เซรามิกสำหรับวงการแพทย์

ดร.สุมาลี ลิขิตวนิชกุล

วัสดุที่นำมาใช้กับสิ่งมีชีวิต (biomaterials) หมายถึง วัสดุที่ไม่ใช่ยา ซึ่งทำขึ้นโดยการผสมสารต่างๆ ที่ได้จากการสังเคราะห์ หรือที่ได้จากธรรมชาติ เพื่อนำมาใช้ในการบำบัด ซ่อมแซม หรือทดแทนเนื้อเยื่อ อวัยวะ หรือการทำงานของร่างกาย โดยไม่มีการต่อต้านจากเซลล์หรือเนื้อเยื่อในระยะเวลาที่อยู่ในร่างกายมีวัสดุหลายประเภทที่จัดเป็น biomaterials เช่น โลหะ อัลลอยด์ และโพลิเมอร์ โลหะเป็นวัสดุที่ใช้กันมานาน เพื่อช่วยในการค้ำยัน หรือใช้แทนชิ้นส่วนของร่างกายที่ต้องรับน้ำหนัก อย่างไรก็ตามการใช้โลหะภายในร่างกายเพื่อจุดประสงค์ดังกล่าวเหมาะสำหรับการใช้ในระยะเวลาสั้นเท่านั้น หากใช้งานระยะเวลาที่นานขึ้น อาจมีการสึกกร่อนของโลหะเกิดขึ้นได้ และสารที่เป็นผลพลอยได้จากการสึกกร่อนนี้เป็นพิษต่อร่างกาย ในบางกรณีความเป็นพิษนั้นรุนแรงจนแพทย์ต้องทำการผ่าตัดเพื่อนำโลหะนั้นออกจากร่างกาย โพลิเมอร์เป็น biomaterial อีกประเภทหนึ่งที่ใช้กันอย่าง กว้างขวาง เช่น ใช้เป็นเนื้อเยื่อเทียม ลิ้น หัวใจ หรือเบ้ารองรับข้อต่อกระดูกสะโพก เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง ของโพลิเมอร์อาจเกิดขึ้นได้หลังการใช้งานในระยะยาว เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลติก ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น หรือปฏิกิริยาที่เกี่ยวเนื่องกับฟรีแรดดิคอล การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ทำให้โพลิเมอร์สูญเสียทั้งความเสถียรทางเคมีและความแข็งแรง

เซรามิกได้ถูกนำมาใช้เป็น biomaterial ในปี ค.ศ. 1960 เพื่อซ่อมแซมหรือสร้างเสริมชิ้นส่วนในร่างกายที่แตกหัก สึกหรอ หรือติดเชื้อ และได้ถูกเรียกว่า Bioceramics เซรามิกประเภทนี้ประกอบไปด้วยอิออนของ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกเนเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่พบในสิ่งมีชีวิต หรือ อิออน ที่มีขีดจำกัดความเป็นอันตรายต่อร่างกาย เช่น ไทเทเนียม อะลูมินัม หรือ เซอร์โคเนียม ทำให้วัสดุเหล่านี้เป็นที่ยอมรับและเหมาะสำหรับใช้ในร่างกาย

การวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ได้เซรามิกที่เหมาะสำหรับใช้ในร่างกายที่มีมาอย่างต่อเนื่อง ทำให้พบว่าส่วนประกอบทางเคมี ชนิดของโครงสร้าง และปริมาณของผลึกใน bioceramics มีผลโดยตรงต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี อัตราการสร้างพันธะของวัสดุกับเนื้อเยื่อ และสมบัติเชิงกล ในปัจจุบันเซรามิกที่ได้รับการพัฒนาสำหรับใช้ในวงการแพทย์มีอยู่หลายประเภท เช่น อะลูมินา เซอร์โคเนีย ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ไบโอกลาส และไบโอกลาส-เซรามิกส์ เป็นต้น ความหลากหลายในสมบัติต่างๆ เช่น ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นกับร่างกาย ความแข็งแรง และความสวยงาม ทำให้แพทย์มีทางเลือกในการนำวัสดุมาใช้สำหรับซ่อมแซม หรือเสริมเนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกายมากขึ้น bioceramics อาจถูกนำมาใช้ในลักษณะที่เป็นชิ้นซึ่งมีรูปร่างเฉพาะตัว หรือใช้เป็นเม็ด ผง เส้นใย หรือสารเคลือบ

เราสามารถแยก bioceramics ได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ตามปฏิกิริยาที่วัสดุมีต่อสภาวะแวดล้อมเชิงสรีรวิทยา (physiological environment) ดังนี้

1. Nearly Inert Bioceramics

วัสดุกลุ่มนี้มีความเชื่องช้าในการเกิดปฏิกิริยาเชิงชีววิทยา โดยทั่วไปวัสดุจะไม่สร้างพันธะกับเนื้อเยื่อธรรมชาติ อย่างไรก็ตามหากต้องการให้วัสดุยึดเกาะกับเนื้อเยื่อ จะต้องเตรียมผิวของวัสดุให้มีความขรุขระหรือมีความพรุน ลักษณะดังกล่าวทำให้เนื้อเยื่อหรือกระดูกสามารถเติบโตแทรกเข้าไปในผิวหน้าที่ขรุขระหรือรูพรุนของวัสดุ หรือสามารถติดยึดกับส่วนที่มีความบกพร่องบนวัสดุได้ การยึดเกาะนี้เป็นการยึดเกาะแบบเชิงกล (mechanical attachment) ตัวอย่างของวัสดุกลุ่มนี้ได้แก่ อะลูมินา ไอโซโทรปิกคาร์บอนอุณหภูมิต่ำ (low temperature isotropic carbon) แก้วคาร์บอน (carbon glass) และไฮดรอกซีอะพาไทต์ชนิดพรุนตัว (porous hydroxyapatite)

สมบัติที่เด่นชัดของ bioceramics ประเภทนี้คือ มีอัตราการกร่อนและค่าสัมประสิทธิ์ของการเสียดสีต่ำ มีความแข็งแรงและความแข็งแกร่งสูง ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับใช้ส่วนของร่างกายที่ต้องรองรับน้ำหนัก เช่น ข้อต่อกระดูกสะโพก กระดูกหัวเข่า ฟันเทียม เป็นต้น ภาพที่ 1 แสดงภาพข้อต่อกระดูกสะโพกที่ทำจากอะลูมินา

2. Resorbable Bioceramics

วัสดุกลุ่มนี้มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเป็นอย่างมาก ภายใต้สภาวะเชิงชีววิทยา วัสดุนี้จะค่อยๆ ละลายตัวไป ขณะที่มีการเติบโตของเนื้อเยื่อธรรมชาติเข้าแทนที่ตำแหน่งที่วัสดุนี้เคยอยู่ ตัวอย่างของวัสดุนี้ได้แก่ แคลเซียมซัลเฟต ไตรแคลเซียมฟอสเฟต เกลือของแคลเซียมซัลเฟต และไบโอแอกทีฟกลาส

สมบัติสำคัญที่ต้องคำนึงถึงสำหรับ bioceramics ประเภทนี้ คือ วัสดุนี้ต้องสามารถละลายได้ภายใต้สภาวะปกติของร่างกาย และภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ การละลายที่เกิดขึ้นต้องไม่รบกวนกระบวนการสร้างเนื้อเยื่อที่เข้ามาแทนที่วัสดุ โดยทั่วไปจะใช้วัสดุนี้เป็นอุปกรณ์ในการดามชั่วคราว หรือใช้เป็นสารเติมเข้าไปในช่องกระดูก (space filler) จนกว่าจะเกิดการสร้างเนื้อเยื่อขึ้นแทนที่

3. Surface-Active Bioceramics

วัสดุกลุ่มนี้มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเชิงชีววิทยา ปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดการสร้างชั้น (layer) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางยึดระหว่างผิวของวัสดุกับเนื้อเยื่อหรือกระดูกธรรมชาติมีอยู่ 4 ขั้นตอน ได้แก่

(ก) ขบวนการลีชชิ่ง (leaching process)

เป็นการสลายพันธะของอัลคาไล หรืออัลคาไลน์เอิร์ธอิออน จากโครงสร้างหลักของวัสดุ

(ข) การละลายของโครงสร้างหลัก (network dissolution)

เป็นการทำให้พันธะของโครงสร้างหลักแยกตัวออก และเกิดเป็นไฮดรอกไซด์ขึ้น

(ค) การรวมตัวกัน (condensation)

เป็นการรวมตัวของโครงสร้างหลักที่ละลายออกมาอยู่ในสารละลาย เกิดเป็นชั้นบางๆ ที่มีลักษณะคล้ายวุ้น (gel layer) บนผิวของวัสดุ

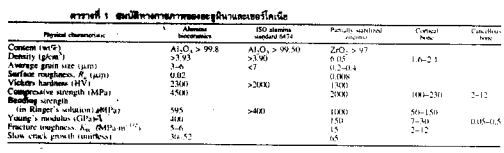
(ง) การสะสม (precipitation)

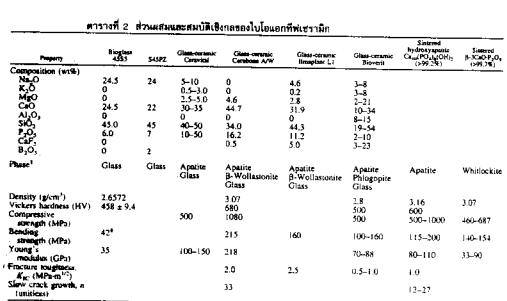
เป็นการสะสมของแคลเซียมและฟอสเฟตอิออนบนชั้นที่มีลักษณะคล้ายวุ้น

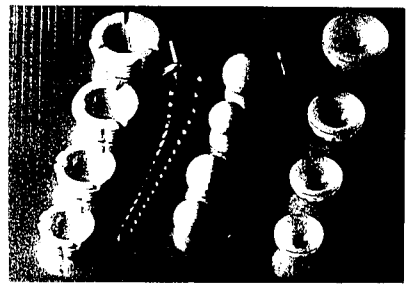
วัสดุในกลุ่มนี้ได้แก่ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ไบโอกลาส และไบโอกลาส-เซรามิกส์ วัสดุเหล่านี้ได้ถูกเตรียมขึ้นในหลายรูปแบบ เช่น เป็นชิ้นซึ่งมีรูปร่างเฉพาะตัว เป็นเม็ด ผง เส้นใย หรือเป็นสารเคลือบบนโลหะและอัลลอยด์ด้วย

สมบัติเฉพาะตัวของวัสดุนี้ คือ มีความต้านทานต่อแรงดึงเพื่อแยกวัสดุนี้จากเนื้อเยื่อธรรมชาติสูง มีความเสถียรทางสมบัติเชิงกล นั่นคือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือมีการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงหลังจากการใช้งานภายใต้สภาวะทางสรีรวิทยาน้อยมาก สมบัติทางกายภาพได้แสดงในตารางที่ 2 ชิ้นส่วนในร่างกายที่ทำจากวัสดุนี้ ได้แก่ กระดูกในช่องหู รากฟันเทียม ชิ้นส่วนกระดูกสันหลัง ชิ้นส่วนกระดูกเชิงกราน และกระดูกบริเวณใบหน้า เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2-5

ในปัจจุบัน bioceramics เป็นที่ยอมรับในวงการแพทย์มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกา และในทวีปยุโรป ความหลากหลายในสมบัติของวัสดุนี้ เช่น ความแข็งแรง ความสวยงาม ความทนทานหรือความว่องไวทางปฏิกิริยาเคมีภายใต้สภาวะทางสรีรวิทยา ทำให้แพทย์มีวัสดุเทียมให้เลือกเพื่อการใช้งานที่มีวัตถุประสงค์ต่างๆ กันมากขึ้น ดูภาพที่ 6 อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัย bioceramics ยังเป็นสิ่งที่จำเป็นอยู่ เพื่อให้ได้วัสดุที่มีสมบัติเหมาะกับการใช้ในร่างกายดียิ่งขึ้น และมีความน่าเชื่อถือ (reliable) ในสมบัติมากขึ้น เทคโนโลยีเซรามิกที่มีในประเทศไทยนั้นมีศักยภาพพอที่จะพัฒนาไปสู่การผลิต bioceramics ได้ เนื่องจากขั้นตอนการผลิต bioceramics นั้นมิได้แตกต่างจากการผลิตเซรามิกดั้งเดิม (conventional ceramics) นั่นคือ จะต้องทำการเตรียมวัสดุ ทำการขึ้นรูป และเผา เพียงแต่จะต้องเน้นในขั้นตอนการเตรียมวัสดุมิให้มีสิ่งที่จะเป็นพิษต่อร่างกายเข้าไปปนเปื้อน ต้องมีความเข้าใจในสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุแต่ละประเภทที่ต้องการผลิต และต้องมีเครื่องมือและวิธีการทดสอบสมบัติของวัสดุที่เชื่อถือได้

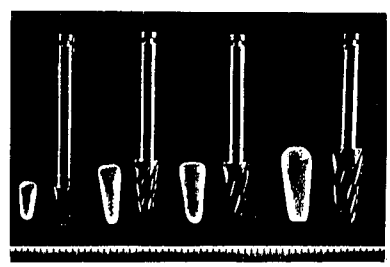






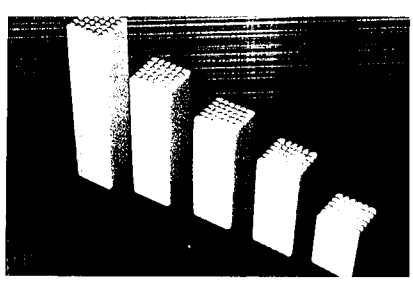
ภาพที่ 1 ข้อต่อกระดูกสะโพกทำจากอะลูมินา

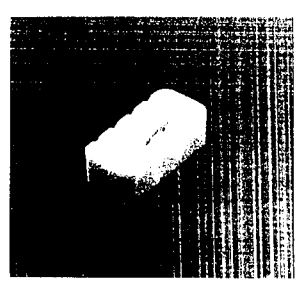
(ก)



(ข)

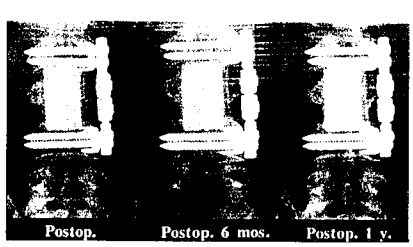
ภาพที่ 2 (ก) กระดูกในช่องหูทำจากกลาส-เซรามิกที่ตัดแต่งได้ (machinable bioglass-ceramics)
(ข) รากฟันเทียมทำจากไบโอกลาส 45S5

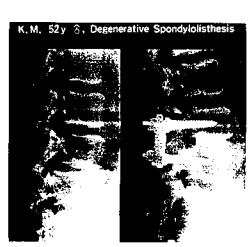




ภาพที่ 3 ชิ้นส่วนกระดูกสันหลังทำจากอะพาไทต์-โวลาสโทไนต์ ไบโอกลาส-เซรามิก (A-W)

(ก)

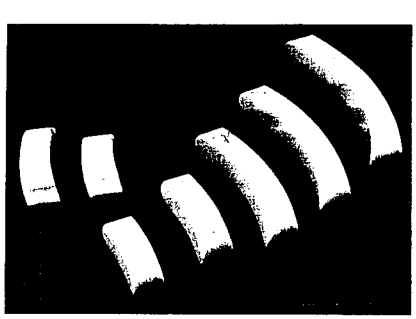




(ข)

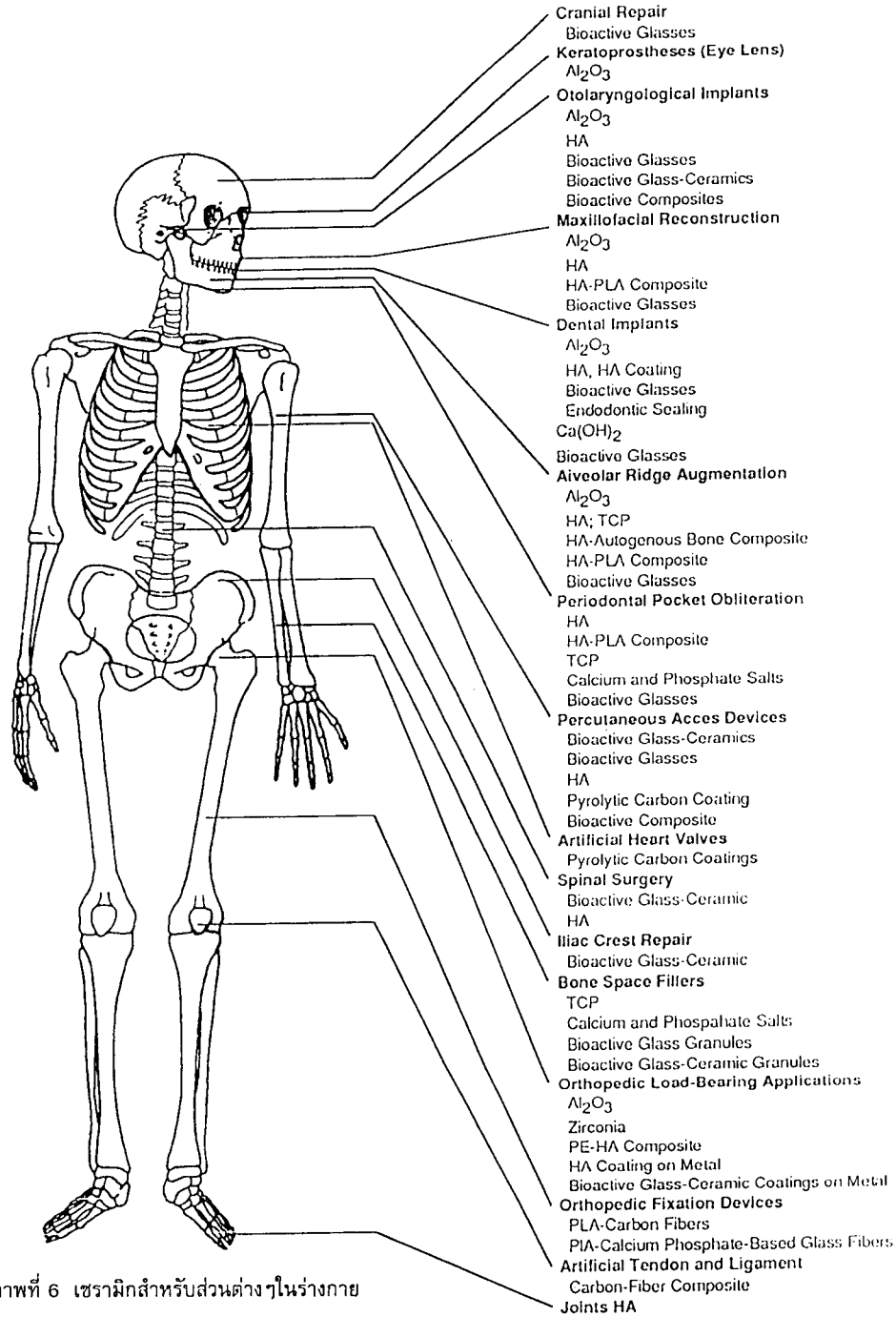
ภาพที่ 4 ภาพถ่ายเอกซ์เรย์การใช้ A-W ซ่อมแซมกระดูกสันหลัง (ก) ที่แตกหัก (ข) ที่ทรุดตัว

(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 (ก) ชิ้นส่วนกระดูกเชิงกรานทำจากอะพาไทต์-โวลาสโทไนต์ ไบโอกลาส-เซรามิก (A-W)
(ข) ภาพถ่ายเอกซ์เรย์การใช้ A-W ซ่อมแซมกระดูกเชิงกราน



ภาพที่ 6 เซรามิกสำหรับส่วนต่างๆในร่างกาย

เอกสารอ้างอิง

Borestos, J.W. **Concise guide to biomedical polymers.** Chicago : Thomas, 1973.

Hench, L.L. Bioceramics. **Journal of American Ceramic Society,** July, 1998, vol.81, no.7. p.1705-1728.

_. L.L. Bioceramics and the origin of life. **Journal of Biomedical Material Research,** July, 1998, vol. 23, no.7. p.685-703.

_. L.L. and Wilson, J. **An introduction to bioceramics.** Singapore : World Scientific, 1993.

_. L.L. and Ethridge, E.C. **Biomaterials : an interfacial approach.** New York : Academic Press, 1982. p.18-41.

Kokubo, T. Bioactive glass-ceramics : Properties and applications. **Biomaterials,** February, 1991, vol.12, no.2. p.155-163,

Kolff, W.J. Artificial organs and their impact. Edited by R.L Kronenthal et.al. In **Polymers in medicine and surgery.** New York : Plenum Press, 1975, p.1-28.

Likitvanichkul, S. Nucleation and crystallization of apatite-wollastonite (A-W) bioglass-ceramics. **Ph.D. thesis, Alfred University.** New York, 1996.