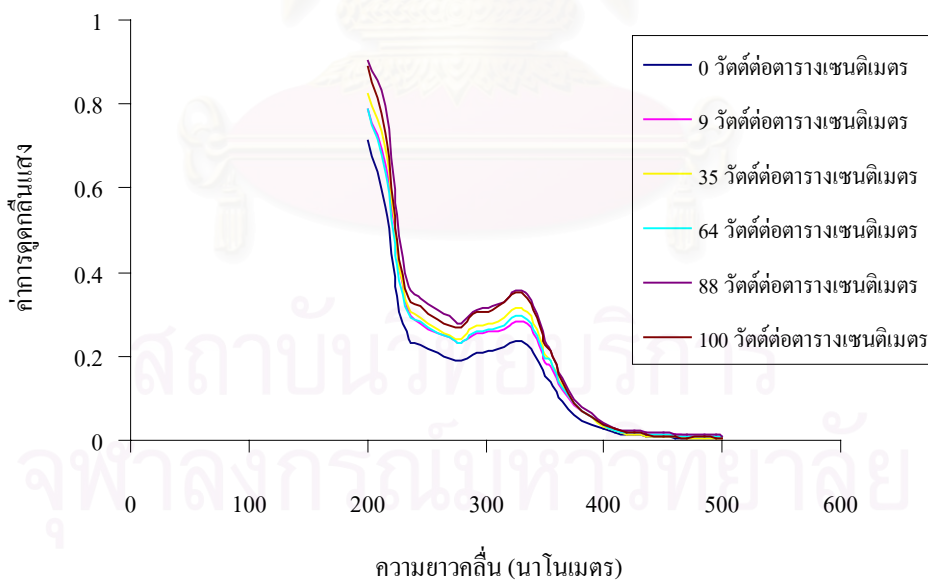
เนื่องจากสารอะเซติโคไซด์ซึ่งเป็นสารสำคัญที่สกัดได้จากบัวบกอาจถูกทำลายได้ง่ายด้วยปัจจัยทางกายภาพและทางเคมี ดังนั้นการใช้คลื่นเหนือเสียงที่มีพลังงานสูงช่วยในการสกัด แม้ว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดโดยสามารถนำสารอะเซติโคไซด์จากบัวบกออกสู่ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดได้มากขึ้น แต่การใช้ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงที่สูงเกินไปอาจมีผลทำลายสภาพและคุณสมบัติของสารอะเซติโคไซด์ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ความยาวคลื่นต่างๆกัน (200-500 นาโนเมตร) ถ้าสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ไม่มีการสูญเสียสภาพจนกลายเป็นสารอื่นที่สภาวะของการทดลองแล้ว รูปร่างของกราฟที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงตามความยาวของคลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลง [8] ค่าการดูดกลืนแสงตามความยาวคลื่นเมื่อใช้ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงต่างกันที่เวลา 1, 2, 5 และ 10 นาที แสดงดังรูปที่ 6.30-6.33 ตามลำดับ



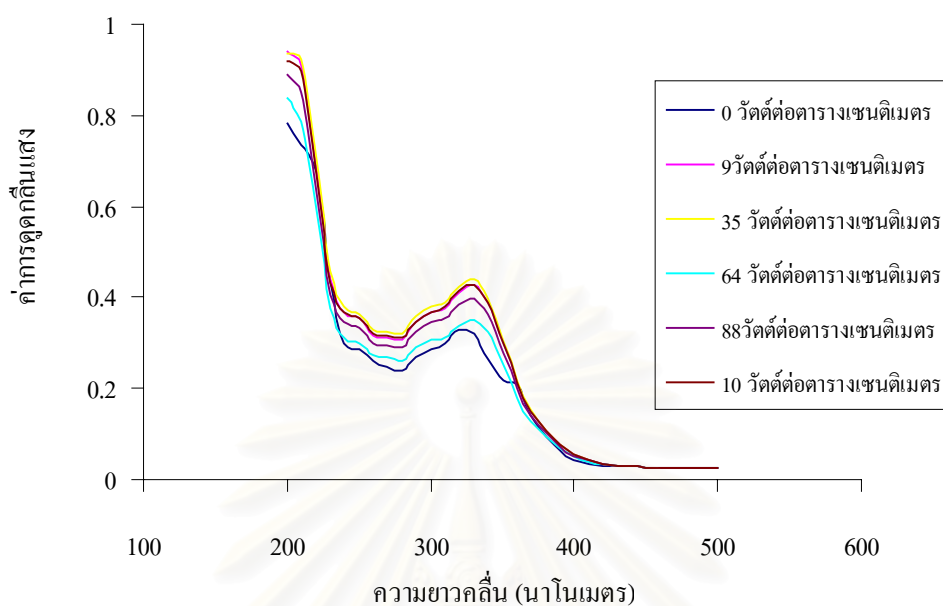
รูปที่ 6.30 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงตามความยาวคลื่นในช่วง 200-500 นาโนเมตรของสารสกัด โดยใช้อัลตราโซนิคโพรบที่ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงต่างกันโดยใช้เวลาในการสกัด 1 นาที



รูปที่ 6.31 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงตามความยาวคลื่นในช่วง 200-500 นาโนเมตรของสารสกัดโดยใช้อัลตราโซนิกโพรบที่ความเข้มข้นของคลื่นเหนือเสียงต่างกันโดยใช้เวลาในการสกัด 2 นาที



รูปที่ 6.32 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงตามความยาวคลื่นในช่วง 200-500 นาโนเมตรของสารสกัดโดยใช้อัลตราโซนิกโพรบที่ความเข้มข้นของคลื่นเหนือเสียงต่างกันโดยใช้เวลาในการสกัด 5 นาที



รูปที่ 6.33 กราฟแสดงค่าการดูกลับแสงตามความยาวคลื่นในช่วง 200-500 นาโนเมตรของสารสกัดโดยใช้อัลตราโซนิกโพรบที่ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงต่างกันโดยใช้เวลาในการสกัด 10 นาที

จากผลการทดลองดังรูปที่ 6.30, 6.31, 6.32 และ 6.33 แสดงให้เห็นว่าสารอะเซยีดีโคไซด์ไม่สูญเสียสภาพที่สภาวะการทดลอง ดังที่ได้กล่าวว่คลื่นเหนือเสียงอาจมีผลทำลายคุณสมบัติการออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารดังกล่าวได้ ดังนั้นควรมีการทดลองศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการทำลายคุณสมบัติการออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารอะเซยีดีโคไซด์ต่อไป

6.7 การประเมินต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบัวบกและการประเมินความคุ้มค่าจากการปรับปรุงกระบวนการสกัดด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง

จากผลการทดลองในหัวข้อ 6.1 จะเห็นได้ว่าการใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยในการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบัวบก จะช่วยเพิ่มปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ โดยเมื่อพิจารณากรณีที่ใช้เวลาในการสกัดต่อกะเท่ากัน พบว่า เมื่อใช้เวลาในการสกัด 1 นาที อัลตราโซนิกโพรบสามารถช่วยเพิ่มปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้สูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงถึงประมาณ 3 เท่า และเมื่อพิจารณาปริมาณสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ พบว่า การใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยในการสกัดเป็นเวลา 1 นาที สามารถสกัดอะเซติโคไซด์ได้ปริมาณเท่ากับกรณีทำการสกัดโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง เป็นเวลา 90 นาที จากข้อได้เปรียบดังกล่าว จึงช่วยลดต้นทุนปฏิบัติการในส่วนของค่าวัตถุดิบ ค่าตัวทำละลาย ค่าแรง รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณวัตถุดิบและตัวทำละลายที่ต้องใช้มากขึ้น เช่น ค่าไฟและค่าแรงงานที่ต้องใช้ในการเตรียมวัตถุดิบก่อนที่จะนำมาสกัด ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสถานที่เก็บ เป็นต้น ถึงกระนั้น การใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยในการสกัดจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในส่วนที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ในการกำเนิดคลื่นเหนือเสียงในการลงทุนเบื้องต้น ดังนั้นจึงได้ทำการคำนวณต้นทุนและค่าใช้จ่ายของการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบัวบกด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียงเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง

สำหรับกรณีศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณต้นทุนและค่าใช้จ่ายของการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบัวบกที่จะกล่าวถึงต่อไปนั้น พิจารณากรณีเมื่อใช้เวลาในการสกัดต่อกะเท่ากัน โดยสำหรับวิธีอัลตราโซนิกโพรบจะเลือกใช้ที่เวลาในการสกัดต่อกะเท่ากับ 1 นาที และสำหรับวิธีอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงจะเลือกใช้ที่เวลาในการสกัดต่อกะเท่ากับ 10 นาที

6.7.1 การคำนวณต้นทุนและค่าใช้จ่ายของการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบัวบก

การคำนวณต้นทุนและค่าใช้จ่ายของการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบัวบก สามารถคำนวณได้จากค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการและต้นทุนของการสกัดสารอะเซติโคไซด์จากบัวบกในกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงทั้งวิธีอัลตราโซนิกโพรบและวิธีอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง โดยใช้เวลาในการสกัดเท่ากับ 1 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ แสดงได้ดังตารางที่ 6.9 และ 6.10

จากตารางที่ 6.9 พบว่า กรณีการสกัดด้วยอัลตราโซนิกโพรบจะมีค่าใช้จ่ายในการสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ในการกำเนิดคลื่นเหนือเสียงเพิ่มขึ้นมาเป็นจำนวน 85,000 บาท แต่สามารถลดต้นทุนค่าปฏิบัติการในส่วนค่าสมุนไพรร ค่าตัวทำละลาย และค่าแรงงานได้เนื่องจากใช้เวลาในการผลิตน้อยลงถึง 3 เท่า และถึงแม้จะมีค่าไฟฟ้าเพิ่มเติมจากการใช้อุปกรณ์ในการกำเนิดคลื่นเหนือเสียง แต่เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในหมวดอื่นก็ถือว่าน้อยมาก โดยเฉพาะหมวดค่าแรงงานและค่าตัวทำละลาย จะเห็นว่ามีสัดส่วน

ส่วนที่สูงมาก สำหรับต้นทุนค่าปฏิบัติการ ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมก็ยังมีค่าน้อยกว่ากรณีไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงอยู่มาก และจากตารางที่ 6.10 พบว่า กรณีการสกัดด้วยอย่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง จะมีค่าใช้จ่ายในการสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ในการกำเนิดคลื่นเหนือเสียงเพิ่มขึ้นคิดเป็น 32,500 บาท ซึ่งน้อยกว่าค่าใช้จ่ายส่วนที่เพิ่มขึ้นในกรณีของอัลตราโซนิคโพรบ แต่ช่วยลดเวลาการผลิตเมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงเพียง 1.5 เท่า อย่างไรก็ตาม สามารถลดต้นทุนค่าปฏิบัติการในส่วนค่าสมุนไพร ค่าตัวทำละลาย และค่าแรงงานเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงได้มาก

ตารางที่ 6.9 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ด้วยวิธีอัลตราโซนิคโพรบและวิธีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง

รายการค่าใช้จ่าย	การสกัดกรณีที่ใช้อัลตราโซนิคโพรบ (บาท)	การสกัดกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง (บาท)
1. ต้นทุนการสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ (Capital cost)		
1. ค่าอุปกรณ์ในการสกัด	500	500
2. ค่าเครื่องกำเนิดคลื่นเหนือเสียง (กำลังงาน 50 วัตต์, ความถี่ 20 กิโลเฮิรซ์)	80,000	-
3. ค่าบำรุงรักษา (5% ของอุปกรณ์)	4,000	-
4. เบ็ดเตล็ด	1,000	-
รวมทั้งสิ้น	85,500	500
2. ต้นทุนค่าปฏิบัติการ (Operating cost)		
1. ค่าไฟ		
- เครื่องกำเนิดคลื่นเหนือเสียง	930 (P)	-
- ปั๊มน้ำ	651 (P)	-
2. ค่าวัตถุดิบ		
- สมุนไพรบวบก	2,520 (P)	7,260 (P)
- ตัวทำละลายในการสกัด	153,868 (P)	444,643 (P)
3. ค่าแรงงาน	93,340 (P)	270,200 (P)
รวมทั้งสิ้น	251,309 (P)	722,103 (P)
ต้นทุนรวม	85,500+251,309 (P)	500+722,103 (P)

หมายเหตุ : P คือ ปริมาณการผลิตอะเซติลโคโคไซด์มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

: สถานะในการสกัด

- ตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์
- อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลาย 0.3 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ขนาดอนุภาคบวบก 0.25-0.425 มิลลิเมตร

- เวลาในการสกัด 1 นาที
- : ความเข้มของคลื่นเหนือเสียง เท่ากับ 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร
- : ค่าไฟฟ้า 4 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
- : ตัวทำละลายเอทานอลราคา 75 บาทต่อลิตร, น้ำราคา 2 บาทต่อลิตร
- : ค่าแรงงาน 160 บาทต่อวัน (ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง)
- : สมุนไพรบวบกรราคา 30 บาทต่อกิโลกรัม
- : อัตราการสกัดของวิธีอัลตราโซนิกโพรบ เท่ากับ 0.29 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที
- : อัตราการสกัดของวิธีแช่ เท่ากับ 0.094 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที

ตารางที่ 6.10 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการสกัดสารอะเซติโคไซด์ด้วยวิธีอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงและวิธีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง

รายการค่าใช้จ่าย	การสกัดกรณีที่ใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (บาท)	การสกัดกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง (บาท)
1. ต้นทุนการสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ (Capital cost)		
1. ค่าอุปกรณ์ในการสกัด	500	500
2. ค่าเครื่องกำเนิดคลื่นเหนือเสียง (กำลังงาน 60 วัตต์, ความถี่ 47 กิโลเฮิรซ์)	30,000	-
3. ค่าบำรุงรักษา (5% ของอุปกรณ์)	1,500	-
4. เบ็ดเตล็ด	1,000	-
รวมทั้งสิ้น	33,000	500
2. ต้นทุนค่าปฏิบัติการ (Operating cost)		
1. ค่าไฟ		
- เครื่องกำเนิดคลื่นเหนือเสียง	1,500 (P)	-
- บิมน้ำ	875 (P)	-
3. ค่าวัตถุดิบ		
- สมุนไพรบวบก	2,880 (P)	4,050 (P)
- ตัวทำละลายในการสกัด	175,337 (P)	247,243 (P)
3. ค่าแรงงาน	125,000 (P)	181,820 (P)
รวมทั้งสิ้น	305,592 (P)	469,563 (P)
ต้นทุนรวม	33,000+305,592 (P)	500+469,563 (P)

หมายเหตุ : P คือ ปริมาณการผลิตอะเซติโคไซด์มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

- : สภาวะในการสกัด
- ตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์
- อัตราส่วนบวบกต่อตัวทำละลาย 2.5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

- ขนาดอนุภาคบับก 0.25-0.425 มิลลิเมตร
- เวลาในการสกัด 10 นาที
- : ค่าไฟฟ้า 4 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง
- : ตัวทำละลายเอทานอลราคา 75 บาทต่อลิตร, น้ำราคา 2 บาทต่อลิตร
- : ค่าแรงงาน 160 บาทต่อวัน (ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง)
- : สมุนไพรบับก ราคา 30 บาทต่อกิโลกรัม
- : อัตราการสกัดของวิธีอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง เท่ากับ 0.067 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที
- : อัตราการสกัดของวิธีแช่ เท่ากับ 0.052 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที

6.7.2 การประเมินความคุ้มค่าจากการปรับปรุงกระบวนการสกัดด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง

การปรับปรุงกระบวนการสกัดสารอะเซติโคไซด์โดยการนำคลื่นเหนือเสียงมาช่วยในการสกัด จะช่วยให้สามารถสกัดสารได้มากขึ้น เมื่อใช้เวลาในการสกัดเท่ากัน โดยสมมติให้อัตราการป้อนสมุนไพรบับกต่อวันเท่ากับ 50 กิโลกรัม เมื่อสกัดด้วยกระบวนการแบบเก่า จะได้ปริมาณสารอะเซติโคไซด์เท่ากับ 0.2 กิโลกรัมต่อวัน คิดเป็นจำนวนเงินเท่ากับ 160,000 บาท (กำหนดให้ราคาผลิตภัณฑ์เท่ากับ 800,000 บาทต่อกิโลกรัม) ในขณะที่ เมื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยนำคลื่นเหนือเสียงมาช่วยในการสกัด จะได้ปริมาณสารอะเซติโคไซด์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมต่อวัน คิดเป็นจำนวนเงินเท่ากับ 400,000 บาท โดยสามารถเพิ่มปริมาณสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้เท่ากับ 0.3 กิโลกรัม คิดเป็นรายได้ที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 240,000 บาทต่อวันหรือเท่ากับ 72,000,000 บาทต่อปี (เมื่อคิดเวลาในการทำงานเท่ากับ 300 วันต่อปี) เมื่อพิจารณารายได้ที่เพิ่มขึ้นในกรณีปรับปรุงกระบวนการผลิตในส่วนของการสกัด โดยนำคลื่นเหนือเสียงเข้ามาใช้ พบว่ามีมูลค่าค่อนข้างสูง เชื่อว่าจะสามารถก่อให้เกิดความคุ้มค่าในระยะเวลาดังกล่าว แม้ว่าการใช้จ่ายในส่วนเครื่องกำเนิดคลื่นเหนือเสียงจะมีราคาค่อนข้างสูงก็ตาม นอกจากนี้ เมื่อดำเนินถึงการลงทุนในระยะยาวแล้ว การใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยในกระบวนการสกัดจะก่อให้เกิดผลกำไรที่สูงกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบเดิม

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม

7.1 สรุปผลการวิจัย

1. คลื่นเหนือเสียงทำให้เกิดปรากฏการณ์คาวิตേഷัน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการปั่นกววนของตัวทำละลายอย่างรุนแรง และทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ผิวอนุภาคของแข็ง เกิดเป็นอนุภาคเล็กๆ มีผลช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส และลดชั้นความหนาของตัวทำละลายรอบอนุภาค จึงช่วยลดความต้านทานการส่งถ่ายมวล มีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ โดยช่วยเพิ่มปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้และช่วยลดระยะเวลาในการสกัดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง

เมื่อพิจารณาเวลาในการสกัดเท่ากันคือ 1 นาที สำหรับอัลตราโซนิกโพรบสามารถสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ ได้มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงสูงถึง 3 เท่า และ ที่เวลาในการสกัดเท่ากับ 10 นาที สำหรับอ่างทำความสะอาด้วยคลื่นเหนือเสียงสามารถสกัดสารอะเซติลโคโคไซด์ ได้มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงประมาณ 1.5 เท่า

เมื่อพิจารณาให้ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้เท่ากัน พบว่า การสกัดโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ต้องใช้เวลานานถึง 90 นาที จึงจะได้ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์เท่ากับเมื่อใช้เวลาในการสกัด 1 นาที โดยวิธีอัลตราโซนิกโพรบ ในขณะที่สำหรับอ่างทำความสะอาด้วยคลื่นเหนือเสียง พบว่า การสกัดโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ต้องใช้เวลานานถึง 60 นาที จึงจะได้ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์เท่ากับเมื่อใช้เวลาในการสกัด 30 นาทีโดยวิธีอ่างทำความสะอาด้วยคลื่นเหนือเสียง

2. ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้จะมากขึ้น เมื่อเวลาในการสกัดมากขึ้น โดยในช่วงเวลาแรกของการสกัด ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และการเพิ่มขึ้นจะช้าลงในช่วงเวลาหลัง จนในที่สุดแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเลย เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารอะเซติลโคโคไซด์ที่ผิวอนุภาคและในตัวทำละลายลดน้อยลงตามเวลา เป็นผลให้คลื่นเหนือเสียงช่วยเพิ่มปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้สูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงมากในช่วงแรก ซึ่งถือเป็นข้อได้เปรียบของของวิธีที่ไม่ได้ใช้คลื่นเหนือเสียง ทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ถึงแม้ว่าจะต้องใช้เงินลงทุนเริ่มต้นมากกว่าก็ตาม

3. ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดอะเซติลโคโคไซด์มากที่สุด เมื่อพิจารณาในแง่ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ คือ อะซิโตน รองลงมา คือ เมทานอล และเอทานอล ตามลำดับ โดยอะซิโตนที่ความเข้มข้นเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์สามารถสกัดอะเซติลโคโคไซด์มากที่สุด แต่ในกรณีใช้ตัวทำละลายดัง

กล่าว ปริมาณอะเซติลโคไซด์ที่สกัดได้กรณีใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งแนวโน้มเป็นเช่นเดียวกันในกรณีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเมทานอล ในขณะที่สำหรับตัวทำละลายเอทานอล แม้ว่าปริมาณสารอะเซติลโคไซด์ที่สกัดได้จะน้อยกว่ากรณีที่ใช้อะซิโตนในการสกัด แต่ผลของคลื่นเหนือเสียงช่วยทำให้ตัวทำละลายเอทานอลและเมทานอลสามารถสกัดอะเซติลโคไซด์ได้มากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงสูงกว่าในกรณีที่ใช้ตัวทำละลายอะซิโตนในการสกัดมาก นอกจากนี้ที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอลเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ สามารถสกัดสารอะเซติลโคไซด์ได้มากกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีที่ทำให้สามารถเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีความปลอดภัยสูงกว่าในการสกัด และสำหรับการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัด พบว่า ไม่สามารถสกัดสารอะเซติลโคไซด์ได้ โดยปัจจัยที่มีผลในเรื่องตัวทำละลาย สามารถอธิบายได้โดยอาศัยเรื่องค่าความหนืด ความมีขี้และสัดส่วนปริมาณน้ำต่อตัวทำละลาย และผลการทดลอง ยังแสดงให้เห็นว่า กระบวนการสกัดสารอะเซติลโคไซด์เกิดขึ้นได้ง่าย ถ้าใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง กล่าวคือ เลือกใช้ตัวทำละลายที่ทำให้กลไกการเกิดของปฏิกิริยาระหว่างคลื่นเหนือเสียงกับตัวทำละลายมีความเหมาะสมในการสกัด

4. การใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าที่มีขนาดเล็กสามารถสกัดสารอะเซติลโคไซด์ได้มากกว่าอุณหภูมิที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากอุณหภูมิที่มีขนาดเล็ก จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผิวของอนุภาคและตัวทำละลายมากกว่า อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การลดขนาดอนุภาคเมื่อขนาดอนุภาคมีขนาดใหญ่อยู่แล้ว จะส่งผลช่วยเพิ่มปริมาณอะเซติลโคไซด์ที่สกัดได้ มากกว่าการลดขนาดอนุภาคเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กอยู่แล้ว ทั้งนี้ เนื่องจากอุณหภูมิที่มีขนาดเล็กมากเกินไป จะมีแรงในการเกาะกันสูง ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ได้ง่ายขึ้น ซึ่งส่งผลในการลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคบับกและตัวทำละลาย

5. ในกรณีอัลตราโซนิคโพรบและกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง เมื่ออัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายมากขึ้น ความเข้มข้นของอะเซติลโคไซด์ในตัวทำละลายจะมากขึ้น แต่ปริมาณอะเซติลโคไซด์ที่สกัดได้ต่อน้ำหนักของบับกที่เท่ากัน จะลดลงเมื่ออัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายมากขึ้น โดยอัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ 0.12 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับกรณีอ่างทำความสะอาด้วยคลื่นเหนือเสียง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะเซติลโคไซด์เมื่ออัตราส่วนบับกเพิ่มขึ้นไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม พบว่า อัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ 1 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนในกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงแทบจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะเซติลโคไซด์ที่สกัดได้ตามอัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้น

6. การเพิ่มความเข้มของคลื่นเหนือเสียงช่วยเพิ่มปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้และปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้จะมากขึ้น เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้น โดยเฉพาะที่ความเข้มของคลื่นเหนือเสียงมีค่าต่ำ

7. การใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยในการสกัดสารอะเซติลโคไนด์จากบัวบก มีผลช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของการสกัดสารอะเซติลโคไนด์จากบัวบก จึงทำให้ปริมาณอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้โดยใช้คลื่นเหนือเสียงมากกว่ากรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียงที่ทุกสภาวะการทดลอง

8. การศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของบัวบก โดยศึกษาปัจจัยในเรื่องเวลาและความเข้มคลื่นเหนือเสียง พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาและความเข้มของคลื่นเหนือเสียง จะส่งผลให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กลงมีปริมาณมากขึ้น

9. สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารอะเซติลโคไนด์จากบัวบกโดยพิจารณาปริมาณสารสกัดที่ได้ คือ ตัวทำละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยปริมาตร, อนุภาคของผงใบบัวบกที่มีขนาดระหว่าง 0.25-0.425 มิลลิเมตร, อัตราส่วนของอนุภาคผงใบบัวบกต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความเข้มของคลื่นเหนือเสียง เท่ากับ 35 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และเวลาที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 1 และ 10 นาที สำหรับกรณีการสกัดด้วยอัลตราโซนิคโพรบและอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

10. การศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสูญเสียสภาพของสารอะเซติลโคไนด์ พบว่าคลื่นเหนือเสียงที่ค่าความถี่ 20 กิโลเฮิรซ์ และความเข้มของคลื่นเหนือเสียงไม่เกิน 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ไม่มีผลทำลายสารอะเซติลโคไนด์ที่สกัดได้

11. จากการประเมินความคุ้มค่าจากการปรับปรุงกระบวนการสกัดด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง พบว่า จะช่วยให้สามารถสกัดสารอะเซติลโคไนด์ได้มากขึ้น เมื่อใช้เวลาในการสกัดเท่ากัน โดยเมื่อพิจารณารายได้ที่เพิ่มขึ้นในกรณีปรับปรุงกระบวนการผลิตในส่วนของสกัดโดยนำคลื่นเหนือเสียงเข้ามาใช้ พบว่ามีมูลค่าค่อนข้างสูง เชื่อว่าจะสามารถก่อให้เกิดความคุ้มค่าในระยะเวลาไม่มากนัก แม้ว่าค่าใช้จ่ายในส่วนเครื่องกำเนิดคลื่นเหนือเสียงจะมีราคาค่อนข้างสูงก็ตาม นอกจากนี้ เมื่อคำนึงถึงการลงทุนในระยะยาวแล้ว การใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยในกระบวนการสกัดจะก่อให้เกิดผลกำไรที่สูงกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบเดิม

7.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

7.2.1 อัลตราโซนิกโพรบ

1. ข้อจำกัดของการใช้งานอัลตราโซนิกโพรบในการสกัด คือ ปริมาณการสกัดแต่ละครั้งน้อยมาก เป็นผลให้การเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดทำได้ยาก รวมทั้งสิ้นเปลืองเวลาซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในเรื่องความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นจึงเสนอแนะให้มีการศึกษาการเพิ่มปริมาณของการสกัดต่อครั้ง ซึ่งอาจทำได้โดยให้ผงบัวบกในตัวทำละลายจากภายนอก มีการไหลเวียนเข้าสู่ระบบการสกัดด้วยอัลตราโซนิกโพรบอยู่ตลอดเวลา และหาความสัมพันธ์ของปริมาตรและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเพื่อให้ได้ปริมาณการสกัดสูงสุด

2. การเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียง ทำได้โดยการทำให้สภาวะในการทดลองเกิดคาวิตेशनได้ง่ายขึ้น ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่สามารถทำได้ คือ การเพิ่มฟองก๊าซภายในระบบการสกัด ซึ่งทำได้โดยการฉีดฟองก๊าซซึ่งไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยากับตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด เช่น ก๊าซเฉื่อย เป็นต้น เข้าไปในระบบระหว่างที่มีการให้คลื่นเหนือเสียง แล้วทำการเปลี่ยนอัตราการใช้ไหลของก๊าซ เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการให้ฟองก๊าซ เพื่อศึกษาว่าการเพิ่มฟองก๊าซในระบบมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดได้มากน้อยเพียงใด

3. ทดลองเปลี่ยนรูปร่างและปริมาตรของภาชนะที่ใช้ในการทดลองการสกัดด้วยอัลตราโซนิกโพรบ เนื่องจากงานวิจัยจำนวนมากเลือกใช้ภาชนะในการสกัดที่แตกต่างกันไป รวมทั้ง การเดินทางของคลื่นเหนือเสียงในภาชนะรูปร่างและขนาดต่างกัน น่าจะส่งผลแตกต่างกันด้วย

4. ทดลองนำระบบการสกัดด้วยอัลตราโซนิกโพรบใช้กับการสกัดสมุนไพรซึ่งการสกัดเกิดขึ้นได้ยาก ในกรณีใช้วิธีการสกัดทั่วไป

7.2.2 อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

1. ทดลองเปลี่ยนแปลงรูปร่างและปริมาตรของภาชนะที่ใช้ในการสกัด รวมทั้งระยะทางการวางของภาชนะในอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

2. ทำการทดลองโดยติดตั้งระบบการไหลเวียนของตัวทำละลายเข้ากับระบบการสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงและให้เกิดการสกัดอย่างต่อเนื่อง เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด

3. เนื่องจากความเข้มข้นของคลื่นเหนือเสียงที่ได้จากอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการปั่นกววนของตัวทำละลายอย่างรุนแรง ทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดสารค่อนข้างต่ำ ดังนั้นน่าจะมีการเพิ่มระบบการกววนที่มีค่ารอบของการกววนที่สม่ำเสมอ จนทำให้สามารถพิจารณาได้ว่า ปริมาณอะเซติโคไซด์ที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากคลื่นเหนือเสียงเพียงอย่างเดียว โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กรณีที่เพิ่มฟองก๊าซกระระบบเพื่อให้เกิดควาวิเทชั่นได้ง่ายขึ้น

7.2.3 การวิจัยเพิ่มเติมที่น่าสนใจ

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเพิ่มอัตราการสกัดและการทำลายสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ ณ เวลาในการสกัดต่างกัน

2. แม้ว่าจากผลการศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสูญเสียสภาพของสารอะเซติโคไซด์ พบว่า คลื่นเหนือเสียงไม่ส่งผลดังกล่าว แต่ประสิทธิภาพในการทำงานเกี่ยวกับการออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาอาจเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากผลของคลื่นเหนือเสียง ดังนั้นจึงน่าจะมีการศึกษาผลของการออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้โดยเปรียบเทียบกรณีที่ใช้และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง

3. เนื่องจากปริมาณสารอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ถูกจำกัดด้วยปริมาณของอะเซติโคไซด์ที่มีอยู่จริงในบัวบก ดังนั้นควรทดลองนำบัวบกที่มีอะเซติโคไซด์ในปริมาณสูงมาทำการสกัดด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียงเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงว่ามีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดมากขึ้นหรือไม่ เมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้บัวบกที่มีสารดังกล่าวในปริมาณต่ำ ซึ่งถ้าการเลือกใช้บัวบกดังกล่าวมีผลให้สามารถสกัดสารได้มากขึ้นจริง ก็จะมีผลให้เกิดความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์มากขึ้น

4. เนื่องจากไม่มีงานวิจัยใดที่แสดงถึงแหล่งสะสมที่แน่นอนของสารอะเซติโคไซด์ แต่การศึกษาโครงสร้างของพืชที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากทำการสกัดด้วยการใช้คลื่นเหนือเสียงซึ่งมีผลช่วยให้สามารถสกัดออกมาได้มากขึ้นนั้น จะเป็นแนวทางที่ทำให้ทราบถึงการทำลายส่วนประกอบของเซลล์บางอย่างได้มากกว่าวิธีการบดสมุนไพรที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งถ้าเป็นเช่นนั้นจริง การใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยในการสกัดก็จะมีค่าคุ้มค่ามากขึ้น

5. จากผลการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยเรื่องชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย มีข้อที่น่าสนใจเกี่ยวกับสาเหตุอื่นที่ทำให้คลื่นเหนือเสียงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพมากกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงได้มากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ ดังนั้นจึงควรทำการศึกษากลไกการเกิดขึ้นของปฏิกิริยาระหว่างคลื่นเหนือเสียงกับน้ำและตัวทำละลายชนิดต่างๆต่อไป

รายการอ้างอิง

1. สิริพร บุรพาเดชะ. เภสัชกรรมเทคโนโลยี. เชียงใหม่: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่, 2534.
2. ถนอมศรี วงศ์รัตนสถิตย์. สารสำคัญในบัวบก. วารสารเภสัชศาสตร์มหิดล. 14 (ตุลาคม- ธันวาคม 2530): 15-20.
3. นันทวรรณ บุญยะประภัศร. บัวบกกับการรักษาแผล. จุลสารข้อมูลสมุนไพร. 11 (มกราคม- มีนาคม 2536): 1-5.
4. รัชดาวรรณ พิชิตชาติ และ พรเพ็ญ สุนทรกิจจารักษา. วิธีการสกัดสารจากใบบัวบกที่เหมาะสม. ปรินูญานิพนธ์ ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
5. Richard, J.P. Natural Products Isolation. New Jersey: Human Press, 1998.
6. Ovadia, M.E., and Skauen, D.M. Effect of Ultrasonic Waves on the Extraction of Alkaloids. J. Pharm.Sci. 54 (1965): 1013.
7. Hirokazu Fukase, et.al. Effect of Ultrasound in Soybean Protein Extraction. Jpn.J.Appl.Phys.Part 1. 33 (May, 1994): 3088-3090.
8. Hui Li, Etsuzo Ohdaira and Masao Ide. Effect of Ultrasound on Extraction of Saponin from Ginseng. Jpn.J.Appl.Phys.Part1 33 (May 1994): 3085-3087.
9. Mason, T.J., and Yiyun Z. Enhanced extraction of tea solids using ultrasound. Ultrasonics. 32 (1994): 375-377.
10. ชัยภักดิ์ การวะวัฒนา, อินทนนท์ สัตตพฤษ และ พสุ สิริสาดี. การศึกษากการสกัดแคปไซซินจากผลพริกโดยใช้คลื่นเหนือเสียง. ปรินูญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
11. Mason, T.J., and Lorimer, J.L. Sonochemistry: Theory, Applications and Uses of Ultrasound in Chemistry. New Jersey: Ellis Horwood Ltd., 1988.
12. Farnsworth, N.R., and Bunyapraphatsara, N. Thai Medicinal Plant. Bangkok: Prachachon. Co. Ltd., 1992.
13. Bonstem, J.E. A new heteroside, asiaticoside, isolated from *Hydrocotyle asiatica* (Umbelliferae). Bull. Sci. Pharmacol. 5 (1941): 49-186.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

14. Boiteau, P., et.al. Chemical constitution of asiaticoside, a heteroside formerly used against leprosy. Bull. Soc. Chim. Biol. 4 (1949): 31-46.
15. Boiteau, P., and Batsimamanga, A.R. Asiaticoside extracted from *Centella asiatica*, its therapeutic uses in the healing of experimental refractory wounds, leprosy, skin tuberculosis and lupus. Therapie. 11 (1956): 125-149.
16. Boiteau, P., and Chanez, M. Isolation of a new triterpinic acid from *Centella asiatica* (L.) Urban from Madagascar: madacassic acid. C. R. Hebd Seances Acad. Sci. Ser. D. Sci. Natur. 264 (1967): 407-410.
17. Dutta, T. and Basu, U.P. Crude extracts of *Centella asiatica* and products derived from its glycoside as oral antifertility agents. Indian J. Exp. Biol. 6 (1968): 182.
18. Crowden, R.K., et. Al. Chemosystematics of the Umbelliferae- A general survey. Indian J. Exp. Biol. 7 (1969): 1963-1984.
19. Pinhas, H. Structure of madasiatic acid, new triterpene acid from *Centella asiatica*. Bull. Soc. Chem. Fr. 3 (1969): 3592.
20. Singh, B., and Rastogi, R.P. A reinvestigation of the triterpenes of *Centella asiatica*. Phytochemistry 8 (1969): 917.
21. Asakawa, Y., et.al. Mono-and sequiterpenoids from *Hydrocotyle* and *Centella* species. Phytochemistry 21 (1982): 2590-2592.
22. Sappakun, N., and Ungwitayatorn, J. Thai crude drugs: their preparation and specifications. Mahidol Univ J. Pharm Sci. 3 (1982): 53-58.
23. สมใจ ชัยเจริญกิจ, พิลาวณิชย์ มหพันธ์, พวงแก้ว ลคนทินกร, จันทรา ชัยพานิช และ โอทอง สวัสดิ์มงคล. การสกัดสารสำคัญในบัวบก. ปรินญาณีพนธ์ ภาควิชาวิทยาปฏิบัติ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2530.
24. Gupta, A.P., et. al. High performance thin layer chromatography of asiaticoside in *Centella asiatica*. J. of the Indian Chemical Society. 76 (June, 1999): 321-322.

25. Inamdar, P.K., et. al. Stability study of the active constituents in the *Centella asiatica* extract formulation. Drug Development and Industrial Pharmacy. 22 (1996): 211-216.
26. Morganti, P., et.al. Extraction and analysis of Cosmetic Active Ingredients from an Anti-Cellulitis Transdermal Delivery System by High Performance liquid Chromatography. J. of Chromatographic Science. 37 (February 1999): 51-55.
27. สโรจน์ เจริญศิริ, อชชยา อิศรางกูร ณ อยุธยา และ เพ็ญศิริ วังเกล็ดแก้ว. สารกลัยโคไซด์ในใบบัวบก. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์, 2539.
28. Manitto, P., and Sammes, P.E., 1981. Biosynthesis of natural products. New York: Halsted press.
29. เกษียร กังคานนท์, ศิริรัตน์ โกศลยวัฒน์ และ จันทรา ชัยพานิช. การใช้ครีมใบบัวบก 1% รักษาแผลเรื้อรัง. สารศิริราช 40 (มิถุนายน 2531): 455-461.
30. วีระสิงห์ เมืองมัน. การใช้ครีมใบบัวบกรักษาแผลอักเสบ. เอกสารรายงานผลการใช้ครีมใบบัวบก. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล, 2526.
31. Rao, P.S., and Seshadri, T.R. Variation in the chemical composition of *Centella asiatica*. Current Science. 4 (1969): 77-79.
32. แคทลียา ปวุตติกุล, ชัชณี ผ่องจิตต์ และ อักษร ธรรมกุล. การวิเคราะห์หาปริมาณอะเซยติโคไซด์จากบัวบกจากแหล่งต่างๆในประเทศไทย. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
33. Anathbandhu, D., and Ranajit M. Correlation between genomic diversity and asiaticoside content in *Centella asiatica* (L.) Urban. Bot.Bull. Academia Sinica. 32 (1991): 1-8.
34. Haunold C., et.al. Effect of Ultrasound Application on Pyrethrins Extraction from *Chrysanthemum cinerariae* Folium. Hung. J. Ind. Chem. 24 (1996): 241-322.
35. Liang, H.H., et.al. Effect of Ultrasound on the Extraction of soyprotein and Soluble Solid. Ultrasonic Sonochem. 3 (1996): 253-256.
36. Sulman, M.G., et.al. Ultrasonic Extraction of Biologically Active Compounds from the Vegetable Raw Material. Ultrasonic Sonochem. 4 (1997): 305-312.

37. คารณี อริยวุฒยากร, เภสัชภัณฑ์ที่เตรียมจากการสกัดสมุนไพร. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเภสัชกรรมเทคโนโลยี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.
38. Hamm, W. Encyclopedia of Chemical Technology. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1980.
39. List, P.H. and Schmidt, P.C. Phytopharmaceutical Technology. London: Heyden and son, 1989.
40. Christi, J.G. Transport Process and Unit Operations. 3rd ed. Singapore: Prentice Hall, 1995.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิควิดโครมาโทกราฟี (Liquid Chromatography)

ในการแยกสิ่งสกปรกที่ได้ วิธีพื้นฐานที่ใช้กันทั่วไปนั้น คือ การทำคอลัมน์โครมาโทกราฟี ซึ่งค้นพบโดย นาย Michael Tswett นักพฤกษศาสตร์ชาวรัสเซีย เมื่อครั้งที่เขาพยายามแยกสารมีสีจากใบพืช เช่น สารจำพวก Chlorophylls, Xanthophylls วิธีนี้สารที่ได้ต้องมีปริมาณเพียงพอเพื่อที่จะผ่านลงในคอลัมน์ได้ ในกรณีที่สารที่ได้มีปริมาณน้อยเกินไป นิยมแยกโดยเทคนิคทินแลย์โครมาโทกราฟี (Thin Layer Chromatography : TLC) ปัญหาของการทำคอลัมน์โครมาโทกราฟีแบบดั้งเดิมนั้น พบว่า การใช้คอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 1-5 เซนติเมตร ความยาว 50-500 เซนติเมตร และใช้อนุภาคของแข็งเป็นตัวดูดซับ เส้นผ่านศูนย์กลาง 150-200 ไมโครเมตร จะใช้เวลาในการแยกนานมาก เนื่องจากอัตราเร็วของการไหลต่ำมาก และถึงแม้จะใช้ปั๊มช่วยเพิ่มความเร็วอัตราการไหล ก็ยังส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพของคอลัมน์ เนื่องจากข้อจำกัดของการถ่ายเทมวลสาร ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป ดังนั้นจึงมีการคิดค้นหาวิธีที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของคอลัมน์ในการแยกสาร จนเป็นเครื่องมือที่เรียกว่า ไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี (Hiperformance liquid chromatography) ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้น และได้ประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าการใช้คอลัมน์โครมาโทกราฟีแบบเก่า

หลักการขั้นพื้นฐานของลิควิด โครมาโทกราฟี

ในการแยกสารด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟีนั้น สารที่ต้องการแยกจะละลายในตัวทำละลายเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งอาจเป็นแก๊ส ของเหลว หรือ Supercritical fluid ก็ได้ โดยตัวทำละลายเคลื่อนที่นี้จะผ่านไปตามตัวดูดซับ (stationary phase) ซึ่งจะบรรจุในคอลัมน์หรือเคลือบบนผิวของแข็งโดยสารแต่ละตัวซึ่งเป็นตัวประกอบอยู่ในสารตัวอย่างที่ต้องการแยกจะต้องกระจายตัวได้ไม่เท่ากันในตัวทำละลายเคลื่อนที่และตัวดูดซับ สารซึ่งเป็นองค์ประกอบย่อยตัวใดที่ยึดติดกับตัวดูดซับได้ดี ก็จะไหลผ่านมากับตัวทำละลายเคลื่อนที่ได้ช้า ในทางกลับกัน องค์ประกอบย่อยตัวใดที่ยึดติดกับตัวดูดซับได้ไม่ดี ก็จะไหลผ่านมากับตัวทำละลายเคลื่อนที่ได้รวดเร็ว ดังสมการ (ก1)

$$A_{\text{mobile}} \rightleftharpoons A_{\text{stationary}} \quad (\text{ก1})$$

ค่า partition coefficient สำหรับสารประกอบที่สอดคล้องกับสมการคือ

$$K_X = C_S / C_M \quad (ก2)$$

เมื่อ K_X = partition coefficient ของสาร X

C_S = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวดูดซับ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

C_M = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายเคลื่อนที่ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

ถ้า K_X มีค่ามากแสดงว่าสารประกอบสามารถละลายในตัวดูดซับมากกว่าในตัวทำละลายเคลื่อนที่ ทำให้เคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์ได้ช้า

Retention time (t_R)

คือ เวลาที่สารเดินทางเข้าและออกจากคอลัมน์ การแยกจะประสบผลสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อสารมีอัตราการเคลื่อนที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์ จากนิยามของค่า distribution coefficient (K_X) คือ การวัดระดับของสาร X ที่ถูกยึดหรือทำให้เคลื่อนที่ได้ช้าลง ในทางปฏิบัติแล้วค่า capacity factor (k') จะเป็นค่าที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้มากกว่า และสามารถหาได้โดยตรงจากโครมาโทแกรม หรือจากการคำนวณในสมการ

$$k' = \frac{V_S C_S}{V_m C_m} = \frac{V_S}{V_m} K_X \quad (ก3)$$

เมื่อ V_S = ปริมาตรของเฟสคงที่ในคอลัมน์ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

V_m = ปริมาตรของเฟสเคลื่อนที่ภายในคอลัมน์ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

C_S = ความเข้มข้นของสาร X ในเฟสคงที่ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

C_m = ความเข้มข้นของสาร X ในเฟสเคลื่อนที่ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

K_X = ค่าคงที่ distribution coefficient ของสาร X

สมการพื้นฐานสำหรับกระบวนการโครมาโทกราฟีที่แสดงความสัมพันธ์ของค่า retention volume (V_r) กับค่าอื่นๆคือ

$$V_r = V_m(1+k'_X) = V_m + V_S K_X \quad (ก4)$$

ค่า V_r หาได้จากโครมาโทแกรม เนื่องจาก $V_r = F t_r$ ในที่นี้ F คือ อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที), t_r คือ peak retention time และ V_m คือ void volume โดย t_0 คือ

เวลาที่โมเลกุลของตัวทำละลายถูกฉีดเข้าไป สำหรับสารที่ไม่ถูกยึดเกาะซึ่งจะเดินทางผ่านไปนาคอลัมน์ V_m คือปริมาตรทั้งหมดของเฟสเคลื่อนที่ในคอลัมน์ในช่วงเวลาที่กำหนดให้ จากการแทนค่า V_m และ V_r ในสมการข้างต้น และเมื่อจัดสมการใหม่ จะได้สมการที่มีประโยชน์มากสำหรับการหาค่า capacity factor นั่นคือ

$$k' = \frac{t_r - t_o}{t_o} \quad (ก5)$$

การแยกและเวลาใช้แยก (Resolution and Separation Time)

เป้าหมายของลิควิดโครมาโตกราฟี คือ สามารถทำการแยกสารละลายของผสมได้และเพื่อให้บรรลุเป้าหมายนั้นควรจะต้องสามารถวัดในเชิงปริมาณของการแยกให้ได้ หรือการแยก (resolution) จะต้องประสบผลสำเร็จ

นิยามของการแยก (R_s) แถบ (band) 2 แถบ ที่อยู่ใกล้กัน คือ ระยะห่างกันของแถบทั้งสองหารด้วยความกว้างเฉลี่ยของแถบทั้งสองนั้น นั่นคือ

$$R_s = \frac{(t_2 - t_1)}{1/2(w_1 + w_2)} \quad (ก6)$$

เมื่อ t_1 และ t_2 คือ ค่า t_r ของ band 1 และ band 2

w_1 และ w_2 คือ ความกว้างของ band 1 และ band 2

ถ้า $R_s = 1$ หมายความว่า bands ทั้งสองแยกออกจากกันประมาณ 98% ส่วน 2% ที่เหลือคือ ส่วนที่ bands ทั้งสองทับกัน ค่า R_s แสดงถึงประสิทธิภาพในการแยก

สำหรับค่า R_s ที่กำหนดในการซ้อนทับของ bands ทั้งสองเป็นเรื่องสำคัญมาก โดยเฉพาะเมื่อ bands ทั้งสองแตกต่างกันมาก นั่นคือ bands หนึ่งใหญ่ อีก band หนึ่งเล็ก ค่า R_s นี้ ได้ถูกนำมาใช้ในการหาความหมายของการแยก ในการควบคุมการแยกควรจะต้องเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงของ ค่า R_s กับพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลอง เช่น ค่า k' และ N โดย ค่า R_s มีความสัมพันธ์กับค่า k' , N และ α ดังสมการ

$$R_s = (1/4)(\alpha - 1)N^{1/2}[k'/1 + k'] \quad (ก7)$$

(i) (ii) (iii)

สมการนี้เป็นสมการพื้นฐานของเทคนิคลิควิดโครมาโตกราฟี ซึ่งใช้ในการควบคุมการแยก โดยการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ คือ α , N และ k' ซึ่งจะมีผลทำให้การแยกดีขึ้น สมการนี้ประกอบด้วย เทอมที่สำคัญ 3 เทอม (i) – (iii) ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน จากที่ทราบว่าค่า R_s มาก หมายถึงประสิทธิภาพของการแยกดี ดังนั้นถ้าพิจารณาจากเทอม (i) เมื่อค่า R_s มีค่ามาก ค่า α จะต้องมีความมากด้วยการเพิ่มค่า α ทำได้โดยการเปลี่ยนส่วนประกอบของเฟสเคลื่อนที่ สำหรับการพิจารณาเทอม (ii) เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของคอลัมน์ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัด คือ ค่า N ถ้าค่า R_s เพิ่มขึ้นจะต้องเปลี่ยนความยาวของคอลัมน์ และความเร็วของเฟสเคลื่อนที่ (V) ส่วนเทอม (iii) คือ ค่า R_s มีความสัมพันธ์กับค่า k' การเปลี่ยนแปลงค่า k' นี้ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงความแรงของตัวทำละลาย (solvent strength) ซึ่งจะทำให้ค่า k' เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ โดยทั่วไปค่าที่เหมาะสมที่สุดของ k' ในลิควิดโครมาโตกราฟีจะอยู่ในช่วง 2-10 ในบางกรณีที่ค่า $t_1 \ll t_2$ และค่า α มีค่ามาก สมการ (ก7) สามารถจัดรูปใหม่เป็น

$$R_s = (1/4)[(\alpha - 1)/\alpha]N^{1/2}[k'/1 + k'] \quad (\text{ก8})$$

ความกว้างของแถบและประสิทธิภาพของคอลัมน์ (Band Broadening and Column Efficiency)

ประสิทธิภาพของคอลัมน์สามารถพิจารณาได้จากอัตราการขยายตัวของแถบให้กว้างขึ้น เมื่อแถบนี้หรือตัวถูกละลายนี้เคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์หรือเคลื่อนที่ไปตาม plate โมเลกุลทุกตัวจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน การกระจายของโมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเป็นรูป gaussian จุดกึ่งกลางของแถบนั่นก็คือ k' -value ของสารแต่ละชนิด ซึ่งหมายถึงอัตราเร็วโดยเฉลี่ยของการเคลื่อนที่นั้น และถ้าค่า k' -value เกิดการเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยเล็กน้อยจะเป็นผลเนื่องมาจาก ผลของความไม่สมดุล (nonequilibrium effect) ระหว่างเฟสเคลื่อนที่และเฟสคงที่ของสารประกอบนั้น ซึ่งเรียกว่า ความต้านทานต่อการถ่ายเทมวลสาร (resistance to mass transfer) การไหลของโมเลกุลในระยะทางที่แตกต่างกัน จะมีสาเหตุมาจากลักษณะของอนุภาคที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ และการแพร่ในแนวการไหลของเฟสเคลื่อนที่

ค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของคอลัมน์คือ

1. ความสูงของ plate, H
2. จำนวน theoretical plate, N

ซึ่งสอดคล้องกับสมการ

$$N = L/H \quad (\text{ก9})$$

เมื่อ L คือความยาวของคอลัมน์ (เซนติเมตร)

ประสิทธิภาพของคอลัมน์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวน plate ที่ได้จากทางทฤษฎีมากขึ้น ซึ่งหมายความว่า ค่าความสูงของ plate (H) มีค่าต่ำลง

จำนวน plate ที่ได้จากทางทฤษฎี (N) สามารถคำนวณได้จากโครมาโตแกรม โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$N = 16(t_R / w)^2 \quad (ก10)$$

$$N = 5.54(t_R / w_{1/2})^2 \quad (ก11)$$

เมื่อ t_R = retention time

w = ความกว้างของฐานพีค (หน่วยเดียวกับ t_R)

$w_{1/2}$ = ความกว้างของพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูง (เซนติเมตร)

ตัวแปรทางจลศาสตร์ที่มีผลต่อความกว้างของแถบและประสิทธิภาพของคอลัมน์

ความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงของplate และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคอลัมน์

ประสิทธิภาพของคอลัมน์โครมาโตกราฟที่แสดงได้ดังสมการ

$$H = B/U + C_s U + C_m U$$

เมื่อ H คือ plate height (เซนติเมตร)

U คือ ความเร็วเชิงเส้นของเฟสเคลื่อนที่ (เซนติเมตรต่อนาที)

B, C_s และ C_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งสัมพันธ์กับคอลัมน์ ดังนี้

(B/U) = The longitudinal diffusion term ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดแถบกว้าง

C_s และ C_m = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร

- The mobile phase mass transfer term ($C_m U$)

ผลที่เกิดจากการกระจายของแถบ โมเลกุล เรียกว่า Eddy diffusion หรือ multiple flow path ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของกระแสการไหลของตัวทำละลายในคอลัมน์ ผลที่เกิดขึ้น คือ โมเลกุลของสารประกอบจะเลือกทางเดินที่แตกต่างกัน ขึ้นกับว่า สารประกอบนั้นจะเคลื่อนที่ไปกับกระแสการไหลของตัวทำละลายในทิศทางไหน ผลของ Eddy diffusion พบว่าการกระจายของ โมเลกุลจากตอนเริ่มต้น ซึ่งเป็นเส้นแคบจะกว้างขึ้นและการกระจายของ โมเลกุลจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อการไหลของตัวทำละลายผ่านคอลัมน์ดำเนินต่อไป ในกรณีที่อนุภาคที่ใช้บรรจุในคอลัมน์เป็นอนุภาคที่มีรูพรุน (pores) เฟสที่อยู่ในรูนั้นจะไม่มีการเคลื่อนที่ โมเลกุลที่แพร่เข้าไปในรูจะเคลื่อนที่ได้ช้าและได้ระยะทางสั้น ยิ่งถ้าเข้าไปในรูที่ลึกจะยิ่งช้ามาก ส่วน โมเลกุลที่แพร่ออกจากรูเข้าสู่คอลัมน์จะเคลื่อนที่ได้ระยะทางไกลกว่า ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า stagnant mobile phase mass transfer ผลของปรากฏการณ์นี้คือ โมเลกุลจะเคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ได้ระยะทางที่สั้น โมเลกุลของสารก็เกิดการกระจายมากขึ้น

- The stationary phase mass transfer term ($C_s U$)

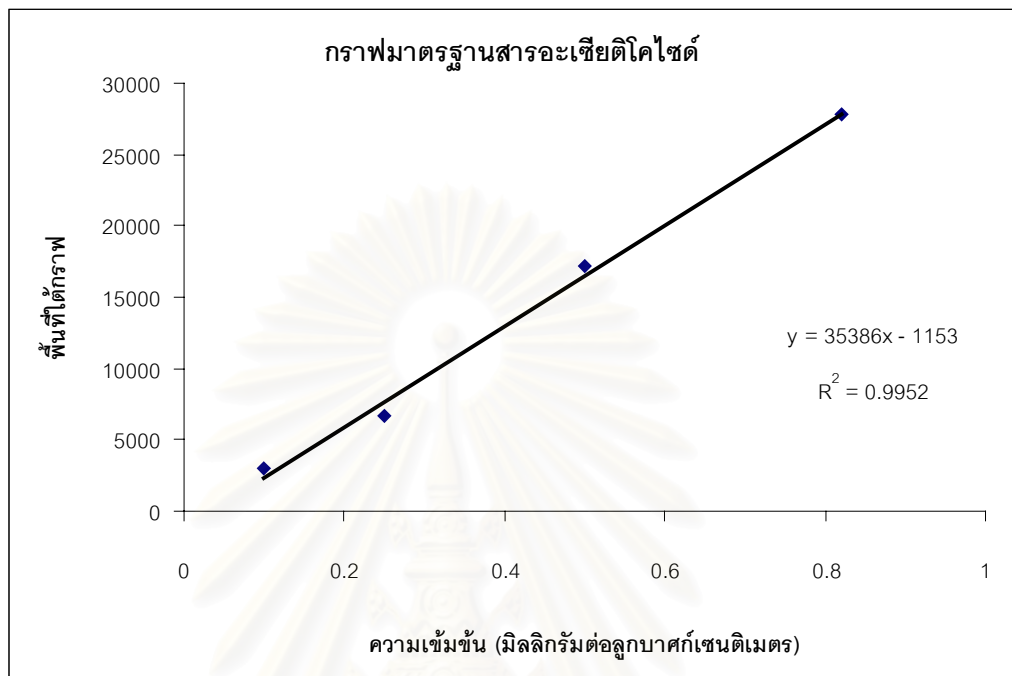
หลังจาก โมเลกุลแพร่เข้าไปในรูแล้ว จะซึมเข้าไปในเฟสคงที่ ถ้าเข้าไปลึกมากจะทำให้ใช้เวลานานที่อยู่ในเฟสคงที่และจะเคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ได้ระยะทางสั้น โมเลกุลที่ใช้เวลาเคลื่อนที่เข้าและออกจากเฟสคงที่ไม่แน่นอน จะสามารถกลับเข้าสู่เฟสเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น และจะเคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ได้ไกลกว่า



ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟมาตรฐาน



รูปที่ ข-1 แสดงกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของอะเซียดิโคไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ข้อมูลการทดลองเกี่ยวกับการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการสกัดสารอะเซติลโคลีนด์จากบวบด้วย
อัลตราโซนิคโพรบและอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง**

ตารางที่ ค.1 : ตารางแสดงข้อมูลในการทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดสารอะเซติลโคลีนด์ออกจากผงใบบวบแห้ง

สภาวะการทดลอง : ตัวทำละลายในการสกัด เอทานอล 60 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร)

ขนาดอนุภาคผงใบบวบ 0.25-0.425 มิลลิเมตร

อัตราส่วนผงใบบวบต่อตัวทำละลาย

กรณี อัลตราโซนิคโพรบ 0.12 กรัม ต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร

กรณี อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง 1 กรัม ต่อ100 ลูกบาศก์

เซนติเมตร

การสกัดด้วย อัลตราโซนิคที่ความเข้มข้นเหนือเสียง 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

เวลา (นาที)	พื้นที่ได้กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคลีนด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคลีนด์/100 กรัมผงใบบวบ)
0.5	2564	0.1050	1.050
1	3077	0.1195	1.195
2	3400	0.1287	1.287
4	3914	0.1432	1.432
6	4388	0.1566	1.566
8	4853	0.1697	1.697
10	5208	0.1798	1.798
20	5687	0.1933	1.933
30	6194	0.2076	2.076
40	6879	0.2270	2.270
60	7491	0.2443	2.443
90	7676	0.2495	2.495

หมายเหตุ : การสกัดที่เวลาต่างๆกัน คือ ทำการทดลองคนละครั้งกัน

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

การสกัดด้วยวิธีแช่ (คอลัมน์ปริมาตร12 ลูกบาศก์เซนติเมตร)

เวลา (นาท)	พื้นที่ได้กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติโคไซด์/100 กรัมผงใบบัวบก)
0.5	139	0.0365	0.365
1	305	0.0412	0.412
2	457	0.0455	0.455
4	701	0.0524	0.524
6	843	0.0564	0.564
8	1048	0.0622	0.622
10	1197	0.0664	0.664
20	1766	0.0825	0.825
30	2088	0.0916	0.916
40	2439	0.1015	1.015
60	2899	0.1145	1.145
90	2980	0.1168	1.168

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

การสกัดด้วยวิธีอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

เวลา (นาที)	พื้นที่ได้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติโคไซด์/100 กรัมผงใบบัวบก)
0.5	305	0.0412	0.412
1	509	0.0470	0.470
2	766	0.0542	0.542
4	1180	0.0659	0.659
6	1620	0.0784	0.784
8	2072	0.0911	0.911
10	2546	0.1045	1.045
20	3021	0.1180	1.180
30	3414	0.1291	1.291
40	3959	0.1445	1.445
60	4542	0.1609	1.609
90	4714	0.1657	1.657

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

การสกัดด้วยวิธีแช่ (ขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร)

เวลา (นาที)	พื้นที่ได้กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคโคไซด์/100 กรัมผงใบบัวบก)
0.5	212	0.0386	0.386
1	404	0.0440	0.440
2	556	0.0483	0.483
4	730	0.0532	0.532
6	909	0.0583	0.583
8	1097	0.0636	0.636
10	1470	0.0741	0.741
20	1844	0.0847	0.847
30	2305	0.0977	0.977
40	3160	0.1219	1.219
60	3395	0.1285	1.285
90	3598	0.1343	1.343

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 : ตารางแสดงข้อมูลในการทดลองหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารอะเซตีลโคลไนด์ออกจากผงใบบัวบกแห้ง

สภาวะการทดลอง : ขนาดอนุภาคผงใบบัวบก 0.25-0.425 มิลลิเมตร

เวลาในการสกัด 10 นาที

อัตราส่วนผงใบบัวบกต่อตัวทำละลาย

อัลตราโซนิคโพรบ 0.3 กรัม ต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร

อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง 2.5 กรัมต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การสกัดด้วย อัลตราโซนิคที่ความเข้มข้นเหนือเสียง 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

ตัวทำละลาย	พื้นที่ใต้กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซตีลโคลไนด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซตีลโคลไนด์/100 กรัมผงใบบัวบก)
เอทานอล 0%	0	0	0
เอทานอล 20%	0	0	0
เอทานอล 40%	12028	0.3725	1.490
เอทานอล 60%	10356	0.3253	1.301
เอทานอล 80%	9000	0.2869	1.148
เอทานอล 100%	0	0	0

การสกัดด้วยวิธีแช่ (คอลัมน์ปริมาตร 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ตัวทำละลาย	พื้นที่ใต้กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซตีลโคลไนด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซตีลโคลไนด์/100 กรัมผงใบบัวบก)
เอทานอล 0%	0	0	0
เอทานอล 20%	0	0	0
เอทานอล 40%	7892	0.2556	1.022
เอทานอล 60%	6775	0.2240	0.896
เอทานอล 80%	3356	0.1274	0.510
เอทานอล 100%	0	0	0

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

การสกัดด้วย อัลตราโซนิคโพรบที่ความเข้มข้นเหนือเสียง 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

ตัวทำละลาย	พื้นที่ได้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติโคไซด์/100 กรัมผงใบบัวบก)
เมทานอล 0%	0	0	0
เมทานอล 20%	0	0	0
เมทานอล 40%	7818	0.2535	1.014
เมทานอล 60%	13626	0.4177	1.671
เมทานอล 80%	11359	0.3536	1.414
เมทานอล 100%	0	0	0

การสกัดด้วยวิธีแช่ (คอลัมน์ปริมาตร 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ตัวทำละลาย	พื้นที่ได้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติโคไซด์/100 กรัมผงใบบัวบก)
เมทานอล 0%	0	0	0
เมทานอล 20%	0	0	0
เมทานอล 40%	5016	0.1743	0.697
เมทานอล 60%	9838	0.3106	1.242
เมทานอล 80%	5710	0.1939	0.776
เมทานอล 100%	0	0	0

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

การสกัดด้วย อัลตราโซนิคโพรบที่ความเข้มข้นเหนือเสียง 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

ตัวทำละลาย	พื้นที่ใต้กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคไซด์/100 กรัมผงใบบวบก)
อะซิโตน 0%	0	0	0
อะซิโตน 20%	0	0	0
อะซิโตน 40%	12170	0.3765	1.506
อะซิโตน 60%	14962	0.4554	1.822
อะซิโตน 80%	13435	0.4123	1.649
อะซิโตน 100%	0	0	0

การสกัดด้วยวิธีแช่ (คอลัมน์ปริมาตร 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ตัวทำละลาย	พื้นที่ใต้กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคไซด์/100 กรัมผงใบบวบก)
อะซิโตน 0%	0	0	0
อะซิโตน 20%	0	0	0
อะซิโตน 40%	10091	0.3178	1.271
อะซิโตน 60%	12241	0.3785	1.514
อะซิโตน 80%	11029	0.3443	1.377
อะซิโตน 100%	0	0	0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

การสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

ตัวทำละลาย	พื้นที่ได้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคโคไซด์/100 กรัมผงใบบัวบก)
เอทานอล 0%	0	0	0
เอทานอล 20%	0	0	0
เอทานอล 40%	4367	0.156	0.624
เอทานอล 60%	3571	0.1335	0.534
เอทานอล 80%	3105	0.0651	0.481
เอทานอล 100%	0	0	0

การสกัดด้วยวิธีแช่ (ขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ตัวทำละลาย	พื้นที่ได้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคโคไซด์/100 กรัมผงใบบัวบก)
เอทานอล 0%	0	0	0
เอทานอล 20%	0	0	0
เอทานอล 40%	3581	0.1338	0.535
เอทานอล 60%	2904	0.1146	0.458
เอทานอล 80%	1936	0.0732	0.293
เอทานอล 100%	0	0	0

ตารางที่ ค.3 : ตารางแสดงข้อมูลในการทดลองหาขนาดอนุภาคบับกที่เหมาะสมในการสกัดสารอะ-
เซียติโคไซด์ออกจากผงใบบับกแห้ง

สภาวะการทดลอง : ตัวทำละลายในการสกัด เอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร)

เวลาในการสกัด 10 นาที

อัตราส่วนผงใบบับกต่อตัวทำละลาย

อัลตราโซนิคโพรบ 0.3 กรัม ต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร

อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง 2.5 กรัม ต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การสกัดด้วย อัลตราโซนิคที่ความเข้มข้นเหนือเสียง 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	พื้นที่ใต้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซียติโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซียติโคไซด์/100 กรัมผงใบบับก)
0.15-0.25	14255	0.4354	1.742
0.25-0.425	13772	0.4218	1.687
0.425-0.6	11789	0.3637	1.463
0.6-0.85	9898	0.3123	1.249

การสกัดด้วยวิธีแช่ (คอลัมน์ปริมาตร 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	พื้นที่ใต้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซียติโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซียติโคไซด์/100 กรัมผงใบบับก)
0.15-0.25	10834	0.3388	1.355
0.25-0.425	10731	0.3358	1.343
0.425-0.6	9460	0.2999	1.200
0.6-0.85	7815	0.2534	1.014

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

การสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	พื้นที่ใต้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคโคไซด์/100 กรัมผงใบบั่วบก)
0.15-0.25	5217	0.1800	0.720
0.25-0.425	5016	0.1743	0.697
0.425-0.6	11459	0.1582	0.633
0.6-0.85	3818	0.1405	0.562

การสกัดด้วยวิธีแช่ (ขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	พื้นที่ใต้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคโคไซด์/100 กรัมผงใบบั่วบก)
0.15-0.25	10643	0.1464	0.586
0.25-0.425	10405	0.1430	0.572
0.425-0.6	9909	0.1358	0.543
0.6-0.85	8275	0.1122	0.449

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.4 : ตารางแสดงข้อมูลในการทดลองหาอัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารอะเซตีลโคลีไนด์ออกจากผงใบบับกแห้ง

สภาวะการทดลอง : ตัวทำละลายในการสกัด เอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร)

เวลาในการสกัด 10 นาที

ขนาดอนุภาคผงใบบับก 0.25-0.425 มิลลิเมตร

การสกัดด้วย อัลตราโซนิคที่ความเข้มข้นเหนือเสียง 100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

อัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลาย (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	พื้นที่ได้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซตีลโคลีไนด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซตีลโคลีไนด์/100 กรัมผงใบบับก)
0.12	2873	0.1138	1.138
0.3	6528	0.2171	0.868
0.6	9844	0.3108	0.622
0.96	13432	0.4122	0.515
1.2	19958	0.5966	0.600
1.44	20780	0.6198	0.517
1.8	20597	0.6146	0.410

การสกัดด้วยวิธีแช่ (คอลัมน์ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร)

อัตราส่วนบับกต่อตัวทำละลาย (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	พื้นที่ได้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซตีลโคลีไนด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซตีลโคลีไนด์/100 กรัมผงใบบับก)
0.12 g/12 ml	2264	0.0966	0.966
0.3 g/12 ml	3894	0.1426	0.570
0.6 g/12 ml	6209	0.2080	0.416
0.96 g/12 ml	9063	0.2887	0.361
1.2 g/12 ml	11340	0.3530	0.353
1.44 g/12 ml	14708	0.4482	0.374
1.8 g/12 ml	16727	0.5053	0.337

ตารางที่ ค.4 (ต่อ)

การสกัดด้วยอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

อัตราส่วนบับวกต่อตัวทำละลาย (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	พื้นที่ได้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคโคไซด์/100 กรัมผงใบบับวก)
1	2196	0.0946	0.946
2.5	5674	0.1929	0.772
5	9069	0.2889	0.578
8	17367	0.5234	0.654
10	25681	0.7583	0.758
12	31331	0.918	0.765

การสกัดด้วยวิธีแช่ (ขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 มิลลิลิตร)

อัตราส่วนบับวกต่อตัวทำละลาย (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	พื้นที่ได้ กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคโคไซด์/100 กรัมผงใบบับวก)
1	1182	0.066	0.66
2.5	3699	0.1371	0.548
5	8051	0.2601	0.520
8	14106	0.4312	0.539
10	17425	0.525	0.525
12	24277	0.6348	0.529

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.5 : ตารางแสดงข้อมูลในการทดลองหาความเข้มข้นของคลิ่นเหนือเสียงที่เหมาะสมในการสกัด
สารอะเซติลโคลิไซด์ออกจากผงบัวบกแห้ง

สภาวะการทดลอง : ตัวทำละลายในการสกัด เอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร)

ขนาดอนุภาคผงบัวบก 0.25-0.425 มิลลิเมตร

อัตราส่วนผงบัวบกต่อตัวทำละลาย 0.3 กรัม ต่อ 12 มิลลิลิตร

ที่เวลา 1 นาที

ความเข้มข้นเหนือเสียง (วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)	พื้นที่ได้กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคลิไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคลิไซด์/100 กรัมผงบัวบก)
0	2342	0.0988	0.395
9	2772	0.1109	0.444
35	3021	0.1180	0.472
64	3182	0.1225	0.490
88	4127	0.1492	0.597
100	4743	0.1667	0.667

ที่เวลา 2 นาที

ความเข้มข้นเหนือเสียง (วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)	พื้นที่ได้กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะเซติลโคลิไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะเซติลโคลิไซด์/100 กรัมผงบัวบก)
0	2603	0.1061	0.424
9	3126	0.1209	0.484
35	3488	0.1312	0.525
64	3608	0.1345	0.538
88	4852	0.1697	0.679
100	4907	0.1713	0.685

ตารางที่ ค.5 (ต่อ)
ที่เวลา 5 นาที

ความเข้มข้นเหนือเสียง (วัดต่อตารางเซนติเมตร)	พื้นที่ได้กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะซีติโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะซีติโคไซด์/100 กรัมผงใบบัวบก)
0	3005	0.1175	0.470
9	3712	0.1375	0.550
35	4830	0.1691	0.676
64	4770	0.1674	0.670
88	4975	0.1732	0.693
100	4879	0.1705	0.682

ที่เวลา 10 นาที

ความเข้มข้นเหนือเสียง (วัดต่อตารางเซนติเมตร)	พื้นที่ได้กราฟ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณอะซีติโคไซด์ที่สกัดได้ (กรัมอะซีติโคไซด์/100 กรัมผงใบบัวบก)
0	3224	0.1237	0.495
9	4120	0.1490	0.596
35	5153	0.1782	0.713
64	4205	0.1514	0.606
88	4538	0.1608	0.643
100	5015	0.1743	0.697

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลการทดลองเกี่ยวกับการศึกษาความสัมพันธ์การถ่ายเทมวลสารของการสกัดอะเซติลโคโคไซด์

ตารางที่ ง.1 : ตารางแสดงข้อมูลในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร

สภาวะการทดลอง : ตัวทำละลายในการสกัด เอทานอล 60 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร)

ขนาดอนุภาคผงใบบัวบก 0.25-0.425 มิลลิเมตร

อัตราส่วนผงใบบัวบกต่อตัวทำละลาย

กรณีอัตราไซคลิกโพรบ 0.12 กรัม ต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร

กรณีอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง 1 กรัม ต่อ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

เวลา (นาที)	อัตราไซคลิกโพรบ		แช่ (คอลัมน์)		อ่างทำความสะอาดด้วย คลื่นเหนือเสียง		แช่ (ขวดรูปชมพู่)	
	C	ln C	C	ln C	C	ln C	C	ln C
0.5	1.727	0.546	1.455	0.375	1.331	0.286	1.403	0.339
1	1.919	0.652	1.545	0.435	1.396	0.334	1.487	0.397
2	2.065	0.725	1.638	0.493	1.486	0.396	1.562	0.446
4	2.347	0.853	1.814	0.596	1.657	0.505	1.656	0.504
6	2.686	0.988	1.934	0.660	1.898	0.641	1.767	0.569
8	3.127	1.140	2.139	0.760	2.221	0.798	1.899	0.641
10	3.580	1.275	2.317	0.840	2.708	0.996	2.231	0.802
20	4.440	1.491	3.405	1.225	3.474	1.245	2.708	0.996
30	5.955	1.784	4.635	1.534	4.527	1.510	3.669	1.30
40	11.089	2.406	7.634	2.031	7.816	2.056	10.831	2.382
60	47.981	3.871	50.783	3.928	34.521	3.542	23.155	3.142
90	0	-	0	-	0	-	0	-

หมายเหตุ : $C = C_{AS} / (C_{AS} - C_A)$

โดย C_{AS} = ค่าความเข้มข้นอิ่มตัวของอะเซติลโคโคไซด์ในตัวทำละลาย

(ค่าความเข้มข้นที่เวลา 90 นาที, กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

C_A = ค่าความเข้มข้นอิ่มตัวของอะเซติลโคโคไซด์ ณ เวลาใดๆ

(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)



ภาคผนวก จ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลการทดลองเกี่ยวกับการศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสูญเสียสภาพของสารอะเซติลโคไซด์

ตารางที่ 1 : ตารางแสดงข้อมูลในการศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการสูญเสียสภาพของสารอะเซติลโคไซด์

สภาวะการทดลอง : ตัวทำละลายในการสกัด เอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร)

ขนาดอนุภาคผงใบบั่วบก 0.25-0.425 มิลลิเมตร

อัตราส่วนผงใบบั่วบกต่อตัวทำละลาย 0.3 กรัม ต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ที่เวลา 1 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มคลื่นเหนือเสียงต่างๆกัน					
	0 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร	9 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร	35 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร	64 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร	88 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร	100 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร
	200	0.5723	0.6147	0.6585	0.693	0.8067
215	0.4306	0.4719	0.5379	0.5537	0.6578	0.6356
225	0.26	0.2849	0.3388	0.3423	0.4385	0.4144
235	0.1761	0.1921	0.2265	0.2306	0.2909	0.2826
245	0.1612	0.1777	0.2025	0.2111	0.268	0.2627
260	0.1505	0.162	0.1862	0.1948	0.2436	0.2394
270	0.1483	0.159	0.1775	0.1864	0.2307	0.2269
280	0.14	0.1527	0.1669	0.1771	0.2222	0.2202
290	0.1453	0.1648	0.1778	0.1892	0.2431	0.2441
305	0.148	0.1733	0.183	0.1949	0.2523	0.2535
315	0.1533	0.1814	0.1875	0.2013	0.2636	0.2657
325	0.1621	0.1948	0.2007	0.2143	0.2831	0.2873
335	0.1577	0.189	0.1916	0.2048	0.2742	0.2748
345	0.1373	0.1613	0.1583	0.169	0.2229	0.2253
350	0.1197	0.1395	0.1298	0.1383	0.1819	0.1825
355	0.1064	0.1211	0.1215	0.1303	0.1652	0.171

ตารางที่ จ 1 (ต่อ)
ที่เวลา 1 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นเหนือเสียงต่างๆกัน					
	0 วัตต์ต่อ	9 วัตต์ต่อ	35 วัตต์ต่อ	64 วัตต์ต่อ	88 วัตต์ต่อ	100 วัตต์ต่อ
	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร
365	0.0816	0.0885	0.0851	0.0904	0.1081	0.1152
375	0.0623	0.0659	0.0589	0.0604	0.0738	0.0743
390	0.043	0.0426	0.039	0.0399	0.0493	0.0471
400	0.0343	0.0333	0.0257	0.0268	0.0318	0.029
410	0.0294	0.0282	0.0179	0.0186	0.0213	0.02
420	0.0267	0.0253	0.0134	0.0144	0.0164	0.0143
425	0.0255	0.0246	0.0125	0.0126	0.015	0.0134
435	0.0247	0.0235	0.0098	0.0098	0.0117	0.0101
450	0.0234	0.0223	0.0087	0.0092	0.0103	0.0087
460	0.0235	0.0223	0.0076	0.008	0.009	0.0074
470	0.0235	0.0228	0.0061	0.0061	0.0073	0.006
485	0.0237	0.0229	0.0072	0.0067	0.0077	0.006
495	0.0237	0.0228	0.0056	0.0059	0.0065	0.0052
500	0.0241	0.0235	0.0053	0.005	0.006	0.0047

ที่เวลา 2 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นเหนือเสียงต่างๆกัน					
	0 วัตต์ต่อ	9 วัตต์ต่อ	35 วัตต์ต่อ	64 วัตต์ต่อ	88 วัตต์ต่อ	100 วัตต์ต่อ
	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร
200	0.6833	0.6918	0.7255	0.7205	0.7928	0.863
215	0.5726	0.5408	0.5802	0.5814	0.6622	0.6873
225	0.3692	0.343	0.3631	0.3654	0.4485	0.4563
235	0.2333	0.2427	0.2511	0.2546	0.2928	0.3239

ตารางที่ จ 1 (ต่อ)
ที่เวลา 2 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นเหนือเสียงต่างๆกัน					
	0 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร	9 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร	35 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร	64 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร	88 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร	100 วัตต์ต่อ ตาราง เซนติเมตร
245	0.2101	0.2232	0.2297	0.2337	0.2666	0.3028
260	0.1925	0.2063	0.2106	0.2142	0.241	0.2736
270	0.1836	0.1996	0.2004	0.2039	0.2294	0.2624
280	0.1746	0.1898	0.1919	0.194	0.2206	0.2537
290	0.1876	0.201	0.2088	0.2118	0.2438	0.2802
305	0.1932	0.2084	0.2161	0.2204	0.2544	0.2906
315	0.1998	0.2148	0.2242	0.2276	0.2638	0.3035
325	0.2141	0.2295	0.2424	0.2461	0.2861	0.3269
335	0.2068	0.2203	0.2349	0.238	0.2765	0.3133
345	0.1697	0.1834	0.1913	0.194	0.2246	0.2579
350	0.1391	0.151	0.1563	0.1582	0.1827	0.2104
355	0.1303	0.1424	0.1465	0.1531	0.1654	0.1909
365	0.09	0.0969	0.1	0.1011	0.1116	0.1307
375	0.0614	0.0659	0.0653	0.068	0.072	0.0887
390	0.0397	0.0445	0.0431	0.0433	0.047	0.0571
400	0.0254	0.0306	0.0272	0.0269	0.0303	0.0384
410	0.0169	0.0216	0.0182	0.0176	0.0197	0.0267
420	0.012	0.0168	0.0132	0.0125	0.0139	0.02
425	0.0102	0.0158	0.0123	0.0109	0.0119	0.0191
435	0.0082	0.0129	0.0095	0.0085	0.0096	0.0155
450	0.007	0.011	0.008	0.0067	0.0074	0.0135
460	0.0058	0.0095	0.007	0.0058	0.0061	0.0119
470	0.0045	0.0077	0.0054	0.0041	0.0045	0.0102

ตารางที่ จ 1 (ต่อ)

ที่เวลา 2 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นเหนือเสียงต่างๆกัน					
	0 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	9 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	35 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	64 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	88 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร
485	0.005	0.0079	0.0059	0.0046	0.0049	0.0102
495	0.0042	0.0072	0.0051	0.004	0.004	0.0092
500	0.0035	0.0068	0.0049	0.0035	0.0035	0.0085

ที่เวลา 5 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นเหนือเสียงต่างๆกัน					
	0 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	9 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	35 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	64 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	88 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร
200	0.7128	0.7877	0.8251	0.7868	0.9042	0.8889
215	0.555	0.6595	0.6932	0.6379	0.7957	0.7324
225	0.3407	0.4539	0.4582	0.4169	0.539	0.4775
235	0.2415	0.304	0.3136	0.3025	0.3648	0.3389
245	0.0.2254	0.2771	0.2912	0.2816	0.3378	0.3178
260	0.2063	0.2536	0.2645	0.2569	0.3117	0.2856
270	0.1946	0.2435	0.2516	0.2444	0.2942	0.2751
280	0.1901	0.2292	0.2415	0.2336	0.276	0.2686
290	0.2055	0.2485	0.2672	0.2561	0.3045	0.2988
305	0.2117	0.2575	0.2795	0.2654	0.3195	0.3125
315	0.2204	0.2659	0.2902	0.2745	0.3297	0.327
325	0.236	0.2844	0.3152	0.2968	0.3575	0.3531
335	0.2261	0.2756	0.3061	0.2875	0.3479	0.3389
345	0.1863	0.2266	0.2491	0.2362	0.2855	0.2781
350	0.1517	0.1865	0.2019	0.1934	0.234	0.2256

ตารางที่ จ 1 (ต่อ)
ที่เวลา 5 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นเหนือเสียงต่างๆกัน					
	0 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	9 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	35 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	64 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	88 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	100 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร
355	0.1382	0.1755	0.1894	0.1878	0.2133	0.2113
365	0.0911	0.1225	0.1285	0.1261	0.147	0.1382
375	0.0597	0.082	0.0865	0.0863	0.0973	0.0899
390	0.0393	0.054	0.054	0.0559	0.0626	0.0571
400	0.026	0.0369	0.0335	0.0356	0.0407	0.0374
410	0.018	0.0258	0.0222	0.0242	0.0295	0.0257
420	0.0133	0.0195	0.0157	0.0185	0.0234	0.0178
425	0.0125	0.0187	0.014	0.0171	0.0224	0.0168
435	0.0095	0.0151	0.011	0.0141	0.0187	0.0131
450	0.0081	0.0133	0.009	0.0126	0.0164	0.0106
460	0.0069	0.0117	0.0077	0.0109	0.0146	0.0089
470	0.0057	0.0099	0.0064	0.0095	0.0125	0.0067
485	0.0064	0.0103	0.0063	0.0096	0.0126	0.0071
495	0.0051	0.0091	0.006	0.0085	0.0117	0.0067
500	0.0044	0.0085	0.0049	0.0077	0.0105	0.0058

ที่เวลา 10 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นเหนือเสียงต่างๆกัน					
	0 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	9 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	35 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	64 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	88 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	100 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร
200	0.7832	0.9396	0.9378	0.8381	0.8883	0.9189
215	0.7364	0.91	0.9222	0.7871	0.8493	0.8953
225	0.6756	0.6815	0.701	0.5885	0.6302	0.6676

ตารางที่ จ 1 (ต่อ)
ที่เวลา 10 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นเหนือเสียงต่างๆกัน					
	0 วัดต่อ	9 วัดต่อ	35 วัดต่อ	64 วัดต่อ	88 วัดต่อ	100 วัดต่อ
	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร	ตาราง เซนติเมตร
235	0.4356	0.4387	0.4552	0.3753	0.4069	0.4328
245	0.3007	0.3686	0.3811	0.3108	0.347	0.3694
260	0.2592	0.3171	0.3282	0.272	0.3008	0.319
270	0.2486	0.3111	0.3244	0.2678	0.2963	0.3146
280	0.2411	0.3078	0.3221	0.2621	0.2926	0.311
290	0.2709	0.3459	0.3572	0.2896	0.3249	0.3474
305	0.2872	0.3679	0.3799	0.3061	0.3445	0.3693
315	0.3005	0.3771	0.3899	0.3139	0.3535	0.3789
325	0.3292	0.4103	0.423	0.3393	0.3838	0.4126
335	0.3222	0.4273	0.4381	0.3523	0.3979	0.428
345	0.2642	0.3891	0.3975	0.3228	0.3629	0.3891
350	0.2168	0.2995	0.304	0.2507	0.2794	0.2986
355	0.21	0.2143	0.2178	0.1816	0.2011	0.2139
365	0.1409	0.1496	0.1528	0.1288	0.142	0.1497
375	0.0945	0.1054	0.1089	0.0927	0.1014	0.1058
390	0.0634	0.0752	0.0781	0.0674	0.0732	0.0756
400	0.0442	0.054	0.0562	0.05	0.0534	0.0545
410	0.0347	0.0424	0.0439	0.0395	0.0425	0.0426
420	0.0311	0.0359	0.0361	0.0341	0.0356	0.0358
425	0.0302	0.0313	0.0311	0.0302	0.0312	0.0309
435	0.0284	0.0291	0.0288	0.0285	0.0293	0.0286
450	0.0271	0.0277	0.0266	0.0271	0.0274	0.0268
460	0.0261	0.0268	0.0257	0.0261	0.0266	0.0261

ตารางที่ จ 1 (ต่อ)
ที่เวลา 10 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นเหนือเสียงต่างๆกัน					
	0 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	9 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	35 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	64 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	88 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร	100 วัตต์ต่อตาราง เซนติเมตร
470	0.0253	0.0268	0.0257	0.0264	0.0264	0.0258
485	0.0262	0.0259	0.0247	0.0259	0.0261	0.0251
495	0.0256	0.0261	0.0247	0.0259	0.0259	0.0252
500	0.0263	0.0265	0.0252	0.0262	0.0266	0.0257

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ฉ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลการทดลองเกี่ยวกับการศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียง

ต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของผงบัวบก

ตารางที่ ๑.1 : ตารางแสดงการกระจายขนาดอนุภาคในการศึกษาผลของคลื่นเหนือเสียงต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคผงบัวบกที่เวลาต่างๆกัน

สภาวะการทดลอง : ตัวทำละลายในการสกัด เอทานอล 40 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร)

ขนาดอนุภาคผงบัวบก 0.25-0.425 มิลลิเมตร

อัตราส่วนผงบัวบกต่อตัวทำละลาย

กรณีอัลตราโซนิกโพรบ 0.3 กรัมต่อ12 ลูกบาศก์เซนติเมตร

กรณีอ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง 2.5 กรัมต่อ100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	กรณีไม่ใช้คลื่น เหนือเสียง	ปริมาตรของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตร (เปอร์เซ็นต์)					
		กรณีใช้อัลตราโซนิกโพรบ			กรณีใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง		
		10 นาที	30 นาที	60 นาที	10 นาที	30 นาที	60 นาที
4.535	0.0067	0.02	0.02	0.05	0.0067	0.0067	0.0067
5.285	0.02	0.04	0.04	0.09	0.0067	0.0067	0.0067
6.16	0.027	0.053	0.057	0.13	0.013	0.013	0.013
7.175	0.04	0.07	0.073	0.16	0.017	0.013	0.02
8.36	0.047	0.08	0.087	0.183	0.02	0.02	0.023
9.74	0.053	0.093	0.09	0.197	0.023	0.02	0.027
11.345	0.053	0.093	0.093	0.2	0.023	0.02	0.027
13.215	0.053	0.09	0.093	0.197	0.023	0.017	0.023
15.395	0.047	0.083	0.083	0.19	0.017	0.013	0.02
17.94	0.04	0.07	0.077	0.177	0.013	0.0067	0.013
20.9	0.03	0.06	0.07	0.173	0.01	0.0067	0.0067
24.345	0.023	0.053	0.067	0.177	0.017	0.0067	0.0067
28.365	0.017	0.057	0.073	0.187	0.023	0.023	0.027
33.045	0.013	0.063	0.09	0.213	0.037	0.033	0.037
38.495	0.04	0.073	0.107	0.25	0.047	0.037	0.047
44.85	0.067	0.08	0.123	0.29	0.057	0.047	0.057
52.25	0.1	0.26	0.137	0.337	0.057	0.047	0.06
60.87	0.13	0.08	0.137	0.367	0.057	0.053	0.06
70.915	0.157	0.07	0.117	0.373	0.053	0.047	0.053
82.615	0.17	0.05	0.093	0.347	0.04	0.037	0.043

ตารางที่ ๑.1

ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	กรณีไม่ใช้คลื่น เหนือเสียง	ปริมาณของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า (เปอร์เซ็นต์)					
		กรณีใช้อัลตราโซนิกโพรบ			กรณีใช้อ่างทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง		
		10 นาที	30 นาที	60 นาที	10 นาที	30 นาที	60 นาที
96.245	0.163	0.043	0.067	0.303	0.033	0.033	0.033
112.125	0.137	0.043	0.07	0.273	0.0467	0.05	0.053
130.625	0.113	0.07	0.143	0.323	0.107	0.13	0.137
152.175	0.147	0.27	0.333	0.51	0.297	0.333	0.347
177.285	0.29	0.61	0.703	0.887	0.65	0.73	0.747
206.54	0.62	1.197	1.327	1.49	1.263	1.417	1.423
240.615	1.207	2.153	2.313	2.413	2.307	2.537	2.517
280.315	2.147	3.67	3.87	3.787	4.033	4.33	4.29
326.57	3.597	5.893	6.157	5.727	6.67	6.953	6.993
380.455	5.7	8.783	8.983	8.17	9.95	10.123	10.383
443.23	8.333	11.683	11.537	10.64	12.743	12.88	13.257
516.36	10.987	13.317	12.793	12.373	13.683	13.833	14.16
601.56	13.167	13.833	13.137	13.33	13.553	13.707	13.927
700.82	14.637	11.997	11.543	11.96	11.457	11.337	11.503
816.45	13.44	9.673	9.483	9.72	9.117	8.71	8.77
951.165	10.89	7.207	7.193	7.127	6.637	6.157	6.03
1108.11	7.703	4.887	4.977	4.597	4.28	3.92	3.453
1290.945	4.387	2.673	2.843	2.07	2.147	1.993	1.307
1503.95	1.21	0.6	0.797	0	0.457	0.36	0.09
1752.105	0	0	0	0	0	0	0
2041.205	0	0	0	0	0	0	0
2378	0	0	0	0	0	0	0
2770.37	0	0	0	0	0	0	0
3227.48	0	0	0	0	0	0	0



ภาคผนวก ช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณต่างๆ

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้

จากกราฟมาตรฐานอะเซติลโคโคไซด์ จะได้สมการ

$$y = 35386x - 1153$$

โดย $y =$ พื้นที่ใต้กราฟ

$x =$ ความเข้มข้นของสารอะเซติลโคโคไซด์ (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

การฉีดแต่ละครั้งปริมาณ 40 ไมโครลิตร

ดังนั้นจะได้

$$x = \frac{y + 1153}{35386}$$

สำหรับการสกัดด้วยวิธีอัลตราโซนิคโพรบ

เป็นเวลา 4 นาที ได้พื้นที่ใต้กราฟ

$$y = 3914$$

ดังนั้นจะได้

$$x = \frac{3914 + 1153}{35386} = 0.1432 \text{ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

อัตราส่วนบวบคต่อตัวทำละลาย = 0.12 กรัมต่อ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ความเข้มข้นของสารอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ = 0.1432 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

จะได้ ตัวทำละลาย 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีสารอะเซติลโคโคไซด์ 0.1432 มิลลิกรัม

ตัวทำละลาย 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีสารอะเซติลโคโคไซด์ $0.1432 \times 12 = 1.72$ มิลลิกรัม

จะได้ บวบค 0.12 กรัม มีสารอะเซติลโคโคไซด์ 1.72 มิลลิกรัม

บวบค 100 กรัม มีสารอะเซติลโคโคไซด์ $\frac{1.72 \times 100}{0.12} = 1432$ มิลลิกรัม = 1.432 กรัม

ดังนั้น ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ = 1.432 กรัมต่อ 100 กรัมผงบวบค

ตัวอย่างการคำนวณความแตกต่างของปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้

เปรียบเทียบที่ เวลา 4 นาทีสำหรับวิธีอัลตราโซนิคโพรบและวิธีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง

เป็นเวลา 4 นาที วิธีอัลตราโซนิคโพรบสกัดอะเซติลโคโคไซด์ได้ 1.432 กรัมต่อ 100 กรัมผงบวบค

วิธีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงสกัดอะเซติลโคโคไซด์ได้ 0.524 กรัมต่อ 100 กรัมผงบวบค

วิธีอัลตราโซนิคโพรบสกัดอะเซติลโคโคไซด์ได้มากกว่าวิธีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง

$$= 1.432 - 0.524 = 0.908 \text{ กรัมต่อ 100 กรัมผงบวบค} = \frac{0.908}{0.524} \times 100 = 173.28 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ดังนั้นวิธีอัลตราโซนิคโพรบสกัดได้มากกว่าวิธีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง = 63.13 เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการสกัดอะเซติลโคโคไซด์

การคำนวณอัตราการสกัดอะเซติลโคโคไซด์โดยวิธีอัลตราโซนิคโพรบที่ เวลา 4 นาที

ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ที่เวลา 2 นาที = 1.287 กรัมต่อ 100 กรัมผงบัวบก = 1.287 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ที่เวลา 4 นาที = 1.432 กรัมต่อ 100 กรัมผงบัวบก = 1.432 เปอร์เซ็นต์

ช่วงเวลาที่ใช้ = 4 - 2 = 2 นาที

ดังนั้นอัตราการสกัดที่เวลา 4 นาที = $\frac{(1.432 - 1.287)}{(4 - 2)} = 0.0725$ เปอร์เซ็นต์ต่อนาที

ตัวอย่างการคำนวณค่าความมีขี้และค่าความหนืดของตัวทำละลาย

ก. การคำนวณค่าความมีขี้ของเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์

ค่าความมีขี้ของเอทานอลความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 5.2

ค่าความมีขี้ของน้ำ มีค่าเท่ากับ 9

ดังนั้น ค่าความมีขี้ของเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ $(0.4)(5.2) + (0.6)(9) = 7.48$

ข. การคำนวณค่าความหนืดของเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์

ค่าความหนืดของเอทานอลความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.2 เซนติพอยส์

ค่าความหนืดของน้ำ มีค่าเท่ากับ 1.0 เซนติพอยส์

ดังนั้น ค่าความหนืดของเอทานอลความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ $(0.4)(1.2) + (0.6)(1) = 1.08$

เซนติพอยส์

ตัวอย่างการคำนวณผลผลิต (yield) อะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้จากผงใบบัวบก

การคำนวณผลผลิตอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้โดยวิธีอัลตราโซนิคโพรบที่เวลา 1 นาที

ข้อมูลของบัวบกที่นำมาใช้ในการสกัดโดยเฉลี่ย

จากบัวบกสด (ก้าน+ใบ) = 20 กิโลกรัม

ได้ใบบัวบกสด = 7.4 กิโลกรัม

ได้ใบบัวบกแห้ง = 1.1 กิโลกรัม

ปริมาณอะเซติลโคโคไซด์ที่สกัดได้ที่เวลา 1 นาที = 1.195 กรัมต่อ 100 กรัมผงใบบัวบกแห้ง

โดยสมมติให้ปริมาณใบบัวบกแห้งที่นำมาบด มีขนาด 0.25-0.425 มิลลิเมตรทั้งหมด

ผงใบบัวบกแห้ง 1.1 กิโลกรัม ได้จากใบบัวบกสด 7.4 กิโลกรัม

ผงใบบัวบกแห้ง 0.1 กิโลกรัม ได้จากใบบัวบกสด = $\frac{0.1 \times 7.4}{1.1} = 0.67$ กิโลกรัม

ใบบัวบกสด 7.4 กิโลกรัม ได้จากบัวบกสด (ก้าน+ใบ) = 20 กิโลกรัม

ใบบวบกสด 0.67 กิโลกรัม ได้จากบวบกสด (ก้าน+ใบ) = $\frac{20 \times 0.67}{7.4} = 1.81$ กิโลกรัม

ดังนั้นผงใบบวบกแห้ง 100 กรัม ได้จากบวบกสด 1.81 กิโลกรัม

บวบกสด 1810 กรัม ได้สารอะเซยีติโคไซด์ 1.195 กรัม

บวบกสด 100 กรัม ได้สารอะเซยีติโคไซด์ = $\frac{1.195 \times 100}{1810} = 0.066$ กรัม

ดังนั้นผลผลิตอะเซยีติโคไซด์ที่สกัดได้จากผงใบบวบกที่สภาวะดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 0.066 เปอร์เซ็นต์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ซ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนและค่าใช้จ่ายของการสกัดสารอะเซตีลโคโคไซด์จากบัวบก

ตัวอย่างการคำนวณจุดคุ้มทุนของการสกัดอะเซตีลโคโคไซด์ ปริมาณ 1 กิโลกรัมด้วยอัลตราโซนิคโพรบ ที่เวลาในการสกัด 1 นาที

จากผลการทดลองในภาคผนวก ง พบว่า ปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์ที่สกัดได้เท่ากับ 1.195 กรัมต่อ 100 กรัมของผงบัวบกแห้ง

การคำนวณต้นทุนของการผลิตอะเซตีลโคโคไซด์ 1 กิโลกรัม

ก) ค่าสมุนไพร

การสกัดปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์	1.195 กรัม	ใช้บัวบก	100 กรัม
การสกัดปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์	1000 กรัม	ใช้บัวบก	$(1000 \times 100) / 1.195 = 84$ กิโลกรัม

บัวบกราคา 30 บาทต่อกิโลกรัม
 ดังนั้นค่าสมุนไพร = $84 \times 30 = 2520$ กิโลกรัม

ข) ค่าตัวทำละลาย

อัตราส่วนบัวบกต่อตัวทำละลาย 0.3 กรัมต่อ 12 มิลลิลิตร

การสกัดปริมาณอะเซตีลโคโคไซด์	1000 กรัม	ใช้บัวบก	84 กิโลกรัม
------------------------------	-----------	----------	-------------

ใช้บัวบก 0.3 กรัม ต้องใช้ตัวทำละลาย 12 มิลลิลิตร

ใช้บัวบก 84000 กรัม ต้องใช้ตัวทำละลาย $(84000 \times 12) / 0.3 = 3360$ ลิตร

ตัวทำละลายที่ใช้ เอทานอลความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณเอทานอลที่ใช้ $(60 \times 3360) / 100 = 2016$ ลิตร และน้ำที่ใช้ $(40 \times 3360) / 100 = 1334$ ลิตร

เอทานอลราคา 75 บาทต่อลิตร น้ำราคา 2 บาทต่อลิตร

ดังนั้นค่าตัวทำละลาย = $(75 \times 2016) + (2 \times 1334) = 153,868$ บาท

ค) ค่าแรงงาน

เวลาที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 1 นาที

บัวบกปริมาณ 0.3 กรัม ใช้เวลาในการสกัดเท่ากับ 1 นาที

บัวบกปริมาณ 84000 กรัม ใช้เวลาในการสกัดเท่ากับ $(84000 / 0.3) = 4667$ ชั่วโมง

ค่าแรงงาน 20 บาทต่อชั่วโมง

ดังนั้นค่าแรง = $(20 \times 4667) = 93,340$ บาท

ง) ค่าไฟฟ้า

ค่าไฟฟ้า 4 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

กำลังงานของคลื่นเหนือเสียง 50 วัตต์

ดังนั้นค่าไฟฟ้าของคลื่นเหนือเสียง

$$= (4 \text{ บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง}) \times (0.05 \text{ กิโลวัตต์}) \times (4667 \text{ ชั่วโมง}) = 933 \text{ บาท}$$

กำลังงานของปั้มน้ำ 35 วัตต์

ดังนั้นค่าไฟฟ้าในส่วนปั้มน้ำ = $(4 \text{ บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง}) \times (0.035 \text{ กิโลวัตต์}) \times (4667 \text{ ชั่วโมง}) = 653 \text{ บาท}$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวสมจิตร วงศ์คำชัย เกิดเมื่อวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2515 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปี 2537 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2541 และสำเร็จการศึกษาในปี 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย