

การกักเก็บกรดเฟอร์ูลิกในไคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจล
Encapsulation of Ferulic Acid in Chitosan/Polyvinyl Alcohol Hydrogel

ภัทรภรณ์ สุตะพันธ์

อีเมล: likethisgif@gmail.com

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง
สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐยา เหล่าฤทธิ อาจารย์ที่ปรึกษา

อีเมล: nattayal@mfu.ac.th

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมไคโตซาน (chitosan: CS)/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol: PVA) ไฮโดรเจลที่กักเก็บกรดเฟอร์ูลิก (Ferulic acid: FA) ร้อยละ 0.5, 1 และ 3 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) โดยมีกลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde: GA) เป็นสารเชื่อมขวาง ใน 2 สภาวะคือ สภาวะที่ 1 FA ผสมกับ PVA ก่อนการทำไฮโดรเจล และสภาวะที่ 2 คือ เตรียมไฮโดรเจลและผสม FA พบว่า ร้อยละการกักเก็บ FA ทั้ง 3 ความเข้มข้นของไฮโดรเจลสภาวะที่ 1 ดีกว่าสภาวะที่ 2 (84.77 ± 0.34 , 85.67 ± 0.22 และ 87.68 ± 0.20 ตามลำดับ และ 78.92 ± 0.54 , 82.39 ± 1.41 และ 85.32 ± 0.70 ตามลำดับ) โดยไฮโดรเจลทั้งสองสภาวะมีการปลดปล่อย FA แบบ Higuchi โดยสภาวะที่ 1 มีความสามารถในการปลดปล่อย FA ดีกว่าสภาวะที่ 2 แสดงจากไฮโดรเจลมีโครงสร้างที่แข็งแรง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อผ่านการทดสอบความคงตัว พบว่า รูปแบบของการปลดปล่อยยังคงเดิม

คำสำคัญ: กรดเฟอร์ูลิก/ไคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/ไฮโดรเจล

ABSTRACT

The aim of this research is to prepare chitosan (CS)/polyvinyl alcohol (PVA) hydrogels encapsulated ferulic acid (FA) at different concentration (0.5, 1 and 3% w/w) using glutaraldehyde as the crosslinking agent in 2 conditions. First, FA mixed with PVA prior to hydrogel preparation (condition 1) and later mixed with the prepared hydrogel (condition 2). Encapsulation efficiency (%EE) of FA at all concentrations of condition 1 was shown to be better than condition 2 (84.77 ± 0.34 , 85.67 ± 0.22 and $87.68 \pm 0.20\%$, respectively and 78.92 ± 0.54 , 82.39 ± 1.41 and $85.32 \pm 0.70\%$, respectively). FA releasing profiles of both hydrogel condition were related to Higuchi model. Of which, FA of condition 1 released better than condition 2 corresponding stronger structure hydrogel. Following stability assessment, releasing profile remained unchanged.

Key words: Ferulic acid/Chitosan/Polyvinyl alcohol/Hydrogel

บทนำ

ไฮโดรเจลเป็นสารกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นตาข่ายหลายมิติ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำ และยอมให้โมเลกุลต่างๆผ่านได้ (ชัยบุญธรรม ศรีสุบิน, 2557) ซึ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา มีการพัฒนาไฮโดรเจลเป็นจำนวนมาก และได้มีการเตรียมไฮโดรเจลร่วมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน ประกอบกับปัจจุบันที่แสงแดด มลภาวะ และสารอนุมูลอิสระเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลให้ผิวหนังเหี่ยวและเสื่อมก่อนวัยอันควร จึงทำให้มีการนำสารสำคัญต่างๆมาใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลผิวพรรณมากมาย ซึ่งกรดเฟอรูลิกจัดเป็นสารที่ได้รับความนิยมในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โดยมีผลการศึกษามีประสิทธิภาพในการปกป้องผิวจากสารอนุมูลอิสระช่วยในเรื่องของการชะลอวัย (anti-aging) และให้ความกระจ่างใสด้วย (Oresajo, Stephens et al., 2008) นอกจากนี้กรดเฟอรูลิกยังสามารถดูดซึมเข้าสู่ผิวได้ดี (Saija et al., 1999) และจะมีการดูดซึมได้ดียิ่งขึ้น เมื่ออยู่ในภาวะ lipophilicity

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจการนำไฮโดรเจลและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาทำเป็นไฮโดรเจล เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง โดยการใส่กรดเฟอรูลิกในไฮโดรเจล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเตรียมและการดูดซึมเข้าสู่ผิวของกรดเฟอรูลิก ผู้วิจัยเลือกเตรียมไฮโดรเจล/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลในสัดส่วน 9/91 โดยน้ำหนัก (Rodrigues et al., 2007) ซึ่งให้ผลการพองตัวน้ำที่ดี และทำการเติมกรดเฟอรูลิกที่ร้อยละ 0.5, 1 และ 3 โดยน้ำหนัก (Zdunska, Dana, Kolodziejczak, & Rotsztejn, 2018) จากตัวอย่างของกรดเฟอรูลิกที่มีในท้องตลาด โดยทำการศึกษา

ความสามารถในการกักเก็บและการปลดปล่อยของกรดเพอรูลิก รวมถึงความคงตัวของไคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลที่กักเก็บกรดเพอรูลิก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเตรียมไฮโดรเจลจากไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกรดเพอรูลิก
2. เพื่อศึกษาความสามารถของไฮโดรเจลในการกักเก็บกรดเพอรูลิก
3. เพื่อศึกษาการปลดปล่อยกรดเพอรูลิกจากไฮโดรเจล
4. เพื่อศึกษาความคงตัวของไคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลที่กักเก็บกรดเพอรูลิก

ขอบเขตของการวิจัย

เตรียมไฮโดรเจลจากไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และทำการเติมกรดเพอรูลิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1 และ 3 ศึกษาความสามารถของไฮโดรเจลในการกักเก็บกรดเพอรูลิก วิเคราะห์การปลดปล่อยกรดเพอรูลิกจากไฮโดรเจลเริ่มที่เวลา 10 นาที และศึกษาความคงตัวของไคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลที่กักเก็บกรดเพอรูลิก ทำการทดสอบภายใต้สภาวะเร่งและวิเคราะห์ด้วย UV-spectrophotometer วัดการปลดปล่อยของกรดเพอรูลิกที่ได้เทียบกับเริ่มต้น

ทบทวนวรรณกรรม

กรดเพอรูลิกมีการนำไปใช้ในทางชีวการแพทย์ เกษศาสตร์และอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการปกป้องจากสารอนุมูลอิสระ (anti-oxidant) สามารถช่วยในเรื่องของการชะลอวัย (anti-aging) ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) ต้านเชื้อแบคทีเรีย (anti-bacterial) และอื่นๆอีกมากมาย นอกจากนี้กรดเพอรูลิกยังสามารถดูดซึมเข้าสู่ผิวได้ดี (Saija et al., 1999)

จากการศึกษาพบว่า ไคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลเป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีคุณสมบัติเข้ากันได้ดีกับเซลล์ ไม่ก่อให้เกิดพิษ และด้วยโครงสร้างของไฮโดรเจลที่เป็นตาข่าย ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำ และยอมให้โมเลกุลต่างๆผ่านได้ (ฉัญญภรณ์ ศรีสุบิน, 2557) จึงทำให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆมากมาย อาทิเช่น การนำส่งยา และจากคุณสมบัติข้างต้น ทำให้ไฮโดรเจลมีความสามารถในการกักเก็บและปลดปล่อยสารสำคัญอย่างช้าๆ (ฉัญลักษณ์ ฉัญญะเจริญ, 2017) จากประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้น จึงเกิดการนำไฮโดรเจลประเภทนี้มาประยุกต์ใช้ในทางเครื่องสำอาง โดยทำการใส่กรดเพอรูลิก เพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้กับไฮโดรเจล

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมไฮโดรเจลจากไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผสมกรดเพอริลิก โดยแบ่งการเตรียมเป็น 2 วิธี วิธีแรกเตรียมโดยนำกรดเพอริลิกผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Rodrigues et al., 2007) แล้วจึงนำไปทำไฮโดรเจล และวิธีที่สอง เตรียมโดยผสมสารทั้งหมดให้ได้ไฮโดรเจลแล้วจึงใส่กรดเพอริลิก ทั้งสองวิธีใส่กรดเพอริลิกร้อยละ 0.5 1 และ 3

2. การประเมินคุณภาพด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) โดยทำการศึกษามุมฟังก์ชันของตัวอย่าง ได้แก่ ไคโตซาน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กรดเพอริลิก กลูต้าอิลดีไฮด์ ไฮโดรเจลที่เตรียมจากไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และไฮโดรเจลข้างต้นที่ผสมกรดเพอริลิกร้อยละ 0.5, 1 และ 3 ซึ่งสเปกตรัมที่ใช้บันทึกอยู่ในช่วงเลขคลื่น 4000 – 400 ต่อเซนติเมตร

3. หาร้อยละการกักเก็บสาร (encapsulation efficiency: %EE) และร้อยละการบรรจุสาร (loading capacity: %LC) นำไฮโดรเจลที่ความเข้มข้นของกรดเพอริลิกที่ต่างกัน มาศึกษา %EE และ %LC โดยวิธีของ Li and Li (2017) จากนั้นนำของเหลวไปวัดด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นสูงสุดของ FA

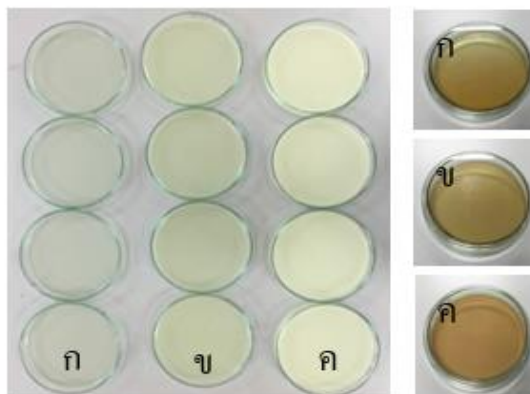
4. การศึกษาการปลดปล่อยกรดเพอริลิกจากไฮโดรเจล นำไฮโดรเจลมาพิจารณาการปลดปล่อยโดยวิธีของ ธัญลักษณ์ ธัญญะเจริญ (2017) จากนั้นนำของเหลวไปวัดด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นสูงสุดของ FA) เพื่อหาปริมาณของสารสำคัญที่ปล่อยออกมาที่เวลาต่างๆ

5. การศึกษาความคงตัวของไฮโดรเจล โดยตรวจสอบจากปริมาณกรดเพอริลิกที่เหลืออยู่ในไฮโดรเจล ซึ่งทดสอบความคงตัวสถานะเร่งอุณหภูมิ (heating-cooling) และศึกษาการปลดปล่อยกรดเพอริลิกเทียบกับหัวข้อ 4

6. ทดสอบผลทางสถิติ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ยอมรับที่ $p < 0.05$

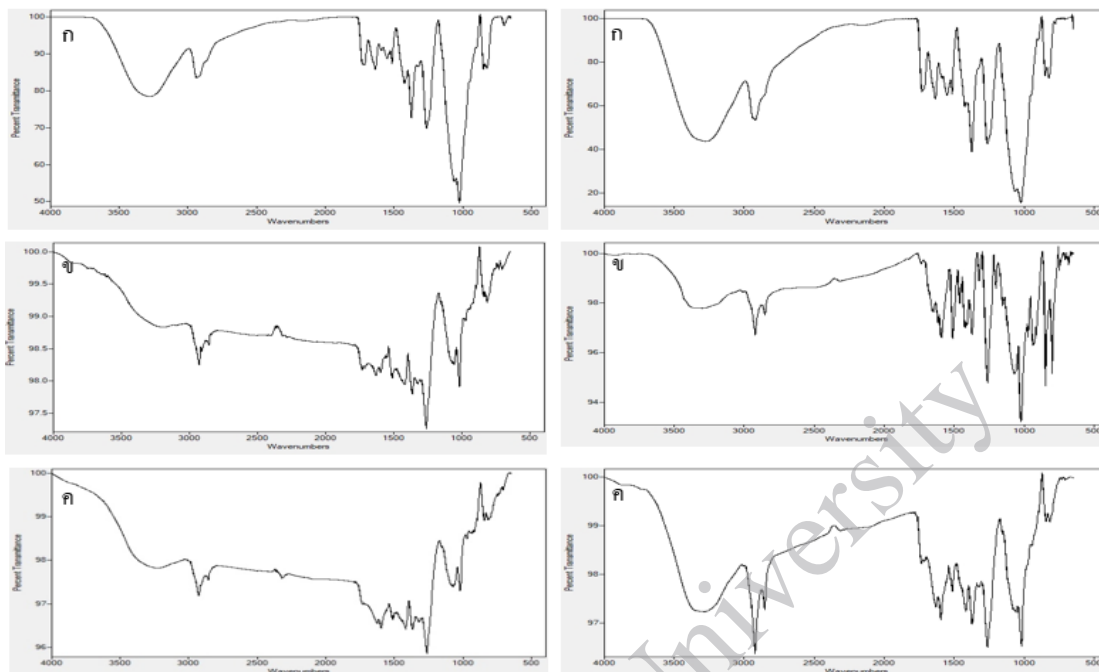
ผลการวิจัย

จากวิธีการเตรียม FA ที่แตกต่างกัน พบว่า การเตรียมแบบสถานะที่ 1 (chemical mixing) มีการละลายของ FA ที่ดี ทำให้มีความเข้ากันได้ดีของสาร ในขณะที่การเตรียมแบบสถานะที่ 2 (physical mixing) การละลายของ FA ไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้เกิดการตกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ ซึ่งสารผสมที่เตรียมใหม่ของทั้ง 2 สถานะ มีลักษณะสีเหลืองครีม สีจะเข้มขึ้นเมื่อมีปริมาณของ FA เพิ่มขึ้น และหลังจากการทำให้แห้ง จะได้แผ่นไฮโดรเจลลักษณะสีน้ำตาลอ่อนและเข้มขึ้น เมื่อมีปริมาณของ FA มากขึ้น ซึ่งทั้ง 2 สถานะให้สีในลักษณะเดียวกัน (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 สีของไฮโดรเจลที่เตรียมใหม่ และแบบแห้งร้อยละ (ก) 0.5 (ข) 1 และ (ค) 3 ของ FA

จากการศึกษาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของ CS และ PVA ที่กักเก็บ FA ในไฮโดรเจล พบว่า สัญญาณของ FA ที่ความเข้มข้นต่างๆของสภาวะที่ 1 จะพบสัญญาณที่ ~ 1731 ต่อเซนติเมตร และ ~ 1262 ต่อเซนติเมตร แสดงถึง C=O และ C-O ซึ่งเป็นพันธะของ ester ที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ COOH ของ FA และ O-H ของ PVA นอกจากนี้ยังพบ C=C ในช่วง 1500 ต่อเซนติเมตร ถึง 1600 ต่อเซนติเมตร แสดงถึงวงอะโรมาติกของ FA ที่เกิดขึ้นในไฮโดรเจล (Bersanetti et al., 2019) และสัญญาณที่ ~ 1514 ต่อเซนติเมตร อาจเกิดมาจากการละลายของ CS ทำให้เกิดการ protonated NH_3^+ และสร้างพันธะไฮโดรเจนกับ O-H ของ FA นั่นคือ ไฮโดรเจลนี้มีการเกาะติดอยู่ที่ CS (Li & Li., 2017) จากผลของ FTIR spectrum ที่มีความแตกต่างของความเข้มและตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชัน อาจกล่าวได้ว่า การเตรียมที่สภาวะที่ 1 นี้ พบ FA อยู่ในโครงสร้างของไฮโดรเจล (ภาพที่ 2 ซ้าย) สำหรับสภาวะที่ 2 FA ร้อยละ 0.5 มีลักษณะของสเปกตรัมคล้ายคลึงกับสภาวะที่ 1 แต่ที่ความเข้มข้นของ FA ร้อยละ 1 และ 3 จะเกิดรูปแบบกราฟของ FA ที่เห็นได้ชัด อาจเนื่องมาจาก FA ไม่ได้สร้างพันธะกับโครงสร้างในไฮโดรเจล ซึ่งเป็นไปได้ว่า อาจเกาะอยู่ที่ผิวด้านนอก จึงเห็นสัญญาณที่ไม่ชัดเจน (ภาพที่ 2 ขวา)



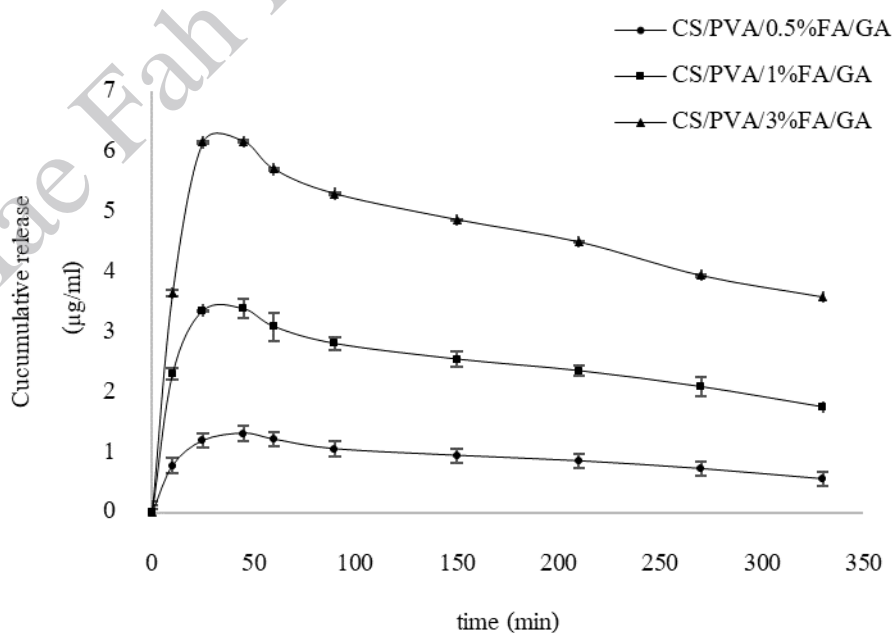
ภาพที่ 2 IR สเปกตรัมของสภาวะที่ 1 (ซ้าย) และสภาวะที่ 2 (ขวา) ที่ความเข้มข้นของ FA (ก) ร้อยละ 0.5 (ข) 1 และ (ค) 3

จากการศึกษาหา %EE และ %LC ดังตารางที่ 1 พบว่า สภาวะที่ 1 ให้ค่า %EE และ %LC ที่มากกว่าสภาวะที่ 2 ที่ความเข้มข้นเดียวกันของ FA ซึ่งจากผลการทดสอบทางสถิติที่มีระดับนัยสำคัญต่ำกว่าร้อยละ 5 แสดงถึงความแตกต่างระหว่าง 2 กลุ่มว่า การเตรียมแบบสภาวะที่ 1 และแบบสภาวะที่ 2 มีความแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผล FTIR ที่ระบุได้ว่าสภาวะที่ 1 เป็นการเตรียมที่มีประสิทธิภาพและมีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการกักเก็บ FA ได้ดีกว่าการเตรียมแบบสภาวะที่ 2

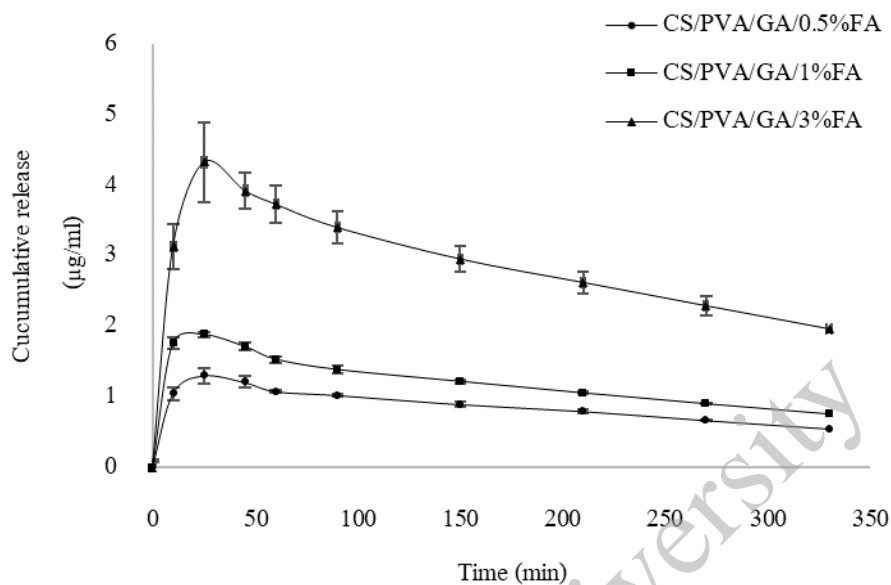
ตารางที่ 1 แสดงการกักเก็บกรดเฟอรูลิก (%EE) และ ร้อยละการบรรจุกรดเฟอรูลิก (%LC) ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น	สภาวะที่ 1		สภาวะที่ 2	
	%EE	%LC	%EE	%LC
ร้อยละ 0.5	84.77 ± 0.34	29.76 ± 0.11	78.92 ± 0.54	28.29 ± 0.19
ร้อยละ 1	85.67 ± 0.22	46.14 ± 0.12	82.39 ± 1.41	45.17 ± 0.77
ร้อยละ 3	87.68 ± 0.20	72.49 ± 0.16	85.32 ± 0.70	71.90 ± 0.59

จากผลการศึกษาการปลดปล่อยของ FA ในไฮโดรเจล พบว่า สภาวะที่ 1 ทั้ง 3 ความเข้มข้นมีการปลดปล่อย FA มากที่สุดที่เวลา 45 นาที หลังจากนั้น FA จะค่อยๆมีการปลดปล่อยลดลง ซึ่งจากกราฟ (ภาพที่ 3) มีค่าการปลดปล่อยของร้อยละ 0.5, 1 และ 3 ได้ดังนี้คือ 1.20, 3.39 และ 6.17 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 อัตราปลดปล่อยในช่วงเริ่มต้นจะน้อยกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 3 เนื่องมาจากที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มี driving force ที่ไม่มากพอ อาจกล่าวได้ว่าที่ความเข้มข้นสูง ส่งผลให้การปลดปล่อยมากขึ้น สำหรับสภาวะที่ 2 (ภาพที่ 4) การปลดปล่อยของ FA มากที่สุดอยู่ที่เวลา 25 นาที ค่าการปลดปล่อยของ FA ที่ร้อยละ 0.5 1 และ 3 ได้ดังนี้คือ 1.31 1.88 และ 4.32 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ โดยให้กราฟในลักษณะเดียวกับสภาวะที่ 1 สำหรับการเตรียมที่ความเข้มข้นต่ำ สภาวะที่ 2 ให้ค่าการปลดปล่อยที่มากกว่าสภาวะที่ 1 อาจเนื่องจากการเตรียมแบบ physical mixing ทำให้เกิดการกระจายตัวของ FA ที่มีปริมาณต่ำได้อย่างรวดเร็วและดีกว่าแบบ chemical mixing ทำให้มีการสร้างพันธะในโครงสร้างไฮโดรเจลได้มาก จึงเกิดการปลดปล่อยที่ดีกว่า และจากผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า ที่ร้อยละ 0.5 ของ FA ที่ทั้งสองสภาวะมีค่าไม่แตกต่างกัน นั่นคือ การเตรียมที่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ไม่มีผลต่อการปลดปล่อย FA ในขณะที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 3 ของ FA ให้ค่าที่แตกต่างกันจากการเตรียมที่แตกต่างกัน แสดงถึงการเตรียมที่แตกต่างกัน มีผลต่อการปลดปล่อย FA ที่ความเข้มข้นที่ร้อยละ 1 และ 3



ภาพที่ 3 การปลดปล่อยของ CS/PVA/FA/GA ของสภาวะที่ 1



ภาพที่ 4 การปลดปล่อยของ CS/PVA/GA/FA ของสภาวะที่ 2

เมื่อทำการเปรียบเทียบที่เวลา 25 และ 45 นาทีของทั้งสองสภาวะ ซึ่งเป็นเวลาการปลดปล่อยดีที่สุดของสภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 1 ตามลำดับ พบว่า ผลของการปลดปล่อยของสภาวะที่ 1 ดีกว่าสภาวะที่ 2 นั้น นั่นอาจกล่าวได้ว่า สภาวะที่ 1 อาจเหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับการทำเครื่องสำอางต่อไป รวมถึงความสัมพันธ์ที่แปรผันตรงกันระหว่างความเข้มข้นกับความสามารถในการปลดปล่อยอีกด้วย จากกราฟเมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยของ FA ทั้งสองสภาวะ จะเห็นว่าที่ สภาวะที่ 1 จะให้การปลดปล่อยที่มากกว่าสภาวะที่ 2 อาจเนื่องมาจากที่สภาวะที่ 1 มีการละลาย FA ใน PVA ก่อนที่จะนำมาทำเป็นไฮโดรเจล ซึ่ง FA ละลายได้ดีใน PVA และ COOH ของ FA ไปสร้างพันธะโควาเลนต์กับตำแหน่ง O-H ของ PVA โดยดูได้จาก IR spectrum (Bersanetti et al., 2019) ทำให้เมื่อฟอร์มโครงสร้างเป็นไฮโดรเจล ได้โครงสร้างที่แข็งแรงพอ และค่อยๆ ให้การปลดปล่อยออกมา เมื่อเทียบกับสภาวะที่ 2 ที่มีการละลาย FA หลังจากมีการทำไฮโดรเจล ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า เมื่อเกิดตัวเป็นไฮโดรเจลแล้วมีการสร้างพันธะในโครงสร้าง เมื่อละลาย FA ลงไป ทำให้เหลือพื้นที่ในการสร้างพันธะภายในน้อยลง ซึ่ง FA อาจเกาะที่บริเวณผิวด้านนอกมากกว่า ทำให้การปลดปล่อยเกิดการ flux ออกมาที่เดียวต่างจากสภาวะที่ 1

จากการศึกษากลไกการปลดปล่อย FA จากไฮโดรเจลที่เตรียม ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ในตารางที่ 4.2 พบว่า ทั้งสองสภาวะมีรูปแบบการจำลอง Higuchi เนื่องจากมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 มากกว่า เมื่อเทียบแบบจำลองอันดับศูนย์ แบบอันดับหนึ่ง จึงทำให้กลไกการปลดปล่อยของ FA

เป็นไปตามแบบจำลอง Higuchi กล่าวคือ ในตอนเริ่มต้นความเข้มข้นของ FA ในไฮโดรเจลจะสูงกว่าในสารละลายและจะปลดปล่อย FA ได้มากที่สุดในช่วงเวลาสั้นๆ และเมื่อเวลาผ่านไปจะค่อยๆ มีการปลดปล่อยที่ลดลง โดยจะเป็นการแพร่ในทิศทางเดียวและอนุภาคของ FA จะเล็กกว่าไฮโดรเจล (ศศิพิมพ์ สารระชนะ, 2017) ซึ่งการปลดปล่อยแบบนี้ถือว่าเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในทางเครื่องสำอาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปทำแผ่นมาสก์ เนื่องจากจะได้รับประโยชน์จากสารสำคัญได้มากที่สุดในช่วงเวลาสั้นๆ และได้รับอย่างต่อเนื่องจากสารสำคัญที่ค่อยๆปลดปล่อยออกมา

ตารางที่ 2 การศึกษากลไกการปลดปล่อยกรดเพอรูติกจากไฮโดรเจลโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลตามแบบจำลองคณิตศาสตร์

ตัวอย่างแบบจำลองคณิตศาสตร์		สภาวะที่ 1			สภาวะที่ 2		
		0.5% FA	1% FA	3% FA	0.5% FA	1% FA	3% FA
อันดับศูนย์	K_0	2.24	4.48	7.48	3.92	4.44	11.45
	R^2	0.8991	0.8488	0.7742	0.9350	0.7380	0.7577
อันดับหนึ่ง	K_1	0.54	0.53	0.27	0.93	0.47	0.40
	R^2	0.9281	0.8664	0.7924	0.9600	0.7477	0.7671
Higuchi	K_H	0.47	0.22	0.13	0.38	0.29	0.11
	R^2	0.9895	0.9543	0.9578	0.9999	0.9285	0.9398

จากการศึกษาความคงตัว พบว่า เมื่อพิจารณาการปลดปล่อยของ FA ของสภาวะที่ 1 เทียบกับการปลดปล่อยของ FA ในสภาวะปกติ พบว่า หลังการทดสอบความคงสภาพแล้ว ค่าการปลดปล่อยลดลงเล็กน้อย ซึ่งมีลักษณะเดียวกันในสภาวะที่ 2 ยิ่งไปกว่านั้นจากผลทดสอบทางสถิติพบว่า สภาวะที่ 1 ให้ผลที่มีความแตกต่างกันของการปลดปล่อยหลังผ่านการทดสอบความคงสภาพ ในขณะที่สภาวะที่ 2 ไม่พบความแตกต่างของการปลดปล่อย FA ก่อนและหลังผ่านการทดสอบความคงสภาพ โดยอาจกล่าวได้ว่า วิธีการเตรียมของสภาวะที่ 2 ให้ผลของความคงสภาพที่ดีกว่าสภาวะที่ 1 อาจเนื่อง FA ในสภาวะที่ 2 FA ไม่ได้ทำพันธะกันภายในไฮโดรเจล ทำให้การปลดปล่อยหลุดได้ง่าย จึงให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่ในสภาวะที่ 1 พันธะที่เกิดขึ้น อาจไม่แข็งแรง ทำให้การปลดปล่อยไม่ดีเท่าที่เดิม

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโครงสร้าง หมู่ฟังก์ชันและการกักเก็บกรดเพอรูลิกในไคโตซาน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไฮโดรเจลที่วิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน ซึ่งผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วย FTIR spectrum พบว่า การเตรียมไฮโดรเจลที่มีการใส่กรดเพอรูลิกละลายใน PVA ก่อนนำมาทำเป็นไฮโดรเจล (สถานะที่ 1) จะเกิดพันธะ ester ที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ COOH ของกรดเพอรูลิกและ O-H ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Bersanetti et al., 2019) และยังมีการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ NH_3^+ ของไคโตซานกับ O-H ของกรดเพอรูลิก (Li & Li., 2017) ซึ่งแสดงถึงการเกิดโครงสร้างที่หนาแน่น จึงส่งผลให้มีความสามารถในการกักเก็บ ร้อยละการบรรจุกรดเพอรูลิก และค่าการปลดปล่อยกรดเพอรูลิกของไฮโดรเจลที่เตรียมโดยสถานะที่ 1 มีค่ามากกว่าไฮโดรเจลที่เตรียมแบบสถานะที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับผลของ FTIR ข้างต้น นอกจากนี้ผลจากการเตรียมแบบสถานะที่ 1 ไฮโดรเจลมีโครงสร้างที่แข็งแรง ทำให้การปลดปล่อยกรดเพอรูลิกเป็นไปอย่างช้าๆ ซึ่งต่างจากสถานะที่ 2 ที่มีปลดปล่อยออกมาทีเดียว และเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบความคงตัว พบว่า มีรูปแบบของการปลดปล่อยที่คงเดิม และการปลดปล่อยของสถานะนี้ตรงกับแบบจำลอง Higuchi ที่สามารถนำไปพัฒนาให้ออกฤทธิ์ได้นาน (sustained release) ได้

รายการอ้างอิง

ชัยบุญธรรม ศรีสุบิน. (2557). ไฮโดรเจล วัสดุดูดซับน้ำอัจฉริยะ. สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2561,

จาก <http://www.dss.go.th/images/st-article/ct-10-2557-hydro.pdf>.

ชัยลักษณ์ ชาญเจริญ. (2560). การศึกษาวัสดุเชิงประกอบไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อประยุกต์ใช้งานสำหรับเทคโนโลยีทางการแพทย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์และสิ่งทอ. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศศิพิมพ์ สารระชนะ. (2560). การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์รูปแบบการปลดปล่อยยาของยาแบบควบคุมการปลดปล่อย. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

- Bersanetti, P. A., Escobar, V. H., Nogueira, R. F., Ortega, F. d. S., Schor, P., & Morandim-Giannetti, A. d. A. (2019). Enzymatically obtaining hydrogels of PVA crosslinked with ferulic acid in the presence of laccase for biomedical applications. *European Polymer Journal*, *112*, 610-618.
- Kumar, N., & Pruthi, V. (2014). Potential applications of ferulic acid from natural sources. *Biotechnology Reports*, *4*, 86-93.
- Li, C., & Li, J.-B. (2017). Preparation of chitosan-ferulic acid conjugate: Structure characterization and in the application of pharmaceuticals. *International Journal of Biological Macromolecules*, *105*, 1539-1543.
- Oresajo, C., Stephens, T., Hino, P. D., Law, R. M., Yatskayer, M., Foltis, P., . . . Pinnell, S. R. (2008). Protective effects of a topical antioxidant mixture containing vitamin C, ferulic acid, and phloretin against ultraviolet-induced photodamage in human skin. *Journal of Cosmetic Dermatology*, *7*, 290-297.
- Rodrigues, I. R., de Camargo Forte, M. M., Azambuja, D. S., & Castagno, K. R. L. (2007). Synthesis and characterization of hybrid polymeric networks (HPN) based on polyvinyl alcohol/chitosan. *Reactive and Functional Polymers*, *67*, 708-715.
- Sajja, A., Tomaino, A., Lo Cascio, R., Trombetta, D., Proteggente, A., De Pasquale, A., . . . Bonina, F. (1999). Ferulic and caffeic acids as potential protective agents against photooxidative skin damage, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *79*, 476-480.
- Zdunska, K., Dana, A., Kolodziejczak, A., & Rotsztejn, H. (2018). Antioxidant properties of ferulic acid and its possible application. *Skin Pharmacology and Physiology*, *31*, 332-336.