

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุสำหรับใช้ในงานวิจัย ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งมีความสำคัญเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยและเป็นประโยชน์สำหรับการวิจัย

2.1. แป้งมันสำปะหลัง

แป้งเป็นสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) มีอยู่ในพืชแทบทุกชนิด ซึ่งพืชสังเคราะห์และเก็บไว้ในส่วนต่างๆ ที่บริเวณราก เมล็ด และผลของพืชในรูปเม็ดแป้ง แป้งมีความหนาแน่นประมาณ 1.5 กรัม/ลบ.ซม. เม็ดแป้งส่วนใหญ่มีรูปร่างกลมหรือเป็นแท่ง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-1,000 ไมโครเมตร

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรโมเลกุลเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต หน่วยกลูโคสในสายโซ่สามารถแสดงได้เป็นหน่วยของกลูโคสที่ปราศจากน้ำ (anhydroglucose unit) น้ำในโมเลกุลของกลูโคสนั้นหายไปขณะที่มีการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบขั้น (step polymerization) พันธะที่เชื่อมต่อกันระหว่างกลูโคสแต่ละหน่วยในโมเลกุลของแป้ง เรียกว่า พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ซึ่งพันธะนี้สามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยกรด

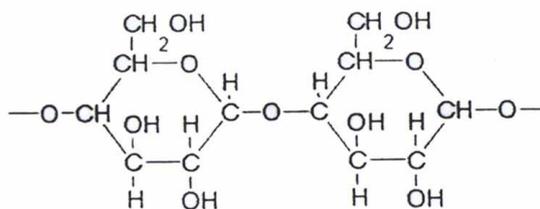
แป้งมันสำปะหลัง (cassava starch) คือ แป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง ประกอบด้วยเม็ดแป้ง 2-8 เม็ด รวมตัวกัน แต่ละเม็ดมีความยาว 5-35 ไมครอน เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นรูปไข่ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออกและผิวตรงส่วนที่ตัดออกมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมนด้านหนึ่งโค้ง อีกด้านแบนไม่สม่ำเสมอ เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอยบุ๋มอย่างชัดเจน และบางครั้งอาจเห็นชั้นของแป้งโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังประกอบด้วยอะไมโลส 18% และอะไมโลเพกติน 82% น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน มีค่าประมาณ 2.10×10^5 และ 3.0×10^6 ตามลำดับ

2.1.2 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง

แป้งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ

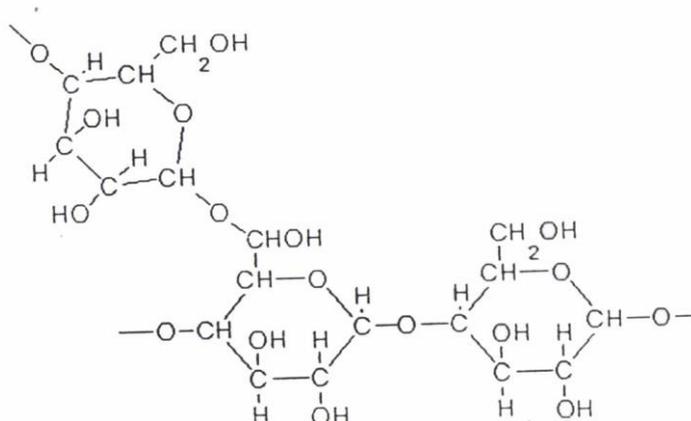
อะไมโลส (amylose) : เป็นพอลิแซ็กคาไรด์แบบโซ่ตรง ประกอบด้วยกลูโคสที่เชื่อมกันที่ตำแหน่ง α 1,4-glucosidic linkage ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เนื่องจากอะไมโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีสมบัติชอบน้ำหรือไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ดังนั้น อะไมโลส สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ดี การจัดเรียงโมเลกุลเป็นระเบียบและไม่ค่อยทำปฏิกิริยากับสารอื่น เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้งจนเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ โมเลกุลของอะไมโลสจะละลายออกจากเม็ดแป้ง และเมื่อเย็นลงโมเลกุลของอะไมโลสจะรวมตัวกัน กรณีที่สารละลายแป้งมีความเข้มข้นของ

แป้งต่ำ อะไมโลส จะตกตะกอน (precipitation) แต่ถ้าความเข้มข้นของแป้งสูงโมเลกุลของอะไมโลส จะรวมตัวกันทำให้เกิดเจล (gelation) เมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ในแป้งมีอะไมโลส ประมาณ 20-25%



รูปที่ 2.1 โครงสร้างอะไมโลส

อะไมโลเพกติน (amylopectin) : เป็นพอลิแซ็กคาไรด์แบบโซ่กิ่ง ประกอบด้วยกลูโคสที่เชื่อมกันที่ตำแหน่ง α 1,4-glycosidic linkage ส่วนบริเวณรอยต่อระหว่างสายโซ่หลักกับกิ่งก้านจะต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ α 1,6-glycosidic linkage ดังแสดงในรูปที่ 2.4 อะไมโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าอะไมโลส ประมาณ 1,000 เท่า มีการจัดเรียงโมเลกุลไม่เป็นระเบียบ และว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับสารอื่น เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้งที่มีอะไมโลเพกตินสูง แป้งสุกมีลักษณะใส เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพกตินมีลักษณะใหญ่และมีกิ่งก้านมาก ทำให้การจับกันของโมเลกุล อะไมโลเพกตินมีโอกาสน้อย โดยทั่วไปอะไมโลเพกตินจะไม่ละลายน้ำ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 1,000,000 เมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีม่วงแดง ในแป้งมีอะไมโลเพกติน ประมาณ 75-80%



รูปที่ 2.2 โครงสร้างอะไมโลเพกติน

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะและสมบัติของอะไมโลส และอะไมโลเพกติน

อะไมโลส	อะไมโลเพกติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสต่อกันเป็นเส้นตรง ประกอบด้วยกลูโคส 200–1,200 หน่วย	1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสต่อกันและมีกิ่งก้านสาขาแต่ละกิ่งมีกลูโคส 20–25 หน่วย
2. ละลายน้ำได้ดี	2. ละลายน้ำได้น้อย
3. เมื่อต้มในน้ำจะข้นหนืดน้อยและขุ่น	3. เมื่อต้มในน้ำจะข้นหนืดมากและใส
4. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	4. ให้สีม่วงแดงกับสารละลายไอโอดีน
5. ต้มแล้วทิ้งไว้จับตัวเป็นก้อน	5. ต้มแล้วทิ้งไว้ไม่จับตัวเป็นก้อน
6. จัดเรียงตัวเป็นผลึก	6. จัดเรียงตัวเป็นอสัณฐาน

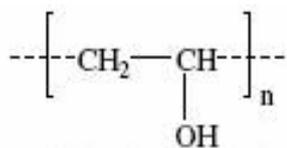
2.1.3 สมบัติของแป้ง

สมบัติโดยทั่วไปของแป้ง คือ ไม่ละลายในน้ำเย็น แต่ดูดน้ำไว้ 25-30% การจัดเรียงโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินในแป้งจะมีทั้งส่วนเป็นระเบียบ และส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการจัดเรียงโมเลกุลในส่วนที่เป็นระเบียบคลายความหนาแน่นลง เป็นผลให้โมเลกุลของแป้งสามารถรับน้ำได้มากขึ้น แป้งจะพองตัวมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งสูงกว่าจุดพองตัวของแป้ง แป้งจะแตกตัว ทำให้ละลายน้ำได้

สมบัติที่สำคัญมากที่สุดของแป้ง คือ การเกิดความหนืดเมื่อรวมตัวกับน้ำ ซึ่งเป็นผลจากการเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) ในแป้ง กล่าวคือ น้ำสามารถเข้าไปในโมเลกุลของแป้งในส่วนที่มีการจัดเรียงตัวไม่มีระเบียบ ถ้าให้ความร้อนกับแป้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส แป้งจะเกิดการพองตัว อุณหภูมิช่วงนี้เรียกว่า อุณหภูมิเจลาตินในเซชัน (gelatinization temperature) ที่อุณหภูมินี้โมเลกุลของแป้งในส่วนที่เป็นระเบียบจะคลายตัวลง เกิดการดูดน้ำได้เป็นสารละลายแป้งที่มีความหนืดและใสขึ้น ความหนืดของแป้งเป็นผลมาจากการมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ ซึ่งทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้ง ทำให้สารละลายแป้งมีความหนืด

2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

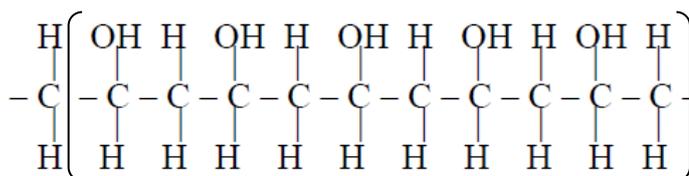
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีหน่วยซ้ำเป็นไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำและย่อยสลายทางชีวภาพ แต่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยเทคโนโลยีการอัดรีดแบบปกติ เพราะอุณหภูมิการเสียดสภาพใกล้เคียง 230 องศาเซลเซียส และแม้ว่าบางเกรดที่มีจากการไฮโดรลิซิสบางส่วนก็อาจเปลี่ยนสภาพได้ระหว่างการหลอมเหลวในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิ 180-190 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.3 โครงสร้างหน่วยซ้ำของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่มีหน่วยซ้ำเป็นไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นโดยอาศัยปฏิกิริยาของพอลิเมอร์ โดยใช้สารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์คือพอลิไวนิลอะซิเตต เนื่องจากไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นสารที่ไม่เสถียรสามารถเปลี่ยนไปเป็นอะซิทิลไฮไดรด์ได้ ดังนั้นการสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์จึงเตรียมได้จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ิซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต โดยใช้เบสในปริมาณเล็กน้อยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีโครงสร้างการเชื่อมต่อมอนอเมอร์แบบหัวต่อหาง แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

สมบัติทางกายภาพของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแอลกอฮอล์ิซิส พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ -OH จำนวน 100 % มีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าและสามารถทนต่อแรงฉีกขาดได้ดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ -OH ไม่ถึง 100 % เนื่องจากมีความเป็นผลึกสูงกว่าและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลมากกว่า นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพยังขึ้นกับความชื้นของสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เพราะน้ำทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์สำหรับพอลิเมอร์นี้ ตัวอย่างเช่นเมื่ออากาศมีความชื้น 50% ค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์นี้จะลดต่ำลง แต่ความสามารถในการยืดตัวออกจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นต่ำ

สมบัติพิเศษอย่างหนึ่งของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือสามารถละลายน้ำได้ โดยละลายอย่างช้าๆ ในน้ำเย็นแต่จะละลายเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และทั่วไปจะสามารถละลายได้หมดที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 °C ความสามารถในการละลายน้ำของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหมู่ -OH ในโมเลกุลเช่นกัน โดยที่จะสามารถละลายน้ำได้ดีที่สุดเมื่อมีหมู่ -OH ปริมาณ 88% ในโมเลกุล แต่ถ้ามีร้อยละของหมู่ -OH สูงกว่านี้ ความสามารถในการละลายจะลดลงตามลำดับ เพราะพันธะไฮโดรเจนมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น (ชัยวัฒน์, 2527)

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษคือ สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพ นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำได้ ซึ่งจะถูกนำไปใช้งานเฉพาะทาง ผลิตภัณฑ์หลายประเภทที่สามารถบรรจุในฟิล์มที่ละลายน้ำได้ ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (มาลินี, 2551)

2.3 แร่ดินเหนียว (Clay minerals)

แร่ดินเหนียวเกิดจากการผุพังของหิน โดยมีขนาดอนุภาคระดับไมครอน มีธาตุอะลูมิเนียม (Al), ซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) เป็นองค์ประกอบหลัก โครงสร้างของแร่ดินเหนียว หรือสารประกอบแอนไฮดรัสอะลูมิโนซิลิเกต (anhydrous aluminosilicate) มีลักษณะเป็นแผ่น เกิดจากการเรียงซ้อนกันของชั้นอะลูมินา (alumina) และซิลิกา (silica) โดยระหว่างชั้นมีไอออนบวกของโลหะ เช่น โซเดียม (Na), แคลเซียม (Ca), โพแทสเซียม (K), แมกนีเซียม (Mg) หรือเหล็ก (Fe) เป็นต้น แทรกอยู่ จากการมีโครงสร้างและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถจำแนกแร่ดินเหนียวออกได้เป็น 5 ประเภท คือ

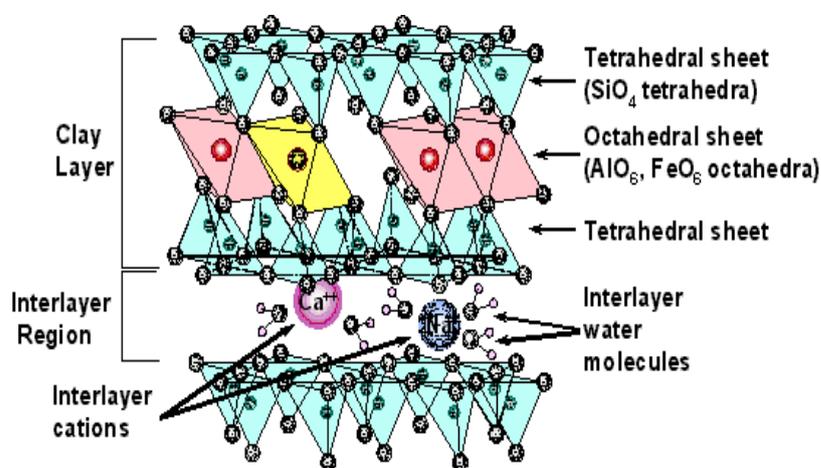
1. **Kaolinite** มีสูตรเคมีทั่วไป คือ $2Al_2Si_2O_5(OH)_4$ และมีโครงสร้างแบบแผ่นชนิด 1:1 ประกอบด้วยชั้นของซิลิกาเรียงสลับกับชั้นของอะลูมินา
2. **Illite** เป็นแร่ดินชนิด 2:1 ในหน่วยโครงสร้างมีชั้นซิลิกา 2 ชั้น ประกบชั้นอะลูมินาและในแต่ละหน่วยมีไอออนของโพแทสเซียมแทรกอยู่ ทำให้ดินในกลุ่มนี้ไม่สามารถพองตัวในน้ำได้
3. **Smectite** โครงสร้างเป็นชนิด 2:1 เหมือนกลุ่มอิลไลต์ แต่ในชั้นโครงสร้างมีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ และไอออนบวกที่พบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และโซเดียม แร่กลุ่มนี้มีความสามารถในการพองตัวในน้ำได้ดี
4. **Vermiculite** มีโครงสร้างเหมือน smectite แต่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่า เมื่อเผาแล้วอนุภาคมีลักษณะคล้ายตัวหนอน
5. **Palygorskite** มีโครงสร้างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่

แร่ดินเหนียวที่นิยมนำมาใช้งานส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม kaolinite และกลุ่ม smectite โดยกลุ่ม kaolinite นิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น กระเบื้อง ถ้วยชาม และเครื่องสุขภัณฑ์ เป็นต้น สำหรับกลุ่ม smectite ที่รู้จักดี ได้แก่ เบนโทไนต์ (bentonite) ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมสี หมึกพิมพ์ กระดาษ หรือใช้เป็นโคลนขุดเจาะ (drilling mud) และเป็นสารหล่อลื่น เป็นต้น ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์พยายามพัฒนาสมบัติแร่ดินเหนียวกลุ่มนี้เพื่อเพิ่มประโยชน์การใช้งานให้หลากหลายและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของดินให้ชอบสารอินทรีย์ หรือที่เรียกว่า organophillic clay ซึ่งสามารถนำไปใช้ในระบบที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ใช้เป็นสารปรับความหนืดในสี หมึกพิมพ์ และจาระบี เป็นต้น

แร่ดินเหนียวที่นำไปสู่นาโนเทคโนโลยี (nanotechnology) และนาโนคอมโพสิต (nanocomposites) เป็นแร่ที่มีจุดเด่น คือ มีโครงสร้างผลึกแผ่นเป็นแผ่นหรือชั้นเรียงซ้อนกัน ทำให้มีความยืดหยุ่นและมีความเป็นขั้วที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ

2.3.1 มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite)

มอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่กลุ่มอะลูมิโนซิลิเกตที่กำลังได้รับความนิยมในการนำมาใช้เตรียมพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต โดยมีสูตรโครงสร้างเคมีทั่วไป คือ $M_x(Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_{20}(OH)_4$ ซึ่งโครงสร้างมีลักษณะเป็นชั้นหรือเป็นแผ่นซ้อนกันแบบ 2:1 กล่าวคือ ประกอบด้วยชั้นของซิลิกา 2 ชั้น และมีชั้นของอะลูมินา 1 ชั้น แทรกอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยแต่ละชั้นมีความบางมาก มีความหนาประมาณ 0.7-1.0 นาโนเมตร แต่มีความยาวประมาณ 1,000 เท่า ทำให้มีค่า aspect ratio สูง จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุพอลิเมอร์ ช่องว่างระหว่างชั้น เรียกว่า gallery พื้นผิวของชั้นอะลูมิโนซิลิเกตมีประจุลบ จึงยึดเกาะกันด้วยประจุบวกของโลหะไอออน เช่น โซเดียม แมกนีเซียม และแคลเซียม เป็นต้น



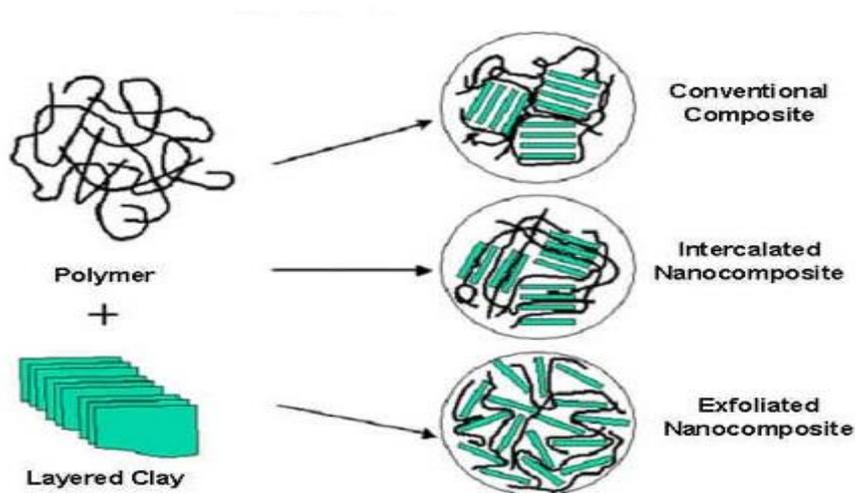
รูปที่ 2.5 โครงสร้างผลึกของมอนต์มอริลโลไนต์

2.4 นาโนคอมพอสิต (Nanocomposites)

นาโนคอมพอสิตเป็นศาสตร์แขนงใหม่ที่ช่วยพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของคอมพอสิตแบบทั่วไป ทั้งในด้านความแข็งแรง เสถียรภาพทางความร้อน สมบัติทางแสง ความทนทานต่อสารเคมี สมบัติการสกัดกั้น (barrier properties) และความสามารถในการติดไฟ เป็นต้น นาโนคอมพอสิตที่ได้รับความสนใจและพัฒนาอย่างหลากหลายในปัจจุบัน ได้แก่ พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต

พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิต เป็นวัสดุที่ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์โดยการเติมสารที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร ให้กระจายตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ ซึ่งสารดังกล่าวทำหน้าที่เสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ เพราะจะเพิ่มพื้นที่ผิวยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์และสารเสริมแรงให้มากยิ่งขึ้น

พอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตได้พัฒนาสำเร็จสู่การค้าเป็นครั้งแรกโดย Toyota Central R&D โดยใช้ caprolactam (nylon-clay nanocomposite) เนื่องจากเมื่อได้ผสมพอลิเมอร์กับ organoclay แล้วทำให้ชั้นซิลิเกตขยายห่างออกจากกัน จึงเรียกว่า พอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต (polymer-clay nanocomposites) ซึ่งการกระจายตัวของเคลย์ในเนื้อพอลิเมอร์แบ่งเป็น 3 ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การกระจายตัวของเคลย์ในพอลิเมอร์

จากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์-เคลย์ สามารถเกิดเป็นวัสดุคอมพอสิตได้ 3 แบบ ดังนี้

1. คอมพอสิตแบบทั่วไป (conventional composites) : อนุภาคของเคลย์จะเกาะกันเป็นกลุ่ม พอลิเมอร์ไม่มีการแทรกเข้าไปในระหว่างชั้นของเคลย์

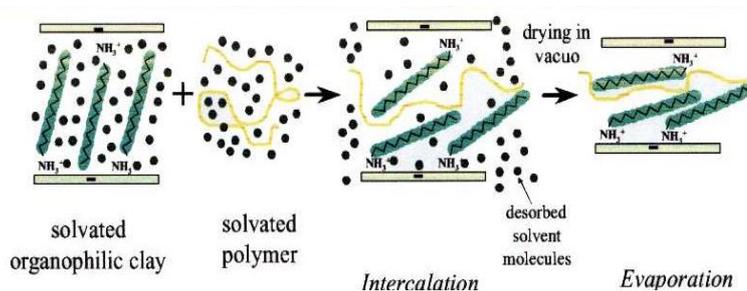
2. อินเทอร์คาลาเต นาโนคอมพอสิต (Intercalated nanocomposites) : เคลย์จะเกาะกันเป็นกลุ่มแต่ระหว่างชั้นของเคลย์มีการขยายตัวโดยที่สายโซ่พอลิเมอร์จะแทรกเข้าไปอยู่ในระหว่างชั้นของเคลย์

3. เอกซ์ฟอลิเอต นาโนคอมพอสิต (Exfoliated nanocomposites): ชั้นของเคลย์จะกระจายออกจากกัน โดยไม่มีโครงสร้างผลึกในแนวแกน C ทำให้ได้นาโนคอมพอสิตที่ไม่เปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสง และมีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ดี

2.5 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต

การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิตในปัจจุบันมี 3 วิธี คือ

1. อินเทอร์คาเลตแบบสารละลาย (Solution intercalation) : โดยสารละลาย-พอลิเมอร์แทรกเข้าไปอยู่ระหว่างชั้นในโครงสร้างของเคลย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

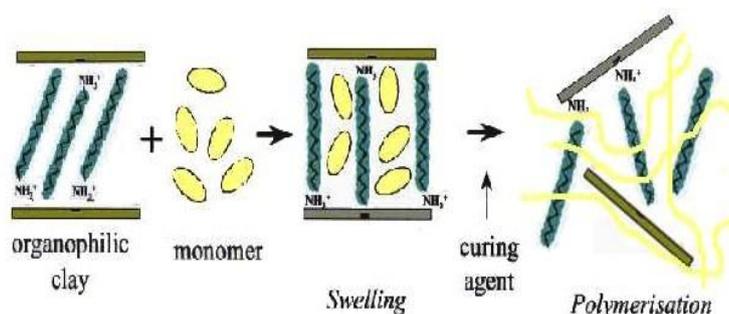


รูปที่

2.7 การ

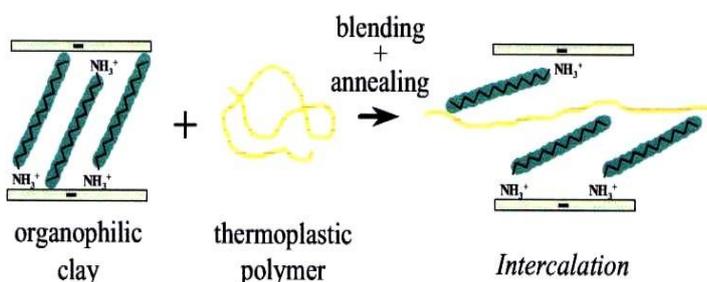
เตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธีอินเทอร์คาเลตแบบสารละลาย

2. เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันภายในโครงสร้างเคลย์ (In situ polymerization) : โดยการแทรกมอนอเมอร์เข้าไประหว่างชั้นในโครงสร้างของเคลย์ แล้วจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธีเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันภายในโครงสร้างเคลย์

3. อินเทอร์คาเลตโดยการหลอมเหลวพอลิเมอร์ (Melt intercalation) : โดยการทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวแทรกเข้าไประหว่างชั้นในโครงสร้างของเคลย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การเตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตโดยวิธีอินเทอร์คาเลตโดยการหลอมเหลวพอลิเมอร์

2.6 ลักษณะสำคัญของพอลิเมอร์-เคลย์นาโนคอมพอสิต

1. มีความใส เพราะอนุภาคขนาดนาโนเมตรจะเล็กกว่าความยาวคลื่นแสง UV-Vis มาก จึงไม่ทำให้แสงเกิดการกระเจิง ไม่เกิดความขุ่น ไม่ทึบแสง แต่จะโปร่งใส
2. มีความแข็งแรง โมดูลัสสูงขึ้น เนื่องจากความแข็งของชั้นซิลิเกต
3. มีสมบัติสกัดกั้นการซึมผ่านของแก๊ส เนื่องจากอนุภาคเคลย์ที่กระจายอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์มีพื้นที่ผิวและมีอัตราส่วนความยาวต่อพื้นที่หน้าตัด (aspect ratio) สูง ทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของแก๊สเพิ่มมากขึ้น
4. ทนความร้อนสูงได้ดี เพราะซิลิเกตเป็นฉนวนที่ดี การเผาไหม้ทำให้เกิดถ่าน (char) ปกคลุมที่ผิวหน้า จึงไม่ลามไฟ และไฟดับรวดเร็ว
5. เมื่อผสมในพอลิเมอร์ที่นำไฟฟ้าได้ จะทำให้นำไฟฟ้าหรือนำอิเล็กทรอนิกส์ได้ดีขึ้น เพราะจำกัดการจัดตัวของโมเลกุลให้อยู่ในภาวะที่เอื้อต่อการนำไฟฟ้า เช่น สายโซ่โมเลกุลจะถูกยึดออกมากกว่าจะขดตัวทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสะดวกขึ้น

2.7 การย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น เซลลูโลส แป้ง และโปรตีน เป็นพอลิเมอร์ที่สิ่งมีชีวิตเช่นจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ แต่พอลิเมอร์สังเคราะห์ส่วนใหญ่ไม่ถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ เนื่องจากสารสังเคราะห์เหล่านี้เพิ่งเกิดขึ้นมาไม่นานมานี้ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ยังไม่นานพอที่สิ่งมีชีวิตจะเกิดวิวัฒนาการเพื่อให้มีความสามารถในการย่อยสลายได้ ดังนั้น การเพิ่มความสามารถของการถูกย่อยสลายให้มากขึ้นที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่

1. การใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติ (natural polymer) แทนพลาสติกสังเคราะห์ เนื่องจากสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น การใช้เซลโลเฟน (cellophane) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากเซลลูโลสแทนพอลิเอทิลีนในการห่อสิ่งของ แต่เซลโลเฟนยังขาดสมบัติบางอย่าง เช่น สมบัติในการกันและเก็บความชื้น ความสามารถเชื่อมให้ติดกันด้วยความร้อน มีความแข็งแรงต่ำ และมีอายุการใช้งานสั้น
2. สังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ๆ ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ซึ่งมีหลายชนิดเช่น acrolein-acrylic acid polymers, polyamidotriazoles, polyphosphazenes พอลิเมอร์เหล่านี้ได้มาจาก amino acid ester และ acrylonitrile copolymer ที่ถูกไฮโดรไลซ์แล้ว
3. การใช้พอลิเมอร์ผสม โดยนำพอลิเมอร์ธรรมชาติผสมกับพลาสติก เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ ซึ่งพอลิเมอร์ธรรมชาติที่นิยมใช้ ได้แก่ แป้ง เซลลูโลส และโปรตีน เป็นต้น โดยการนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์สังเคราะห์เพื่อให้พลาสติกสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ซึ่งเมื่อสารเหล่านี้ถูกจุลินทรีย์ที่มีในธรรมชาติบริโภคไปจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของพอลิเมอร์ ทำให้จุลินทรีย์สามารถแทรกซึมเข้าไปในพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์สังเคราะห์นั่นเอง

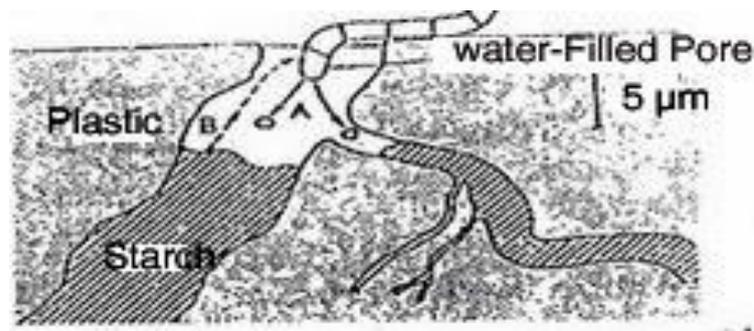
การสลายตัวทางชีวภาพของพอลิเมอร์ เป็นการสลายตัวเนื่องจากสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดกระบวนการนี้ ได้แก่ จุลินทรีย์ โดยเฉพาะแบคทีเรียและเชื้อรา สิ่งมีชีวิตเหล่านี้

มีความสามารถในการย่อยสลายสารได้หลายประเภท และสามารถปรับความสามารถนี้ได้มาก เพราะสามารถผลิตเอนไซม์ย่อยสารได้หลายชนิด ขณะเดียวกันก็เกิดมีจุลินทรีย์ชนิดใหม่ๆ ขึ้นมาเรื่อยๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการผ่าเหล่า และกระบวนการคัดเลือกโดยธรรมชาติ อัตราการย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก จุลินทรีย์ที่เหมาะสมต้องมีปริมาณอยู่พอเพียง และควรมีมากกว่า 1 ชนิด การที่จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สภาพแวดล้อมต้องมีอุณหภูมิและระดับความชื้นที่พอเหมาะสม มีออกซิเจนและสารอาหารพอเพียง ถึงแม้ว่าจุลินทรีย์สามารถใช้พอลิเมอร์ที่เป็นแหล่งของธาตุคาร์บอน แต่ก็จำเป็นต้องหาธาตุอื่นมาใช้ด้วย เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และโลหะอื่นๆ ส่วนใหญ่ธาตุเหล่านี้มักไม่มีอยู่ในพอลิเมอร์สังเคราะห์ จึงจำเป็นต้องหาจากสภาพแวดล้อม

การย่อยสลายพอลิเมอร์โดยจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์ปล่อยเอนไซม์ออกมาออกเซลล์และเอนไซม์เหล่านี้จะผ่านไปถึงพอลิเมอร์ได้ทางตัวกลางที่เป็นน้ำ เอนไซม์ดังกล่าวจะย่อยสลายโมเลกุลของพอลิเมอร์ไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กพอที่จะเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ เพื่อทำการย่อยให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กต่อไปอีก จากขั้นตอนของการย่อยสลายข้างต้น จะพบว่าพอลิเมอร์ส่วนใหญ่มีสมบัติที่ยากต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เพราะไม่เปื่อยกน้ำ ไม่ยอมให้น้ำผ่านเข้าออก และไม่เปื่อยรุปรุน จึงทำให้โอกาสที่เอนไซม์เข้าย่อยสลายน้อยลง ดังนั้น การย่อยสลายพอลิเมอร์ประเภทนี้จึงต้องเริ่มที่ผิวด้านนอกก่อน ซึ่งการแบ่งพอลิเมอร์ออกเป็นชั้นเล็กๆ จะช่วยให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น

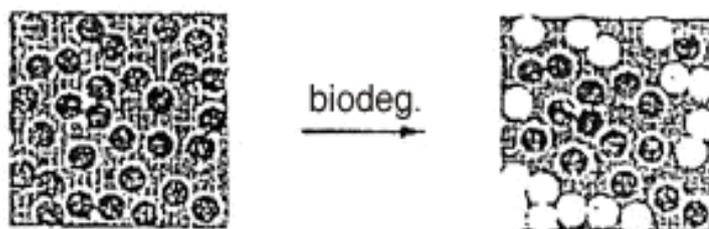
พอลิเมอร์สังเคราะห์ส่วนใหญ่ไม่ถูกย่อยสลายโดยสิ่งมีชีวิต ยกเว้นพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ในสายโซ่โมเลกุล เช่น อะลิฟาติก พอลิเอสเทอร์ (aliphatic polyesters) และพอลิยูรีเทน (polyurethanes) เป็นต้น นอกจากนี้ พอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้รับการปรับเปลี่ยนแล้ว เช่น เรยอน (rayon) เซลลูโลส แอซิเตต (cellulose acetate) เซลลูโลสไนเตรต (cellulose nitrate) และไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (hydroxypropyl cellulose) เป็นต้น จะถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้

การย่อยสลายทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่เป็นผลจากการที่วัสดุถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ที่เรียกว่า microbial degradation โดยจุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์หลากหลายชนิดที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ธรรมชาติและพอลิเมอร์สังเคราะห์ การทำลายพอลิเมอร์ด้วยเอนไซม์จัดเป็นกระบวนการทางเคมี ซึ่งถูกเหนี่ยวนำด้วยจุลินทรีย์เพื่อให้ได้อาหาร เนื่องจาก พอลิเมอร์เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ ซึ่งพอลิเมอร์ธรรมชาติที่นิยมนำมาผสมกับพลาสติก คือ แป้ง โดยแป้งจะแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างของพลาสติก ซึ่งกลไกการย่อยสลายตัวของพลาสติก ในขั้นแรกจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์อะไมเลส (amylase) เข้าย่อยสลายแป้งในพลาสติกผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำ ทำให้แป้งมีโมเลกุลเล็กจนสามารถเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ได้ ดังแสดงใน รูปที่ 2.10 และ 2.11



(A คือ การแพร่ของอะไมเลสไปยังแป้ง, B คือ การแพร่ของแป้งที่ถูกย่อยไปยังจุลินทรีย์)

รูปที่ 2.10 กลไกการย่อยสลายแป้งในพลาสติกโดยจุลินทรีย์



รูปที่ 2.11 การหายไปของเม็ดแป้งในพลาสติก

เมื่อเม็ดแป้งหายไปจากเนื้อของพลาสติกทำให้พลาสติกนิ่มลงและมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ต่อจากนั้น โลหะและน้ำที่อยู่ในดินจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (auto-oxidation) ได้สารเปอร์ออกไซด์ ซึ่งอัตราการย่อยสลาย ขึ้นกับสภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน ความเป็นกรด-ด่าง และชนิดของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน รวมถึงความหนาของพลาสติกด้วย

ความสามารถของการย่อยสลายจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของการย่อยสลายกับน้ำหนักโมเลกุล มีสิ่งที่ควรกล่าวถึง 2 ประการ ประการแรก คือ ถ้านำพอลิเมอร์มาทำการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาเคมี (เป็นการลดน้ำหนักโมเลกุล) จะเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายขึ้น ประการที่สอง ถ้าพอลิเมอร์มีช่วงการกระจายตัวของน้ำหนักกว้าง อัตราเร็วของการย่อยสลายจะลดลง เมื่อโมเลกุลขนาดเล็กถูกย่อยสลายไปแล้ว

2.8 แนวทางการผลิตพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาแนวทางการผลิตพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ 3 แนวทาง คือ

1. พัฒนาวิธีการในการปรับปรุงพอลิเมอร์ธรรมชาติซึ่งสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ให้มีสมบัติขึ้นเหมาะกับการใช้งาน

2. เตรียมพอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่ย่อยสลายได้ โดยสิ่งมีชีวิต โดยพอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่สังเคราะห์ขึ้นมาและถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายมีหลายชนิด เช่น acrolien-arylic acid polymer, polyamidotriazoles, polyphosphazenes พอลิเมอร์เหล่านี้ได้มาจาก amino acid esters และ acrylonitrile copolymer ที่ถูกไฮโดรไลซ์แล้ว

3. ใช้สารที่สิ่งมีชีวิตย่อยสลายได้เติมเข้าไปในพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลายไม่ได้เป็นการเติมสารเติมแต่งที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (biodegrading additive) ลงไปในพลาสติกสังเคราะห์

ซึ่งการเพิ่มสารที่ถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์เข้าไปในพลาสติก อาจทำโดยใช้พอลิเมอร์จากธรรมชาติ เช่น แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีมากในประเทศและมีราคาถูก มาผสมกับวัสดุสังเคราะห์ เพื่อให้เกิดการสลายตัวโดยจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย และเชื้อรา โดยการย่อยสลายจะเกิดจากการที่จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ออกมาในระหว่างการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) เพื่อย่อยสลายอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลของพอลิเมอร์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (ในกรณีของ aerobic) หรือโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ชนิดอื่น (ในกรณีของ anaerobic)

2.9 ปุ๋ยละลายช้า

ปุ๋ยละลายช้า เป็นปุ๋ยเคมีที่บรรจุอยู่ในสารเคลือบพอลิเมอร์ชนิดพิเศษ มีความแตกต่างกับปุ๋ยธรรมดาทั่วไป โดยที่การทำงานของปุ๋ยละลายช้าจะเริ่มขึ้นทันทีที่สัมผัสกับความชื้นในดินหรือเครื่องปลูกที่เปียกชื้น เม็ดปุ๋ยจะเริ่มดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของสารเคลือบซึ่งเป็นรูเล็กมากเข้าไปละลายธาตุอาหารภายในที่มีความเข้มข้นสูง และสารละลายนั้นจะค่อยๆ ซึมผ่านเปลือกของพอลิเมอร์ที่เคลือบไว้ออกมาทีละน้อย อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นเวลานาน พอเหมาะกับความต้องการของพืช ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอและต่อเนื่องตลอดช่วงอายุของพืช โดยการแพร่กระจายไปยังบริเวณรากพืชในปริมาณที่สม่ำเสมอทุกวัน สังเกตได้จากเม็ดปุ๋ยจะเริ่มใสขึ้น จนเมื่อปุ๋ยภายในเม็ดหมด จะเห็นเม็ดปุ๋ยใสที่มีแต่น้ำอยู่ข้างใน หรือเม็ดปุ๋ยนั้นจะแฟบหรือเหี่ยวแห้งไป ส่วนของเปลือกพอลิเมอร์นั้นจะค่อยๆ สลายตัวไปเองตามธรรมชาติ ซึ่งปุ๋ยธรรมดาทั่วไปจะละลายน้ำอย่างรวดเร็วทันทีที่สัมผัสน้ำ และสลายธาตุอาหารออกมาอย่างสูง ใน 2-3 วันแรก แล้วปริมาณปุ๋ยจะลดอย่างรวดเร็วและหมดไปในเวลาอันสั้น ส่วนปุ๋ยละลายช้าใสให้กับต้นพืชเพียงครั้งเดียวก็จะสามารถเก็บธาตุอาหารไว้ภายในเม็ดได้นาน

กระบวนการทำงานของปุ๋ยละลายช้า ในการปลดปล่อยธาตุอาหารจะถูกควบคุมโดยอุณหภูมิของดินแต่เพียงอย่างเดียว นั่นคือถ้าอุณหภูมิในดินสูง อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะเร็ว

ขึ้นและพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืชที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าอุณหภูมิต่ำลง พืชเจริญเติบโตช้า ปุ๋ยละลายช้าก็จะปลดปล่อยธาตุอาหารน้อยลงพอเหมาะต่อความต้องการของพืชเช่นกัน จะต่างจากการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยธรรมดาทั่วไปที่จะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น ชนิดของดิน ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ระดับความชื้น รวมทั้งความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินและ จุลินทรีย์ในดินด้วย นี่คือนิยามเด่นของความแตกต่างระหว่างปุ๋ยธรรมดาทั่วไป และปุ๋ยละลายช้า

ข้อดี ประการแรก สามารถใส่ชิดบริเวณรากพืชได้ เพราะปุ๋ยละลายช้าไม่เป็นอันตรายต่อพืช ไม่ทำให้เกิดอาการรากไหม้ ใบไหม้ และไม่เกิดการชะล้างธาตุอาหาร (เนื้อปุ๋ย) ในขณะที่เราให้น้ำแก่ต้นพืช หรือแม้ในขณะที่มีฝนก็ตาม

ประการที่สอง ปุ๋ยละลายช้าจะปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชอย่างสม่ำเสมอ และสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตของพืช คือ เมื่ออุณหภูมิสูงพืชจะเติบโตเร็ว ก็ปลดปล่อยธาตุอาหารให้เร็วขึ้น

ประการที่สาม ขนาดของเม็ดปุ๋ยสม่ำเสมอ ไม่แตกเป็นผง จึงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องหว่านปุ๋ยได้เป็นอย่างดี

ประการสุดท้าย ไม่เสียเวลาในการใส่ให้กับต้นพืช กล่าวคือ ใส่ปุ๋ยละลายช้าเพียงครั้งเดียว ต้นไม้จะได้รับธาตุอาหารได้ยาวนานถึง 3-6 เดือน ทำให้ประหยัดแรงงานและเวลาในการให้ปุ๋ย

ข้อด้อย มีราคาแพงกว่าปุ๋ยธรรมดามาก และมีสูตรปุ๋ยให้เลือกใช้ไม่มากนัก

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พีรพงศ์ หาญพิชานชัย (2545) ได้ศึกษาการควบคุมการปลดปล่อยของเม็ดปุ๋ยโดยวิธีเคลือบด้วยไคโตซาน ไคโตซานที่มีร้อยละของการกำจัดหมู่อะซิทิล ร้อยละ 79 และร้อยละ 95 จะถูกทำลายในกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์ เพื่อให้ได้สารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ศึกษาผลกระทบจากปริมาณของธาตุอาหารในปุ๋ยต่ออัตราการละลาย สารละลายไคโตซานจะถูกพ่นลงบนเม็ดปุ๋ยภายในถังเคลือบ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ปุ๋ยที่เคลือบด้วยไคโตซานจะนำไปศึกษาการละลายของธาตุอาหารในน้ำกลั่น และวัดปริมาณของธาตุอาหารซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ตามเวลาที่กำหนด จากผลการทดลองพบว่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ที่ปลดปล่อยออกมาจากปุ๋ยที่เคลือบด้วยไคโตซาน มีปริมาณน้อยกว่าปุ๋ยที่ไม่ได้เคลือบ อัตราการปลดปล่อยของธาตุอาหารจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน และค่าร้อยละของการกำจัดหมู่อะซิทิลของไคโตซาน ปุ๋ยที่เคลือบด้วยสารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้นสูง และปุ๋ยที่เคลือบด้วยสารละลายไคโตซานที่มีค่าร้อยละของการลดหมู่อะซิทิลน้อย จะมีอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารช้าลง อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยที่เคลือบด้วยไคโตซานจะขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุอาหารในปุ๋ยเคลือบ

ณัฐนัย จินตกานนท์ (2551) ได้ศึกษาการพัฒนาวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสำหรับปุ๋ยยูเรียด้วยเทคนิคการพ่นและจุ่มเคลือบ ทำการเคลือบสารละลายพอลิเมอร์ฐาน(โค)พอลิแลกติกแอซิด และพอลิเมอร์ผสมลงบนผิวของเม็ดปุ๋ย จากนั้นตรวจสอบคุณลักษณะต่างๆของวัสดุ ร้อยละสาร

เคลือบผิวที่สัมพันธ์กับชนิดของพอลิเมอร์ น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้นและจำนวนครั้งที่ทำการเคลือบ ตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนัก อัตราการปลดปล่อยยูเรียของปุ๋ยที่เคลือบลงในน้ำกลั่น วัดได้โดยการติดตามดัชนีหักเหของแสงของสารละลาย สัมมนาวิทยาของผิวเคลือบพอลิเมอร์แสดงให้เห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เสถียรภาพทางความร้อนและโครงสร้างเคมีของผิวเคลือบตรวจสอบได้ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส (TGA) และเทคนิคฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) ผลของอัตราส่วนร้อยละสารเคลือบผิว / ปริมาณพอลิเมอร์ที่ใช้ แสดงให้เห็นว่าวิธีการจุ่มเคลือบมีประสิทธิภาพสูงกว่ากระบวนการพ่นเคลือบ นอกจากนี้การใช้เทคนิคการพ่นยังถูกจำกัดด้วยความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อใช้สารละลายพอลิเมอร์ที่เข้มข้นขึ้นและใช้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น พบว่าปริมาณร้อยละสารเคลือบผิวมากขึ้นเมื่อใช้สารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นมากขึ้นและใช้จำนวนครั้งการเคลือบเพิ่มขึ้น ผลจากภาพถ่าย SEM และอัตราการปลดปล่อยยูเรียแสดงให้เห็นว่าคุณภาพและความหนาของชั้นผิวเคลือบมีบทบาทสำคัญในการชะลออัตราการปลดปล่อยยูเรีย ผิวเคลือบที่มีรูพรุนและรอยแตกจำนวนมากได้จากการเคลือบด้วยพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำอย่าง PLA-1, PLA-2 และ PLA-3 ส่งผลให้อัตราการปลดปล่อยยูเรียของวัสดุดังกล่าวไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเพิ่มปริมาณของชั้นผิวเคลือบ ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพในการชะลอการปลดปล่อยยูเรียจะเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มร้อยละสารเคลือบผิวเมื่อใช้พอลิแลกติกแอซิดทางการค้าและพอลิแลกติกแอซิดโคเอทิลีนเทเรฟทาเลต เมื่อใช้พอลิเมอร์ผสมผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวัสดุดังกล่าวมีพฤติกรรมการปลดปล่อยที่สอดคล้องกับพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ ผลจากการทดสอบ TGA ของชั้นผิวเคลือบที่เหลือหลังทำการละลายยูเรียออกจนหมดที่ได้จาก PLA-1, PLA-2 และโคพอลิเมอร์แสดงให้เห็นว่ามีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำกว่าวัสดุตั้งต้น อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถสรุปได้ว่าเกิดเนื่องจากการเสื่อมสภาพของผิวเคลือบด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส การเกิดไฮโดรไลซิสในช่วงเวลาสั้นๆนั้นไม่น่าจะเป็นไปได้ เนื่องจากการเกิดไฮโดรไลซิสในช่วงเวลาสั้นๆที่ใช้ในการให้ยูเรียแพรร็อกหมอดมีความเป็นไปได้น้อยมาก อีกทั้งการทดสอบด้วย FTIR ก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเคมีในระหว่างการปลดปล่อยยูเรีย

Daniela และคณะ (2010) เตรียมนาโนคอมพอสิตให้มีลักษณะแบบสารละลายเพื่อให้เกิดการแทรกตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ในชั้นเคลย์ (intercalation) และขึ้นรูปโดยให้ความร้อน ใช้ในการเตรียมเพื่อให้เกิดการกระจายตัวของชั้นเคลย์ (exfoliated) โดยการรวมตัวกันของเทอร์โมพลาสติกแข็ง (TPS) และมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) ผลกระทบจากปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) มีผลต่อความร้อน โครงสร้าง และคุณสมบัติเชิงกลของนาโนคอมพอสิต การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของนาโนคอมพอสิตโดยเทคนิค XRD, การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (TGA) และเครื่องศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสาร (DSC) ถูกใช้วิเคราะห์การเกิด exfoliated ของมอนต์มอริลโลไนต์ภายในแป้ง การวิเคราะห์ TGA และ DSC พบว่า การเติมมอนต์มอริลโลไนต์ ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น การทดสอบมอดูลัสและความต้านแรงดึง ที่มีปริมาณมอนต์มอริลโลไนต์ 0 ถึง 5 %โดยน้ำหนัก พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 8.0 เป็น 23.8 เมกะปาสคาล และ 1.5 เป็น 2.8 เมกะปาสคาลตามลำดับ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าว พบว่าเกิดการกระจายที่ดีหรือเกิดโครงสร้างแบบ exfoliated ของมอนต์มอริลโลไนต์ภายในแป้ง ทำให้นาโนคอมพอสิตเป็นเนื้อเดียวกันและมีความโปร่งใส มีคุณสมบัติทางความร้อนและคุณสมบัติเชิงกลที่ดี เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ต่างๆ

Frederic และคณะ (2010) ได้ศึกษาผลของพลาสติกไซเซอร์ที่ทำให้เกิดการแตกออกของชั้นเคลือบในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปคอมพอสิตชีวภาพจากแป้ง พลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ กลีเซอรอล (Glycerol) พอลิซอร์บ (Polysorb) และซอร์บิทอล (Sorbitol) และใช้สารตัวเติมที่มีอนุภาคขนาดนาโนเมตร 2 ชนิด คือ มอนต์มอริลโลไนต์ธรรมชาติ(MMT-Na) และมอนต์มอริลโลไนต์ที่ถูกดัดแปรด้วยแป้งประจุบวก (OMMT-CS) ลักษณะสัณฐานวิทยาของนาโนคอมพอสิตที่เติมกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์จะเกิดโครงสร้าง 3 ลักษณะ คือ เคลือบจะกันเป็นกลุ่มแต่ระหว่างชั้นของเคลือบขยายตัวโดยที่สายโซ่พอลิเมอร์จะเข้าไปอยู่ในระหว่างชั้นของเคลือบ (Intercalated) แบบเกิดการรวมตัวกัน (aggregate) และชั้นของเคลือบกระจายตัวออกจากกัน (exfoliated) การทดสอบแรงดึง(Tensile strength) เมื่อเติมซอร์บิทอล (Sorbitol) พบว่าจะได้ผลตรงข้ามเมื่อลักษณะสัณฐานวิทยาแบบชั้นเคลือบกระจายตัวออกจากกัน (exfoliated) ผลของความร้อนต่อสมบัติเชิงกล โดยใช้พลาสติกไซเซอร์ที่แตกต่างกันโดยไม่มีการเติมสารตัวเติม พบว่าเมื่อเติมพลาสติกไซเซอร์จะทำให้เกิดการแยกเฟสของแป้งและพลาสติกไซเซอร์เนื่องจากใส่พลาสติกไซเซอร์ในปริมาณที่สูง

Xiaozhao Han และคณะ (2009) ได้เตรียมฟิล์มระหว่างแป้งและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นวัสดุในการเคลือบปุ๋ย โดยใช้พอร์มัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมโยง ผลของอัตราส่วนระหว่างแป้ง:พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และปริมาณของพอร์มัลดีไฮด์มีผลต่อคุณสมบัติของสารเคลือบ โดยพบว่าอัตราส่วนระหว่างแป้ง:พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่เหมาะสมคือ 7:3 และปริมาณของพอร์มัลดีไฮด์เท่ากับ 10% จะให้ผลการดูดซับน้ำ การซึมผ่านของน้ำและการซึมผ่านของ NH_4^+ ของฟิล์มมีค่าเหมาะสม การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพพบว่าหลังจากฝังชิ้นงานเป็นเวลา 50 วันพบว่าน้ำหนักของชิ้นงานมีค่าลดลงมากกว่า 50%

M. Tomaszewska และ A. Jarosiewicz (2006) ได้ศึกษาการเคลือบปุ๋ย NPK 6-20-30 ด้วยพอลิซัลโฟน (PSF) เพื่อศึกษาสมบัติของปุ๋ยที่นำมาเคลือบเม็ดปุ๋ยด้วยวิธีการเคลือบแบบเปียกแล้วนำมาฉีดพ่นด้วย N,N dimethyl formamide จากนั้นนำมาฉีดพ่นด้วยสารละลายพอลิซัลโฟน ความเข้มข้นต่างๆ ตัวทำละลายของพอลิเมอร์ที่ใช้คือ N,N dimethyl formamide ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้ฉีดพ่นมีความเข้มข้นตั้งแต่ 13-17 %wt จากนั้นนำมาเม็ดปุ๋ยที่เคลือบมาศึกษาความหนา ความเป็นรูพรุนของสารเคลือบพบว่าปุ๋ยที่เคลือบพอลิซัลโฟน สามารถลดการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ 30 % เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคลือบ N ,N dimethyl formamide การทดลองนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของ PSF ที่เป็นการฉีดพ่น การปลดปล่อยแร่ธาตุของปุ๋ยที่อุณหภูมิห้องพบว่าการปลดปล่อยแร่ธาตุอาหารมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ศึกษา จำนวนการเคลือบที่เพิ่มขึ้นทำให้ลดอัตราการปลดปล่อยแร่ธาตุอาหารของปุ๋ย NPK การเพิ่มจำนวนการพ่นเคลือบจะช่วยลดการปลดปล่อยได้เพิ่มขึ้น 25 % การลดอัตราการปลดปล่อยขึ้นอยู่กับความเป็นรูพรุนที่น้อยกว่าและจำนวนการพ่นเคลือบ

Chen Biqiong และคณะ (2005) ได้เตรียมนาโนคอมพอสิตจากแป้งมันฝรั่งและเคลือบ 4 ประเภท เพื่อให้สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ โดยใช้เทคนิค melt intercalation ด้วยเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two roll mill) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เคลือบที่ใช้ ได้แก่ MMT, kaolin, hectorite และ modified hectorite จากการตรวจสอบด้วยเทคนิค XRD พบว่า MMT และ hectorite จากธรรมชาติสามารถเกิดเป็นนาโนคอมพอสิตกับแป้งได้ ขณะที่ kaolin เกิดเป็น

คอมพอสิตแบบธรรมดาทั่วไป นอกจากนี้ การศึกษาโครงสร้างด้วยเทคนิค TEM พบว่า ชิ้นงานที่เตรียมจากhectorite ในธรรมชาติมีโครงสร้างผสมระหว่าง exfoliate และ intercalated ส่วนที่เตรียมจากmodified hectorite จะเป็นคอมพอสิตแบบธรรมดาทั่วไป ซึ่งเคลย์ทุกประเภทที่ใส่เข้าไปในแป้งมีผลทำให้มอดูลัสสูงขึ้น แต่วัสดุคอมพอสิตที่เตรียมจาก kaolin และ modified hectorite มีมอดูลัสใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่าที่เป็นนาโนคอมพอสิตเมื่อใส่เคลย์ในปริมาณเท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากเทคนิค TEM ว่าเป็นเพียงคอมพอสิตธรรมดาทั่วไป และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวัสดุนาโน-คอมพอสิตด้วยกัน พบว่า MMT มีผลทำให้มอดูลัสสูงกว่าการใส่ hectorite จากธรรมชาติเล็กน้อย

Huang Ming-Fu และคณะ (2004) ได้เตรียมวัสดุพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งข้าวโพดที่ถูกพลาสติกไฮดรอกซีเซลลูโลส (GTPS) และมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) โดยเทคนิค melt intercalation ด้วยเครื่องอัดรีดพลาสติกแบบเกลียวเดี่ยว (single screw plastic extruder) จากการตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM พบว่า MMT มีการกระจายตัวสม่ำเสมอใน GTPS และจากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อปริมาณ MMT อยู่ในช่วง 0-30% ชิ้นงานมีความต้านแรงดึงได้ถึง 27.34 MPa ขณะที่ความเครียดลดลงจาก 85.32 เหลือ 17.82% ส่วนยังมอดูลัสมีค่าถึง 206.74 MPa และสมบัติการดูดซึมน้ำมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ MMT เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าวัสดุคอมพอสิตที่ใช้งานทั่วไป

Wilhelm H.M. และคณะ (2003) ได้เตรียมฟิล์มพอลิเมอร์นาโนคอมพอสิตจากแป้ง Cara roots ซึ่งเป็นแป้งพื้นเมืองของประเทศบราซิล ที่ถูกพลาสติกไฮดรอกซีเซลลูโลส และใช้แร่ดิน (clay mineral) เป็นสารเสริมแรงระดับนาโน ด้วยวิธี solution intercalation ในตัวกลางที่เป็นน้ำ โดยวิธีการหล่อ (casting) อัตราส่วนของแป้งและแร่ดินโดยน้ำหนักที่ใช้ในการทดลองนี้เท่ากับ 100/0, 95/5, 90/10, 85/15, 80/20 และ 70/30 ซึ่งจากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค FT-IR และ XRD พบว่า ทั้งแป้งและกลีเซอรอลได้แทรกเข้าไประหว่างชั้นของดิน และจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค DMA พบว่า แป้งและกลีเซอรอลเข้ากันได้เพียงบางส่วน โดยกลีเซอรอลปริมาณเล็กน้อยที่เหลืออยู่ได้แทรกเข้าไปในชั้นของแร่ดิน และการทดสอบสมบัติเชิงกลแสดงผลของการเสริมแรงของแร่ดินในเมทริกซ์ของแป้ง โดยมีการเพิ่มขึ้นของ storage modulus (stiffness) ความคงขนาด (dimensional stability) และยังมีมอดูลัส