



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การศึกษาสัดส่วนของสารก่อฟิล์มชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการละลายน้ำของฟิล์ม
ขมิ้นชัน
Study of the proportion of various film-forming agents on the
water solubility of curcumin film

ชื่อนิสิต นางสาวรังรักษ์ ทรหด เลขประจำตัว 6033080323
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาสัดส่วนของสารก่อฟิล์มชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการละลายน้ำ
ของฟิล์มขมิ้นชัน

Study of the proportion of various film-forming agents on the
water solubility of curcumin film

โดย
นางสาวรังรักษ์ ทรหด

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

โครงการ การศึกษาสัดส่วนของสารก่อฟิล์มชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการละลายน้ำของฟิล์มขมื่นชั้น

โดย นางสาวรังรักษ์ ทรหด

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

- | | |
|--|------------------|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ชวศิริ | ประธานกรรมการ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.คณศ วงษ์ระวี | กรรมการ |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนพร อีร์พิบูลย์เดช | อาจารย์ที่ปรึกษา |

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี



.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนพร อีร์พิบูลย์เดช)
อาจารย์ที่ปรึกษา



.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ โฮเว่น)
หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2564

ชื่อโครงการ การศึกษาสัดส่วนของสารก่อฟิล์มชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการละลายน้ำของฟิล์มขมื่นชั้น
ชื่อนิสิตในโครงการ นางสาวรังรักษ์ ทรหด เลขประจำตัว 6033080323
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนรา ธีรพิบูลย์เดช
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

สารสกัดขมื่นได้จากการสกัดเหง้าขมื่นแห้ง และนำไปเตรียมฟิล์มขมื่นทั้งหมด 27 ตัวอย่าง โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสามอย่างที่มีผลต่อความสามารถในการละลายของอนุภาคขมื่นในน้ำ ปัจจัยทั้งสาม ได้แก่ ความเข้มข้นของสารสกัดขมื่น, ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) และพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ความสามารถในการละลายของอนุภาคขมื่นถูกกำหนดด้วยการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มขมื่น วิเคราะห์โดยใช้เครื่องอัลตราไวโอเล็ตสเปกโทรสโกปีที่ 450 นาโนเมตร สมการที่ได้คือ $Y = 0.74 - 0.09A + 0.11B + 0.13C$ ซึ่ง Y คือการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มขมื่น และ A, B และ C คือความเข้มข้นของสารสกัดขมื่น HPMC และ PVP ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ของ B และ C เป็นค่าบวกเช่นเดียวกัน บ่งชี้ถึงความเข้มข้นของ HPMC และ PVP ส่งผลในเชิงบวก ในทางตรงกันข้าม ค่าสัมประสิทธิ์ของ A เป็นค่าลบแสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดขมื่นไม่เป็นผลดีต่อการละลาย และเมื่อใช้สมการในการทำนายการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (RMSE) ของสมการนี้คือ 0.23

คำสำคัญ: ขมื่นชั้น, ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส, พอลิไวนิลไพโรลิโดน , การออกแบบการทดลอง

Project Title Study of the proportion of various film-forming agents on the water solubility of curcumin film

Student Name Miss Rangrak Torahod Student ID 6033080323

Advisor Name Associated Professor Pattara Thiraphibundet, Ph.D.

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2020

Abstract

Turmeric extract was obtained from the extraction of dried turmeric rhizomes and used for preparing turmeric-loaded film (TF). Twenty-seven from factorial design. TFs were fabricated with the aim to figure the correlation equation between three factors that affected to the aqueous solubility of turmeric particles. Three factors of this experiment were the concentrations of turmeric extract, hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) and polyvinylpyrrolidone (PVP). The aqueous solubility of turmeric particles was determined from the absorption of TF solution by ultra-violet spectroscopy at 450 nanometre. The equation was $Y = 0.74 - 0.09A + 0.11B + 0.13C$ in which Y was the absorbance of TF aqueous solution, and A, B and C were the concentrations of turmeric extract, HPMC and PVP, respectively. The coefficients of B and C were similarly positive values which indicated the positive effects of the concentrations of HPMC and PVP. In contrast, the coefficient of A was a negative value which implied that increasing the concentration of turmeric extract was not good result. Moreover, the prediction of Absorbance of TF solution using the regression model give satisfied result with the Root Mean Squared Error (RMSE) of this equation was 0.23.

Keywords: Turmeric, hydroxypropyl methylcellulose, polyvinylpyrrolidone, Film, Experimental design

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยและรายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือ ให้ความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนพร ชีรพิบูลย์เดช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่เอื้อเพื่อสถานที่และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย อาจารย์ได้ให้ความรู้ คำอธิบายด้วยความเข้าใจและวางแผนโครงการเสียสละเวลาในการให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆด้วยความใส่ใจตลอดงานวิจัยนี้ อีกทั้งยังช่วยแก้ไขรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วรินทร์ ชวนศิริ และ รศ.ดร.คณศ วงษ์ระวี ที่ให้ความกรุณาสละเวลาในการตรวจทานแก้ไข และให้การแนะนำที่เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไข ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบวิจัย

ขอขอบคุณรุ่นพี่นิสิตปริญญาโท นางสาวดวงกมล ศรีวิชัย (พี่ปลาเหมียว) ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการใช้เครื่องมือต่างๆ คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความรู้ต่างๆ อันมีประโยชน์ต่อผู้วิจัยตลอดเวลา 4 ปีที่ผู้วิจัยได้ศึกษาอยู่ ซึ่งทำให้สามารถนำความรู้เหล่านั้นมาใช้กับงานวิจัยได้

ขอขอบคุณกำลังใจและความช่วยเหลือจากครอบครัว เพื่อนในกลุ่มสล็อต รวมถึงเพื่อนๆ ในภาควิชาเคมี ผู้วิจัย ขอระลึกถึงความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น และบุคคลที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณศิลปินเอ็นซีที เอ็กโซทุกคน เสียงเพลงทุกเพลง และเสียงหัวเราะที่ช่วยเพิ่มพลังใจในการทำงาน ให้ผู้วิจัยได้มีแรงในการทำวิจัยจนสามารถทำออกมาได้จนสำเร็จลุล่วง

ท้ายนี้ผู้วิจัยคาดหวังว่าความรู้ที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และก่อให้เกิดแนวคิดในการพัฒนางานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	1
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3.1 ขมิ้นชัน	2
1.3.2 การเพิ่มการละลายน้ำของสารสกัดขมิ้น	3
1.3.3 ไฮโดรคอลลอยด์ฟิล์ม	5
1.4 การออกแบบการทดลองของตัวแปรที่ถูกเลือก	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 การทดลอง	7
2.1 การสกัดขมิ้นชัน	7
2.2 การสร้างสมการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคขมิ้นในน้ำ	7
2.3 การเตรียมแผ่นฟิล์มขมิ้น	9
2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มขมิ้น	9
2.4.1 ความหนา	9
2.4.2 การละลายน้ำ	9
2.5 การคำนวณสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ในสมการ	9
2.6 การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดของสมการ (Root Mean Squared Error: RMSE)	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	12
3.1 สารสกัดขมิ้นชัน	12
3.2 แผ่นฟิล์มขมิ้น	12
3.3 สมการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคขมิ้นในน้ำ	15
3.4 ค่าความผิดพลาดของสมการ (Root Mean Squared Error: RMSE)	17
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	19
4.1 สรุปผลการทดลอง	19
4.2 งานที่ควรศึกษาต่อและขอเสนอแนะ	20
เอกสารอ้างอิง	21
ประวัติผู้วิจัย	24

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ผลการเพิ่มประสิทธิภาพการละลายน้ำของสารสกัดขมิ้นด้วยเทคนิคต่างๆ	3
ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นสารสกัดขมิ้นชัน, HPMC และ PVP ที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มขมิ้น ตัวอย่างที่ 1-27	8
ตารางที่ 2.2 ค่าตัวแปรของความเข้มข้นสารสกัดขมิ้นชัน, HPMC และ PVP ที่ใช้ในการคำนวณ	10
ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นสารสกัดขมิ้นชัน, HPMC และ PVP ที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มขมิ้น ตัวอย่างที่ 28 – 30	11
ตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้ในการอบให้ฟิล์มแห้ง ความหนาของแผ่นฟิล์มและเวลาที่ใช้ในการละลาย แผ่นฟิล์มขนาด 1x1 ตร.ซม. ของตัวอย่างที่ 1-27	14
ตารางที่ 3.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มขมิ้นจากการทดลองต่างๆ	16
ตารางที่ 3.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มจากการทดลอง และจากการคำนวณของ ตัวอย่างที่ 28-30	18

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 โครงสร้างของสารประกอบหลักในขมิ้นชัน	2
รูปที่ 1.2 โครงสร้างสารผลิตภัณฑ์ของเคอร์คิวมินที่ถูกทำให้แตกตัวในสารละลายอัลคาไลบัฟเฟอร์	3
รูปที่ 1.3 โครงสร้างของสารก่อฟิล์ม ก) ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส ข) โพลีไวนิลไพโรลิโดน	5
รูปที่ 3.1 แผ่น TLC แสดงองค์ประกอบหลักในสารสกัดขมิ้นชัน	12
รูปที่ 3.2 แผ่นฟิล์มขมิ้น ตัวอย่างที่ 1 – 27	12
รูปที่ 3.3 สารละลายฟิล์มขมิ้น	15
รูปที่ 3.4 การเพิ่มการละลายของสารสกัดขมิ้น โดย HPMC และ PVP	15
รูปที่ 3.5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มขมิ้น ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารก่อฟิล์ม (%โดยน้ำหนัก) และความเข้มข้นของสารสกัดขมิ้น 0.10, 0.15 และ 0.20% โดยน้ำหนัก	17

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการนำเสนอโครงการ

ขมิ้นชัน เป็นพืชสมุนไพรไทยที่นิยมใช้ในการประกอบอาหาร ปัจจุบันมีการสกัดสารสำคัญ ได้แก่ เคอร์คิวมิน (curcumin) เดสเมทอกซีเคอร์คิวมิน (desmethoxycurcumin) และบิสเดสเมทอกซีเคอร์คิวมิน (bisdesmethoxycurcumin) จากขมิ้นชันเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางหรืออาหารเสริมอย่างแพร่หลาย สารสกัดขมิ้นชันมีฤทธิ์ทางชีวภาพมากมาย เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ต้านแบคทีเรีย ต้านการเจริญของเชื้อรา ยับยั้งการเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด และลดไขมันในเลือด [1] แต่สารสกัดขมิ้นชันมีข้อจำกัดที่สำคัญ คือการละลายน้ำได้น้อยมาก (11 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร) อีกทั้งไม่คงตัวในสภาวะที่เป็นด่าง [2] เมื่อรับประทานเข้าไปจะมีชีวปริมาณออกฤทธิ์ (bioavailability) หรือความสามารถในการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้น้อย ทำให้ต้องใช้หรือรับประทานในปริมาณมากเพื่อให้ออกฤทธิ์ได้ตามที่ต้องการ ปัจจุบันมีการพัฒนาเพิ่มการละลายของสารสกัดขมิ้นชัน เพื่อเพิ่มชีวปริมาณออกฤทธิ์หรือการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้มากขึ้น ในรูปแบบต่างๆ เช่น อิมัลชัน ไลโปโซม [3] หรือไมเซล [4] รวมถึงการกักเก็บด้วยพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ (polymersome) [5]

จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาของกลุ่มวิจัยของรองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนา อธิพิบูลย์เดช ได้เตรียมแผ่นฟิล์มขมิ้นจากสารก่อฟิล์ม 2 ชนิด คือ ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose; HPMC) และ โพลีไวนิลไพร์โรลิโดน (polyvinylpyrrolidone; PVP) เมื่อละลายแผ่นฟิล์มในน้ำพบว่า อนุภาคขมิ้นชันสามารถกระจายตัวในน้ำได้เป็นอย่างดี สามารถเพิ่มการละลายน้ำของสารสกัดขมิ้นชันได้ถึง 2.8×10^3 เท่า ในการเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มนี้มีข้อดี คือ น้ำหนักเบา เก็บรักษาและใช้งานง่าย สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ ต้องการทำการทดลองเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ต่อปริมาณการละลายของอนุภาคขมิ้นชัน ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณสารก่อฟิล์มทั้งสองชนิดและปริมาณสารสกัดขมิ้นชัน ปริมาณการละลายศึกษาจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายของอนุภาคขมิ้นชัน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการเตรียมแผ่นฟิล์มขมิ้นที่สามารถละลายน้ำได้ ในสัดส่วนของพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน

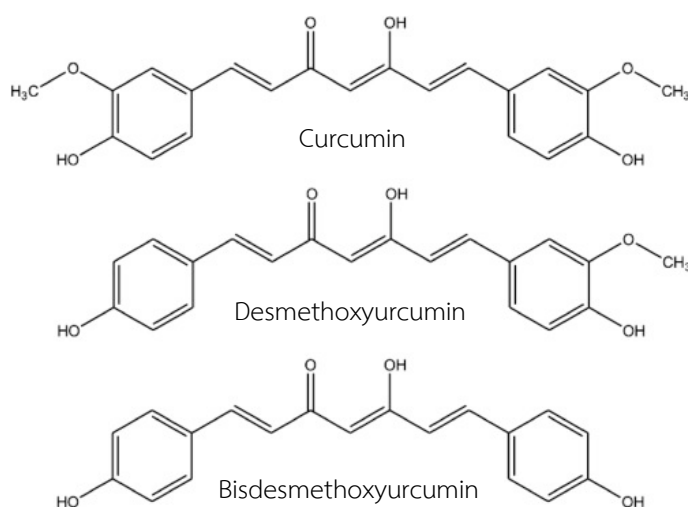
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

เตรียมแผ่นฟิล์มขมิ้นชันด้วยปริมาณสารก่อฟิล์มและสารสกัดขมิ้นชันต่างๆ เพื่อนำข้อมูลมาสร้างสมการหาความสัมพันธ์ระหว่างสารสกัดขมิ้นชันและสารก่อฟิล์มต่อการละลายน้ำของอนุภาคขมิ้นชัน

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

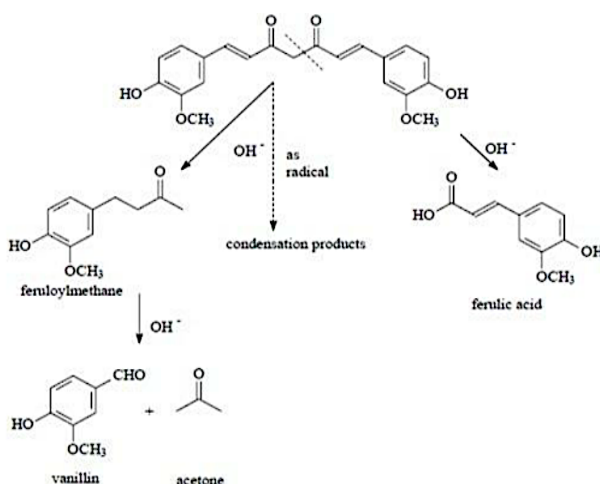
1.3.1 ขมิ้นชัน

ขมิ้นชัน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Curcuma longa* L. อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae องค์ประกอบหลักคือ สารกลุ่มเคอร์คิวมินนอยด์ ได้แก่ เคอร์คิวมิน (curcumin) เดสเมทอกซีเคอร์คิวมิน (desmethoxy curcumin) และบิสเดสเมทอกซีเคอร์คิวมิน (bisdemethoxycurcumin) [6] ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 1.1 สารประกอบเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มของไดแอริลเฮปทานอยด์ (diarylheptanoids) สารสกัดขมิ้นชันมีสีเหลืองส้ม ละลายน้ำได้น้อยมาก นิยมใช้เป็นสารแต่งสีและเป็นอาหารเสริมในหลายประเทศของทวีปเอเชีย [7]



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของสารประกอบหลักในขมิ้นชัน

ฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญของสารสกัดขมิ้นชัน ได้แก่ ฤทธิ์ต้านการอักเสบ ต้านแบคทีเรีย ต้านอนุมูลอิสระ ต้านจุลชีพ และต้านมะเร็ง [8] สารสกัดขมิ้นชันมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (11 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร) มีความสามารถในการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายต่ำ ไม่เสถียรต่อแสง ตัวทำละลายอินทรีย์ และออกซิเจน แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีความเป็นขั้วต่ำ [9] สารสกัดขมิ้นชันมีความเสถียรในสภาวะกรดอ่อน เนื่องจากโครงสร้างไดอินคอนจูเกต แต่จะเสถียรภาพได้อย่างรวดเร็วในสารละลายบัฟเฟอร์ที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง เมื่อ pH อยู่ในสภาวะเบส โปรตอนจะถูกกำจัดออกจากกลุ่มฟีนอลิกและทำให้โครงสร้างเสียหาย (degrade) เมื่อสารเคอร์คิวมินโดนแสงจะแตกตัวอย่างรวดเร็ว กลายเป็นวานิลลิน กรดวานิลลิก เพอรูลิกอัลดีไฮด์ และกรดเพอรูลิก [10] ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 โครงสร้างสารผลิตภัณฑ์ของเคอร์คิวมินที่ถูกทำให้แตกตัวในสารละลายอัลคาไลบัฟเฟอร์ [11]

1.3.2 การเพิ่มการละลายน้ำของสารสกัดขมิ้น

เทคโนโลยีการห่อหุ้มหรือกักเก็บสาร (encapsulation) เป็นที่สนใจอย่างมากในการใช้งานด้านต่างๆ เช่น ในอุตสาหกรรมด้านอาหาร ยา เครื่องสำอาง และการวิเคราะห์ระดับโมเลกุล เป็นกระบวนการห่อหุ้มหรือดักจับสารที่ต้องการเอาไว้ภายในสารอื่น สารที่อยู่ภายในจะเรียกว่าแกนกลาง และสารที่ห่อหุ้มจะเรียกว่าเมมเบรน (membrane) เปลือก (shell) แคปซูลหรือเมทริกซ์ [12-13] ประโยชน์จากการห่อหุ้มหรือกักเก็บสาร คือการช่วยรักษาสภาพของสารจากสภาวะที่ไม่เหมาะสม ให้อยู่ได้นาน มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น รวมถึงเพิ่มความสามารถในการละลาย ซึ่งข้อจำกัดในการละลายน้ำของสารสกัดขมิ้นเป็นข้อเสียเปรียบในการใช้งานในอุตสาหกรรม และเพื่อเอาแก้ปัญหาข้อจำกัดนี้ มีรายงานวิจัยหลายฉบับที่ทำการศึกษากักเก็บสารสกัดขมิ้นด้วยสารห่อหุ้มหลากหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งช่วยเพิ่มการละลายได้ดีเพิ่มขึ้นแตกต่างกันไป

ตารางที่ 1.1 ผลการเพิ่มประสิทธิภาพการละลายน้ำของสารสกัดขมิ้นด้วยเทคนิคต่างๆ

เทคนิค	สารที่ใช้	การเพิ่มประสิทธิภาพการละลายของสารสกัดขมิ้น เมื่อเทียบกับสารสกัดขมิ้น (เท่า)	อ้างอิง
Solid Dispersion	ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิล เซลลูโลส อะซิเตท ซัคซิเนท (HPMCAS)	12	[14]
Solid Dispersion	ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิล เซลลูโลส (HPMC), เลซิทีน และ ไอโซมอลต์	>1000	[15]
Solid Dispersion	อัลจิเนต และเจลาติน	10,000	[16]

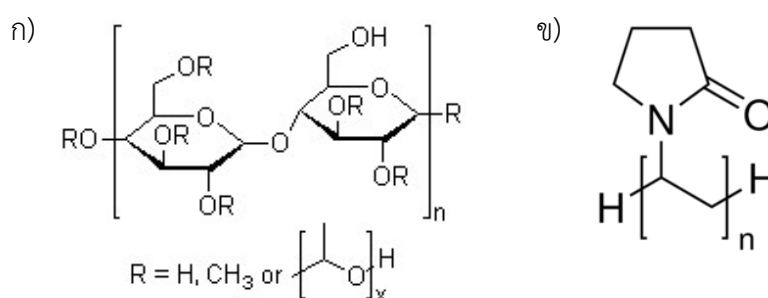
ตารางที่ 1.1 ผลการเพิ่มประสิทธิภาพการละลายน้ำของสารสกัดขมิ้นด้วยเทคนิคต่างๆ (ต่อ)

เทคนิค	สารที่ใช้	การเพิ่มประสิทธิภาพการละลาย ของสารสกัดขมิ้น เมื่อเทียบกับขมิ้น มาตรฐาน (เท่า)	อ้างอิง
Solid Dispersion	พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) และ กักเก็บใน อนุภาคนาโนโคโตน-เจ ลาติน (CS-G NPs)	2,000	[17]
freeze-drying	บีตา-ไซโคลเดรกทรีน	31	[18]
Nanoprecipitation	Eudragit® อีริโทพรอติดีน	20,000	[19]
Spray drying	เวย์ โปรตีน ไอโซเลต	11,355	[20]
Electrohydrodynamic atomization	เจลาติน	38.6	[21]
Kneading method	เมทิล บีตา-ไซโคลเดรกทรีน (M β CD) และสาร เชิงซ้อนของไฮดรอกซีโพร พิล-บีตา-ไซโคลเดรกทรีน (HP β CD)	202	[22]
Antisolvent precipitation	พอลิไวนิลไพโรลิดอน (PVP-K30)	20	[23]
Solid Dispersion	โซเดียมเคซีเนต (NaCas)	40	[24]
Nanosuspensions method	ดี-อัลฟา-โทโคฟีรอล โพลี เอทิลีน ไกลคอล 1000 ซัค ซิเนต (TPGS)	400	[25]
Derivative synthesis	กรดไฮยารูลอนิก	360	[26]
Nanosuspensions	ทวิน 80	216	[27]
Micro mulsification	โพลีซอเบต 80 และซอเยลคทิน	2.3×10^5	[9]

1.3.3 ไฮโดรคอลลอยด์ ฟิล์ม (Hydrocolloid film)

ไฮโดรคอลลอยด์ คือ พอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ ได้จากสัตว์ พืช จุลินทรีย์ รวมถึงพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น อัลจิเนต เจลาติน เมทิลเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส เป็นต้น พอลิเมอร์นี้ทำหน้าที่เป็นสารให้ความหนืด ทำให้เกิดเจล สามารถใช้ในการสร้างชั้นบางๆ (ฟิล์ม) เคลือบบนพื้นผิวของอาหาร ฟิล์มนี้จะยับยั้งความชื้น กลิ่น การแยกชั้นของไขมัน รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระ สารกันบูด และสารปรุงแต่งอื่นๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหาร [28]

ในงานวิจัยนี้ใช้ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose; HPMC) และ โพลีไวนิลไพโรลิโดน (polyvinylpyrrolidone; PVP) ในการสร้างแผ่นฟิล์ม (สารก่อฟิล์ม) มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 โครงสร้างของสารก่อฟิล์ม ก) ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส ข) โพลีไวนิลไพโรลิโดน

ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose; HPMC) เป็นเซลลูโลสชนิดอีเทอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ มีความเข้ากันทางชีวภาพ สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เป็นสารที่ไม่มีประจุ ถูกนำไปใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด เป็นสารก่อเจล และเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในการสร้างแผ่นฟิล์ม ในอุตสาหกรรมอาหารและยา [29] นอกจากนี้ยังถูกใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร และใช้เตรียมนาโนพาร์ติเคิลสำหรับส่งยาเข้าสู่ร่างกาย การนำไปสร้างสารเชิงซ้อนกับเวย์โปรตีน (WPI) จะช่วยให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นถึง 29 เท่า และช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึงผิว 15 เท่า [30] การใช้ HPMC และ บีตา-ไซโคลเด็กทรีน (β -cyclodextrin) สามารถเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำของนอร์ฟลอกซาซิน (Norfloxacin) ได้ แต่ถ้าใส่ HPMC มากกว่า 5% โดยน้ำหนัก จะลดความสามารถในการละลายน้ำของนอร์ฟลอกซาซิน [31] การศึกษาการกระจายตัวของเคอร์คูมินแบบบอสัญฐาน (ASD) โดยใช้ HPMC เลซิธิน (lecithin) และไอโซมอลต์ (isomalt) พบว่าเคอร์คูมิน ASD มีความสามารถในการละลายน้ำสูงกว่าเคอร์คูมินบริสุทธิ์ประมาณ 1,000 เท่า การเพิ่มประสิทธิภาพของเคอร์คูมิน ASD ที่ละลายน้ำได้นี้ เป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายและประสิทธิภาพทางชีวภาพ [15]

โพลีไวนิลไพโรลิโดน (polyvinylpyrrolidone; PVP) เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีสารพิษ สามารถละลายน้ำได้ มีความเข้ากันทางชีวภาพ สามารถสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ และเป็นสารก่อฟิล์มที่ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มได้ดีมาก ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารยาเครื่องสำอาง [32] จากการศึกษาผลของ PVP และ พอลิเอทิลีนออกไซด์ (polyethylene oxide: PEO) ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มไคโตซาน พบว่าการเพิ่มปริมาณ PVP ไม่ได้ช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น [33] ในฟิล์มที่ผสมระหว่าง HPMC และ PVP มีความยืดหยุ่นและสามารถ

ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารเช่นเดียวกับการจัดส่งยาและวัสดุชีวภาพ [34] จากการทดสอบเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำของเคอร์คูมิน โดยใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol: PEG) และ PVP ด้วยเทคนิคการกระจายตัวของของแข็งที่แตกต่างกัน พบว่าวิธีการละลายน้ำร้อน ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของเคอร์คูมินเพิ่มขึ้น 1,000 เท่า

1.4 การออกแบบการทดลองของตัวแปรที่ถูกคัดเลือก (Screening Design)

ตัวแปรที่สำคัญต่อการทดลอง คือ ตัวแปรที่เมื่อเปลี่ยนแปลงไปแล้ว ค่าตอบสนองนั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วยอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ตัวแปรที่ไม่สำคัญต่อการทดลองนั้นจะไม่มีผลกระทบกับค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ในการออกแบบการทดลองมุ่งเน้นในการศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่สำคัญเท่านั้น เพื่อลดจำนวนตัวแปรในการทดลองโดยที่ยังสามารถได้ข้อมูลจากการทดลองอย่างครบถ้วน ซึ่งนำไปสู่การลดจำนวนการทดลอง เช่น การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) หมายถึง การทดลองที่สมบูรณ์ในแต่ละครั้งหรือแต่ละซ้ำของการทดลองนั้น เพราะเป็นแบบการทดลองที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ จึงเป็นที่นิยมสำหรับนักวิจัยที่จะออกแบบการทดลองโดยใช้ factorial design เป็นต้นแบบ โดยจำนวนการทดลองตามแบบแฟกทอเรียลจะมีค่าเท่ากับ l^f เมื่อ l เป็นจำนวนระดับค่าของตัวแปรอิสระ (level) และ f เป็นจำนวนตัวแปรอิสระ (factor) เช่น ในการทดลองนี้มีตัวแปรอิสระสำคัญที่ถูกกำหนดไว้จำนวน 3 ตัว ($f = 3$) โดยตัวแปรเหล่านี้ถูกควบคุมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไป 3 ระดับค่า ($l = 3$) ในแต่ละตัวแปรเพื่อศึกษาค่าตอบสนองที่เกิดขึ้น พบว่าจำนวนการทดลองจากสมการตามแบบของแฟกทอเรียลเท่ากับ $3^3 = 27$ การทดลองนั่นเอง โดยที่ในแต่ละการทดลองจะมีค่าของตัวแปรอิสระที่ไม่ซ้ำกันเลย ถ้าเรากำหนดค่าของตัวแปรอิสระเหล่านั้นเป็น -1 (ค่าต่ำสุด), 0 (ค่ากลาง) และ +1 (ค่าสูงสุด)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สมการความสัมพันธ์ของปัจจัย 3 ปัจจัยได้แก่ ความเข้มข้นของสารสกัดขมิ้นชัน HPMC และ PVP ที่ส่งผลต่อการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มขมิ้น

บทที่ 2

วิธีการทดลอง

2.1 การสกัดไขมันชั้น

ทำความสะอาดไขมันชั้น หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ตากให้แห้ง จะได้ไขมันชั้นแห้งน้ำหนัก 250 กรัม สกัดโดยแช่ไขมันชั้นในเฮกเซน 2.5 ลิตร เป็นเวลา 1 คืน กรองและนำสารละลายเฮกเซนไประเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยแห้งสุญญากาศ (vacuum rotary evaporator) ส่วนกากที่ได้นำไปสกัดซ้ำด้วยเฮกเซนอีก 2 ครั้ง จะได้สารสกัดเฮกเซนที่มีลักษณะเป็นโอเลโอเรซิน (oleoresin) ส่วนกากนำไปแช่ในไดคลอโรมีเทน 1.5 ลิตร กรองและสกัดซ้ำอีก 3 ครั้ง เมื่อระเหยตัวทำละลายออกจะได้สารสกัดไดคลอโรมีเทน มีลักษณะเป็นของแข็งหนืด เติมตัวทำละลายผสมเฮกเซนและเอทิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 1:3 จากนั้นกวน จะได้ตะกอนสีส้ม กรองสุญญากาศ จะได้สารสกัดไขมันชั้นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

ตรวจสอบองค์ประกอบหลักในสารสกัดไขมันชั้นที่สกัดได้ กับสารสกัดไขมันชั้นมาตรฐานด้วยวิธี Thin-layer chromatography (TLC) ดังนี้ นำแผ่น silica gel TLC แช่ในสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 15 นาที นำแผ่น TLC ที่เตรียมได้นี้ วิเคราะห์องค์ประกอบสารสกัดไขมันชั้น โดยใช้ 0.2% เมทานอลในไดคลอโรมีเทนเป็นเฟสเคลื่อนที่ ตรวจสอบตำแหน่งสารด้วย UV lamp ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

2.2 การสร้างสมการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคไขมันในน้ำ

สารสกัดไขมันประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ ในการทดลองนี้ได้เตรียมแผ่นฟิล์มไขมันด้วยการใช้ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose; HPMC) และโพลีไวนิลไพร์โรลิโดน (polyvinylpyrrolidone; PVP or PVP K-30) เป็นสารก่อฟิล์มที่กักเก็บสารสกัดไขมันไว้ เมื่อแผ่นฟิล์มไขมันละลายน้ำ โมเลกุลของไขมันจะถูกล้อมรอบด้วยสายโซ่พอลิเมอร์ของสารก่อฟิล์มทั้ง 2 ชนิด ทำให้ได้อนุภาคไขมันที่สามารถกระจายตัวในน้ำได้

ในการทดลองนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคไขมันในน้ำ ได้แก่ ความเข้มข้น HPMC, ความเข้มข้น PVP และความเข้มข้นสารสกัดไขมันในการเตรียมแผ่นฟิล์ม โดยการกระจายตัวของอนุภาคไขมันในน้ำ ดูจากปริมาณการดูดกลืนแสงของสารสกัดไขมันที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ด้วยวิธี Factorial design โดยมีสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Y = b_0 + b_1A + b_2B + b_3C$$

โดย Y คือ ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคไขมันจากสารละลายแผ่นฟิล์มไขมัน

b_0 คือ ค่าคงที่

b_1 คือ สัมประสิทธิ์ของพจน์ความเข้มข้นไขมัน

b_2 คือ สัมประสิทธิ์ของพจน์ความเข้มข้น HPMC

b_3 คือ สัมประสิทธิ์ของพจน์ความเข้มข้น PVP

A คือ ความเข้มข้นสารสกัดไขมันชั้น

B คือ ความเข้มข้น HPMC

C คือ ความเข้มข้น PVP

และสามารถคำนวณค่า b ได้จากสูตร

$$b = (X'X)^{-1}X'Y$$

โดย X คือ ค่าความเข้มข้นที่ใช้

X' คือ ค่าความเข้มข้นที่ต้องการคำนวณ

Y คือ ค่าการดูดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคไขมันจากสารละลายแผ่นฟิล์มไขมัน

ทำการทดลองทั้งหมด 27 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นสารสกัดไขมันชั้น, HPMC และ PVP ที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มไขมันตัวอย่างที่ 1-27

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้นสารสกัดไขมันชั้น* (% โดยน้ำหนัก)	ความเข้มข้นสารก่อฟิล์ม (% โดย	
		HPMC	PVP
1	0.1	1	1
2	0.1	1	2
3	0.1	1	3
4	0.1	2	1
5	0.1	2	2
6	0.1	2	3
7	0.1	3	1
8	0.1	3	2
9	0.1	3	3
10	0.15	1	1
11	0.15	1	2
12	0.15	1	3
13	0.15	2	1
14	0.15	2	2
15	0.15	2	3
16	0.15	3	1
17	0.15	3	2
18	0.15	3	3
19	0.20	1	1
20	0.20	1	2
21	0.20	1	3
22	0.20	2	1
23	0.20	2	2
24	0.20	2	3
25	0.20	3	1
26	0.20	3	2
27	0.20	3	3

*ละลายสารสกัดไขมันชั้นด้วยเอทานอล โดยใช้ปริมาณเอทานอลให้น้อยที่สุด

2.3 การเตรียมแผ่นฟิล์มขมื่น

ละลายสารก่อฟิล์ม 2 ชนิด คือ HPMC และ PVP ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ใส่สารละลายขมื่นชั้นในเอทานอลลงไป ปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง (homogenizer ยี่ห้อ IKA T25 รุ่น ULTRA-TURRAX) ที่ความเร็ว 4,400 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที ลดความเร็วลงเป็น 3,200 รอบ/นาที อีก 5 นาที นำสารละลายผสมที่ได้แช่ตู้เย็นทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อกำจัดฟองอากาศ จากนั้นเทสารละลายนี้ 50 มิลลิลิตร ลงใน polystyrene plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ทำการอบให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลาประมาณ 15 ชั่วโมง

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นสารก่อฟิล์มและสารสกัดขมื่นชั้นทั้งหมด 27 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2.1

2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มขมื่น

2.4.1 ความหนา

ตรวจสอบความหนาของแผ่นฟิล์มด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ ยี่ห้อ KEIBA รุ่น 111-101HB ค่าความละเอียด 0.01/0.0005 mm

2.4.2 การละลายน้ำ

ตัดแผ่นฟิล์มขมื่นให้มีขนาด 1x1 cm² จำนวน 3 ชิ้น จากตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นฟิล์มเดียวกัน ชั่งน้ำหนักแผ่นฟิล์มที่ตัดได้ ก่อนนำไปละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง กวนตลอดเวลาจนชิ้นแผ่นฟิล์มละลายหมด บันทึกเวลาที่ใช้ในการละลายชิ้นแผ่นฟิล์มขมื่น ตั้งสารละลายฟิล์มขมื่นทิ้งไว้ 3 คืน เพื่อให้อนุภาคขนาดใหญ่ตกตะกอน นำสารละลายฟิล์มขมื่นบริเวณชั้นบน (supernatant) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง microplate reader (ยี่ห้อ ALLSHENG รุ่น AMR-100) ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

2.5 การคำนวณสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ในสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคขมื่นในน้ำ

การคำนวณสัมประสิทธิ์ (b_0 , b_1 , b_2 และ b_3) แต่ละพจน์ (A, B และ C) ได้จากการทดลองทั้งหมด 27 ตัวอย่าง โดยให้ -1 แทนค่าที่ต่ำที่สุด และ 1 เป็นค่าที่สูงที่สุด และ 0 แทนค่าที่อยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและสูงสุด โดยแทนค่าตัวแปร ดังนี้

- พจน์ A คือ ความเข้มข้นสารสกัดขมื่น ใช้เลข -1, 0 และ 1 แทนความเข้มข้นที่ 0.10, 0.15 และ 0.20 %w/w ตามลำดับ
- พจน์ B คือ ความเข้มข้น HPMC ใช้เลข -1, 0 และ 1 แทนความเข้มข้นที่ 1, 2 และ 3 %w/w ตามลำดับ

- พจน์ C คือ ความเข้มข้น PVP ใช้เลข -1, 0 และ 1 แทนความเข้มข้นที่ 1, 2 และ 3 %w/w ตามลำดับ

ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าตัวแปรของความเข้มข้นสารสกัดขมิ้นชัน, HPMC และ PVP ที่ใช้ในการคำนวณ

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้นสารสกัดขมิ้นชัน (% โดยน้ำหนัก)	ความเข้มข้นสารก่อฟิล์ม (%โดยน้ำหนัก)	
		HPMC	PVP
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	0
3	-1	-1	1
4	-1	0	-1
5	-1	0	0
6	-1	0	1
7	-1	1	-1
8	-1	1	0
9	-1	1	1
10	0	-1	-1
11	0	-1	0
12	0	-1	1
13	0	0	-1
14	0	0	0
15	0	0	1
16	0	1	-1
17	0	1	0
18	0	1	1
19	1	-1	-1
20	1	-1	0
21	1	-1	1
22	1	0	-1
23	1	0	0
24	1	0	1
25	1	1	-1
26	1	1	0
27	1	1	1

จากนั้นแทนค่าตัวเลขและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ b_0 , b_1 , b_2 และ b_3 โดยใช้โปรแกรม Excel

2.6 วิเคราะห์ความผิดพลาดของสมการ (Root Mean Squared Error : RMSE)

ทดลองตัวอย่างที่ 28-30 เพื่อหาค่าดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มขมิ้น ด้วยวิธีเดียวกันกับวิธีทดลองข้อ 2.4.2 โดยใช้ความเข้มข้นสารสกัดขมิ้นชัน, HPMC และ PVP ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นสารสกัดขมิ้นชัน, HPMC และ PVP ที่ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มขมิ้นตัวอย่างที่ 28 - 30

ตัวอย่างที่	ความเข้มข้นสารสกัดขมิ้นชัน (% โดยน้ำหนัก)	ความเข้มข้นสารก่อฟิล์ม (%โดยน้ำหนัก)	
		HPMC	PVP
28	0.17	1.5	1.5
29	0.12	1.5	2.5
30	0.17	3	2.5

หลังจากนั้นแทนค่าตัวแปรลงในสมการที่ได้จากหัวข้อ 2.5 เพื่อคำนวณหาการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์ม (Abs จากการคำนวณ) จากนั้นคำนวณค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Root Mean Squared Error : RMSE) ด้วยสมการ ดังแสดง

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum (Abs \text{ จากการทดลอง} - Abs \text{ จากการคำนวณ})^2}$$

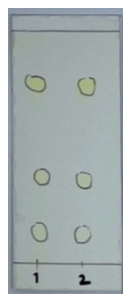
เมื่อ n คือ จำนวนตัวอย่าง

บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 สารสกัดขมิ้นชัน

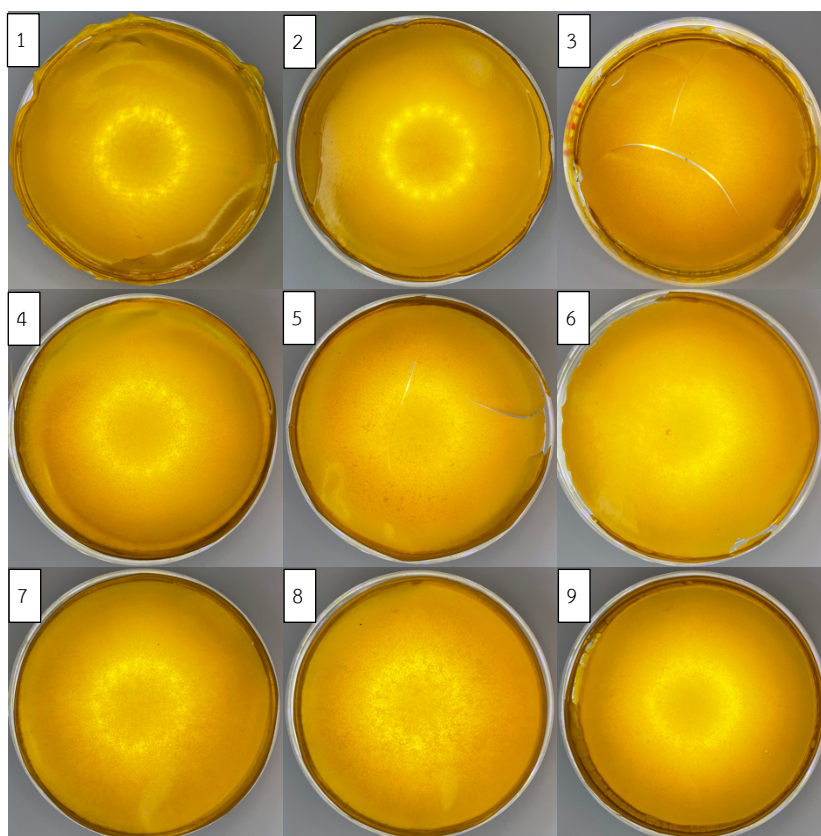
จากการสกัดขมิ้นชัน ตามวิธีทดลองในข้อ 2.1 จะได้สารสกัดขมิ้นชัน 9.20 กรัม (3.68 %yield) และตรวจสอบองค์ประกอบสารสกัดด้วยเทคนิคทิน-แลเยอร์ โครมาโทกราฟี (Thin-layer chromatography: TLC) พบ 3 องค์ประกอบหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.1 น่าจะเป็นเคอร์คิวมิน (curcumin) เดสเมทอกซีเคอร์คิวมิน (desmethoxycurcumin) และบิสเดสเมทอกซีเคอร์คิวมิน (bisdemethoxycurcumin) [6]



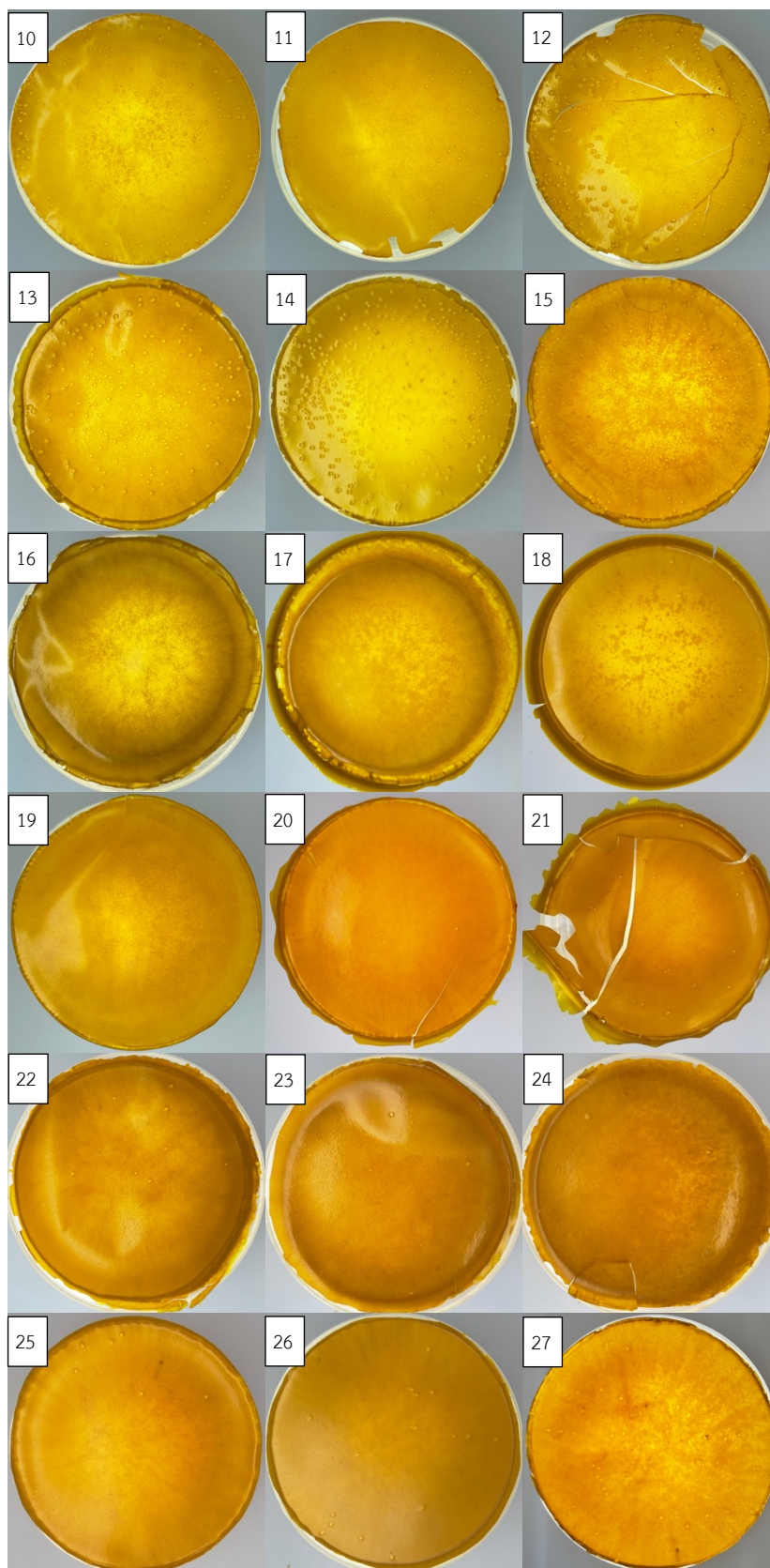
รูปที่ 3.1 แผ่น TLC แสดงองค์ประกอบหลักในสารสกัดขมิ้นชัน

3.2 แผ่นฟิล์มขมิ้น

รูปที่ 3.2 แสดงแผ่นฟิล์มขมิ้น ตัวอย่างที่ 1-27 ที่เตรียมได้ โดยเวลาที่ใช้ในการอบให้ฟิล์มแห้ง ความหนาของแผ่นฟิล์มและเวลาที่ใช้ในการละลายแผ่นฟิล์มขนาด 1x1 ตร.ซม. แสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 แผ่นฟิล์มขมิ้น ตัวอย่างที่ 1 – 27



รูปที่ 3.2 แผ่นฟิล์มขมื่น ตัวอย่างที่ 1 - 27 (ต่อ)

ตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้ในการอบให้ฟิล์มแห้ง ความหนาของแผ่นฟิล์มและเวลาที่ใช้ในการละลายแผ่นฟิล์ม ขนาด 1x1 ตร.ซม. ของตัวอย่างที่ 1-27 โดยวัดจากฟิล์มแผ่นเดียวกัน

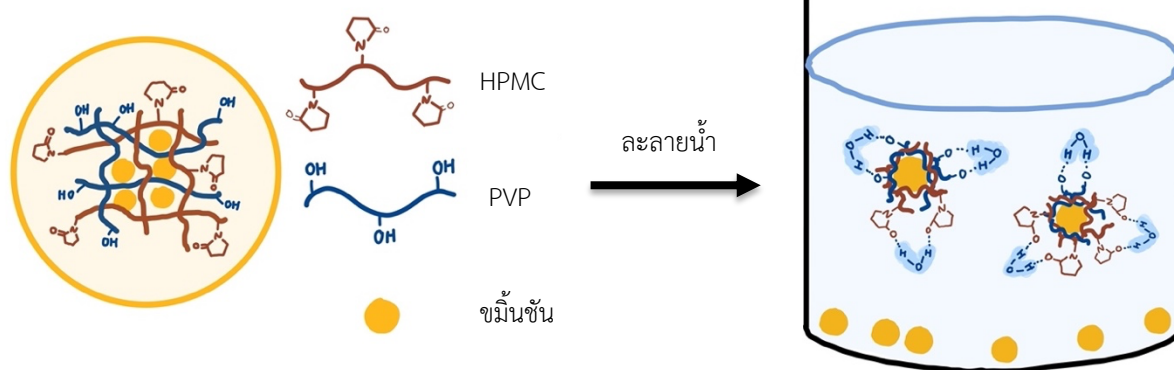
ตัวอย่างที่	เวลาที่ใช้อบแผ่นฟิล์ม	ความหนาของแผ่นฟิล์ม (มิลลิเมตร)	เวลาที่ใช้ในการละลาย (นาที)
1	14 ชม.	0.15 ± 0.01	7.0 ± 0.5
2	16 ชม.	0.19 ± 0.02	8.0 ± 0.9
3	15 ชม. 30 นาที	0.25 ± 0.03	9.0 ± 0.4
4	17 ชม. 30 นาที	0.17 ± 0.01	12.5 ± 1.3
5	17 ชม. 50 นาที	0.25 ± 0.03	16.0 ± 1.5
6	17 ชม.	0.25 ± 0.04	17.5 ± 0.9
7	18 ชม.	0.23 ± 0.03	19.0 ± 1.7
8	18 ชม. 30 นาที	0.26 ± 0.02	19.0 ± 1.5
9	18 ชม. 30 นาที	0.35 ± 0.03	25.0 ± 1.4
10	15 ชม. 30 นาที	0.17 ± 0.04	10.0 ± 0.9
11	16 ชม.	0.22 ± 0.04	7.5 ± 0.5
12	15 ชม.	0.20 ± 0.01	12.5 ± 1.0
13	17 ชม. 30 นาที	0.19 ± 0.02	8.0 ± 0.9
14	18 ชม.	0.29 ± 0.02	12.5 ± 0.8
15	17 ชม. 30 นาที	0.22 ± 0.02	15.0 ± 0.4
16	16 ชม.	0.17 ± 0.01	14.0 ± 0.5
17	17 ชม. 20 นาที	0.24 ± 0.05	21.5 ± 0.5
18	15 ชม. 20 นาที	0.25 ± 0.02	22.5 ± 1.4
19	18 ชม. 10 นาที	0.11 ± 0.01	13.0 ± 1.5
20	20 ชม. 30 นาที	0.16 ± 0.01	8.0 ± 1.2
21	19 ชม.	0.20 ± 0.02	10.0 ± 1.4
22	17 ชม. 50 นาที	0.16 ± 0.03	13.0 ± 1.4
23	18 ชม. 10 นาที	0.21 ± 0.02	14.0 ± 0.7
24	17 ชม.	0.25 ± 0.03	15.0 ± 1.8
25	21 ชม.	0.23 ± 0.03	21.5 ± 0.5
26	21 ชม.	0.26 ± 0.02	23.0 ± 1.1
27	21 ชม.	0.32 ± 0.03	25.0 ± 1.9

จากผลการทดลองในตาราง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารก่อฟิล์ม ฟิล์มจะมีความหนาเพิ่มขึ้น และความเปราะลดลง แต่จะใช้เวลาในการอบนานมากขึ้น รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการละลายแผ่นฟิล์มด้วย

โดยปกติสารสกัดไขมันชั้นมีความเข้มข้นสูงมาก ไม่สามารถละลายในน้ำได้ แต่เมื่อนำมากักเก็บโดยใช้สารก่อฟิล์ม HPMC และ PVP พบว่าสารก่อฟิล์มช่วยให้สารสกัดไขมันชั้นละลายน้ำได้ดีขึ้น ดังแสดงตัวอย่างสารละลายที่ได้ในรูปที่ 3.3 สารก่อฟิล์มทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยส่วนที่ไม่ชอบน้ำและส่วนที่ชอบน้ำ (หมู่ไฮดรอกซิล) สายโซ่ในส่วนที่ไม่ชอบน้ำของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดจะล้อมรอบโมเลกุลของสารสกัดไขมันชั้นไว้ ได้เป็นอนุภาคไขมัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 อนุภาคไขมันสามารถละลายในน้ำได้ โดยส่วนที่ชอบน้ำของสารก่อฟิล์มเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของน้ำ



รูปที่ 3.3 สารละลายฟิล์มไขมัน



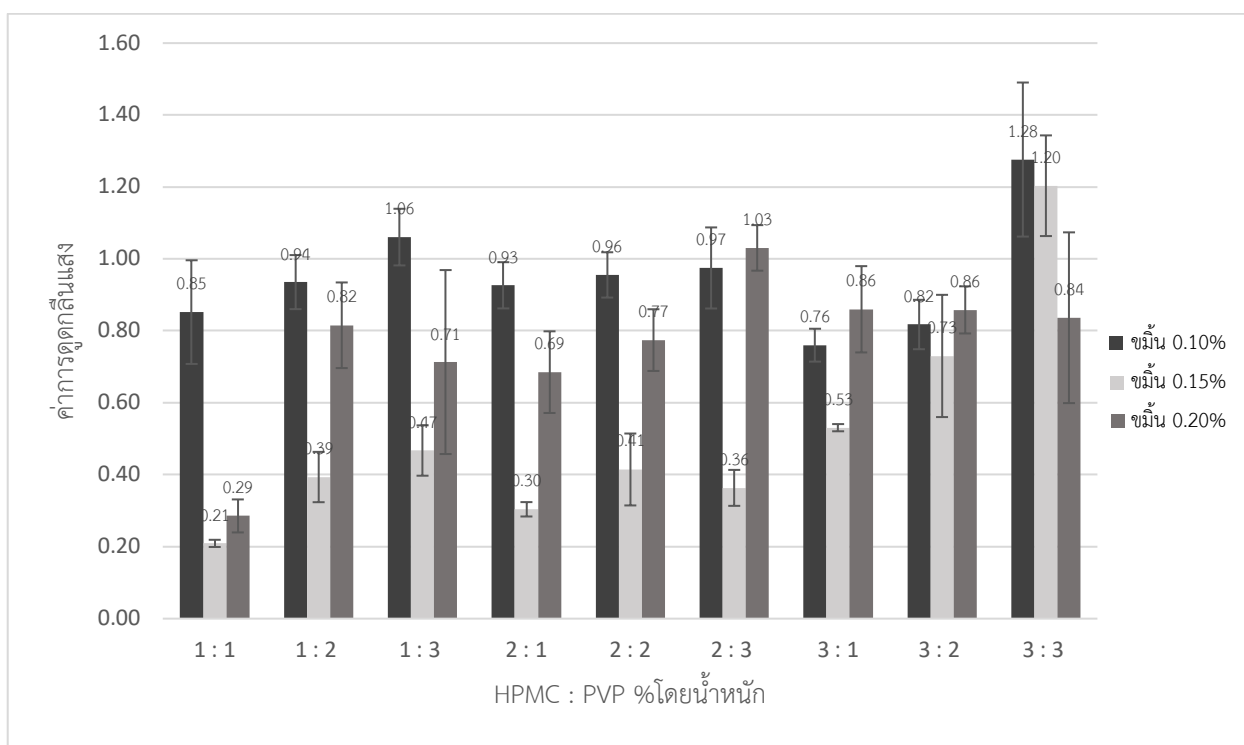
รูปที่ 3.4 การเพิ่มการละลายของสารสกัดไขมัน โดย HPMC และ PVP

3.3 สมการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคไขมันในน้ำ

เมื่อนำแผ่นฟิล์มไขมันละลายในน้ำกลั่น และตั้งทิ้งไว้ 3 คืน พบว่าสารละลายมีสีเหลืองใส และมีตะกอนสีเหลือง จึงนำเฉพาะส่วนสารละลายใสชั้นบน (supernatant) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.5

ตารางที่ 3.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มไขมันจากการทดลองต่างๆ

ตัวอย่างที่	สารสกัดไขมันชั้น (% โดยน้ำหนัก)	สารก่อกฟิล์ม (% โดยน้ำหนัก)		ค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลายฟิล์ม
		HPMC	PVP	
1	0.1	1	1	0.85 ± 0.14
2	0.1	1	2	0.94 ± 0.08
3	0.1	1	3	1.06 ± 0.08
4	0.1	2	1	0.93 ± 0.06
5	0.1	2	2	0.96 ± 0.06
6	0.1	2	3	0.97 ± 0.11
7	0.1	3	1	0.76 ± 0.05
8	0.1	3	2	0.82 ± 0.07
9	0.1	3	3	1.28 ± 0.21
10	0.15	1	1	0.21 ± 0.01
11	0.15	1	2	0.39 ± 0.07
12	0.15	1	3	0.47 ± 0.07
13	0.15	2	1	0.30 ± 0.02
14	0.15	2	2	0.41 ± 0.10
15	0.15	2	3	0.36 ± 0.05
16	0.15	3	1	0.53 ± 0.01
17	0.15	3	2	0.73 ± 0.17
18	0.15	3	3	1.20 ± 0.14
19	0.20	1	1	0.29 ± 0.05
20	0.20	1	2	0.82 ± 0.12
21	0.20	1	3	0.71 ± 0.26
22	0.20	2	1	0.69 ± 0.11
23	0.20	2	2	0.77 ± 0.09
24	0.20	2	3	1.03 ± 0.06
25	0.20	3	1	0.86 ± 0.12
26	0.20	3	2	0.86 ± 0.07
27	0.20	3	3	0.84 ± 0.24



รูปที่ 3.5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มไขมัน ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารก่อฟิล์ม (%โดยน้ำหนัก) และความเข้มข้นของสารสกัดไขมัน 0.10, 0.15 และ 0.20% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 3.5 เมื่อความเข้มข้นหรือปริมาณรวมของสารก่อฟิล์มเพิ่มมากขึ้น ที่ความเข้มข้นของสารสกัดไขมันเท่ากัน พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย และความเข้มข้นสารก่อฟิล์มที่ดีที่สุดคือ HPMC ต่อ PVP เท่ากับ 3% ทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้นของไขมัน 0.10% มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (Abs_{max}) เท่ากับ 1.28 แต่ที่ความเข้มข้นนี้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดไขมันพบว่า มีค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.5 ตารางที่ 2.2 จากนั้นประมวลผลด้วยโปรแกรม Excel จะได้สมการความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคไขมันในน้ำ ดังนี้

$$Y = 0.74 - 0.09A + 0.11B + 0.13C$$

จากสมการข้างต้น สัมประสิทธิ์พจน์ของความเข้มข้นสารสกัดไขมันในการเตรียมแผ่นฟิล์ม (A), ความเข้มข้น HPMC (B) และความเข้มข้น PVP (C) และมีค่าเท่ากับ -0.09, 0.11 และ 0.13 ตามลำดับ จากค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้สามารถบอกได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ HPMC และ PVP จะเพิ่มค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มไขมัน (ปัจจัยที่ส่งผลเชิงบวก) ตรงข้ามกับการเพิ่มความเข้มข้นสารสกัดไขมัน (ปัจจัยที่ส่งผลเชิงลบ) จะลดค่าการดูดกลืนแสง

3.4 ค่าความผิดพลาดของสมการ (Root Mean Squared Error: RMSE)

เตรียมแผ่นฟิล์มไขมันตัวอย่างที่ 28-30 เพื่อหาค่าความผิดพลาดของสมการ (RMSE) โดยแทนค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการทดลอง และจากการคำนวณที่ได้จากสมการในหัวข้อ 3.3 ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายฟิล์มจากการทดลอง และจากการคำนวณของตัวอย่างที่ 28-30

ตัวอย่างที่	สารสกัดขมิ้นชัน (% โดยน้ำหนัก)	สารก่อฟิล์ม (% โดยน้ำหนัก)		ค่าการดูดกลืนแสง ของสารละลายฟิล์ม จากการทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง ของสารละลายฟิล์ม ที่คำนวณได้
		HPMC	PVP		
28	0.17	1.5	1.5	1.17	1.08
29	0.12	1.5	2.5	0.87	1.22
30	0.17	3	2.5	1.20	1.38

คำนวณค่า RMSE ได้เท่ากับ 0.23 หมายความว่าค่าที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณนั้นมีค่าแตกต่างกันอยู่ที่ ± 0.23 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ แต่หากต้องการทำให้มีค่าความผิดพลาดน้อยลง ควรเพิ่มจำนวนการทดลองมากขึ้น และควรศึกษาผลจากปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติมด้วย

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการทดลอง

ได้ทดลองปัจจัยที่มีผลต่อการละลายน้ำของอนุภาคไขมันในแผ่นฟิล์ม เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยปัจจัยตัวแปรที่ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นสารสกัดไขมัน ปริมาณสารก่อฟิล์ม 2 ชนิดคือ ไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose; HPMC) และพอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (polyvinylpyrrolidone; PVP) ที่มีผลต่อปริมาณอนุภาคไขมันที่ละลายน้ำหรือกระจายตัวในน้ำได้ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง

เริ่มจากการสกัดไขมันชั้น จากไขมันชั้นหั่น ตากแห้ง น้ำหนัก 250 กรัม ได้สารสกัดไขมันชั้น 9.20 กรัม คิดเป็น 3.68 %yield และเมื่อตรวจสอบองค์ประกอบของสารสกัดไขมันด้วยเทคนิคทิน-แลเยอร์ โครมาโทกราฟี พบ 3 องค์ประกอบหลัก คือ เคอร์คิวมิน โมโนเดสเมทอกซีเคอร์คิวมินและบิสเดสเมทอกซีเคอร์คิวมิน จากนั้น เตรียมแผ่นฟิล์มไขมันชั้น 27 ตัวอย่าง โดยใช้สารสกัดไขมันเข้มข้น 0.1, 0.15 และ 0.2% โดยน้ำหนัก ใช้ HPMC และ PVP ซึ่งมีความเข้มข้น 1, 2 และ 3% โดยน้ำหนัก อบให้แห้ง ใช้เวลาประมาณ 14-21 ชั่วโมง แผ่นฟิล์มไขมันแห้งมีความหนาในช่วง 0.11-0.35 มิลลิเมตร ซึ่งความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารก่อฟิล์มมากขึ้น ในการทดสอบการละลายน้ำของแผ่นฟิล์มไขมันขนาด 1x1 ตร.ซม. ทำการละลายที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณสารก่อฟิล์มมากกว่าก็จะใช้เวลาในการละลายมากกว่าด้วย จากนั้นตั้งสารละลายนี้ไว้ 3 คืน เพื่อให้ตะกอนขนาดใหญ่หรือสารสกัดไขมันที่ไม่ถูกกักเก็บในสารก่อฟิล์มตกลงมา วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายใสชั้นบน ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

นำข้อมูลที่ได้จาก 27 ตัวอย่าง ประมวลผลด้วยการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Regression) จะได้สมการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคไขมันในน้ำ ดังนี้

$$Y = 0.74 - 0.09A + 0.11B + 0.13C$$

โดย Y คือ ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคไขมันจากสารละลายแผ่นฟิล์มไขมัน

A คือ ความเข้มข้นสารสกัดไขมันชั้น

B คือ ความเข้มข้น HPMC และ

C คือ ความเข้มข้นของ PVP

จากสมการแสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกของสารก่อฟิล์ม (พจน์ B และ C) แสดงถึงการส่งผลเชิงบวก ต่อการละลายของอนุภาคไขมัน และค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบของความเข้มข้นสารสกัดไขมัน แสดงถึงการส่งผลเชิงลบ จากนั้นเตรียมแผ่นฟิล์มไขมัน (ตัวอย่างฟิล์มที่ 28-30) เพื่อหาค่าความผิดพลาดของสมการ (Root Mean Squared Error: RMSE) พบว่ามีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.23 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม การใช้สมการนี้เพื่อประโยชน์ในการใช้ความเข้มข้นของสารสกัดไขมันและสารก่อฟิล์มให้ได้ค่าการละลายที่

ต้องการ มีขีดจำกัด คือ ไม่ว่าจะลดปริมาณสารสกัดไขมันและเพิ่มปริมาณสัดส่วนสารก่อฟิล์มให้มากขึ้นก็ไม่สามารถกักเก็บไขมันได้ 100% และไม่สามารถเพิ่มความเข้มข้นของ HPMC และ PVP ได้มากกว่า 5% โดยน้ำหนัก เนื่องจากสารละลายจะมีความหนืดมาก จนไม่สามารถผสมสารก่อฟิล์มและน้ำให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้

4.2 งานที่ควรศึกษาต่อและข้อเสนอแนะ

- วิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบหลักในสารสกัดไขมันที่สกัดได้ ด้วยเทคนิคสเปคโตรสโกปีต่างๆ
- ศึกษาขนาดของอนุภาคไขมัน ด้วยการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วต่างๆ
- ศึกษาความเสถียรของแผ่นฟิล์มไขมันแห้งในสถานะที่ไม่เสถียรของสารสกัดไขมัน
- ศึกษาความเสถียรของอนุภาคไขมัน เมื่อเก็บไว้ในสถานะต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

1. สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม, อิทธิพลของอุณหภูมิ เวลา และตัวทำละลายที่มีต่อการสกัดสารเคอร์คิวมินจากขมิ้นชัน. *KKU Engineering Journal*. **2006**, *33*, 225-236.
2. Takahashi, M.; Uechi, S.; Takara, K.; Asikin, Y.; Wada, K. Evaluation of an oral carrier system in rats: bioavailability and antioxidant properties of liposome-encapsulated curcumin. *Journal of Agriculture Food Chem*. **2009**, *57*, 9141-9146.
3. Kharat, M.; Du, Z.; Zhang, G.; McClements, D. J. Physical and Chemical Stability of Curcumin in Aqueous Solutions and Emulsions: Impact of pH, Temperature, and Molecular Environment. *Journal of Agriculture Food Chem*. **2017**, *65*, 1525-1532.
4. Gong, C.; Deng, S.; Wu, Q.; Xiang, M. Improving anti angiogenesis and anti-tumor activity of curcumin by biodegradable polymeric micelles. *Biomaterials*. **2013**, *34*, 1413-1432.
5. Hu, Q.; Luo, Y. Chitosan-based nanocarriers for encapsulation and delivery of curcumin: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. **2021**, *179*, 125-135.
6. Siviero, A.; Gallo, E.; Maggini, V.; Gori, L.; Mugelli. Curcumin, a golden spice with a low bioavailability. *Journal of Herbal Medicine*. **2015**, *5*, 57-70.
7. Aggarwal, B.B.; Sundaram, C.; Malani, N.; Ichikawa, H. Curcumin: the Indian solid gold. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. **2007**, *595*, 1-75.
8. Menon, V.P.; Sudheer, A.R. Antioxidant and anti-inflammatory properties of curcumin. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. **2007**, *595*, 105-125.
9. Kakkar, V.; Singh, S.; Singla, D.; Kaur, I.P. Exploring solid lipid nanoparticles to enhance the oral bioavailability of curcumin. *Molecular Nutrition & Food Research*. **2011**, *55*, 495-503.
10. Schneider, C.; Gordon, O. N.; Edwards, R. L.; Luis, P. B. Degradation of Curcumin: From Mechanism to Biological Implications. *Journal of Agriculture Food Chem*. **2015**, *63*, 7606-7614.
11. Suresh, D.; Priyanka, B.; Preetesh, M.; Khusbu, S. DEGRADATION STUDIES OF CURCUMIN. *International Journal of Pharmacy Review & Research*. **2013**, *3*, 50- 55.
12. Khadiran, T.; Hussein, M. Z.; Zainal, Z.; Rusli, R. Encapsulation Techniques for Organic Phase Change Materials as Thermal Energy Storage Medium: A Review. *Solar Energy. Materials and Solar Cells*. **2015**, *143*, 78-98.

13. Devi, N.; Sarmah, M.; Khatun, B.; Maji, T. K. Encapsulation of active ingredients in polysaccharide-protein complex coacervates. *Advanced Colloid Interface Science*. **2017**, *239*, 136-145.
14. Onoue, S.; Takahashi, H.; Kawabata, Y.; Seto, Y.; Hatanaka, J.; Yamada, S. Formulation Design and Photochemical Studies on Nanocrystal Solid Dispersion of Curcumin with Improved Oral Bioavailability. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. **2010**, *99*, 1871-1881.
15. Chuah, A. M.; Jacob, B.; Jie, Z.; Ramesh, S.; Mandal, S.; Das, T. Enhanced bioavailability and bioefficacy of an amorphous solid dispersion of curcumin. *Food Chemistry*. **2014**, *156*, 227-233.
16. Tonnesen, H. H. Solubility and stability of curcumin in solutions containing alginate and other viscosity modifying macromolecules. Studies of curcumin and curcuminoids. XXX. *Pharmazie*. **2006**, *61*, 696-700.
17. Farnia, P.; Mollaei, S.; Bahrami, A.; Ghassempour, A.; Velayati, A. A.; Ghanavi, J. Improvement of curcumin solubility by polyethylene glycol/chitosan-gelatin nanoparticles (CUR-PEG/CS-G-nps). *Biomedical Research*. **2016**, *27*, 659-665.
18. Mangolim, C.S.; Moriwaki, C.; Sato, F.; Neto, A. M.; Matioli, G. Curcumin- β -cyclodextrin inclusion complex: Stability, solubility, characterisation by FT-IR, FT-Raman, X-ray diffraction and photoacoustic spectroscopy, and food application. *Food Chemistry*. **2014**, *153*, 361-370.
19. Kumar, S.; Kesharwani, S. S.; Mathur, H.; Tyagi, M.; Bhat, G. J.; Tummala, H. Molecular complexation of curcumin with pH sensitive cationic copolymer enhances the aqueous solubility, stability and bioavailability of curcumin. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. **2016**, *82*, 86-96.
20. Liu, W.; Chen, X. D.; Cheng, Z.; Selomulya, C. On enhancing the solubility of curcumin by microencapsulation in whey protein isolate via spray drying. *Journal of Food Engineering*. **2016**, *169*, 189-195.
21. Gómez-Estaca, J.; Gavara, R.; Hernández-Muñoz, P. Encapsulation of curcumin in electrospayed gelatin microspheres enhances its bioaccessibility and widens its uses in food applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. **2015**, *29*, 302-307.
22. Yadav, V. R.; Suresh, S.; Devi, K.; Yadav, S. Effect of Cyclodextrin Complexation of Curcumin on its Solubility and Antiangiogenic and Anti-inflammatory Activity in Rat Colitis Model. *AAPS PharmSciTech*. **2009**, *10*, 752.

23. Sadeghi, F.; Ashofteh, M.; Homayouni, A.; Abbaspour, M.; Nokhodchi, A.; Garekani, H. A. Antisolvent precipitation technique: A very promising approach to crystallize curcumin in presence of polyvinyl pyrrolidone for solubility and dissolution enhancement. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. **2016**, *147*, 258- 264.
24. Pan, K.; Zhong, Q.; Baek, S. J. Enhanced dispersibility and bioactivity of curcumin by encapsulation in casein nanocapsules. *Journal of Agriculture Food Chem*. **2013**, *61*, 6036-6043.
25. Shin, G.H.; Li, J.; Cho, J. H.; Kim, J. T.; Park, H. J. Enhancement of Curcumin Solubility by Phase Change from Crystalline to Amorphous in Cur-TPGS Nanosuspension. *Journal of Food Science*. **2016**, *81*, 494-501.
26. Tapal, A.; Tiku, P. K. Complexation of curcumin with soy protein isolate and its implications on solubility and stability of curcumin. *Food Chemistry*. **2012**, *130*, 960-965.
27. Carvalho, D. d. M.; Takeuchi, K. P.; Geraldine, R. M.; Moura, C. J. d.; Torres, M. C. L. Production, solubility and antioxidant activity of curcumin nanosuspension. *Food Science and Technology (Campinas)*. **2015**, *35*, 115-119.
28. Nussinovitch, A. Hydrocolloid coating of foods: A review. *The Leatherhead Food Industry Journal*. **1998**, *1*, 174-188.
29. Tundisi, L. L.; Mostaço, G. B.; Carricondo, P. C.; Petri, D. F. S. Hydroxypropyl methylcellulose: Physicochemical properties and ocular drug delivery formulations. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. **2021**, *159*, 1-12.
30. Brindle, L. P.; Krochta, J. M. Physical properties of whey protein-hydroxypropyl methylcellulose blend edible films. *Journal of Food Sciences*. **2008**, *79*, 446-454.
31. Loh, G. O. K.; Tan, Y. T. F.; Peh, K. K. Effect of HPMC concentration on β -cyclodextrin solubilization of norfloxacin. *Carbohydrate Polymers*. **2014**, *101*, 505-510.
32. Roy, N.; Saha, N.; Kitano, T.; Saha, P. Biodegradation of PVP–CMC hydrogel film: A useful food packaging material. *Carbohydrate Polymers*. **2012**, *89*, 346-353.
33. Li, J.; Zivanovic, S.; Davidson, P. M.; Kit, K. Characterization and comparison of chitosan/PVP and chitosan/PEO blend films. *Carbohydrate Polymers*. **2010**, *79*, 786-791.
34. Somashekarappa, H.; Prakash, Y.; Hemalatha, K.; Demappa, T.; Somashekar, R. Preparation and Characterization of HPMC/PVP Blend Films Plasticized with Sorbitol. *Indian Journal of Materials Science*. **2013**, *2013*, 1-7.

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวรังรักษ์ ทรหด เกิดเมื่อวันที่ 31 เดือน มกราคม พ.ศ. 2542 ที่จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสตรีราชินูทิศ จังหวัดอุตรธานี เมื่อปีการศึกษา 2559 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2560 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 305 หมู่ที่ 3 ตำบลนาดี อำเภอเมืองอุตรธานี จังหวัดอุตรธานี รหัสไปรษณีย์ 41000 อีเมล rangrakt@outlook.co.th