



โครงเลี้ยงเซลล์จากเซลลูโลสและโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส สำหรับวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก Design of Cellulose and Sodium Carboxymethyl Cellulose Scaffolds for Bone Tissue Engineering

ธนภรณ์ ระเวจวรรณ¹ ขวัญข้าว นิลนามะ¹

ณัฐพัชร์ เพ็ชรศรีกุล^{1*} พิพัฒน์พงษ์ สาจันทร์^{2*} พาวินี กลางท่าไค²

โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย เลย์ อำเภอยะรัง จังหวัดเลย 42110

²ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น , ตำบลในเมือง , อำเภอเมือง , จังหวัดขอนแก่น 4000 , ประเทศไทย

*Email: tanaporn05580@pcshsloe.ac.th

บทคัดย่อ

โครงเลี้ยงเซลล์ (Scaffold) ขึ้นรูปจากวัสดุพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (HA) และไคโตซาน (Chitosan) โดยเปรียบเทียบการใช้เซลลูโลสและโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เป็นวัสดุเสริมแรง เพื่อศึกษาผลของวัสดุเสริมแรงต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของโครงเลี้ยงเซลล์ ผลการศึกษาพบว่า ชนิดของวัสดุเสริมแรงมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของโครงเลี้ยงเซลล์อย่างมีนัยสำคัญ โดยโครงเลี้ยงเซลล์ที่เสริมด้วยเซลลูโลสมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า ซึ่งสูตรที่มีเซลลูโลสร้อยละ 3 (CP3) ให้ค่ามอดูลัสการอัด (Compression Modulus) สูงที่สุดประมาณ 301 เมกะพาสคัล (MPa) อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุสำหรับวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก ขณะที่โครงเลี้ยงเซลล์ที่เสริมด้วยโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) มีความสามารถในการบวมน้ำและการดูดซับน้ำสูงกว่า นอกจากนี้ โครงเลี้ยงเซลล์ทุกสูตรมีค่าความพรุนอยู่ในช่วงร้อยละ 84–98 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความพรุนของกระดูกพรุน (Cancellous Bone) ของมนุษย์ ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นโครงสร้างรูพรุนสามมิติที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งเอื้อต่อการลำเลียงสารอาหาร การแพร่กระจายของออกซิเจน การยึดเกาะ และการเจริญเติบโตของเซลล์ ขณะที่ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) ยืนยันการปรากฏของหมู่ฟังก์ชันที่เป็นลักษณะเฉพาะขององค์ประกอบแต่ละชนิด แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ของวัสดุภายในโครงสร้างของโครงเลี้ยงเซลล์ ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของวัสดุคอมโพสิตดังกล่าวในการประยุกต์ใช้ด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูกในอนาคต

คำสำคัญ: โครงเลี้ยงเซลล์, เซลลูโลส, โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, เนื้อเยื่อกระดูก

1. บทนำ

ในปัจจุบัน วิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก (bone tissue engineering) ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นแนวทางในการฟื้นฟูและทดแทนเนื้อเยื่อกระดูกที่เสียหายจากอุบัติเหตุ โรคกระดูกพรุน หรือการผ่าตัด โดยโครงเลี้ยงเซลล์ (scaffold) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างสามมิติที่ช่วยสนับสนุนการยึดเกาะ การเพิ่มจำนวน และการเจริญของเซลล์ พร้อมทั้งเลียนแบบสภาพแวดล้อมของเมทริกซ์นอกเซลล์ของกระดูกธรรมชาติ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการสร้างกระดูกใหม่

เซลลูโลส (cellulose) เป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจในการผลิตโครงเลี้ยงเซลล์ เนื่องจากมีความแข็งแรงเชิงกลสูงและช่วยปรับปรุงสมบัติของวัสดุ ขณะที่โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส มีความสามารถในการละลายน้ำและดูดซับน้ำได้ดี จึงอาจส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของโครงเลี้ยงเซลล์แตกต่างจากเซลลูโลสทั่วไป ปัจจุบันมีการพัฒนาโครงเลี้ยงเซลล์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ร่วมกับไฮดรอกซีอะพาไทต์

ไทด์ (HA) และไคโตซาน (Chitosan) อย่างแพร่หลาย เนื่องจากวัสดุทั้งสามมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ มีสมบัติเชิงกลที่ดี และสามารถส่งเสริมการยึดเกาะและการเจริญของเซลล์กระดูกได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาเปรียบเทียบผลของเซลลูโลสและโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อสมบัติของโครงเลี้ยงเซลล์ PVA-HA-Chitosan ยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะด้านโครงสร้างรูพรุน การดูดซับน้ำ และความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์

เตรียมสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ โดยตวงกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก (%w/w) ปริมาตร 8.22 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนให้มีปริมาตร 400 มิลลิลิตร และเตรียมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ โดยละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 14.8 กรัม ในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 400 มิลลิลิตร จากนั้นหยดสารละลายกรดฟอสฟอริกลงในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยอัตรา 6.67 มิลลิลิตรต่อนาที ภายใต้การกวนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พร้อมควบคุมค่า pH ให้อยู่ที่ 8 โดยใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นพักสารละลายไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการตกตะกอนสมบูรณ์ นำตะกอนไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมโครเมตร ก่อนเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นศึกษาหุ้ฟงักชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) และศึกษาความเป็นผลึกด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

2.2 การเตรียมสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2% w/v

เตรียมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1% โดยตวงกรดอะซิติกความเข้มข้น 96% ปริมาตร 1.56 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนให้มีปริมาตร 150

มิลลิลิตร จากนั้นเติมไคโตซาน 3 กรัม ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ และกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมงจนเป็นเนื้อเดียวกัน

2.3 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 150 มิลลิลิตร กวนที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

2.4 การศึกษาของคัพประกอบของเซลลูโลส โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และไคโตซาน

ศึกษาหุ้ฟงักชันของวัสดุด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

2.5 การขึ้นรูปโครงเลี้ยงเซลล์
ผสมสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2% w/v ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมไฮดรอกซีอะพาไทต์ 2 กรัม และเติมเซลลูโลส ปริมาณ 3% w/w, 6% w/w และ 9% w/w เทียบกับน้ำหนักของสารละลายรวม หรือเติมโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณ 3% w/w, 6% w/w และ 9% w/w เทียบกับน้ำหนักของสารละลายรวม กวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน และทำซ้ำจนได้ครบ 6 สูตรทดลอง และเทสารละลายลงในแม่พิมพ์ซิลิโคนขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1$ เซนติเมตร สูตรละ 18 ตัวอย่าง จากนั้นนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส และทำแห้งด้วยวิธีการแช่เยือกแข็ง (Freeze-drying) เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติของโครงเลี้ยงเซลล์ ได้แก่ สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) หุ้ฟงักชันบนพื้นผิวด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) สมบัติเชิงกลด้วย Universal Testing Machine (UTM) ความพรุนด้วยวิธีการแทนที่ของเหลวในรูพรุนของโครงเลี้ยงเซลล์ และศึกษาค่าการพองตัว (Swelling Ratio) และค่าสัดส่วนการดูดซับน้ำ (Water Uptake) และอภิปรายผล

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ไคโตซาน (CS) ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (HA) และเซลลูโลส (CP)

สูตร ที่	PVA (ml)	CS 2%w/v (ml)	HA (g)	CP (%w/w)*
1	25	25	2	3
2	25	25	2	6
3	25	25	2	9

หมายเหตุ %w/w คำนวณเทียบกับน้ำหนักของสารละลายรวม

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ไคโตซาน (CS) ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (HA) และ โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC)

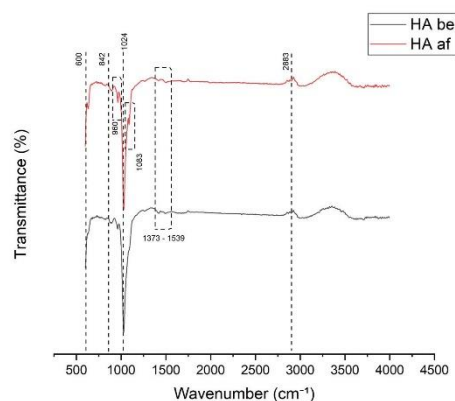
สูตร ที่	PVA (ml)	CS 2%w/v (ml)	HA (g)	CMC (%w/w)*
1	25	25	2	3
2	25	25	2	6
3	25	25	2	9

หมายเหตุ %w/w คำนวณเทียบกับน้ำหนักของสารละลายรวม

3. ผลการทดลอง

3.1 ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของไฮดรอกซีอะพาไทต์ก่อนและหลังการเผาด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FTIR)

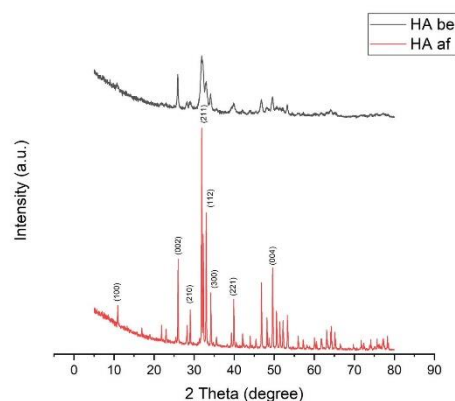
ผลการวิเคราะห์ FTIR ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ก่อนและหลังการเผา พบพีกของหมู่ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ที่ประมาณ 600 และ 1024 cm^{-1} และหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) ที่ประมาณ 2883 และ 3350–3500 cm^{-1} เหมือนกัน แสดงว่าโครงสร้างทางเคมีไม่เปลี่ยนแปลง หลังการเผามีความคมชัดและเข้มข้น บ่งชี้ว่าผลึกมีความเป็นระเบียบและสิ่งเจือปนลดลง จึงยืนยันว่าการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์ประสบความสำเร็จ และการเผาไม่กระทบองค์ประกอบทางเคมีของสาร



รูปที่ 1 กราฟแสดงเส้นสเปกตรัมของไฮดรอกซีอะพาไทต์ก่อนเผา (HA be) และของไฮดรอกซีอะพาไทต์หลังเผา (HA af)

3.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกของไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD)

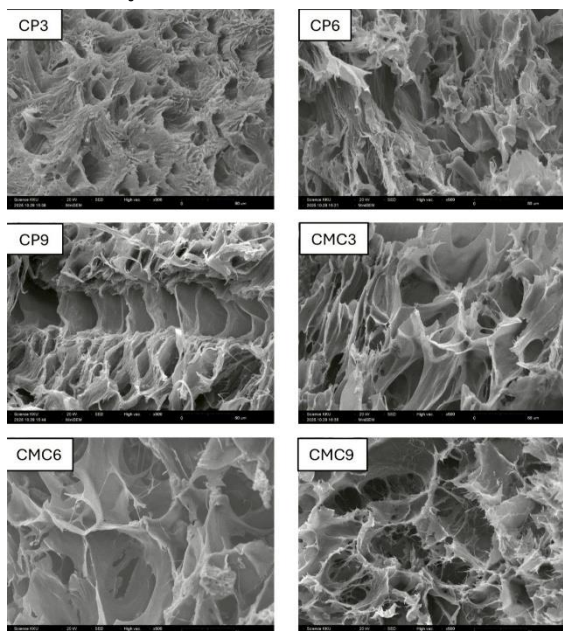
ผลการวิเคราะห์ XRD ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ก่อนและหลังการเผา พบพีกที่ตำแหน่ง 2θ ประมาณ 11, 26.5, 29, 33.5, 34, 40, 42.5 และ 44.5 องศา ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของโครงสร้างผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ หลังการเผาดำเนินการพิกยังคงเดิม แต่มีความเข้มเพิ่มขึ้นและแคบลง แสดงถึงความเป็นผลึกที่สูงขึ้นและโครงสร้างที่เป็นระเบียบมากขึ้น จึงยืนยันว่าการสังเคราะห์และการเผาสามารถผลิตไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีโครงสร้างผลึกถูกต้องและมีความเสถียร โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของเฟสผลึก



รูปที่ 2 กราฟลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ก่อนเผา (HA be) และของไฮดรอกซีอะพาไทต์หลังเผา (HA af)

3.3 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและ
ความเป็นรูพรุนของโครงเลี้ยงเซลล์ที่เตรียมได้

ผลการวิเคราะห์ SEM พบว่าโครงเลี้ยงเซลล์
PVA-HA-Chitosan ทุกสูตรมีโครงสร้างรูพรุนแบบเปิด
และเชื่อมต่อกัน เหมาะสำหรับการยึดเกาะและการเจริญ
ของเซลล์ โดยสูตรเติมเซลลูโลสมีความเป็นรูพรุนเพิ่มขึ้น
ตามปริมาณที่เติม ส่วนสูตรเติม CMC มีรูพรุนสม่ำเสมอ
และไม่พบการรวมตัวของอนุภาค HA ทุกสูตรมีค่าความ
เป็นรูพรุนร้อยละ 84-98 โดยสูตรเติมวัสดุเสริมแรงร้อยละ
6 มีค่าความเป็นรูพรุนสูงที่สุด และสูตร CMC มีค่า
swelling ratio และ water uptake สูงกว่า จึงเหมาะต่อ
การประยุกต์ใช้เป็นโครงเลี้ยงเซลล์สำหรับวิศวกรรม
เนื้อเยื่อกระดูกในเบื้องต้น



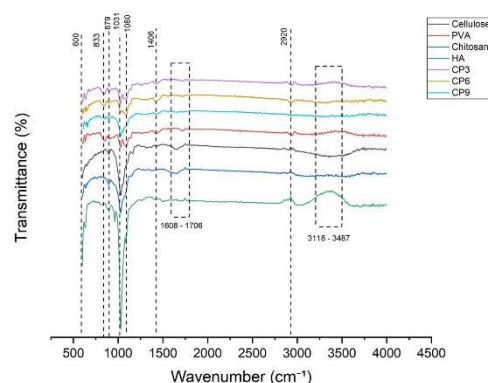
รูปที่ 3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของโครงเลี้ยงเซลล์แต่ละ
สูตร

Sample	Porosity(%)	Swelling Ratio	Water Uptake(%)
CP3	83.39±14.08	3.88±0.18	79.47±0.74
CP6	84.18±2.69	3.29±0.14	76.66±0.79
CP9	84.59±5.70	2.95±0.01	74.66±0.09
CMC3	75.95±17.90	18.26±0.32	94.81±0.01
CMC6	98.11±4.47	16.09±1.66	94.12±0.57
CMC9	76.94±8.56	11.97±0.07	92.29±0.04

ตารางที่ 3 ค่าความเป็นรูพรุน (%Porosity) ค่าการพอง
ตัว (Swelling Ratio) และค่าสัดส่วนน้ำในโครง (Water
Uptake) ของโครงเลี้ยงเซลล์ PVA-HA-Chitosan ที่มี
เซลลูโลสและมีไฮดรอกซีอะซิเตต เซลลูโลสในแต่ละ
สูตร

3.4 การศึกษาโครงสร้างทางเคมีของโครงเลี้ยง
เซลล์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared
Spectroscopy (FTIR)

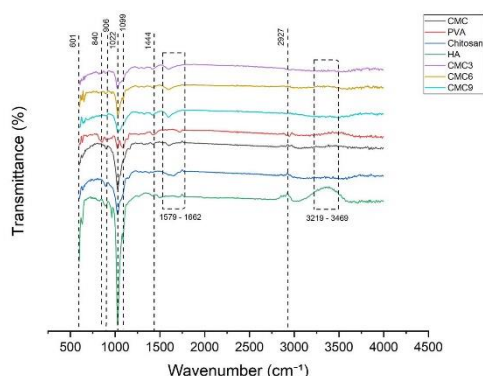
ผลการวิเคราะห์ FTIR ของโครงเลี้ยงเซลล์
PVA-HA-Chitosan ทั้ง 6 สูตร พบพิกของหมู่ฟอสเฟต
(PO_4^{3-}), หมู่ $-\text{CH}_2$, หมู่ $-\text{OH}/-\text{NH}$ และหมู่ amide I ซึ่ง
เป็นลักษณะเฉพาะขององค์ประกอบหลัก แสดงถึงการเกิด
พันธะไฮโดรเจนระหว่าง PVA, ไคโตซาน, เซลลูโลสหรือ
CMC และไฮดรอกซีอะซิเตต โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลง
ของหมู่ฟังก์ชันสำคัญ จึงยืนยันว่าวัสดุสามารถผสมเข้ากัน
ได้ดีและสร้างโครงเลี้ยงเซลล์ได้สำเร็จ



รูปที่ 4 กราฟแสดงเส้นสเปกตรัมของเซลลูโลส
(Cellulose), พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA), ไคโตซาน
(Chitosan), ไฮดรอกซีอะซิเตต (HA), โครงเลี้ยงเซลล์
PVA-HA-Chitosan ที่มีเซลลูโลส 3% (CP3),
โครงเลี้ยงเซลล์ PVA-HA-Chitosan ที่มีเซลลูโลส 6%
(CP6), และโครงเลี้ยงเซลล์ PVA-HA-Chitosan ที่มี
เซลลูโลส 9% (CP9)

กราฟ FTIR ของโครงเลี้ยงเซลล์ PVA-HA-
Chitosan ที่เติม CMC ร้อยละ 3, 6 และ 9 แสดงพิกของ
หมู่ฟังก์ชันสำคัญ ได้แก่ PO_4^{3-} , COO^- , C-H และ $-\text{OH}/-$
NH ซึ่งยืนยันว่าองค์ประกอบทั้งหมดสามารถผสมเข้ากัน

ได้ดี เกิดพันธะไฮโดรเจน และสร้างโครงข่ายเซลล์ได้สำเร็จ



ภาพที่ 5 กราฟแสดงเส้นสเปกตรัมของโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC), พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA), ไคโตซาน (Chitosan), ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (HA), โครงข่ายเซลล์ PVA-HA-Chitosan ที่มีโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 3% (CMC3), โครงข่ายเซลล์ PVA-HA-Chitosan ที่มีโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 6% (CMC6), และโครงข่ายเซลล์ PVA-HA-Chitosan ที่มีโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 9% (CMC9)

นอกจากนี้ สเปกตรัม FTIR ของโครงข่ายเซลล์ทุกสูตรพบแถบการดูดกลืนที่เลขคลื่น $500-600\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการสั่นของหมู่ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (HA) แสดงว่า HA ยังคงโครงสร้างทางเคมีเดิมและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสหลังการเตรียมโครงข่ายเซลล์

เมื่อเปรียบเทียบสูตรที่เติมเซลลูโลสและโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) พบว่า CMC ทำให้แถบการดูดกลืนของหมู่ O-H และ $-\text{COO}^-$ กว้างและเข้มข้น สะท้อนการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่าง CMC กับ PVA ไคโตซาน และ HA ผ่านพันธะไฮโดรเจนและแรงยึดเหนี่ยวทางไฟฟ้าสถิต ขณะที่สูตรเซลลูโลสเกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นหลัก

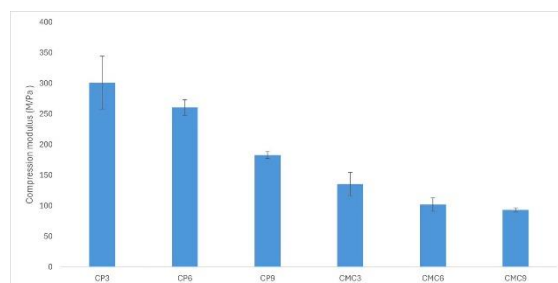
โดยสรุป ผล FTIR ยืนยันว่าโครงข่ายเซลล์ทุกสูตรมีองค์ประกอบทางเคมีครบถ้วนตามที่ออกแบบ และการเติมเซลลูโลสหรือ CMC ไม่ก่อให้เกิดพันธะเคมีใหม่ แต่ช่วยเสริมปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงโครงสร้างและเชิงกลของโครงข่ายเซลล์สำหรับวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก

3.5 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของโครงข่ายเซลล์ (Mechanical Property)

คุณสมบัติเชิงกลของโครงข่ายเซลล์ถูกประเมินด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) โดยรายงานผลในรูปของค่า Compression Modulus จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

ผลการทดสอบพบว่า โครงข่ายเซลล์ที่เติมเซลลูโลสมีค่า Compression Modulus สูงกว่าสูตรที่เติมโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ทุกอัตราส่วน แสดงว่าชนิดของวัสดุเสริมแรงมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลอย่างชัดเจน โดยสูตร CP3, CP6 และ CP9 มีค่า Compression Modulus เท่ากับ 301.18, 260.70 และ 182.78 MPa ตามลำดับ ขณะที่สูตร CMC3, CMC6 และ CMC9 มีค่า 135.59, 101.95 และ 93.14 MPa ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุเสริมแรง

โดยสรุป สูตรที่เติมเซลลูโลส โดยเฉพาะ CP3 ให้คุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด ขณะที่การเติม CMC ส่งผลให้โครงข่ายเซลล์มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและรับแรงกดได้น้อยกว่า จึงแสดงให้เห็นว่าชนิดและปริมาณของวัสดุเสริมแรงมีผลต่อสมบัติเชิงกลของโครงข่ายเซลล์อย่างชัดเจน



ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น (Stress) และ ความเครียด (Strain) พร้อมค่า Compression Modulus (MPa) ของโครงข่ายเซลล์

4. สรุปผล

จากการศึกษาการเปรียบเทียบผลของเซลลูโลสและโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ต่อสมบัติของโครงข่ายเซลล์ระบบ PVA-HA-Chitosan สำหรับวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก พบว่าโครงข่ายเซลล์ทุกสูตรสามารถขึ้นรูปได้สำเร็จและมีโครงสร้างรูพรุนสามมิติที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงเซลล์

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า โครงเลี้ยงเซลล์ที่เติมเซลลูโลสให้ค่า Compression Modulus สูงกว่าสูตรที่เติม CMC โดยสูตร CP3 ให้ค่าสูงที่สุด (301.18 MPa) รองลงมาคือ CP6 และ CP9 แสดงให้เห็นว่าการเติมเซลลูโลสในปริมาณที่เหมาะสมช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง ขณะที่การเติม CMC ส่งผลให้โครงเลี้ยงเซลล์มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและรับแรงกดได้น้อยกว่า

ด้านสมบัติทางกายภาพ โครงเลี้ยงเซลล์ทุกสูตรมีค่าความเป็นรูพรุนอยู่ในช่วง 84–98% ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่เหมาะสมสำหรับงานวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก และสูตรที่เติม CMC มีการดูดซึมน้ำสูงกว่าสูตรที่เติมเซลลูโลส เนื่องจาก CMC มีสมบัติชอบน้ำ แต่การอุ้มน้ำที่สูงอาจลดความสามารถในการคงรูปของโครงสร้าง

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ยืนยันว่าโครงเลี้ยงเซลล์ทุกสูตรยังคงมีฟังก์ชันสำคัญของ PVA, ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (HA), ไคโตซาน, เซลลูโลส และ CMC โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีที่สำคัญ

โดยสรุป โครงเลี้ยงเซลล์สูตร CP3 แสดงสมรรถนะดีที่สุดระหว่างสมบัติเชิงกล ความเป็นรูพรุน และความสามารถในการดูดซึมน้ำ จึงมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นโครงเลี้ยงเซลล์สำหรับงานวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูกในระดับเบื้องต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการวิจัยขอขอบพระคุณ คุณครูณัฐพัชร เพ็ชรศรีกุล และ คุณครูพิพัฒน์พงศ์ สาจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และติดตามการดำเนินโครงการจนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พาวีณี กลางท่าไค่ สาขาวัสดุศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ นางสาวนันท์นภัส เกียรติไกรวัลสิริ ที่ให้คำแนะนำ สนับสนุนการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เลย และ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการดำเนินโครงการวิจัย รวมถึงขอขอบคุณบิดา มารดา ครอบครัว และผู้สนับสนุน

ทุกท่านที่ให้ความสนใจและความช่วยเหลือตลอดการดำเนินโครงการ

เอกสารอ้างอิง

ต้นพร ล้าเลิศ, กัมปนาท สุนทรวิภาต, ไสริดา กนกพานนท์ และศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล. (2558). ความสามารถในการสร้างกระดูกในหนูทดลองของโครงเลี้ยงเซลล์ที่มีไฟโบรอินไหมไทยเป็น องค์ประกอบหลัก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนธิยา หนูเกื้อ. (2554). การเตรียมโครงเลี้ยงเซลล์กระดูกจากพอลิคาโพรแลคโตน/ไฮดรอกซีอะพาไทต์/ไตรแคลเซียมฟอสเฟตและแคลเซียมซิลิเคต. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ถ่ายเอกสาร.

อาจารย์ทันตแพทย์วรเดช พิชัยอุทกฤษฎ์ และอาจารย์ทันตแพทย์หญิงวิริยา จูวัฒนสำราญ. (2554). โครงเลี้ยงเซลล์คอมโพสิตสามมิติไฟโบรอิน-แอลฟาไตรแคลเซียมฟอสเฟตสำหรับงานวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก. สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต.

อุษมน พจน์สุจริต, อนิรุท ไชยจารุณนิช และสุรศักดิ์ อุดมสม. (2560). การพัฒนาการขึ้นรูปโครงเลี้ยงเซลล์เพื่องานวิศวกรรมเนื้อเยื่อผิวหนังด้วยเทคนิคการหล่อแบบเทปจากเจลาติน ไฟโบรอิน และไคโตซาน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Chundawat, S. P. S., Beckham, G. T., Himmel, M. E., & Dale, B. E. (2011). Deconstruction of Lignocellulosic Biomass to Fuels and Chemicals. Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering, 2(1): 121–145.

Pineda-Castillo, J., et al. (2018). Synthesis and Characterization of Poly(Vinyl Alcohol)-Chitosan-Hydroxyapatite Scaffolds: A Promising Alternative for Bone Tissue Regeneration. Molecules, 23(10): 2414