

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารในปัจจุบัน นอกจากพัฒนาด้านรูปลักษณะภายนอกให้มีความสวยงามและสามารถปกป้องอาหารที่อยู่ภายในได้แล้ว ได้มีการพัฒนาในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาอาหารให้นานยิ่งขึ้น ซึ่งงานวิจัยในปัจจุบันมีการศึกษาในเรื่องการผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์เข้ากับวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ให้มีความสามารถในการยับยั้งและหน่วงการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ให้ช้าลง [1-5] ในขณะที่เชื้อจุลินทรีย์บางชนิดเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถก่อโรคต่อมนุษย์ได้ ยกตัวอย่างเช่น เชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *Bacillus cereus* มักพบปะปนมากับอาหารสดและอาหารแห้ง เมื่อเข้าสู่ร่างกายก่อให้เกิดอาการท้องร่วง อาเจียน เกิดอาการปวดเกร็งหน้าท้อง เป็นต้น [6-7] อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพต่ำลงเมื่อผสมเข้ากับพอลิเมอร์เนื่องจาก โครงสร้างที่เป็นสายโซ่ของพอลิเมอร์ขัดขวางการแพร่ของสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ออกมาที่บริเวณผิวชิ้นงาน นอกจากนี้พบว่า พื้นที่ผิวของชิ้นงานส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ โดยชิ้นงานที่มีพื้นที่ผิวมากส่งผลให้ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น [9] วัสดุพอลิเมอร์จำเป็นต้องมีการเติมสารเติมแต่งส่งผลให้สารเติมแต่งเหล่านั้นอาจสัมผัสและปนเปื้อนกับอาหาร ดังนั้น สารเติมแต่งที่ใช้จำเป็นต้องปลอดภัย และได้รับอนุญาตให้ใช้กับบรรจุภัณฑ์อาหารได้ [8-10]

พอลิโพรพิลีนเป็นพลาสติกที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เช่น กล่องบรรจุอาหาร ถังอาหาร ใสของร้อน และฝาบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ใช้บรรจุอาหารทั้งอาหารสด และอาหารแห้ง [11-13] ด้วยเหตุนี้จึง เป็นเหตุให้ให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว มีโอกาสเป็นแหล่งสะสมและเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่อาจก่อโรค แก่ผู้บริโภคได้ ดังนั้น ผู้ทำวิจัยจึงได้เลือกใช้พอลิโพรพิลีนเป็นวัสดุที่ใช้ทดสอบ โดยที่ผลของการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อที่เกิดขึ้นกับพอลิโพรพิลีน สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านบรรจุภัณฑ์ที่มีในท้องตลาดได้

สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ คือ 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic Acid Methacrylate (HPQM) เป็นสารยับยั้งเชื้อที่ได้รับอนุญาตให้ใช้กับบรรจุภัณฑ์อาหารได้ [14-15] โดยทั่วไปสารยับยั้งเชื้ออยู่ในรูปของสารละลายและมาสเตอร์แบทช์ (Master batch) ทำให้ไม่สามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยของสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้เมื่อทำการผสมร่วมกับชิ้นงานพลาสติก

จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยโดยร่วมกับภาคอุตสาหกรรม เพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีความสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งนี้ความสามารถด้านการกระจายตัวของสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในพลาสติกเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการปลดปล่อยของสาร ดังนั้นภาคอุตสาหกรรมจึงได้พัฒนาสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบใหม่ โดยปรับเปลี่ยนจากรูปแบบสารละลายให้อยู่ในรูปแบบผง โดยใช้สารดูดซับชนิดแมกนีเซียม อลูมิโนเมตาซิลิเกต (Magnesium Aluminometasilicate) หรือสารนูซิลิน (Neusilin) เป็นตัวดูดซับสารยับยั้งเชื้อในรูปของของเหลวไว้ให้อยู่ในรูปแบบผง ซึ่งคาดว่าสารดูดซับดังกล่าวจะสามารถช่วยในด้านการกระจายตัวและควบคุมการปลดปล่อยสารยับยั้งเชื้อให้ทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากระหว่างสารดูดซับและสารยับยั้งเชื้อมีแรงดึงดูดทางกายภาพระหว่างกัน ทำให้การปลดปล่อยสารยับยั้งเชื้อลดลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สามารถคงประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ยาวนานขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สมบัติเชิงกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิโพรพิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบสารละลายและรูปแบบ ที่อยู่ในสารดูดซับในอัตราส่วนต่างๆ
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการบ่มเร่งที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สมบัติเชิงกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยา ของพอลิโพรพิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- วัสดุที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ พอลิโพรพิลีน (Polypropylene)
- สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ ได้แก่ 2-Hydroxypropyl-3-Piperazinyl-Quinoline Carboxylic acid Methacrylate (HPQM) ทำการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบสารละลาย และรูปแบบสารดูดซับ (โดยใช้สารสารดูดซับแมกนีเซียมอลูมิเนียมเมตาซิลิเกต (Magnesium Aluminometasilicate) หรือ สารนูซิลิน (Neusilin) เป็นสารดูดซับ)
- กระบวนการผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์กับพอลิโพรพิลีนอาศัยการผสมด้วยเครื่องผสมแบบอัดรีดเกลียวทวนอกคู่ (Twin screw extrusion)
- กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบอาศัยการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนระบบแรงดัน (Compression molding)
- ปรับเปลี่ยนส่วนผสมของสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในพลาสติกที่ความเข้มข้น 0 500 750 1,000 และ 1,250 ส่วนในล้านส่วน
- สภาวะการบ่มเร่งชิ้นงานอ้างอิงตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) G154-2001
- การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทำการศึกษาในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ด้วยเทคนิควัดรัศมีการยับยั้งเชื้อตามมาตรฐาน American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC) Test Method 90 (Halo test) และเทคนิคการหาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E2149-2013 (Plate Count Agar Method) ตามลำดับ
- เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ ประกอบไปด้วย แบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ *Escherichia coli* American Type Culture Collection (ATCC) 25922 และแบคทีเรียแกรมบวก ได้แก่ *Bacillus cereus* ATCC 11778

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขป

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎี วารสาร/ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และวางแผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 2 จัดหาและเตรียมวัสดุวิจัย ได้แก่ พอลิโพรพิลีน สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารละลาย และรูปแบบสารดูดซับ และเชื้อแบคทีเรียทดสอบ

- ขั้นตอนที่ 3** เตรียมชิ้นงานทดสอบพอลิโพรพิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM รูปแบบสารละลาย และรูปแบบสารดูดซับ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สมบัติเชิงกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยา
- ขั้นตอนที่ 4** เตรียมชิ้นงานทดสอบเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3 และนำชิ้นงานทดสอบสภาวะบ่มเร่งด้วยเครื่อง QUV จากนั้นทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ 3
- ขั้นตอนที่ 5** วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- ขั้นตอนที่ 6** จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์ และเสนอผลงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ด้านวิชาการได้ทราบถึงอิทธิพลของสารดูดซับชนิดนูซิลิน (Neusilin) ที่เติมในพอลิโพรพิลีน และสภาวะการบ่มเร่งที่มีต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพ
2. ด้านเศรษฐศาสตร์ ส่งผลต่อภาคอุตสาหกรรมภาคเอกชนที่ร่วมโครงการสามารถนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ เพิ่มโอกาสทางการตลาดให้สูงขึ้น
3. ด้านสังคมและประโยชน์สาธารณะส่งผลให้ผู้ที่ทำวิจัยได้เพิ่มประสบการณ์ในส่วนของการทำงานวิจัยร่วมกับภาคอุตสาหกรรมจริง ซึ่งเป็น โอกาสที่ได้ประสบการณ์และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้จากโครงการวิจัยที่ได้รับมาจากภาคอุตสาหกรรมได้

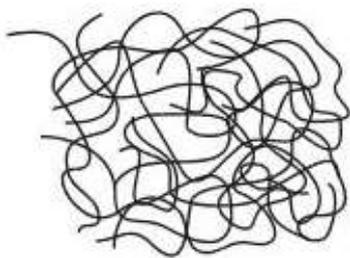
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิเมอร์

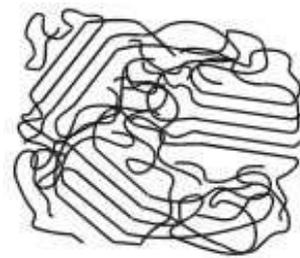
พอลิเมอร์ (Polymer) คือ สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ของมอนอเมอร์ (Monomer) ที่เหมือน หรือต่างกันทางโครงสร้างเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ [16-17] โดยพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกตามสมบัติทางกายภาพได้ 2 ชนิด ได้แก่

- **เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic polymers)** พอลิเมอร์เหล่านี้ละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ และเมื่ออุณหภูมิลดลงทำให้พอลิเมอร์มีสถานะแข็ง และสามารถทำให้หลอม และขึ้นรูปได้หลายครั้งโดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนไป ซึ่งอาจแยกเป็นกลุ่มย่อยได้ 2 กลุ่มได้แก่

- พอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่โมเลกุลจัดเรียงตัวแบบสุ่มไม่เป็นระเบียบ แสดงดังรูปที่ 2.1(ก) เช่น พอลิสไตรีน (Polystyrene) พอลิเมธิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate) เป็นต้น เนื่องจากมีโครงสร้างไม่เป็นระเบียบ และมีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่
- เทอร์โมพลาสติกแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline Thermoplastics) เป็นพอลิเมอร์ที่มีบางส่วนเป็นผลึก และบางส่วนเป็นอสัณฐาน เนื่องจากโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลเป็นระเบียบสามารถเรียงตัวชิดกันได้มากจนเกิดเป็นผลึก และส่งผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โดยปกติ พอลิเมอร์กึ่งผลึกมีปริมาณผลึกอยู่ระหว่างร้อยละ 30-80 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ และอัตราการหล่อเย็น แสดงดังรูปที่ 2.1(ข) เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene) พอลิเอไมด์ (Polyamide) เป็นต้น [17-18]



(ก)



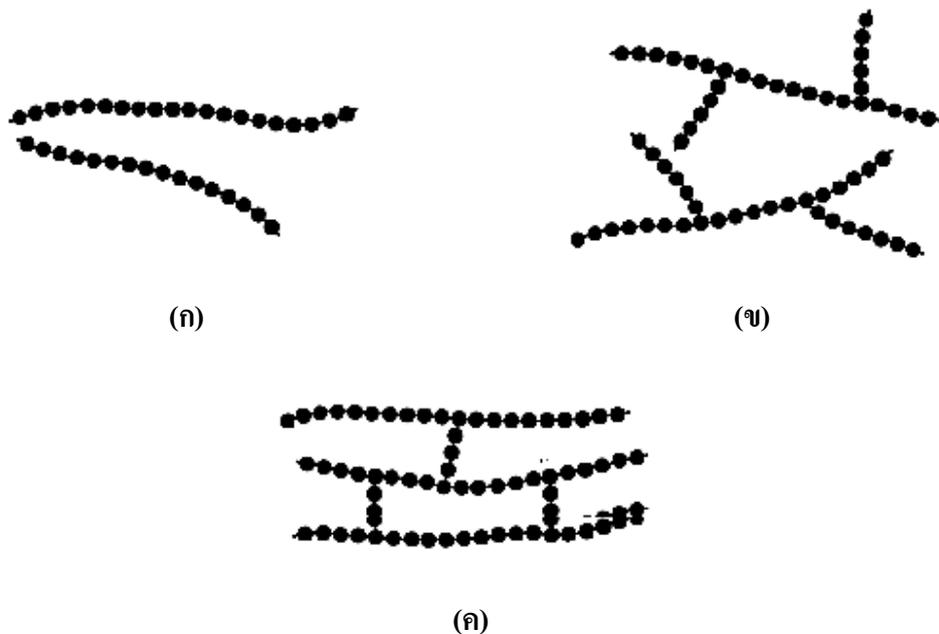
(ข)

รูปที่ 2.1 การเรียงตัวของพอลิเมอร์ (ก) แบบอสัณฐาน และ (ข) แบบกึ่งผลึก [19]

- **เทอร์โมเซต (Thermosetting polymers)** เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแห ซึ่งหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น เนื่องจากก่อนผ่านกระบวนการขึ้นรูปโครงสร้างของสารตั้งต้นมีลักษณะเป็นโมเลกุลเล็ก เมื่อผ่านกระบวนการขึ้นรูปซึ่งเป็นกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลขึ้น โดยมีลักษณะเป็นระบบสามมิติ (Three dimensional system) ส่งผลให้พอลิเมอร์มีรูปร่างถาวร ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน และหากได้รับความร้อนสูงเกินไป ส่งผลให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออก และได้สารที่ไม่มีสมบัติเป็นพอลิเมอร์ ตัวอย่างของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซต เช่น อีพอกซี (Epoxy) พอลิยูรีเทน (Polyurethane) เป็นต้น

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ออกตามโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ชนิด ได้แก่

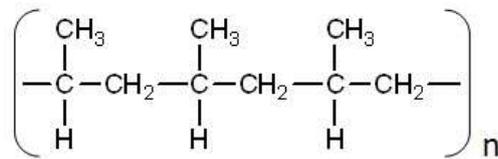
- **พอลิเมอร์แบบสายโซ่ตรง (Linear polymers)** พอลิเมอร์ชนิดนี้มีลักษณะสายโซ่โมเลกุลเป็นเส้นยาว ไม่มีกิ่ง หรือสาขาแยกออกไป แสดงดังรูปที่ 2.2 (ก)
- **พอลิเมอร์แบบมีกิ่งหรือสาขา (Branched polymers)** พอลิเมอร์ชนิดนี้มีกิ่งก้านสาขาแยกออกจากสายโซ่หลัก แสดงดังรูปที่ 2.2 (ข)
- **พอลิเมอร์แบบร่างแห (Network polymers)** พอลิเมอร์ชนิดนี้มีสายโซ่โมเลกุลเชื่อมโยงกันเป็นร่างแห อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า พอลิเมอร์แบบเชื่อมโยง (Crosslinked polymers) แสดงดังรูปที่ 2.2 (ค)



รูปที่ 2.2 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ (ก) แบบสายโซ่ตรง (ข) แบบมีกิ่งก้าน และ (ค) แบบร่างแห [20]

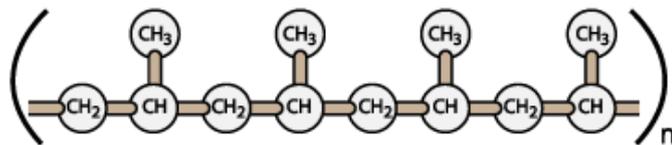
2.1.1 พอลิโพรพิลีน

พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) อยู่ในกลุ่มของเทอร์โมพลาสติก มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ยาวของมอนอเมอร์โพรพิลีน (C_3H_6) โดยเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของก๊าซโพรพิลีน ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารประกอบโลหะ เช่น $TiCl_3$ ร่วมกับ $Al(C_2H_5)_2Cl$ หรือ $TiCl_4$ ร่วมกับ $Al(C_2H_5)_3$ [21] เป็นต้น

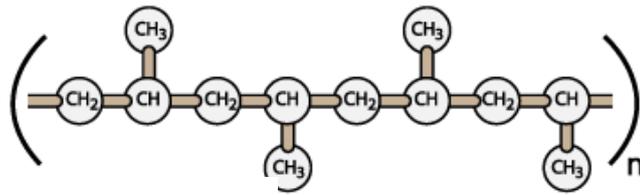


รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิโพรพิลีน

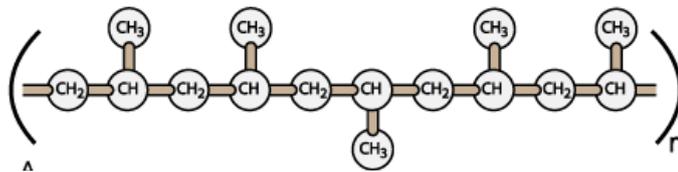
การเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและสภาวะการเกิดปฏิกิริยาที่ต่างกัน ส่งผลให้พอลิโพรพิลีนมีการจัดเรียงโครงสร้างต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ Isotactic Syndiotactic และ Atactic ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการจับของหมู่เมทิล ($-CH_3$) กับอะตอมคาร์บอน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ถึง 2.6 การจัดเรียงโครงสร้างของพอลิโพรพิลีนทั้ง 3 ชนิดส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ ยกตัวอย่างเช่น การจัดเรียงโครงสร้างแบบ Isotactic, Syndiotactic และ Atactic มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 160-170 องศาเซลเซียส 125-131 องศาเซลเซียส และต่ำกว่า 130 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การจัดเรียงโครงสร้างแบบ Isotactic ของพอลิโพรพิลีนทำให้มีความแข็งแรงต้านทานต่อปฏิกิริยาเคมี การแตกหักและรอยขีดข่วน จึงเหมาะในการใช้งานทั่วไป และใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น [22]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของพอลิโพรพิลีนชนิด Isotactic [23]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของพอลิโพรพิลีนชนิด Syndiotactic [23]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของพอลิโพรพิลีนชนิด Atactic [23]

โดยพอลิโพรพิลีนมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.89-0.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 160-175 องศาเซลเซียส [22] จึงเหมาะกับการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานในอุณหภูมิสูง เช่น ภาชนะสำหรับอุ่นอาหารในเตาไมโครเวฟ ถังร้อนห่อบรรจุอาหารที่ต้องผ่านความร้อนในการฆ่าเชื้อโรค และถ้วยบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น [24-25]



รูปที่ 2.7 ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิโพรพิลีน [26-28]

2.2 การเสื่อมสลายของพอลิเมอร์

การเสื่อมสลาย (Degradation) [18] ของพอลิเมอร์ คือกระบวนการที่ไม่สามารถผันกลับได้ ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการแตกออกของโมเลกุล ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากการสูญเสียสมบัติบางประการ เช่น น้ำหนักโมเลกุล โครงสร้าง และความแข็งแรงเชิงกล การเสื่อมสลายมักได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อม และเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป โดยพอลิเมอร์สามารถเกิดการสลายตัวได้ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป เนื่องจากขั้นตอนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ได้รับทั้งความร้อนและแรงเค้นเฉือนที่สูง ภายใต้บรรยากาศปกติซึ่งมีก๊าซออกซิเจนอยู่ ส่งผลให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวได้ ซึ่งการสลายตัวทำให้พอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุล สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล เปลี่ยนแปลง ซึ่งกลไกการเสื่อมสลายประกอบด้วย [29]

การเสื่อมสลายจากพลังงาน

พลังงานความร้อน (Thermal energy): เกิดจากการที่พอลิเมอร์ได้รับความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิตหรืออยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการแตกออกหรือขาด ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง

พลังงานทางกล (Mechanical energy): เกิดจากการได้รับแรงกระทำจากภายนอก ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุลหลัก ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง เช่น การให้แรงเฉือนในระหว่างขึ้นรูปพอลิเมอร์ การขัดถูหรือการเสียดสีของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

พลังงานจากรังสี (Radiation energy): รังสีทำให้เกิดการกระตุ้น (Exciting) ส่งผลให้เกิดการย้ายของอิเล็กตรอนไปอยู่ในระดับพลังงานใหม่ที่สูงกว่าเดิม ซึ่งอาจนำไปสู่การแตกออกของพันธะระหว่างอะตอม

การเสื่อมสลายจากปฏิกิริยาทางเคมี

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis reaction): ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสส่วนใหญ่เกิดขึ้นในพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับน้ำ และเกิดจากการพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction): การสลายนี้เป็นผลมาจากการออกซิเดชันโดยออกซิเจน

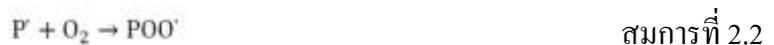
ปฏิกิริยาอื่นๆ : การเสื่อมสลายเนื่องจากจุลินทรีย์ทำลาย (Biological deterioration) ซึ่งเกิดกับพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่จุลินทรีย์สามารถเข้าไปทำลายได้ เช่น พอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของแป้ง (Polysaccharide) และพอลิบีตาไฮดรอกซีบิวทิเรต (Poly-β-hydroxybutyrate, PHB) เป็นต้น

2.2.1 กลไกการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์โดยมีพลังงานแสงเป็นตัวกระตุ้น [30]

กลไกการเสื่อมสลายด้วยพลังงานแสง โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของพอลิเมอร์ เกิดขึ้นคล้ายกับกลไกการเสื่อมสลายทางความร้อน เริ่มจากการก่อตัวของอนุมูลอิสระ (Free radical, P[•]) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับกลไกการย่อยสลาย



กลไกการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์เริ่มต้นจากพอลิเมอร์ได้รับพลังงานจากรังสี ความร้อน หรือแรงเสียดทานจากกระบวนการขึ้นรูป ส่งผลให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ที่มีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา แสดงดังสมการที่ 2.1 จากนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นตามโดยอัตโนมัติ (Auto-oxidation process) โดยเข้าร่วมตัวกับออกซิเจน เกิดเป็นเปอร์ออกไซด์เรดิคัล (Peroxide radical) แสดงดังสมการที่ 2.2



เปอร์ออกไซด์เรดิคัลที่เกิดขึ้นสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสายโซ่พอลิเมอร์ เกิดเป็นอนุมูลอิสระ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide) โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์เรดิคัลเพิ่มขึ้นอีก แสดงดังสมการที่ 2.3



จากนั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สลายตัวเมื่อได้รับแสงหรือรังสี โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถเกิดได้ 3 แบบ แสดงดังสมการที่ 2.4-2.6

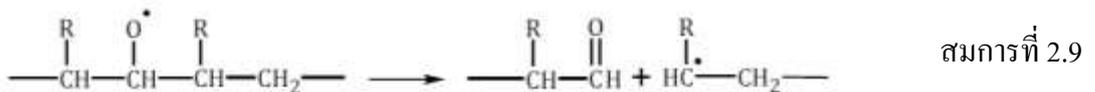
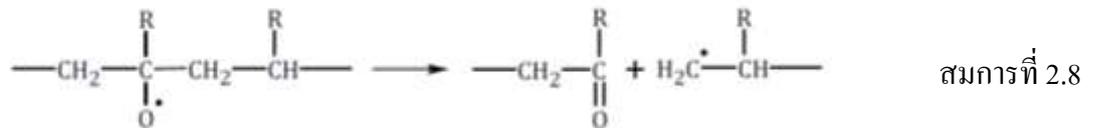


จากปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสมการที่ 2.4-2.6 พบว่าปฏิกิริยาในสมการที่ 2.5 นั้นมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากที่สุด ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์เป็น แอลคอกซีแรดิคัล (Alkoxy radical, PO[•]) และ ไฮดรอกซิลแรดิคัล (Hydroxyl radicals, [•]OH) ซึ่งหลังจากเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ในสมการที่ 2.5 เกิดปฏิกิริยาในขั้นต่อไปได้หลายแบบดังต่อไปนี้

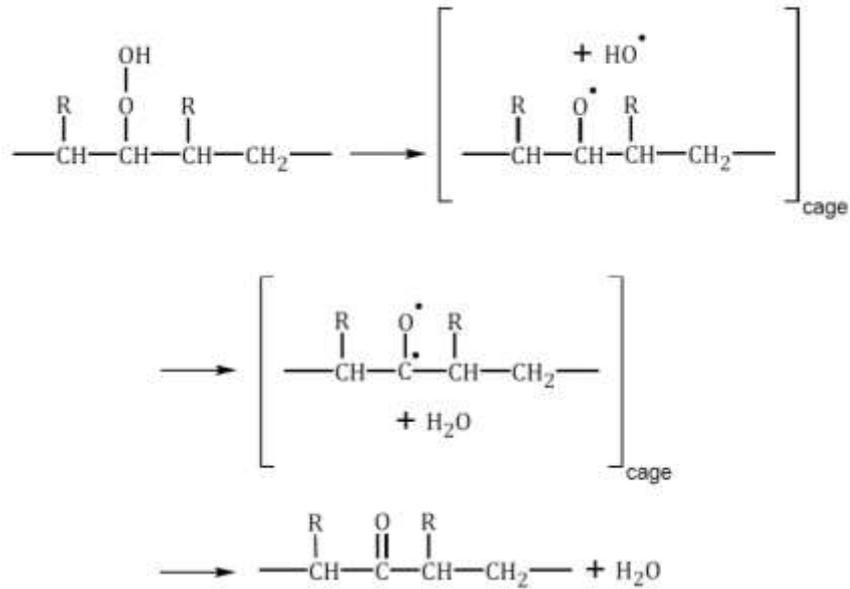
- แอลคอกซีแรดิคัล (Alkoxy radical) เข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์โมเลกุลอื่น และได้ผลิตภัณฑ์เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) โดยหมู่ไฮดรอกซิลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์ แสดงดังสมการที่ 2.7



- แอลคอกซีแรดิคัล (Alkoxy radical) เกิดปฏิกิริยา β -scission ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการแตกออกของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลง แสดงดังสมการที่ 2.8-2.9

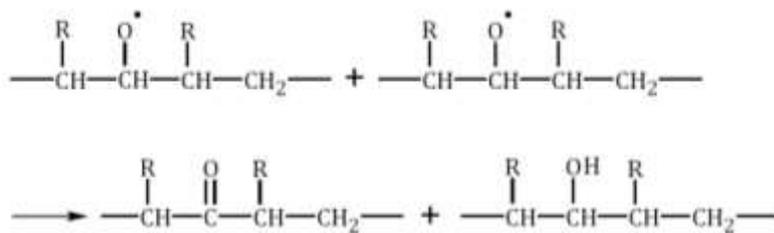


- แอลคอกซีแรดิคัล (Alkoxy radical) เกิดปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลแรดิคัล (hydroxyl radicals) และเกิดผลิตภัณฑ์เป็นหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) แสดงดังสมการที่ 2.10



สมการที่ 2.10

- แอลคอกซีแรดิคัล (Alkoxy radical) เข้าทำปฏิกิริยากันเอง ทำให้เกิดหมู่คาร์บอนิล และหมู่ไฮดรอกซิล ขึ้นแสดงดังสมการที่ 2.11



สมการที่ 2.11

จากปฏิกิริยาที่แสดงดังสมการที่ 2.8-2.11 สามารถเห็นได้ว่าหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในทุกปฏิกิริยา ซึ่งหมู่คาร์บอนิลมีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เป็นกลไกการย่อยสลายของโพลิเมอร์ โดยปฏิกิริยาเหล่านี้คือปฏิกิริยา Norrish ประเภท I, II และ III ซึ่งทั้ง 3 ปฏิกิริยาอาศัยสภาวะในการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ทำให้เกิดการการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์ โดยทั้ง 3 ปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการแตกออกของสายโซ่ ส่งผลให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลง แสดงดังสมการที่ 2.12-2.15

ปฏิกิริยา Norrish ประเภท I

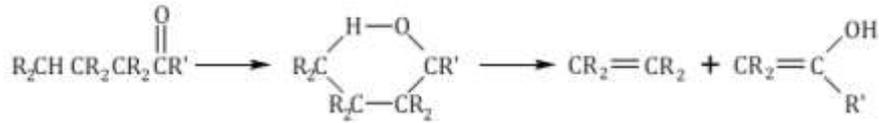


สมการที่ 2.12



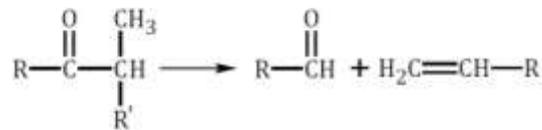
สมการที่ 2.13

ปฏิกิริยา Norrish ประเภท II



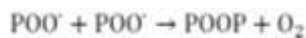
สมการที่
2.14

ปฏิกิริยา Norrish ประเภท III

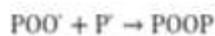


สมการที่ 2.15

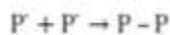
ปฏิกิริยาการสลายตัวของพอลิเมอร์สามารถสิ้นสุดลงได้ เมื่ออนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยารวมตัวกับอนุมูลอิสระตัวอื่น แสดงในสมการที่ 2.16-2.18



สมการที่ 2.16



สมการที่ 2.17

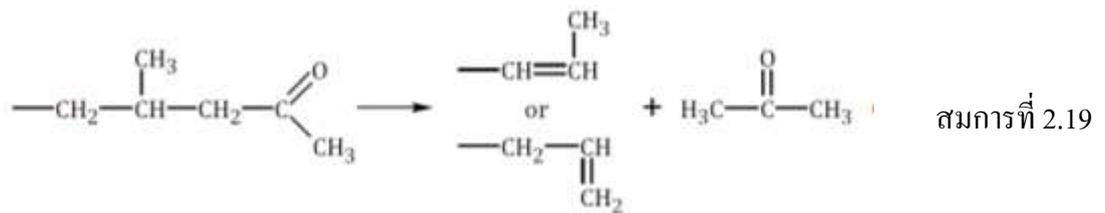


สมการที่ 2.18

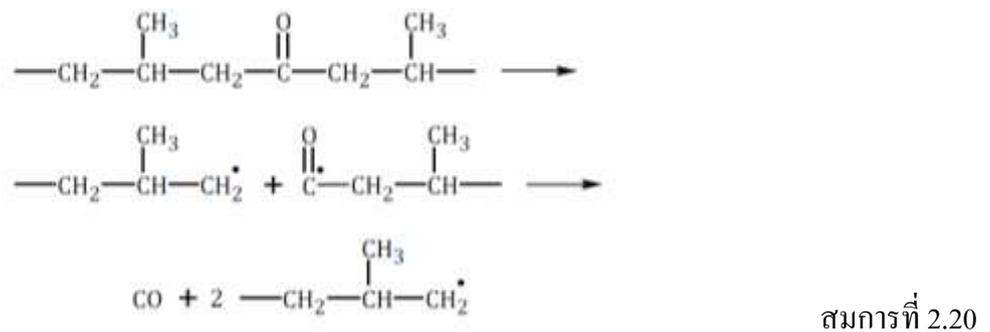
จากปฏิกิริยาการรวตัวของอนุมูลอิสระดังกล่าว สามารถเห็นได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาในสมการที่ 2.18 เป็นสาเหตุของการเกิดพันธะข้าม (Crosslink) ของพอลิเมอร์ โดยปฏิกิริยาการแตกออกของสายโซ่ (Chain scission) และการเกิดพันธะข้าม (Crosslink) ในระหว่างขั้นตอนการย่อยสลาย ในพอลิเมอร์สามารถเกิดขึ้นได้พร้อมๆกัน ซึ่งการขาดของสายโซ่พอลิเมอร์ และการเกิดพันธะข้ามเป็นสาเหตุให้พอลิเมอร์มีสมบัติแข็งเปราะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น การยืดตัวที่จุดขาดมีค่าลดลง เป็นต้น

2.2.2 การเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีน

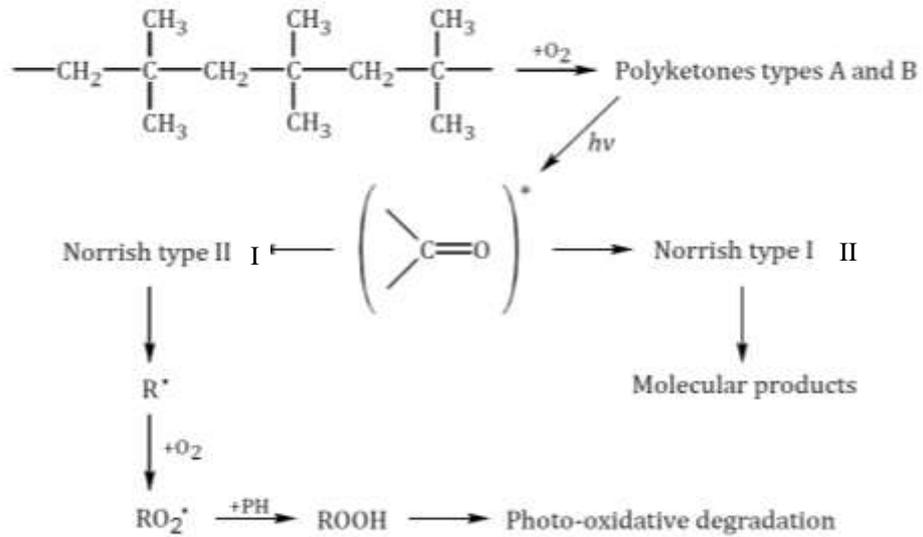
ปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของพอลิโพรพิลีนส่วนใหญ่เกิดขึ้น เมื่อสายโซ่พอลิโพรพิลีนทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจน และเกิดหมู่คาร์บอนิลขึ้นบนสายโซ่ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต โดยหมู่คาร์บอนิล นั้นเป็นสาเหตุเริ่มต้นของปฏิกิริยาการเสื่อมสลาย พอลิโพรพิลีน โดยพอลิโพรพิลีนที่มีหมู่ คาร์บอนิลที่ตำแหน่งปลายสายโซ่ สามารถเกิดปฏิกิริยา Norrish ประเภท II โดยได้ผลิตภัณฑ์เป็น อะซิโตน (Acetone) และสายโซ่พอลิเมอร์ที่แตกออกจะเกิดเป็นพันธะคู่ แสดงดังสมการที่ 2.19



ในส่วนของพอลิโพรพิลีนที่มีหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่งกลางสายโซ่ สามารถเกิดปฏิกิริยา Norrish ประเภท I เกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) และอนุมูลอิสระ แสดงดังสมการที่ 2.20



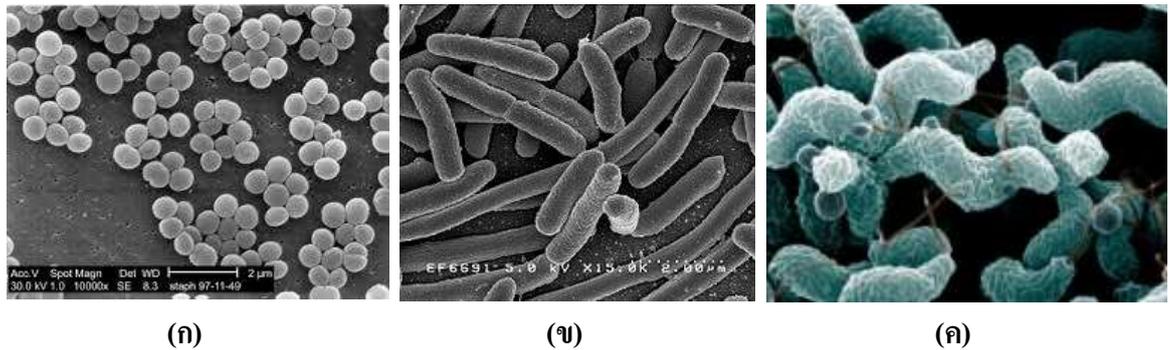
อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในสมการที่ 2.20 นั้นสามารถส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการเสื่อมสลาย ของ พอลิโพรพิลีน โดยอาศัยกลไกการสลายของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แสดงดังสมการที่ 2.2-2.6 ซึ่งขั้นตอนการเสื่อมสลายพอลิโพรพิลีนเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนภาพขั้นตอนของกลไกการเสื่อมสลายพอลิโพรพิลีน [30]

2.3 แบคทีเรีย

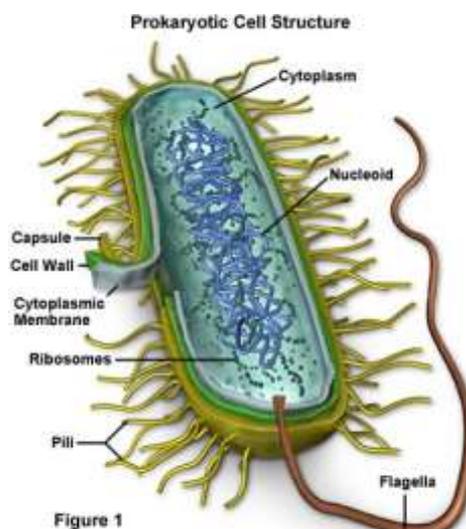
แบคทีเรียเป็นประเภทของสิ่งมีชีวิตซึ่งมีขนาดเล็ก ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยส่วนใหญ่มีเซลล์เดียว สามารถพบได้ทั่วไป เช่น อากาศ ดิน น้ำ ผิวหนัง จมูก ปาก ลำไส้เล็ก และเครื่องอุปโภคบริโภค [31] แบคทีเรียมีรูปร่าง 3 แบบ คือ รูปทรงกลม รูปทรงแท่ง และรูปทรงเกลียว แสดงดังรูปที่ 2.9 การที่แบคทีเรียมีรูปร่างแตกต่างกันเนื่องจากการปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เช่น แบคทีเรียที่มีรูปทรงกลมสามารถทนอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งได้ดี แบคทีเรียที่มีรูปทรงท่อนมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากจึงช่วยในการแลกเปลี่ยนสารอาหารกับสภาพแวดล้อมได้ดี แบคทีเรียที่มีรูปทรงเกลียวมีการเคลื่อนที่ในลักษณะตะปูควง หรือสว่าน จึงมีแรงเสียดทานจากสิ่งแวดล้อมต่ำ ในขณะที่เคลื่อนที่ [32] แบคทีเรียบางชนิดสามารถก่อให้เกิดโรคในสิ่งมีชีวิตได้ในคน สัตว์ หรือพืช โดยอาศัยกลไกทางชีวเคมี โรคที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมากน้อยต่างกัน [33] เช่น แบคทีเรียบางชนิดสามารถสร้างสารพิษเอนเทอโรทอกซิน (Enterotoxin) ซึ่งเป็นสารพิษประเภทโปรตีน เป็นพิษต่อเซลล์ เชื้อบุนนังลำไส้ ส่งผลให้เกิดอาการท้องร่วง โดยตัวอย่างของจุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษเอนเทอโรทอกซิน ได้แก่ *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Vibrio cholerae*, *Staphylococcus aureus*, และ *Yersinia enterocolitica* เป็นต้น [34]



รูปที่ 2.9 รูปร่างของแบคทีเรีย (ก) รูปทรงกลม [35] (ข) รูปทรงแท่ง [36] และ (ค) รูปทรงเกลียว [37]

2.3.1 โครงสร้างของเซลล์แบคทีเรีย

เซลล์แบคทีเรีย เป็นเซลล์แบบโพรแคริโอต (Prokaryotes) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ยกเว้นผนังเซลล์ซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าเซลล์แบบยูแคริโอต (Eukaryotes) โครงสร้างและหน้าที่แบคทีเรียแบ่งออกได้เป็นส่วนคือ โครงสร้างภายนอกได้แก่ แคปซูล (Capsule), ผนังเซลล์ (Cell wall), เยื่อหุ้มเซลล์ (Cytoplasmic membrane), แฟลเจลลา (Flagella) และโครงสร้างภายในได้แก่ ไซโทพลาสซึม (Cytoplasm), ไรโบโซม (Ribosome) [38-39] แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างแบคทีเรีย [40]

2.3.1.1 แคปซูล (Capsule)

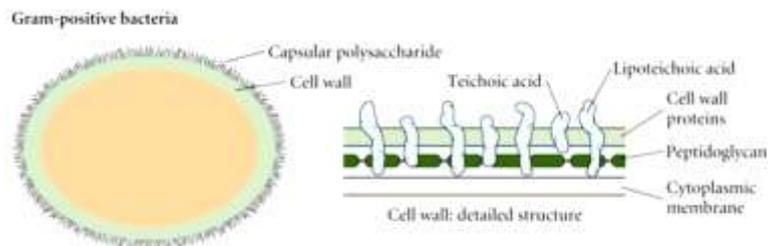
แบคทีเรียเกือบทุกชนิดมีโครงสร้างชั้นนอกสุดของเซลล์มีลักษณะเป็นวุ้น มีรูปร่างไม่แน่นอนและไม่ติดสีแกรม เรียกว่า แคปซูล โดยสารที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ได้แก่ พอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) โดยแคปซูลมีหน้าที่ป้องกันสิ่งที่เป็นอันตรายต่อเซลล์แบคทีเรีย เช่น โลหะที่เป็นพิษ และช่วยให้แบคทีเรียเกาะติดกับพื้นผิวใดๆ นอกจากนี้ช่วยให้สารอาหารมารวมอยู่รอบๆเซลล์ ช่วยเพิ่มความสามารถในการเจริญเติบโตอีกด้วย

2.3.1.2 ผนังเซลล์ (Cell wall)

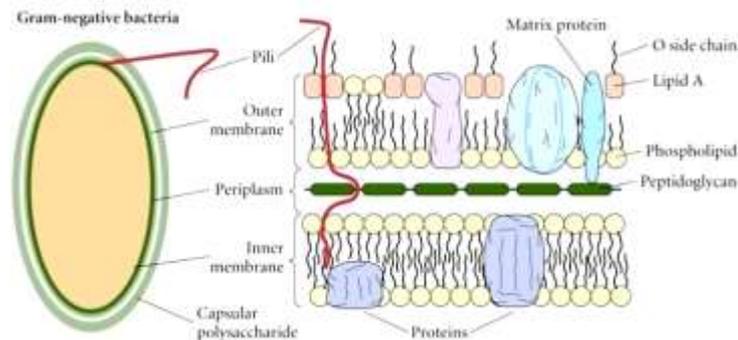
ผนังเซลล์เป็นส่วนประกอบเซลล์ที่อยู่ระหว่างแคปซูลและเยื่อหุ้มเซลล์ โดยมีหน้าที่ช่วยให้เซลล์แบคทีเรียสามารถคงรูปร่าง และปกป้องกันเซลล์จากแรงดันออสโมซิส (Osmosis pressure) และเป็นที่ยึดเกาะของแฟลเจลลา เป็นตำแหน่งที่ไวรัส หรือแบคทีริโอเฟจ (Bacteriophage) ส่วนใหญ่มาเกาะเพื่อนำสารพันธุกรรมเข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย โครงสร้างของผนังเซลล์มีความซับซ้อน โดยมีสารในกลุ่มของโปรตีน และพอลิแซคคาไรด์ เป็นโครงสร้างหลัก กลุ่มของโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด เช่น ไลซีน (Lysine) อะลานีน (Alanine) ไกลซีน (Glycine) และกรดกลูตามิก (Glutamic acid) เป็นต้น ทั้งนี้ปริมาณและชนิดของกรดอะมิโนแตกต่างกันไปตามชนิดของแบคทีเรีย นอกจากนี้แบคทีเรียแกรมบวกประกอบด้วยสารประกอบไลโปโปรตีน (Lipoprotein) ไลโปพอลิแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharide) และกรดไทโคอิก (Teichoic acid) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ พบว่า มีความแตกต่างกันดังตารางที่ 2.1 ซึ่งเห็นได้ว่าแบคทีเรียแกรมบวกมีผนังเซลล์ที่หนามากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ โดยหนาประมาณ 20-80 นาโนเมตร ขณะที่แบคทีเรียแกรมลบมีความหนาประมาณ 10 นาโนเมตร แต่มีส่วนประกอบทางเคมี และโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่า คือประกอบด้วย เยื่อหุ้มชั้นนอก และชั้นเปปติโดไกลแคนซึ่งอยู่ในช่องระหว่างเยื่อหุ้มชั้นนอก และเยื่อหุ้มเซลล์ เรียกว่า ช่องเพอริพลาสมิก (Periplasmic space) [33] โดยความแตกต่างของลักษณะผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบแสดงในรูปที่ 2.11

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ [34]

ส่วนประกอบ	แบคทีเรียแกรมบวก	แบคทีเรียแกรมลบ
องค์ประกอบทางเคมี	ชั้น Peptidoglycan - Amino acid - Teichoic acid - Lipoteichoic acid	ชั้น Outer membrane - Lipopolysaccharide - Lipoprotein ชั้น Peptidoglycan - Amino acid
เปปติโดไกลแคน	ร้อยละ 60-100	ร้อยละ 5-20
ปริมาณ lipid	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 10-20
ความหนา	20-80 นาโนเมตร	10 นาโนเมตร
ผนังเซลล์	1 ชั้น	2 ชั้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.11 ลักษณะผนังเซลล์แบคทีเรีย (ก) แกรมบวก และ (ข) แกรมลบ [41]

2.3.1.3 แฟลเจลลา (Flagella)

แฟลเจลลามีหน้าที่ในการเคลื่อนที่ของแบคทีเรีย โดยพบในแบคทีเรียบางชนิด แฟลเจลลาทำให้แบคทีเรียเคลื่อนที่ได้โดยการหมุนรอบตัวเองทวนเข็มนาฬิกาตามแกนยาวเหมือนการหมุนของใบพัด โดยแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

- เพอริทริคัสแฟลเจลลา (Peritrichous flagella) เป็นแฟลเจลลาที่ยื่นออกมารอบๆ เซลล์ของแบคทีเรีย
- โพลาร์แฟลเจลลา (Polar flagella) เป็นแฟลเจลลาที่ยื่นออกมาจากปลายหรือขั้วของเซลล์ อาจยื่นออกมาเพียง 1 เส้น หรือมากกว่า 1 เส้น ที่ปลายทั้งสองข้างของเซลล์เรียกว่า แอมฟิทริคัสแฟลเจลลา (Amphitrichous)

2.3.1.4 เยื่อหุ้มเซลล์ (Cytoplasmic membrane)

เยื่อหุ้มเซลล์เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากผนังเซลล์ของแบคทีเรีย และห่อหุ้มไซโทพลาซึม (Cytoplasm) ไว้ มีลักษณะ เป็นเยื่อบางๆ ประกอบด้วย ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ร้อยละ 20-30 และโปรตีน (Protein) ร้อยละ 60-70 โดยฟอสโฟลิปิดทั้ง 2 ชั้น มีโปรตีนแทรกอยู่ระหว่างชั้นของฟอสโฟลิปิด (Integral protein) และมีโปรตีนรอบนอกหรือโปรตีนผิว (Peripheral protein) ยึดเกาะแบบหลวมๆ ทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ

2.3.1.5 ไซโทพลาซึม (Cytoplasm)

ไซโทพลาซึมเป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเซลล์เข้ามาภายในเซลล์ มีลักษณะเป็นของเหลวที่ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิดรวมกัน นอกจากนี้ยังมีไรโบโซม (Ribosome) และโครมาทิน (Chromatin) อยู่ภายใน

2.3.1.6 ไรโบโซม (Ribosome)

ไรโบโซมมีลักษณะกลม ไม่มีเยื่อหุ้ม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 นาโนเมตร ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 40 และอาร์เอ็นเอร้อยละ 60 หน้าที่ของไรโบโซมเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนชนิดต่างๆ

2.3.1.7 แกรนูลต์ (Granules) หรือ อินคลูชันบอดี (Inclusion body)

แบคทีเรียบางชนิดสามารถสำรองอาหารไว้ในเซลล์ โดยอยู่รูปของแกรนูลต์ (Granules) อาหารสะสมนี้มักพบในรูปของแป้ง ไกลโคเจน (Glycogen) พอลิบีตาไฮดรอกซีบิวไทเรต (Poly- β -Hydroxybutyrate) และ วอลูติน (Volutin) ชนิดของแกรนูลต์มีความจำเพาะต่อชนิดของแบคทีเรีย

2.4 การออกฤทธิ์ของสารยับยั้งแบคทีเรียต่อโครงสร้างแบคทีเรีย

กลไกการออกฤทธิ์สำหรับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียหรือฆ่าแบคทีเรีย สามารถออกฤทธิ์ขัดขวางการสังเคราะห์ส่วนต่างๆ ของเซลล์แบคทีเรียซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ [33]

2.4.1 ออกฤทธิ์ที่ระดับผนังเซลล์ (Cell wall) [33]

สารยับยั้งเชื้อเข้าไปยับยั้งการสร้างเปปติโดไกลแคน (Peptidoglycan) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์ไม่แข็งแรง แบคทีเรียแบ่งตัวไม่ได้ เมื่อผนังเซลล์ยืดออก ทำให้เกิดรอยร้าวที่บริเวณผนังเซลล์ ของเหลวภายในเซลล์ไหลออกมาสู่ภายนอกส่งผลให้เซลล์ตายในที่สุด

2.4.2 ออกฤทธิ์ที่ระดับเยื่อหุ้มเซลล์ (Cytoplasmic membrane)

สารยับยั้งเชื้อเข้าไปแทรกระหว่างโปรตีนกับฟอสโฟไลปิด ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ฉีกขาด สารในไซโทพลาสซึม (Cytoplasm) ไหลออกจากเซลล์ทำให้เซลล์ตาย

2.4.3 ออกฤทธิ์ที่ระดับการสังเคราะห์สารในไซโทพลาสซึม (Cytoplasm)

- **การสังเคราะห์ดีเอ็นเอ (Deoxyribonucleic acid, DNA)**
 สารยับยั้งเชื้อยับยั้งการนำไทมีน (Thymine) เข้าจับกับนิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) ตัวอื่นๆ ส่งผลให้การสร้างดีเอ็นเอไม่สมบูรณ์
- **การสังเคราะห์อาร์เอ็นเอ (Ribonucleic acid, RNA)**
 สารยับยั้งเชื้อขัดขวางการทำงานของอาร์เอ็นเอ โดยทำให้อาร์เอ็นเอไม่สามารถไปจับคู่กับดีเอ็นเอ ส่งผลให้ไม่สามารถรับคำสั่งจากดีเอ็นเอได้
- **การสังเคราะห์โปรตีน**
 สารยับยั้งเชื้อยับยั้งการสร้างโปรตีน หรือทำให้สร้างโปรตีนผิดไป ซึ่งออกฤทธิ์ต่อการสร้างโปรตีนที่ระดับไรโบโซม

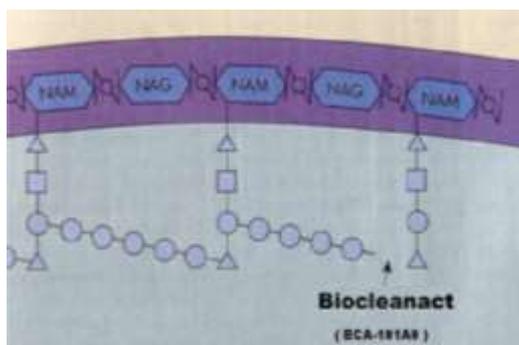
2.5 สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM และการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

2.5.1 สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM

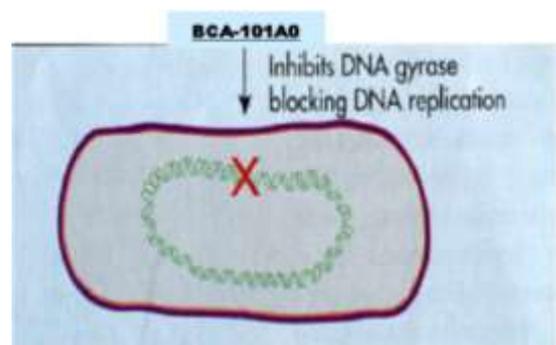
2-Hydroxypropyl-3-Piperaziny-Quinoline carboxylic acid Methacrylate (HPQM) เป็นสารเคมีอินทรีย์ที่ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย มีความสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้หลากหลาย มีความต้านทานต่อความชื้น แสงแดด และสารเคมี โดยกลไกในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของ HPQM เป็นการเคลื่อนที่ออกมาทำปฏิกิริยากับผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรีย โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ซึ่งพบว่าสาร HPQM สามารถสัมผัสกับอาหารได้โดยไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ ดังนั้น จึงมีการอนุญาตให้ใช้ในการผสมเข้ากับบรรจุภัณฑ์อาหารได้ โดยได้ผ่านการทดสอบจากองค์การอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกา FDA cGLP (Shuster lab) และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประเทศเกาหลี (KOTRIC: Korea Testing and Research Institute for Chemical Industry) สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์มักถูกนำไปประยุกต์ใช้งานใน อุตสาหกรรมที่หลากหลาย ได้แก่ อุตสาหกรรมสีทาภายนอกและภายในอาคาร (Paints), การผลิตกาว (Adhesives), ผลิตภัณฑ์ในครัวเรือน (Household), สิ่งทอ (Textile) และเครื่องสำอาง (Cosmetic) [14-15]

2.5.2 กลไกการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของ HPQM

กลไกการยับยั้งเชื้อของสารยับยั้งเชื้อ HPQM สามารถเข้าไปออกฤทธิ์ที่ระดับผนังเซลล์ ส่งผลให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงลดลง นอกจากนี้เมื่อผนังเซลล์ยืดยาวทำให้เกิดรอยร้าวบริเวณผนังเซลล์ ทำให้ของเหลวภายในเซลล์ไหลออกมาภายนอก และทำให้เซลล์ตายในที่สุด [33] ดังรูปที่ 2.12 (ก) และยับยั้งการสังเคราะห์ ดีเอ็นเอ (DNA) ของเซลล์แบคทีเรีย โดยยับยั้งสารดีเอ็นเอไกลเลส (DNA gyrase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ทำหน้าที่คลายเกลียวของดีเอ็นเอที่ขดกันแน่น (Negatively supercoiled DNA) ในกระบวนการจำลองแบบของโครโมโซมแบคทีเรียเพื่อแบ่งเซลล์ แสดงดังรูปที่ 2.12 (ข) ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนได้ [15]



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.12 กลไกการยับยั้งเชื้อของสารยับยั้งเชื้อ HPQM โดย (ก) สารยับยั้งเชื้อ HPQM ยับยั้งการสังเคราะห์ผนังเซลล์แบคทีเรีย และ (ข) สารยับยั้งเชื้อ HPQM ยับยั้งการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ [15]

2.6 การดูดซับ และสารดูดซับ

2.6.1 การดูดซับ

กระบวนการดูดซับสารเป็นกระบวนการที่ใช้แยกสารที่ต้องการออกจากสารผสมในวัฏภาคของไหล (ของเหลว หรือ แก๊ส) โดยอาศัยการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารที่ต้องการแยก ซึ่งเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) โดยกลไกการแพร่ไปสะสมอยู่บนพื้นผิวภายในสารดูดซับ (Adsorbent) ทำให้

ความหนาแน่นหรือความเข้มข้นของสารดูดซับบนผิวของแข็งมีค่าสูงกว่า ในบริเวณที่ไกลออกไป ในวัฏภาคของไหล การดูดซับนี้เกิดขึ้นได้จากแรงกระทำ (Interaction force) ระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับและสารถูกดูดซับ

โดยรูปที่ 2.13 แสดงภาพรวมของกระบวนการดูดซับสารซึ่งประกอบด้วย

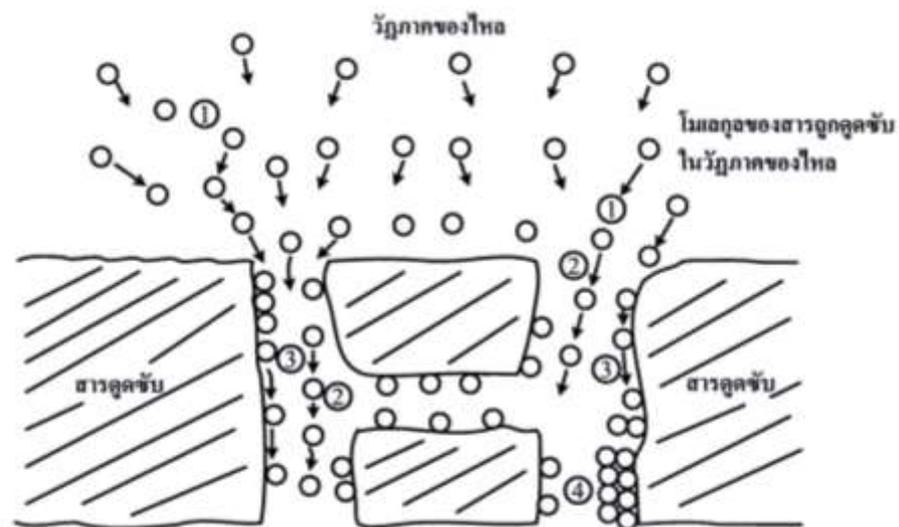
ขั้นตอนที่ (1) การถ่ายโอนมวลของสารถูกดูดซับจากของไหลไปยังตำแหน่งพื้นผิวภายนอก
สารดูดซับ

ขั้นตอนที่ (2) การแพร่ภายในช่องว่างของรูพรุนสารดูดซับ (Pore diffusion)

ขั้นตอนที่ (3) การแพร่ไปบนพื้นผิวภายในของรูพรุนสารดูดซับ (Surface diffusion)

ขั้นตอนที่ (4) การดูดซับบนตำแหน่งที่เหมาะสมบนพื้นผิว (Adsorption sites)

สำหรับปรากฏการณ์ที่เกิดในทิศทางตรงข้าม ได้แก่ การที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับเคลื่อนย้ายออกจากพื้นผิวภายในของสารดูดซับ เรียกว่า กระบวนการคายซับ (Desorption process) [42]



รูปที่ 2.13 แผนภูมิอย่างง่ายแสดงกระบวนการดูดซับที่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของสารดูดซับ [42]

- (1) การแพร่ของโมเลกุลไปยังพื้นผิวภายนอกของอนุภาคสารดูดซับ
- (2) การแพร่ภายในช่องว่างรูพรุน
- (3) การแพร่บนพื้นผิวภายใน
- (4) บริเวณที่เกิดดูดซับ

การดูดซับแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

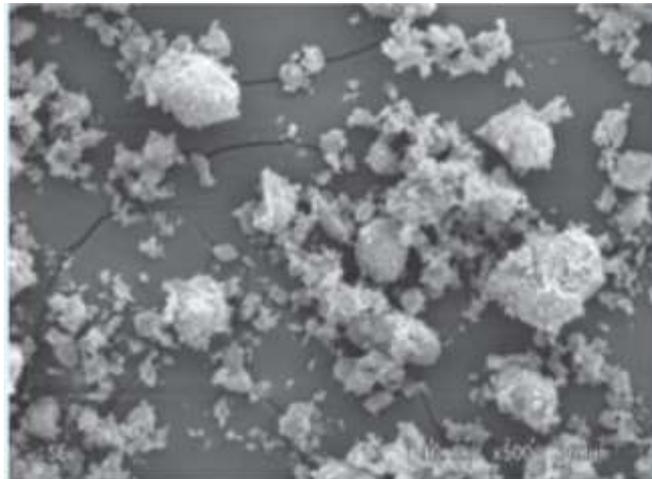
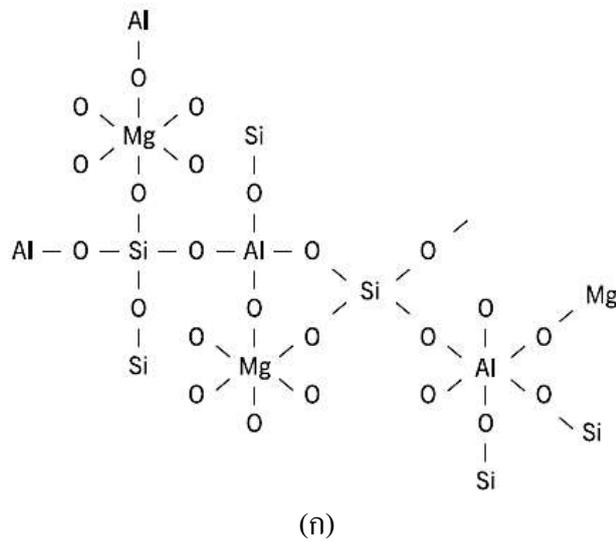
- การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) เป็นการเกิดแรงดึงดูดของโมเลกุลระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ อาจเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waal's Force) หรือแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) โดยถ้าสารดูดซับมีความเป็นรูพรุนสูง สามารถส่งผลให้ของเหลวหรือก๊าซที่ควบแน่นซึมผ่านเข้าสู่ช่องว่างของสารดูดซับภายในได้ ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิปกติ โดยการดูดซับทางกายภาพเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ ทำให้สามารถนำสารดูดซับที่ใช้งานจนอิ่มตัวแล้วกลับมาใช้ใหม่ได้อีก โดยการลดความดันหรือเพิ่มอุณหภูมิ สามารถส่งผลให้สารถูกดูดซับเคลื่อนที่ออกจากสารดูดซับ ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า การคายซับ (Desorption)

- การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง ซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพ โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารดูดซับกับสารถูกดูดซับเกิดเป็นพันธะเคมีและก่อให้เกิดเป็นสารประกอบใหม่ และการดูดซับทางเคมีไม่สามารถเกิดการคายซับได้ [43]

2.6.2 สารดูดซับนูซิลิน (Neusilin)

สารประกอบแมกนีเซียม อลูมิเนียมเมตาซิลิเกต (Magnesium Aluminometasilicate) $Al_2O_3 \cdot MgO \cdot 1.7SiO_2 \cdot xH_2O$ หรือ นูซิลิน (Neusilin) เป็นสารประกอบอนินทรีย์ มีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส สารนูซิลินประกอบไปด้วยโครงสร้างเตตระฮีดรอลและออกตะฮีดรอลของอลูมิเนียมกับออกซิเจน, เตตระฮีดรอลของซิลิกอนกับออกซิเจน และออกตะฮีดรอลของแมกนีเซียมกับออกซิเจน ที่รวมตัวกันอย่างไม่มีการจัดระเบียบที่แน่นอนเกิดเป็นสารประกอบแมกนีเซียมอลูมิเนียมเมตาซิลิเกต (Magnesium aluminometasilicate) ในรูปแบบอสัณฐาน (Amorphous) แสดงคั่งรูปที่ 2.14 (ก) นูซิลินไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย มีความสามารถในการดูดซับสูง ไม่ละลายน้ำและเอทานอล มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว น้ำหนักเบาดังรูปที่ 2.14 (ข) เมื่ออบแห้งมีความหนาแน่นประมาณ 0.15-0.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรความจุในการดูดซับน้ำและน้ำมันเท่ากับ 1.2 และ 1.4 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งสารนูซิลินได้รับการยอมรับทางด้านความปลอดภัยต่อมนุษย์ตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (USP-NF: The United States Pharmacopeia-National Formulary) [44] สารดูดซับนูซิลินมักถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านการผลิตยา เนื่องจากเป็นสารที่มี

ความสามารถในการดูดซับของเหลวในปริมาณที่สูง โดยไม่ส่งผลต่อสมบัติการไหลและการตอกอัด โดยนิยมนำมาใช้เป็นสารตัวช่วยปลดปล่อยยา [45]



รูปที่ 2.14 ลักษณะโครงสร้างทางเคมี และพื้นฐานวิทยาของสารนุซิลิน [44]

(ก) โครงสร้างทางเคมีของสารนุซิลิน

(ข) พื้นฐานอนุภาคนุซิลินจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.7 การเปลี่ยนแปลงสี

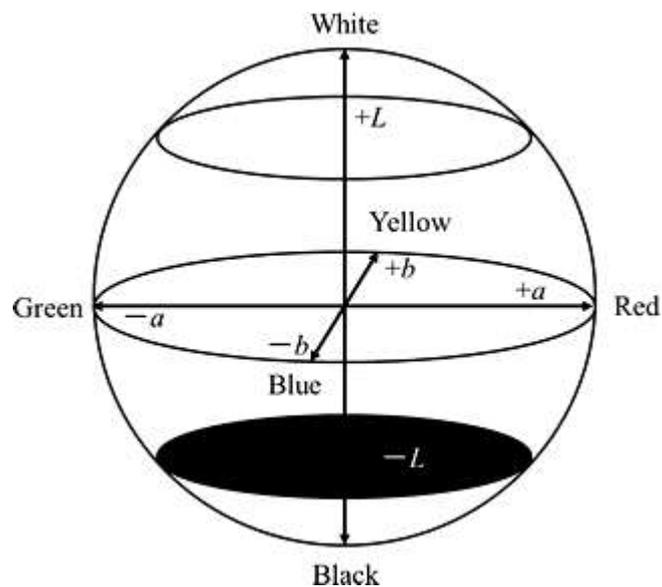
การวัดค่าสี ด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR Recording Spectrophotometer อาศัยหลักการของการสะท้อนของแสงที่ตกกระทบวัตถุ ซึ่งเครื่องตรวจจับแสงที่สะท้อนจากวัตถุ และคำนวณแสงสะท้อนออกมาเป็นค่าสี [29,46] โดยระบบ Hunter Lab เป็น Trichromatic system มี Tristimulus value เพื่อหาค่า L^* (lightness), a^* และ b^* โดย L^* เป็นค่าความสว่าง ที่มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยค่า L^* เท่ากับ 0 เป็นสีที่มืดที่สุด และเท่ากับ 100 เป็นสีที่สว่างมากที่สุด, ค่า a^* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือสีเขียว โดยถ้าค่า a^* เป็นบวกแสดงความเป็นสีแดง และเป็นลบแสดงความเป็นสีเขียวและค่า b^* เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน โดยถ้าค่า b^* เป็นบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และถ้าเป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน การที่ค่า a^* และ b^* มีค่าบวกและลบทำให้โครงสร้างของระบบถูกแบ่งเป็น 4 ส่วน (Quadrant) ดังรูปที่ 2.15 ได้แก่

Quadrant 1: yellow-green ($-a^*, +b^*$)

Quadrant 2: yellow-red ($+a^*, +b^*$)

Quadrant 3: red-blue ($+a^*, -b^*$)

Quadrant 4: blue-green ($-a^*, -b^*$)



รูปที่ 2.15 แกนเทียบสีมาตรฐานระบบ Hunter Lab [47]

2.8 การเปียกผิว

การเปียกผิว (Wetting) คือ ความสามารถของของเหลวในการรักษาหน้าสัมผัสกับพื้นผิวของแข็ง ซึ่งเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุล โดยการเปียกผิวขึ้นกับสมดุลระหว่างแรงยึดติด คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของไหลกับสารชนิดอื่น (Adhesion force) ทำให้ของเหลวกระจายตัวไปทั่วพื้นผิว และ แรงเกาะติดคือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของไหลชนิดเดียวกัน (Cohesion force)ทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นทรงกลม และไม่สัมผัสกับพื้นผิวของของแข็ง โดยค่าที่แสดงระดับการเปียกผิวคือ มุมสัมผัส (Contact angle, θ) ซึ่งมุมสัมผัสเป็นมุมระหว่างระนาบของปฏิสัมพันธ์ของของเหลว-ก๊าซกับระนาบของปฏิสัมพันธ์ของของเหลว-ของแข็ง มุมสัมผัสนี้เป็นผลมาจากสมดุลระหว่างแรงยึดติดกับแรงเกาะติด สำหรับมุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90° หมายถึง ค่าความสามารถในการกระจายตัว หรือการเปียกผิวของพื้นผิวอยู่ในระดับดี โดยของเหลวสามารถกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง ในขณะที่มุมสัมผัสที่มากกว่า 90° หมายถึง ความสามารถในการกระจายตัว หรือการเปียกผิวของพื้นผิว อยู่ในระดับที่ไม่ดี โดยของเหลวสามารถสัมผัสกับพื้นผิวของแข็งเพียงเล็กน้อย และก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง ซึ่งตารางที่ 2.2 แสดงค่ามุมสัมผัสต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการเปียกผิว สำหรับกรณีของเหลวเป็นน้ำ พื้นผิวที่มีค่ามุมสัมผัสต่ำถูกเรียกว่า Hydrophilic และพื้นผิวที่มีค่ามุมสัมผัสสูงเรียกว่า Hydrophobic พื้นผิวที่มีค่ามุมสัมผัสสูงอย่างยิ่งยวด (Superhydrophobic) ให้มุมสัมผัสที่มากกว่า 150° ทำให้มีหน้าสัมผัสระหว่างของเหลวและของแข็งน้อยมากๆ [29]

ตารางที่ 2.2 ค่ามุมสัมผัสต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการเปียกผิว [29]

มุมสัมผัส	ระดับการเปียกผิว	ความแข็งแรงของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง	
		ของเหลว/ของแข็ง	ของเหลว/ของเหลว
$\theta = 0^\circ$	ดีอย่างยิ่งยวด	แข็งแรง	อ่อนแอ
$0^\circ < \theta < 90^\circ$	ดี	แข็งแรง	แข็งแรง
		อ่อนแอ	อ่อนแอ
$90^\circ \leq \theta < 180^\circ$	ไม่ดี	อ่อนแอ	อ่อนแอ
$\theta = 180^\circ$	ไม่ดียิ่งยวด	อ่อนแอ	แข็งแรง

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Foroumadi และคณะ (2003) [48] ได้สังเคราะห์อนุพันธ์ของสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย N-[5-(5-nitro-2-thienyl)-1,3,4-thiadiazole-2-yl] piperazinyl quinolones และศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเปรียบเทียบกับสารประกอบ quinolone ชนิดอื่น ได้แก่ ciprofloxacin, norfloxacin และ enoxacin โดยพบว่าอนุพันธ์ที่สังเคราะห์ได้มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus*, *S. epidermidis* และ *B. subtilis* ได้สูงกว่า ciprofloxacin, norfloxacin และ enoxacin แต่มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบชนิด *K. pneumoniae*, *E. coli*, *P. aeruginosa* และ *E. cloacae* ที่ต่ำกว่า โดยพบว่าอนุพันธ์รหัส 7a-c สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีที่สุดโดยพบว่ามีค่า Minimum Inhibitory Concentration (MIC) ของอนุพันธ์ 7a-c สำหรับแบคทีเรียแกรมบวกมีค่าเท่ากับ 0.008-0.015 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

Foroumadi และคณะ (2005) [49] ได้สังเคราะห์สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย N-[2-(5-bromothiophen-2-yl)-2-oxoethyl] และ N-[(2-5-bromothiophen-2-yl)-2-oximinoethyl] ซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของ piperazinyl quinolones จากนั้นได้ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยพบว่าสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียอนุพันธ์รหัส 5a มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก ชนิด *S. aureus*, *S. epidermidis* และ *B. subtilis* และแบคทีเรียแกรมลบชนิด *K. pneumoniae*, *E. coli*, *P. aeruginosa* และ *E. cloacae* สูงที่สุด โดยพบว่ามีค่า MIC ของอนุพันธ์รหัส 5a ที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกมีค่าเท่ากับ 0.06-0.125 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และแบคทีเรียแกรมลบบมีค่าเท่ากับ 0.25-4 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

Seyfriedsberger และคณะ (2006) [50] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย บนพื้นผิวของวัสดุพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นที่ผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ poly(2-tert-butylaminoethyl) methacrylate หรือ TBAM โดยใช้เทคนิค Plate Count Agar ในการทดสอบ และพบว่าเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* มีค่าลดลงเหลือ 0 CFU/ml ตั้งแต่ปริมาณการผสมที่ร้อยละ 1.5 และ 5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

Gayani และคณะ (2009) [5] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดพอลิโพรพิลีน/พอลิเอทิลีน ที่เคลือบด้วยโปรตีนถั่วเหลืองผสมกับสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด allylisothiocyanate, trans-cinnamaldehyde, garlic oil และ rosemary oil ที่ความเข้มข้น 0.6 0.8 1.0 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรทดสอบโดยบรรจุผักสดชนิดต่างๆ ในซิ๊นงาน ซึ่งเป็นถุงที่เคลือบ

โปรตีนถั่วเหลืองผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไวด้านใน แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน และศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งพบว่าสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิด Allyl isothiocyanate ทุกปริมาณการผสมมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสูงที่สุด โดยพบปริมาณเชื้อแบคทีเรียทดสอบที่เหลือภายในบรรจุภัณฑ์น้อยที่สุด

Chollet และคณะ (2009) [51] ได้ทำการศึกษาโดยการเคลือบสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดไนซิน (Nisin) บนแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จากนั้นนำชิ้นงานฟิล์มเคลือบที่ได้ทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติด้านการซึมผ่านของไอน้ำ สมบัติเชิงกล และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เมื่อทำการเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ไม่ผ่านการเคลือบและเคลือบผิวพบว่าชิ้นงานฟิล์มเคลือบที่ได้ มีความหนาฟิล์มที่เพิ่มขึ้น 50 ไมโครเมตรเมื่อเทียบกับฟิล์มเปล่า การเคลือบไนซิน (Nisin) บนฟิล์มพอลิเอทิลีน ไม่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติด้านการซึมผ่านของไอน้ำและสมบัติเชิงกล และพบว่าชิ้นงานฟิล์มเคลือบมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่ารัศมีการยับยั้งเชื้อเท่ากับ 9.3 มิลลิเมตร

Chamane และคณะ (2009) [8] ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลางที่ผสมสารยับยั้งเชื้อ 3 ชนิด ได้แก่ HPQM, Zeomic และ TROYSAN-S88 ทดสอบโดยเทคนิค Halo Test และ Plate Count Agar (PCA) พบว่าวัสดุที่ผสม HPQM มีรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมากที่สุด โดยมีขนาดเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของการผสม ในขณะที่วัสดุผสมสารยับยั้งเชื้อชนิด ZEOMIC ไม่พบรัศมีการยับยั้งเชื้อในส่วนของผลการทดสอบด้วยวิธี Plate Count Agar พบว่าวัสดุที่ผสม HPQM มีค่าร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* และ *S. aureus* เท่ากับร้อยละ 99.9 ตั้งแต่ปริมาณการผสมที่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ได้มีการศึกษาอิทธิพลของลักษณะของชิ้นงานทดสอบ พบว่าประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อชิ้นงานทดสอบมีพื้นที่ผิวที่มากขึ้น

Suppakul และคณะ (2011) [2] ทำการผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิด linalool และ methylchavicol ในฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ที่มีต่ออัตราการแพร่ของสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีในการวิเคราะห์ปริมาณของสารยับยั้งเชื้อที่

แพร่ออกจากชิ้นงาน ที่สภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกันตั้งแต่ 4 ถึง 25 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์สามารถแพร่ออกจากชิ้นงานเพิ่มขึ้น

Teptim และคณะ (2011) [10] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และสมบัติเชิงกลของยางซิลิโคนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ นาโนซิลเวอร์คอลลอยด์, Zeomic (อนุภาคเงินที่อยู่ในซีโอไลต์) และ สารละลาย HPQM โดยพบว่าชิ้นงานผสม HPQM มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียดีที่สุดจากสารทั้งสามชนิดโดยมีการลดลงของเชื้อ *E.coli* เท่ากับร้อยละ 99.9 ในขณะที่เชื้อ *S.aureus* เท่ากับร้อยละ 99.1 ที่ปริมาณการผสม 15 ส่วนในร้อยละของผลของสมบัติเชิงกล พบว่านาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ และ Zeomic ช่วยปรับปรุงให้ ความต้านทานต่อแรงดึง และการยืดตัวที่จุดขาด ของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ HPQM ไม่ส่งผลต่อสมบัติดังกล่าว และพบว่าสมบัติเชิงกลที่มีค่าเพิ่มขึ้นหลังการเติม Zeomic นั้นไม่ได้มีสาเหตุจากปริมาณ Crosslink เพียงอย่างเดียว แต่มีสาเหตุมาจากโครงสร้างที่มีความเป็นรูพรุนสูงของ Zeomic ทำให้โมเลกุลของยางสามารถแทรกตัวเข้าไปเกาะเกี่ยวพันกับ Zeomic และก่อให้เกิดการยึดเกาะกันทางกายภาพ ด้วยเหตุนี้จึงเกิดความต้านทานต่อแรงจากภายนอกระหว่างการทดสอบสมบัติเชิงกล

Chinkamonthong และคณะ (2012) [52] ศึกษาการบ่มเร่งสภาวะพอลิเอทิลีน และพอลิไวนิลคลอไรด์ ด้วยความร้อน และรังสีอัลตราไวโอเล็ตสลับกับไอน้ำ พบว่าการบ่มเร่งด้วยความร้อนไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของวัสดุพอลิเอทิลีน แต่พอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์นาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ และพบว่าการบ่มเร่งด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตสลับกับไอน้ำตามมาตรฐาน ASTM G154 ส่งผลให้วัสดุพอลิเอทิลีนที่ผสมสารนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ มีการเจริญของเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นในขณะที่กรณีของพอลิไวนิลคลอไรด์มีค่าลดลง ซึ่งในกรณีของชิ้นงานพอลิเอทิลีนเกิดจากแม้การเสื่อมสลายของผิวชิ้นงานส่งผลให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ภายใต้ผิวชิ้นงานสามารถแพร่ออกมาได้ แต่อนุภาคนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ถูกชะออกจากชิ้นงานด้วยไอน้ำเช่นกัน ส่งผลให้เชื้อแบคทีเรียมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และในกรณีของชิ้นงานพอลิไวนิลคลอไรด์เกิดจากในระหว่างการบ่มเร่งมีปริมาณอะตอมของคลอรีนเกิดขึ้นบริเวณผิวชิ้นงาน เนื่องจากปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของพอลิไวนิลคลอไรด์ ซึ่งอะตอมของคลอรีนช่วยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียส่งผลให้เชื้อแบคทีเรียมีการเจริญเติบโตลดลง

Yage และคณะ (2012) [3] ทำการผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ชนิดนาโนไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) ในฟิล์มพอลิเอทิลีน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่าเมื่อชิ้นงานพอลิเอทิลีนผสมนาโนไทเทเนียมออกไซด์ผ่านการให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าการให้รังสีระยะเวลาสั้นขึ้น ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากสารประกอบนาโนไทเทเนียมออกไซด์เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตคะตะไลต์ติก ออกซิเดชัน (Photocatalytic Oxidation) ทำให้เกิดเป็นอนุพันธ์อิสระของหมู่ไฮดรอกซิล (Reactive Hydroxyl Radical) ซึ่งทำปฏิกิริยากับผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรีย ส่งผลให้เกิดการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในรูปแบบสารคูดซับ และจากกลไกการยับยั้งของสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM ที่ผสมในพอลิเมอร์ออสซิลไกการแพร่เป็นหลัก ดังนั้น การพัฒนาให้สารยับยั้งเชื้อ HPQM อยู่ในรูปแบบสารคูดซับ ซึ่งมีแรงกระตุ้นดูตทางกายภาพระหว่างสารคูดซับและสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ HPQM อาจทำให้มีการแพร่ของสารยับยั้งเชื้อที่น้อยลง และส่งผลให้สารยับยั้งเชื้อเหลืออยู่ในชิ้นงานมากขึ้น และสามารถยับยั้งเชื้อได้ยาวนานหรือมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิโพรพิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ 2 รูปแบบคือ รูปแบบสารละลาย และรูปแบบที่อยู่ในสารคูดซับอนุชิลิน รวมทั้งสมบัติของ พอลิโพรพิลีนที่ผสมสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อนและหลังบ่มเร่ง อีกทั้งจากการศึกษาวิจัยในเบื้องต้นทำให้ทราบแนวทางการดำเนินงานวิจัยด้านการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียประกอบด้วย การวัดรัศมียับยั้งการเจริญของเชื้อ (Halo test) และการทดสอบด้วยเทคนิคนับเชื้อแบคทีเรียทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E2149 (Plate Count Agar) โดยเชื้อแบคทีเรียแกรมลบที่ใช้คือ *E. coli* และ แกรมบวกคือ *B. cereus* และสภาวะการบ่มเร่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM G154