

อิทธิพลของปริมาณเคราตินที่ได้จากการสกัดจากเส้นผมมนุษย์ ที่มีต่อแป้งมันสำปะหลังดัดแปร

Influence of Amount of Keratin from Human Hair with Modified Tapioca Starch

พิมพ์ภรณ์ หวานวาจา, ประทุมรัตน์ หนูยัง และ อธิวัชร วิริยะอมรชัย

Pimpaporn Wanwaja, Prathumrat Nu-Yang and Atiwat Wiriya-amornchai

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมวัสดุและกระบวนการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

Materials and Processing Technology, Faculty of Engineering and Technology,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Rayong Campus

Received : 30 October 2018

Revised : 17 March 2019

Accepted : 28 March 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมวัสดุโดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรซึ่งเป็นเมทริกซ์หลักผสมกับกลีเซอรอลที่ใช้เป็นสารพลาสติไซเซอร์ โดยในกระบวนการผสมจะผสมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรต่อกลีเซอรอลที่อัตราส่วน 65:35 โดยน้ำหนักในเครื่องผสมแบบปิด จากนั้นทำการผสมสารละลายเคราตินที่ได้จากการสกัดจากเส้นผมมนุษย์ในอัตราส่วน 0.05% และ 0.20% โดยน้ำหนัก และทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปในรูปของชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกล และ สมบัติความต้านทานแรงกระแทก จากนั้นทำการศึกษาปริมาณ และ องค์ประกอบของเคราตินที่ได้จากการสกัดจากเส้นผมมนุษย์ อีกทั้งอิทธิพลของปริมาณเคราตินที่มีต่อสมบัติเชิงกลของแป้ง สมบัติทางความร้อน รวมถึงสมบัติทางสัณฐานวิทยาของแป้งและแป้งที่ผสมสารละลายเคราตินในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าลักษณะอนุภาคเคราตินที่ได้มีลักษณะเป็นเกล็ดที่มีขนาดความยาวในช่วง 200-1000 ไมครอน นอกเหนือจากนั้นยังพบองค์ประกอบของพันธะเปปไทด์และองค์ประกอบของโปรตีนในอนุภาคเคราตินที่ได้จากการสกัด ในด้านสมบัติเชิงกลค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าการยืดตัวกลับมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณเคราติน นอกเหนือจากนั้นยังพบลักษณะการแตกหักแบบเปราะ เมื่อเพิ่มปริมาณเคราตินในแป้งมันสำปะหลังดัดแปร

คำสำคัญ : แป้งมันสำปะหลังดัดแปร, เคราติน, วัสดุผสม, พอลิเมอร์ชีวภาพ

*Corresponding author. E-mail : atiwat.w@eat.kmutnb.ac.th

Abstract

The objective of this study was to prepare modified tapioca starches (MTS); as a main matrix and glycerol (GC) as plasticizers. The composition has been mixed with a 65% of MTS, and 35% of GC by weight in an internal mixer. Keratin (K) was extracted from human hair, which were added, at 0.05% and 0.2% by weight into the MTS/GC blends. The specimens were formed by compression molding for further investigation. Quality and composition of K particles were studied. The samples of MTS/GC, and MTS/GC/K were tested for mechanical properties, thermal properties, and observed for morphology. K particles have flake shape with a length between of 200-1000 micron. The IR spectra reveal the components of keratin particle. The constituents are peptide bonds and protein that can be ensured of keratin in the human hair. Tensile strength tend to increase while elongation has been decreased, as the K content increased. In addition, it was found that increasing amount of K has made polymer blends to brittle for fracture.

Keywords : modified tapioca starch (MTS), keratin (K), polymer blends, biopolymers

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีความอุดมสมบูรณ์ของวัตถุดิบทางเกษตร เช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย และถั่ว โดยวัตถุดิบเหล่านี้สามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพลาสติกชีวภาพ (Bio-based plastic) ซึ่งในปัจจุบันมีตัวอย่างของพลาสติกชีวภาพมากมาย อาทิเช่น เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) ที่มีการนำเอาพลาสติกและแป้งมาผสมกันเพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) และยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางความร้อน (Thermal properties) แต่เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช มีข้อจำกัดในเรื่องของความว่องไวต่อความชื้น (Humidity) ความยืดหยุ่น (Elasticity) ดังนั้น ในกระบวนการขึ้นรูปแป้ง (Starch) จึงจำเป็นต้องใส่สารจำพวกพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) เช่น น้ำกลีเซอรอล (Glycerol) หรือซอร์บิทอล (Sorbitol) (Pyshpadass *et al.*, 2008) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีช่วงอุณหภูมิการไหล (Flowing temperature) ที่ต่ำลง ทำให้พลาสติกไหลได้ง่ายขึ้น (Flow ability) และทำให้พลาสติกสามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น (Process ability) (Van *et al.*, 1996) นอกเหนือจากนั้นยังมีงานวิจัยหลายฉบับที่นำแป้งผสมกับพลาสติกชีวภาพเพื่อให้สามารถใส่แป้งได้ในปริมาณที่สูง และทำให้พลาสติกมีความยืดหยุ่นและอ่อนตัวมากขึ้น ในปัจจุบันเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชถูกใช้ในชีวิตประจำวันเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมาย เช่น ถ้วย จาน ช้อน โฟม กันกระแทก บรรจุภัณฑ์ต่างๆ เป็นต้น

เส้นผม (Hair fiber) เป็นขยะประเภทอินทรีย์ (Organic waste) ที่หาง่ายและมีอยู่ทั่วไป องค์ประกอบในเส้นผมของมนุษย์นั้นประกอบด้วยองค์ประกอบเคราติน (Keratin) ซึ่งเป็นสารจำพวกโปรตีน (Protein) ที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง (Structure) คำจุนให้เส้นผมมีความแข็งแรง ซึ่งการใช้ประโยชน์จากเคราติน มักจะนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆทั่วไป เช่น แชมพู (Shampoo), คอนดิชันเนอร์ (Conditioner), ครีมลบเลือนริ้วรอย (Anti-aging cream), คลีนเซอร์ (Cleanser) และผลิตภัณฑ์อื่นๆ (Others) ซึ่งเคราตินส่วนใหญ่จะถูกสกัดมาจากขนแกะ (Sheep wools), ขนไก่ (Chicken feathers) ฯลฯ นอกเหนือจากนั้น เมื่อนำเคราตินไปผสมกับวัสดุต่างๆ จะไปช่วยเพิ่มค่า Young's modulus (Young's modulus) โมดูลัสแบบยืดหยุ่น

(Elastic-modulus) และค่าความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุผสมและวัสดุเชิงประกอบหลายชนิดได้ (Guadalupe *et al.*, 2017)

จากสมบัติของแป้งและเคราตินที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำแป้งมาผสมกับเคราติน โดยศึกษาถึงวิธีการสกัดเคราตินจากเส้นผมมนุษย์, ฐานฐานวิทยา, สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของแป้งที่ผสมกับเคราตินในอัตราส่วนต่างๆกัน โดยมุ่งเน้นให้แป้งและเคราตินเป็นวัสดุทางชีวภาพ (Bio-based materials) ที่สามารถย่อยสลายได้ อีกทั้งยังลดปริมาณขยะจำพวกพลาสติกและเป็นการใช้ทรัพยากรทางธรรมชาติได้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งเป็นแนวทางสำหรับการขึ้นรูปแป้งที่ผสมเคราตินตลอดจนสนับสนุนและพัฒนาสร้างมูลค่าให้กับแป้งอีกและเส้นผมที่ถูกสกัดมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสกัดเคราตินและหาปริมาณเคราตินในเส้นผม (Montira *et al.*, 2016)

1.1 นำเส้นผมมาคัดแยกเอาเฉพาะเส้นผมที่มีลักษณะสีด้ามาทำการสกัด โดยนำเส้นผมจำนวน 20 g ล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 200 cm³ และแช่พู่สระผม จากนั้นผึ่งให้แห้งในสภาวะบรรยากาศ

1.2 นำผมที่ผ่านการตากให้แห้ง ต้มที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 2 รอบ เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่สามารถละลายน้ำได้ออก จากนั้นผึ่งให้แห้งในสภาวะบรรยากาศ

1.3 จากนั้นนำเส้นผมไปแช่แฮกเซน เป็นเวลา 15 ชั่วโมง เพื่อกำจัดไขมันและสารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ออก จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C จนแห้ง

1.4 นำยูเรีย 7 g, โซเดียมไดเตดซิลซัลเฟต 2 g และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.8 g ผสมกับน้ำกลั่นที่ 100 cm³ เพื่อเตรียมเป็นสารละลายในการสกัดเคราตินออกจากเส้นผม

1.5 นำเส้นผมจำนวน 1 g ต่อดัวทำละลาย 10 cm³ มาทำการปั่นกวนและให้ความร้อนที่ 70 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ต้มจนกว่าเส้นผมจะละลายในสารละลายที่เตรียมไว้

1.6 นำสารละลายเคราตินไปทำการไดอะไลซิส (Dialysis) ในน้ำกลั่น โดยใส่ในถุงเซลโลเฟนเป็นเวลา 7 วัน โดยมีการเปลี่ยนน้ำกลั่นทุกวัน จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง เพื่อนำเอาสิ่งเจือปนที่อยู่ในสารละลายเคราตินออกจากสารละลาย

1.7 หาปริมาณเคราตินจากการสกัด โดยใช้วิธีการระเหยแห้ง (Evaporation) ที่อุณหภูมิ 70 °C เพื่อคำนวณหาปริมาณเคราตินที่ใช้ในการผสมลงไปแป้งและกลีเซอรอลในอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรต่อไป

2. การผสมแป้งกับสารละลายเคราตินที่ได้จากการสกัด

2.1 นำแป้งมันสำปะหลังตัดแปรอบในตู้อบเป็นเวลา 1 วัน ที่อุณหภูมิ 60 °C จากนั้นนำแป้งมันสำปะหลังตัดแปรไปผสมกับกลีเซอรอล ในอัตราส่วน 65:35 โดยน้ำหนัก โดยผสมลงในเครื่อง Rotor mixer

2.2 จากนั้นใส่เคราตินที่ได้จากการสกัดจากเส้นผมมนุษย์ในรูปสารละลายที่อัตราส่วน 0.05 และ 0.2% โดยน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณหาปริมาณโดยใช้วิธีการระเหยแห้ง โดยใช้เครื่องผสมแบบปิด ผสมแบบหมุนสวนทางกัน ที่อุณหภูมิในการผสม 170 °C ความเร็วรอบสกรู 100 rpm

2.3 วัสดุคอมพอสิตที่ได้จากการผสม จะถูกนำไปบดเพื่อลดขนาดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติก ก่อนการขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบ คอมพอสิตที่ได้จะถูกนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 °C จากนั้นทำการขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 170 °C ความดัน 150 kg/cm²

3. การทดสอบ

3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเคลราติน แป้ง และแป้งที่ผสมสารละลายเคลราตินโดยใช้เครื่อง FTIR และ ATR-FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy and Attenuated Fourier transform infrared spectroscopy; ATR-FTIR) โดยอนุภาคเคลราตินที่ได้จากการระเหยแห้ง จะใช้วิธีการหาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้การวิเคราะห์แบบ FTIR ซึ่งอนุภาคจะถูกนำไปผสมกับโพแทสเซียมไนเตรด (KNO₃) จากนั้นทำการกดอัดเป็นแผ่นบางด้วย และทำการ Run ที่ช่วง Wavenumber 4000-500 cm⁻¹ ด้วยอัตราการสแกน 256 ครั้งต่อนาที สำหรับอนุภาคแป้งที่ผสมสารละลายเคลราติน จะใช้วิธีการหาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้การวิเคราะห์แบบ ATR-FTIR ซึ่งต้องมีการเตรียมขึ้นทดสอบให้มีขนาดเล็กและเป็นแผ่นบางพอที่รังสีจะผ่านได้ จากนั้นทำการ Run ที่ช่วง Wavenumber 4000-500 cm⁻¹ ด้วยอัตราการสแกน 256 ครั้งต่อนาที

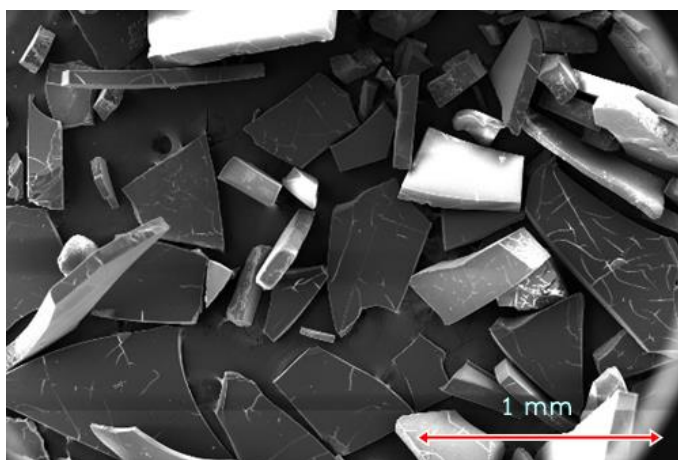
3.2 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของอนุภาคเคลราตินและแป้งที่ผสมสารละลายเคลราติน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยทำการเคลือบทองคำก่อนการทดสอบ และใช้โหมด Low vacuum ที่ความต่างศักย์ 10.0 kV รวมถึงศึกษาหาปริมาณธาตุโดยใช้เทคนิค Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX)

3.3 วิเคราะห์สมบัติเชิงกล โดยขึ้นงานทดสอบเป็นรูปเป็นดัมเบลล์ (Dumbbell) Type I ตามมาตรฐาน ASTM D638 ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine อัตราเร็วในการดึง (Crosshead speed) 10 mm/min ด้วยแรง 50 kN ที่อุณหภูมิห้อง 25 °C

3.4 วิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อนด้วยเครื่อง TGA โดยขึ้นงานจะมีน้ำหนักในช่วง 5 - 7 กรัม โดยการทดสอบอยู่ในช่วง 50-750 °C โดยเพิ่มอุณหภูมิที่ 10 °C / min ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน

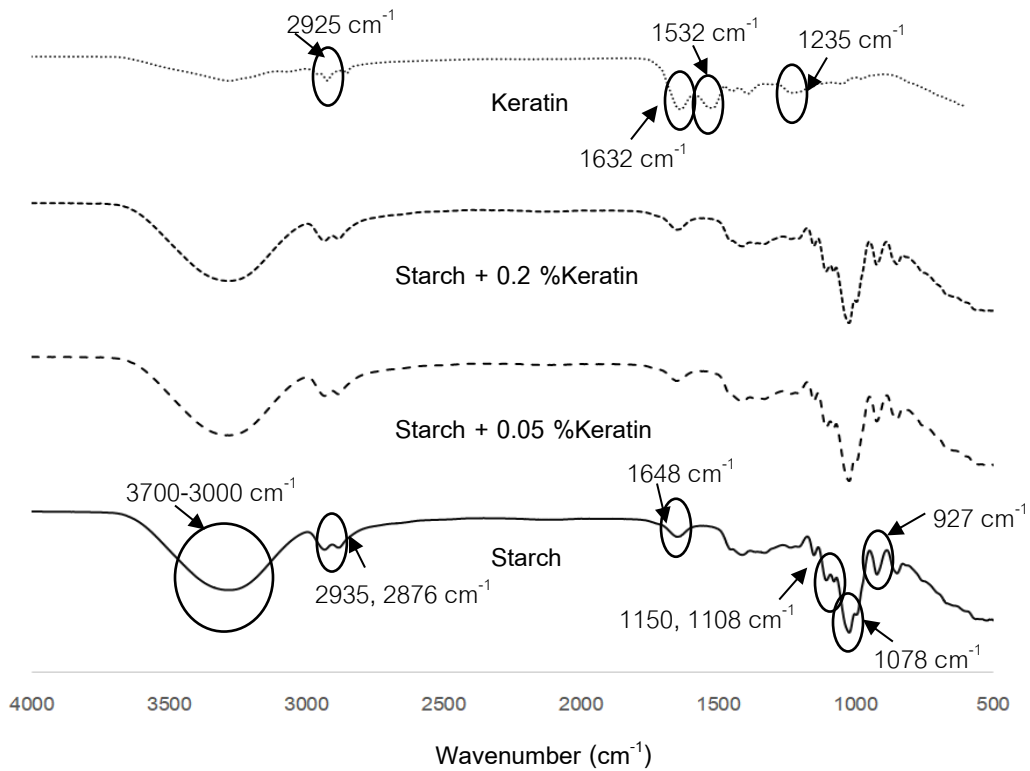
ผลการวิจัย

1. สัณฐานวิทยาของอนุภาคเคลราตินที่ได้จากการสกัดจากเส้นผมของมนุษย์ และปริมาณเคลราตินที่ได้จากการสกัด



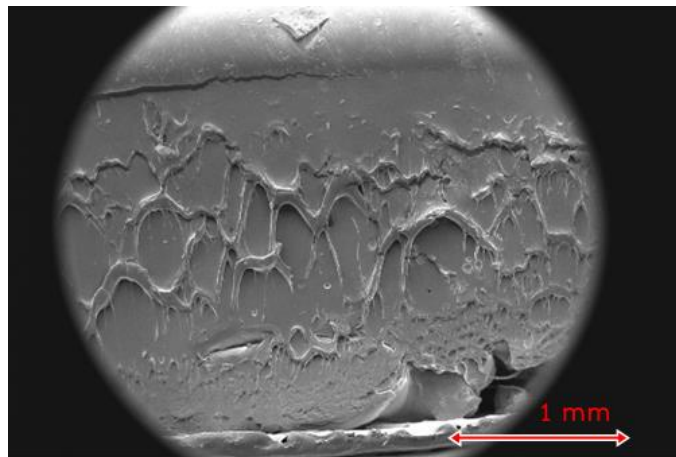
ภาพที่ 1 สัณฐานวิทยาของอนุภาคเคลราตินที่กำลังขยาย 70x ที่ได้จากเครื่อง SEM

2. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเคราติน แป้ง และ แป้งที่ผสมสารละลายเคราตินในอัตราส่วนที่ต่างกัน

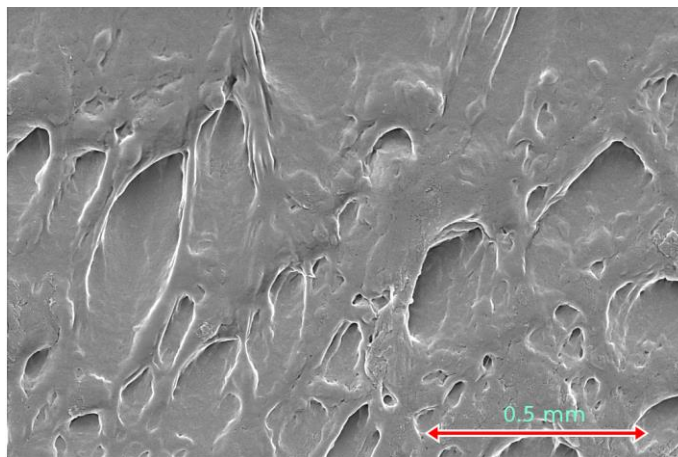


ภาพที่ 2 FTIR spectras ของอนุภาคเคราติน แป้ง และ แป้งที่ผสมสารละลายเคราตินในอัตราส่วนที่ต่างกัน

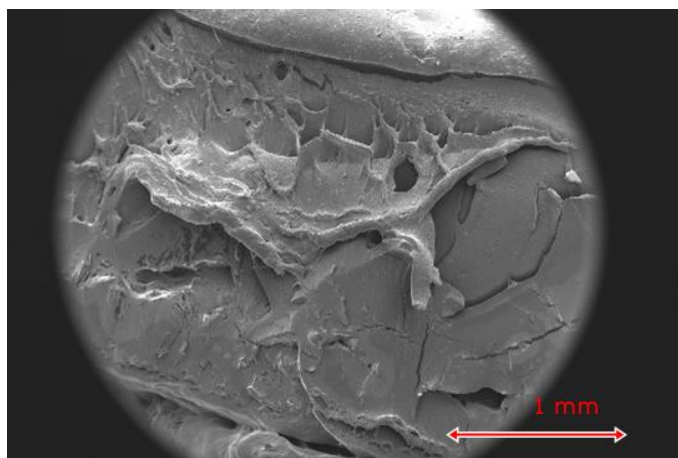
3. สัณฐานวิทยาของแป้ง และ แป้งที่ผสมสารละลายเคราตินที่อัตราส่วนต่างๆกัน



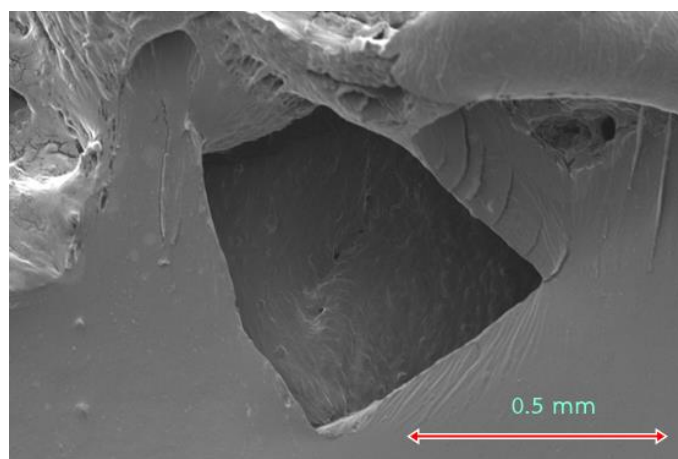
ภาพที่ 3 สัณฐานวิทยาของแป้งที่ผสมกลีเซอรอลที่กำลังขยาย 50x



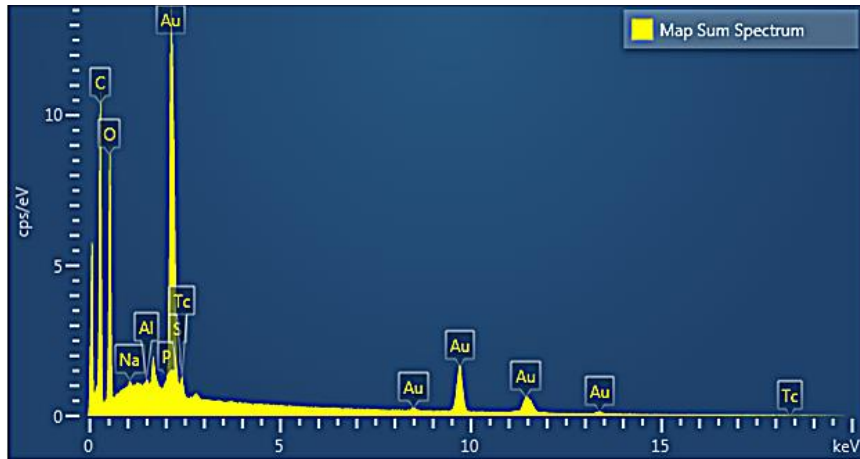
ภาพที่ 4 สัณฐานวิทยาของแป่งที่ผสมกลีเซอรอลที่กำลังขยาย 150x ตามลำดับ



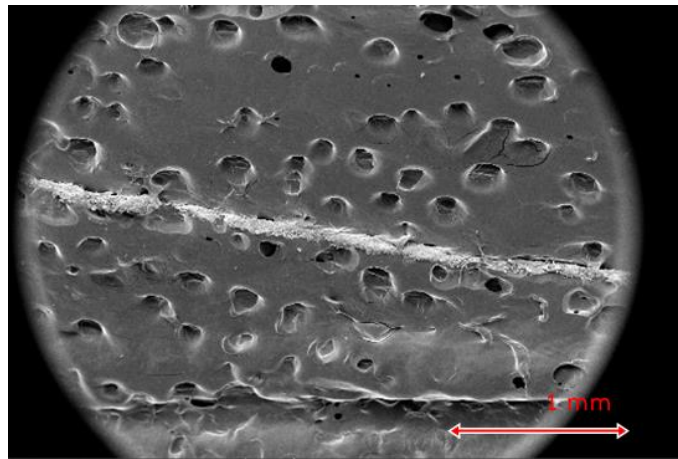
ภาพที่ 5 สัณฐานวิทยาของแป่งที่ผสมสารละลายเคราตินที่ปริมาณ 0.05% โดยน้ำหนักที่กำลังขยาย 50x



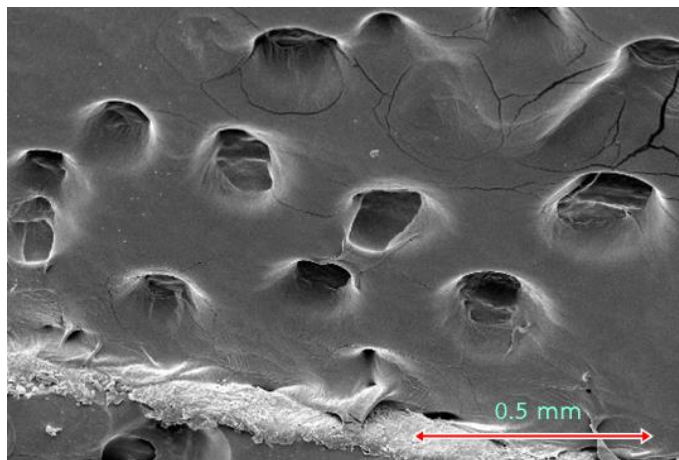
ภาพที่ 6 สัณฐานวิทยาของแป่งที่ผสมสารละลายเคราตินที่ปริมาณ 0.05% โดยน้ำหนักที่กำลังขยาย 150x



ภาพที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งที่ผสมสารละลายโคราตินที่ปริมาณ 0.05% โดยน้ำหนักที่กำลังขยาย 150x โดยใช้เทคนิค EDX-SEM

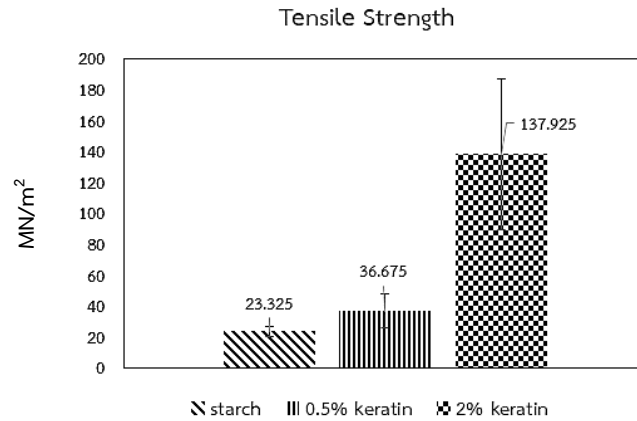


ภาพที่ 8 สัณฐานวิทยาของแป้งที่ผสมสารละลายโคราตินที่ปริมาณ 0.2% โดยน้ำหนักที่กำลังขยาย 50 x

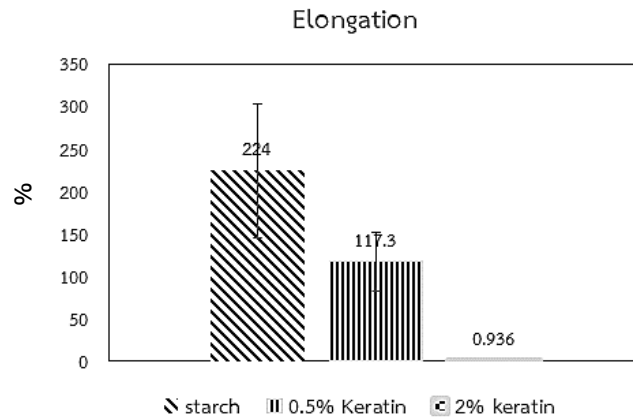


ภาพที่ 9 สัณฐานวิทยาของแป้งที่ผสมสารละลายโคราตินที่ปริมาณ 0.2% โดยน้ำหนักที่กำลังขยาย 150x

4. สมบัติเชิงกลของแป้งและแป้งที่ผสมสารละลายเคราตินที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

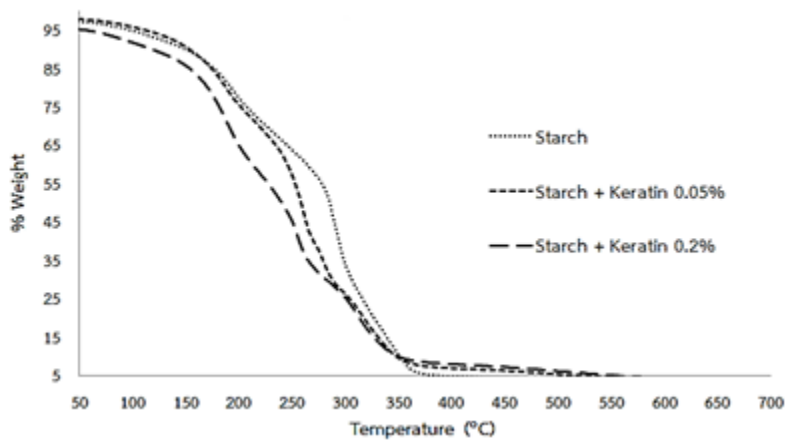


ภาพที่ 10 ค่าความต้านทานแรงดึงของแป้ง และ แป้งที่ผสมสารละลายเคราตินที่อัตราส่วนต่างๆกัน

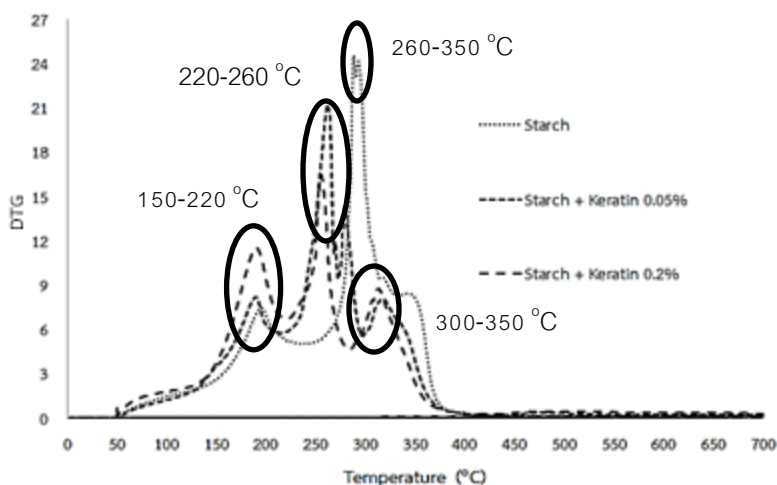


ภาพที่ 11 ค่าการยืดของแป้ง และ แป้งที่ผสมสารละลายเคราตินที่อัตราส่วนต่างๆกัน

5. ความเสถียรต่อความร้อนของแป้งและแป้งที่ผสมสารละลายเคราตินที่อัตราส่วนแตกต่างกัน



ภาพที่ 12 ค่า TGA Thermograms ของแป้ง และ แป้งที่ผสมสารละลายเคราตินที่อัตราส่วนต่างๆกัน



ภาพที่ 13 ค่า Derivative thermogravimetry (DTG) ของแป้ง และ แป้งที่ผสมสารละลายเคราตินที่อัตราส่วนต่างๆกัน

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. สันฐานวิทยาของอนุภาคเคราตินที่ได้จากการสกัดจากเส้นผมของมนุษย์ และปริมาณเคราตินที่ได้จากการสกัด เมื่อพิจารณาลักษณะอนุภาคของเคราตินที่ได้จากการสกัดเส้นผม หลังจากการระเหยแห้ง ดังแสดงที่ภาพที่ 1 จะเห็นว่าลักษณะอนุภาคของเคราตินมีรูปทรงเป็นแบบเกล็ด (Flake) เป็นแผ่นบาง และขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 200 ถึง 1000 ไมครอน ซึ่งมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างกว้าง

ผู้วิจัยได้ทำการหาปริมาณเคราตินโดยใช้วิธีการระเหยแห้ง (Evaporation) ที่อุณหภูมิ 70 °C จนเหลือเพียงอนุภาคเคราติน ซึ่งพบว่าเมื่อนำสารละลายเคราติน 100 cm³ ไปทำการระเหยแห้ง จะให้ปริมาณเคราตินเฉลี่ยที่ 0.02 g ดังนั้นสารละลายเคราตินที่ได้จะมีความเข้มข้นที่ 0.02% โดยมวลต่อปริมาตร

ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสูตรการผสมของแป้ง และ แป้งที่ผสมสารละลายเคราตินโดยอัตราส่วนที่ 0.05% และ 0.2% โดยน้ำหนัก ตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 1 แสดงสูตรการผสมของแป้ง กลิเซอรอล และเคราตินในอัตราส่วนต่างๆกัน

สูตรการผสม	แป้ง (g)	กลีเซอรอล (g)	เคราติน (g)	ปริมาตรที่ใช้ (cm ³)
แป้ง			0.00	0
แป้ง + เคราติน 0.05% โดยน้ำหนัก	325	175	0.25	1250
แป้ง + เคราติน 0.2% โดยน้ำหนัก			1.00	5000

2. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเคราติน แป้ง และ แป้งที่ผสมสารละลายเคราตินในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณา FTIR spectra ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าอนุภาคเคราตินแสดง Spectrum ที่ตำแหน่ง 2925 cm⁻¹ ซึ่งแสดงถึง C-H symmetric Stretching ในโครงสร้าง -CH₂- นอกเหนือจากนั้นยังแสดง Spectrum ที่ตำแหน่ง 1632, 1532, 1235 cm⁻¹ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพันธะเอไมด์แบบปฐมภูมิ (Primary amides), พันธะเอไมด์ทุติยภูมิ (Secondary amides) และ พันธะ-

ตติยภูมิ (Tertiary amides) ในโครงสร้างของกรดอะมิโน (Amino acids) ในโปรตีน ซึ่งเป็นการยืนยันถึงการสกัดอนุภาคเคราะห์ดินที่ได้จากเส้นผมมนุษย์ (Ehteshamuddin *et al.*, 2017)

และเมื่อพิจารณา FTIR Spectra ของแป้งมันสำปะหลังดัดแปร พบว่าแสดง Spectrum ที่ตำแหน่ง $3700-3000\text{ cm}^{-1}$ แสดงการมีอยู่ของ น้ำ และ -OH Stretching ของหมู่ฟังก์ชัน Carboxylic Acid, Alcohol ในโครงสร้างของแป้ง ที่ตำแหน่ง $2935, 2876\text{ cm}^{-1}$ แสดงการมีอยู่ของ $-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_3$ Stretching ในสารประกอบอะลิฟาติกคาร์บอน (Aliphatic Carbon) นอกเหนือจากนั้นที่ตำแหน่ง $1648, 1150, 1108$ และ 1078 cm^{-1} แสดงถึงการมีอยู่ของหมู่คาร์บอนิล ($\text{C}=\text{O}$) (Sacithraa *et al.*, 2013) พันธะ $\text{C}=\text{C}$ หมู่แอลคอกซีคาร์บอนิล ($-\text{C}-\text{O}-$) และ หมู่อีเทอร์ ($-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$) (Kizilt *et al.*, 2002) ในโครงสร้างของแป้ง อีกทั้ง ณ ตำแหน่ง 927 cm^{-1} แสดงถึงการมีอยู่ของพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic Bonds) ที่เชื่อมระหว่างมอนอเมอร์ของโมเลกุลในแป้ง และเมื่อพิจารณา FTIR Spectra ของแป้งที่ผสมเคราะห์ดินที่อัตราส่วนต่างๆกัน จะพบว่า ตำแหน่งสเปกตรัมในช่วงต่างๆมีลักษณะคล้ายกับ FTIR Spectra ของแป้ง

3. สัณฐานวิทยาของแป้ง และ แป้งที่ผสมสารละลายเคราะห์ดินที่อัตราส่วนต่างๆกัน

เมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของแป้งที่ผ่านการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง ดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4 จะเห็นว่า ลักษณะการแตกหักของแป้งเป็นแบบเหนียว (Ductility) ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะพื้นผิว เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ที่ช่วยเพิ่มความเหนียวให้กับแป้ง นอกจากนี้จะเห็นว่าแป้งและกลีเซอรอลมีความเข้ากันได้ดี เนื่องจากโครงสร้างของแป้งและกลีเซอรอลมีความเป็นขั้วสูง จึงผสมกันได้ดี

และเมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของแป้งที่ผสมสารละลายเคราะห์ดิน 0.05% โดยน้ำหนักที่ผ่านการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง ดังแสดงในภาพที่ 5 และภาพที่ 6 พบว่า ลักษณะการแตกหักของวัสดุยังคงเป็นแบบเหนียวคล้ายกับแป้งที่ไม่ผ่านการผสมสารละลายเคราะห์ดิน นอกจากนั้นภายในชิ้นงานยังพบช่องว่างที่เกิดจากการหลุดออกของเคราะห์ดินที่เกิดขึ้น โดยยืนยันจากขนาดของช่องว่างจากกำลังขยาย $150\times$ ที่มีขนาดช่องว่างประมาณ 500 ไมครอน และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุบริเวณดังกล่าวจากเทคนิคการทดสอบ EDX-SEM ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งจากบริเวณดังกล่าวพบองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (Carbon) ที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของแป้งที่ผสมกับกลีเซอรอลที่มีปริมาณสูงที่สุด

นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของแป้งที่ผสมสารละลายเคราะห์ดิน 0.2% โดยน้ำหนักที่ผ่านการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง ดังแสดงในภาพที่ 8 และภาพที่ 9 พบว่า ลักษณะการแตกหักของวัสดุมีความเหนียวที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ผสมสารละลายเคราะห์ดิน 0.05% โดยน้ำหนัก ซึ่งสังเกตจากลักษณะพื้นผิวของวัสดุจากการแตกหัก นอกจากนี้ยังพบว่าภายในชิ้นงานยังพบช่องว่างที่เกิดจากการหลุดออกของเคราะห์ดินอีกจำนวนมาก

4. สมบัติเชิงกลของแป้งและแป้งที่ผสมสารละลายเคราะห์ดินที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

จากภาพที่ 10 จะพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเคราะห์ดินในแป้ง เนื่องจากองค์ประกอบของเคราะห์ดินประกอบไปด้วยพันธะเปปไทด์ (Peptide Bonds) ที่เชื่อมระหว่างกรดอะมิโนในโครงสร้างของเคราะห์ดิน ทำให้มีปริมาณพันธะไฮโดรเจนมาก (Um *et al.*, 2001) อีกทั้งในโครงสร้างของแป้งและโครงสร้างของกลีเซอรอลมีหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) ซึ่งทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของเคราะห์ดินและโมเลกุลแป้งรวมถึงกลีเซอรอล จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 23.325 เป็น 137.925 ที่ปริมาณเคราะห์ดิน 0.2% โดยน้ำหนักเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ได้ผ่านการผสมสารละลายเคราะห์ดิน

นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 11 พบว่าค่าการยึดของแป้งมีค่าการยึดที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ผสมสารละลายเคราตินในอัตราส่วนต่างๆกัน เนื่องมาจากในกระบวนการผสมแป้ง มีการเติมกลีเซอรอลที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ในระหว่างกระบวนการผสม ซึ่งกลีเซอรอลจะไปทำหน้าที่ลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของแป้ง ลดการเกิดพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลแป้ง ทำให้แป้งมีค่าการยึดที่สูง (Yu *et al.*, 1998) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเคราตินลงไป แป้ง จะพบว่า ค่าการยึดตัวมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเทียบกับแป้ง นั่นแสดงให้เห็นถึงอนุภาคเคราตินไปเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคแป้ง และ กลีเซอรอล ทำให้กลีเซอรอลซึ่งเดิมทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ในโครงสร้างของโมเลกุลแป้ง และไปลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแป้ง กลับไปเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของเคราติน (Thonpho *et al.*, 2016) ซึ่งค่าการยึดลดลงจาก 224% เหลือเพียง 0.936% ที่ปริมาณเคราติน 0.2% โดยน้ำหนักเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ได้ผ่านการผสมสารละลายเคราติน นั่นแสดงให้เห็นถึงอนุภาคเคราตินไปทำให้วัสดุเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมจากวัสดุแข็งเหนียวเป็นวัสดุแข็งเปราะจึงทำให้ค่าการยึดมีค่าน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของสัจฐานวิทยาที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

5. ความเสถียรต่อความร้อนของแป้งและแป้งที่ผสมสารละลายเคราตินที่อัตราส่วนแตกต่างกัน

จากภาพที่ 12 และ ภาพที่ 13 แสดงเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่คงเหลือเทียบกับอุณหภูมิ พบว่าแป้งมีการสลายตัวอยู่ 2 ขั้นตอน ได้แก่ ช่วงแรก ประมาณ 150-220 °C เป็นการสลายตัวของน้ำ และ สารระเหยบางชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงในโครงสร้างของแป้ง (Highly volatile materials) (Maria *et al.*, 2010) ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญหายไป 18.58% ช่วงที่สอง ประมาณ 260-350 °C เป็นการสลายตัวของโครงสร้างอะไมโลเพกติน (Amylopectin) ที่มีโครงสร้างเป็นแบบแอลฟาเฮลิคซ์ (α -Helix) (Patcharida *et al.*, 2013) ในโครงสร้างของแป้งที่เกิดการคายเกลียวของโมเลกุลอะไมโลเพกติน (Shen *et al.*, 2015) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญหายไป 38.20% และเมื่อพิจารณากราฟ DTG เทียบกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบพบว่า แป้งที่ผสมสารละลายเคราตินมีอุณหภูมิ DTG ในช่วง 150-220 °C เช่นเดียวกันแป้ง นอกจากนี้ยังพบอุณหภูมิการสลายตัวในช่วง 220-260 °C ที่ตำแหน่ง T_d (Degradation Temperature) สูงสุดประมาณ 250 °C ซึ่งแสดงการทำลายโครงสร้างที่เป็นผลึกของโปรตีน (Crystalline region of the proteins) (Maria *et al.*, 2012; Thonpho *et al.*, 2016) รวมถึงในช่วง 300-350 °C แสดงให้เห็นถึงการสลายตัวของพันธะเปปไทด์ (Peptide bonds) ในโครงสร้างของเคราตินที่เป็นองค์ประกอบโปรตีน (Kakkar *et al.*, 2014) นั่นแสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของเคราตินในแป้ง ซึ่งมีผลต่อสมบัติของแป้งในระดับไมโครโมเลกุล (Microstructure)

สรุปผลการวิจัย

อนุภาคเคราตินที่ได้จากการสกัดจากเส้นผมมนุษย์ มีลักษณะเป็นเกล็ด แผ่นบาง สีน้ำตาล โดยขนาดความยาวอยู่ในช่วง 200-1000 ไมครอน และได้ปริมาณเคราตินที่ได้จากการสกัดอยู่ที่ 0.2% โดยมวลต่อปริมาตร โดยพบว่าแสดงการมีอยู่ของอนุภาคเคราตินที่ได้จากการสกัดจากการวิเคราะห์มุมฟังก์ชันจากเทคนิค FTIR นอกเหนือจากนั้น เมื่อทำการผสมเคราตินลงในแป้งจะทำให้วัสดุมีความเหนียวที่ลดลง อีกทั้งค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่กลับทำให้ค่าการยึดมีค่าที่ลดลง นอกจากนี้เคราตินจะไปทำให้คุณสมบัติในการสลายตัวของวัสดุแป้งและกลีเซอรอลมีค่าลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ประทุมรัตน์ หนูยัง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมงานวิจัย ที่ช่วยสละเวลาให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะ รวมถึงร่วมปฏิบัติงานวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งขอขอบคุณนางสาวพิมพ์ภรณ์ หวานวาจา นักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมวัสดุและกระบวนการผลิตที่ร่วมปฏิบัติงานวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมวัสดุและกระบวนการผลิต และ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้อุปกรณ์ในการทำวิจัย รวมถึงให้ความอนุเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Ehteshamuddin Aziz, M., Ahmed Jaleeli, K., & Ahmad, A. (2017). FTIR Spectroscopic Analysis of Keratinised Tissue – The Hair. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 3(6), 105-107.
- Guadalupe, S., Antonio, S., Fausto, C., & Jenny, A. (2017). Keratin fibres derived from tannery industry wastes for flame retarded PLA composites. *Polymer Degradation and Stability*, 140, 42-54.
- Kakkar, P., Madhan, B., & Shanmugam, G. (2014). Extraction and characterization of keratin from bovine hoof: A potential material for biomedical applications. *Journal to My Library SpringerPlus*, 3(1), 596.
- Kizilt, R., Irudayaraj, J., & Seetharaman, K. (2002). Characterization of Irradiated Starches by Using FT-Raman and FTIR Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (14), 3912–3918.
- María, G., Lomelí, R., Graciela, I., Bolzon, de., Muniz, Kestur, G., Satyanarayana, T., Valcineide, T., & Setsuo, I. (2010). Preparation and characterization of biodegradable composites based on Brazilian cassava starch, corn starch and green coconut fibers. *Carbohydrate Polymer*, 15, 256-260.
- Maria, A., & Juan, C. (2012). Mechanical properties of a high amylose content corn starch based film gelatinized at low temperature. *Journal of food technology*, 15, 219-227.
- Montira, R., & Prasong, S. (2016). Keratin extracted from human hairs: Preparation of particles by emulsification diffusion method. *The 12th Mahasarakham University Research Conference*. (pp.351-358) (in Thai)
- Patcharida, C., Ansaya, T., & Prasong, S. (2013). Properties and Drug Release Profile of Keratin/Starch Blend Films. *Journal of Science and Technology MSU*, 33, (pp-554-560). (in Thai)
- Pyshpadass, H. A., Marx, D. B., & Hanna, M. A. (2008). Effects of extrusion temperature and plasticizers on the physical and functional properties of starch films. *Starch*, 60, 527–538.
- Sacithraa, R., MadhanMohan, M., & Vijayachitra, S. (2013). Quantitative Analysis of Tapioca Starch using FT-IR Spectroscopy and Partial Least Squares. *International Conference on Innovations In Intelligent Instrumentation, Optimization And Signal Processing "ICIIOSP-2013"*, 29-33.
- Shen, J., Wang, L., Men, Y., Wu, Y., Peng, Q., Wang, X., Yang, R., Mahmood, K., & Liu, Z. (2015). Effect of water and methanol on the dissolution and gelatinization of corn starch in [MMIM][(MeO)HPO₂]. *Carbohydrate Polymer*, 74, 456-462.

- Thonpho, A., & Srihanam, P. (2016). Preparation and characterization of keratin blended films using biopolymers for drug controlled release application. *Oriental Journal of Chemistry*, 32(4), 1739–1748.
- Um, IC., Kweon, HY., Park, YH. & Hudson, S. (2001). Structural characteristics and properties of the regenerated silk fibroin prepared from formic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 29, 91-97.
- Van, J., Soest, J. G., De Wit, D., & Vliegthart, J. F. (1996). Mechanical properties of thermoplastic waxy maize starch. *Journal of Apply Polymer Science*, 61, 1927–1937.
- Yu, J., Chen, S., Gao, J., Zheng, H., et al. (1998). A study on the properties of starch/glycerine blend. *Starch*, 50, 246–250.