รายงานฉบับสมบูรณ์
แผ่นรองปูพื้นกันลื่นต้านราและแบคทีเรียในห้องน้ำจากยางธรรมชาติสำหรับผู้สูงอายุ

โดยนาย ศิริวัฒน์ ระดาบุตรและคณะ

ฝ่ายหอสมุด สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พฤศจิกายน พ.ศ.2563

รายงานฉบับสมบูรณ์
แผ่นรองปูพื้นกันลื่นต้านราและแบคทีเรียในห้องน้ำจากยางธรรมชาติสำหรับผู้สูงอายุ

คณะผู้วิจัย

นาย ศิริวัฒน์ ระดาบุตร

สังกัด

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธาน

สนับสนุนโดยมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัยมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	1
บทสรุปผู้บริหาร	2
บทคัดย่อภาษาไทย	3
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	3
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	4
1. บทนำ	6
1.1 ที่มาและความสำคัญ	6
2. เนื้อเรื่อง	9
2.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	9
2.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย	9
2.3 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	9
2.4 สารเคมี อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	14
2.4.1 สารเคมี	14
2.4.2 วิธีการบดผสม	16
2.4.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบสมบัติเชิงกล	19
2.4.4 วิธีการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบการต้านเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย	20
2.4.5 เครื่องมือและสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ	21
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	23
3.1 ผลของสารตัวเติมที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล	23
3.2 ผลของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อสมบัติเชิงกลและการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย	23
3.2.1 ปริมาณ 1 phr ของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์	24
3.2.2 ปริมาณ 2 phr ของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์	24
3.3 ผลของนาโนซิงออกไซด์ต่อสมบัติเชิงกลและการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย	26
4.3.1 ปริมาณ 1 phr ของนาโนซิงออกไซด์	27
4.3.2 ปริมาณ 2 phr ของนาโนซิงออกไซด์	27
4. สรุปและข้อเสนอแนะ	29
5. เอกสารอ้างอิง	30
ภาคผนวก	32
6. ประวัตินักวิจัย	33

สารบัญ

	หน้า
7. ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ	34
8. รายงานการเงิน	35

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากความอนุเคราะห์ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุนพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมเพื่อสังคมผู้สูงวัยภายใต้ โครงการยกระดับสมรรถนะนักวิจัยไทย ประจำปีงบประมาณ 2562 และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยและเครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

บทสรุปผู้บริหาร

งานวิจัยนี้เพื่อปรับปรุงสมบัติการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียของยางธรรมชาติ เพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตแผ่นยางปูพื้นกันลื่นสำหรับผู้สูงอายุ สามารถทำโดยการบดผสมยางธรรมชาติกับสารเคมี อนุภาคซิงค์ และ ไทเทเนียมนาโนเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องผสม Internal mixer จากนั้นนำไปหาเวลาการคงรูป และเมื่อได้เวลาการคงรูปแล้วจึงนำไปขึ้นรูปและคงรูปด้วยเครื่อง compression molding ตามแม่พิมพ์ของเครื่องทดสอบที่จะนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล เมื่อได้ยางคงรูปแล้วจึงนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ดังนี้ ทดสอบความแข็ง ความต้านทานต่อแรงดึง การยุบตัวเนื่องจากแรงกด ความทนทานต่อการขัดถู และการเร่งการเสื่อมอายุ และนำแผ่นยางคงรูปไปทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียโดยนำไปทดสอบกับเชื้อ *Aspergillus niger, Escherichia* coli และ *Stephylococcus aureus* ทดสอบโดยการวางแผ่นยางบนจานอาหารที่มีเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย ในแบคทีเรียจะนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่วนเชื้อราจะบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จึงนำมาวิเคราะห์ผลโดยการวัดระยะของ Inhibition zone ที่เกิดขึ้นรอบแผ่นยาง จากผลการทดลองพบว่า ยางคงรูปที่ให้สมบัติเชิงกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น (มอก. 2377-2551) คือยางคงรูปที่บดผสมยางธรรมชาติ 100 phr กับสารตัวเติม calcium carbonate 80 phr ในระบบการคงรูปที่ใช้กำมะถัน และผลการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย พบว่า สูตรยางที่เติมนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ผลการยับยั้งที่ดีกว่าสูตรยางที่เติมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และแผ่นยางที่เติมอนุภาคนาโนทั้งสองชนิดสามารถยับยั้งเชื้อรา *A. niger* ได้เป็นอย่างดี แต่ในแบคทีเรียจะสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* เนื่องจากความแตกต่างของเยื่อหุ้มและผนังเซลล์ แบคทีเรียแกรมลบจะมีผนังที่หนาและซับซ้อนมากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก และมีเยื่อหุ้มชั้นนอกของ lipopolysaccharides และชั้น peptidoglycan สิ่งนี้จะช่วยป้องกันการดูดซึมของ ROS และไอออนไม่ให้ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และเข้าไปในเซลล์ได้ จากผลการทดลองสรุปได้ว่ายางคงรูปที่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น (มอก. 2377-2551) คือ ยางคงรูปที่บดผสมยางธรรมชาติ 100 phr กับ calcium carbonate 80 phr ในระบบการคงรูปด้วยกำมะถัน และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย สูตรยางที่เติมนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ผลที่ดีกว่าสูตรยางที่เติมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ทั้งในเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย แม้จะเติมอนุภาคนาโนในสูตรยางเพียง 1 phr ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสูตรยางที่ได้ทำการทดลองสามารถนำไปผลิตเป็นแผ่นยางปูพื้นกันลื่นในห้องน้ำต้านเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้

บทคัดย่อ

ยางแผ่นปูพื้นห้องน้ำที่ผลิตจากยางธรรมชาติมักจะเกิดปัญหาขึ้นจากการใช้งาน เนื่องจากมีเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียเกิดขึ้นบนแผ่นยางซึ่งเชื้อเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดโรคต่างๆได้ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะเติมสารที่สามารถยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียลงไปในยางธรรมชาติและเพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตแผ่นยางปูพื้นห้องน้ำโดยการออกสูตรยางปูพื้นให้ได้ตามมาตรฐานแผ่นยางปูพื้นตามมาตรฐานของยางแผ่นปูพื้น (มอก. 2377-2559) โดยการวิจัยจะทำการขึ้นรูปยางปูพื้นใช้ยางแท่งที่มีปริมาณสิ่งปนเปื้อนร้อยละ 5 และแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมหลังจากนั้นทำการคงรูปโดยกำมะถัน ในการวิจัยนี้ทำการแปรปริมาณ นาโนซิงค์ออกไซด์ และ นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ เพื่อปรับปรุงสมบัติการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียของยางธรรมชาติโดยจากการทดสอบสมบัติเชิงกลและการต้านแบคทีเรียและเชื้อราพบว่า ยางที่ขึ้นรูปมีสมบัติเชิงกลผ่านมาตรฐานแผ่นยางปูพื้นตามที่กำหนดและมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger* ได้เป็นอย่างดี และสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกง *Stephylococcus aureus* ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ *Escherichia coli* สำหรับอนุภาคนาโนทั้งสองชนิดนั้นสามารถยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้แม้ใช้เพียง 1 phr จากงานวิจัยจึงสรุปว่าสามารถนำสูตรยางที่ได้ไปใช้ในการผลิตแผ่นยางปูพื้นกันลื่นในห้องน้ำที่สามารถยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้

คำสำคัญ : ยางธรรมชาติ, ยับยั้งเชื้อรา, ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย, แผ่นยางปูพื้นกันลื่น

ABSTRACT

Fungi and bacteria can grow onto the rubber floor mat due to expose to high moisture and water. In addition, they can case to many infection and diseases. The researcher therefore has an idea to add substances that can inhibit fungi and bacteria into natural rubber, namely zinc oxide nanoparticles and titanium dioxide nanoparticles. The amount of nanoparticles was varied and added into rubber formulation. Natural rubber (STR5L) and calcium carbonate acting as filler were used in this study. Moreover, sulfur was used as curative. The mechanical properties of vulcanizate rubber was following Thai Industrial Standard Institute (TISI) (TIS 2377-2559: rubber flooring). The results show that mechanical properties of rubber flow mat was following the standard. In addition The ability to anti fungi was also obtained such as *Aspergillus niger*. The inhibition of Gram-positive bacteria such as *Stephylococcus aureus* was higher than that of Gram-positive bacteria such as *Escherichia coli*. Based on the results of the research, it can be concluded that rubber formulas can be used to produce non-slip rubber sheets in bathrooms that can inhibit mold and bacteria.

Keywords : Natural Rubber, Anti-fungi, Anti-bacteria, Non-slip rubber floor mats

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

NR	Natural rubber
S. aureus	*Staphylococcus aureus*
E. coli	*Escherichia coli*
A. niger	*Aspergillus niger*
NRLF	Natural rubber latex foam
R	Rutile
ROS	Reactive Oxygen Species
STR	Standard Thai Rubber
n-ZnO	Nano Zinc oxide
n-TiO_2	Nano Titanium dioxide
micro-ZnO	Zinc oxide microsized
ZnO-NPs	Zinc oxide nanoparticlesized
TiO_2-NPs	Titanium dioxide nanoparticlesized
phr	Part per hundred of rubber
มอก.	มาตรฐานอุตสาหกรรม

1. บทนำ

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) เป็นยางที่ได้มาจากต้น Hevea Brazilliensis ซึ่งมีต้นกำเนิดจากลุ่มแม่น้ำแอมะซอนในทวีปอเมริกาใต้ซึ่งเมื่อทำการกรีดต้นยางน้ำยางจะไหลมาซึ่งอยู่ในรูปสารคอลลอย น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวข้นและมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber content) ประมาณร้อยละ 30 แขวนลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifugation) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) เนื่องจากน้ำยางมีโปรตีน น้ำตาล ฟอสโฟไลปิด จึงเป็นสาเหตุทำให้แบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ได้เป็นก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และเกิดการบูดเน่าและส่งกลิ่นเหม็น การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ทั้งที่เป็นน้ำยางและยางแห้ง โดยสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย เส้นด้ายยางยืด ลูกโป่ง ยางล้อรถยนต์ แผ่นยางปูพื้น สายพานลำเลียง หรือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานก่อสร้างหรือวิศวกรรม ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางอันดับหนึ่งของโลกทั้งนี้หน่วยงานภาครัฐได้สนับสนุนให้มี การใช้ยางธรรมชาติในประเทศเพิ่มมากขึ้นโดยให้มีการเพิ่มการผลิตยางที่มีศักยภาพ พัฒนาผลิตภัณฑ์ยางโดย The Rubber Economist คาดการณ์ว่าการผลิตยางธรรมชาติของโลกจะเพิ่มขึ้นในอัตรา 3.7 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ในช่วงปี 2560-2562 สู่ระดับ 13.9 ล้านตันในปี 2562 การใช้ยางธรรมชาติจะเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ย 3 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ในช่วงปี 2560-2562 สู่ระดับ 13.75 ล้านตันในปลายปี 2562 ทางด้าน The Economist Intelligence Unit คาดการณ์ว่า การผลิตยางธรรมชาติของโลกจะยังคงขยายตัว 2 เปอร์เซ็นต์ในปี 2561-2562 ถึงแม้จะมีปรากฏการณ์ลานินญา ซึ่งก่อให้เกิดฝนตกชุกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และภาวะแห้งแล้งในภูมิภาคลาตินอเมริกา การใช้ยางธรรมชาติจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.3 เปอร์เซ็นต์ในปี 2561-2562 จากการซื้อรถยนต์มากขึ้นในประเทศเศรษฐกิจเกิดใหม่และการเติบโตของเศรษฐกิจโลก [1]

การใช้ยางพาราในอุตสาหกรรม ภายในประเทศประกอบด้วย

- ยางล้อ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าการส่งออกสูงสุดของประเทศในปี 2552 ได้แก่ ล้อรถยนต์ ล้อเครื่องบิน ล้อรถจักรยายนต์ ล้อรถจักรยาน และล้อรถอื่นๆทั้งยางนอกและยางใน รวมถึงยางอะไหล่รถยนต์
- ยางยืดและยางรัดของ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางธรรมชาติจำนวนมากในส่วนผสมยางยืดใช้ในอุตสาหกรรมตัดเย็บ เสื้อผ้าต่างๆ ส่วนยางรัดของก็ใช้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน
- ถุงมือยางทางการแพทย์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าส่งออกรองจากยางล้อ ถุงมือยางที่ผลิตในประเทศไทย ประกอบด้วย ถุงมือตรวจโรค และถุงมือผ่าตัด โดยมีน้ำยางข้นเป็นสารตั้งต้น
- รองเท้าและอุปกรณ์กีฬา รองเท้ายางและพื้นรองเท้าที่ทำจากยางธรรมชาติ รวมทั้งอุปกรณ์กีฬาบางชนิด มีส่วนผสมที่เป็นยางธรรมชาติและผลิตในประเทศไทย
- สายพานลำเลียง ใช้งานในการลำเลียงของหนักชนิดต่างๆ ผลิตภัณฑ์ยางกลุ่มนี้มีการนำเข้ามากกว่าการส่งออก
- ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางข้น

- สื่อการเรียนการสอน อุปกรณ์และสื่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะทางด้านการแพทย์ จะใช้วัสดุจำพวกยางและนำเข้าจากต่างประเทศ ให้ความรู้สึกในการปฏิบัติงานเหมือนของจริง ยางพาราสามารถนำไปใช้ผลิตสื่อการสอน การฝึก ปฏิบัติงานได้เป็นอย่างเช่นกันโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางฟองน้ำ เช่น โมเดลร่างกายมนุษย์, สัตว์ แขนเทียม สำหรับฝึกทางการแพทย์ เป็นต้น

- ยางรองคอสะพาน (Elastomeric Bearings for Bridges) หรือแผ่นยางรองคอสะพาน

- ยางกันชนหรือกันกระแทก (Rubber of Rubber Bumper) ใช้เป็นเครื่องป้องกันการเฉี่ยวหรือการกระแทก ของเรือ หรือรถเมื่อเข้าจอดเทียบท่า ใช้วัตถุดิบผลิตได้ทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์

- แผ่นยางปูอ่างเก็บน้ำ (Rubber Water Confine) เป็นผลิตภัณฑ์ยางที่สามารถใช้ยางธรรมชาติปูรองสระ เพื่อเก็บกักน้ำบนผิวดินที่เก็บน้ำไม่ได้ เช่น ดินปนทราย ดินลูกรัง ใช้เก็บกักน้ำสำหรับเกษตรกร ใช้งานในสนาม กอล์ฟและรีสอร์ท ใช้ในงานชลประทาน บ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่สามารถกักเก็บน้ำได้ โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้ในการปูสระกักเก็บน้ำสามารถใช้เป็นยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ หรือ พลาสติก หรือผ้าใบเคลือบยาง

- ฝายยาง (Rubber Dam) หรือเขื่อนยางส่วนใหญ่ผลิตจากยางสังเคราะห์

- แผ่นยางปูพื้น (Rubber Floor Mat) ส่วนใหญ่ผลิตจากยางธรรมชาติ ใช้ปูพื้นหรือทางเดินบนอาคาร โรงงาน สำนักงาน สนามบินใช้ได้ทั้งพื้นที่ราบและพื้นที่ลาดเอียง เพื่อป้องกันการลื่น และลดเสียงที่เกิดจากการเดินหรือการกระแทก[2] ในปัจจุบันคนไทยเสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้มสูงถึงปีละ 1,600 คน ซึ่งเป็นสาเหตุการตายอันดับสองในกลุ่มของการบาดเจ็บโดยไม่ตั้งใจ (Unintentional) รองจากการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุทางถนน โดย 1 ใน 3 มักพบในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป และความเสี่ยงจะเพิ่มสูงขึ้นตามอายุและปัญหาที่พบบ่อยของผู้สูงอายุที่ได้รับอุบัติเหตุดังกล่าวคือ กระดูกสะโพกแตกหักหรืออุบัติเหตุทางสมอง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มีอัตราการความพิการและอัตราการเสียชีวิตค่อนข้างสูงมาก ในแต่ละปี โดย 1 ใน 3 ของผู้สูงอายุมักประสบการลื่นล้ม และครึ่งหนึ่งลื่นล้มมากกว่า 1 ครั้ง ร้อยละ 10 ของการลื่นล้มทำให้กระดูกสะโพกหักร้อยละ 25 ของการบาดเจ็บกระดูกสะโพกเกี่ยวข้องกับการเสียชีวิต การลื่นล้มมักเกิดขึ้นในที่อยู่อาศัยโดยเฉพาะในห้องน้ำและบันไดด้วยเหตุนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะผลิตยางปูพื้นห้องน้ำกันลื่นสำหรับผู้สูงอายุ [3]

โดยทั่วไปวัสดุที่นำมาใช้ในงานพื้นห้องน้ำส่วนใหญ่ผลิตจาก กระเบื้อง ปูนซีเมนต์ และหินอ่อน เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้สามารถทำให้เกิดอันตรายจากการลื่นล้มได้ ปัจจุบันมีการใช้วัสดุจากพอลิเมอร์มาผลิตเป็นแผ่นปูพื้นส่วนใหญ่ผลิตจาก PVC พลาสติกผสมกับยาง ต่อมาจึงมีการประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) มาผลิตเป็นยางแผ่นปูพื้นสำหรับใช้งานในห้องน้ำ แต่อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติมีข้อด้อย ในด้านการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับความชื้น เนื่องจากยางธรรมชาติมีพันธะคู่จำนวนมากในโมเลกุล ซึ่งพันธะคู่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน ทำให้เกิดพันธะที่มีพลังงานต่ำ จึงเกิดการขาดของโมเลกุลได้ง่าย [4] เป็นผลให้เกิดปัญหาในการใช้งานของยางธรรมชาติที่ต้องสัมผัสกับความชื้น ความชื้นนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งเชื้อสำคัญที่พบ ได้แก่ Staphylococcus spp. ที่พบทั่วไปบนผิวหนัง เชื้อนี้ก่อโรคทางผิวหนังหรือสร้างสารพิษที่ทำให้เกิดอาหารเป็นพิษ บางชนิดเช่น Methicillin resistant Staphylococcus aureus (MRSA) เป็นเชื้อ S.aureus ที่ดื้อต่อยา Methicillin และมีชีวิตอยู่บนพื้นที่แห้งได้นานถึง 9 สัปดาห์

เชื้ออีกชนิดคือ Escherichia coli เป็นแบคทีเรียที่อยู่ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ และปะปนออกมากับอุจจาระ เป็นเชื้อที่เป็นสาเหตุหนึ่งของอาการท้องร่วงและอาหารเป็นพิษ อีกทั้งแบคทีเรียนั้นสามารถเข้าไปก่อโรคในแทบทุกระบบทั่วทั้งร่างกาย เนื่องจากแบคทีเรียแต่ละชนิดมีแหล่งที่อยู่ และกลไกการก่อโรคต่างกันไป ยกตัวอย่างระบบ/อวัยวะในร่างกายที่สามารถเกิดการติดเชื้อแบคทีเรียได้ ได้แก่ การติดเชื้อที่ผิวหนัง การติดเชื้อที่ระบบทางเดินหายใจ การติดเชื้อที่ทางเดินปัสสาวะ การติดเชื้อที่ทางเดินอาหาร การติเชื้อในกระแสเลือด เป็นต้น [5] ซึ่งโรคเหล่านี้ล้วนเป็นอันตรายต่อมนุษย์ และเชื้อเหล่านี้สามารถเจริญเติบโตได้บนผิวยางปูพื้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการลดข้อจำกัดดังกล่าว โดยการลดโอกาสการเกิดและเจริญเติบโตของเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งวิธีการในการลดการเกิดเชื้อมี 2 แบบ คือ การทำให้ยางต้านทานต่อเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียโดยการทำให้ผิวของยางสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ หรือเรียกว่า ซูเปอร์ไฮโดรโฟบิก (Superhydrophobic) แต่ยังอยู่ในขั้นตอนการวิจัย และอีกหนึ่งวิธี คือ การทำให้ยางมีสมบัติยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย โดยการเติมสารที่สามารถฆ่าหรือยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียลงไปในยาง ซึ่งวิธีการนี้ง่ายต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์และเป็นที่ยอมรับดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกวิธีการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียในการวิจัยครั้งนี้ โดยการนำสารยับยั้งเชื้อเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide nanoparticle) และนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide nanoparticle) เติมในยางธรรมชาติ (STR5L) จากรายงานนอกจากจะใช้งานดังกล่าวมาแล้วสารทั้งสองเมื่อทำให้มีขนาดอนุภาคเล็กลงจนเป็น Nano particle จะสามารถยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide nanoparticle) และนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide โดยเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียที่นำมาใช้ทดสอบ คือ Aspergillus niger, E. coli, S. Aureus. โดยเพื่อทำการออกสูตรยางให้เหมาะสำหรับการทำแผ่นยางคอมโพสิทกันลื่นสำหรับผู้สูงอายุที่สามารถต้านราและแบคทีเรีย [6]

2. เนื้อเรื่อง

2.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1.1 เพื่อทำการออกสูตรยางให้เหมาะสำหรับการทำแผ่นยางคอมโพสิทกันลื่นสำหรับผู้สูงอายุที่สามารถต้านราและแบคทีเรีย

2.1.2 เพื่อทำการขึ้นรูปแผ่นยางคอมโพสิทกันลื่นสำหรับผู้สูงอายุที่สามารถต้านราและแบคทีเรีย

2.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

2.2.1 ศึกษาการเตรียมแผ่นยางคอมโพสิตกันลื่นสำหรับผู้สูงอายุที่สามารถต้านราและแบคทีเรีย

2.2.2 ทำการออกสูตรยางที่เหมาะสม

2.2.3 ศึกษาผลของ silver และ copper นาโน ที่ทำงานร่วมกันที่ส่งผลต่อการต้านแบคทีเรีย

2.2.4 ออกแบบผลิตภัณฑ์และทำการขึ้นรูปแผ่นยางคอมโพสิตกันลื่นสำหรับผู้สูงอายุที่สามารถต้านราและแบคทีเรีย

2.3 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

คอมโพสิต เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยของผสมหรือเป็นการรวมกันของสารมากกว่า 2 ประเภทที่มีองค์ทางเคมีที่แตกต่างกันประกอบเข้าด้วยกันวัสดุที่ได้จะมีคุณสมบัติดีเป็นพิเศษ หรือลักษณะที่สำคัญบางอย่างแตกต่างกันออกไปจากเดิม โดยทั่วไปคอมโพสิตจะมีวัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (Matrix) ซึ่งจะอยู่ติดกันล้อมรอบอีกวัสดุหนึ่งเอาไว้ และวัสดุเสริมแรง (Reinforcement materials) ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักนั้น (Dispersed) วัสดุที่เป็นเนื้อหลัก จะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลักให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้นใย ก้อนอนุภาค หรือเกล็ด แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก (Base materials) อย่างโลหะ เซรามิกส์ หรือพอลิเมอร์ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกันทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงโดยรวมมากกว่า เมื่อเทียบกับความแข็งแรงของวัสดุแต่ละประเภทโดยลำพัง

วัสดุเชิงประกอบ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนได้แก่ เมทริกซ์ และ สารเสริมแรง ดังนั้นถ้าจำแนกวัสดุคอมโพสิตตามชนิดของวัสดุที่เป็นเมทริกซ์จะสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer matrix composite, PMC) เซรามิกคอมโพสิต (Ceramic matrix composite, CMC) โลหะคอมโพสิต (Metal matrix composite, MMC)

ประเภทของวัสดุคอมโพสิต

พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer matrix composites ,PMCs) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบเห็นได้ง่ายของคอมโพสิตกลุ่มนี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไฟเบอร์กลาสต่างๆ พอลิเมอร์คอมโพสิตมีพอลิเมอร์ซึ่งอาจจะเป็นพลาสติก หรือยางเป็นเนื้อหลัก และใช้วัสดุเสริมแรงได้หลายชนิด เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นลวดโลหะ เป็นต้น

เซรามิกคอมโพสิต (Ceramic matrix composites ,CMCs) เรารู้จักและคุ้นเคยกับคอมโพสิตกลุ่มนี้ดี คือ คอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก (ปูน กรวด ทราย เหล็กเส้น) เป็นตัวแทนที่พบเห็นได้ทั่วไป ขณะที่วัสดุเซรามิกคอมโพสิตรุดหน้า (advanced composite) มีเนื้อหลักเป็นเซรามิก และใช้วัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใย คอมโพสิตกลุ่มนี้มักนำมาใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เช่น กังหันใบพัดของเครื่องยนต์ไอพ่น เป็นต้น

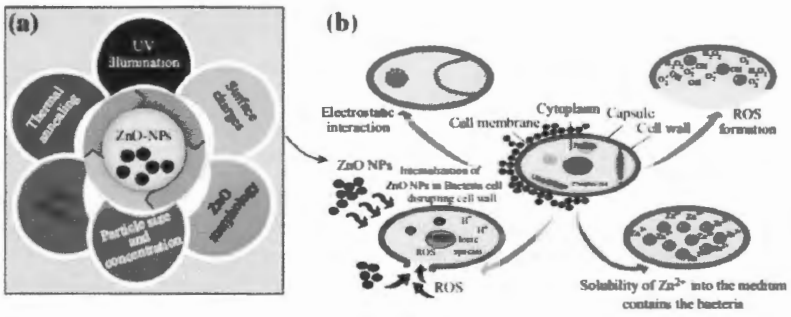
โลหะคอมโพสิต (Metal matrix composites, MMCs) คอมโพสิตกลุ่มนี้พบมากในผลิตภัณฑ์กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งคอมโพสิตกลุ่มนี้มีโลหะเป็นเนื้อหลัก เช่น อะลูมิเนียม เป็นต้น สำหรับวัสดุเสริมแรงของคอมโพสิตกลุ่มนี้เป็นวัสดุเซรามิกส์ เช่น กลุ่มคาร์ไบด์ กลุ่มไนไตรด์ เป็นต้น วัสดุคอมโพสิตสามารถจำแนกย่อยต่อไปได้อีกตามลักษณะของสารเสริมแรง ได้แก่ อนุภาค (Particle) เส้นใย (Fiber) และวิสเกอร์ (Whisker) [7]

โดยธรรมชาติ พอลิเมอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างเป็นหน่วยซ้ำเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงไม่สูงนัก มีความหนาแน่นต่ำและมีความทนทานต่อการกัดกร่อน การเสริมแรงให้พอลิเมอร์ทำได้โดยการเติมเส้นใยเสริมแรงลงในพอลิเมอร์ ให้เกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยทั่วไปเส้นใยเสริมแรงสำหรับวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์มักเป็น เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง เพื่อทำหน้าที่ในการรับและกระจายแรงกระทำ โดยวัสดุเชิงประกอบจะมีความแข็งแรงสูงที่สุดตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงการเสริมแรงนี้ ทำให้เมทริกซ์พอลิเมอร์ สามารถรับแรงกระทำได้สูงขึ้นโดยไม่เปลี่ยนรูปร่าง

สมบัติเชิงกลนี้จะเป็นสมบัติร่วมที่เกิดจากสมบัติของเมทริกซ์พอลิเมอร์และสมบัติของเส้นใยเสริมแรงประกอบกันทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าวัสดุพอลิเมอร์ เนื่องจากเส้นใยเสริมแรงทำหน้าที่รับแรงกระทำ แต่สำหรับระยะยืดสูงสุดนั้น วัสดุเชิงประกอบจะมีความสามารถในการยืดสูงสุดได้ไม่เกินระยะยืดสูงสุดของเส้นใยเสริมแรง สำหรับเมทริกซ์พอลิเมอร์ควรมีความเหนียวทนทานมากพอที่จะห่อหุ้มเส้นใยเสริมแรงไว้ สารเสริมแรงในรูปอนุภาคมีส่วนเสริมความแข็งแรงได้ไม่ดีเท่ากับรูปเส้นใยเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของสารเสริมแรง ส่งผลต่อการกระจายแรงจึงนิยมเรียกสารเสริมแรงในรูปอนุภาคว่าสารตัวเติม (Filler) วัสดุเชิงประกอบจะมีความแข็งแรงมากขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทำให้ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงต่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้สามารถนำวัสดุเชิงประกอบมาใช้สำหรับงาน โครงสร้างบางชนิดที่ต้องรับแรงกระทำที่ไม่สูงมากนักได้ เช่น เฟอร์นิเจอร์ต่างๆ สำหรับเมทริกซ์พอลิเมอร์สามารถแบ่งย่อยออกเป็นเมทริกซ์เทอร์โมเซตติง (Thermosetting matrix) และเมทริกซ์เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic matrix) ที่มีความแตกต่างกันในพฤติกรรมเชิงความร้อนของพอลิเมอร์โดยเทอร์โมเซตติงเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแหและมีสมบัติแข็งเปราะ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงโมเลกุลหรือการบ่มแล้วจะเกิดการคงรูปและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อีก ส่วนเทอร์โมพลาสติกเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้าง แบบเส้นหรือ แบบกิ่ง สามารถหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อนเหนืออุณหภูมิหลอมเหลว มีสมบัติเหนียวและทนทานต่อสิ่งแวดล้อม พฤติกรรมเชิงความร้อนนี้ จะมีผลต่อกระบวนการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ สำหรับเมทริกซ์เทอร์โมเซตติงการขึ้น

รูปวัสดุเชิงประกอบจะเป็นการผสมสารเสริมแรงให้เข้ากับมอนอเมอร์ในแม่พิมพ์ก่อนที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างแบบร่างแหและหลังจากที่ปฏิกิริยาสิ้นสุดวัสดุเชิงประกอบจะเกิดการคงรูปซึ่งจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อีก ในขณะที่การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบที่เมทริกซ์เป็นเทอร์โมพลาสติกนั้น จะใช้หลักการให้ความร้อนเหนืออุณหภูมิหลอมเหลวและขึ้นรูปก่อนที่จะทำให้เย็นตัวลงเพื่อเกิดการคงรูป โดยถ้าหลังจากคงรูปแล้วได้รับความร้อนอีกครั้งส่วนที่เป็นเมทริกซ์ก็จะสามารถหลอมเหลวได้อีก การที่จะเลือกใช้เมทริกซ์ชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติในการประยุกต์ใช้งานเป็นสำคัญ [8]

กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียและ bacteriostatic โดยมุ่งเน้นไปที่การสร้างปฏิกิริยาออกซิเจน (Reactive oxygen species :ROS) รวมถึงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2), OH^- (อนุมูลไฮดรอกซิล) และ O_2^{-2} (ซูเปอร์ออกไซด์) ROS เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับกลไกหลายประการรวมถึงความเสียหายของผนังเซลล์เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่าง ZnO การกำจัดปฏิสัมพันธ์, การซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ที่เพิ่มขึ้น, การทำให้เกิดปัญหาภายในเซลล์ของ NPs เนื่องจากการสูญเสียแรงดึงดูดของโปรตอน สิ่งเหล่านี้นำไปสู่ความอ่อนแอของไมโทคอนเดรีย การไหลภายในเซลล์และการปลดปล่อยของเซลล์ การออกซิเดชันซึ่งทำให้เกิดการยับยั้งการเติบโตของเซลล์และการตายของเซลล์ในที่สุด[9]



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง (a) อิทธิพลของพารามิเตอร์ ZnO-NP ที่จำเป็นต่อการตอบสนองต้านเชื้อแบคทีเรียและ (b) กลไกที่เป็นไปได้ที่แตกต่างกันของกิจกรรมต้านเชื้อแบคทีเรีย ZnO-NPs ได้แก่ : การก่อ ROS, Zn^{2+} การปลดปล่อยทำให้เป็น ZnO-NPs เข้าไปในแบคทีเรียและการเกิดไฟฟ้าสถิต

สำหรับ TiO_2-NPs จะเกิดกลไกการต้านเชื้อแบบเดียวกันกับกลไกของ ZnO-NPs และจะเกิดได้ดีเมื่อมีการฉายแสงอัลตราไวโอเลตเริ่มแรกส่งเสริมการเกิดออกซิเดชันขององค์ประกอบ[10] ผลกระทบของการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของ TiO_2 โดยทั่วไปเกิดจากการสลายตัวของเยื่อหุ้มชั้นนอกของแบคทีเรียโดยอนุพันธ์ของปฏิกิริยาออกซิเจน (ROS) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอนุมูลไฮดรอกซิล (OH) ซึ่งนำไปสู่การเกิด phospholipid peroxidation [11] ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางการแพทย์ในปัจจุบันทำให้นักวิทยาศาสตร์ออกแบบสารต้านแบคทีเรียสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ทั้งภายในและภายนอกทางการแพทย์ สิ่งนี้ช่วยเพิ่มความสามารถหลายรูปแบบตั้งแต่ความเจ็บป่วยเพราะการติดเชื้อไปจนถึงการเจริญเติบโตของพืชผล และพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ การใช้สารต้านแบคทีเรียได้เพิ่มอัตราการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต

ลดการสูญเสียในการเพาะปลูกและยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์เพื่อความสะอาดที่ดีขึ้น สำหรับพื้นผิวเฉพาะของผลิตภัณฑ์รวมถึงการใช้งานที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ชุดออกกำลังกายอาจต้องการการป้องกันที่มากขึ้นสำหรับการต้านแบคทีเรียในเหงื่อที่ทำให้เกิดคราบและกลิ่นในขณะที่สีผสมสำหรับห้องน้ำหรือห้องครัวอาจต้องการเน้นการป้องกันเชื้อราเพราะมีความชื้นเกิดขึ้นสม่ำเสมอด้วย

ในปี 2015 Hanafi Ismail และคณะ [12] ได้ศึกษาผลการต้านเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคนาโน Ag - doped TiO_2 ในโฟมยางธรรมชาติ ภายใต้สภาพแสงที่มองเห็นได้ การสังเคราะห์วัสดุนาโนต้านจุลชีพเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจซึ่งศึกษาโดยนักวิจัยจำนวนมากมานานหลายสิบปี วัสดุนาโนที่พบมากที่สุดซึ่งให้ฤทธิ์ต้านจุลชีพ ได้แก่ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอนุพันธ์, นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และ นาโนซิงค์ออกไซด์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์วัสดุโฟมยางธรรมชาติต้านจุลชีพ (NRLF) ด้วยการรวมตัวกันของอนุภาคนาโน TiO_2 Ti- doped Ag- doped NRLF ถูกผลิตขึ้นตามวิธีการผลิตที่รู้จักกันดีเรียกว่า "Dunlop" ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการทำ NRLF ของการปฏิบัติที่ผ่านมา อนุภาคนาโน Ti-2 ของ Ag-doped (Ag-TiO_2 NPs) ที่รวมอยู่ในโฟมยางธรรมชาติ (NRLF) แสดงให้เห็นว่ามีฤทธิ์ในการต้านจุลชีพที่ดีขึ้นภายใต้แสงที่มองเห็น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ Ag-TiO_2 NPs และการรวมตัวเป็น NRLF Ag-TiO_2 วัสดุ NRLF ที่ปรับปรุงแล้วได้รับการทดสอบโดยการวิเคราะห์ SEM-EDX, การวิเคราะห์ XRD และการทดสอบความไวต่อแบคทีเรีย NRLF ที่ผ่านการดัดแปลงพบว่ามีฤทธิ์ต้านจุลชีพในการต่อต้านเชื้อ *Staphylococcus epidermidis* และ *Staphylococcus aureus* เชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและ *Escherichia coli* (สายพันธุ์ HB101, DH5d) เชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ในงานวิจัยของเราก่อนหน้านี้เราพบว่าการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนเงินบริสุทธิ์สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราให้แก่ NRLF [13 -14] เมื่อเร็ว ๆ นี้เรารายงานว่าการรวมตัวกันของ ZnO นาโนสามารถเสริมฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของโฟมยางพาราธรรมชาติได้อย่างมาก

ในปี 2013 Warinthorn Chavasiri และคณะ[15] ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติการป้องกันรังสียูวีและต้านเชื้อแบคทีเรียของยางธรรมชาติ/rutile(R)-TiO_2 นาโนคอมพอสิต ในที่นี้ได้มีการสำรวจการเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของยางธรรมชาติ/คอมพอสิตนาโนคอมพอสิต (NR / n-TiO_2 (R)) ในการศึกษานี้การเตรียมอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ไดออกไซด์ (n-TiO_2 (R)) ได้รับการจัดทำขึ้นเป็นครั้งแรกโดย ultrasonication แล้วนำไปใช้กับยางธรรมชาติ (NR) การศึกษาอิทธิพลของ n-TiO_2 (R) ที่มีต่อประสิทธิภาพเชิงกลการป้องกันรังสียูวีและคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียที่มีต่อ *Escherichia coli* (*E. coli*) และ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ได้ถูกศึกษาเพื่อวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบคอมโพสิต NR และ NR / micro-TiO_2 (R) ก็ถูกจัดเตรียมและประเมินผลเช่นกัน จากการศึกษาพบว่าวัสดุเชิงประกอบนาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติ/rutile-TiO_2 (NR / n-TiO_2 (R)) ที่มีปริมาณของ n-TiO_2 (R) แตกต่างกัน n-TiO_2 (R) ที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ 73 nm ได้รับการเตรียมจาก micro-TiO_2 (R) NR ถูกผสมเข้ากับ n-TiO_2 (R) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีในคุณสมบัติเชิงกลเช่นเดียวกับการป้องกันรังสียูวีและคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรีย ประสิทธิภาพเชิงกลของคอมโพสิต NR/n-TiO_2 (R) ได้รับการปรับปรุงด้วยการเพิ่มปริมาณ n-TiO_2 (R) ให้สูงขึ้นถึงปริมาณที่เหมาะสมที่ 5 phr (สัดส่วนต่อร้อยส่วนของยาง) จากนั้นลดลง นอกจากนี้คอมโพสิต NR/n-

TiO_2 (R) ที่เตรียมไว้นั้นมีวัสดุป้องกันรังสียูวี ประเมินคุณสมบัติการป้องกันรังสียูวีของนาโนคอมพอสิตโดยการวัดแถบการดูดซับคาร์บอนิลจากสเปกตรัม ATR-FTIR, การแตกร้าวของพื้นผิวและคุณสมบัติเชิงกลหลังจากการฉายรังสียูวี การปรากฏตัวของ n-TiO_2 (R) แสดงถึงการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญด้วยการฉายรังสี UV เมื่อเทียบกับ NR ที่ไม่ได้บรรจุ n-TiO_2 (R) ที่สำคัญกว่านั้นคอมโพสิต NR/n-TiO_2 (R) แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพกับ *Escherichia coli* (*E. coli*) และ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ซึ่งเป็นคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียที่แข็งแกร่งของ nanocomposites ที่เตรียมไว้ ปริมาณ 1 phr ของ n-TiO_2 (R) ในคอมโพสิต NR/n-TiO_2 (R) ที่เตรียมไว้สามารถใช้เป็นวัสดุต้านเชื้อแบคทีเรียได้

ในปี 2014 H. Ismail และคณะ [16] ได้ศึกษาการเสริมฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของโฟมยางธรรมชาติโดยการผสมกันกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โลหะและออกไซด์ของโลหะเป็นสารต้านจุลชีพที่รู้จักกันดีมาเป็นเวลานาน หนึ่งในบรรดาโลหะต้านจุลชีพและอนุภาคออกไซด์ของโลหะหลายชนิดรวมถึง Silver, gold, aluminium, TiO_2, MgO และ CuO โลหะออกไซด์ต้านจุลชีพที่รู้จักกันดีและโดดเด่นมากเนื่องจากคุณสมบัติที่น่าทึ่งของพวกมัน แม้ว่ากลไกต้านเชื้อแบคทีเรียของนาโน ZnO ยังอยู่ระหว่างการตรวจสอบแต่วัสดุนาโน ZnO ได้แสดงกิจกรรมต้านจุลชีพที่ดีในการใช้งานและในผลิตภัณฑ์ต่างๆ กลไกที่สำคัญที่สุดในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดย ZnO คือการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จากการเกิดโฟโตคะตาไลติก การศึกษาบางชิ้นยังพบว่าการผลิตออกซิเจนปฏิกิริยา (ROS) โดยอนุภาคนาโน ZnO สามารถโต้ตอบกับเซลล์แบคทีเรียและทำให้เซลล์ตายได้ ในบทความนี้มีการอธิบายการสังเคราะห์และคุณสมบัติของอนุภาคนาโน ZnO ที่รวมอยู่ในเมทริกซ์ของโฟมยางธรรมชาติ (NRLF) ที่ถูกปรับเปลี่ยนและการควบคุม NRLF ถูกผลิตขึ้นตามวิธีการผลิตที่รู้จักกันดีคือวิธี Dunlop ซึ่งเป็นวิธีการที่เชื่อถือได้และประหยัดที่สุดในการทำ NRLF ตั้งแต่สมัยโบราณ การสังเคราะห์และการจำแนกลักษณะของโฟมยางธรรมชาติของ ZnO-nanoparticle ซึ่งเป็นส่วนประกอบของยาง (NRLF) ได้อธิบายไว้ในบทความนี้ อนุภาคนาโน ZnO ถูกเพิ่มเข้ามาเป็นสารก่อเจลปฐมภูมิโดยการแทนที่อนุภาค ZnO-microsized ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมของ NRLF ถูกสร้างขึ้นโดยไม่เพิ่มอนุภาค ZnO ใด ๆ กิจกรรมต้านเชื้อแบคทีเรียของตัวอย่าง NRLF ทดสอบทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยการทดสอบความไวต่อเชื้อ *Staphylococcus aureus* เชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและ *Escherichia coli* เชื้อแบคทีเรียแกรมลบ NRLF ที่แก้ไขโดย nanosized ZnO มีการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในลักษณะที่แข็งแกร่งมาก

ในปี 2013 Boonchai Seentrakoon และคณะ [15] ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของการป้องกันรังสี UV ที่เพิ่มขึ้นและการยับยั้งแบคทีเรียในยางธรรมชาติที่ผสมรูไทล์ เพราะคุณของยางธรรมชาติมีข้อเสียบางประการ เช่น พันธะคู่ในสายโซ่ของยางธรรมชาติ ทำให้เกิดความว่องไวต่อความร้อน และแสง UV เป็นต้น ข้อเสียนี้ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากเกิด photo-oxidation ในพันธะคู่ที่มีอยู่ในสายโซ่โมเลกุล ดังนั้น จึงได้เติมสารดูดซับรังสียูวี เช่น TiO_2 and ZnO นอกจากนี้ประสิทธิภาพของอนุภาคนาโน TiO2 ยังสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้อีกด้วย

ในปี 2003 Kayano Sunada และคณะ [17] ได้ศึกษาเกี่ยวกับกลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียบนแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยแสง พบว่า ปริมาณเซลล์ที่ยังมีชีวิตของเชื้อ E.coli บนพื้นผิวของฟิล์มลดลงตามฟังก์ชันของเวลา แต่ได้ผลที่ไม่ชัดเจนเมื่อทดสอบวัสดุที่เคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ในที่มืดหรือ

เมื่อใช้ conventional soda-lime glass (SLG) เป็นสารเคลือบผิวภายใต้การทดสอบด้วยรังสี UV แต่ในทางตรงข้าม เมื่อให้ความส่องสว่างบนฟิล์มที่เคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์แสดงให้เห็นการฆ่าเชื้อด้วยแสงเมื่อเซลล์มีความเข้มข้นเริ่มต้น 2x105 CFU/ml เซลล์ถูกฆ่าอย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 90 นาที ภายใต้สภาวะทดลอง

ในปี 2008 Yang Liu และคณะ [18] ได้ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการต้านเชื้อแบคทีเรียของฟิมล์ที่มีรูพรุน ได้ศึกษาฟิล์มคอมโพสิตนี้เกี่ยวกับการทำงานของการต้านเชื้อแบคทีเรียโดยใช้ fluorescence label method โดยใช้ E.coli เป็นเชื้อในการทดสอบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากพื้นที่ผิวที่สูง ผลึกมีขนาดเล็ก ทำให้ว่องไวต่อปฏิกิริยามาก ดังนั้น การเติม Ag สามารถปรับปรุงความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้

ในปี 2008 Chamorn Chawengkijwanich และ Yasuyoshi Hayata [19] ศึกษาเกี่ยวกับฟิล์ม oriented-polypropylene (OPP) ที่เคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้ในบรรจุภัณฑ์อาหาร บรรจุภัณฑ์นี้ได้รับการพัฒนาจากไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดของอนุภาคที่ต่างกันสองขนาด และทดสอบ E.coli ในหลอดทดลอง และทดสอบจริงภายใต้แสงประดิษฐ์สองชนิด คือ การทดสอบการยับยั้งเชื้อ E.coli ด้วยวิธีการใช้แสงเป็นตัวเร่งปกิกิริยาในการฆ่าเชื้อของฟิล์มเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ และการกระตุ้นด้วยแสง UVA จากหลอดแบล็คไลท์ด้วยพลังงานที่ค่อนข้างต่ำ ความเครียดออกซิเดชันที่เกิดจากอนุมูลอิสระของออกซิเจนภายในเซลล์ ซึ่งเกิดจากการทะลุผ่านของแสง UVA ทำให้เซลล์ของเชื้อ E. coli เสียหาย

ในปี 2018 T. Ali และคณะ [20] ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาและการยับยั้งการทำงานแบคทีเรียของอนุภาค Ti1-xAgxO2 (0.00 < x < 0.08) ถูกสังเคราะห์โดยวิธีโซลเจล ข้อมูลส่วนใหญ่ชี้ให้เห็นว่า อนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นตัวยับยั้งการทำงานแบคทีเรียที่ดีมาก เช่น E.coli, Pseudomonas aeruginosa, Klebsiella pneumoniae และ Enterobacter Cloacae

2.4 สารเคมี อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงสมบัติการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียของยางธรรมชาติ เพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตแผ่นยางปูพื้นกันลื่นสำหรับผู้สูงอายุ โดยทำการการบดผสมยางธรรมชาติกับสารเคมี ดัง **ตารางที่ 2.1**

2.4.1 สารเคมี

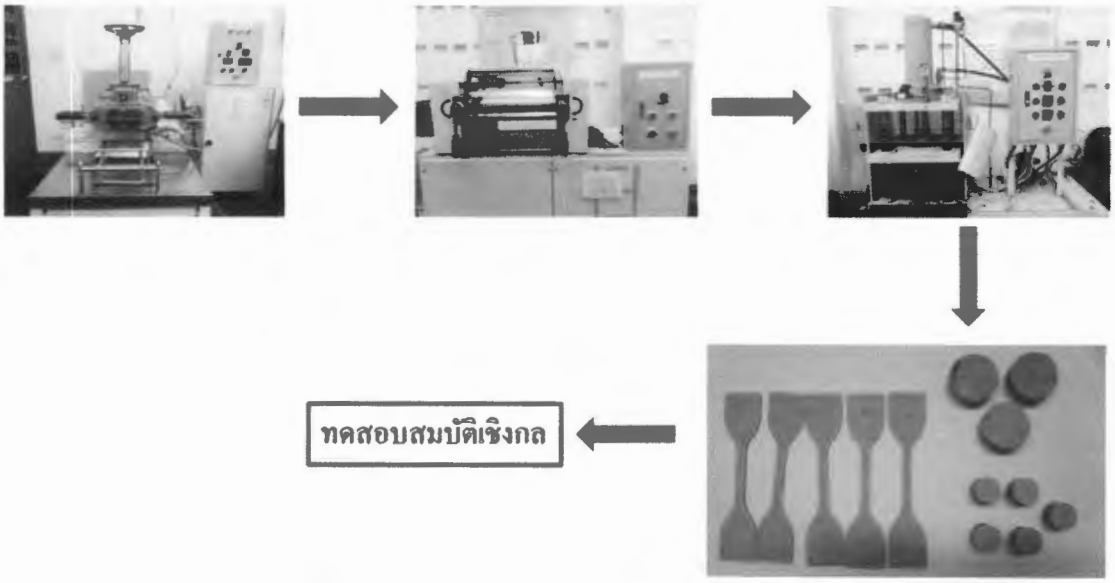
ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดและคุณลักษณะของสารเคมี

สารเคมี	คุณลักษณะ	ผู้ผลิต
ยางแท่ง STR 5L	ความหนาแน่น : 0.93 g/m^3 ลักษณะ : แท่งสีน้ำตาล	P J RUBBER CO.,LTD.
กรดสเตียริก (Stearic acid)	ความหนาแน่น : 0.85 g/m^3 ลักษณะ : ผงสีขาว	GSP Product Co.,LTD
ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	ความหนาแน่น : 5.60 g/m^3 ลักษณะ : ผงสีขาว	GSP Product Co.,LTD

สารเคมี	คุณลักษณะ	ผู้ผลิต
แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)	ความหนาแน่น : 2.71 g/m^3 ลักษณะ : ผงสีขาว	P J RUBBER CO.,LTD.-
ไดฟีนิลกัวนิดีน (DPG)	ความหนาแน่น : 1.19 g/m^3 ลักษณะ : ผลึกสีขาว	LINKWELL RUBBER CHEMICALS (QINGDAO) CO.,LTD.
ไดเบนโซไทอาซิลไดซัลไฟด์ (MBTS)	ความหนาแน่น : 1.54 g/m^3 ลักษณะ : ผงสีเหลืองอ่อน	CALDIC THAILAND LTD
น้ำมันพาราฟิน (Paraffin oil)	ความหนาแน่น : 0.90 g/m^3 ลักษณะ : ของเหลวใส	GSP Product Co.,LTD
ซัลเฟอร์ (Sulfur)	ความหนาแน่น : 2.0 g/m^3 ลักษณะ : ของแข็งสีเหลือง	GSP Product Co.,LTD
นาโนซิงค์ออกไซด์ (nano-ZnO)	ความหนาแน่น : 5.60 g/m^3 Nanopowder <100 nm particle size ลักษณะ : ผงสีขาว	Sigma-Aldrich Pte. Ltd.
นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (nano-TiO_2)	ความหนาแน่น : 4.26 g/m^3 Nanopowder 21 nm particle size ลักษณะ : ผงสีขาว	Sigma-Aldrich Pte. Ltd.
Potato dextrose agar (PDA)	เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วยมันฝรั่งและน้ำตาลเดกโทรส	HiMedia Laboratories Pvt. Ltd.
Nutrient agar (NA)	เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย โดยทั่วไปประกอบด้วย เปปโตน สารสกัดจากเนื้อ/สารสกัดจากยีสต์ วุ้น NaCl	HiMedia Laboratories Pvt. Ltd.
Muller Hinton broth (MHB)	เป็นสื่ออาหารเลี้ยงเชื้อ ประกอบด้วย สารสกัดจากเนื้อ เคซีน ไฮโดรไลสิต แป้ง วุ้น	HiMedia Laboratories Pvt. Ltd.
Escherichia coli	สายพันธ์ ATCC 25922	- หมายเหตุ เชื้อที่กล่าวมาพบได้ในสภาวะทั่วไปในอากาศ
Staphylococcus aureus	สายพันธ์ ATCC 25923	
Aspergillus niger	สายพันธ์ ATCC 6275	

2.4.2 วิธีการบดผสม

เตรียมยางธรรมชาติ STR 5L และสารเคมีในปริมาณที่แตกต่างกัน (แสดงดังตารางที่ 2.2) นำยางลงไปบดผสมในเครื่อง Internal Mixer (รูปที่ 2.3) โดยกำหนดความเร็วของโรเตอร์ 60 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศา เป็นเวลา 2 นาที แล้วเติมสารตัวกระตุ้น กรดเสตียริกและซิงค์ออกไซด์ ลงไปบดผสมอีก 2 นาที หลังจากนั้นจึงเติมสารตัวเติม แคลเซียมคาร์บอเนต น้ำมันพาราฟิน และสารยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย นาโนซิงค์ออกไซด์ หรือนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ลงไปแล้วบดผสมต่ออีก 2 นาที หลังจากนั้นจึงเติมสารตัวเร่งและสารวัลคาไนซ์ DPG, MBTS และซัลเฟอร์ บดผสม 2 นาที แล้วจึงนำยางที่บดผสมเสร็จแล้วออกจากเครื่องและนำไปรีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่อง Tow-Roll-Mill (รูปที่ 2.3) กระบวนการดังกล่าวแสดงใน รูปที่ 2.2 จากนั้นทิ้งให้เย็นแล้วนำไปเก็บในตู้แช่ เพื่อรอขึ้นรูปและนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติการต้านทานต่อเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการบดผสมและขึ้นรูปยางคอมปาวด์

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบสารเคมีและปริมาณที่ใช้ในการบดผสม

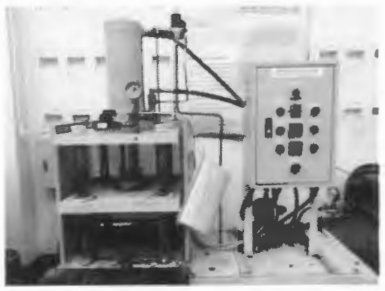
องค์ประกอบ	phr			
สูตรยาง	Control	Normal	nano-TiO_2	nano-ZnO
STR 5L	100	100	100	100
Stearic acid	1	1	1	1
ZnO	-	3	-	-
$CaCO_3$	80	80	80	80
Paraffin oil	5	5	5	5
DPG	0.3	0.3	0.3	0.3
MBTS	2.5	2.5	2.5	2.5
Sulfur	1	1	1	1
nano-TiO_2	-	-	1,2	-
nano-ZnO	-	-	-	1,2
รวม	189.8	192.8	190.8, 191.8	190.8, 191.8

รูปที่ 2.3 ลักษณะเครื่อง Internal Mixer

รูปที่ 2.4 ลักษณะเครื่อง Tow-Roll-Mill

2.4.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบสมบัติเชิงกล

ยางคอมปาวด์ที่ได้จากการบดผสมมาทดสอบเพื่อหาระยะเวลาในการคงรูปด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) พบว่า ยางคงรูปที่เวลา 12 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศา จากนั้นจึงนำยางคอมปาวด์ที่ทราบเวลาในการคงรูปมาขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression molding ตามแม่พิมพ์ของเครื่องทดสอบต่างๆ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะเครื่อง Compression molding

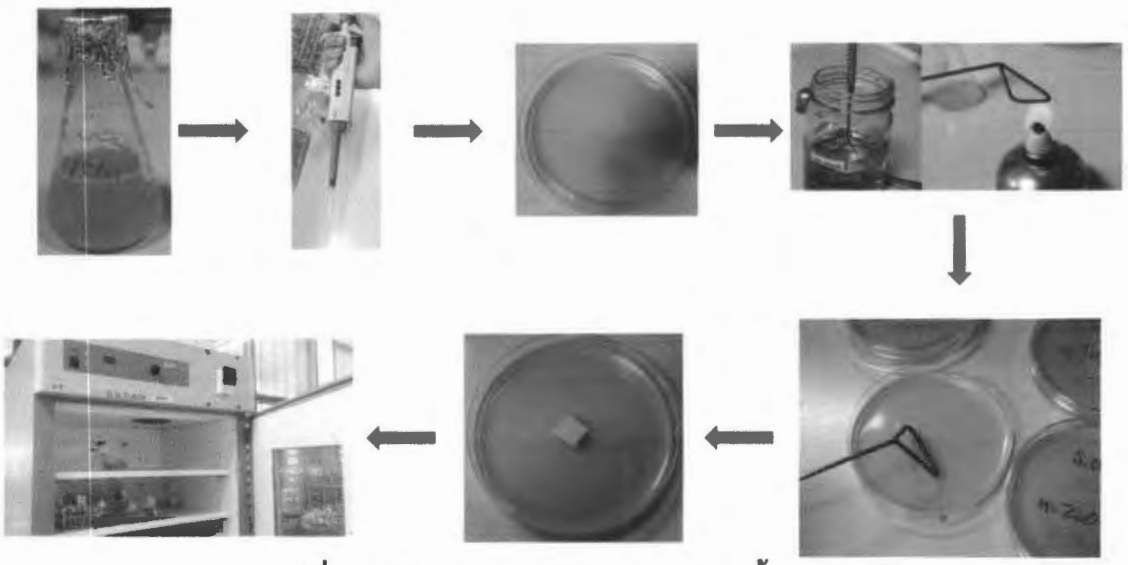
(a) (b)

(c)

รูปที่ 2.6 (a) ชิ้นทดสอบความต้านทานต่อการขัดถู (b) ชิ้นทดสอบ Compression set (c) ชิ้นทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Type C)

2.4.4 วิธีการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบการต้านเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย

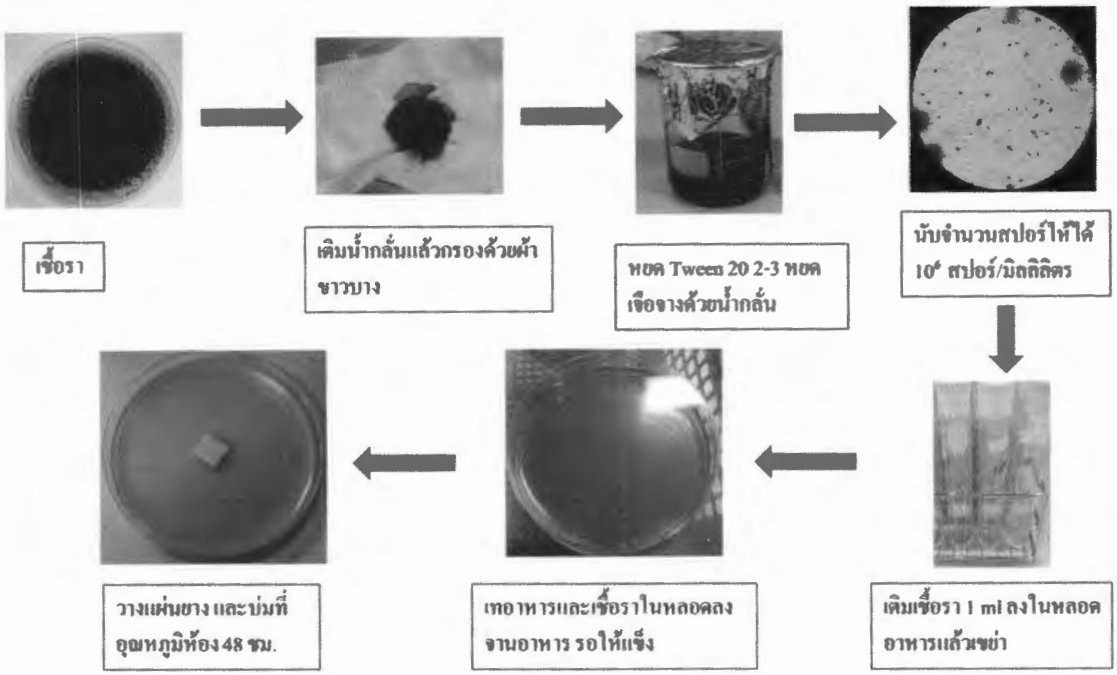
ขึ้นรูปยางคอมปาวด์ด้วยเครื่อง Compression molding โดยใช้แม่พิมพ์ของชิ้นทดสอบ Tensile strength แล้วตัดให้มีขนาด 1 ตารางเซนติเมตร (โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ) จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการต้านทานเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียกับเชื้อ *Aspergillus niger, Escherichia coli* และ *Stephylococcus aureus* โดยการวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้ทำตามที่อธิบายไว้ในวิธีการดังต่อไปนี้ เตรียม Mueller hinton Broth ไว้และเติมเชื้อ *S. aureus* ลงไปภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศา นาน 24 ชั่วโมง ในตู้บ่ม หลังจากบ่มจนครบเวลานำไปหาความเข้มข้น ให้ได้ 0.5 McFarland ด้วย OD600 จากนั้นนำ 100 ไมโครลิตร ของแบคทีเรียนั้นมาหยดและทำให้กระจายอย่างสม่ำเสมอบนจานวุ้น Muller Hinton วางชิ้นยางขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ลงบนจานเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 2.7 จากนั้นทำการสังเกตและบันทึกผลโดยการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย (Inhibition zone) ของแผ่นยางที่วางลงไป และทำขั้นตอนเดียวกันนี้กับเชื้อแบคทีเรีย *E. coli*



รูปที่ 2.7 วิธีทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรีย

การทดสอบประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา โดยนำเชื้อ *Aspergillus niger* มาเลี้ยงบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน จากนั้นเตรียมสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อรา (Spore suspension) ด้วยการเติมน้ำกลั่นปลอดเชื้อลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วใช้ห่วงเขี่ยเชื้อขูดสปอร์บนผิวหน้าอาหารนำไปกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกเอาเส้นใยของเชื้อราออก เติม Tween 20 จำนวน 2-3 หยด เขย่าให้เข้ากัน นำสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อราไปตรวจนับจำนวนสปอร์ด้วย Haemacytometer แล้วปรับด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อให้มีความเข้มข้นที่ 10^6 สปอร์/มิลลิลิตร ((จำนวนสปอร์/5) x (1/4) x10^6) ปิเปตสารแขวนลอยของเชื้อรา ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดอาหาร PDA ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกันด้วยเครื่อง Vorter Mixer จากนั้นเทลงบนอาหาร PDA ที่แข็งตัวแล้ว

ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อทิ้งไว้ให้อาหารแข็งและผิวหน้าอาหารแห้ง นำแผ่นยางที่เตรียมไว้มาวางบนผิวหน้าอาหาร และบ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ดังรูปที่ 2.8 ทำการสังเกตและบันทึกผลโดยการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของบริเวณการยับยั้งการเจริญเติบโต (Inhibition zone) ของเชื้อรา



รูปที่ 2.8 วิธีทดสอบประสิทภาพการต้านเชื้อรา

2.4.5 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

หลังจากทำการบดผสมยางกับสารเคมีเรียบร้อยแล้วจะต้องนำไปทดสอบหาสมบัติเชิงกลและประสิทธิภาพการต้านทาเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย โดยการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางมีดังนี้ สมบัติความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการสึกหรอ (Abrasion resistance) การยุบตัวเนื่องจากแรงกด (Compression set) การเร่งการเสื่อมอายุ (Ageing Deterioration) และความแข็ง (Hardness) (แสดงในตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติของยางคงรูป

เครื่อง	ผู้ผลิต	รุ่น
Universal Testing Machine (UTM)	CG Engineering Ltd.,Part.	A024A
DIN Abrasion	Go Tech Engineering Co Ltd	GT-7012-D
Compression set	CHAREON TUT Co.,Ltd.	PR1D-W280L280
Shore Durometer	B.N.C.TOOLING Co.,Ltd.	SLX-A
Moving Die Rheometer	MICRO VISION ENTERPRISES	577
VIS Spectrophotometer	Mesu Lab Instruments (Guangzhou) Co.,Ltd	ME-V1200

ตารางที่ 2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการคงรูปยาง

เครื่อง	ผู้ผลิต	รุ่น
Hot Air Oven	Becthai Bangkok Equipment & Chemical Co., Ltd.	VF260
Incubator	Sheldon Manufacturing, Inc.	1915
Internal Mixer	CHAREON TUT Co.,Ltd.	MX500-TQ
Tow-Roll Mill	CHAREON TUT Co.,Ltd.	ML-D200L450
Compression Machine	CHAREON TUT Co.,Ltd.	PR1D-W280L280

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลของสารตัวเติมที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล

3.1.1 ชนิดของสารตัวเติม

ผลการทดลองระหว่าง China Clay กับ Calcium carbonate ในปริมาณ 60 phr พบว่า China Clay ให้ความแข็งที่ 44±1 Shore A แต่ Calcium carbonate ให้ความแข็งที่ 48±1 Shore A ซึ่งใกล้เคียงกับมาตรฐาน มอก.2377-2551 ที่กำหนดและเป็นสารตัวเติมที่ช่วยเพิ่มปริมาณเนื้อยางคอมปาวด์ ช่วยลดต้นทุนจึงได้เลือกสูตรยางที่ใช้ Calcium carbonate เป็นสารตัวเติมมาทำการทดลองต่อในงานวิจัยครั้งนี้

3.1.2 ปริมาณของสารตัวเติม

ในการทดลองนี้ใช้ Calcium carbonate เป็นสารตัวเติมในสูตรยาง โดยทดลองด้วยการเปรียบเทียบปริมาณของสารตัวเติมเป็น 60 70 และ 80 phr ทำการบดผสมและขึ้นรูปเพื่อทดสอบความแข็งของยางแต่ละสูตร และมีผลการทดลองดังตารางที่ 3.1 ซึ่งความแข็งและสมบัติเชิงกลที่ต้องการตามมาตรฐาน มอก. 2377-2551 คือ สมบัติของสูตรยางที่มีปริมาณสารตัวเติม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกสูตรยางที่มีปริมาณสารตัวเติม 80 phr ไปทำการทดลองต่อในขั้นตอนถัดไป เนื่องจากได้มีการทดลองสัมผัสแล้วให้ความรู้สึกที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดสอบสูตรยางที่มีปริมาณสารตัวเติมแตกต่างกัน

สูตรยาง/สมบัติ	60 phr	70 phr	80 phr	มาตรฐาน มอก.
Hardness (Shore A)	46 ±1	48±1	49±1	50+5, -4
Tensile strength (MPa)	16±0.5	15±1	14±0.3	≥4
Compression set (%)	12±1	14±0.5	15±1	<40%
Abrasion (mm^3)	41.3245	40.3233	45.6557	<500

3.2 ผลของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อสมบัติเชิงกลและการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย

จากการทดลองเป็นการทดสอบการต้านเชื้อรา และ แบคทีเรีย ของยางธรรมชาติที่ผ่านการคงรูปโดยเติม Titanium nanoparticles ที่ปริมาณ 1 และ 2 phr ตามสูตรดังตารางที่ 3.2 จากผลการทดลองพบว่าค่าสมบัติเชิงกลที่ได้ผ่านมาตรฐานยางปูพื้น มอก. 2377-2551 และ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Titanium nanoparticles ที่เพิ่มขึ้นทั้งนี้เพราะ การเสริมแรงนอกจากจะขึ้นกับปริมาณของสารเสริมแรงยังขึ้นกับขนาดของสารตัวเติมซึ่ง Titanium nanoparticles มีขนาดนาโนมิเตอร์จึงจัดเป็นสารเสริมแรงด้วยเช่นกัน และนอกจากนี้ตามรายงานของ Yage Xing ยังสามารถต้านเชื้อราและแบคทีเรียได้อีกด้วย ซึ่งจากผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งจะปรากฏ Inhibition zone เกิดขึ้นโดยโซนนี้จะบ่งบอกถึงความสามารถในการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยาง โดยขนาดของโซนทำการวัดโดยวิธี วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Inhibition zone ที่เกิดขึ้นแล้วนำมาเฉลี่ยกัน และแสดงค่าในตารางที่ 3.3 พบว่า การต้านเชื้อราและแบคทีเรีย

มีแนวโน้วเพิ่มขึ้นตามเวลาและปริมาณการเติม TiO_2 nanoparticile (NPs) ถูกใช้เป็นสารยับยั้งสำหรับแบคทีเรียในวงกว้างรวมทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ คุณสมบัติของของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) NPs สามารถเกิดขึ้นได้ด้วยแสง ปฏิกิริยาโฟโตคะตาไลติกทำให้เกิดอนุมูลอิสระจาก TiO_2 NPs สิ่งนี้ก่อให้เกิดไฮดรอกซิลอนุมูลอิสระ (OH) ที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดออกซิเจนให้เป็นไอออนซูเปอร์ออกไซด์ (O_2^-) ออกซิเจนสามารถลดลงได้โดยตรงจาก TiO_2 NPs หรือลดลงทางอ้อมจากซูเปอร์ออกไซด์เพื่อผลิต O_2 กลไกนี้ผลิต ROS (OH, O_2^- และ O_2^-) สามประเภทที่สามารถรบกวนเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียและนำไปสู่การตายของเซลล์ OH• เป็น ROS หลักที่มีคุณสมบัติต้านแบคทีเรียและไวรัสของ TiO_2 NPs เนื่องจากการเกิด peroxidation อนุมูลอิสระเหล่านี้มีผลต่อ lipopolysaccharide, peptidoglycan และ phospholipid bilayers คุณสมบัติที่ขึ้นกับโฟโตคาตาไลติกของ TiO_2 นอกจากนี้พบว่าการต้านเชื้อราและแบคทีเรียแกรมบวกจะให้ผลดีมากกว่าแกรมลบทั้งนี้เป็นผลมาจากหลายปัจจัย ปัจจัยหลัก คือ ความแตกต่างในความหนาของเมมเบรน และความไวของเมมเบรนต่อ ROS แบคทีเรียแกรมบวกมีเยื่อหุ้มเซลล์และผนังประกอบด้วย peptidoglycans, teichoic acid และ lipoteichoic acid ที่เจาะได้ง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผนังเซลล์ที่ซับซ้อนของแบคทีเรียแกรมลบที่มีเยื่อหุ้มชั้นนอกของ lipopolysaccharides และชั้น peptidoglycan สิ่งนี้จะช่วยป้องกันการดูดซึมของ ROS และไอออนไม่ให้ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และเข้าไปในเซลล์ได้

3.2.1 นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 1 phr

จากการทดลองพบว่า ยางธรรมชาติที่ใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียในปริมาณ 1 phr ให้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลดังตาราง (แสดงดังตารางที่ 3.2) ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลให้ค่าการทดสอบที่เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 2377-2551 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ได้เล็กน้อยไม่ได้แตกต่างอย่างมียัยสำคัญจากสูตรยางที่ไม่ได้เติมอนุภาคนาโน เนื่องจากมีการเติมอนุภาคนาโนในปริมาณที่น้อย ผลการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยาง พบว่าแผ่นยางที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 1 phr สามารถยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้ (แสดงดังรูปที่ 3.1) ซึ่งจะสังเกตได้จากการปรากฏของโซนการยับยั้งรอบ ๆ แผ่นยาง (Inhibition zone แสดงดังตารางที่ 3.3) โดยรอบ ๆ แผ่นยางจะเกิดโซนยับยั้งขึ้นในส่วนนี้จะไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.2.2 นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 2 phr

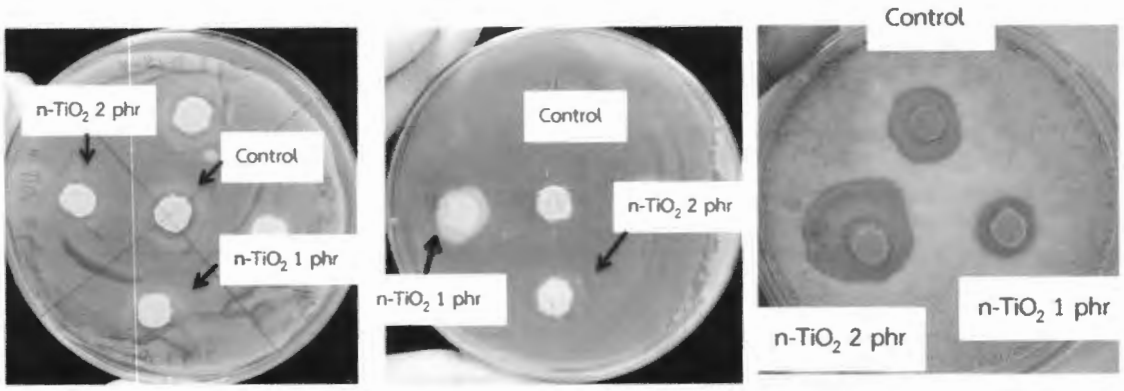
จากการทดลองพบว่า ยางธรรมชาติที่ใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียในปริมาณ 2 phr ให้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลดังตาราง (แสดงดังตารางที่ 3.2) ค่าการทดสอบสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสูตรที่เติมเพียง 1 phr จะเห็นได้ว่าสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มที่ดีขึ้นตามปริมาณของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นผลการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย (แสดงดังรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.3) พบว่าแผ่นยางที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 2 phr สามารถยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าแผ่นยางที่มีปริมานาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพียง 1 phr เนื่องจากปริมาณที่มากกว่าจึงทำให้เกิด Reactive oxygen species (ROS) ได้มากกว่าจึงสามารถยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้มากกว่า

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ใช้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียในปริมาณ 1 และ 2 phr

สมบัติเชิงกล	ผลการทดสอบ		มอก.
	1 phr	2 phr	
Hardness (Shore A)	49	50	50+5,-4
Tensile strength (MPa)	14.59	15.28	≥4
Elongation at break (%)	615	609	≥150
Compression set (%)	11.33	19.71	<40
Abrasion (mm^3)	35.0309	41. 6895	<500
Aging			
- Tensile strength (MPa)	13.46	14.07	-25%
- Elongation at break (%)	589	596	-50%
- Hardness (Shore A)	54	53	-5

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

สูตรยางคงรูป	Inhibition zone (mm)					
	Escherichia coli		*Staphylococcus aureus*		*Aspergillus niger*	
	48 h	72 h	48 h	72 h	48 h	72 h
Control	10.83	11.67	11	12.17	17	17.5
n-TiO_2 1 phr	10.67	11.5	14	16	14.5	15
n-TiO_2 2 phr	11	11	11.67	12.33	25.5	26



a) b) c)

รูปที่ 3.1 แสดงผลการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

a). ผลการยับยั้งเชื้อ *E. coli*

b). ผลการยับยั้งเชื้อ *S. aureus*

c). ผลการยับยั้งเชื้อ *Aspergillus niger*

3.3 ผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อสมบัติเชิงกลและการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย

จากการทดลองเป็นการทดสอบการต้านเชื้อรา และ แบคทีเรีย ของยางธรรมชาติที่ผ่านการคงรูปโดยเติม Zinc oxide nanoparticles ที่ปริมาณ 1 และ 2 phr ตามสูตรดังตารางที่ 3.4 จากผลการทดลองพบว่า ค่าสมบัติเชิงกลที่ได้ผ่านมาตรฐานยางปูพื้น มอก. 2377-2551 และ ความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนสมบัติอื่นๆ มีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจาก Zinc oxide NPs ไม่ใช่สารตัวเติมเสริมแรง แต่เป็นสารตัวกระตุ้นในสูตรยาง มีส่วนช่วยให้เวลาในการคงรูปยางสั้นลงแต่ไม่ทำให้สมบัติเชิงกลของยางดีขึ้น ผลการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย ของยางคงรูปที่เติม Zinc oxide NPs พบว่า สามารถยับยั้งได้ทั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย เกิดโซนการยับยั้งที่ชัดเจนทั้งในเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย แสดงดังรูปที่ 3.2 และขนาดของ Inhibition zone วัดได้ดังแสดงในตารางที่ 3.5 เนื่องจาก ZnO เป็นเซมิคอนดักเตอร์ ทำให้มีความไวต่อความยาวคลื่นสั้น เมื่อได้รับแสงคู่ของอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นบนพื้นผิวของ ZnO เหล่านี้ก่อให้เกิด ROS โดยเฉพาะ OH^-, H_2O_2 และ O_2^{2-} ดังนั้นเมื่อสัมผัสกับความยาวคลื่นสั้น (เช่นแสง) ทำให้เกิดการสร้าง ROS ที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถเข้าสู่เซลล์โปรคาริโอตและทำลายออร์แกเนลล์ต่างๆ นอกจากนี้การเกิด lipid peroxidation สามารถเกิดขึ้นได้บนเยื่อหุ้มแบคทีเรียทำให้ความสมบูรณ์ของเมมเบรนลดลงและส่งผลให้เกดการสลายเซลล์นอกจากนี้พบว่าการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกจะให้ผลดีมากกว่าแกรมลบทั้งนี้เป็นผลมาจากหลายปัจจัย ปัจจัยหลัก คือ ความแตกต่างในความหนาของเมมเบรน และความไวของเมมเบรนต่อ ROS แบคทีเรียแกรมบวกมีเยื่อหุ้มเซลล์และผนังประกอบด้วย peptidoglycans, teichoic acid และ lipoteichoic acid ที่เจาะได้ง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผนังเซลล์ที่ซับซ้อนของแบคทีเรียแกรมลบที่มีเยื่อหุ้มชั้นนอกของ lipopolysaccharides และชั้น peptidoglycan สิ่งนี้จะช่วยป้องกันการดูดซึมของ ROS และไอออนไม่ให้ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และเข้าไปในเซลล์ได้

3.3.1 นาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 1 phr

จากการทดลองพบว่า ยางธรรมชาติที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียในปริมาณ 1 phr ให้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลดังนี้ (แสดงดังตารางที่ 3.4) สมบัติเชิงกลที่ได้ไม่แตกต่างจากค่าสมบัติเชิงกลของสูตรที่ไม่มีอนุภาคนาโนเติมลงไป เนื่องจากมีการเติมอนุภาคนาโนเป็นจำนวนน้อยและเป็นสารชนิดเดียวกันกับที่ใส่ในสูตรยางควบคุมจึงไม่มีผลกับสมบัติเชิงกลผลการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย (แสดงดังรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.5) พบว่าสามารถยับยั้งได้ทั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย เกิดโซนการยับยั้งที่ชัดเจนทั้งในเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย

3.3.2 นาโนซิงออกไซด์ปริมาณ 2 phr

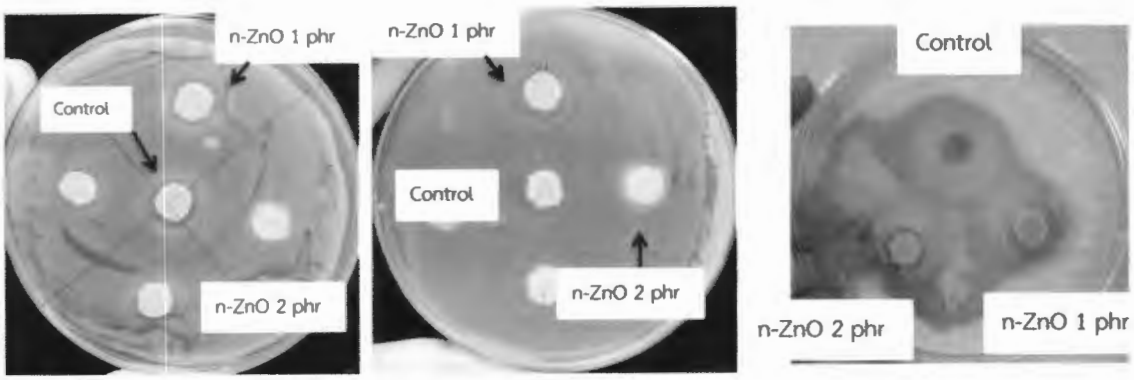
จากการทดลองพบว่า ยางธรรมชาติที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียในปริมาณ 2 phr ให้ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลดังนี้ (แสดงดังตารางที่ 3.4) สมบัติเชิงกลที่ได้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 2377-2551 และลดลงจากสูตรยางที่เติมอนุภาคนาโน 1 phr เล็กน้อยผลการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย (แสดงดังรูปที่ 3.2) พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้ โดยจะเกิดโซนการยับยั้งที่กว้างกว่าสูตรที่เติมเพียง 1 phr แสดงว่าสูตรยางที่เติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 2 phr มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าสูตรยางที่เติมนาโนซิงค์ออกไซด์เพียง 1 phr (แสดงดังตารางที่ 3.5)

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียในปริมาณ 1 และ2 phr

สมบัติเชิงกล	ผลการทดสอบ		มอก.
	1 phr	2 phr	
Hardness (Shore A)	49	50	50+5,-4
Tensile strength (MPa)	15.75	14.97	≥4
Elongation at break (%)	619	604	≥150
Compression set (%)	11.98	13.21	<40
Abrasion (mm^3)	46.6682	49.2719	<500
Aging			
- Tensile strength (MPa)	14.18	14.43	-25%
- Elongation at break (%)	605	593	-50%
- Hardness (Shore A)	54	53	-5

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียของนาโนซิงค์ออกไซด์

สูตรยางคงรูป	Inhibition zone (mm)					
	Escherichia coli		*Staphylococcus aureus*		*Aspergillus niger*	
	48 h	72 h	48 h	72 h	48 h	72 h
Control	10.83	11.67	11	12.17	17	17.5
n-ZnO 1 phr	11.17	12.17	11.67	12.83	18	19
n-ZnO 2 phr	9.83	10	11.67	11.83	36	36



a) b) c)

รูปที่ 3.2 แสดงผลการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียซิงออกไซด์นาโน

a). ผลการยับยั้งเชื้อ *E. coli*

b). ผลการยับยั้งเชื้อ *S. aureus*

c). ผลการยับยั้งเชื้อ *A. Niger*

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

ยางแผ่นปูพื้นห้องน้ำยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียสามารถเตรียมได้ด้วยการนำยางธรรมชาติมาผสมกับนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และใช้สารตัวเติมเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตจำนวน 80 phr มีความเหมาะสมที่สุดที่จะใช้เป็นยางปูพื้นกันลื่นในห้องน้ำ สามารถยืนยันได้จากการทดสอบความแข็ง (Hardness) ความต้านทานต่อแรงกดอัด (Compression set) ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistant) และสามารถยืนยันประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้ด้วยการทดสอบกับเชื้อรา *A. niger* และเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* และแกรมลบ *E. coli* โดยสังเกตจากโซนยับยั้ง (Inhibition zone) ที่เกิดขึ้นรอบๆแผ่นยาง พบว่าแผ่นยางที่ผสมกับอนุภาคนาโนทั้งสองชนิดสามารถยับยั้งเชื้อรา *A. niger* ได้เป็นอย่างดี และสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* แต่การยับยั้งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าในเชื้อ S. aureus ประสิทธิภาพการยับยั้งนี้เกิดขึ้นจากการที่อนุภาคนาโนทั้งสองชนิดสามารถแตกตัวแล้วเกิดเป็น Reactive Oxygen Species (ROS) ซึ่งเข้าไปทำปฏิกิริยากับผนังเซลล์ของเชื้อ ทำให้เซลล์เสียหายและตายในที่สุด นาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนไททาเนียมไดออกไซด์สามารถยับยั้งเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้แม้ใช้ในปริมาณต่ำเพียง 1 phr นอกจากนี้ได้ทำการทดลองกับไมโครซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ในสูตรยางมาตรฐาน พบว่าสมารถยับยั้งเชื้อราได้เป็นอย่างดีและสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้เล็กน้อย จึงสรุปได้ว่าแผ่นยางที่ผสมสารนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนไททาเนียมไดออกไซด์สามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นยางปูพื้นกันลื่นในห้องน้ำต้านทานเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียได้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] ยางธรรมชาติ. บทความวิทยาศาสตร์ (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2562 จาก www.electron.rmutphysics.com

[2] ประโยชน์ของยางพารา (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2562 จาก https://sites.google.com

[3] บุปผา จันทรจรัส. การป้องกันการหกล้มในผู้สูงอายุ. งานการพยาบาลผู้ป่วยออร์โธปิดิกส์ โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2562 จาก http://www.med.cmu.ac.th

[4] Polymer Properties Database (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 8 กุมภาพันธ์ 2562 จาก Polymerdatabase.com

[5] ติดเชื้อแบคทีเรีย ปัญหาสุขภาพที่ควรรู้ (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2562 จาก https:22www.honestdocs.co

[6] ผศ.ดร.ระพีพันธ์ แดงตันกี และคณะ. ยางธรรมชาติผสมซิลเวอร์และคอปเปอร์นาโนต้านเชื้อราและแบคทีเรียเพื่อประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ยางในห้องน้ำ. มหาวิยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2554.

[7] หฤทภัค กีรติเสวี, ฉัตรชัย วีระนิติสกุล และอภิรัตน์ เลาห์บุตรี. ภาพรวมวัสดุเชิงประกอบ (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2562 จาก https://www.lib.ku.ac.th/KU/2554/kejv022n070a008.pdf

[8] ผศ.ดร.ทรงกฎ อุตรา. วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

[9] Amna Sirelkhatim, Shahrom Mahmud, Azman Seeni, Noor Haida Mohamad Kaus, Ling Chuo Ann, Siti Khadijah Mohd Bakhori, Habsah Hasan, Dasmawati Mohamad. (2015) Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism. Nano-Micro Lett. 7(3):219–242

[10] Yage Xing, Xihong Li, Li Zhang, Qinglian Xu, Zhenming Che, Weili Li, Yumin Bai, Ke Li. (2012) Effect of TiO_2 nanoparticles on the antibacterial and physical properties of polyethylene-based film. Progress in Organic Coatings 73, 219– 224

[11] Sabriye Pişkin, Arzu Palantöken, and Müge Sari Yılmaz.(2013) Antimicrobial Activity of Synthesized TiO_2 Nanoparticles. International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET'2013)

[12] Indrajith U. Rathnayake, Hanafi Ismail, Channa R. De Silva, Nalin Dammika Darsanasiri, Indrani Bose.(2015) Antibacterial effect of Ag-doped TiO2 nanoparticles incorporated natural rubber latex foam under visible light conditions. Iran Polym J 24:1057–1068

[13] Rathnayake W, Ismail H, Baharin A, Darsanasiri A, Rajapakse S (2012) Synthesis and characterization of nano silver based natural rubber latex foam for imparting antibacterial and anti-fungal properties. Polym Test 31:586–592

[14] Rathnayake I, Ismail H, Azahari B, Bandara C, Rajapakse S (2013) Novel method of incorporating silver nanoparticles into natural rubber latex foam. Polym Plast Technol Eng 52:885–891

[15] Boonchai Seentrakoon, Banja Junhasavasdikul, Warinthorn Chavasiri.(2013) Enhanced UV-protection and antibacterial properties of natural rubber/rutile-TiO_2 nanocomposites. Polymer Degradation and Stability 98, 566-578

[16] W. G. I. U. Rathnayake, H. Ismail, A. Baharin, I. M. C. C. D. Bandara, Sanath Rajapakse.(2014) Enhancement of the Antibacterial Activity of Natural Rubber Latex Foam by the Incorporation of Zinc Oxide Nanoparticles. J. Appl. Polym. Sci. 131, 39601

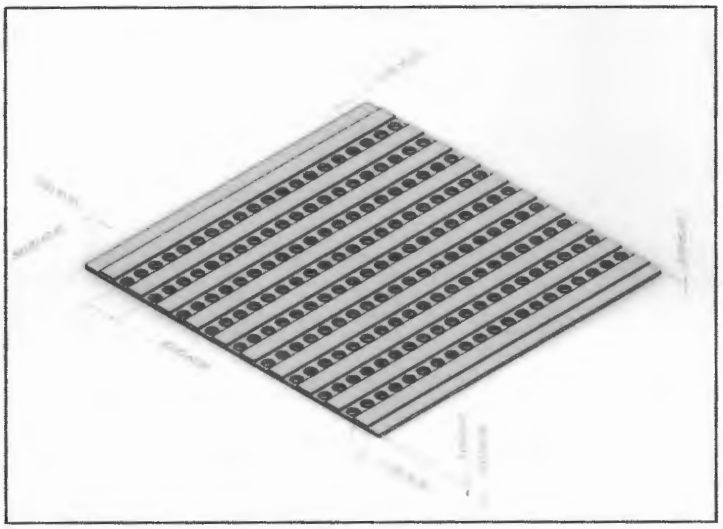
[17] Kayano Sunada, Toshiya Watanabe, Kazuhito Hashimoto, Studies on photokilling of bacteria on TiO_2 thin film, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 156 (2003) 227–233.

[18] Yang Liu, Xiaolei Wang, Fan Yang, Xiurong Yang, Excellent antimicrobial properties of mesoporous anatase TiO_2 and Ag/TiO_2 composite films, Microporous and Mesoporous Materials 114 (2008) 431– 439.

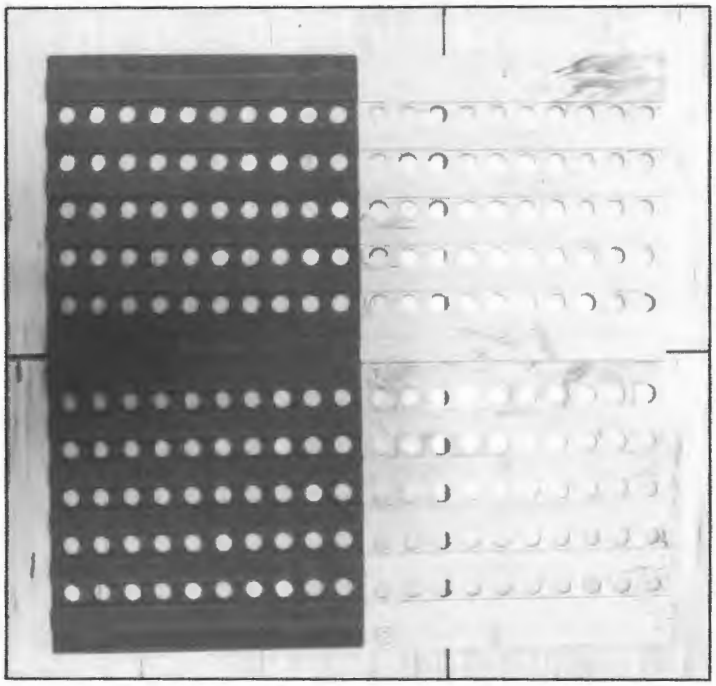
[19] Chamorn Chawengkijwanich, Yasuyoshi Hayata, Development of TiO2 powder-coated food packaging film and its ability to inactivate Escherichia coli in vitro and in actual tests, International Journal of Food Microbiology 123 (2008) 288–292.

[20] T. Ali, Ateeq Ahmed, Umair Alam, Imran Uddin, P. Tripathi, M. Muneer, Enhanced photocatalytic and antibacterial activities of Ag-doped TiO2 nanoparticles under visible light, Materials Chemistry and Physics 212 (2018) 325-335.

8. ภาคผนวก



ภาพ 3 มิติ (3D) แผ่นยางปูพื้นกันลื่นสำหรับผู้สูงอายุ



ตัวอย่างชิ้นงานแผ่นยางปูพื้นกันลื่นสำหรับผู้สูงอายุ

7. ประวัตินักวิจัย

1. นาย ศิริวัฒน์ ระดาบุตร

   Mr. Siriwat radabutra

2. 5340400117213

3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ 85 ถ.สถลมาร์ค ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190 โทรศัพท์ 045-353401, siriwatubu@gmail.com

5.

ระดับปริญญา	สาขาวิชา	ปีที่สำเร็จ	สถาบันที่สำเร็จการศึกษา
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์	พ.ศ. 2556	มหาวิทยาลัยมหิดล
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์	พ.ศ. 2551	มหาวิทยาลัยมหิดล
วิทยาศาสตรบัณฑิต	เคมี	พ.ศ. 2544	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

กาวและการยึดติด, การปรับแต่งพอลิเมอร์และยางธรรมชาติ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ

7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

1. โครงการการสังเคราะห์กาวโมเลกุลเล็กจากยางธรรมชาติ *(หัวหน้าโครงการ)*
2. ทุนการศึกษาของศูนย์นวัตกรรมทางเคมี โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและการวิจัยทางเคมี *(หัวหน้าโครงการ)*
3. โครงการการสังเคราะห์กาวสูตรน้ำที่ปลอดภัยสำหรับผู้สูงอายุ *(หัวหน้าโครงการ)*

7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทำเสร็จแล้ว : *(ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน ย้อนหลังไม่เกิน 5 ปี)*

International publication in ISI web of science

1. S. Radabutra, S. Saengsuwan, P. Khemtong, S. Sangya. Polymer bulletin, 77 (2020) 2737–2747
2. S. Radabutra, K. Mahasith, S. Saengsuwan, R. Jitchat. Journal of Adhesion Science and Technology. 32 (2018) 115-124
3. S. Radabutra, S. Saengsuwan, R. Jitchati, M. Kalapat. Journal of Adhesion Science and Technology, 31 (2017) 2682–2696

4. W. Klysuban, S. Thanawan and S. Radabutra, Nuclear Instruments and Method in Physic Research section A 582 (2007) 242-244.

5. S. Thanawan, S. Radabutra, P. Thamasirianunt, T. Amornsakchai and K. Suchiva, Ultramicroscopy 109 (2009) 189–192

6. S. Radabutra, S. Thanawan and T. Amornsakchai, European Polymer Journal 45 (2009) 2017–2022

7. ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

กิจกรรมช่วงเวลา (เดือน)	กิจกรรมช่วงเวลา (เดือน)										ผลงานที่จะได้จากกิจกรรม *
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. การเตรียมยางคอมปาวด์เพื่อให้ได้ความแข็งและสมบัติตามที่ต้องการ	x	x									แผ่นยางที่มีคุณสมบัติตามต้องการ
ผลที่ทำได้จริง	x	x									
2. ทดสอบความสามารถในการต้านราและแบคทีเรีย		x	x	x	x						แผ่นยางสามารถต้านราและแบคทีเรีย
ผลที่ทำได้จริง		x	x	x	x						
3. ออกแบบผลิตภัณฑ์				x	x	X	x				รูปแบบของผลิตภัณฑ์
ผลที่ทำได้จริง				x	x	X	x				
4. ออกแบบแม่พิมพ์และจัดทำแม่พิมพ์				x	x	X	x	x			แม่พิมพ์
ผลที่ทำได้จริง				x	x	X	x	x			
5. ทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จริง									x		ได้ผลิตภัณฑ์จริง
ผลที่ทำได้จริง									x		

8. รายงานการเงิน

รายการ	จำนวนเงิน
ค่าใช้สอย	
ค่าจ้างผู้ช่วยนักวิจัย 10*10,000 (ทำวิจัยและวิเคราะห์ผล)	100,000
ค่าเดินทางและที่พักเพื่อไปวิเคราะห์ตัวอย่างกรณีที่ต้องใช้เครื่องมือที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในมหาวิทยาลัย	10,000
ค่าเดินทางไปนำเสนอผลงาน	10,000
ค่าวัสดุ	
สารเคมี	25,000
สำนักงาน	5,000
รวมงบประมาณที่ใช้	**150,000**