

ต้นแบบวัสดุปิดแผลจากแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซีเตทผสมสารสกัดหยาบจากผลมะขามป้อม Prototype of Wound Dressings from Electrospun Cellulose Acetate Fiber Mats Containing Phyllanthus Emblica Linn. Fruits Crude Extracts

ธัญชนก นุชสุภาพ ทิพวัลย์ บุญเรือง และ พัชรารัตน์ วุฒิจริณมงคล*

Thanchanok Noochsuparb Thipawan Boonruang and Patcharaporn Wutticharoenmongkol*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมสารสกัดหยาบจากผลมะขามป้อมด้วยตัวทำละลายเมทานอลและสกัดแยกชั้นด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ ไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลอะซีเตท บิวทานอล และน้ำ พบว่าสารสกัดในชั้น ไดเอทิลอีเทอร์มีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ดีที่สุด จากนั้นเตรียมเส้นใยเซลลูโลสอะซีเตทที่ผสมสารสกัดหยาบจากชั้น ไดเอทิลอีเทอร์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3, และ 5 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของเซลลูโลสอะซีเตทด้วยวิธีอิเล็กโตรสปินนิ่ง เส้นใยอิเล็กโตรสปินที่เตรียมได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยในช่วง 335-694 นาโนเมตร โดยพบว่ามีความหนาใหญ่ขึ้นเมื่อมี ปริมาณสารสกัดหยาบมากขึ้น นอกจากนี้ได้เตรียมแผ่นฟิล์มเซลลูโลสอะซีเตทผสมสารสกัดหยาบที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3, และ 5 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีหล่อด้วยตัวทำละลายเพื่อใช้ในการศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดหยาบเปรียบเทียบกับแผ่นเส้นใย อิเล็กโตรสปิน การศึกษาค่าการกักเก็บน้ำและลักษณะการปลดปล่อยสารสกัดจากแผ่นวัสดุด้วยวิธีจุ่มแช่ได้ทำการทดลองใน สารละลายบัฟเฟอร์อะซีเตท (pH 5.5) ที่ 32°C และบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (pH 7.4) ที่ 37°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่ามีการปลดปล่อย สารสกัดที่รวดเร็วในตอนเริ่มต้น จากนั้นปลดปล่อยอย่างช้า ๆ จนถึงค่าคงที่ โดยแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินมีการปลดปล่อยสาร สกัดมากกว่าแผ่นฟิล์ม ปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดสะสมจากแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินและแผ่นฟิล์มในบัฟเฟอร์อะซีเตทมี ค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 41-77 และ 18-26 ตามลำดับ และในบัฟเฟอร์ฟอสเฟตมีค่าร้อยละ 45-80 และ 25-32 ตามลำดับ เส้นใย อิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซีเตทผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมยังแสดงสมบัติการต้านแบคทีเรียชนิด *Escherichia. Coli* ซึ่ง เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการใช้เป็นวัสดุปิดแผล

คำสำคัญ: เซลลูโลสอะซีเตท มะขามป้อม อิเล็กโตรสปินนิ่ง วัสดุปิดแผล การปลดปล่อยยา

Abstract

Indian gooseberry or *Phyllanthus emblica* Linn. Fruit was extracted by methanol and subsequently partitioned by diethyl ether, ethyl acetate, butanol, and water. The crude extract from diethyl ether fraction showed the highest antioxidant activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The crude extract from diethyl ether was then loaded into cellulose acetate solution at concentrations of 1, 3, and 5% w/w based on the weight of cellulose acetate and fabricated into nanofiber mats by electrospinning technique. The average fiber diameters were increased with increasing amounts of the crude extract which were in a range of 335-694 nm. The solvent casting films of cellulose acetate containing the same concentrations of the crude extracts were also fabricated and being used for comparison study of release behaviors. The amounts of water retention and release characteristics of the crude extract from both electrospun fiber mats and corresponding films were investigated by total immersion method in acetate buffer (pH 5.5) at 32°C and phosphate buffer (pH 7.4) at 37°C for 72 h. For both electrospun fiber mats and films, the burst release of the crude extract at the initial time of immersion was observed and followed by gradual release until reaching plateau. The electrospun fiber mats exhibited much higher amounts of crude extract released than those of the films. The maximum amounts of crude extract released from the electrospun fiber mats and the films in acetate buffer were about 41-77% and 18-26%, respectively, while those in phosphate buffer were about 45-80% and 25-32%, respectively.

The electrospun fiber mats containing the crude extract of Indian gooseberry revealed the potential for use as wound dressings as they showed the antibacterial activity against *Escherichia. coli*.

Keywords: Cellulose acetate: Indian gooseberry: Electrospinning: Wound dressing: Drug release

1. บทนำ

มะขามป้อมจัดเป็นผลไม้เขตร้อนชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติทางยาที่น่าสนใจ มะขามป้อมมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Phyllanthus emblica* Linn. และชื่อสามัญคือ Indian gooseberry จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae พบได้ทั่วไปในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับประเทศไทยพบมากทางภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [1] มะขามป้อมมีรสชาติเปรี้ยว ฝาด และขม ซึ่งถูกใช้เป็นยาสมุนไพรของไทยมาช้านานแล้ว นำมาใช้รักษาโรคได้หลายชนิด เช่น แก้ไอ ขับเสมหะ แก้ไข้ รักษาโรคเลือดออกตามไรฟัน เป็นต้น [2] งานวิจัยจำนวนหนึ่งได้ศึกษาการสกัดสารจากผลมะขามป้อม [3-6] และใบมะขามป้อม [7-8] และศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของสารสกัดที่ได้ โดยพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากมะขามป้อม เป็นสารประเภทฟีนอล เป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งพบว่ามีปริมาณสารประเภทฟีนอลที่อยู่ในสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของพืชและผลไม้หลายชนิดส่งผลกระทบต่อระดับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย [9] สารสกัดจากมะขามป้อมมีคุณสมบัติอีกหลายประการ ได้แก่ สมบัติการต้านเชื้อรา [3] การต้านออกซิเดชัน [10] การต้านการอักเสบและลดไข้ [8] การยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ มะเร็ง [10] และการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งประเภทแกรมบวก และแกรมลบ [3, 7, 11]

เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิงเป็นกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ขนาดเล็กในระดับไมโครเมตรถึงนาโนเมตรโดยอาศัยแรงไฟฟ้าสถิตในการขึ้นรูป [12] เนื่องจากเส้นใยที่ผลิตได้จากวิธีนี้มีขนาดที่เล็กมากจึงทำให้มีพื้นที่ผิวต่อมวลหรือต่อปริมาตรสูง และมีความเป็นรูพรุนสูง จึงมีการนำเส้นใยอิเล็กโตรสปินนิงไปประยุกต์ใช้งานในหลาย ๆ แขนง เช่น การเตรียมวัสดุคอมพอสิต การใช้เป็นแผ่นกรองอนุภาคขนาดเล็ก การใช้เป็นวัสดุโครงร่างรองรับเซลล์ในด้านวิศวกรรม การแพทย์ และการใช้เป็นวัสดุปลดปล่อยยา โดยในงานวิจัยนี้สนใจการเตรียมแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินนิงเพื่อใช้เป็นแมทริกซ์สำหรับปลดปล่อยสารสกัดที่สนใจ เนื่องจากมีการศึกษาพบว่าเส้นใยอิเล็กโตรสปินนิงสามารถปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปลดปล่อยยาได้มากกว่าวัสดุที่เป็น

แผ่นฟิล์มเรียบ [13] ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยอิเล็กโตรสปินนิงมีขนาดเส้นใยเล็กมากจึงมีพื้นที่ผิวต่อมวลมากกว่าที่กล่าวข้างต้น ทำให้ปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพนั่นเอง

ในงานวิจัยนี้ใช้เซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate) เป็นแมทริกซ์สำหรับการบรรจุสารสกัดหายาจากผลมะขามป้อมที่เตรียมได้ และขึ้นรูปเป็นเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโตรสปินนิง เซลลูโลสอะซิเตทจัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) มีความเสถียรทางเคมีและทางความร้อน มีความเข้ากันได้กับเซลล์ (biocompatibility) และไม่เป็นพิษต่อเซลล์ Liu และ Hsieh [14] ได้ศึกษาการเตรียมเส้นใยอิเล็กโตรสปินนิงเซลลูโลสอะซิเตท พบว่าความเข้มข้นและตัวทำละลายที่เหมาะสมในการขึ้นรูปให้ได้เส้นใยที่มีความสม่ำเสมอคือ สารละลายเซลลูโลสอะซิเตทร้อยละ 12.5 – 20 โดยน้ำหนักในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตน (acetone) : ไดเมทิลอะเซตาไมด์ (*N,N*-dimethyl acetamide) ที่อัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร งานวิจัยจำนวนหนึ่งได้เลือกใช้แผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินนิงเซลลูโลสอะซิเตทเป็นวัสดุสำหรับปลดปล่อยยาหรือสารที่สนใจ ได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid) [15] เคอร์คูมิน (curcumin) [16] จินเจอรอล (gingerol) [17] และกาบาเปปติน (gabapeptin) [18] เป็นต้น

งานวิจัยนี้ทำการเตรียมสารสกัดจากผลมะขามป้อมในตัวทำละลายต่างชนิดกัน ศึกษาสมบัติการต้านแบคทีเรียของสารสกัดที่ได้จากตัวทำละลายแต่ละชนิด จากนั้นเตรียมแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินนิงเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดหายาจากผลมะขามป้อม ศึกษาพื้นฐานของเส้นใยและสมบัติการกักเก็บน้ำ ศึกษาลักษณะการปลดปล่อยสารสกัดจากแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินนิงเปรียบเทียบกับลักษณะการปลดปล่อยจากแผ่นฟิล์มด้วยวิธีจุ่มแช่ (total immersion) ในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตท (pH 5.5) และสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (pH 7.4) และศึกษาสมบัติการต้านแบคทีเรียของแผ่นเส้นใยที่ผสมสารสกัดหายาจากผลมะขามป้อมนี้ เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปพัฒนาและนำไปใช้เป็นวัสดุปลดปล่อยยา

2. วิธีการวิจัย

2.1 สารเคมี

ผลมะขามป้อมสดที่ใช้ในการเตรียมสารสกัดหยาบ นำมาจากตลาดจังหวัดปทุมธานี เซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate) น้ำหนักโมเลกุล 30,000 กรัมต่อโมล ปริมาณอะซิเตทร้อยละ 39.7 โดยน้ำหนัก ระดับการแทนที่หมู่อะซิเตท 2.4 จากบริษัท Sigma-Aldrich (Switzerland) อะซิโตน (acetone) ไดมethylอะเซตาไมด์ (*N,N*-dimethyl acetamide) โซเดียมอะซิเตท (sodium acetate) กรดอะซิติกเข้มข้น (glacial acetic acid) เมทานอล (methanol) และเอทิลอะซิเตท (ethyl acetate) จากบริษัท Carlo Erba (Italy) บิวทานอล (butanol) และไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) จากบริษัท Ajax Finechem (Australia) ไดโซเดียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (disodium hydrogen orthophosphate) โซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (sodium dihydrogen orthophosphate) และโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) จากบริษัท Acros Organics (Belgium)

2.2 การเตรียมสารสกัดหยาบจากผลมะขามป้อม

นำผลมะขามป้อมสดมาล้างให้สะอาด นำส่วนเนื้อของผลมะขามป้อมซึ่งไม่รวมเมล็ดไปอบที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียด นำผงละเอียดที่ได้ไปแช่ในสารละลายเมทานอลร้อยละ 60 โดยปริมาตร ในอัตราส่วน ผงมะขามป้อม : สารละลายเมทานอล เท่ากับ 1 กรัม : 10 มิลลิลิตร ที่ 50°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กรองสารละลายที่สกัดได้ด้วยผ้าขาวบางและกระดาษกรองตามลำดับ กากที่เหลือจากการสกัดจะนำไปสกัดซ้ำอีกครั้งหนึ่งด้วยวิธีเดียวกันข้างต้น และนำสารสกัดที่ได้จากครั้งแรกและครั้งที่สองมารวมกัน จากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายออกจากสารสกัดด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลายแบบหมุน (rotary evaporator) นำสารสกัดที่ได้ปริมาณ 20 กรัม มาละลายด้วยน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร จากนั้นสกัดสารละลายด้วยไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลอะซิเตท และบิวทานอล อย่างละ 400 มิลลิลิตร ตามลำดับ นำสารสกัดในตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิดไประเหยตัวทำละลายออกจากด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน บันทึกน้ำหนักของสารสกัดหยาบที่ได้และคำนวณร้อยละผลิตภัณฑ์

2.3 สมบัติการต้านแบคทีเรียของสารสกัดหยาบ

นำสารสกัดหยาบที่ได้จากตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิดมาทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย ด้วยวิธี disc diffusion โดยทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ *E. coli* และ *S. aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดแกรมลบและแกรมบวก ตามลำดับ โดยละลายสารสกัดด้วยไดเมทิลซัลฟอกไซด์ และหยดลงบนแผ่นกระดาษกรอง จากนั้นวางในจานเพาะเชื้อและปล่อยให้เชื้อเจริญเติบโตเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของบริเวณยับยั้ง (inhibition zone) โดยใช้เตเดระไซคลินเป็นสารควบคุมแบบบวก สำหรับการศึกษาในหัวข้อถัดจากนี้ไป ได้แก่ การเตรียมแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยที่ผสมสารสกัดหยาบจะเลือกใช้สารสกัดหยาบจากชั้นตัวทำละลายที่ให้ผลการต้านแบคทีเรียที่ดีที่สุดมาใช้เพียงชนิดเดียว

2.4 การเตรียมแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์และแผ่นฟิล์มเซลลูโลสอะซิเตทผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อม

การเตรียมแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์เซลลูโลสอะซิเตทผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมทำได้โดยเตรียมสารละลายเซลลูโลสอะซิเตทร้อยละ 17 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตน : ไดมethylอะเซตาไมด์ ที่อัตราส่วน 2 : 1 โดยปริมาตร และผสมสารสกัดหยาบจากผลมะขามป้อมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3, และ 5 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักเซลลูโลสอะซิเตท นำสารละลายดังกล่าวมาขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใยโดยบรรจุสารละลายในกระบอกฉีดที่เชื่อมต่อกับปลายเข็มโลหะ ทำการต่อศักย์ไฟฟ้าขั้วบวกจากเครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้า (ES30P-SW) เข้ากับปลายเข็ม และต่อสายดินเข้ากับเครื่องหมุนเก็บเส้นใย (rotating collector) ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายที่ 1 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ทำการขึ้นรูปเส้นใยที่ความเข้มข้นไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์/ 15 เซนติเมตร เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมแผ่นฟิล์มเซลลูโลสอะซิเตทด้วยวิธีหล่อด้วยตัวทำละลายเพื่อใช้ศึกษาเปรียบเทียบกับแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ โดยเตรียมสารละลายเซลลูโลสอะซิเตทร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และผสมสารสกัดหยาบจากผลมะขามป้อมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3,

และ 5 โดยน้ำหนัก เทียบกับน้ำหนักเซลลูโลสอะซีเตท ทำการ เติสารละลายลงในจานแก้วและทิ้งไว้ให้ตัวทำละลายระเหย จนหมดจะได้แผ่นฟิล์มที่ต้องการ โดยควบคุมปริมาตร สารละลายที่เทลงในจานแก้วเพื่อควบคุมความหนาของ แผ่นฟิล์ม

2.5 ค่าความหนืดของสารละลาย

นำสารละลายเซลลูโลสอะซีเตทที่ผสมสารสกัดหยาบ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มาวัดความหนืดด้วยหลอดวัดความหนืด (Cannon-Fenske routine viscometer) ขนาดหลอด 450 ค่าคงที่ $25 \text{ mm}^2/\text{s}^2$

2.6 การตรวจสอบสัณฐานของเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์บน เซลลูโลสอะซีเตทผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อม

ทำการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่เตรียมได้โดย ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) และวัดขนาดของเส้นใยที่ได้ด้วย ซอฟต์แวร์ SemAfore 4.0

2.7 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

สารละลายบัฟเฟอร์อะซีเตท (pH 5.5) เตรียมได้โดย ละลายโซเดียมอะซีเตท 150 กรัม ในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร เติม กรดอะซีติกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร อย่างช้า ๆ และเติมน้ำกลั่น จนถึงปริมาตร 1 ลิตร สารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (pH 7.4) เตรียมได้โดยละลายไดโซเดียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 6.177 กรัม และโซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต 1.014 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์ 8.7 กรัม และเติมน้ำกลั่นจนถึงปริมาตร 1 ลิตร

2.8 ค่าการกักเก็บน้ำของแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใย อิเล็กทรอนิกส์บนเซลลูโลสอะซีเตทผสมสารสกัดหยาบ

นำแผ่นตัวอย่างขนาด 2×2 เซนติเมตรแช่ลงใน สารละลายบัฟเฟอร์อะซีเตทและบัฟเฟอร์ฟอสเฟต ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 32°C และ 37°C ตามลำดับ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำการบันทึกน้ำหนักก่อนแช่และหลังแช่ จากนั้น นำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณการเก็บกักน้ำ จากสมการที่ (1) ต่อไปนี้

$$\text{Water retention (\%)} = \frac{M - M_i}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

โดย M_i คือน้ำหนักของตัวอย่างก่อนแช่สารละลายบัฟเฟอร์

M คือน้ำหนักของตัวอย่างหลังแช่สารละลายเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

2.9 ปริมาณสารสกัดหยาบที่แท้จริงในแผ่นฟิล์มและ แผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์บนเซลลูโลสอะซีเตท

นำแผ่นฟิล์มหรือแผ่นเส้นใยขนาด 2×2 เซนติเมตร มา ละลายด้วยอะซีโตน 5 มิลลิลิตร จากนั้นแบ่งสารละลายมาเจือ จางแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 278 nm ซึ่งเป็นช่วงการดูดกลืนแสงของสารสกัดหยาบ ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer จากนั้นคำนวณหาค่าปริมาณสาร สกัดหยาบที่แท้จริงที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยการคำนวณ เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสงและ ความเข้มข้นของสารละลายสารสกัดหยาบ

2.10 ลักษณะการปลดปล่อยสารสกัดหยาบผล มะขามป้อมจากแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์บน เซลลูโลสอะซีเตท

ศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดหยาบผลมะขามป้อม จากแผ่นเส้นใยและแผ่นฟิล์มด้วยวิธีจุ่มแช่ในสารละลาย บัฟเฟอร์อะซีเตท (pH 5.5) ที่อุณหภูมิ 32°C และสารละลาย บัฟเฟอร์ฟอสเฟต (pH 7.4) ที่อุณหภูมิ 37°C ซึ่งเป็นสภาวะ pH ของผิวหนังและสภาวะของสารคัดหลั่งของมนุษย์ตามลำดับ โดยนำแผ่นฟิล์มหรือแผ่นเส้นใยขนาด 2×2 เซนติเมตร มาแช่ ในสารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิที่ กำหนด ทำการดูดเก็บสารละลายครั้งละ 1 มิลลิลิตร ที่ ระยะเวลาต่าง ๆ จนถึง 72 ชั่วโมง เจือจางสารละลายด้วย บัฟเฟอร์อะซีเตทหรือบัฟเฟอร์ฟอสเฟตก่อนนำไปวัดค่าการ ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 278 nm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ทั้งนี้จะเติมสารละลายบัฟเฟอร์ 1 มิลลิลิตร กลับลงไปในสารละลายทุกครั้ง ที่มีการดูดสารละลายออก เพื่อรักษาให้ปริมาตรของสารละลายมีค่าคงที่ จากนั้น คำนวณหาปริมาณสารสกัดที่ปลดปล่อยออกมาในแต่ละ ช่วงเวลา โดยทำการคำนวณย้อนกลับเปรียบเทียบกับกราฟ มาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของ สารละลายสารสกัดหยาบจากผลมะขามป้อม

2.1 สมบัติการต้านแบคทีเรียของแผ่นเส้นใย

อิเล็กโทรสปินเซลลูโลสอะซีเตทผสมสารสกัดหยาบ

นำแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซีเตทที่ผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมมาศึกษาสมบัติการต้านแบคทีเรีย โดยทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ด้วยวิธี disc diffusion โดยตัดแผ่นเส้นใยเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร วางลงในจานเพาะเชื้อ ทำการเพาะเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของบริเวณยับยั้ง โดยใช้เตตระไฮคลินเป็นสารควบคุมแบบบวก

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 การเตรียมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมและสมบัติการต้านแบคทีเรีย

การเตรียมสารสกัดหยาบจากผลมะขามป้อมเริ่มต้นจากผลมะขามป้อมที่อบแห้ง 500 กรัม จะได้สารสกัดหยาบจากเมทานอลประมาณ 100 กรัม จากนั้นเมื่อทำการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด จะได้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของสารสกัดในชั้นไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลอะซีเตท บิวทานอล และน้ำ เท่ากับร้อยละ 2.4, 25.5, 34.6 และ 33.7 ตามลำดับ เมื่อนำสารสกัดแต่ละชนิดมาทดสอบฤทธิ์การต้านแบคทีเรียชนิด *E. coli* และ *S. aureus* ด้วยวิธี disc diffusion โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยบริเวณยับยั้งจะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1 หากตัวอย่างชนิดใดแสดงบริเวณยับยั้งขนาดใหญ่ย่อมหมายถึงการมีสมบัติการต้านแบคทีเรียที่ดี ซึ่งพบว่าสารสกัดชั้นไดเอทิลอีเทอร์มีสมบัติการต้านแบคทีเรียชนิด *E. coli* มากที่สุด รองลงมาคือสารสกัดชั้นเอทิลอะซีเตทและบิวทานอล ในขณะที่สารสกัดชั้นน้ำและเมทานอลไม่แสดงสมบัติการต้านแบคทีเรียชนิดนี้

สำหรับการต้านแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ก็พบผลการทดลองในทำนองเดียวกัน กล่าวคือสารสกัดทุกชนิดมีคุณสมบัติการต้านแบคทีเรียชนิด *S. aureus* โดยสารสกัดชั้นไดเอทิลอีเทอร์มีสมบัติการต้านแบคทีเรีย *S. aureus* ดีที่สุด ตามด้วยสารสกัดชั้นเอทิลอะซีเตท บิวทานอล น้ำ และเมทานอล ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าสารสกัดชั้นไดเอทิลอีเทอร์มีคุณสมบัติการต้านแบคทีเรียที่ดีที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้สารสกัดผลมะขามป้อมจากชั้นไดเอทิลอีเทอร์เพียงชนิดเดียวเท่านั้นในการเตรียมวัสดุต้นแบบแผ่นปิดแผล โดยผสมกับแมทริกซ์พอลิเมอร์ชนิด

ตารางที่ 1 สมบัติการต้านแบคทีเรียชนิด *E. coli* และ *S. aureus* ของสารสกัดหยาบผลมะขามป้อม

ตัวทำละลายที่ใช้เตรียมสารสกัดหยาบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยบริเวณยับยั้ง* (มิลลิเมตร)	
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
สารสกัดจากเมทานอล	0	14.0 ± 0.4
สารสกัดชั้นไดเอทิลอีเทอร์	4.4 ± 0.1	19.8 ± 0.5
สารสกัดชั้นเอทิลอะซีเตท	3.0 ± 0.6	17.2 ± 0.5
สารสกัดชั้นบิวทานอล	1.5 ± 0.3	16.3 ± 0.6
สารสกัดชั้นน้ำ	0	14.1 ± 0.4
ตัวอย่างควบคุม	19.0 ± 0.4	23.2 ± 0.5

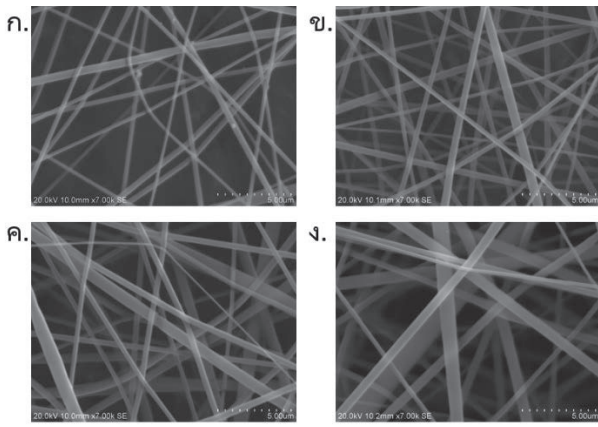
* วัดจากจุดศูนย์กลางของแผ่น disc

เซลลูโลสอะซีเตทและขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่งต่อไป

3.2 สันฐานของเส้นใยอิเล็กโทรสปินเซลลูโลสอะซีเตทผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อม

สารสกัดหยาบผลมะขามป้อมจากชั้นไดเอทิลอีเทอร์ได้ถูกนำมาผสมกับสารละลายเซลลูโลสอะซีเตทที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3, และ 5 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักเซลลูโลสอะซีเตท และขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง รูปที่ 1 แสดงภาพถ่าย SEM ของเส้นใยที่เตรียมได้ ซึ่งพบว่าเส้นใยทุกชนิดมีลักษณะพื้นผิวสม่ำเสมอ ไม่มีเม็ดปม (bead) ภาควัดขวางมีลักษณะกลม สำหรับเส้นใยที่ไม่ผสมสารสกัดหยาบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 335 ± 52 nm ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Suwantong และคณะ [16]

เมื่อผสมสารสกัดหยาบที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3, และ 5 โดยน้ำหนัก พบว่าเส้นใยที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้ค่าความหนืดของสารละลายที่ใช้ขึ้นรูปเส้นใยถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสันฐานของเส้นใย จากผลการทดลองพบว่าความหนืดของสารละลายมีค่าอยู่ในช่วง 428 – 513 cP (ตารางที่ 2) ซึ่งความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดหยาบในสารละลาย หากความหนืดของสารละลายมีค่ามากขึ้นจะทำให้สารละลายมีแรงวิสโคอิลาสติก



รูปที่ 1 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 7000 เท่าของเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิเตท ก) ไม่ผสมสารสกัดหยาบ และผสมสารสกัดหยาบ ข) ร้อยละ 1 ค) ร้อยละ 3 และ ง) ร้อยละ 5 (viscoelastic) ซึ่งเป็นแรงที่ต้านการยืดตัวของลำ (jet) เส้นใย ในขณะที่ขึ้นรูปด้วยวิธีอิเล็กโตรสปินนิ่งมากขึ้น ดังนั้นเส้นใยที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น [15]

3.3 ค่าการกักเก็บน้ำของแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิเตทผสมสารสกัดหยาบ

ค่าการกักเก็บน้ำเป็นสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อลักษณะการปลดปล่อยสารจากแผ่นวัสดุ ในงานวิจัยนี้ นอกเหนือจากการศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดจากแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินแล้ว ยังได้เตรียมแผ่นฟิล์มเซลลูโลสอะซิเตทด้วยวิธีหล่อด้วยตัวทำละลาย เพื่อใช้ศึกษาเปรียบเทียบกับแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินอีกด้วย รูปที่ 2 แสดงค่าการกักเก็บน้ำของแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิเตทผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมเมื่อแช่

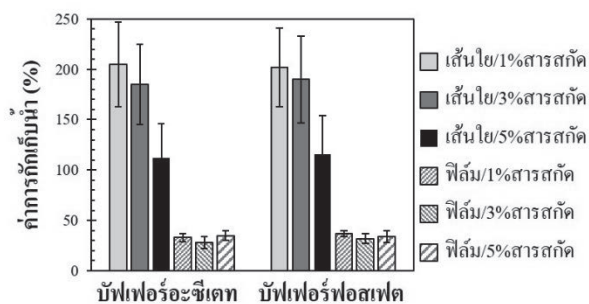
ตารางที่ 2 ความหนืดของสารละลายและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิเตทผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อม

ความเข้มข้นสารสกัดหยาบ (ร้อยละ)	ความหนืด (cP)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใย (นาโนเมตร)
0	428 ± 2	335 ± 52
1	442 ± 3	459 ± 57
3	445 ± 3	466 ± 62
5	513 ± 3	694 ± 87

ในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตทและบัฟเฟอร์ฟอสเฟต ที่อุณหภูมิ 32°C และ 37°C ตามลำดับ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินที่ผสมสารสกัดหยาบร้อยละ 1, 3, และ 5 มีค่าการกักเก็บน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 112-205 และ 116-202 สำหรับบัฟเฟอร์อะซิเตทและฟอสเฟตตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าการกักเก็บน้ำของแผ่นฟิล์มซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 28-35 และ 32-37 สำหรับบัฟเฟอร์อะซิเตทและฟอสเฟตตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยอิเล็กโตรสปินมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร และแผ่นเส้นใยมีความเป็นรูพรุนซึ่งเกิดจากการซ้อนทับกันของเส้นใย ทำให้มีพื้นที่ผิวต่อมวลหรือต่อปริมาตรสูงกว่าลักษณะพื้นผิวแบบเรียบของแผ่นฟิล์ม ทำให้มีความสามารถในการกักเก็บน้ำได้มากกว่าแผ่นฟิล์ม [13, 15, 16] นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินที่มีปริมาณสารสกัดหยาบมะขามป้อมที่เพิ่มขึ้นจะมีการกักเก็บน้ำที่ลดลง อาจเนื่องมาจากขนาดเส้นใยที่ใหญ่ขึ้น (ตารางที่ 2) ทำให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรลดลง และมีความเป็นรูพรุนลดลงจึงมีความสามารถในการกักเก็บน้ำลดลงนั่นเอง แต่เมื่อพิจารณาแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณสารสกัดหยาบมะขามป้อมที่แตกต่างกันจะพบว่ามีการกักเก็บน้ำที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของแผ่นฟิล์มเป็นพื้นผิวเรียบเหมือนกันถึงแม้ว่าจะมีปริมาณสารสกัดต่างกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าการกักเก็บน้ำของแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินหรือแผ่นฟิล์มเมื่อแช่ในบัฟเฟอร์ต่างชนิดกันจะพบว่าค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

3.4 ลักษณะการปลดปล่อยสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมจากแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิเตท

3.4.1 ปริมาณสารสกัดหยาบที่แท้จริงในแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิเตท
 ก่อนที่จะศึกษาถึงลักษณะการปลดปล่อยสารสกัดจากแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินหรือแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้ จำเป็นจะต้องหาปริมาณสารสกัดหยาบที่แท้จริงในแผ่นวัสดุก่อน เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปตัวอย่างนั้นอาจจะทำให้ได้ปริมาณสารสกัดไม่ถึงร้อยละ 100 ตามที่ต้องการ โดยจะใช้ข้อมูลนี้เป็นค่าปริมาณสารสกัดเริ่มต้นซึ่งใช้ในการคำนวณร้อยละของการปลดปล่อยสารสกัดต่อไป ตารางที่ 3 แสดงปริมาณสารสกัด



รูปที่ 2 ค่าการกักเก็บน้ำของแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิติกผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อม ที่เวลา 72 ชั่วโมง

หยาบที่แท้จริงในแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิติกที่มีความเข้มข้นสารสกัดหยาบต่างกัน โดยพบว่าแผ่นฟิล์มมีค่าปริมาณสารสกัดหยาบที่แท้จริงร้อยละ 91-92 ในขณะที่แผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินมีค่าปริมาณสารสกัดหยาบที่แท้จริงร้อยละ 88-90 ทั้งนี้เนื่องจากสารสกัดไม่ได้ถูกฉีดออกมาโดยสมบูรณ์ในกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิ่ง ทำให้ปริมาณสารสกัดที่แท้จริงมีค่าต่ำกว่าทางทฤษฎีเล็กน้อย

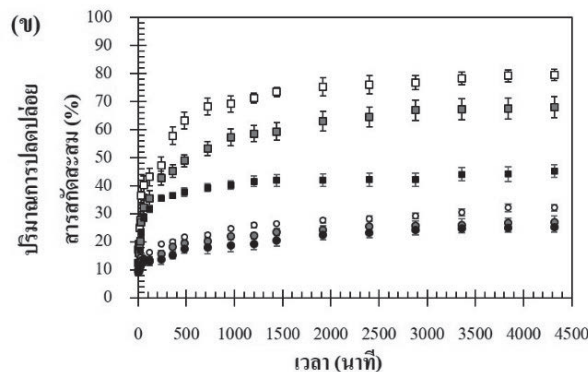
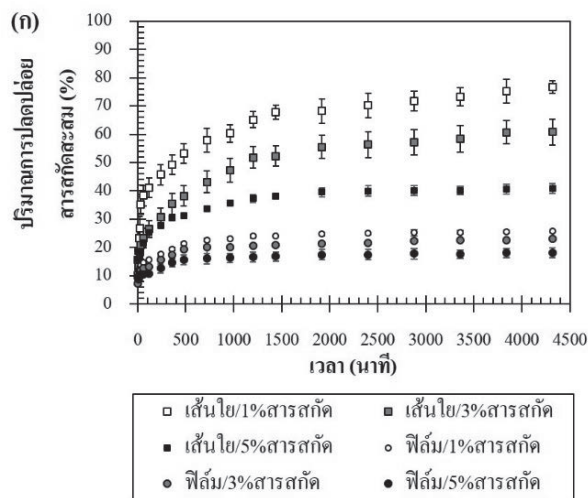
ตารางที่ 3 ปริมาณสารสกัดหยาบที่แท้จริงในแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิติก

ความเข้มข้นสารสกัดหยาบ (ร้อยละ) ที่ผสมในแผ่นวัสดุ	ปริมาณสารสกัดหยาบที่แท้จริง (ร้อยละ)	
	แผ่นฟิล์ม	แผ่นเส้นใย
1	91.5 ± 1.7	88.2 ± 1.5
3	91.1 ± 2.4	89.7 ± 2.1
5	90.5 ± 1.8	87.6 ± 1.9

3.4.2 ลักษณะการปลดปล่อยสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมจากแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิติก

การปลดปล่อยสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมจากแผ่นเส้นใยและแผ่นฟิล์มได้ถูกศึกษาด้วยวิธีจุ่มแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิติก (pH 5.5) ที่อุณหภูมิ 32°C และสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (pH 7.4) ที่อุณหภูมิ 37°C ซึ่งเป็นสภาวะ pH ของผิวหนังและสภาวะของสารคัดหลั่งของมนุษย์ตามลำดับ รูปที่ 3ก. และ 3ข. แสดงปริมาณร้อยละการปลดปล่อยสารสกัดสะสมจากแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินในบัฟเฟอร์อะซิติกและฟอสเฟตตามลำดับ ซึ่ง

เป็นปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดสะสมเทียบกับปริมาณสารสกัดเริ่มต้นในแผ่นฟิล์มหรือแผ่นเส้นใย จะพบว่าทั้งกรณีของแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยจะมีลักษณะการปลดปล่อยอย่างรวดเร็วในตอนเริ่มต้น ในช่วงเวลาประมาณ 0-120 นาที จากนั้นมีการปลดปล่อยอย่างช้า ๆ จนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล ปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดสะสมมากที่สุดในกรณีของแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินในบัฟเฟอร์อะซิติกมีค่าประมาณร้อยละ 41-77 ซึ่งมีค่ามากกว่ากรณีของแผ่นฟิล์มซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 18-26 ทั้งนี้สามารถอธิบายได้จากความสามารถในการกักเก็บน้ำในหัวข้อที่ 3.3 กล่าวคือแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินประกอบด้วยเส้นใยขนาดเล็กและมีโครงสร้างเป็นรูพรุน ทำให้น้ำหรือสารละลายสามารถแทรกซึมเข้าไปในแผ่นวัสดุได้มาก และมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารสกัดได้มากกว่าหรือมีประสิทธิภาพมากกว่ากรณีของแผ่นฟิล์มซึ่งเป็นพื้นผิวเรียบ [13, 15, 16]



รูปที่ 3 การปลดปล่อยสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมจากแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิติกในสารละลาย ก) บัฟเฟอร์อะซิติก และ ข) บัฟเฟอร์ฟอสเฟต

นอกจากนี้หากพิจารณาเปรียบเทียบแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ที่มีปริมาณสารสกัดต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 1, 3 และ 5 จะพบว่าปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดสะสมมากที่สุดในบัพเฟอร์อะซีเตทมีค่าลดลงจากร้อยละ 77 เป็น 61 และ 41 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อปริมาณสารสกัดในแผ่นเส้นใยมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 เป็น 3 และ 5 ตามลำดับ เส้นใยที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้นดังตารางที่ 2 และทำให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรลดลง รวมถึงมีโครงสร้างที่มีความเป็นรูพรุนลดลง และมีการกักเก็บน้ำที่ต่ำลงดังรูปที่ 2 จึงทำให้สารละลายบัพเฟอร์สามารถแทรกซึมเข้าไปในแผ่นเส้นใยได้น้อยลง รวมถึงการที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อยลงทำให้มีปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดสะสมที่น้อยลงนั่นเอง

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดจากแผ่นฟิล์มที่มีปริมาณสารสกัดต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 1, 3 และ 5 จะพบว่าปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดสะสมมากที่สุดในบัพเฟอร์อะซีเตทมีค่าประมาณร้อยละ 26, 23, และ 18 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อปริมาณสารสกัดเริ่มต้นมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแผ่นวัสดุเป็นพื้นผิวเรียบทำให้สารสกัดที่อยู่บนเนื้อฟิล์มไม่สามารถปลดปล่อยออกมาได้ จะเกิดการปลดปล่อยได้เฉพาะบริเวณพื้นผิวของฟิล์ม เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดที่ผสมอยู่มากขึ้นก็อาจทำให้มีปริมาณสารสกัดที่กักค้างอยู่ในแผ่นฟิล์มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

สำหรับการปลดปล่อยสารสกัดหยาบในบัพเฟอร์ฟอสเฟตจะพบว่ามีลักษณะแนวโน้มนั้นเช่นเดียวกับกรณีบัพเฟอร์อะซีเตท กล่าวคือมีการปลดปล่อยอย่างรวดเร็วในตอนเริ่มต้น จากนั้นจะมีการปลดปล่อยอย่างช้า ๆ จนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล ปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดสะสมมากที่สุดในกรณีของแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ในบัพเฟอร์ฟอสเฟตมีค่าประมาณร้อยละ 45-80 ซึ่งมีค่ามากกว่ากรณีของแผ่นฟิล์มซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 25-32 จากผลการทดลองนี้พบว่าปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดในบัพเฟอร์ฟอสเฟตของแผ่นฟิล์มและแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีค่ามากกว่ากรณีบัพเฟอร์อะซีเตทเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดในบัพเฟอร์ฟอสเฟตทำที่อุณหภูมิ 37°C ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรณีของบัพเฟอร์อะซีเตทซึ่งทำที่อุณหภูมิ 32°C ทำให้มีการปลดปล่อยสารสกัดได้มากกว่า

3.5 สมบัติการต้านแบคทีเรียของแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์บนเซลล์โลสอะซีเตทผสมสารสกัดหยาบ

สมบัติการต้านแบคทีเรียเป็นคุณสมบัติสำคัญประการหนึ่งสำหรับการใช้เป็นวัสดุปิดแผล จากการศึกษาลักษณะการปลดปล่อยสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมจากแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นวัสดุปิดแผล โดยมีลักษณะการปลดปล่อยอย่างรวดเร็วในช่วงต้น จากนั้นปลดปล่อยอย่างช้า ๆ และต่อเนื่อง รวมถึงมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยได้มาก ดังนั้นจึงได้ศึกษาสมบัติการต้านแบคทีเรียของแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ที่ผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 โดยพบว่าแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 ชนิด มีสมบัติการต้านแบคทีเรียชนิด *E. coli* อย่างไรก็ตามปริมาณสารสกัดหยาบที่เพิ่มขึ้น ได้แก่อ้อยละ 1, 3, และ 5 แสดงฤทธิ์การต้านแบคทีเรียที่ไม่แตกต่างกันซึ่งพิจารณาได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้งที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจหมายถึงการใช้สารสกัดหยาบเพียงร้อยละ 1 ในแผ่นเส้นใยก็เพียงพอสำหรับการต้านแบคทีเรีย หรืออาจมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมที่ความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 5 อย่างไรก็ตามจะต้องคำนึงปริมาณร้อยละผลิตภัณฑ์ของสารสกัดหยาบที่เตรียมได้ด้วย หากเตรียมสารสกัดได้ปริมาณน้อยอาจไม่คุ้มค่าที่จะนำมาใช้ในปริมาณมาก

ตารางที่ 4 สมบัติการต้านแบคทีเรียชนิด *E. coli* ของแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์บนเซลล์โลสอะซีเตทผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อม

ความเข้มข้นสารสกัดหยาบ (ร้อยละ) ในแผ่นเส้นใย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของบริเวณยับยั้ง* (มิลลิเมตร)
1	7.1 ± 0.1
3	7.1 ± 0.1
5	7.0 ± 0.1
ตัวอย่างควบคุม	21.3 ± 0.3

* วัดจากจุดศูนย์กลางของแผ่น disc

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสกัดผลมะขามป้อมด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ พบว่าสารสกัดหยาบในชั้นไดเอทิลอีเทอร์มีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* และ *S. aureus* ดีที่สุด จึงได้เตรียมแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โตรสปันเซลลูโลสอะซีเตทที่ผสมสารสกัดหยาบจากชั้นไดเอทิลอีเทอร์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3, และ 5 โดยน้ำหนัก เส้นใยที่เตรียมได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยในช่วง 335-694 นาโนเมตร โดยพบว่ามีความใหญ่ขึ้นเมื่อมีปริมาณสารสกัดหยาบมากขึ้น เนื่องจากสารละลายมีความหนืดมากขึ้น นอกจากนี้ยังได้เตรียมแผ่นฟิล์มเซลลูโลสอะซีเตทด้วยวิธีหล่อด้วยตัวทำละลายที่ผสมสารสกัดหยาบที่ความเข้มข้นเดียวกับข้างต้น เพื่อใช้ในการศึกษาการปลดปล่อยสารสกัดหยาบเปรียบเทียบกับแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โตรสปัน การศึกษาค่าการกักเก็บน้ำและลักษณะการปลดปล่อยสารสกัดจากแผ่นวัสดุด้วยวิธีจุ่มแช่ได้ทำการทดลองในสารละลายบัฟเฟอร์อะซีเตท (pH 5.5) ที่ 32°C และบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (pH 7.4) ที่ 37°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อจำลองสภาวะผิวหนังและสารคัดหลั่งของมนุษย์ตามลำดับ พบว่ามีการปลดปล่อยสารสกัดที่รวดเร็วในตอนเริ่มต้น จากนั้นปลดปล่อยอย่างช้า ๆ จนถึงค่าคงที่ โดยแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โตรสปันมีการปลดปล่อยสารสกัดมากกว่าแผ่นฟิล์มเนื่องจากมีความเป็นรูพรุนมากกว่า และมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ามีการปลดปล่อยสารสกัดน้อยลงเมื่อเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โตรสปันมีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้เส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โตรสปันเซลลูโลสอะซีเตทผสมสารสกัดหยาบผลมะขามป้อมจากชั้นไดเอทิลอีเทอร์ยังแสดงสมบัติการต้านแบคทีเรียชนิด *E. Coli* ซึ่งแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เป็นวัสดุปิดแผล

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Mardwanna C, Mardwanna N. Gooseberry: usefulness herb. Journal of Kasikorn. 2009; 82(2): 53-60. (In Thai).
 [2] Muenwongyad P. Handbook of herbal use. 5th ed. Medical Media. Bangkok; 1991. (In Thai)

[3] Liu X, Zhao M, Luo W, Bao Yang B, Jiang Y. Identification of volatile components in phyllanthus emblica L. and their antimicrobial activity. J Med Food. 2009; 12(2): 423-428.
 [4] Bhattacharya A, Chatterjee A, Ghosal S, Bhattacharya SK. Antioxidant activity of active tannoid principles of emblica officinalis (amla). Indian J Exp Biol. 1999; 37: 676-680.
 [5] Mayachiew P, Devahastin S. Antimicrobial and antioxidant activities of Indian gooseberry and galangal extracts. LWT-Food Sci Technol. 2008; 41: 1153-1159.
 [6] Mehmood MH, Siddiqi HS, Gilani AH. The antidiarrheal and spasmolytic activities of phyllanthus emblica are mediated through dual blockade of muscarinic receptors and Ca²⁺ channels. J Ethnopharmacol. 2011; 133: 856-865.
 [7] Ghosh A, Das BK, Roy A, Mandal B, Chandra G. Antibacterial activity of some medicinal plant extracts. J Nat Med (Natural Resource Letter). 2008; 62: 259-262.
 [8] Ihtantola-Vormisto A, Summanen J, Kankaanranta H, Vuorela H, Asmawi ZM, Moilanen E. AntiInflammatory activity of extracts from leaves of phyllanthus emblica. Planta Med. 1997; 63(6): 518-524.
 [9] Sukon T, Nuamsetti T, Dechayuenyong P. Antibacterial activity of some fruit-peel extracts. KKU Res J. 2012; 17(6): 880-894.
 [10] Luo W, Zhao M, Yang B, Ren J, Shen G, Rao G. Antioxidant and antiproliferative capacities of phenolics purified from phyllanthus emblica L. fruit. Food Chem. 2010; 126: 277-282.
 [11] Dhale DA, Mogle UP. Phytochemical screening and antibacterial activity of phyllanthus emblica L. Sci Res Rep. 2011; 1(3): 138-142.
 [12] Doshi J, Reneker DH. Electrospinning process and applications of electrospun fibers. J Electrostat. 1995; 35(2-3): 151-160.

- [13] Thitiwongsawet P, Supaphol P. “Carbendazim-loaded electrospun poly(vinyl alcohol) fiber mats and release characteristics of carbendazim therefrom,” *Polym Advan Technol.* 2011; 22: 1366-1374.
- [14] Liu H, Hsieh YL. Ultrafine fibrous cellulose membranes from electrospinning of cellulose acetate. *J Polym Sci Pol Phys.* 2002; 40: 2119–2129.
- [15] Wutticharoenmongkol P, Hannirojram P, Noothong P. Gallic acid-loaded electrospun cellulose acetate nanofibers as potential wound dressing materials. *Polym Advan Technol.* 2019; 30: 1135-1147.
- [16] Suwanton O, Opanasopit P, Ruktanonchai U, Supaphol P. Electrospun cellulose acetate fiber mats containing curcumin and release characteristic of the herbal substance. *Polymer.* 2007; 48: 7546–7557.
- [17] Chantarodsakun T, Vongsetskul T, Jangpatarapongsa K, Tuchinda P, Uamsiri S, et.al. [6]-Gingerol-loaded cellulose acetate electrospun fibers as a topical carrier for controlled release. *Polym Bull.* 2014; 71(12): 3163–3176.
- [18] Farzamfar S, Naseri-Nosar M, Vaez A, Esmailpour F, Ehterami A, et.al. Neural tissue regeneration by a gabapentin-loaded cellulose acetate/gelatin wet-electrospun scaffold. *Cellulose.* 2017; 25(2): 1229-1238.