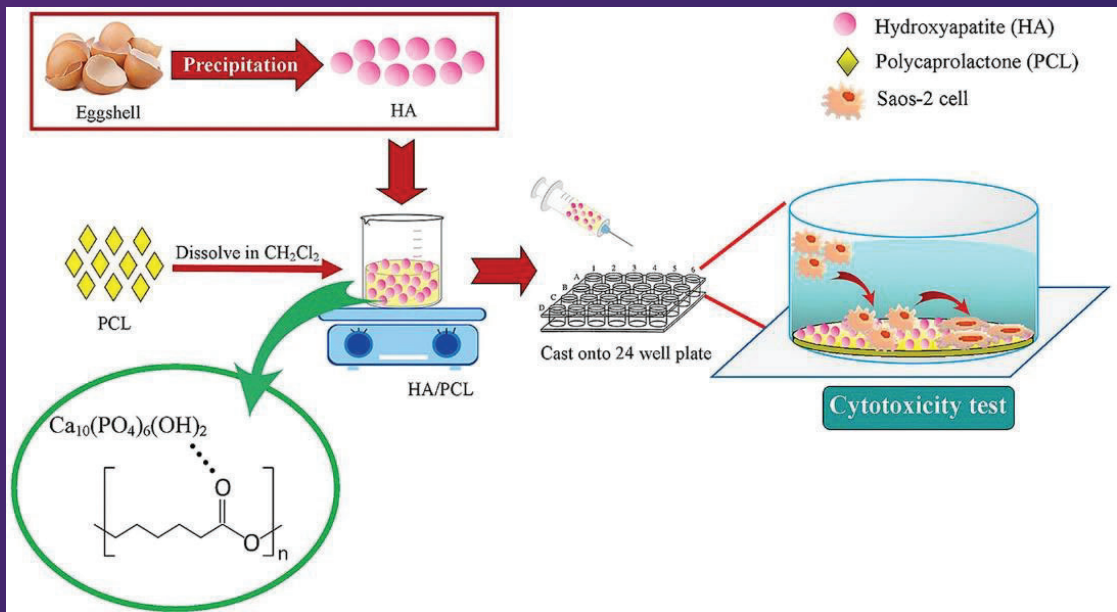




# วัสดุเชิงประกอบ ที่มีสมบัติหลากหลาย



ดร.ศรุต อำนวยไยอิน

# วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติหลากหลาย

โครงการหนังสือวิชาการที่น่าพิมพ์ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ให้จัดพิมพ์และจำหน่ายในราคาเย่อเยา



ถ่ายเอกสารแทนการใช้หนังสือ  
คือการทำลายภูมิปัญญาสร้างสรรค์

# วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติหลากหลาย

ดร.ศรุต อำนวยชัยโยธิน

รองศาสตราจารย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

2564

หนังสือที่ได้รับทุนสนับสนุนการเขียนตำราจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2563

ศรุต อามาศโยธิน.

วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติหลากหลาย.

1. วัสดุเชิงประกอบ.

TA418.9

ISBN 978-616-314-675-5

ISBN (E-BOOK) 978-616-314-678-6

ลิขสิทธิ์ของรองศาสตราจารย์ ดร.ศรุต อามาศโยธิน

สงวนลิขสิทธิ์

---

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม 2564

จำนวน 10 เล่ม

ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ (e-book) กุมภาพันธ์ 2564

---

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

**ท่าพระจันทร์:** อาคารธรรมศาสตร์ 60 ปี ชั้น U1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ถนนพระจันทร์ กรุงเทพฯ 10200 โทร. 0-2223-9232

**ศูนย์รังสิต:** อาคารโดมบริหาร ชั้น 3 ห้อง 317 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

โทร. 0-2564-2859-60 โทรสาร 0-2564-2860

<http://www.thammasatpress.tu.ac.th>, e-mail: [unipress@tu.ac.th](mailto:unipress@tu.ac.th)

---

พิมพ์ที่โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

---

ราคาเล่มละ 330.- บาท

# สารบัญ

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| คำนำ                                                                                             | (7) |
| <b>1</b> วัสดุเชิงประกอบเบื้องต้น                                                                | 1   |
| <b>2</b> วัสดุเชิงประกอบในประเภทต่างๆ                                                            | 21  |
| <b>3</b> ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับวัสดุเชิงประกอบ                                                 | 63  |
| <b>4</b> การตรวจสอบคุณลักษณะของวัสดุเชิงประกอบ                                                   | 94  |
| <b>5</b> กระบวนการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ                                                         | 144 |
| <b>6</b> วัสดุเชิงประกอบชีวภาพ                                                                   | 180 |
| <b>7</b> วัสดุเชิงประกอบสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์                                           | 252 |
| <b>8</b> วัสดุเชิงประกอบที่มีโครงสร้างในระดับนาโนและนาโนเมต<br>ต่อการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบในอนาคต | 310 |
| <b>9</b> แนวทางในการวิเคราะห์ ความเสียหายและการซ่อมแซมวัสดุเชิงประกอบ                            | 331 |
| บรรณานุกรม                                                                                       | 339 |
| ดัชนีคำศัพท์                                                                                     | 346 |

# คำนำ

วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติหลากหลายนั้น ถือว่าเป็นวิชาพื้นฐานทางด้านวัสดุศาสตร์ โดยเนื้อหาของวิชานี้ จะเป็นการบรรยายถึงสมบัติขั้นพื้นฐานของวัสดุเชิงประกอบ และการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น วัสดุเชิงประกอบในประเภทต่างๆ กฎของการผสมกัน การตรวจสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ กระบวนการขึ้นรูป บทบาทของการประยุกต์ใช้งานวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากวัสดุชีวภาพ การประยุกต์ใช้งานของวัสดุเชิงประกอบในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงแนวโน้มในการศึกษาวัสดุเชิงประกอบที่มีโครงสร้างในระดับนาโนในอนาคต และความเสียหายของชิ้นงานในระหว่างการใช้งาน รวมถึงแนวทางในการวิเคราะห์ ผู้เขียนจึงได้เรียบเรียงตำราวัสดุเชิงประกอบขึ้นมา เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนของอาจารย์ นักวิจัยทางด้านวัสดุศาสตร์ และนักศึกษาของสาขาวัสดุศาสตร์และสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดความเข้าใจเนื้อหาวิชายิ่งขึ้น

ผู้เขียนหวังว่าตำราเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่ออาจารย์และนักศึกษาที่ใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาวัสดุเชิงประกอบ หากผู้อ่านพบข้อผิดพลาดประการใดที่อาจเกิดขึ้นจากตำราเล่มนี้ ผู้เขียนยินดีรับคำท้วงติงและคำแนะนำจากท่านด้วยความขอบคุณยิ่ง เพื่อจะได้ปรับปรุงแก้ไขในโอกาสต่อไป

ดร.ศรุต อามาศย์โยธิน

# บทที่ 1

## วัสดุเชิงประกอบเบื้องต้น

### บทนำ

เพื่อให้มีความเข้าใจเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับวัสดุเชิงประกอบ จำเป็นต้องชี้ให้เห็นถึงความสำคัญ และความหมายของวัสดุเชิงประกอบ (composite) หรือการออกแบบวัสดุเชิงประกอบให้มีสมบัติ ที่หลากหลาย (multifunctional composite) โดยทั่วไป วัสดุเชิงประกอบหมายถึงวัสดุผสม ซึ่งเกิดขึ้นจากวัสดุหลักพื้นฐานมารวมกันจนมีสมบัติและโครงสร้างที่แตกต่างไปจากเดิม ในกรณีนี้ อาจจะเกิดจากวัสดุต่างประเภทกัน ได้แก่ วัสดุประเภทเซรามิก พอลิเมอร์ และโลหะ หรือในกรณี ของวัสดุประเภทเดียวกัน แต่มีขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจจะหมายรวมไปถึงวัสดุที่มีขนาดใหญ่ (bulk material) ไปจนถึงวัสดุที่มีขนาดเล็กลงไปในระดับโครงสร้างของไมครอน (micro structure) โดยวัสดุเชิงประกอบกลุ่มนี้อาจจะมีการจัดเรียงตัวภายในที่แตกต่างกัน เมื่อนำวัสดุดังกล่าวมารวม กันและทำการออกแบบเป็นวัสดุเชิงประกอบ เรียกว่า hierarchical composite ซึ่งเป้าหมาย ของการออกแบบวัสดุเชิงประกอบดังกล่าว ก็เพื่อที่จะเพิ่มขีดความสามารถของการประยุกต์ใช้งาน ทางด้านเทคโนโลยีวัสดุ ซึ่งมีข้อจำกัดของวัสดุเริ่มต้น เพื่อให้เกิดการประยุกต์ใช้งานในประสิทธิภาพ ที่สูงที่สุด



## ประเภทของวัสดุพื้นฐาน

เพื่อให้สามารถศึกษาสมบัติและโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทำความรู้จักถึงวัสดุพื้นฐานอย่าง โลหะ เซรามิก และพอลิเมอร์ก่อน ซึ่งวัสดุพื้นฐานทั้ง 3 ประเภท มีโครงสร้างและสมบัติที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ตลอดจนกระบวนการขึ้นรูปที่เกี่ยวข้องและความยากง่ายต่อกระบวนการผลิต ยกตัวอย่างเช่น

### 1. วัสดุพอลิเมอร์

วัสดุพอลิเมอร์จะมีโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์โดยส่วนใหญ่ นิยมนำมาออกแบบเป็นอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเบาและต้องการความยืดหยุ่น และมีราคาต้นทุนที่ต่ำ ซึ่งส่งผลให้มีความต้องการในกระบวนการผลิตในปริมาณมาก

### 2. วัสดุเซรามิก

ในส่วนของวัสดุเซรามิก มีโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับสารอนินทรีย์โดยส่วนใหญ่ มีสมบัติในการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงต่อสภาวะแวดล้อม อากาศ และสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนได้ดี อย่างไรก็ตามวัสดุประเภทเซรามิก จะมีข้อจำกัดในเรื่องของความเปราะ ความแข็งแรงต่ำ ตลอดจนกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง มักจะต้องใช้ความร้อนสูงถึง 1000 องศาเซลเซียสขึ้นไป ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นจะต้องใช้พลังงานมาก แต่ได้ชิ้นงานออกมาน้อยต่อรอบการผลิต และการใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการผลิต อาจจะส่งผลให้เกิดความอันตรายต่ออุปกรณ์ เครื่องจักร และรวมถึงผู้ปฏิบัติงานในระบอบอุตสาหกรรมด้วย ดังนั้นการผลิตวัสดุเซรามิกออกมาในปริมาณมาก จึงต้องคำนึงถึงการบริหารความเสี่ยง (risk management) ในแง่นี้ด้วย

### 3. วัสดุประเภทโลหะ

ในส่วนของวัสดุประเภทโลหะ แม้ในอดีตจะได้รับความนิยมสูง เนื่องจากการก่อสร้างหลักนั้น ต้องการความแข็งแรงของชิ้นงานและความสามารถในการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของวัสดุตามสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม แต่กระบวนการผลิตของโลหะนั้นต้องการอุณหภูมิสูงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้การผลิตโลหะยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการหามาได้ของสินแร่ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งสินแร่ดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับทรัพยากรทางธรรมชาติ ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละภูมิภาค ซึ่งการเลือกใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติดังกล่าวที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการถลุงโลหะ อาจจะทำให้ทรัพยากรนั้นหมดไปได้ในอนาคต

แม้ว่าวัสดุพื้นฐานทั้ง 3 ประเภท ไม่ว่าจะเป็นวัสดุประเภทเซรามิก โลหะ และพอลิเมอร์นั้น จะมีข้อดีอย่างไร แต่ก็มีข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้งานด้วยเช่นกัน ดังนั้นการออกแบบวัสดุเชิงประกอบที่มีพื้นฐานสำคัญมาจากการเลือกใช้วัสดุพื้นฐานทั้ง 3 ประเภท จึงเป็นทางออกของปัญหาที่น่าสนใจ และได้รับการผลักดันอย่างมาก เพื่อให้เกิดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งอาจจะเริ่มจากภาคการศึกษาและการพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมจริงได้ ซึ่งในส่วนของวัสดุเชิงประกอบ ถือว่าเป็นวัสดุแนวใหม่ที่มีพื้นฐานมาจากวัสดุพื้นฐานมารวมกันนั่นเอง

ความแตกต่างระหว่างวัสดุเชิงประกอบและวัสดุพื้นฐาน อยู่ที่ความสามารถในการรวมตัวกันของวัสดุย่อยๆ หลายๆ ส่วน เพื่อให้สมบัติและโครงสร้างไปในทิศทางเดียวกัน และเพื่อการประยุกต์ใช้งานที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ในบางครั้งการออกแบบวัสดุเชิงประกอบ จึงจำเป็นต้องทราบถึงข้อดีและข้อเสียของวัสดุย่อยๆ ในแต่ละส่วน ตลอดจนความเข้าใจถึงสมบัติที่มีความแตกต่าง ซึ่งมีผลต่อการออกแบบกระบวนการขึ้นรูปที่เหมาะสมด้วย

## การประยุกต์ใช้งานวัสดุเชิงประกอบ

เมื่อกล่าวถึงวัสดุพอลิเมอร์ จะเน้นที่สมบัติทางกลที่เกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่น ราคาถูก และสามารถหาวัสดุได้ง่าย ความสามารถในการขึ้นรูปทำได้ง่าย มีน้ำหนักเบา ซึ่งสมบัติดังกล่าวจัดว่าเป็นข้อดีของการเลือกใช้วัสดุพอลิเมอร์มาประยุกต์ใช้งาน แต่วัสดุพอลิเมอร์ก็มีข้อเสีย ในแง่ของความสามารถในการทนทานความร้อนที่ต่ำ มีการขยายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน มีความสามารถในการทนทานต่อสารเคมีได้ต่ำ ในส่วนของวัสดุเซรามิก เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า สมบัติที่โดดเด่นจะเน้นไปที่ความสามารถในการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่สูง ทนทานต่อสารเคมี และมีการขยายตัวทางความร้อนได้ต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้า แต่วัสดุเซรามิกก็มีข้อเสียเกี่ยวกับสมบัติทางกลคือ มีความเปราะ แตกง่าย และกระบวนการผลิตวัสดุเซรามิก จำเป็นต้องใช้ความร้อนสูง ถือว่าเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานในระหว่างกระบวนการผลิต ในขณะที่วัสดุโลหะ จะเน้นถึงความแข็งแรงและสมบัติทางกล มีการทนทานต่อการรับแรงกระแทกที่ดี แต่โลหะก็มีข้อเสียในแง่ของความสามารถในการทนทานต่อสารเคมีที่ต่ำ และราคาแพง จึงไม่เหมาะต่อการนำมาประยุกต์ใช้งานในปริมาณมาก

## 1. ชิ้นส่วนและอุปกรณ์รถยนต์

ในปัจจุบัน การประยุกต์ใช้งานของวัสดุเชิงประกอบ มีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับการออกแบบของวัสดุ และการประยุกต์ใช้งานในลักษณะที่จำเพาะ เช่น การประยุกต์ใช้งานเป็นชิ้นส่วนและอุปกรณ์รถยนต์ในประเภทต่างๆ ทั้งอุปกรณ์ภายในและภายนอก ในอดีต ชิ้นส่วนของรถยนต์มักจะเลือกใช้โลหะเป็นวัสดุภายนอก เพื่อความแข็งแรงของโครงสร้าง แต่ในขณะเดียวกัน การเลือกใช้โครงสร้างที่ทำด้วยโลหะ จะส่งผลให้ชิ้นงานมีน้ำหนักมาก และราคาต้นทุนสำหรับกระบวนการผลิตรถยนต์สูง และสิ้นเปลืองน้ำมันในระหว่างการใช้ จึงทำให้เกิดแนวคิดใหม่ในการผลิตรถยนต์ด้วยการเลือกใช้วัสดุที่มีราคาถูกและน้ำหนักเบา (hybrid composite) ด้วยการออกแบบเป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีความแข็งแรงสูงและราคาถูกขึ้นมาทำการผลิต เพื่อทดแทนการเลือกใช้โลหะ ในบางครั้งการประยุกต์ใช้งานในประเภทรถยนต์อาจจะเน้นไปที่การปรับปรุงสภาพพื้นผิว (surface modification) เพราะเป็นเพียงส่วนสำคัญของชิ้นงานที่ทำหน้าที่ในการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก แต่สมบัติภายในนั้นยังคงเป็นสภาพเดิม ซึ่งแนวความคิดดังกล่าวจะเป็นเพียงการปรับปรุงในส่วนของพื้นผิวสัมผัสภายนอกเท่านั้น ซึ่งถึงว่าค่าใช้จ่ายในระหว่างกระบวนการผลิตเดิมก็จะลดลงไปด้วย

## 2. โครงสร้างอาคาร

นอกจากนี้แล้ว การออกแบบวัสดุเชิงประกอบได้รับความนิยมในการนำมาพัฒนาเป็นโครงสร้างอาคาร เพื่อการอยู่อาศัย การก่อสร้างสะพาน ในอดีตนั้น การก่อสร้างอาคาร บ้าน หรือสะพาน นิยมสร้างด้วยไม้ เหล็ก คอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุพื้นฐานที่หาได้ง่ายในอดีต มีสมบัติทางกลที่ดี เช่น ความแข็งแรงของโครงสร้างและการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพลมฟ้าอากาศ การประยุกต์ใช้งานในระดับโครงสร้างดังกล่าว จะเน้นถึงความแข็งแรง ความสามารถในการรับแรง และการทนทานต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและสภาพแวดล้อม เช่น น้ำและแสงแดด จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้งานวิจัยในอดีตนั้นเลือกใช้วัสดุประเภทไม้ เหล็ก และคอนกรีต เข้ามาเป็นโครงสร้างหลักสำหรับอาคารและสถานที่ แต่ในปัจจุบัน การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและการพัฒนาอุตสาหกรรมพื้นฐานที่รวดเร็ว ทำให้งานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาในโครงสร้างพื้นฐาน มีการขยายตัวอย่างมาก และทรัพยากรจากไม้ คอนกรีตและเหล็ก เริ่มหาได้ยากและมีราคาแพงขึ้น จึงได้มีการพัฒนาวัสดุประเภทใหม่ เพื่อนำมาใช้ทดแทน การออกแบบวัสดุเชิงประกอบสามารถผสมผสานระหว่างข้อดีของวัสดุที่แตกต่างกัน 2 ประเภทขึ้นไป โดยออกแบบให้มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงของโครงสร้าง เพื่อให้มีสมบัติที่สอดคล้องและเพิ่มประสิทธิภาพต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้าง สามารถพบเห็นได้จาก

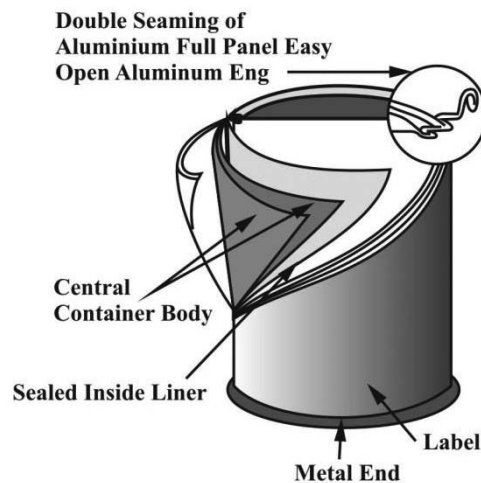
การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบของไม้ ซึ่งในปัจจุบันสามารถพบเห็นได้ทั่วไป โดยวัสดุดังกล่าวจะมีลักษณะภายนอกที่คล้ายคลึงกับไม้ตามธรรมชาติ แต่มีน้ำหนักเบาและง่ายต่อกระบวนการผลิต โดยวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากสามารถทำให้โครงสร้างอาคารบ้านเรือน มีความเหมือนกับไม้ให้ความรู้สึกเป็นธรรมชาติ ตลอดจนมีข้อดีทางด้านราคา ซึ่งจะได้ชิ้นงานที่มีราคาถูกกว่าการตัดต้นไม้ตามธรรมชาติ และสามารถผลิตชิ้นงานได้ในปริมาณมากๆ การเลือกใช้ไม้ตามธรรมชาติ มักจะมีข้อจำกัดในเรื่องของการหาไม้ของทรัพยากร และยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ได้รับการต่อต้านจากชุมชนใกล้เคียง เนื่องจากมีนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการห้ามตัดไม้ทำลายป่า นอกจากนี้ วัสดุเชิงประกอบของไม้ ยังมีความสามารถในการทนทานต่อความชื้นได้ดีกว่าไม้จากธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดการลดอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดี ทำให้ชิ้นงานมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น ซึ่งในส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับการเลือกใช้พอลิเมอร์ที่นำมาหล่อหุ้มอยู่ภายนอกนั่นเอง

### 3. ผลกระทบอาหารและบรรจุภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร

นอกจากนี้การประยุกต์ใช้งานของวัสดุเชิงประกอบ ยังได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมและกระบวนการผลิตอาหาร โดยนำมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร ตลอดจนการพัฒนาทางด้านการเกษตร ถือว่าเป็นอุตสาหกรรมหลักและจัดว่าเป็นการพัฒนาโครงสร้างทางเศรษฐกิจที่เป็นพื้นฐานของประเทศ โดยเฉพาะประเทศไทย ที่มีพื้นฐานทางด้านโครงสร้างเศรษฐกิจมาจากสินค้าทางการเกษตรกรรม ผลกระทบอาหาร ตลอดจนการพัฒนาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นการแปรรูปสินค้าประเภทผัก ผลไม้ ผลกระทบจากเนื้อสัตว์ ซึ่งนอกจากจะมีความสามารถในการผลิตสินค้าดังกล่าวออกมาในปริมาณมากสำหรับการบริโภคภายในประเทศแล้ว ยังมีความสามารถในการส่งออกเพื่อสร้างรายได้อย่างมหาศาลให้กับประเทศอีกด้วย ดังนั้นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารจึงได้รับความนิยมโดยเฉพาะการพัฒนางานวิจัยสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร มีเป้าหมายหลักเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายต่อผู้บริโภค เพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ และคุณภาพของอาหาร เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเฉพาะประเทศไทยมีการส่งออกสินค้าด้านการเกษตรไปยังต่างประเทศ ในเรื่องของคุณภาพสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์อาหารภายหลังจากการเก็บเกี่ยว (post harvest) จึงเป็นคำถามสำคัญเมื่อส่งออกไปขายยังต่างประเทศ ซึ่งใช้ระยะเวลากว่า 2-3 เดือนจึงจะถึงมือผู้บริโภค คุณภาพของสินค้ายังเหมือนเดิมหรือไม่ ซึ่งในส่วนนี้จึงทำให้เกิดเทคโนโลยีการบรรจุ และกลายเป็นความหวังสำหรับผู้ประกอบการและเกษตรกรที่จะส่งสินค้าเกษตรกรรมออกไปขายยังต่างประเทศ

โดยทั่วไปบรรจุภัณฑ์อาหาร จะเริ่มจากใช้วัสดุที่หาได้ง่ายตามธรรมชาติ เช่น กระดาษ สำหรับการออกแบบเป็นหีบห่อ ถุงพลาสติก หรือแผ่นอะลูมิเนียม ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นวัสดุอย่างง่าย สำหรับการออกแบบบรรจุภัณฑ์ แต่ในขณะเดียวกันอาหารสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท เช่น อาหารสด อาหารแห้ง และอาหารกึ่งแห้ง ซึ่งส่งผลต่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์อาหารที่แตกต่าง กัน และส่งผลต่อไปยังคุณภาพของอาหาร ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะเลือกมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ โดยบรรจุภัณฑ์ที่ดีนั้น จะต้องทำให้อาหารที่อยู่ภายในบรรจุภัณฑ์นั้น มีคุณภาพสดใหม่ ทั้งในระหว่าง กระบวนการผลิต การขนส่ง จนอาหารนั้นถึงมือผู้บริโภค

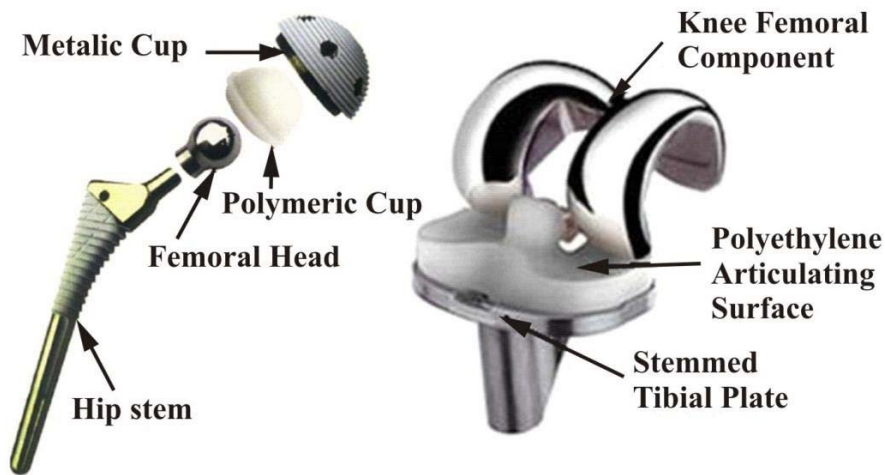
บทบาทของวัสดุเชิงประกอบ สามารถออกแบบให้มีลักษณะเป็นชั้นที่มีความบาง เพื่อ ปกป้องอาหารจากความชื้น หรือมีการระบายความชื้นที่เหมาะสม การดูดซับ รังสียูวี หรือการเติม อนุภาคที่มีขนาดเล็กในระดับไมโครหรือนาโนเข้าไปในโครงสร้างของวัสดุหลัก เพื่อทำหน้าที่เป็น สารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในนั้น มีอายุ ยาวนานขึ้นและยังคงความสด (freshness) ของผลิตภัณฑ์ไปจนกว่าจะถึงมือผู้บริโภค ซึ่งก่อน หน้าที่จะมีการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบนั้น บรรจุภัณฑ์ที่เป็นแบบดั้งเดิม จะมีการออกแบบโดยการ ใช้แผ่นพลาสติกเป็นหลักหรือผลิตภัณฑ์กระดาษ แม้ว่าจะมีข้อดีในการผลิตที่ง่ายและสามารถทำได้ ในปริมาณมากแต่ยังมีข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้งานซึ่งในภาคอุตสาหกรรม สามารถออกแบบ ให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติดังกล่าวควบคู่กันไปได้<sup>[1-3]</sup> ภาพที่ 1.1 แสดงการประยุกต์ใช้งานของ วัสดุเชิงประกอบสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร ในบางครั้งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นบรรจุภัณฑ์แบบฉลาด (smart packaging) เป็นการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่มีความเฉพาะต่อผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในได้อย่าง เหมาะสม เช่น ลดการคายน้ำออกมาจากผลิตภัณฑ์ สามารถปลดปล่อยก๊าซซึ่งเกิดจากการเน่าเสีย อยู่ภายใน ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นยังคงดีเช่นเดิม



ภาพที่ 1.1 การประยุกต์ใช้งานของวัสดุเชิงประกอบสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร

#### 4. วงการแพทย์ ทันตกรรมและเภสัชกรรม

การประยุกต์ใช้งานของวัสดุเชิงประกอบยังได้รับความสนใจสำหรับวงการแพทย์ ทันตกรรมและเภสัชกรรม โดยทั่วไปอุปกรณ์ทางการแพทย์และงานบริการทางด้านสาธารณสุข มักจะมีราคาแพงและต้นทุนการผลิตสูง ทำให้ไม่มีความสอดคล้องกับความต้องการด้านการแพทย์ และสาธารณสุขที่จัดว่ายังอยู่ในสภาพที่ขาดแคลน ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ทางการแพทย์มักจะทำ ด้วยสแตนเลส ซึ่งมีราคาแพง และการประยุกต์ใช้งานนั้นยังขาดความเหมาะสมในแง่ของราคาที่ ไม่สอดคล้องกับค่าบริการ จึงทำให้เกิดภาวะขาดแคลนขึ้น และการใช้สแตนเลสยังต้องมีกระบวนการ ล้างหรือทำความสะอาดหลังใช้งาน ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองและเสียเวลาในระหว่างการทำงาน นอกจาก อุปกรณ์ทางการแพทย์แล้ว การพัฒนาอวัยวะเทียมเพื่อทดแทนการสูญเสียอวัยวะเดิมที่เกิดจาก อุบัติเหตุและโรคภัยต่างๆ ซึ่งยังมีความต้องการมากสำหรับจำนวนผู้ป่วยที่เพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่าง เช่น ผู้ป่วยด้วยโรคเส้นเลือดหัวใจตีบตันเนื่องจากมีปริมาณไขมันและคอเลสเตอรอลสูง ส่งผลเสีย ต่อระบบหมุนเวียนโลหิตในร่างกาย จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายเส้นเลือดหัวใจเทียม เกิดการ พัฒนาวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวเข้ามาทดแทน นอกจากนี้ในกลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวานเรื้อรัง เมื่อเกิด บาดแผลภายนอก หรือแผลจากการกดทับ เมื่อเป็นแล้วจะหายจากอาการได้ยาก ส่งผลให้เกิดการ ติดเชื้อตามมา ดังนั้นการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบสำหรับนำมาประยุกต์ใช้เป็นแผ่นปิดแผลสำหรับ ผู้ป่วยเบาหวาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งโรคเส้นเลือดอุดตันและโรคเบาหวาน เป็นกลุ่ม โรคที่พบมากในคนไทย และก่อให้เกิดผลกระทบในด้านต่างๆ



ภาพที่ 1.2 การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบของเซรามิก โลหะ และพอลิเมอร์  
เพื่อการประยุกต์ใช้งานเป็นข้อต่อสำหรับงานด้านการแพทย์

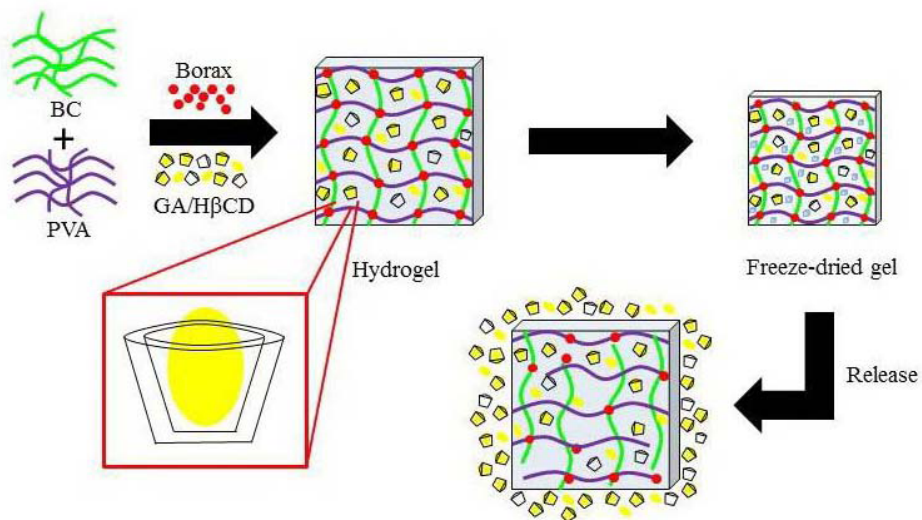
การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ มีความจำเป็น และต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากการนำไปประยุกต์ใช้งานมีความเกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจจะต้องมีการรับรองด้านจริยธรรมทางการแพทย์ แต่พื้นฐานขององค์ความรู้ของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการนำไปประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์นั้น จะให้ความสำคัญเพิ่มเติมในการนำไปทดสอบสมบัติของความเข้ากันได้กับเซลล์ สมบัติในเรื่องความเสถียรตัวทางโครงสร้าง ระดับของการบวมตัว ตลอดจนความสามารถในการส่งเสริมให้เซลล์นั้นเกิดการกระตุ้นเพื่อให้เกิดการแบ่งตัว ในปริมาณที่เหมาะสม ภาพที่ 1.2 แสดงการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบ เพื่อการประยุกต์ใช้งานเป็นข้อต่อสำหรับงานด้านการแพทย์

## 5. ผลิตภัณฑ์ยาและเครื่องสำอาง

ในส่วนของผลิตภัณฑ์ยาและเครื่องสำอาง ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภทมีความสำคัญมาก ผลิตภัณฑ์ยาจะให้ความสำคัญไปที่การรักษาพยาบาลผู้ป่วยเพื่อให้มีสุขภาพที่ดีขึ้น และสามารถรักษาโรคภัยไข้เจ็บได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง จะเน้นไปที่การดูแลเรื่องความสวยงาม การบำรุงผิวพรรณต่างๆ หากศึกษาในมุมมองด้านการตลาด จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภทได้มีการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพเป็นอย่างมาก เพื่อให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสำหรับผู้บริโภคมากที่สุด บทบาทของการประยุกต์ใช้งานของวัสดุเชิงประกอบ

อาจจะเข้ามาสู่โครงสร้างในระดับไมโครและนาโน การพัฒนาระบบและกลไกของการควบคุมและการปลดปล่อย (control-release mechanism) อนุภาคของยาซึ่งมีความว่องไวไปยังเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาโครงสร้างแบบห่อหุ้มในรูปแบบของชั้นเคลือบ (core shell encapsulation) ซึ่งจะช่วยชะลอระยะเวลาของการปลดปล่อยตัวยาให้ยาวนานขึ้น ภาพที่ 1.3 แสดงการพัฒนาระบบห่อหุ้มของโครงสร้างโมเลกุลที่มีความว่องไว เพื่อประยุกต์ใช้งานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีเภสัชกรรม

ด้วยเหตุนี้การประยุกต์ใช้งานของวัสดุเชิงประกอบ จึงได้รับความสนใจในวงการแพทย์และการสาธารณสุข เนื่องจากมีต้นทุนในกระบวนการผลิตต่ำ สามารถหาวัสดุได้ง่าย และสามารถออกแบบให้มีสมบัติในการประยุกต์ใช้งานจริงได้ จึงได้รับความนิยมสำหรับนำมาเป็นวัสดุทดแทนในวงการสาธารณสุข

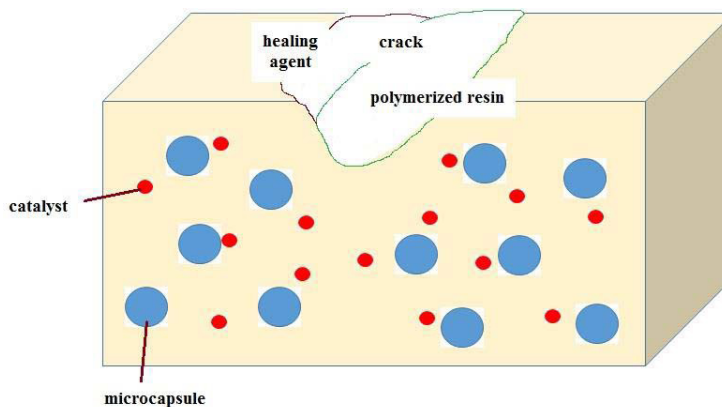


ภาพที่ 1.3 การพัฒนาระบบห่อหุ้มของโครงสร้างโมเลกุลที่มีความว่องไว เพื่อประยุกต์ใช้งานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีเภสัชกรรม

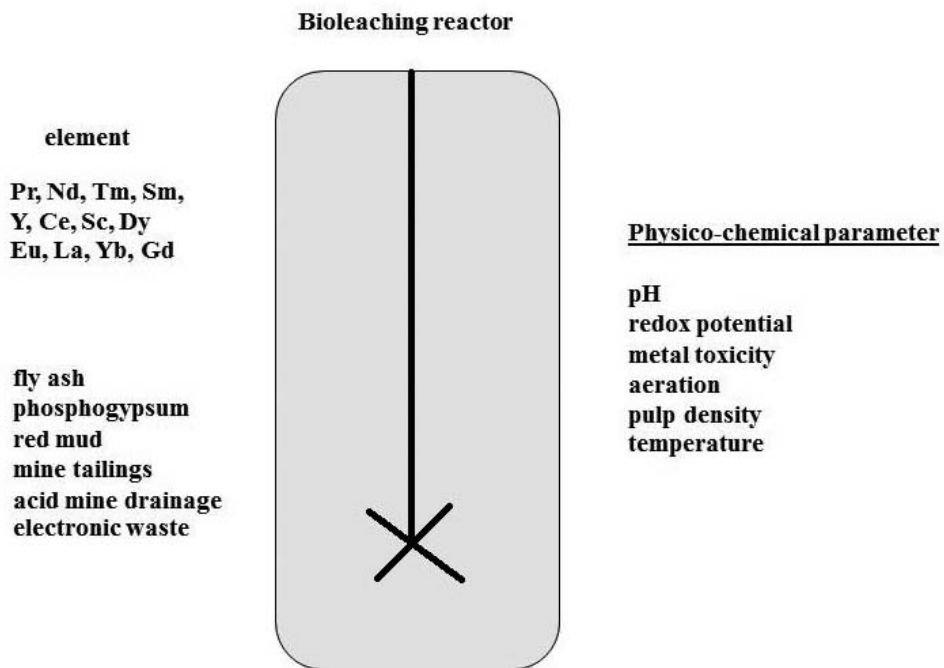
ที่มา: จาก Materials Chemistry and Physics 232 (2019) 294-300<sup>[4]</sup>

นอกจากนี้แล้ว การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบยังมีความน่าสนใจในลักษณะของการออกแบบเพื่อความสวยงาม ยกตัวอย่างเช่น วัสดุอุดฟัน โดยทั่วไปนิยมใช้โลหะอมันกัม ซึ่งเป็นโลหะผสมและมีสมบัติเหมือนเนื้อฟัน เข้ากันได้กับเนื้อฟัน และมีราคาถูก จึงได้รับความนิยมในการนำมาเป็นวัสดุอุดฟัน แต่วัสดุดังกล่าว ไม่มีความสวยงาม แม้ว่าจะมีความแข็งแรงและราคาถูก จึงไม่ได้รับความนิยมเท่าไรนัก อย่างไรก็ตาม เมื่อศึกษาถึงสมบัติทางโครงสร้างของฟันอย่างละเอียดพบว่าโครงสร้างของฟัน จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบไฮดรอกซีอะพาไทต์ หรือวัสดุเชิงซ้อนที่มีธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ และมีความคล้ายคลึงกับโครงสร้างของกระดูกมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในบางประเภท ดังนั้นการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบที่มีความเกี่ยวข้องกับสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการประยุกต์ใช้งานด้านทันตกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวัสดุเชิงประกอบที่สามารถนำมาออกแบบให้มีสมบัติเหมือนฟัน หรือสารอุดฟัน ซึ่งมีสีเหมือนกับฟันจริงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และทำให้มีการประยุกต์ใช้งานได้เหมือนจริง เพิ่มความสวยงาม และมีความเข้ากันได้กับฟันจริง ในส่วนของงานวิจัย ได้มีการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งเตรียมสารตั้งต้นจากแหล่งของธาตุแคลเซียมในธรรมชาติในรูปแบบต่างๆ จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเชิงประกอบอีกด้วย

ภาพที่ 1.4 แสดงบทบาทของการประยุกต์ใช้งานวัสดุเชิงประกอบด้วยการเติมเรซินลงไปตามรอยแยกของเนื้อฟัน เพื่อให้เกิดการเชื่อมติดกันระหว่างเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 1.4 บทบาทของการประยุกต์ใช้งานวัสดุเชิงประกอบด้วยการเติมเรซินลงไปตามรอยแยกของเนื้อฟัน เพื่อให้เกิดการเชื่อมติดกันระหว่างเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 1.5 ระบบและการจัดการของปัญหา electronic waste

## 6. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

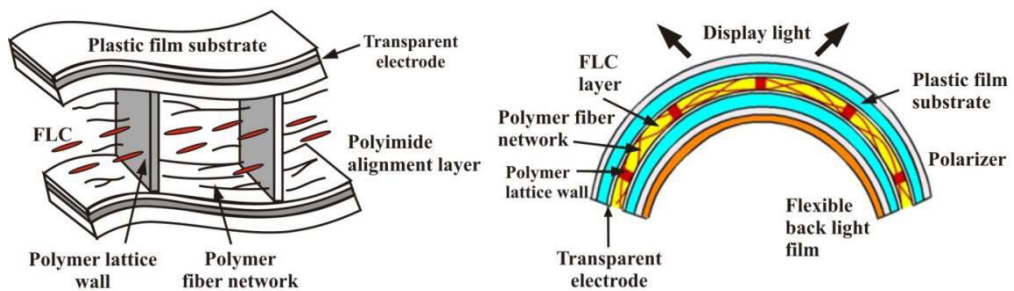
อีกหนึ่งเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์นั้นคือเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีการประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย และสามารถตอบสนองต่อความสะดวกสบาย และส่งผลต่อการดำรงชีพของประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบัน การประยุกต์ใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภท เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทเปล่งแสง เซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ตัวเก็บประจุ วัสดุที่สามารถกักเก็บพลังงาน วัสดุที่เกี่ยวข้องกับระบบสื่อสารและโทรคมนาคม ในทางปฏิบัติ วัสดุที่มีการประยุกต์ใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์ จะเกิดความเสียหายและหมดอายุการใช้งานอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการนำไปใช้งานลดลง และในขณะเดียวกัน จะเกิดปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ (electronic waste) ที่กำจัดยาก และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หากมีการปล่อยสารตกค้างจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ ภาพที่ 1.5 แสดงระบบและการจัดการของปัญหา electronic waste

ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบสำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ จึงได้รับความน่าสนใจมากขึ้น โดยมีเป้าหมายหลักคือการทดแทนการใช้งานของวัสดุแบบเดิมที่ย่อยสลายได้ยาก ในขณะที่อายุการใช้นั้นสั้น วัสดุเชิงประกอบที่สามารถเตรียมได้จากทรัพยากรทางธรรมชาติจึงได้รับความสนใจในการนำมาพัฒนา ยกตัวอย่างเช่น การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบสำหรับการทดแทนกระดูกใส สำหรับวงการอิเล็กทรอนิกส์มักนิยมใช้กระดูก ที่มีความใสและความเรียบมาเป็นแผ่นซับสเตรท สำหรับการผลิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งแผ่นกระดูกดังกล่าว มีความเรียบสูง จึงเหมาะสมนำมาใช้งาน แต่กระดูกนั้นก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความเปราะ ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางประเภทที่มีขนาดเล็กและมีการเคลื่อนย้ายบ่อยๆ อาจเกิดอุปสรรคในระหว่างการใช้งานได้ ดังนั้นแนวโน้มของการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติที่ยืดหยุ่น จึงเป็นทางเลือกใหม่ของการแก้ปัญหาในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

บทบาทของวัสดุที่มีสมบัติที่ยืดหยุ่นสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อาจจะเรียกว่าflexible electronic ซึ่งส่งผลให้การประยุกต์ใช้งานในบางประเภทที่ต้องการสมบัติในการยืดหยุ่น และทนทานของวัสดุนั้นได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม แม้คำว่ายืดหยุ่นจะค่อนข้างเป็นที่รู้จักในลักษณะของสมบัติทั่วไปของพอลิเมอร์ แต่ไม่ได้หมายความว่าพอลิเมอร์ทุกประเภทจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ ในทางปฏิบัติ เราจะต้องคำนึงถึงสมบัติทางความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาในระหว่างที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังดำเนินงานด้วย ดังนั้นวัสดุดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบเพื่อให้ทนทานต่อการขยายตัวทางความร้อนที่ต่ำและไม่เสื่อมสลายเมื่อได้รับความร้อนสูงๆ เช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ สำหรับพอลิเมอร์แล้ว ยังมีความสามารถในการทนทานต่อแรงดึงได้ต่ำ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีอายุการใช้งานต่ำเช่นกัน

แนวคิดในการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบนั้น ได้รับความสนใจในการพัฒนา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทนทานต่อแรงดึงได้สูง และความสามารถในการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเช่นเดียวกัน จึงทำให้การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบได้รับความน่าสนใจสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ภาพที่ 1.6 แสดงบทบาทของวัสดุเชิงประกอบสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์<sup>[5]</sup>



ภาพที่ 1.6 บทบาทของวัสดุเชิงประกอบสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

## 7. โครงสร้างของเครื่องบินหรือเรือขนาดใหญ่

การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบยังได้รับความสนใจสำหรับการคมนาคมทางอากาศหรือการออกแบบเรือขนาดใหญ่ที่ต้องการสมบัติในด้านของความแข็งแรงของโครงสร้างเป็นสำคัญในอดีต วัสดุที่จัดว่าเป็นโครงสร้างสำคัญสำหรับการคมนาคม มักเน้นถึงสมบัติทางด้านความแข็งแรง ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุไปตามอากาศหรือตามสิ่งแวดล้อม เช่น เครื่องบินขนาดใหญ่ จะต้องทำจากวัสดุที่มีความแข็งแรง สามารถทนทานต่อสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี เช่น สภาพอากาศที่หนาวจัด อากาศที่ร้อนชื้น สภาวะฝนตกหนัก ส่วนเรือขนาดใหญ่ยังต้องการความทนทานต่อคลื่นลมในทะเลได้ การกัดกร่อนของวัสดุเมื่อมีการประยุกต์ใช้งานในสภาพบรรยากาศของทะเลที่มีระดับของปริมาณความเข้มข้นของเกลือสูง จึงเข้ามาเป็นปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาเลือกวัสดุที่มีสมบัติที่เหมาะสม

โดยทั่วไปแล้ว โลหะได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นวัสดุสำหรับการทำโครงสร้างของเครื่องบินหรือเรือขนาดใหญ่ การประยุกต์ใช้โลหะสำหรับเครื่องบินและเรือขนาดใหญ่ มักมีน้ำหนักมากและส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายอย่างมาก ค่าใช้จ่ายสูง และเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงส่งผลให้ค่าโดยสารเพิ่มสูงขึ้น ในทางปฏิบัติ การออกแบบโลหะทำการขึ้นรูปได้ยาก โดยเฉพาะบริเวณปีกเครื่องบิน ซึ่งจะต้องออกแบบให้มีความสามารถในการผ่านของลมได้อย่างเหมาะสมซึ่งจะทำให้เครื่องบินเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น จึงเป็นข้อจำกัดบางประการของการเลือกใช้โลหะมาออกแบบเป็นชิ้นส่วนของอุปกรณ์ดังกล่าว ในมุมมองของการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบที่สามารถนำมาออกแบบเพื่อให้มีสมบัติด้านความแข็งแรงที่ดี มีน้ำหนักเบา และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้ จึงทำให้วัสดุเชิงประกอบนั้นได้รับความสนใจในการประยุกต์ใช้งานเป็นเครื่องบินหรือเรือขนาดใหญ่ มีการออกแบบเพื่อให้น้ำหนักเบา และมีการขึ้นรูปง่าย มีราคาและต้นทุนในกระบวนการผลิตที่ถูกลงและไม่ซับซ้อน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการพัฒนางานวิจัยด้านการคมนาคมทางอากาศ ด้วยการเลือกใช้วัสดุเชิงประกอบ