หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

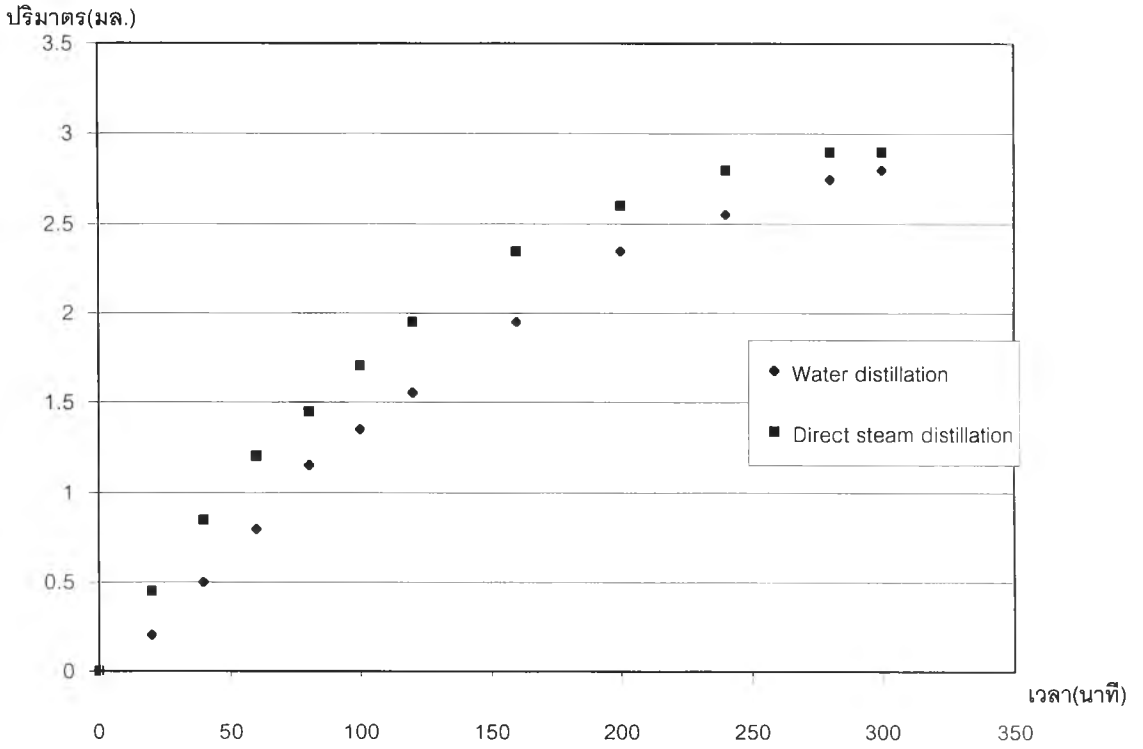
เนื้อหาในบทนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก

ในส่วนแรก เป็นส่วนขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดน้ำมันระเหยจากขมิ้นชันระหว่างวิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อน และ วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง เพื่อหาวิธีการสกัดที่เหมาะสม ในส่วนที่ 2 เป็นส่วนการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน โดยทำการศึกษา ผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัด โดยรายละเอียดของปัจจัยที่ทำการศึกษา สภาวะการทดลอง และเหตุผลในการเลือกสภาวะดังกล่าว ได้กล่าวถึงไว้ในบทที่ 3 การสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันมีการดำเนินงานแบบกะ (batch operation) โดยใช้สารละลายทวีน 80 เป็นตัวทำละลาย หลังจากทำการสกัดเสร็จ สารสกัดที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์หาการดูดกลืนแสงของสารเคอร์คูมินอยด์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณหาค่าร้อยละการสกัด (%recovery)

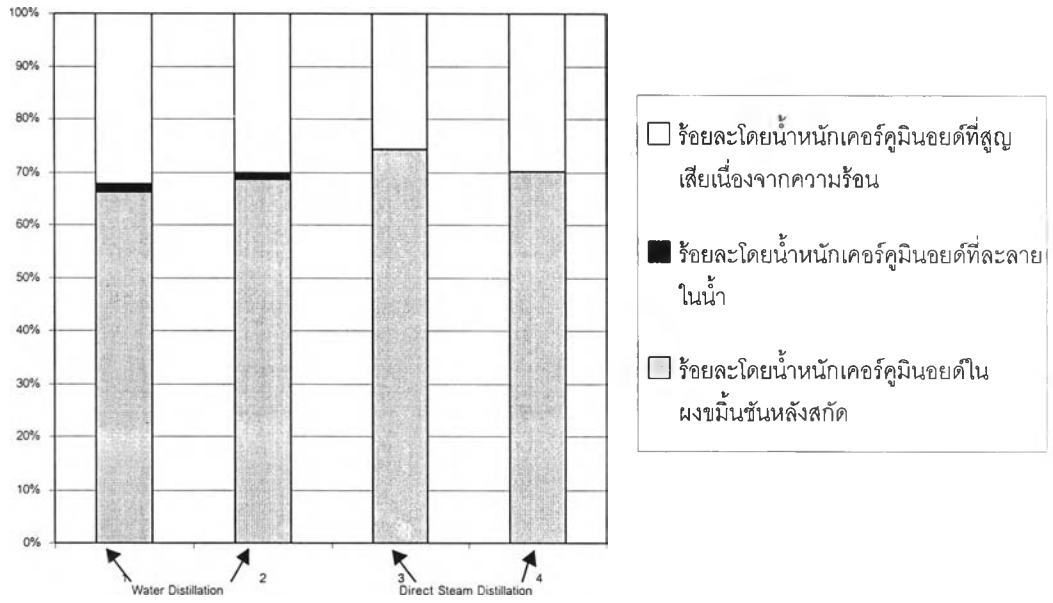
4.1 การทดลองเพื่อหาวิธีการเตรียมวัตถุดิบที่เหมาะสม

4.1.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดน้ำมันระเหยจากขมิ้นชัน ระหว่าง วิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อน และวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง

สำหรับชุดการทดลองนี้ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากขมิ้นชัน ในช่วงเวลาระหว่าง 0 ถึง 320 นาที ในส่วนของวัตถุดิบ ใช้ผงขมิ้นชันที่ซื้อมาครั้งเดียวกันสำหรับการสกัด และทำการผสมผงขมิ้นชันให้เข้ากันเป็นอย่างดี เพื่อควบคุมให้ปริมาณน้ำมันระเหยในขมิ้นชันที่ใช้ในการกลั่นทั้ง 2 วิธีให้มีค่าใกล้เคียงกัน พร้อมทั้งควบคุมปริมาตรของเหลวที่กลั่นได้จากวิธีการกลั่นทั้ง 2 วิธี ให้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ ข-1 ในภาคผนวก ข เพื่อควบคุมปริมาณความร้อนที่ให้แก่ระบบ ในส่วนของผลการทดลองแสดงไว้ใน รูปที่ 4.1 และ แผนภูมิที่ 4.1 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำมันระเหยที่กลั่นได้ กับเวลาการสกัดเปรียบเทียบระหว่างวิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อน และ วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าร้อยละโดยน้ำหนักของสารเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชัน หลังการสกัดระหว่างวิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อน และ วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง

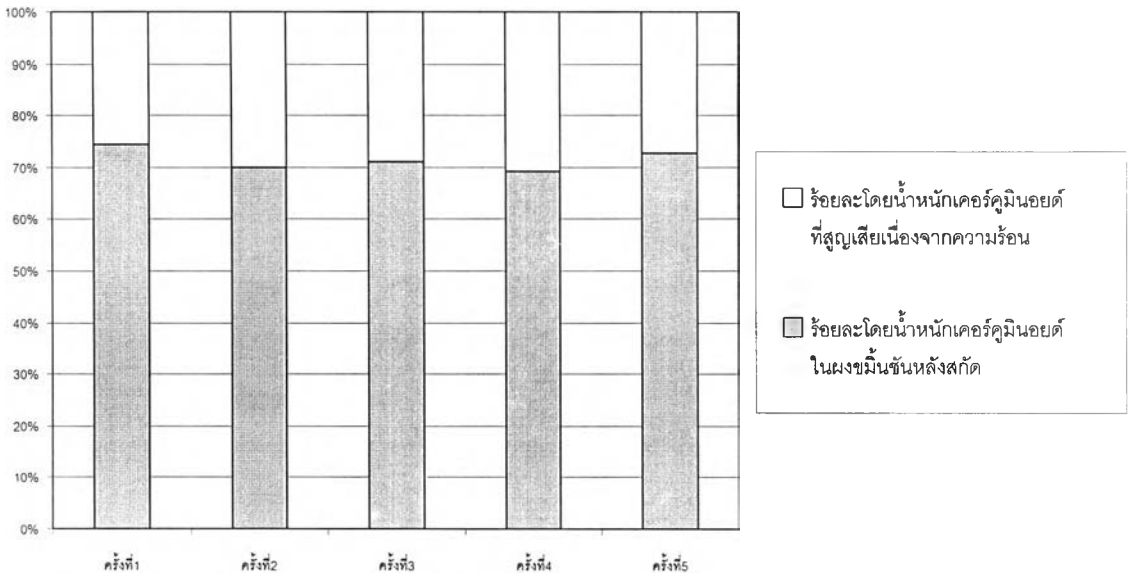
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาการสกัดมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาตรน้ำมันระเหยที่กลั่นได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันระเหยส่วนใหญ่จะถูกสกัดออกจากขมิ้นชัน เมื่อทำการกลั่นเป็นระยะเวลา 200 นาที คิดเป็นร้อยละ 35.7 และ 89.7 ของปริมาตรน้ำมันระเหยทั้งหมดที่กลั่นได้ด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อน และ วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง สามารถสกัดน้ำมันระเหยออกจากขมิ้นชัน ได้ดีกว่า วิธีการกลั่นด้วย-น้ำร้อน และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.2 พบว่า ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของสารเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชันหลังสกัดน้ำมันระเหยด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง มีค่าเท่ากับ 70 และ 74 % ตามลำดับ มากกว่า เมื่อทำการสกัดน้ำมันระเหยด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 66 และ 68 % ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรงมีขั้นตอนการกลั่นที่น้อยกว่า กล่าวคือไม่มีขั้นตอนการเหวี่ยงแยก (centrifuge) ผงขมิ้นชันและน้ำออกจากกันหลังจากทำการสกัดน้ำมันระเหยออกจากขมิ้นชันเรียบร้อยแล้ว และใช้ระยะเวลาการอบแห้งผงขมิ้นชันน้อยกว่าวิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อนประมาณ 6 ชั่วโมง

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงเลือกวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง เป็นวิธีการสกัดน้ำมันระเหยออกจากขมิ้นชัน และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 พบว่า ปริมาตรน้ำมันระเหยที่กลั่นได้จากวิธีการดังกล่าวมีค่าคงที่ (2.9 มิลลิลิตร) เมื่อทำการกลั่นเป็นระยะเวลามากกว่า 300 นาที ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาดังกล่าว เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันระเหย

4.1.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ที่เหลืออยู่ในผงขมิ้นชันหลังสกัดน้ำมันระเหยด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง

จากผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 4.1.1 พบว่า มีปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์สูญเสียเนื่องจากความร้อนในระหว่างการสกัดน้ำมันระเหยจากขมิ้นชันด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง ดังนั้นในชุดการทดลองนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบ ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ที่เหลืออยู่ในผงขมิ้นชันหลังสกัดน้ำมันระเหยด้วยวิธีการดังกล่าว โดยนำผงขมิ้นชันน้ำหนัก 80 กรัม มาทำการสกัดน้ำมันระเหยออก ด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรงเป็นระยะเวลา 300 ชั่วโมง และทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าร้อยละโดยน้ำหนักของสารเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชันหลังสกัดน้ำมันระเหยด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง

จากผลการทดลองพบว่า ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของสารเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชันหลังสกัดน้ำมันระเหยในแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 74.4 70.0 71.2 69.3 และ 72.7 % ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำโดยตรง สามารถควบคุม ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ที่เหลืออยู่ในขมิ้นชันหลังสกัดให้มีค่าใกล้เคียงกันได้

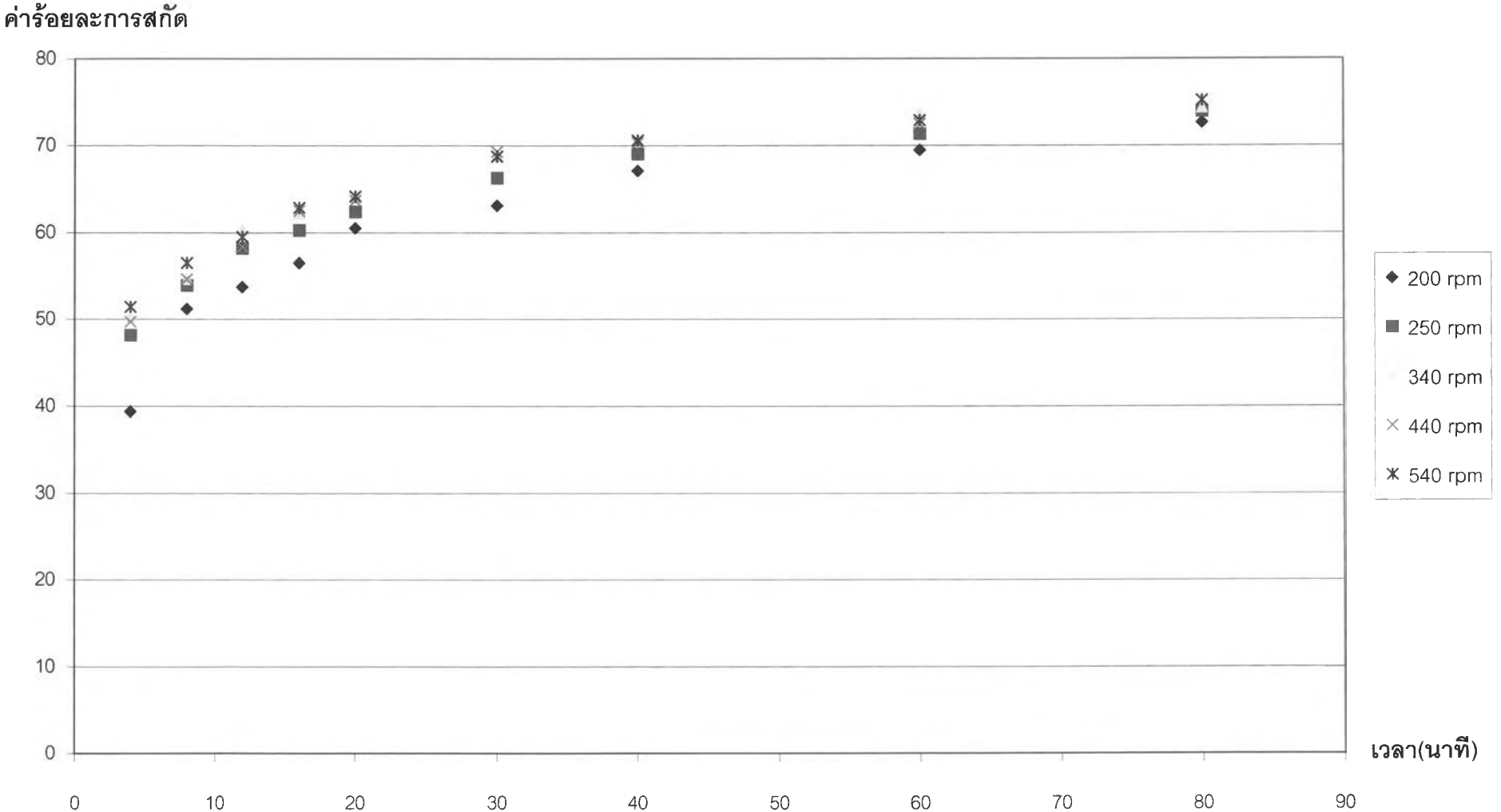
4.2 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน

4.2.1 ผลของความเร็วรอบการปั่นกวนต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน

สำหรับชุดการทดลองนี้ทำการศึกษาการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันในช่วงความเร็วรอบการปั่นกวน ตั้งแต่ 200 รอบต่อนาที ถึง 540 รอบ ต่อนาที ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ส่วนสภาวะการทดลองอื่น ๆ ถูกกำหนดให้คงที่ตลอดการทดลอง โดยในส่วนของวัตถุดิบ ใช้ผงขมิ้นชันที่สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด เมช 50 ได้ และใช้ตัวทำละลายที่มีค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 เท่ากับ 1 % โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.8 นำวัตถุดิบมาผสมกันให้ได้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย เท่ากับ 1 กรัม ต่อ 100 ซี.ซี. ทำการสกัดสารที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง (28-32 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 80 นาที ในส่วนของผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ ซึ่งตารางและกราฟดังกล่าวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการปั่นกวน กับ ค่าร้อยละการสกัด (%recovery) ที่ค่าความเร็วรอบต่าง ๆ

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการปั่นกวน กับ ค่าร้อยละการสกัด (%recovery) ในช่วงความเร็วรอบการปั่นกวน ตั้งแต่ 200 ถึง 540 รอบต่อนาที และเวลาการสกัด ตั้งแต่ 0 ถึง 80 นาที

	ค่าร้อยละการสกัด				
เวลา (นาที)	200 rpm	250 rpm	340 rpm	440 rpm	540 rpm
4	39.4	48.2	49.7	50.3	51.4
8	51.2	53.9	54.6	54.6	56.5
12	53.7	58.2	54.8	59.5	60.3
16	56.5	60.3	62.2	62.5	62.9
20	60.5	62.4	63.7	64.1	64.2
30	63.1	66.3	68.8	68.8	69.3
40	67.1	69.1	70.3	70.6	70.6
60	69.5	71.4	72.5	72.9	73.7
80	72.7	74.0	74.4	75.2	75.2



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบการปั่นกวนกับค่าร้อยละการสกัด ที่ความเร็วรอบ 200,250,340,440,540 รอบต่อนาที

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อความเร็วรอบการปั่นกวนมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าร้อยละ-การสกัด(%recovery) สารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อความเร็วรอบการ-ปั่นกวน มากกว่า 340 รอบต่อนาที การเพิ่มความเร็วรอบการปั่นกวนจะส่งผลให้ ค่าร้อยละ-การสกัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังแสดงค่าไว้ในตารางที่ 4.2

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ดังต่อไปนี้

ในขณะที่ทำการปั่นกวนผงขมิ้นชันในตัวทำละลาย การเพิ่มความเร็วรอบการปั่นกวน จะส่งผลให้ ค่าความหนาของชั้นฟิล์มขอบเขต (boundary layer thickness ,δ) ระหว่างเฟสของ-แข็งและของเหลว มีค่าลดลง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสารระหว่างเฟส (k_L) มีค่า เพิ่มขึ้น ดังสมการที่ 4.1 [McCabe, W.L.,1985; Fogler, H.S.,1992] ส่งผลให้การสกัดเกิดได้ดีขึ้น และค่าร้อยละการสกัดที่เวลา t ใด ๆ มีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อความเร็วรอบการปั่นกวนมีค่าสูงกว่า 340 รอบต่อนาที จะมีวอร์เทค (vortex) เกิดขึ้นภายในระบบซึ่งทำให้ผงขมิ้นชันและตัวทำละลาย ภายในภาชนะเกิดการเคลื่อนที่แบบหมุนวน (circulating flow) รอบแกนใบพัด [McCabe, W.L.,1985] การเพิ่มความเร็วรอบการปั่นกวนหลังเกิดวอร์เทค เพียงแต่ช่วยให้ผงขมิ้นชันและ ตัวทำละลายเคลื่อนที่แบบหมุนวนตามกัน รอบแกนใบพัดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ความหนาของชั้น ฟิล์มขอบเขตมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งทำให้ ค่าร้อยละการสกัดที่เวลา t ใด ๆ มีค่าเพิ่มขึ้น เพียงเล็กน้อย ดังตารางที่ 4.2 ดังนั้นในชุดการทดลองนี้ จึงเลือกค่าความเร็วรอบการปั่นกวนที่ 340 รอบต่อนาที เป็นค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมในการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน และใช้สำหรับชุดการทดลองถัดไป

$$k_L = \frac{D_{AB}}{\delta} \qquad \text{----------(4.1)}$$

เมื่อ k_L = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร (convective mass transfer coefficeint)

D_{AB} = ค่าการแพร่ของโมเลกุล (molecular diffusivity)

δ = ค่าความหนาของชั้นฟิล์มขอบเขต (boundary layer thickness)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสกัดเมื่อเพิ่มความเร็วรอบการปั่นกวนในช่วงระหว่าง 340 ถึง 540 รอบต่อนาที

	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสกัด	
เวลา (นาที)	**เพิ่มความเร็วรอบการปั่นกวนจาก 340 รอบต่อนาทีเป็น 440 รอบต่อนาที**	**เพิ่มความเร็วรอบการปั่นกวนจาก 440 รอบต่อนาทีเป็น 540 รอบต่อนาที**
4	1.2	2.2
8	0.0	3.5
12	1.9	1.3
16	0.5	0.6
20	0.6	0.2
30	0.0	0.7
40	0.4	0.0
60	0.6	1.1
80	1.1	0.0

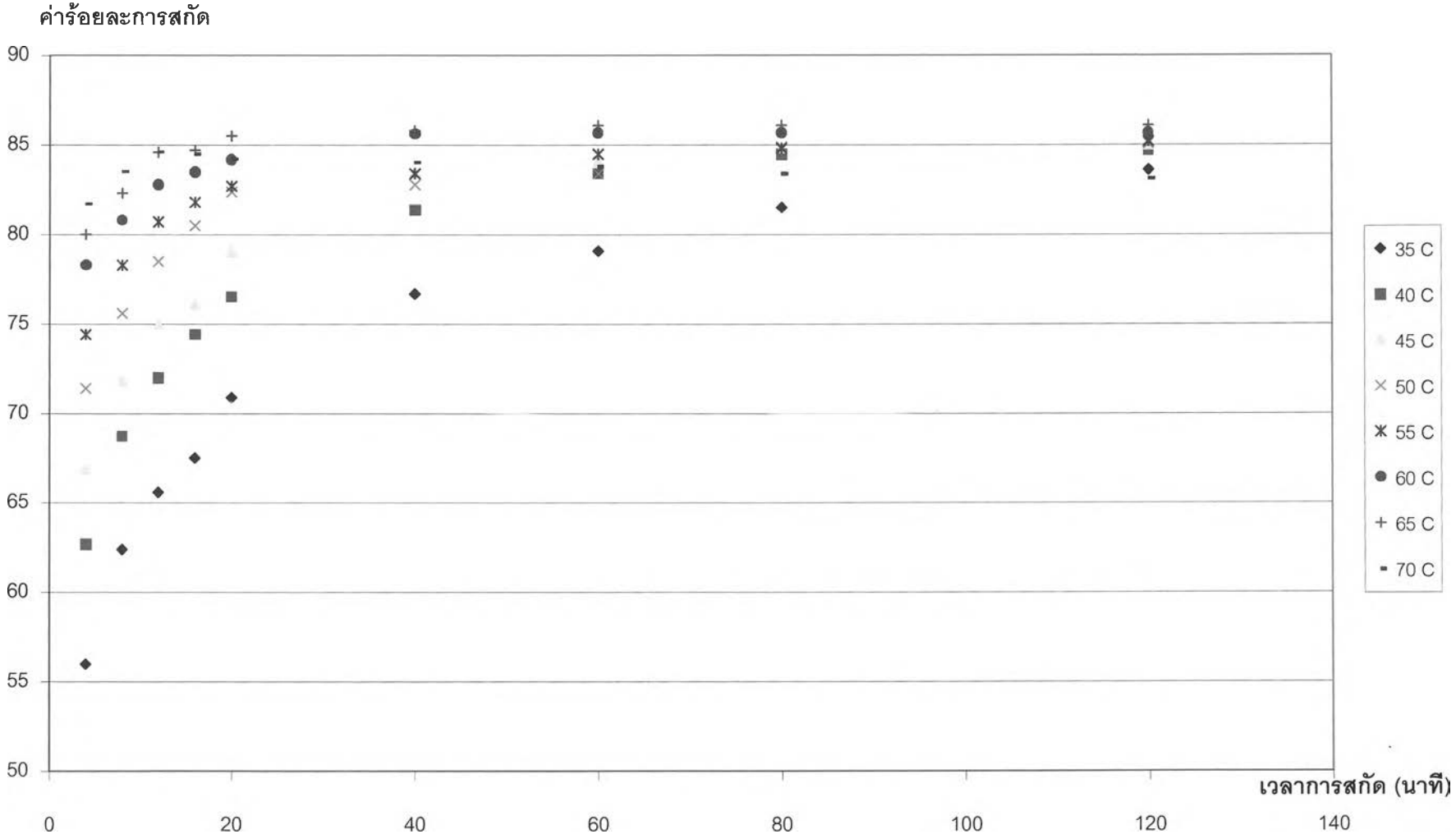
4.2.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน

สำหรับชุดการทดลองนี้ทำการศึกษาการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 35 ถึง 70 องศาเซลเซียส และ เวลาการสกัดระหว่าง 0 ถึง 120 นาที ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ส่วนสภาวะการทดลองอื่น ๆ ถูกกำหนดให้คงที่ตลอดการทดลอง โดยในส่วนของวัตถุดิบ ใช้ผงขมิ้นชันที่สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด เมช 50 ได้ และใช้ตัวทำละลายที่มีค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 เท่ากับ 1 % โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.8 นำวัตถุดิบมาผสมกันให้ได้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชัน :ปริมาตรตัวทำละลาย เท่ากับ 1.5 กรัม: 150 ซีซี. พร้อมทั้งควบคุมความเร็วรอบการปั่นกวนให้มีค่าเท่ากับ 340 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 4.2.1

ในส่วนของผลการทดลองการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5 ตามลำดับ โดยตารางและกราฟ ดังกล่าวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาการสกัด กับ ค่าร้อยละการสกัด (%recovery) ตั้งแต่อุณหภูมิ 35 ถึง 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาการสกัดกับค่าร้อยละการสกัดที่อุณหภูมิการสกัด 35,40,45,50,55,60,65,70 องศาเซลเซียส และเวลาการสกัด ตั้งแต่ 0 ถึง 120 นาที

	ค่าร้อยละการสกัด (% Recovery)							
เวลา (นาที)	35 C	40 C	45 C	50 C	55 C	60 C	65 C	70 C
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	56.0	62.7	66.9	71.4	74.4	78.3	80.0	81.7
8	62.4	68.7	71.8	75.6	78.3	80.8	82.3	83.5
12	65.6	72.0	75.0	78.5	80.7	82.8	84.6	84.6
16	67.5	74.4	76.1	80.5	81.8	83.5	84.7	84.5
20	70.9	76.5	79.0	82.4	82.7	84.2	85.5	84.2
40	76.7	81.4	83.5	82.8	83.4	85.6	85.8	84.0
60	79.1	83.4	84.1	83.4	84.5	85.7	86.1	83.8
80	81.5	84.5	84.8	84.9	84.8	85.7	86.1	83.4
120	83.6	84.7	85.0	85.1	85.2	85.7	86.1	83.1



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการสกัดกับอุณหภูมิการสกัด เมื่อทำการสกัดในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 35 ถึง 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 120 นาที

จากผลการทดลองพบว่า ในช่วง 20 นาทีแรก สารเคอร์คูมินอยด์ถูกสกัดออกจากขมิ้นชันอย่างรวดเร็ว โดยเมื่อทำการสกัดเป็นระยะเวลา 20 นาที ค่าร้อยละการสกัด (% recovery) จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 70-85 % หลังจากนั้นค่าร้อยละการสกัดจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สารเคอร์คูมินอยด์ถูกสกัดออกจากขมิ้นชันได้ช้าลง โดยเฉพาะช่วงเวลาระหว่าง 60 ถึง 120 นาที ซึ่งค่าร้อยละการสกัดมีค่าเกือบคงที่ นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิการสกัดส่งผลให้ค่าร้อยละการสกัดมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารเคอร์คูมินอยด์ถูกสกัดออกจากขมิ้นชันได้มากขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาการสกัดเท่าเดิม แต่เมื่ออุณหภูมิการสกัดเพิ่มสูงขึ้นเป็น 70 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละการสกัดจะมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการสลายตัวของสารเคอร์คูมินอยด์ (decomposition) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในงานวิจัยของ Yang,L (1996) ซึ่งทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของสารเคอร์คูมินอยด์ พบว่า สารเคอร์คูมินอยด์ที่ละลายอยู่ในสารละลายที่เป็นกรด (acidic aqueous solution) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการสลายตัวเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (first-order reaction) โดยที่อัตราการสลายตัวของสารเคอร์คูมิน จะสูงกว่า สารดีเมทอกซีเคอร์คูมินและบิสดีเมทอกซีเคอร์คูมิน ตามลำดับ

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ก่อนอื่นขอพิจารณาผลของอุณหภูมิการสกัดที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer coefficient) สำหรับระบบการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเฟสของแข็ง-ของเหลวในถังกวน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร(k_L) มีความสัมพันธ์กับ ค่าเรย์โนยด์นัมเบอร์ (Re) และ ชนิดท์นัมเบอร์ (Sc) ดังสมการที่ 4.2 [Kaifeng Hou,2000]

$$\left(\frac{k_L L}{D_{AB}}\right) = 0.33\left(\frac{\rho V L}{\mu}\right)^{0.5}\left(\frac{\mu}{\rho D_{AB}}\right)^{0.33} \qquad \text{----------(4.2)}$$

เมื่อ k_L = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer coefficient)

L = ความยาวคุณสักษณะ (a characteristic length)

V = ค่าความเร็ว (velocity)

μ = ค่าความหนืดของสารละลาย (viscosity)

ρ = ความหนาแน่นของสารละลาย (density)

D_{AB} = ค่าการแพร่ของโมเลกุล (molecular diffusivity)

จากสมการที่ 4.2 เมื่ออุณหภูมิการสกัดเพิ่มขึ้นจาก T_1 เป็น T_2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสารจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ดังสมการ

$$k_L(T_2) = k_L(T_1)\left(\frac{D_{AB}(T_2)}{D_{AB}(T_1)}\right)^{0.66}\left(\frac{\left[\rho/\mu\right](T_2)}{\left[\rho/\mu\right](T_1)}\right)^{0.167} \qquad \text{----------(4.3)}$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ 4.3 พบว่า

- เทอม $\left(\frac{D_{AB}(T_2)}{D_{AB}(T_1)}\right)^{0.66}$ มีค่ามากกว่า 1 เนื่องจากเมื่อพิจารณาสมการที่ 4.4 :ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D_{AB}) สำหรับของเหลว [Fogler H.S.,1992] พบว่า เมื่ออุณหภูมิการสกัดสูงขึ้น ค่าความหนืดของของเหลวมีค่าลดลง ส่งผลให้ D_{AB} มีค่าสูงขึ้น

$$\left(\frac{D_{AB}(T_2)}{D_{AB}(T_1)}\right) = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)\left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right) \qquad \text{----------(4.4)}$$

- เทอม $\left(\frac{\left[\rho/\mu\right](T_2)}{\left[\rho/\mu\right](T_1)}\right)^{0.167}$ มีค่ามากกว่า 1 ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อพิจารณา ตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำ ที่อุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 70 องศาเซลเซียส [Perry ,R.H.,1984] พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ค่า ρ/μ มีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ $\left[\frac{\left[\rho/\mu\right](T_2)}{\left[\rho/\mu\right](T_1)}\right]$ มีค่ามากกว่า 1 โดยในที่นี้สมมุติให้สารสกัด (extract) เป็นสารละลายเจือจาง ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำ มีค่าเท่ากับ ค่าความหนาแน่นและ ค่าความหนืดของน้ำ ที่สภาวะเดียวกัน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความหนาแน่นและความหนืดของน้ำ ที่อุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (C)	ρ (kg/m^3)	μ (kg*m/sec)	ρ/μ (sec/m^4)
30	995.7	0.00085	$1.17*10^6$
40	992.2	0.00070	$1.42*10^6$
50	988.0	0.00059	$1.67*10^6$
60	983.2	0.00050	$1.97*10^6$
70	977.8	0.00041	$2.38*10^6$

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร(k_L)มีค่าสูงขึ้น

สำหรับระบบการถ่ายโอนมวลสารจากเฟสของแข็งไปยังของเหลว อัตราการถ่ายโอนมวลสารมีความสัมพันธ์กับ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟส และผลต่างของความเข้มข้น ดังสมการที่ 4.5

$$N_A = k_L A[C_{AS} - C_A] \text{----------(4.5)}$$

เมื่อ N_A = อัตราการถ่ายโอนมวลสาร (kg_{mol}/sec)

A = พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟสของแข็ง-ของเหลว (m^2)

C_{AS} = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟส (interface)

C_A = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย (bulk solution) ที่เวลา t ใดๆ

สำหรับระบบที่มีการดำเนินงานแบบกะ (batch operation) และมีปริมาตรตัวทำละลายคงที่ (V) จะได้ว่า

$$N_A = V\left(\frac{dC_A}{dt}\right) \text{----------(4.6)}$$

แทนค่าลงในสมการที่ 4.5 แล้วทำการแก้สมการอนุพันธ์ ซึ่งมีสภาวะขอบเขต (boundary condition) ดังนี้

$$BC \ : \ t = 0 \qquad C_A = 0$$

จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ในสารละลาย (C_A) กับ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร เวลาการสกัด ปริมาตรตัวทำละลาย และ พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟส ดังสมการที่ 4.7

$$C_A = C_{AS}\left(1 - e^{\left(\frac{-k_L A}{V}\right)t}\right) \qquad \text{----------(4.7)}$$

ค่าร้อยละการสกัด ที่เวลา t ใดๆ [%R(t)] มีความสัมพันธ์กับ อัตราการถ่ายโอนมวลสาร (N_A) และปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชัน (M_0) ดังสมการที่ 4.8

$$\%R(t) = \frac{\int_0^t N_A dt}{M_O} * 100 \qquad \text{---------- (4.8)}$$

เมื่อแทนค่า C_A และ N_A จากสมการที่ 4.6,4.7 ลงในสมการที่ 4.8 แล้วทำการแก้สมการอินทริกัล (integral) จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าร้อยละการสกัด กับ ค่าความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟส ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร ปริมาตรตัวทำละลาย และพื้นที่ผิวสัมผัส ดังสมการที่ 4.9

$$\%R(t) = \frac{C_{AS}V\left(1 - e^{\left(\frac{k_L A}{V}\right)t}\right)}{M_O} * 100 \qquad \text{----------(4.9)}$$

จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อพิจารณาสมการที่ 4.9 พบว่า เมื่ออุณหภูมิการสกัดเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันจะมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร (k_L) มีค่าสูงขึ้น และเมื่อเวลาการสกัดเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการสกัด จะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโพเน็นเชียล (exponential) มุ่งสู่คงที่

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.5 พบว่า ในช่วง 20 นาทีแรก สารเคอร์คูมินอยด์จะถูกสกัดออกจากขมิ้นชันอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิการสกัดระหว่าง 50 ถึง 65 องศา-เซลเซียส ซึ่งมีค่าร้อยละการสกัดมากกว่า 80 % เมื่อทำการสกัดเป็นระยะ 20 นาที แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการสกัดอีกเท่าตัวเป็น 40 นาที พบว่า ค่าร้อยละการสกัดในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเพียง 0.4 ถึง 0.8 % ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลา 20 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน และเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการสกัด 20 นาที พบว่า ค่าร้อยละการสกัดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิการสกัดมีค่าสูงขึ้น แต่เนื่องจาก อุณหภูมิการสกัด 65 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้กับอุณหภูมิการสลายตัวของสารเคอร์คูมินอยด์ (70 องศาเซลเซียส) ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ และใช้ค่าอุณหภูมิและเวลาดังกล่าวสำหรับชุดการทดลองถัดไป

ตารางที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสกัด ที่อุณหภูมิระหว่าง 50 ถึง 65 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มระยะเวลาการสกัดจาก 20 นาที เป็น 40 นาที

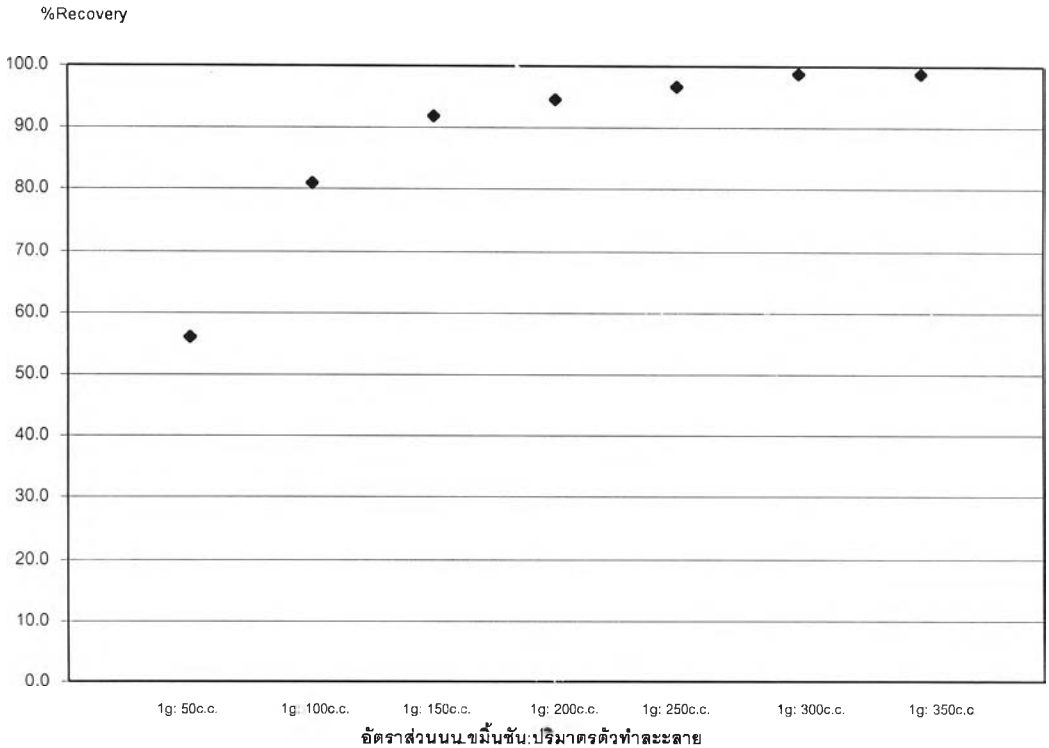
	ค่าร้อยละการสกัด		**เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้น**
อุณหภูมิ	**20 นาที**	**40 นาที**	**ของค่าร้อยละการสกัด**
50	82.8	83.4	0.5
55	83.4	84.5	0.8
60	84.2	85.6	1.7
65	85.5	85.8	0.4

4.2.3 ผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน

สำหรับชุดการทดลองนี้ทำการศึกษาการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันในช่วงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย ตั้งแต่ 1 กรัม ต่อ 50 ซี.ซี. ถึง 1กรัม ต่อ350 ซี.ซี. ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ส่วนสภาวะการทดลองอื่น ๆ ถูกกำหนดให้คงที่ตลอดการทดลอง โดยในส่วนของวัตถุดิบ ใช้ผงขมิ้นชันที่สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาดเมช 50 ได้ และใช้ตัวทำละลายที่มีค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 เท่ากับ 1% โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.8 ทำการสกัดสารที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยควบคุมความเร็วรอบการปั่นกวนให้มีค่าเท่ากับ 340 รอบต่อนาที ตลอดทั้ง-การทดลอง ค่าความเร็วรอบการปั่นกวน ค่าอุณหภูมิ และเวลาการสกัด ที่ใช้ในการทดลองชุดนี้ เป็นค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 4.2.1-4.2.2 ตามลำดับ ในส่วนของผลการทดลองแสดงไว้ใน ตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.6 ตามลำดับ โดยที่ตารางและกราฟดังกล่าว แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลายต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์จากขมิ้นชัน ในช่วงอัตราส่วนตั้งแต่ 1 กรัม ต่อ 50 ซี.ซี. ถึง 1 กรัม ต่อ 350 ซี.ซี.

ตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย กับ ค่าร้อยละการสกัดในช่วงอัตราส่วนตั้งแต่ 1 กรัม ต่อ 50 ซี.ซี. ถึง 1 กรัม ต่อ 350 ซี.ซี.

อัตราส่วนน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย	ค่าร้อยละการสกัด
1 กรัม ต่อ 50 ซี.ซี.	57.4
1 กรัม ต่อ 100 ซี.ซี.	82.8
1 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี.	94.0
1 กรัม ต่อ 200 ซี.ซี.	96.2
1 กรัม ต่อ 250 ซี.ซี.	97.2
1 กรัม ต่อ 300 ซี.ซี.	99.1
1 กรัม ต่อ 350 ซี.ซี.	99.4



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย กับค่าร้อยละการสกัด ในช่วงอัตราส่วนตั้งแต่ 1 กรัม ต่อ 50 ซี.ซี. ถึง 1 กรัม ต่อ 350 ซี.ซี.

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่ออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลายมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการสกัดจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสกัดค่อนข้างสูง ในช่วงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย ตั้งแต่ 1 กรัม ต่อ 50 ซี.ซี. ถึง 1 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี. หลังจากนั้นค่าร้อยละการสกัดจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง จนมีค่าเกือบคงที่ในช่วงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย ตั้งแต่ 1 กรัม ต่อ 250 ซี.ซี. ถึง 1 กรัม ต่อ 350 ซี.ซี.

จากผลการทดลองข้างต้นอธิบายได้ดังต่อไปนี้

สำหรับระบบการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเฟสของแข็งและเฟสของเหลวในถังกวน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร (k_L) มีความสัมพันธ์กับ ค่าเรย์โนด์นัมเบอร์ (Re) และ ชนิดท์นัมเบอร์ (Sc) ดังสมการที่ 4.1 ซึ่งได้กล่าวถึงไว้แล้วในส่วนการวิจารณ์ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์

$$\left(\frac{k_L L}{D_{AB}}\right) = 0.33\left(\frac{\rho VL}{\mu}\right)^{0.5}\left(\frac{\mu}{\rho D_{AB}}\right)^{0.33} \quad \text{----------(4.1)}$$

สำหรับระบบที่มีการดำเนินงานแบบกะ (batch operation) และมีปริมาตรตัวทำละลาย (V) คงที่ ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย (C_A) กับเวลาการสกัด (t) ปริมาตรตัวทำละลาย (V) และพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟส (A) ดังสมการที่ 4.6

$$C_A = C_{AS}\left(1 - e^{\left(\frac{-k_L A}{V}\right)t}\right) \quad \text{----------(4.6)}$$

เพราะฉะนั้น

$$C_{AS} - C_A = C_{AS}\left(e^{\left(\frac{-k_L A}{V}\right)t}\right) \quad \text{----------(4.7)}$$

ในที่นี้พิจารณาโดยให้ ปริมาตรตัวทำละลายมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณผงขมิ้นชันที่ใช้สกัดมีค่าคงที่ จะพบว่า

1. เมื่อพิจารณาสมการที่ 4.1 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร (kL) มีค่าคงที่ ทั้งนี้เนื่องจาก สารที่ใช้ในการสกัด (ตัวทำละลาย และ ตัวถูกละลาย) เป็นสารชนิดเดียวกัน และทำการทดลองภายใต้สภาวะเดียวกัน (อุณหภูมิ ความดัน และ ความเร็วของของเหลว) ดังนั้น ρ, μ, D_{AB} มีค่าเท่ากัน

2. ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟส (A) มีค่าคงที่ ทั้งนี้เนื่องจาก ใช้ผงขมิ้นชันที่มีขนาดเดียวกัน (ผ่านตะแกรงร่อนเมช 50) และมีการกระจายตัวของขนาดผงขมิ้นชันเหมือนกัน ทั้งนี้สมมุติให้ ผงขมิ้นชันที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบในแต่ละครั้งผสมเข้าด้วยกันเป็นอย่างดี

3. เมื่อพิจารณาสมการที่ 4.7 ที่เวลาการสกัด t ใดๆ ระบบที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย ต่ำกว่า หรือกล่าวได้ว่ามีปริมาตรตัวทำละลาย (V) มากกว่า และค่าความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟส (C_{AS}) ต่ำกว่า ส่งผลให้ผลต่างความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ระหว่างที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟสกับสารละลาย (C_{AS}-C_A)มีค่าสูงกว่า

สมการอัตราการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเฟสของแข็งไปยังของเหลว

$$Na = k_L A(C_{AS} - C_A) \quad \text{----------(4.4)}$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ 4.4 จะพบว่า ที่เวลาเริ่มต้นการสกัด แต่ละระบบ จะมีอัตราการถ่ายโอนมวลสารเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ในสารละลาย (C_A) และที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟส (C_{AS})มีค่าเป็นศูนย์ และ จากเหตุผลดังกล่าวไปแล้วข้างต้น จะได้ว่า ที่เวลาการสกัด t ใด ๆ ระบบที่ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลายต่ำกว่า หรือกล่าวได้ว่ามีปริมาตรตัวทำละลายมากกว่า จะมีค่าอัตราการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเฟส (N_A) สูงกว่า เพราะฉะนั้น ตลอดระยะเวลาการสกัดสาร 20 นาที ระบบที่ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย ต่ำกว่า จะสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันได้มากกว่า ส่งผลให้มีค่าร้อยละการสกัดสูงกว่า

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสกัด กับการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย พบว่า เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย ที่ใช้ในการทดลอง จาก 1 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี. เป็น 1 กรัม ต่อ 200 ซี.ซี. ค่าร้อยละการสกัดมีค่าลดลงเพียง 2.3 % ดังนั้นจึงเลือกค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชัน ต่อ ปริมาตรตัวทำละลาย เท่ากับ 1 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี. เป็นค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันและใช้อัตราส่วนดังกล่าวสำหรับชุดการทดลองถัดไป

ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสกัด กับการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย

การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย	**เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสกัด**
จาก 1 กรัม ต่อ 50 ซี.ซี. เป็น 1 กรัม ต่อ 100 ซี.ซี.	44.3
จาก 1 กรัม ต่อ 100 ซี.ซี. เป็น 1 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี.	13.5
จาก 1 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี. เป็น 1 กรัม ต่อ 200 ซี.ซี.	2.3
จาก 1 กรัม ต่อ 200 ซี.ซี. เป็น 1 กรัม ต่อ 250 ซี.ซี.	1.0
จาก 1 กรัม ต่อ 250 ซี.ซี. เป็น 1 กรัม ต่อ 300 ซี.ซี.	2.0
จาก 1 กรัม ต่อ 300 ซี.ซี. เป็น 1 กรัม ต่อ 350 ซี.ซี.	0.3

4.2.4 ผลของขนาดผงขมิ้นชันต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน

ในการทดลองชุดนี้ จะแบ่งขนาดผงขมิ้นชันที่ใช้ในการทดลองออกเป็น 5 กลุ่ม โดยนำผงขมิ้นชันที่ผ่านการกำจัดน้ำมันหอมระเหยมาคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อน เพื่อแบ่งกลุ่มผงขมิ้นชันที่ใช้ในการทดลอง ตารางข้างล่างแสดงน้ำหนักผงขมิ้นชันในแต่ละกลุ่มหลังจากทำการคัดแยกขนาด จากผงขมิ้นชันที่เตรียมไว้น้ำหนัก 110 กรัม พร้อมทั้งร้อยละโดยน้ำหนัก

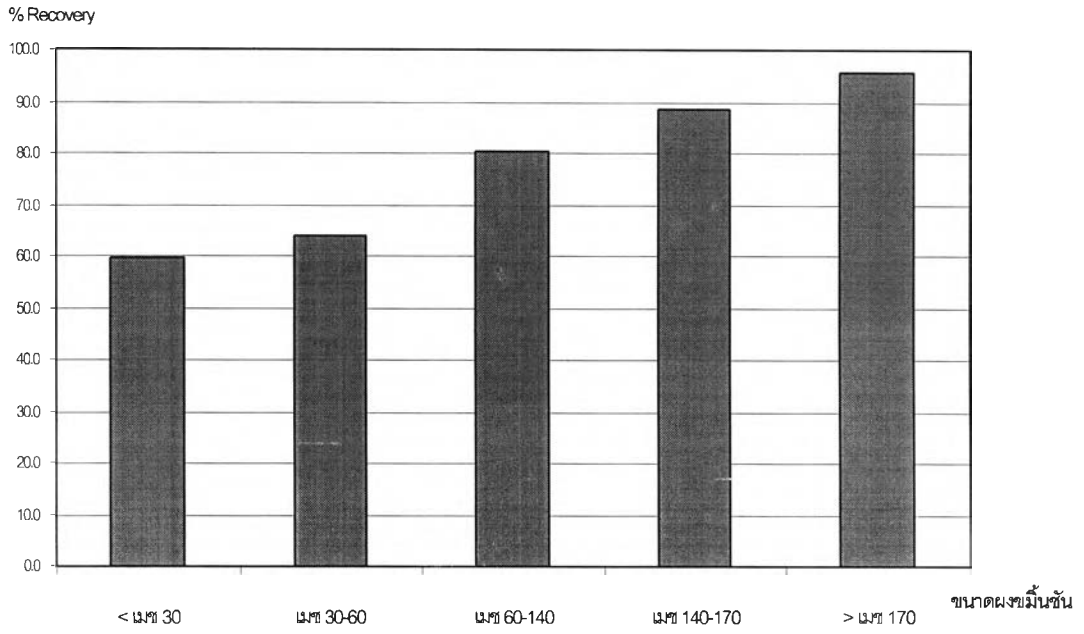
ขนาดผงขมิ้นชัน	น้ำหนักผงขมิ้นชัน (กรัม)	ร้อยละโดยน้ำหนัก
< เมช 30	18.4	17.1
เมช 30-60	19.2	17.9
เมช 60-140	20.2	18.8
เมช 140-170	21.3	19.9
> เมช 170	28.2	26.3

ส่วนสภาวะการทดลองอื่น ๆ ถูกกำหนดให้คงที่ โดยใช้ตัวทำละลายที่มีค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 เท่ากับ 1 % โดยน้ำหนัก และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.8 นำวัตถุดิบมาผสมกันให้ได้ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย เท่ากับ 1 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี. ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที พร้อมทั้งควบคุมความเร็วรอบการปั่นกวนให้มีค่าคงที่ เท่ากับ 340 รอบต่อนาที ตลอดการทดลอง

ค่าความเร็วรอบการปั่นกวน อุณหภูมิการสกัด เวลาการสกัด และ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย ที่ใช้ในชุดการทดลองนี้ เป็นค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 4.2.1-4.2.3 ตามลำดับ ในส่วนของผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผงขมิ้นชันต่อการสกัดเคอร์คูมินอยด์ ที่ขนาดผงขมิ้นชัน < เมช 30 ,ระหว่างเมช 30-60 ,ระหว่างเมช 60-140 , ระหว่างเมช 140-170 , > เมช 170

ขนาดผงขมิ้นชัน	%Recovery
< เมช 30	59.7
ระหว่างเมช 30-60	64.1
ระหว่างเมช 60-140	80.2
ระหว่างเมช 140-170	88.7
> เมช 170	95.6



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผงขมิ้นชันกับ %Recovery

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อผงขมิ้นชันมีขนาดเล็กลง ค่าร้อยละการสกัด จะมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าร้อยละการสกัดของผงขมิ้นชันที่สามารถผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 60 ได้ มีค่าค่อนข้างสูงภายใต้สภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 80 ถึง 95 ดังนั้นจึงเลือกผงขมิ้นชันขนาดดังกล่าว เป็นขนาดผงขมิ้นชันที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารเคอร์คูมิ-นอยด์ออกจากขมิ้นชันและใช้สำหรับชุดการทดลองถัดไป สำหรับการสกัดในเชิงอุตสาหกรรมนั้น จะเลือกผงขมิ้นชันที่มีขนาดละเอียดมากน้อยแค่ไหนนั้น ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องบดว่าจะบดผงขมิ้นชันได้ละเอียดมากน้อยแค่ไหน

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ก่อนอื่นขอพิจารณาผลของขนาดผงขมิ้นชันที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร(k_L) สำหรับระบบการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเฟสของแข็ง-ของเหลวในถังกวน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร มีความสัมพันธ์กับ ค่าเรย์โนล์นัมเบอร์ (Re) และ ชนิดท์นัมเบอร์ (Sc) ดังสมการที่ 4.1 ซึ่งได้กล่าวถึงไว้แล้วในส่วนการวิจารณ์ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ โดยในที่นี้กำหนดให้ ขนาดของผงขมิ้นชัน (d_p) เป็นค่าความยาวคุณลักษณะ (L) จะได้ว่า

$$\frac{k_L d_P}{D_{AB}} = 0.33\left(\frac{\rho V d_p}{\mu}\right)^{0.5}\left(\frac{\mu}{\rho D_{AB}}\right)^{0.33} \quad \text{----------(4.10)}$$

เนื่องจากสารที่ใช้ในระบบ (ตัวทำละลายและตัวถูกละลาย) เป็นสารชนิดเดียวกัน และทำการสกัดภายใต้สภาวะเดียวกัน (อุณหภูมิ ความดัน ความเร็วของของเหลว) ดังนั้น D_{AB},ρ,μ มีค่าเท่ากัน

เพราะฉะนั้น

$$k \propto \frac{1}{(d_p)^{0.5}} \quad \text{----------(4.11)}$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ 4.11 พบว่า เมื่อผงขมิ้นชันมีขนาดเล็กลง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสารข้ามเฟส(k_L) จะมีค่าสูงขึ้น

จากเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้ว ในส่วนการวิจารณ์ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ พบว่า สำหรับระบบการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเฟสของแข็ง-ของเหลว ที่มีการดำเนินงานแบบกะ (batch operation) และมีปริมาตรตัวทำละลายคงที่ (V) ค่าร้อยละการสกัดที่เวลา t ใด ๆ [%R(t)] มีความสัมพันธ์กับ ค่าความเข้มข้นของเคอร์คูมินอยด์ในเฟสของเหลวที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟส (C_{AS}) สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร (k_L) ปริมาตรตัวทำละลาย (V) พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟส (A) และ ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ในผงขมิ้นชัน (M_O) ดังสมการ 4.9

$$\%R(t) = \frac{C_{AS}V\left(1-e^{\left(\frac{-k_L A}{V}\right)t}\right)}{M_O} * 100 \quad \text{----------(4.9)}$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ 4.9 พบว่า เมื่อทำการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ โดยใช้ปริมาตรตัวทำละลายเท่ากัน เป็นระยะเวลา 20 นาที ระบบที่มีขนาดผงขมิ้นชันละเอียดกว่า จะมีค่าร้อยละการสกัด (%Recovery) สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟส (A) และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสาร (k_L) สูงกว่า

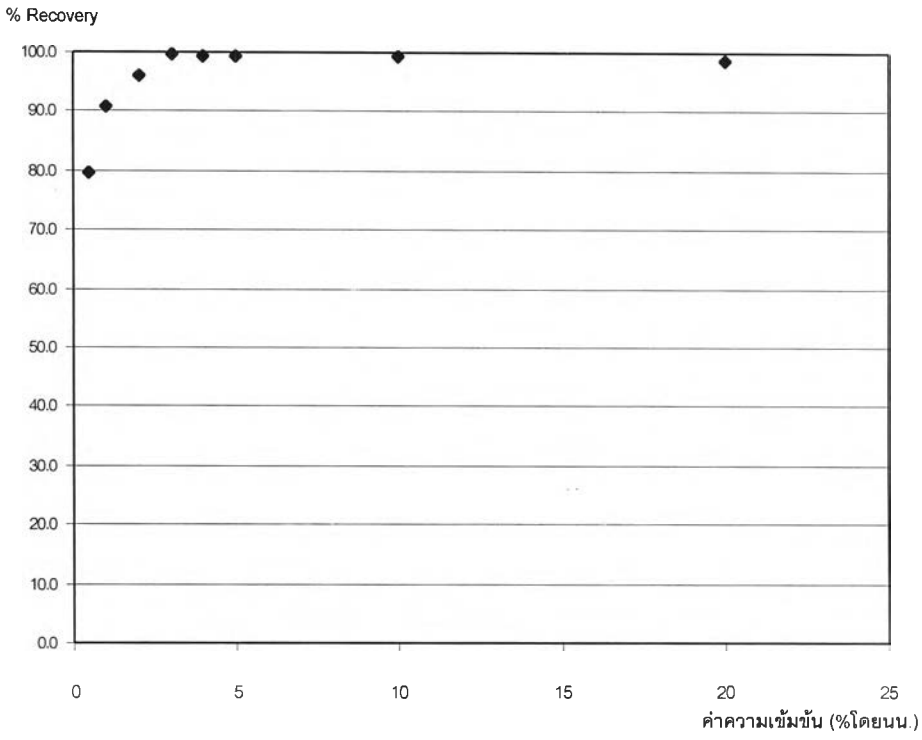
4.5.5 ผลของความเข้มข้นของสารทวีน 80 ในตัวทำละลายต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน

สำหรับชุดการทดลองนี้ทำการศึกษาการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชันในช่วงความเข้มข้นของสารทวีน 80 ในตัวทำละลาย ตั้งแต่ 0.5 ถึง 20 % โดยน้ำหนัก ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ส่วนสภาวะการทดลองอื่น ๆ ถูกกำหนดให้คงที่ตลอดการทดลอง โดยในส่วนของวัตถุดิบ ใช้ผงขมิ้นชันที่สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด เมช 60 ได้ และใช้ตัวทำละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6.8 ผสมวัตถุดิบให้ได้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลาย เท่ากับ 1 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี. ทำการสกัดสารที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยควบคุมความเร็วรอบการปั่นกวนให้มีค่าเท่ากับ 340 รอบต่อนาที ตลอดทั้งการทดลอง สภาวะการทดลองที่ใช้ในการทดลองชุดนี้ เป็นค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 4.2.1-4.2.4 ตามลำดับ

ในส่วนของผลการทดลองแสดงไว้ใน ตารางที่ 4.9 และ รูปที่ 4.8 ตามลำดับ โดยที่ตารางและรูปดังกล่าว แสดงผลของค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 ในตัวทำละลายต่อค่าร้อยละการสกัด

ตารางที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 ในตัวทำละลาย ต่อค่าร้อยการสกัด ที่ค่าความเข้มข้น 0.5,1,5,10,20 % โดยน้ำหนัก

ค่าความเข้มข้นสารทวีน80 (% โดยน้ำหนัก)	ค่าร้อยละการสกัด
0.5	79.5
1	90.9
2	95.9
3	99.6
4	99.5
5	99.5
10	99.3
20	98.8



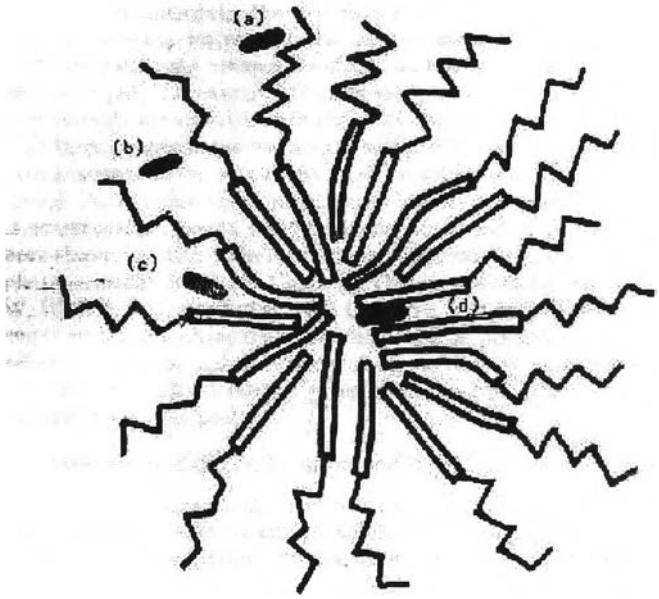
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 ในตัวทำละลายกับ ค่าร้อยละการสกัด

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารทวีน 80 ในตัวทำละลายมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ ค่าร้อยละการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน (%recovery) มีค่าสูงขึ้น จนมีค่าเกือบคงที่ ($\approx$ 99.6 %) เมื่อความเข้มข้นของสารทวีน 80 ในตัวทำละลายมีค่ามากกว่า 3 % โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงเลือกค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 ในตัวทำละลาย เท่ากับ 3 % โดยน้ำหนัก เป็นค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน และใช้สำหรับชุดการทดลองถัดไป

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้ดังต่อไปนี้

เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายมีค่าต่ำมาก (very dilute aqueous solution) สารลดแรงตึงผิวจะละลายอยู่ในน้ำในรูปแบบของโมเลกุลอิสระ (monomeric form) และสารลดแรงตึงผิวบางส่วนจะดูดซับ (adsorb) อยู่ที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟส แต่ถ้าความเข้มข้นของสารลดแรงตึวผิวในสารละลายมีค่าสูงกว่า ค่าความเข้มข้นวิกฤต (critical micelle concentration :CMC) จะเกิดการรวมตัวกันของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเป็นไมเซลล์ โดยหันด้านที่มีขั้ว (hydrophillic) เข้าหาน้ำ และ ด้านที่ไม่มีขั้ว (hydrophobic) รวมตัวกันภายในไมเซลล์ ดังรูปที่ 4.9 [Rosen , 1989; John, F.S.,1995] ซึ่งแสดงรูปร่างของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวจำพวก พอลีออกซีเอทิลีน ซอร์บิเทน เอสเทอร์ (polyoxyethylene sorbitan

esters) ซึ่งสารทวีน 80 ถูกจัดอยู่ในกลุ่มนี้ และแสดงตำแหน่งของตัวทำละลายที่ละลายเข้ามาในไมเซลส์



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะไมเซลส์ของสารลดแรงตึงผิวจำพวก พอลีออกซีเอทิลีน ซอร์บิเทน เอส-เทอร์ และ ตำแหน่งของตัวถูกละลายภายในไมเซลส์ [Rosen,H.S.,1989]

แทน สายโซ่พอลีออกซีเอทิลีน (polyoxyethylene chain) เป็นส่วนที่มีขั้ว

แทน สายโซ่ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon chain) เป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว

ในการทดลองชุดนี้ ค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 ที่ละลายในน้ำ ล้วนมีค่าสูงกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤต (CMC) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1.2*10^{-5}$ โมลาร์ หรือ 0.0152 กรัมต่อลิตร [Ick T.Y.,1995] ดังแสดงไว้ในตารางด้านล่าง ดังนั้นโมเลกุลของสารทวีน 80 ที่ใช้ในการทดลองชุดนี้ จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของไมเซลส์

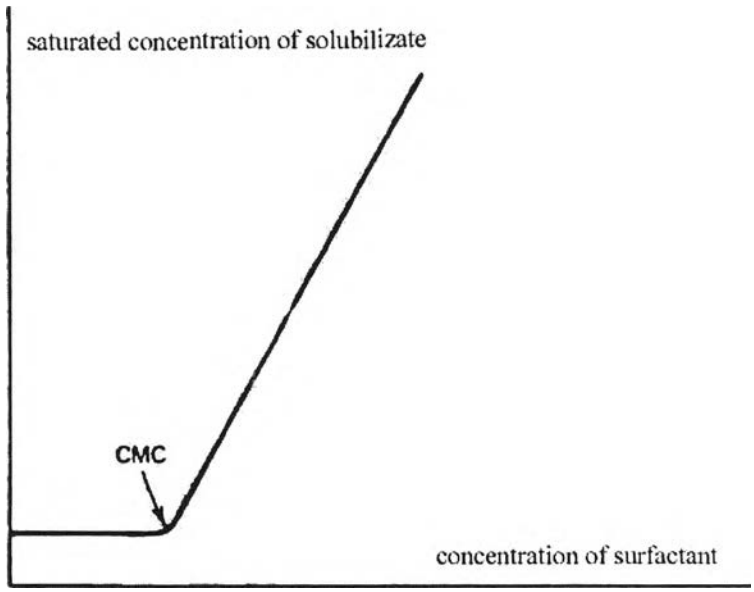
ที่ความเข้มข้นสูงกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤต สารทวีน 80 ที่เติมลงไปในสารละลายจะเกิดการรวมตัวกันเป็นไมเซลส์อันใหม่ (micelle formation) [David A.E.,1991] ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของสารทวีน 80 ในสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวนไมเซลส์ในสารละลายเพิ่มขึ้น และจากที่กล่าวแล้วข้างต้นว่า ตัวถูกละลายจะละลายเข้ามาอยู่ในไมเซลส์ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของจำนวนไมเซลส์ในตัวทำละลาย จะส่งผลให้ สารเคอร์คูมินอยด์สามารถละลายในตัวทำละลายได้มากขึ้น ทำให้ค่าร้อยละการสกัดมีค่าสูงขึ้น ดังข้อมูลให้ตารางที่ 4.9 แต่เมื่อค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 มีค่ามากกว่า 3 % โดยน้ำหนัก การเพิ่มค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 ไม่ได้ช่วยให้การสกัดเกิดได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก

สารเคอร์คูมินอยด์เกือบทั้งหมด ถูกสกัดออกจากผงขมิ้นชัน (ค่าร้อยละการสกัดอยู่ในช่วง 98.8 ถึง 99.6 %) ซึ่งการที่สารเคอร์คูมินอยด์ถูกสกัดออกจากขมิ้นชันได้เกือบทั้งหมด เนื่องมาจากความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ที่สกัดได้ในสารละลาย ยังไม่ถึงสภาวะอิ่มตัว

จากเหตุผลที่กล่าวว่า ค่าความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ในสารละลายยังไม่ถึงสภาวะอิ่มตัว ที่ค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 มากกว่า 3 % โดยน้ำหนัก สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในตัวทำละลาย กับ ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่สภาวะอิ่มตัว [Rosen H.S. ,1989] พบว่า เมื่อค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ ค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะอิ่มตัวมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 4.8 พบว่า ที่ค่าความเข้มข้นมากกว่า 3 % โดยน้ำหนัก เมื่อความเข้มข้นของสารทวีน 80 ในตัวทำละลาย มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ที่สกัดได้ มีค่าเกือบคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าความเข้มข้นของสารเคอร์คูมินอยด์ในสารละลาย ยังไม่ถึงสภาวะอิ่มตัว

ค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80	**หมายเหตุ**
1 % โดยน้ำหนัก (10 กรัมต่อลิตร)	636 เท่าของ CMC
5 % โดยน้ำหนัก (50 กรัมต่อลิตร)	3,180 เท่าของ CMC
20 % โดยน้ำหนัก (200 กรัมต่อลิตร)	12,720 เท่าของ CMC



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว กับค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะอิ่มตัว [Rosen H.S.,1989]

4.2.6 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลาย ต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน

สำหรับชุดการทดลองนี้ทำการศึกษาการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายระหว่าง 3 ถึง 7 ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ก่อนเริ่มทำการทดลองในชุดการทดลองนี้ ได้ทำการทดสอบเพื่อหาค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายก่อนและหลังทำการสกัด เมื่อใช้กรดซิตริกและสารละลายบัฟเฟอร์เป็นตัวปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลาย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ โดยใช้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่เลือกจากชุดการทดลองที่ 4.2.1 ถึง 4.2.5 เมื่อพิจารณา ตารางที่ 4.10 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวทำละลายหลังสกัด มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเหตุผลของการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวทำละลายจะขอกล่าวถึงในส่วนท้ายของชุดการทดลองนี้ และเมื่อพิจารณา ตารางที่ 4.11 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวทำละลายก่อนและหลังทำการสกัด มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในชุดการทดลองนี้ จึงใช้สารละลายบัฟเฟอร์เป็นตัวปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวทำละลาย เพื่อควบคุมให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง คงที่ตลอดการทดลอง

สภาวะการทดลองอื่น ๆ กำหนดให้คงที่ตลอดการทดลอง โดยในส่วนของวัตถุดิบ ใช้ผงขมิ้นชันที่สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด เมช 60 ได้ และใช้ตัวทำละลายที่มีค่าความเข้มข้นของสารทวีน 80 เท่ากับ 3 % โดยน้ำหนัก นำวัตถุดิบมาผสมกันให้ได้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชัน ต่อปริมาตรตัวทำละลาย เท่ากับ 3 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี. ทำการสกัดสารที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยควบคุมความเร็วรอบการปั่นกวนให้มีค่าเท่ากับ 340 รอบต่อนาที ตลอดทั้งการทดลอง สภาวะที่ใช้ในการทดลองชุดนี้ เป็นค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 4.2.1-4.2.5 ตามลำดับ

ในส่วนของผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายก่อนและหลังทำการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ เมื่อทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้กรดซิตริก (citric acid)

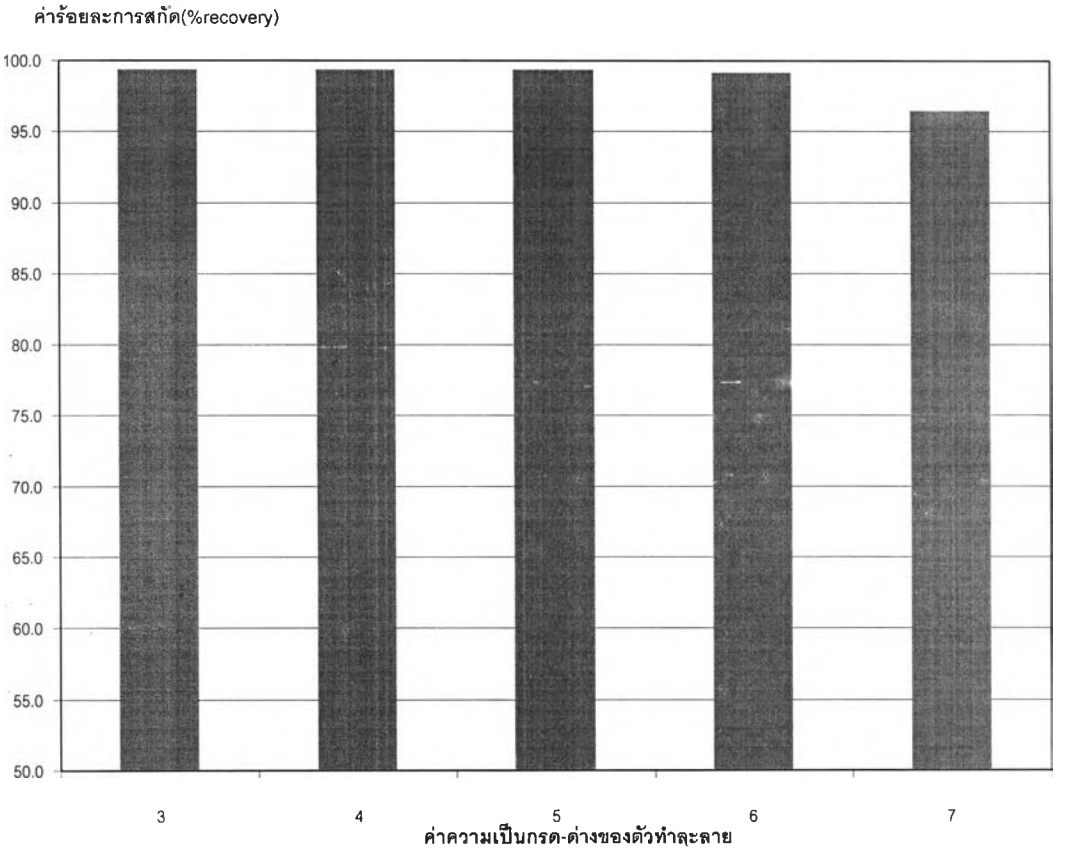
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)		
ก่อนสกัด	**หลังสกัด**	
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่** 2
3.07	3.45	3.48
4.13	5.01	5.05
5.09	6.24	6.25
6.92	6.54	6.52

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายก่อนและหลังทำการสกัด เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก (citric acid) 0.1 โมลาร์ และ สารละลายโซเดียม ซิเตรต (sodium citrate) 0.1 โมลาร์ เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3 ถึง 6 และใช้สารละลายกรดซิตริก และสารละลายไดโซเดียม ไฮโดรเจน ฟอร์เฟรต (di-sodium hydrogen phosphate) 0.2 โมลาร์ เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายให้เป็นกลาง

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)		
ก่อนสกัด	**หลังสกัด**	
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่** 2
2.99	2.96	2.97
3.97	3.93	3.95
4.96	4.94	4.93
5.92	5.92	5.91
7.01	6.99	7.00

ตารางที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายกับ ค่าร้อยละการสกัด (%recovery) ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายระหว่าง 3 ถึง 7

ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าร้อยละการสกัด
3	99.4
4	99.4
5	99.4
6	99.2
7	96.5



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลาย กับ ค่าร้อยละการสกัด (%recovery) ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายระหว่าง 3 ถึง 7

จากผลการทดลองพบว่า ค่าร้อยละการสกัดมีค่าเกือบคงที่ (99.2-99.4 %) เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลาย (pH) มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงระหว่าง 3 ถึง 6 และค่าร้อยละการสกัดมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ประมาณ 2.7 % เมื่อตัวทำละลายมีสภาพเป็นกลาง ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก ค่าความเป็นกรด-ด่างของงตัวทำละลายมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่เริ่มเกิดการสลายตัวของสารเคอร์คูมินอยด์ (pH = 7.5 ถึง 13) [Price B.C.,1996] จากผลการทดลองข้างต้นจึงสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายในช่วงระหว่าง 3 ถึง 7 ส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.13 ซึ่งแสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายก่อนและหลังทำการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ ที่สภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่ได้จากการชุดการทดลองที่ 4.2.1 ถึง 4.2.5 ซึ่งชุดการทดลองดังกล่าวไม่ได้ทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลาย พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงระหว่าง 6.3 ถึง 6.6 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงดังกล่าว ไม่ส่งผลต่อการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในผลการทดลองข้างต้น จากเหตุผลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า ไม่มีความจำเป็นต้องใช้สารละลายบัฟเฟอร์สำหรับควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ และ เลือกค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายในช่วงระหว่าง 6.3 ถึง 6.6 เป็นค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายก่อนและหลังการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลายมีค่าเท่ากับ 1 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี. และค่าความเร็วรอบการปั่นกวน มีค่าเท่ากับ 340 รอบต่อนาที ในส่วนของวัตถุดิบใช้ผงขมิ้นชันที่สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 ได้ และตัวทำละลายที่มีค่าความเข้มข้นของตัวทำละลาย เท่ากับ 3 % โดยน้ำหนัก

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)		
ครั้งที่	**ก่อนสกัด**	**หลังสกัด**
1	6.57	6.30
2	6.57	6.33
3	6.57	6.33
4	6.57	6.34
5	6.57	6.33

จากผลการทดลองในชุดการทดลองที่ 4.2.1 ถึง 4.2.5 สรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ออกจากขมิ้นชัน คือ เมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผงขมิ้นชันต่อปริมาตรตัวทำละลายมีค่าเท่ากับ 1 กรัม ต่อ 150 ซี.ซี. และค่าความเร็วรอบการปั่นกวน มีค่าเท่ากับ 340 รอบต่อนาที ในส่วนของวัตถุดิบใช้ผงขมิ้นชันที่สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 ได้ และตัวทำละลายที่มีค่าความเข้มข้นของตัวทำละลาย เท่ากับ 3 % โดยน้ำหนัก และค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอยู่ในช่วงระหว่าง 6.3 ถึง 6.6 ซึ่งสภาวะดังกล่าวให้ค่าร้อยละการสกัดสูงที่สุด เท่ากับ 99.6 %

จากที่ได้กล่าวไว้แล้วในส่วนต้นของชุดการทดลองที่ 4.2.6 ว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายมีค่าเพิ่มขึ้นหลังสกัดสารเคอร์คูมินอยด์ โดยใช้กรดอะซีตริกเป็นตัวปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลาย ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบผลของสารเคอร์คูมินอยด์และสารทวีน 80 ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลาย ระบบที่ทำการศึกษาประกอบด้วย สารละลายทวีน 80 ที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 3 % โดยน้ำหนัก ปริมาตร 150 ซี.ซี. และ สารเคอร์คูมินอยด์บริสุทธิ์ น้ำหนัก 40 มิลลิกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ น้ำหนักของสารเคอร์คูมินอยด์ที่สกัดได้จากชุดการทดลองที่ 4.2.5 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที พร้อมทั้งควบคุมค่าความเร็วรอบการปั่นกวนให้คงที่ที่ 340 รอบต่อนาที ตลอดการทดลอง ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายก่อนและหลังทำการทดลอง โดยให้ความร้อนแก่ระบบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที พร้อมทั้งควบคุมให้ค่าความเร็วรอบการปั่นกวนให้มีค่าคงที่ที่ 340 รอบต่อนาที ตลอดการทดลอง โดยใช้กรดอะซีตริก เป็นตัวปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารในระบบ

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	
ก่อนทดลอง	**หลังทดลอง**
2.98	2.92
4.04	4.02
5.13	5.17
6.01	6.07

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังทำการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่าง หลังทำการสกัดโดยใช้กรดซิตริกเป็นตัวปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่ได้เกิดขึ้นมาเนื่องจาก สารเคอร์คูมินอยด์ และสารทวีน 80 ในระบบ แต่อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก สารองค์ประกอบในขมิ้นชันซึ่งอาจถูกสกัดออกมาพร้อมกันกับสารเคอร์คูมินอยด์