ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ของสารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้

นายณัฐวัฒน์ วิทยาคุณสถิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

EFFICIENCY ON FUNGAL INHIBITION OF BENZALKONIUM CHLORIDE AND LEMONGRASS OIL ESSENTIAL ON POLYESTER FABRIC

Mr. Nattawat Wittayakunsathit

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ของสารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้
โดย	นายณัฐวัฒน์ วิทยาคุณสถิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.ธัญนุช เกรียงไกรพิพัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.ธัญนุช เกรียงไกรพิพัฒน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อัจฉริยา สุริยะวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภา ชินเวชกิจวานิชย์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ณัฐวัฒน์ วิทยาคุณสถิต : ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ของสารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้. (EFFICIENCY ON FUNGAL INHIBITION OF BENZALKONIUM CHLORIDE AND LEMONGRASS OIL ESSENTIAL ON POLYESTER FABRIC) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร.ธัญนุช เกรียงไกรพิพัฒน์, 102 หน้า.

ในปัจจุบันมนุษย์ใช้เวลาอยู่ภายในอาคารสถานที่ปิดเป็นส่วนมาก หากพิจารณาถึงอาคารสถานที่ปิดแล้ว โรงภาพยนตร์นั้นเป็นตัวอย่างหนึ่งของอาคารสถานที่ปิดที่มีผู้คนใช้บริการเป็นจำนวนมาก และเบาะที่นั่งภายในโรงภาพยนตร์ทำมาจากผ้าโพลีเอสเตอร์ ซึ่งมีองค์ประกอบที่เป็นอาหารของเชื้อรา เพราะฉะนั้นเชื้อราจึงเจริญเติบโตขึ้นบนเบาะที่นั่งนี้ได้ และก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์อีกด้วย ดังนั้นจึงต้องการหาสารยับยั้งเชื้อราที่เหมาะแก่การยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้เป็นสารยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์ต้องการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา อายุการใช้งาน และความเสียหายต่อผ้าโพลีเอสเตอร์ที่เกิดจากสารยับยั้งเชื้อราทั้งสอง งานวิจัยนี้ทำการทดลองตามวิธีมาตรฐาน AATCC Test Method 20-2008 30-2004 Section III และ 81-2006 ทำการทดลองผ้าโพลีเอสเตอร์ 2 ชนิดคือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ 35% (ผ้า TC) และ 100% (ผ้า TK) และเชื้อราในการศึกษาครั้งนี้คือ Aspergillus niger เนื่องจากเชื้อราในอากาศส่วนใหญ่เป็นเชื้อราชนิดนี้ โดยการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าสารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรามากกว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่ต้องใช้ความเข้มข้น 2% ซึ่งพิจารณาจากความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งเชื้อราได้และราคาของสารยับยั้งเชื้อรา และความเข้มข้นของสารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมแก่การยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK และ TC คือ 1% และ 5% ซึ่งมีอายุการใช้งาน 18 และมากกว่า 30 วัน ตามลำดับ นอกจากนั้นยังไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผ้า TK และ TC อีกด้วย เพราะฉะนั้นงานวิจัยนี้แนะนำให้ใช้สารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1% และ 5% ยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK และ TC ในชีวิตประจำวัน ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5570193821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEYWORDS: FUNGI / ANTIFUNGAL AGENT / INDOOR AIR QUALITY / POLYESTER FABRIC

NATTAWAT WITTAYAKUNSATHIT: EFFICIENCY ON FUNGAL INHIBITION OF BENZALKONIUM CHLORIDE AND LEMONGRASS OIL ESSENTIAL ON POLYESTER FABRIC. ADVISOR: ASSOC. PROF. SIRIMA PANYAMETHEEKUL,, PH.D.,THANYANUCH KRIANGKRAIPIPAT,, PH.D., 102 pp.

These days, people spend most of their time indoors. Cinema is one example of an indoor place being full of people at a time. Upholstery fabrics in cinema are made of polyester fabrics, which are main food of fungi. Besides, fungi naturally grow in high humidity condition, seem expected in cinema. Fungi then are concerned regarding human health effect. This study applied Benzalkonium Chloride (BKC) and Lemongrass essential oil to inhibit the fungal growth on polyester fabric. The concentrations of BKC and Lemongrass essential oil applied were varied from 1% to 25%. This research aims to seek minimum inhibitory concentration (MIC) and effective duration of both fungicides. The Polyester fabric 35% (TC) and 100% (TK) were determined according to AATCC Test Method 20-2008, 30-2004 Section III, and 81-2006. Moreover, we determined the damage of polyester fabric caused by both fungicides. Aspergillus niger was chosen for this experiment because it is a prevalent airborne fungi. This study indicates that BKC is more effective than 2%-Lemongrass essential oil regarding MIC and cost of fungicides. 1%-BKC and 5%-BKC are suitable to inhibit the fungal growth on TC and TK fabrics respectively. Effective duration of 1%-BKC and 5%-BKC are 18 and more than 30 days respectively. Furthermore, TK and TC fabrics are not damaged by 1%-BKC and 5%-BKC. So 1%-BKC and 5%-BKC would be recommended for practical use.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department:	Environmental Engineering	Student's Signature .....
Field of Study:	Environmental Engineering	Advisor's Signature .....
Academic Year:	2013	Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ ดร.ธัญนุช เกรียงไกรพิพัฒน์ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ทำวิจัยจึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณพ่อ แม่ และครอบครัว ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษามาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย หน่วยงานวิจัย Air Quality Control Management จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบพระคุณ คุณธนิต สิงหบุญพงศ์ คุณวัชรี จาดไร่ขิง และคุณกนกวรรณ ศรีนิธิ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการ ตลอดจนสอนใช้เครื่องมือปฏิบัติการในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่สละเวลามาให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 คุณภาพอากาศภายในอาคาร 4
2.1.1 มลพิษทางอากาศภายในอาคาร 4
2.1.2 อาการเจ็บป่วยที่เกิดจากมลพิษอากาศภายในอาคาร 7
2.2 เชื้อรา 8
2.2.1 สัณฐานวิทยา 8
2.2.2 โครงสร้างของเชื้อรา 8
2.2.3 การสืบพันธุ์ของรา 10
2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของรา 10
2.2.5 โรคที่เกิดจากเชื้อรา 11
2.2.6 เชื้อรา *Aspergillus niger* 12
2.2.7 กลไกการกำจัดเชื้อรา 12
2.3 ผ้าโพลีเอสเตอร์ 14
2.4 สารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ 16
2.4.1 คุณสมบัติ 17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.4.2 การนำไปใช้งาน 17
2.5 น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 18
2.5.1 ข้อมูลทางพฤษศาสตร์ 18
2.5.2 หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ 18
2.5.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหย 19
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21
บทที่ 3 แผนการดำเนินงานวิจัย 25
3.1 วัสดุและเคมีภัณฑ์ 25
3.1.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Mineral Salts Agar (MSA) 25
3.1.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวัด pH ของผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 25
3.1.3 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเชื้อรา 25
3.2 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ MSA 26
3.3 การวัด pH ของผ้า (AATCC, 2006) 26
3.4 การเตรียมเชื้อรา 26
3.5 วิธีการทดลอง 27
3.5.1 ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 27
3.5.2 ศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา 30
3.5.3 ศึกษาผลของสารยับยั้งเชื้อราต่อเนื้อผ้า 32
3.6 สรุปชุดทดลองในงานวิจัย 34
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล 35
4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 35
4.1.1 ผลการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บนผ้า โพลีเอสเตอร์ใหม่ 100% (TK) 35
4.1.2 ผลการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บนผ้า โพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% (TC) 42
4.1.3 เปรียบเทียบผลการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC ระหว่างผ้า TK และ TC 48
4.2 ผลการศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา 49
4.2.1 อายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK 49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.2.2 อายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC 50
4.3 ผลการศึกษาความเสียหายจากสารยับยั้งเชื้อราต่อเนื้อผ้า 51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 68
5.1 สรุปผลการวิจัย 68
5.2 ข้อเสนอแนะ 68
รายการอ้างอิง 69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 102

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 ระดับการยับยั้งเชื้อราและราคาของสารยับยั้งต่างๆ 2
ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติและลักษณะการใช้งานของผ้าชนิดต่างๆ 16
ตารางที่ 2-2 ความเข้มข้นของสารสกัดตะไคร้ในรูปแบบต่างๆที่ใช้ในการยับยั้งเชื้อรา 19
ตารางที่ 3-1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 27
ตารางที่ 3-2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา 30
ตารางที่ 3-3 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของสารยับยั้งเชื้อราต่อเนื้อผ้า 32
ตารางที่ 3-4 สรุปชุดการทดลองในงานวิจัย 34
ตารางที่ 4-1 ค่าความดันไอและจุดเดือดของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 39
ตารางที่ 4-2 ราคาของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK 42
ตารางที่ 4-3 ราคาของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC 46
ตารางที่ 4-4 เปอร์เซ็นต์ของ clear zone ที่ลดลงตามระยะเวลาต่างๆ 49
ตารางที่ 4-5 อายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้าชนิดต่างๆ 51
ตารางที่ 4-6 น้ำหนักผ้า TK และ TC เฉลี่ยเมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ 52
ตารางที่ 4-7 น้ำหนักผ้า TK และ TC ที่หายไปตามระยะเวลาต่างๆเมื่อเทียบกับน้ำหนักของวันที่ 1 53
ตารางที่ 4-8 ค่าความดันไอและจุดเดือดของสารยับยั้งเชื้อราและตัวทำละลาย 55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของเชื้อรา 9
ภาพที่ 2-2 *Aspergillus niger* 12
ภาพที่ 2-3 โครงสร้างของ Phospholipid 13
ภาพที่ 2-4 โครงสร้างของสารยับยั้งเชื้อรา benzalkonium chloride 13
ภาพที่ 2-5 ฟอสโฟลิปิดเกิดช่องว่างและการเรียงตัวผิดรูป 14
ภาพที่ 2-6 โครงสร้างทางเคมีของโพลีเอสเตอร์ 14
ภาพที่ 2-7 ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% (TK) 15
ภาพที่ 2-8 ผ้าโพลีเอสเตอร์ 35% (TC) 15
ภาพที่ 2-9 โครงสร้างของ Quaternary Ammonium Compounds 16
ภาพที่ 2-10 สารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ 17
ภาพที่ 2-11 ตะไคร้ 18
ภาพที่ 2-12 น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 21
ภาพที่ 3-1 การนับจำนวนสปอร์เชื้อราด้วยวิธีฮีมาไซโตมิเตอร์ 27
ภาพที่ 3-2 แผนผังการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และ น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 29
ภาพที่ 3-3 แผนผังการศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา 31
ภาพที่ 3-4 กล้อง USB Digital Microscope 33
ภาพที่ 3-5 แผนผังการศึกษาผลของสารยับยั้งเชื้อราต่อเนื้อผ้า 33
ภาพที่ 4-1 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 100% ที่มี ความเข้มข้นของสาร BKC ต่างๆ 36
ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Clear zone ของผ้า TK และ ความเข้มข้นของสาร BKC 37
ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้า TK/TC และ ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ 38
ภาพที่ 4-4 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 100% ที่มีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ต่างๆ 40
ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Clear zone ของผ้า TK และความเข้มข้นของ น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 41
ภาพที่ 4-6 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ระหว่างสาร BKC และ น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 41

หน้า

ภาพที่ 4-7 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% ที่มี
ความเข้มข้นของสาร BKC ต่างๆ 43
ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Clear zone ของผ้า TC และ
ความเข้มข้นของสาร BKC 43
ภาพที่ 4-9 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% ที่
ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ต่างๆ 44
ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Clear zone ของผ้า TC และความเข้มข้นของ
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 45
ภาพที่ 4-11 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC ระหว่างสาร BKC และ
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 46
ภาพที่ 4-12 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK/TC และ
ความเข้มข้นของสาร BKC 48
ภาพที่ 4-13 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้า TK ที่มีสาร BKC 1%
อยู่ตามระยะเวลาต่างๆ 50
ภาพที่ 4-14 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้า TC ที่มีสาร BKC 5%
อยู่ตามระยะเวลาต่างๆ 51
ภาพที่ 4-15 เนื้อผ้ายึดติดกับจานอาหารเลี้ยงเชื้อพลาสติกเมื่อได้รับสารยับยั้งเชื้อรา 54
ภาพที่ 4-16 ลักษณะของผ้า TK เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 1 วัน 56
ภาพที่ 4-17 ลักษณะของผ้า TK เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 3 วัน 57
ภาพที่ 4-18 ลักษณะของผ้า TK เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 7 วัน 58
ภาพที่ 4-19 ลักษณะของผ้า TK เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 10 วัน 59
ภาพที่ 4-20 ลักษณะของผ้า TK เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 14 วัน 60
ภาพที่ 4-21 ลักษณะของผ้า TC เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 1 วัน 61
ภาพที่ 4-22 ลักษณะของผ้า TC เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 3 วัน 62
ภาพที่ 4-23 ลักษณะของผ้า TC เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 7 วัน 63
ภาพที่ 4-24 ลักษณะของผ้า TC เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 10 วัน 64
ภาพที่ 4-25 ลักษณะของผ้า TC เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 14 วัน 65
ภาพที่ 4-26 สภาพเส้นใยผ้า TK เมื่อได้รับสารยับยั้ง BKC ระยะเวลา 14 วัน
จากกล้อง SEM: (ก) ผ้าเปล่า (Control); (ข) น้ำกลั่น; (ค) BKC 1% 66
ภาพที่ 4-27 สภาพเส้นใยผ้า TC เมื่อได้รับสารยับยั้ง BKC ระยะเวลา 14 วัน
จากกล้อง SEM: (ก) ผ้าเปล่า (Control); (ข) น้ำกลั่น; (ค) BKC 5% 66

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

*1 หมายถึง เปรียบเทียบระดับการยับยั้งด้วยค่า MIC (Minimum Inhibitory Concentration) ในหน่วยเดียวกัน

*2 หมายถึง ทำการทดลองสารละลาย BKC ที่ความเข้มข้น 1×10^{-6} 2×10^{-6} 4×10^{-6} และ 8×10^{-6} % ในการทดลองที่ 1 และ 3 แต่ผลการทดลองไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ จึงต้องเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารละลาย BKC เป็น 1 5 10 15 20 และ 25%

*3 หมายถึง ทำการทดลองน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่ความเข้มข้น 5×10^{-5} 1×10^{-4} 2×10^{-4} และ 5×10^{-4} % ในการทดลองที่ 1 และ 3 แต่ผลการทดลองไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ จึงต้องเปลี่ยนความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้เป็น 1 2 3 4 5 10 15 20 และ 25% และเนื่องจากผลการทดลองของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่ 15 20 และ 25% ไม่มีความแตกต่างกัน จึงลดจำนวนความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้เหลือ 1 2 3 4 5 และ 10%โดยผลการทดลองของสารยับยั้งทั้งสองอยู่ในภาคผนวก

*4 หมายถึง น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความต้องการความสะดวกสบายของมนุษย์นั้นเป็นสิ่งที่ไม่มีจุดสิ้นสุด จึงมีการพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆอย่างมากมายเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์เหล่านี้ จากแต่ก่อนที่เคยออกไปทำงานนอกสถานที่ (Outdoor) เช่น การค้าขาย ต้องออกไปขายของนอกสถานที่หรือกลางแจ้ง แต่ในปัจจุบันไม่จำเป็นต้องทำงานนอกสถานที่แล้ว เนื่องจากว่ามนุษย์ได้คิดค้นระบบต่างๆ เช่น อินเตอร์เน็ต (Internet) ทำให้เราสามารถติดต่อค้าขายกับลูกค้าได้โดยไม่ต้องออกไปนอกสถานที่เลย การใช้ชีวิตของคนในปัจจุบันส่วนใหญ่จึงอยู่ในสถานที่ปิด (Indoor) มากขึ้น คือ ใช้เวลาอยู่ในอาคาร 90% ของเวลาในแต่ละวัน โดย 30% ของอาคารทั่วโลกมีปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร (นภดนัย อาชวาคม, 2554) ดังนั้น สิ่งแวดล้อมภายในสถานที่ปิดจึงถือว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก

เชื้อราเป็นปัญหาหนึ่งที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและสุขภาพของมนุษย์ภายในสภาพแวดล้อมปิด โดยสามารถพบได้บริเวณที่มีอุณหภูมิ 25 – 30°C pH 5.5 – 6.0 และความชื้นสัมพัทธ์ >60% (พิไลพรรณ พงษ์พูล, 2525) ในการเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ของเชื้อราจำเป็นต้องมีแหล่งอาหาร นั่นคือ วัสดุอินทรีย์ เช่น ใบไม้ ไม้ กระดาษ เป็นต้น เชื้อราที่พบในสถานที่ปิดส่วนใหญ่ได้แก่ *Cladosporium Penicillium Aspergillus* และ *Alternatia* เราสามารถสังเกตว่าบริเวณใดมีเชื้อราได้ด้วยตาเปล่าโดยดูจากสีของวัสดุที่เปลี่ยนไป เช่น สีดำ เทา เขียว และมีกลิ่นอับชื้น พบมากบริเวณที่มีความชื้นสูงโดยเฉพาะในห้องปรับอากาศ ถ้าในห้องปรับอากาศมีเชื้อราอยู่ สามารถทำให้สปอร์ของเชื้อรากระจาย แล้วสัมผัสกับมนุษย์ผ่านทางการหายใจได้มากขึ้น มีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสุขภาพมาก (New York City Department of Health and Mental Hygiene, 2008) เช่น โรคภูมิแพ้ โรคปอดอักเสบจากเชื้อรา เป็นต้น

ภายในห้องปรับอากาศส่วนใหญ่ มักประกอบด้วยเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ซึ่งเบาะหรือโซฟาในห้องปรับอากาศส่วนใหญ่มักใช้ผ้าโพลีเอสเตอร์เนื่องจากมีราคาถูกและมี C H และ O เป็นองค์ประกอบ (March, 1997) เพราะฉะนั้นเบาะผ้าโพลีเอสเตอร์จึงเป็นแหล่งอาหารของเชื้อรา (Russell และคณะ, 2011) (Filip, 1979) เมื่อเบาะผ้าเกิดเชื้อราขึ้น หากไม่มีการซักล้าง เชื้อราที่เกิดขึ้นนอกจากเป็นแหล่งก่อมลพิษแล้วยังทำความเสียหายต่อเบาะได้เช่นกัน โดยเฉพาะเบาะที่ใช้ในเก้าอี้ในโรงภาพยนตร์

โรงภาพยนตร์จัดว่าเป็นสถานที่ที่มีการใช้เบาะผ้าโพลีเอสเตอร์เป็นจำนวนมากอันดับหนึ่งของกรุงเทพฯ เนื่องจากในประเทศไทยมีโรงภาพยนตร์จำนวน 366 โรง 88,150 ที่นั่ง (เมเจอร์ซินีเพล็กซ์, 2553) จากการสำรวจพบว่าโรงภาพยนตร์มีความชื้นสัมพัทธ์ที่เกินค่ามาตรฐานมาก โดยค่ามาตรฐานของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 45 – 55% (สำนักงานพัฒนาระบบสาธารณสุข, 2554) โดยความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดเชื้อราขึ้นได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และความเสียหาย

ต่อผ้าโพลีเอสเตอร์ในโรงภาพยนตร์ งานวิจัยนี้จึงเป็นแนวคิดเพื่อหาสารที่เหมาะสมในการยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์

วิธีที่แนะนำกันทั่วไปในการกำจัดเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์คือ นำผ้าไปแช่กับน้ำยาฟอกขาวไว้ 30 นาที แล้วนำไปซักด้วยน้ำส้มสายชู จากนั้นนำไปตากให้แห้ง (Ylisela, 2008)

สารที่ใช้ยับยั้งเชื้อรากันโดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบคลอรีน เอทานอล ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราสูง (สำนักโรคติดต่อทั่วไป, 2554) แต่มีอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ (ปฐมา ลออรรถพงศ์, 2555) ดังนั้นจึงเลือกใช้สารประกอบควอเทอนารี่แอมโมเนียม (Quaternary Ammonium Compounds) มายับยั้งแทน เนื่องจากความเป็นพิษต่อมนุษย์ต่ำ (Seddon, 1997)

จากการค้นคว้างานวิจัยต่างๆที่ใช้สารประกอบ Quaternary Ammonium Compounds ในการยับยั้งเชื้อราพบว่า สารประกอบ benzalkonium chloride (BKC) สามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราได้ (Xu และคณะ, 2012) และสารประกอบ Didecyldimethylammonium nitrate ก็สามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราได้เช่นเดียวกัน แต่ต้องใช้ที่ความเข้มข้นที่สูงมาก (Foksowicz-Flaczyk และคณะ, 2012)

เมื่อนำสารยับยั้งเชื้อราที่ใช้กันทั่วไปและสารประกอบ Quaternary Ammonium Compounds มาเปรียบเทียบกันในด้านประสิทธิภาพในการยับยั้ง ความเป็นพิษต่อมนุษย์ และราคา ดังแสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ระดับการยับยั้งเชื้อราและราคาของสารยับยั้งต่างๆ (Dao และคณะ, 2011) (Foksowicz-Flaczyk และคณะ, 2012) (Xu และคณะ, 2012)

สารยับยั้ง	ระดับการยับยั้ง *1	ความเป็นพิษต่อมนุษย์	ราคา
เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70	ปานกลาง	✓	69-75 บาท/กก.
benzalkonium chloride ความเข้มข้นร้อยละ 80	มาก	✗	85.8-91.8 บาท/กก.
Didecyldimethylammonium nitrate ความเข้มข้นร้อยละ 99	น้อย	✗	540-600 บาท/กก.

หมายเหตุ: *1 หมายถึง เปรียบเทียบระดับการยับยั้งด้วยค่า MIC (Minimum Inhibitory Concentration) ในหน่วยเดียวกัน

จากตาราง 1-1 จึงเลือกใช้สารประกอบ BKC มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราดีที่สุด ไม่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์ และมีราคาถูก มาเป็นสารยับยั้งเชื้อรา แต่สารประกอบ BKC เป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นมา ซึ่งเป็นการสังเคราะห์สิ่งที่ผิดเพี้ยนไปจากธรรมชาติโดยยังขาดความตระหนักใน

ความสมดุลของธรรมชาติ (บริษัท ออนเวลล์ จำกัด, 2553) จึงเลือกใช้น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ซึ่งเป็นสารธรรมชาติมาทดลองในงานวิจัยนี้ด้วย โดยมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ว่าตะไคร้มีฤทธิ์ต้านเชื้อราได้ (Wannissorn และคณะ, 1996)

อย่างไรก็ตามยังไม่พบงานวิจัยที่ใช้สารยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์มาก่อน งานวิจัยนี้จึงจะใช้สารประกอบ BKC และ น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ ในการยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสาร benzalkonium chloride (BKC) และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ในการยับยั้งเชื้อรา

1.2.2 เพื่อศึกษาช่วงเวลาที่สาร benzalkonium chloride หรือน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ยังคงความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา

1.2.3 เพื่อศึกษาความเสียหายของผ้าโพลีเอสเตอร์ที่เกิดจากสารประกอบ benzalkonium chloride และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1.3.1 เชื้อราที่ใช้ทดลอง คือ *Aspergillus niger* ความเข้มข้น 10^5 สปอร์/มิลลิลิตร

1.3.2 ผ้าที่ใช้ในการทดลอง คือ ผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่สีขาว 35 และ 100%

1.3.3 สาร BKC ที่ความเข้มข้น 1 5 10 15 20 และ 25% และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่ความเข้มข้น 1 2 3 4 5 และ 10%

1.3.4 ความชื้นสัมพัทธ์ 70 – 80%

1.3.5 อุณหภูมิในการบ่มเชื้อรา 30°C

1.3.6 pH ของผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่สีขาว 5.0 – 7.0

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำสารประกอบ benzalkonium chloride หรือ น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่ความเข้มข้นเหมาะสมไปใช้ในชีวิตประจำวัน

1.4.2 ช่วยลดอันตรายจากการสัมผัสเชื้อราในที่สาธารณะ เช่น โรงภาพยนตร์

บทที่ 2
ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพอากาศภายในอาคาร

คือ สภาพอากาศภายในอาคารหรือที่พักอาศัย โดยมีปัจจัยที่บ่งบอกถึงคุณภาพอากาศที่ดี ได้แก่ ความสะดวกสบาย การหายใจได้อย่างสะดวก และไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของคนที่อยู่ในบริเวณนั้นๆ (นภดนัย อาชวาคม, 2554)

แหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศ มักมาจากบ้าน โรงเรียน และสำนักงาน มลพิษบางชนิดก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพ เช่น ทำให้ระคายเคืองตา แสบจมูก เจ็บคอ ปวดศีรษะหรือมีอาการกระตุก มลพิษบางชนิดก่อให้เกิดอาการแพ้ มีอาการหอบหืด เป็นโรคหัวใจ โรคมะเร็งหรือโรคเรื้อรังต่างๆ ส่วนมลพิษที่มีความเข้มข้นสูง เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ สามารถทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้

การศึกษา เรียนรู้ และทำความเข้าใจเพื่อควบคุมมลพิษทางอากาศภายในอาคาร เช่น บ้าน โรงเรียน สำนักงาน เป็นต้น จะช่วยลดความเสี่ยงจากการได้รับมลพิษทางอากาศได้ (สุรัตน์ เพชรเกษม, 2553)

2.1.1 มลพิษทางอากาศภายในอาคาร

ก. ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ (Combustion product)

มลพิษประเภทนี้เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในอาคาร เช่น เครื่องทำความร้อน การหุงต้มอาหาร การจุดเตาผิง การจุดธูปเทียน ควันจากท่อไอเสีย และการรั่วของท่อระบายควันในอาคารทำให้สารมลพิษตกค้างอยู่ภายในอาคาร เช่น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารฟอร์มาลดีไฮด์ สารประกอบอินทรีย์ระเหยและอนุภาคต่างๆ ได้แก่ เขม่า ไอน้ำมัน ฝุ่นสารอินทรีย์ และผงถ่าน นอกจากนั้นยังมีเตาที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง เช่น โพรเพนก่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และอนุภาคแขวนลอยในอากาศ (สิรินมาส คัชมาตย์, 2544)

ข. สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs)

คือ สารที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนอย่างน้อยหนึ่งอะตอมโมเลกุล สารอินทรีย์ระเหยยังถูกแบ่งย่อยออกเป็นสารระเหย (Volatile Organic Compounds) สารกึ่งระเหย (Semi-Volatile Organic Compounds) และสารไม่ระเหย (Non-Volatile Organic Compounds) แหล่งกำเนิดสำคัญของสารอินทรีย์ระเหยภายในอาคาร คือ วัสดุและสิ่งต่างๆที่ใช้ภายในอาคารรวมทั้งกิจกรรมบางชนิด โดยสารอินทรีย์ระเหยจะระเหยออกมาจากวัสดุและสารต่างๆ เช่นอุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงาน

เครื่องถ่ายเอกสาร สีทาห้อง ไม้อัด สารเคลือบเงาไม้ กาว สารทำละลาย เฟอร์นิเจอร์ พรม น้ำยาฆ่าเชื้อโรค น้ำยาทำความสะอาดพื้นห้องน้ำ น้ำยารีดผ้าเรียบ สเปรย์ฉีดผม ควันบุหรี่ เป็นต้น แหล่งกำเนิดแต่ละชนิดจะทำให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยได้หลายตัวเช่น ควันบุหรี่ มีไอระเหยของแอลกอฮอล์ อะซีโตน เบนซีน ฟอร์มาลดีไฮด์ ฟีนอล แอมโมเนียและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ทำให้ความเข้มข้นและชนิดของสารที่พบในอาคารหรือห้องต่างๆมีความแตกต่างและหลากหลาย ผลกระทบต่อสุขภาพของสารอินทรีย์ระเหยโดยรวมคือ ทำให้เกิดการระคายเคืองทางเดินหายใจ ปวดศีรษะ คอแห้ง คลื่นไส้ อาเจียน มึนงง หรือเมื่อยล้า (ณัฐพงศ์ แหละมัน, 2548)

ค. ฟอร์มาลดีไฮด์

เป็นแก๊สที่ไม่มีสี มีกลิ่นรุนแรง ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเคมี ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารมลพิษสำคัญในด้านคุณภาพอากาศในอาคาร เนื่องจากสารนี้ได้ถูกนำมาใช้กับวัสดุก่อสร้างและสิ่งตกแต่งภายในอาคาร วัสดุที่เป็นแหล่งที่มาของฟอร์มาลดีไฮด์ที่สำคัญ ได้แก่ ไม้อัดและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้อัด โฟมที่ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน แผ่นฉนวนกันความร้อน ฝ้าเพดาน แผ่นยิปซัม ผลิตภัณฑ์กระดาษ ไฟเบอร์กลาส ผ้าม่าน พรมปูพื้น เสื่อน้ำมันนอกจากนี้ฟอร์มาลดีไฮด์ยังถูกใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวเฟอร์นิเจอร์ โต๊ะตู้ต่างๆ แหล่งกำเนิดอื่นๆของฟอร์มาลดีไฮด์จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ควันบุหรี่ น้ำมันเชื้อเพลิง เตาแก๊ส เตา น้ำมันก๊าด ฟอร์มาลดีไฮด์ยังสามารถเป็นน้ำยาฆ่าเชื้อโรคในสถานที่ซึ่งต้องการความสะอาด เช่น ภายในโรงพยาบาลอีกด้วย ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารก่อให้เกิดอาการระคายเคืองเยื่อบุต่างๆภายในร่างกาย ทำให้เกิดการระคายเคืองตา ผิวหนัง และทางเดินหายใจส่วนต้น ส่วนผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรังจะทำให้เกิดผลต่อระบบประสาท ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ เมื่อยล้า นอนไม่หลับ เกิดอาการภูมิแพ้ หอบหืด และที่สำคัญอาจทำให้เกิดโรคมะเร็ง (จิตรพรรณ ภูษาภักดีภพ และคณะ, 2547) อาคารที่ปลอดภัยควรมีสารฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.04-0.1 ส่วนในล้านส่วน (สมชัย บวรกิตติ และคณะ, 2542)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ง. อนุภาคที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ (Respirable Particulates)

อันตรายของอนุภาคเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ อนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 4 ไมครอน เมื่อหายใจเข้าไปจะผ่านทางเดินหายใจ ผ่านเนื้อเยื่อในปอดไปฝังตัวอยู่ในถุงลมปอด การฝังตัวของอนุภาคฝุ่นละอองขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นละออง รูปร่าง ความหนาแน่น ความเป็นกรดด่าง และความสามารถในการละลายน้ำ ประสิทธิภาพในการฝังตัวของฝุ่นละอองยังแตกต่างกันในคนที่สูบบุหรี่ ไม่สูบบุหรี่ ในคนไข้ที่เป็นโรคปอด หลังจากฝุ่นละอองเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจแล้ว กลไกของร่างกายในการกำจัดฝุ่นละอองเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามตำแหน่งของทางเดินหายใจ เช่น บริเวณจมูก ลำคอ และหลอดลมส่วน

ต้นมีขนเล็กๆ คอยโบกพัด และกำจัดฝุ่นละอองภายในระยะเวลา 1 วัน บริเวณถุงลมในปอดใช้เวลาในการกำจัดฝุ่นละอองเป็นอาทิตย์หรือเป็นเดือน ขนาดของฝุ่นละอองที่มีความสามารถในการฝังตัวบริเวณถุงลมปอดมากที่สุด คือ 0.1-2.5 ไมครอน ซึ่งมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์มาก เพราะฝุ่นละอองพวกนี้สามารถทำให้เกิดอาการไอ จาม หลอดลมอักเสบเรื้อรังหอบหืด (จิตรพรรณ ภูษาภักดีภพ และคณะ, 2547)

จ. ควันบุหรี่ (Tobacco smoke)

ควันบุหรี่ภายในอาคารประกอบด้วยสารมากมายหลายชนิด อาจอยู่ในรูปของแก๊สไอ และอนุภาคแขวนลอยในอากาศ ซึ่งเกิดจากควันบุหรี่ที่ผู้สูบนั้นพ่นกลับออกมาและจากการเผาไหม้ของมวนบุหรี่ ผู้ที่ไม่สูบบุหรี่แต่หายใจนำอากาศที่ปนเปื้อนด้วยควันบุหรี่เข้าไป นอกจากจะได้รับผลร้ายเช่นเดียวกับผู้สูบบุหรี่แล้วยังได้รับความรำคาญต่อกลิ่น เกิดความเครียดต่อจิตใจ ระคายเคืองตา จมูก และคอ (สมชัย บวรกิตติ และคณะ, 2542)

ฉ. กลิ่น (Odors)

สารเคมีบางอย่างมีกลิ่นเหม็นฉุนทำให้เกิดความไม่สะดวกสบายและระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ กลิ่นเป็นมลพิษอากาศที่กำจัดได้ยากที่สุด เป็นส่วนผสมของสารเคมีหลายชนิด แม้ว่าจะมีอยู่ในระดับต่ำแต่ระบบระบายอากาศก็ยากที่จะกำจัดกลิ่นให้หมดไป สังเกตได้จากห้องที่มีคนอยู่มาก มีการสูบบุหรี่เป็นประจำและมีการระบายอากาศน้อย กลิ่นเหล่านั้นจะติดอยู่ตามเสื้อผ้าพรมเป็นเวลานาน การกำจัดกลิ่นภายในอาคารส่วนใหญ่มักใช้การระบายอากาศ เครื่องฟอกอากาศ และตัวดูดซับกลิ่น (วนิดา จีนศาสตร์, 2551)

ช. ละอองลอยชีวภาพ (Bioaerosol)

ละอองลอยชีวภาพโดยทั่วไปมีขนาดประมาณ 0.02-100 ไมครอน จัดเป็นมลพิษในอาคารที่เป็นสิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่กับเราได้ยาวนานมาก เช่น เชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบปรับอากาศ ไรฝุ่น เชื้อรา และไวรัส เป็นต้น ซึ่งมักก่อให้เกิดโรคภูมิแพ้ของระบบทางเดินหายใจ เรียกว่าสารก่อภูมิแพ้ในอากาศ (aeroallergen) ละอองลอยชีวภาพภายในอาคารทำให้เกิดโรคภูมิแพ้ระบบการหายใจ เช่น โรคโพรงจมูกอักเสบ ภูมิแพ้ โรคปอดอักเสบภูมิไวเกิน จุลชีพจะก่อให้เกิดกลุ่มอาการต่างๆ ตั้งแต่ไม่สบายเล็กน้อย ครั่นเนื้อครั่นตัว จนถึงโรคติดเชื้อในทางเดินหายใจในระดับต่างๆ เช่น หวัด ไข้หวัดใหญ่ วัณโรค เป็นต้น (วนิดา จีนศาสตร์, 2551) สิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะเป็นสาเหตุของปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารได้นั้นจะต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น มีแหล่งน้ำขังในระบบระบายอากาศ (เช่น ถาดรองน้ำ ฯลฯ) มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพ เป็นต้น สภาพแวดล้อมและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้จุลชีพแบ่งตัวเพิ่มจำนวนลอยปะปนอยู่ในอากาศ และเคลื่อนที่ไปสู่ห้องต่างๆภายในอาคารโดยผ่านระบบปรับอากาศ เมื่อคนหายใจเอาจุลชีพที่แขวนลอยใน

อากาศเหล่านี้เข้าไปในร่างกาย ก็จะทำให้เกิดโรคและอาการเจ็บป่วยตามมา (ณัฐพงศ์ แหละมัน, 2548) จากการศึกษาทางระบาดวิทยาเกี่ยวกับเชื้อจุลินทรีย์ที่แพร่กระจายในบรรยากาศภายในสำนักงานซึ่งมีระบบระบายอากาศ การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศไม่ดีเป็นแหล่งกำเนิดของเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา ทำให้พนักงานเกิดโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ เช่น ไข้หวัด ไข้หวัดใหญ่ ปอดบวม ดังนั้นในห้องทำงานที่เป็นระบบปิดและติดตั้งเครื่องปรับอากาศ สามารถเป็นแหล่งกำเนิดของจุลินทรีย์ได้ (จิตรพรรณ ภูษาภักดีภพ และคณะ, 2547)

2.1.2 อาการเจ็บป่วยที่เกิดจากมลพิษอากาศภายในอาคาร (ลภน โมกขะสมิต, 2553)

แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. การรู้สึกไม่สบายโดยมีสาเหตุเกิดจากอาคาร (Sick Building Syndrome, SBS)

เกิดจากการที่ผู้อาศัยอยู่ในอาคารเกิดการไม่สบายอย่างเฉียบพลัน ไม่พบสาเหตุชัดเจน แต่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพอากาศภายในอาคาร เมื่อออกจากอาคาร ผู้ป่วยจะรู้สึกดีขึ้น

1) สาเหตุของโรค

1. อากาศถ่ายเทไม่เพียงพอ ทำให้อากาศจากภายนอกไม่ถ่ายเทเข้าไป
2. สารเคมีที่ฟุ้งกระจายภายในอาคาร เช่น ยา สารเคมี น้ำยาค่าเชื้อโรคต่างๆ
3. สารเคมีจากภายนอกอาคาร
4. สารชีวภาพ เช่น แบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา ต่างๆ

2) อาการของโรค

แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มอาการ ได้แก่

1. กลุ่มอาการระคายเคืองตา

มีอาการตาแห้ง แสบตา น้ำตาไหล ตาแดง ระคายเคืองตาจะเป็นมากในรายที่ใส่คอนแท็กเลนส์

2. กลุ่มอาการคัดจมูก

มีอาการคัดจมูก ระคายเคืองคอ จาม ไอ คล้ายโรคภูมิแพ้และมีอาการตลอดเวลาเมื่ออยู่ในอาคาร

3. กลุ่มอาการทางลำคอ

มีอาการคอแห้ง ระคายคอ หายใจลำบาก

4. กลุ่มอาการทางผิวหนัง

มีอาการผิวหนังแห้ง คัน เป็นผื่น ผิวหนังอักเสบ

5. กลุ่มอาการปวดศีรษะ มึนงง เมื่อยล้า

มีอาการปวดศีรษะบริเวณหน้าผาก เหนื่อยหล้า มึนงง ขาดสมาธิในการทำงาน

ข. การเจ็บป่วยโดยมีสาเหตุจากการทำงานในอาคาร (Building – Related illness, BRI)

เป็นการเจ็บป่วยที่มีลักษณะตรงข้ามกับกลุ่มอาการ SBS คือ สามารถระบุสาเหตุของอาการป่วยได้ชัดเจนว่ามีสาเหตุมาจากมลพิษภายในอาคาร อาการเจ็บป่วยในลักษณะนี้มักมีอาการไอ แน่นหน้าอก มีไข้ และปวดกล้ามเนื้อ เมื่อผู้ป่วยออกจากอาคารแล้วต้องได้ใช้ระยะเวลานานาในการฟื้นฟูร่างกาย

2.2 เชื้อรา

2.2.1 สัณฐานวิทยา (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และคณะ, 2547)

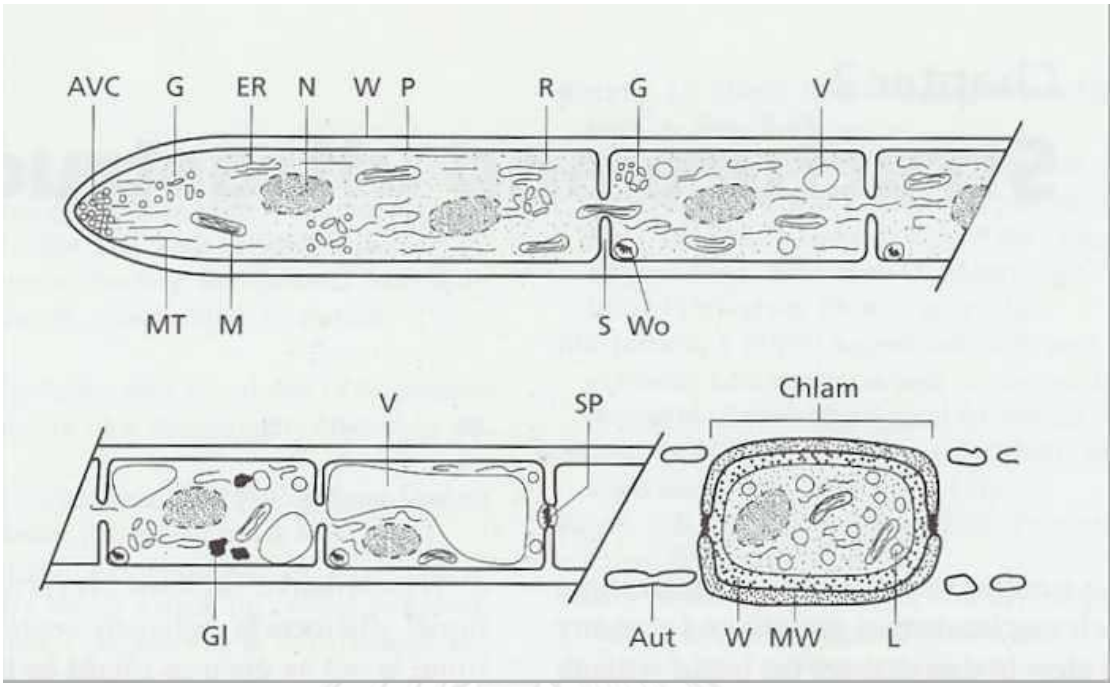
ราเป็นจุลชีพแบบยูคาริโอต (Eukaryotic) ไม่มีคลอโรฟิลล์ รามีทั้งชนิดเป็นแบบเซลล์เดียว (Unicellular) เช่น ยีสต์ และหลายเซลล์ (Multicellular) เรียงเป็นเส้นใย (Hypha) กลุ่มของเส้นใยเรียกว่า ไมซีเลียม (Mycelium) เส้นใยทั่วไปมีความกว้าง 5-10 ไมโครเมตร และมีความยาวมาก ประกอบด้วยผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ และช่องว่างภายในที่บรรจุโพรโทพลาสซึม เยื่อหุ้มเป็นเยื่อ 2ชั้น ล้อมรอบโพรโทพลาส-ซึม ผนังเซลล์ประกอบด้วย glucans และไคติน

รานอกจากมีรูปร่างเป็นเส้นใยและเป็นเซลล์เดี่ยวแล้ว บางชนิดยังมีรูปร่างสองแบบ (dimorphism) คือ ถ้าเจริญในดินหรือในอาหารเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิห้องจะมีรูปร่างเป็นเส้นใย แต่ถ้าเจริญที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส หรือในร่างกายโฮสต์จะมีรูปร่างเป็นเซลล์เดียวแบบยีสต์ได้แก่ ราที่ทำให้เกิดโรคต่างๆ เช่น กลาก เกลื้อน และที่ทำให้เกิดโรคกับธัญพืช เป็นต้น

2.2.2 โครงสร้างของเชื้อรา (พิไลพรรณ พงษ์พูล, 2525)

โครงสร้างของเชื้อราประกอบด้วยส่วนต่างๆดังภาพที่ 2-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของเชื้อรา

ที่มา : http://archive.bio.ed.ac.uk/jdeacon/FungalBiology/chap3a.htm

ก. ผนังเซลล์ (cell wall)

เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาส่องที่ผนังเซลล์ของรา จะพบลักษณะเป็นชั้นเดียว แต่เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จะพบลักษณะหนาเป็นชั้นๆ แยกออกจากกันได้ชัดเจน หน้าที่อื่นของผนังเซลล์นอกจากการห่อหุ้มป้องกันเซลล์ คือ รักษาเซลล์ให้คงรูปร่างอยู่ได้

ข. เซลล์เมมเบรน (cell membrane)

เซลล์เมมเบรนทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนของโปรโตปลาสซึม มีสองชั้น (lipid bilayer) แต่ละชั้นประกอบด้วย ส่วนหัว (head) และหาง (tail) โดยส่วนหางซึ่งเป็น hydrophilic จะอยู่ด้านนอก มีโปรตีนและไกลโคโปรตีนแทรกอยู่ในระหว่างชั้น โดยเซลเมมเบรนจะมีลักษณะโป่ง ยื่นเข้ามาในเซลล์จนแบ่งออกเป็นผนังเซลของแอสโคสปอร์ นอกจากนี้เซลล์เมมเบรนยังทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane) ซึ่งมีการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายในเซลล์และนอกเซลล์ด้วย

ค. เอนโดพลาสมิค เรติคูลัม (endoplasmic reticulum)

เป็นออร์แกแนลที่ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน เป็นแบบมีไรโบโซมเกาะ (Rough endoplasmic reticulum : RER) ซึ่งมีหน้าที่ลำเลียงสารอาหารโปรตีนและลิพิดชนิดต่างๆ

ง. ไมโตคอนเดรีย (mitochondria)

เป็นโครงสร้างที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ทำหน้าที่สร้างพลังงานให้แก่เซลล์ มีรูปร่างเป็น filamentous คือ ยาว ผอม ประกอบด้วยโปรตีนและไขมัน

จ. ไรโบโซม (ribosome)

เป็นออร์แกแนลล์ที่สามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตแบบยูคาริโอตและโพรคาริโอต โครงสร้างของออร์แกแนลล์นี้ไม่มีเยื่อหุ้ม มีหน้าที่สำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนร่วมกับ mRNA และ tRNA พบได้ที่บริเวณเยื่อหุ้มนิวเคลียสหรือในไซโตพลาสซึม

ฉ. แวคคูโอล (vacuole)

เป็นโครงสร้างที่มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว เรียกว่า tonoplast มีลักษณะเป็นถุง ภายในมีเม็ดสี (pigment) ต่างๆบรรจุอยู่ แวคคูโอลในราทำหน้าที่คล้ายแวคคูโอลในพืช คือ ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมอาหารและของเสียจากกระบวนการต่างๆ เช่น การควบคุมแรงดันออสโมติก การเก็บกรดอะมิโน เป็นต้น

ช. นิวเคลียส (nucleus)

เป็นโครงสร้างที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ซึ่งภายในบรรจุสารพันธุกรรมไว้ มักพบบริเวณตรงกลางของเซลล์ ภายในนิวเคลียสมี DNA อยู่เป็นจำนวนมาก มีหน้าที่ควบคุมการทำงานต่างๆของเซลล์

2.2.3 การสืบพันธุ์ของรา (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และคณะ, 2555)

ราขยายพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเพศ และไม่อาศัยเพศ แต่ส่วนใหญ่จะขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศด้วยการสร้างสปอร์ที่ไม่อาศัยเพศ สปอร์ของราที่ขยายพันธุ์ด้วยการสร้างสปอร์จะมีสีต่างๆ เช่น สีเทา ดำ เขียว น้ำเงิน เป็นต้น สปอร์ของราสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. สปอร์ที่อาศัยเพศ (sexual spore) ได้แก่ ไซโกสปอร์ (zygospore) แอสโคสปอร์ (ascospore) และ เบสิดิโอสปอร์ (basidiospore)

ข. สปอร์ที่ไม่อาศัยเพศ (asexual spore) ได้แก่ คอร์ดิเนีย (codinia) และ สปอร์แรนจิโอสปอร์ (sporangiospore)

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของรา (ธีระ วีณิน, 2553)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของราในสภาวะแวดล้อมหนึ่งๆ ได้แก่

ก. น้ำหรือความชื้น เป็นส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายอาหารภายในเซลล์ได้อย่างสะดวกและเป็นตัวก่อให้เกิดปฏิกิริยา hydrolysis ในขณะที่ความชื้นในอากาศที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของราคือ 60-70%

ข. อุณหภูมิ ราส่วนใหญ่สามารถทนอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 42 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการเจริญเติบโตของราอยู่ในช่วง 20-35 องศาเซลเซียส

ค. ออกซิเจน (O_2) เป็นปัจจัยที่สำคัญมาก เพราะราต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจเพื่อการเจริญเติบโต

ง. สารอาหาร ราต้องใช้อาหารเพื่อผลิตเป็นพลังงานและใช้ในการเจริญเติบโต โดยปล่อยเอนไซม์ไปย่อยอาหารภายนอกเซลล์แล้วดูดกลับเข้ามาภายในเซลล์ สารอาหารที่เหมาะกับการเจริญเติบโตของราคือ น้ำตาล ซึ่งมี C H และ O เป็นองค์ประกอบสำคัญ

2.2.5 โรคที่เกิดจากเชื้อรา

ก. โรคปอดอักเสบจากเชื้อรา (Center for Disease Control and Prevention, 2013)

เชื้อที่เป็นสาเหตุ คือ เชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* โดยเกิดจากการหายใจเอาสปอร์ของราชนิดนี้เข้าไปที่ปอด จึงเกิดการติดเชื้อที่บริเวณปอด มักเกิดกับคนที่มีภูมิคุ้มกันไม่ดี เช่น ผู้ที่มีระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง ผู้ป่วยโรคนี้มักเสียชีวิต เนื่องจากมีระบบภูมิคุ้มกันบกพร่องหรือยาที่รักษาใช้ไม่ได้ผล

ข. โรคภูมิแพ้ (มนตรี ตู้จินดา, 2554)

โรคภูมิแพ้เกิดจากการที่ร่างกายได้รับสารบางอย่างแล้วทำให้เกิดการตอบสนองที่ผิดปกติ ทำให้เกิดโรคและอาการต่างๆขึ้น เช่น ปกติคนทั่วไปสูดฝุ่นละอองจะไม่เกิดอาการผิดปกติ แต่ถ้าเป็นคนที่เป็นโรคภูมิแพ้สูดฝุ่นละอองเข้าไป จะมีอาการน้ำมูกไหล ซึ่งคืออาการของโรคภูมิแพ้นั่นเอง โรคภูมิแพ้เกิดขึ้นได้หลายระบบ เช่น

เกิดขึ้นในระบบการหายใจ อาการแพ้จะมีตั้งแต่น้ำมูกไหล จาม คันจมูก คัดจมูก (คนทั่วไปมักเรียก โรคแพ้อากาศ) หรืออาจมีอาการรุนแรง เช่น ไอ มีเสมหะมาก มีอาการหอบ ซึ่งเป็นอาการของโรคหืด สาเหตุของโรคภูมิแพ้ที่เกิดขึ้นในระบบการหายใจส่วนมากเกิดจากไรฝุ่นในบ้าน ขนสัตว์เลี้ยง และเชื้อราในอากาศ

เกิดขึ้นที่ผิวหนัง อาการในโรคภูมิแพ้กลุ่มนี้ ได้แก่ อาการลมพิษ ผื่นแพ้ ซึ่งสาเหตุสำคัญมักมาจากการแพ้อาหารและยา หรือมาจากกรรมพันธุ์

โรคภูมิแพ้มีสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ

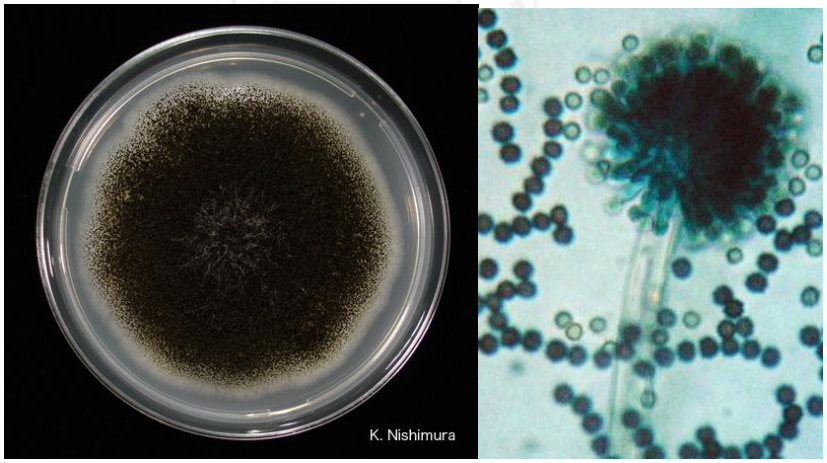
(1) กรรมพันธุ์ เช่น โรคหืด โรคแพ้อากาศ จะเกิดขึ้นได้ง่ายถ้าหากพ่อแม่มีประวัติเป็นโรคดังกล่าวมาก่อน แต่โรคภูมิแพ้บางอย่าง พันธุกรรมไม่ใช่สาเหตุสำคัญนัก เช่น แพ้อาหาร แพ้เครื่องประดับ เป็นต้น

(2) สิ่งแวดล้อม เป็นปัจจัยที่สำคัญมาก เพราะสารก่อภูมิแพ้ต่างๆนั้นอยู่รอบตัวเราทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นแขวนลอยในอากาศ อยู่ในอาหาร อยู่ในวัตถุสิ่งของที่เราสัมผัส สิ่งที่ต้องระวังคือสารก่อภูมิแพ้ที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น เกสรดอกไม้ เชื้อราในอากาศ หรือไรฝุ่นในบ้าน ต้องหมั่นทำความสะอาดบ่อยๆเพื่อกำจัดสารก่อภูมิแพ้เหล่านี้ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยร่วมที่ทำให้โรคภูมิแพ้มีอาการรุนแรงขึ้น เช่น อากาศเปลี่ยนแปลง มลพิษอากาศจากควันรถ ควันบุหรี่ เป็นต้น

2.2.6 เชื้อรา *Aspergillus niger*

Aspergillus niger เป็นเชื้อราท้องถิ่นที่พบได้มากในประเทศไทย พบเชื้อราชนิดนี้ในบรรยากาศจำนวน 129-134 สปอร์/ลูกบาศก์เมตรอากาศ สปอร์มีลักษณะสีน้ำตาลหรือดำดังภาพที่ 2-2 เส้นใยของราชนิดนี้ไม่มีสี สืบพันธุ์โดยการใช้สปอร์แบบไม่อาศัยเพศ เจริญได้ดีในอาหารที่มีน้ำตาลซูโครส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 60% และเจริญได้ดีที่อุณหภูมิห้อง (พรรณกร อิ่มวิทยา, 2535)

ทั้งนี้ ณหทัย เลิศการค้าสุข และคณะ (2554) และ ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) แนะนำว่าเชื้อราทั้งหมดในบรรยากาศไม่ควรเกิน 500 สปอร์/ลูกบาศก์เมตรอากาศ (ณหทัย เลิศการค้าสุข และคณะ, 2554)

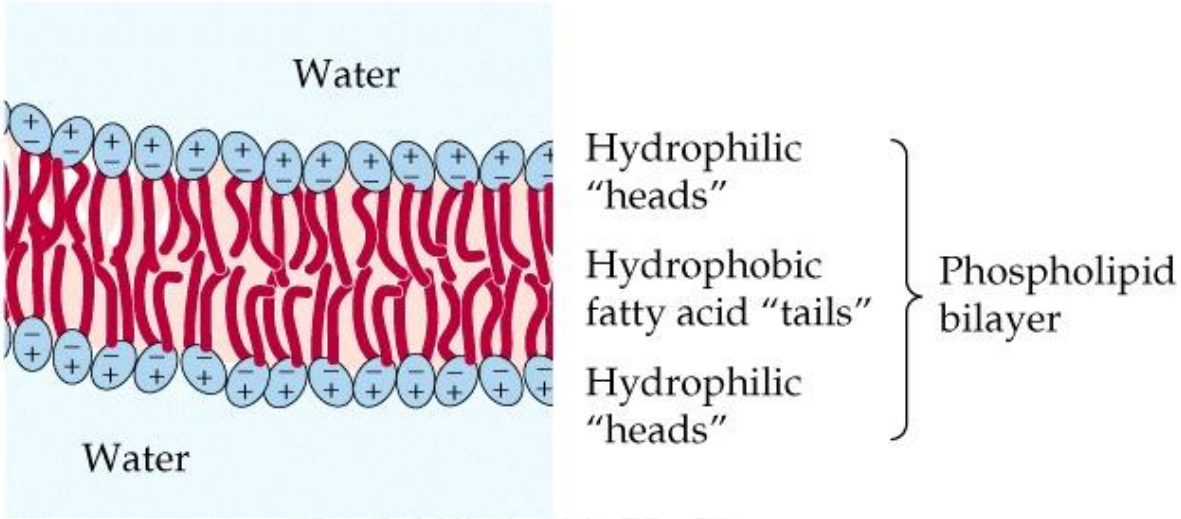


ภาพที่ 2-2 Aspergillus niger

ที่มา : http://www.mold.ph/aspergillus-niger.htm

2.2.7 กลไกการกำจัดเชื้อรา (Dao และคณะ, 2011) (Ikeda และคณะ, 1985)

ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ (Plasma membrane) มีฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) เป็นองค์ประกอบดังภาพที่ 2-3

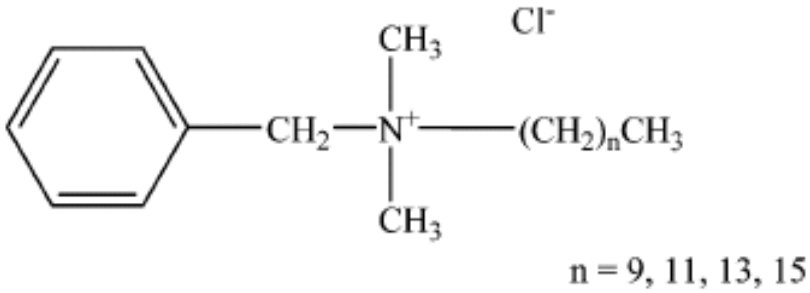


ภาพที่ 2-3 โครงสร้างของ Phospholipid

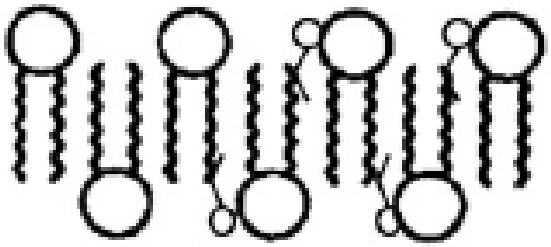
ที่มา : http://www.scottsmithonline.com/interests/medicalschool/biology/110a/Midterm1Materials/Notes/MyTextbookBSCI110aMT1.html

ฟอสโฟลิปิดประกอบไปด้วยส่วนหัวและส่วนหาง ส่วนหัวเป็นส่วนที่มีขั้ว ส่วนหางเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว

สารยับยั้งเชื้อรามีทั้งส่วนที่มีขั้วและส่วนที่ไม่มีขั้วดังภาพที่ 2-4 โดยส่วนที่ไม่มีขั้วจะทำให้ฟอสโฟลิปิดเกิดช่องว่างขึ้นภายในชั้น และเกิดการเรียงตัวผิดรูปดังภาพที่ 2-5 ส่วนที่มีขั้วจะทำให้ผนังของชั้นฟอสโฟลิปิดบางลง เกิดการแพร่มากขึ้น ทำให้เซลล์แตกและตาย



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างของสารยับยั้งเชื้อรา benzalkonium chloride (Takeoka และคณะ, 2005)



ภาพที่ 2-5 ฟอสโฟลิปิดเกิดช่องว่างและการเรียงตัวผิดรูป (Dao และคณะ, 2011)

2.3 ผ้าโพลีเอสเตอร์

โพลีเอสเตอร์ คือ ห่วงโซ่พอลิเมอร์ที่ต่อกันเป็นสายยาว ซึ่งประกอบไปด้วยเอสเตอร์ไดไฮดริกแอลกอฮอล์ และกรดเทเรฟทาลิก รวมกันอย่างน้อย 85% โดยน้ำหนัก ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างแอลกอฮอล์และกรดคาร์บอกซิลิกจะทำให้เกิดเอสเตอร์ขึ้น นั่นหมายความว่า โพลีเอสเตอร์เป็นเอสเตอร์จำนวนมากที่อยู่ภายในเส้นใย ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 2-6 โพลีเอสเตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด (Jezek, 2006) ได้แก่

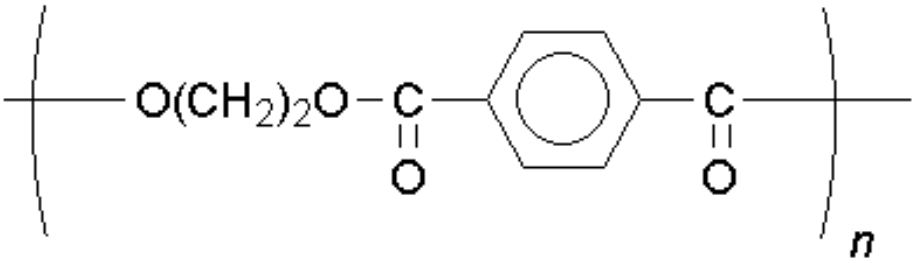
ก. โพลีเอสเตอร์ชนิดอิ่มตัว

เป็นโพลีเอสเตอร์ที่เส้นใยอิ่มตัวแล้ว ประกอบไปด้วยของเหลวน้ำหนักโมเลกุลต่ำและเทอร์โมพลาสติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเป็นเส้นตรง ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการสังเคราะห์โพลีเอสเตอร์ชนิดอิ่มตัว คือ ไกลคอล และกรดหรือแอนไฮไดรด์

ข. โพลีเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว

เส้นใยชนิดนี้ประกอบด้วยไวนิลที่ไม่อิ่มตัว โพลีเอสเตอร์ชนิดนี้มักใช้ในการเสริมความแข็งแรงให้กับพลาสติก และยังมีการใช้อย่างแพร่หลายในการสังเคราะห์เรซิ่นเพื่อการค้าขาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

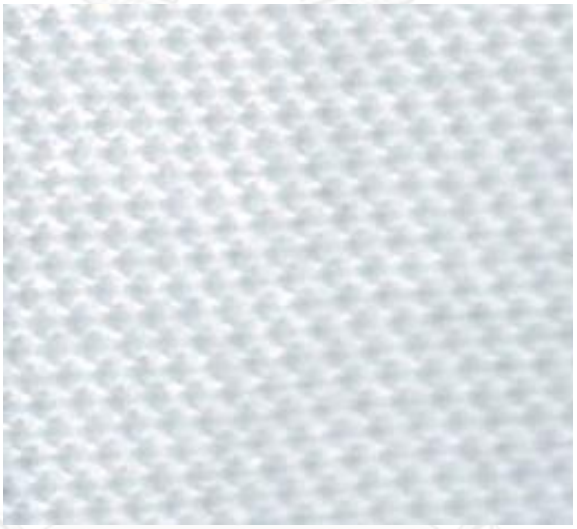


ภาพที่ 2-6 โครงสร้างทางเคมีของโพลีเอสเตอร์

ที่มา : http://chem.chem.rochester.edu/~chem421/errata.htm

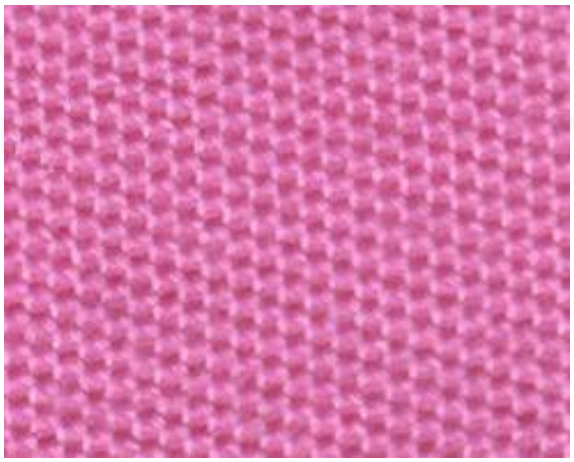
ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ 100% ดังภาพที่ 2-7 เส้นใยมีความแข็งแรงมาก มีความยืดหยุ่นสูง ทนทานต่อสารเคมี ทนทานต่อการยืดและหด รอยยับหรือย่นของผ้า การขัดสี และทนทานต่อเชื้อรา โพลีเอสเตอร์เป็นผ้าที่ไม่ชอบน้ำในธรรมชาติ ดังนั้นจึงแห้งเร็ว สามารถนำไปผลิตเป็นเสื้อผ้าสำหรับสภาพอากาศที่รุนแรง

นอกจากผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% แล้ว ยังมีผ้าโพลีเอสเตอร์ผสมฝ้าย (cotton) คือ ผ้า Tetoron cotton (TC) ดังภาพที่ 2-8 เป็นการผสมกันระหว่างฝ้ายและโพลีเอสเตอร์ในอัตราส่วน 65 : 35 คุณสมบัติ ไม่ยืด ไม่ย้วย ทนทานต่อการซักได้ดี



ภาพที่ 2-7 ผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% (TK)

ที่มา : http://www.thaigarment.co.th/images/Polo-TK-2.jpg



ภาพที่ 2-8 ผ้าโพลีเอสเตอร์ 35% (TC)

ที่มา : http://www.thaigarment.co.th/images/Polo-Lacoste-TC-2.jpg

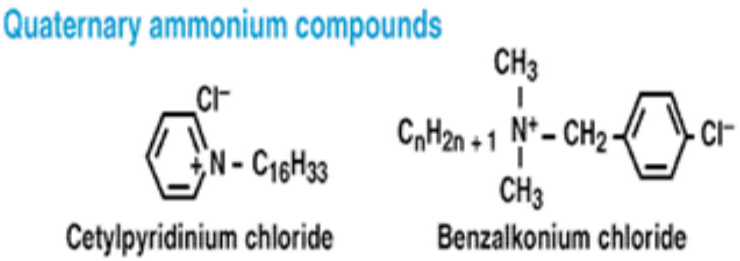
คุณสมบัติและลักษณะการใช้งานของผ้าโพลีเอสเตอร์ต่างๆ สามารถสรุปได้ในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติและลักษณะการใช้งานของผ้าชนิดต่างๆ

ชื่อเรียก	ส่วนผสมของเส้นด้าย	ลักษณะและคุณสมบัติ			ลักษณะการใช้งาน
		ความยืดหยุ่น	การระบายอากาศ	ลักษณะทางกายภาพ	
TC	เส้นด้ายผสม (Cotton65% + Polyester 35%)	ปานกลาง	ปานกลาง	เห็นใยฝ้ายฟูบาง	ใส่สบายน้อยกว่าผ้าฝ้าย ไม่มีปัญหาเรื่องผ้าหดตัว
TK	เส้นใยสังเคราะห์ (Polyester 100%)	สูง	น้อย	เป็นมันเงา	ไม่ค่อยซับเหงื่อ รีดง่าย ยับยาก ไม่หด ไม่ยืด

2.4 สารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ (Benzalkonium chloride)

มีอีกชื่อหนึ่งว่า alkyldimethylbenzylammonium chloride หรือ ADBAC เป็นสารประกอบในกลุ่ม Quaternary Ammonium Compounds การนำไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ เป็นสารทำลายสิ่งมีชีวิต เป็น surfactant และเป็น phase transfer agent ในอุตสาหกรรมเคมี (Bore และคณะ, 2007)



ภาพที่ 2-9 โครงสร้างของ Quaternary Ammonium Compounds

ที่มา : http://www.pc.maricopa.edu/Biology/rcotter/BIO%20205/LessonBuilders/Chapter%2011%20LB/Ch11LessonBuilder_print.html

2.4.1 คุณสมบัติ (Sciencelab, 2013)

- ละลายได้ดีทั้งในน้ำ เอทานอล และอะซีโตน
- ออกฤทธิ์ได้ดีที่ pH เป็นกลาง หรือเป็นด่าง
- มีสีเหลืองอ่อนหรือไม่มีสี
- ความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 0.98 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ค่าความเป็นพิษ LD_{50} (Oral) เท่ากับ 240 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ทดลองกับหนู)

2.4.2 การนำไปใช้งาน (ประเสริฐ เอื้อวรากูล, 2542) (Ioannou และคณะ, 2007) (McBain และคณะ, 2004)

ส่วนใหญ่ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรค โดยส่วนที่มีขั้วของสารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ ซึ่งได้แก่ N^+ และ Cl^- ทำให้ผนังฟอสโฟลิปิดซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์นั้นบางลง และส่วนที่ไม่มีขั้วของสารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ทำให้ฟอสโฟลิปิดเกิดช่องว่าง เกิดการเรียงตัวผิดรูป จึงทำให้ของเหลวภายในเซลล์ไหลออกไปภายด้านนอกและเซลล์ตาย สารนี้มีความเป็นพิษต่ำและไม่ระคายเคืองเนื้อเยื่อเซลล์ ในแผลที่ถูกสุนัขกัดใช้ 1-2.5% ล้างแผลจะสามารถทำลายเชื้อพิษสุนัขบ้าได้มาก โดยไม่ทำให้แผลเปื่อยเหมือนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นสบู่ล้างมือฆ่าเชื้อโรคและน้ำยาหยอดตาได้อีกด้วย

ภาพที่ 2-10 สารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์

ที่มา :

http://www.bonnymans.co.uk/products/product.php?categoryID=1421&productID=62

2.5 น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้

ได้จากการสกัดน้ำมันจากส่วนต่างๆของตะไคร้ เช่น ใบ ดอก ผล เป็นต้น (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2545)

ภาพที่ 2-11 ตะไคร้

ที่มา : http://region4.prd.go.th/ewt_news.php?nid=41213&filename=index

2.5.1 ข้อมูลทางพฤษศาสตร์ (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร, 2544)

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Cymbopogon citratus* (De ex Nees) Stapf.

ชื่อวงศ์ : Poaceae (Gramineae)

ชื่ออังกฤษ : Lapine, Lemon grass, West Indian lemongrass

ชื่อท้องถิ่น : คาหอม, ไคร, จะไคร, เชิดเกรย, หัวสิงไค, เหลอะเกรย

ค่าความเป็นพิษ (Sciencelab.com, 2013)

: LD_{50} (Dermal) 2 กรัมต่อกิโลกรัม (ทดลองกับกระต่าย)

: LD_{50} (Oral) 65 กรัมต่อกิโลกรัม (ทดลองกับหนู)

2.5.2 หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร, 2544)

ก. ฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย

เมื่อนำน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้มาทดสอบด้วยวิธี diffusion method พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากใบตะไคร้ความเข้มข้น 0.3% ขนาด 5 มคล./จาน สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli*, *Shigella flexneri* และ *Bacillus subtilis* ได้ ต่อมาได้พัฒนาเป็นเจลล้างมือจากน้ำมันตะไคร้ แล้วนำไปทดสอบด้วยวิธี disc diffusion พบว่าน้ำมันตะไคร้ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *Samonella typhimurium* ได้ดีที่สุด

ข. ฤทธิ์ต้านเชื้อรา

น้ำมันหอมระเหยจากใบตะไคร้มีส่วนประกอบหลักในการยับยั้งเชื้อรา คือ citral และ myrcene ซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้วอ่อนๆและไม่มีขั้วอยู่ด้วยกัน ส่วนที่ไม่มีขั้วทำให้ฟอสโฟลิปิดเกิดการเรียงตัวผิดรูป ในขณะที่ส่วนที่มีขั้วทำให้ผนังฟอสโฟลิปิดบางลง ทำให้เกิดการแพร่ของของเหลวภายในเซลล์และทำให้เซลล์ตาย เมื่อนำน้ำมันหอมระเหยจากใบตะไคร้ไปพัฒนาเป็นครีมต้านเชื้อราแล้ว น้ำมันหอมระเหยจากใบตะไคร้ความเข้มข้น 2.5 และ 3.0% สามารถยับยั้งเชื้อราได้ดีที่สุด

เมื่อนำสารสกัดตะไคร้ในรูปแบบต่างๆที่ใช้ในการยับยั้งเชื้อรามาทดลองฤทธิ์ต้านเชื้อรา สามารถสรุปได้ในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ความเข้มข้นของสารสกัดตะไคร้ในรูปแบบต่างๆที่ใช้ในการยับยั้งเชื้อรา (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร, 2544)

สปีชีส์ของเชื้อรา	ความเข้มข้นของน้ำมันตะไคร้ (มคก./มล.)		ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ (มคก./มล.)	ความเข้มข้นของสารสกัดตะไคร้ด้วยเฮกเซน (มคก./มล.)
	MIC	MLC		
Trichophyton mentagrophytes	122.5	135	10,000	125
T. rubrum	135	147.5	20,000	250
Epidermophyton floccosum	115	125	5,000	62.5
Microsporum gypseum	235	310	10,000	125

งานวิจัยนี้เลือกใช้ตะไคร้ในรูปแบบน้ำมันหอมระเหย เนื่องจาก มีราคาถูกและจัดหาสะดวกเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่นๆ (เคมีภัณฑ์, 2556)

ค. ฤทธิ์ต้านยีสต์

เมื่อนำสารสกัดตะไคร้ด้วยเอทานอลความเข้มข้น 40 มคก./มล. และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ความเข้มข้น 60 มคก./มล. ผสมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าสามารถยับยั้งยีสต์ *Candida albicans* ได้

2.5.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหย (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2545)

สามารถสกัดได้ 5 วิธี ได้แก่

ก. การกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam Distillation)

มีหลักการคือ ให้ไอน้ำผ่านพืชที่ต้องการสกัดน้ำมันหอมระเหย ไอน้ำและน้ำมันหอมระเหยจะผ่านไปตามท่อ แล้วถูกทำให้เย็นตัวลง น้ำมันหอมระเหยและน้ำจะแยกชั้นออกจากกัน สามารถนำน้ำมันหอมระเหยออกมาใช้ได้สะดวก ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ ใช้เวลาสกัดนาน

ข. การสกัดด้วยน้ำมันสัตว์ (Extraction by animal fat)

ปัจจุบันใช้วิธีสกัดด้วยสารเคมีแทน เนื่องจากต้องใช้เวลานานและแรงงานมาก

ค. การสกัดด้วยสารเคมี (Solvent Extraction)

นำตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนใส่ลงไปกับพืชที่ต้องการสกัด จะได้น้ำมันหอมระเหยละลายออกมา จากนั้นนำไปกลั่นเพื่อทำให้เข้มข้นมากขึ้น ได้เป็นสารที่มีเรซินเป็นองค์ประกอบคล้ายแว็กซ์อยู่ด้วย แล้วใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ละลายน้ำมันหอมระเหยออกมา แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีตัวทำละลายตกค้างอยู่ในน้ำมันหอมระเหย อาจทำให้ระคายเคืองได้

ง. การคั้นหรือบีบ (Expression)

นำเปลือกของพืชหรือผลไม้ไปตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปบีบ จะได้ของเหลวที่มีทั้งน้ำและน้ำมันหอมระเหยผสมกันอยู่ จากนั้นรอให้น้ำและน้ำมันหอมระเหยแยกชั้นออกจากกัน จึงสามารถแยกน้ำมันหอมระเหยออกมาได้ แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ น้ำมันหอมระเหยที่ได้จะไม่บริสุทธิ์มาก และมีอายุการใช้งานไม่นาน

จ. การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (Extraction by CO_2)

เป็นการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลวภายใต้แรงดันสูง เพื่อให้น้ำมันหอมระเหยในพืชละลายในคาร์บอนไดออกไซด์เหลว แล้วปล่อยให้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวระเหิดในแรงดันปกติ เหลือแต่น้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ ต้นทุนการผลิตสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 2-12 น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้

ที่มา : http://www.herbana.eu/essential-oils/79-lemongrass-essential-oil-cymbopogon-citratus.html

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pasquarella และคณะ (2012) ต้องการประมาณจำนวนจุลินทรีย์ที่ลอยอยู่ในอากาศภายในโรงภาพยนตร์ที่ปิดให้บริการและเปิดให้บริการ จัดทำค่ามาตรฐานท้องถิ่นของจุลินทรีย์ในอากาศภายในโรงภาพยนตร์ และปรับแก้ค่าความถูกต้องระหว่างการเก็บตัวอย่างแบบใช้และไม่ใช้เครื่องดูดอากาศ เขาจึงทำการทดลองโดยเลือกอัตราการหมุนเวียนอากาศ 15 ต่อชั่วโมง เป็นตัวแทนของแต่ละโรงภาพยนตร์ ใช้ Tryptic soy agar เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย และสำหรับราใช้ Sabouraud Dextrose Agar เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยนำเชื้อไปบ่มที่ 36°C เป็นเวลา 2 วัน และ 22°C เป็นเวลา 5 วัน ตามลำดับ พบว่า ภายในโรงภาพยนตร์ที่เปิดให้บริการมีเชื้อแบคทีเรียและราในอากาศมากกว่าโรงภาพยนตร์ที่ปิดให้บริการ โดยพบว่าการเก็บตัวอย่างแบบใช้เครื่องดูดอากาศมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มากกว่า พบเชื้อแบคทีเรียในโรงภาพยนตร์มากสุด 798 cfu/m^3 และพบรามากสุด 57% ของตัวอย่างอากาศที่เก็บมาภายในโรงภาพยนตร์ (Pasquarella และคณะ, 2012)

Dao และ Dantigny (2011) เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเข้าจับกับเนื้อเยื่อของผลไม้ได้ แต่แบคทีเรียไม่สามารถจับเนื้อเยื่อของผลไม้ได้ เพราะฉะนั้นการเน่าเสียของผลไม้จึงมีสาเหตุมาจากเชื้อรา การทดลองนี้เป็นการหาประสิทธิภาพของเอทานอลในการยับยั้งเชื้อราที่เกิดขึ้นบนผิวอาหาร ทำให้อาหารเน่าเสีย เกิดการสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจ เอทานอลถูกใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อรามานานแล้วและสามารถจัดหาได้สะดวก จึงใช้เอทานอลในการยับยั้งเชื้อราที่ทำให้อาหารเน่าเสีย โดยใช้เอทานอลใน 2 สภาวะ คือ สารละลายและไอเอทานอล ในการทดลองประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของ

สารละลายเอทานอล เชื้อราที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ *Aspergillus candidus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides*, *Eurotium herborarium*, *Mucor circinelloides*, *Mucor racemosus*, *Paecilomyces variotti*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium digitatum*, *Rhizopus oryzae* และ *Trichoderma harzanium* จากการทดลอง พบว่า สารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 4-6% ที่อุณหภูมิ 25°C สามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราทุกชนิดได้ ในขณะที่การทดลองประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของไอเอทานอล เชื้อราที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ *Aspergillus niger* และ *Penicillium* sp. ได้ผลการทดลองว่า ไอเอทานอลความเข้มข้น 20% ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 0.7 kPa สามารถยับยั้งการกระจายสปอร์ของเชื้อราอย่างมีนัยสำคัญ โดยข้อแตกต่างของการใช้สารละลายและไอเอทานอล คือ อุปกรณ์เครื่องมือที่สามารถกัดกร่อนได้ ไม่ควรใช้สารละลายเอทานอล แต่ควรใช้ไอเอทานอล ข้อระวังของไอเอทานอลคือ สามารถเกิดการระเบิดได้ภายใต้ความดัน 3.3 kPa

Phongpaichit และคณะ (1995) เนื่องจากการพัฒนาการยับยั้งเชื้อราโดยใช้สารเคมีอาจเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ จึงจำเป็นต้องพัฒนาทางเลือกอื่นในการยับยั้งเชื้อรา โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมต่ำและย่อยสลายง่าย เป็นการทดลองหาความเข้มข้นต่ำสุดของของสารยับยั้งเชื้อราที่สามารถยับยั้งเชื้อราได้ (MIC) โดยใช้สารสกัดซาโปนินจากใบของต้นขี้หนอนและใช้เชื้อราจากประเทศไทยและแคนาดา ได้ผลการทดลองว่า สารสกัดซาโปนินจากใบของต้นขี้หนอนความเข้มข้น 50 มคก./มล. สามารถยับยั้งเชื้อราได้ และประสิทธิภาพการยับยั้งสายพันธุ์เชื้อราจากประเทศไทยมีค่ามากกว่าสายพันธุ์เชื้อราจากประเทศแคนาดา ซึ่งประสิทธิภาพการยับยั้งขึ้นอยู่กับระยะเวลาการบ่มเชื้อราด้วย โดยระยะเวลาการบ่ม 3 วัน มีประสิทธิภาพการยับยั้งมากกว่าระยะเวลา 1 และ 2 วัน (Phongpaichit และคณะ, 1995)

Tzortzakis และ Economakis (2007) เนื่องจากการใช้ยาฆ่าแมลงมีอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และยังตกค้างในอาหาร การคำนึงถึงความเสี่ยงต่ออันตรายนี้จึงมีมากขึ้น โดยพยายามหาทางเลือกหรือวิธีที่ปลอดภัยแทนการใช้ยาฆ่าแมลง หนึ่งในทางเลือกนั้น คือ ใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ซึ่งการทดลองนี้เลือกใช้ต้นตะไคร้เป็นสารยับยั้ง เป็นการทดลองหาความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อราน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ โดยใช้เชื้อรา *Aspergillus niger* ในการทดลอง แล้วใช้ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ในช่วง 25 – 500 ppm นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 95% ได้ผลการทดลองว่า น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ความเข้มข้น 500 ppm สามารถยับยั้งการเกิดเชื้อรา *Aspergillus niger* ได้ 100% (Tzortzakis และคณะ, 2007)

Xu และคณะ (2012) เชื้อราที่ทำให้เกิดโรคตาดำอักเสบพบมากในประเทศกำลังพัฒนา เช่น ที่ประเทศจีน เนื่องจากไม่สามารถหาสารยับยั้งที่มีประสิทธิภาพได้ จึงเลือกใช้ phenylmercuric nitrate และ benzalkonium chloride ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการยับยั้งแบคทีเรียในตา แต่อย่างไรก็ตาม

ยังไม่พบงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ phenylmercuric nitrate และ benzalkonium chloride ในการยับยั้งเชื้อราจนถึงขณะนี้ จึงทำการทดลองประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราเส้นใยที่ก่อให้เกิดโรคทางตา โดยใช้สาร phenylmercuric nitrate และ benzalkonium chloride เชื้อราที่ใช้ในการทดลองได้แก่ *Fusarium* spp. และ *Aspergillus* spp. ซึ่งเป็นเชื้อราเส้นใยที่ก่อให้เกิดโรคทางตาที่พบมาก ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ potato dextrose agar นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อที่ 35°C เป็นเวลา 3 วันสำหรับ *Aspergillus* spp. และ 7 วันสำหรับ *Fusarium* spp. จากการทดลองพบว่า phenylmercuric nitrate มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราเส้นใยที่ก่อให้เกิดโรคทางตาสูงกว่า benzalkonium chloride ประมาณ 1,000 เท่า โดยใช้ค่า Minimum inhibitory concentrations (MIC) เป็นพารามิเตอร์ในการบอกประสิทธิภาพของการยับยั้ง

Foksowicz-Flaczyk และ Walentowska (2012) ผ้าลินินเป็นผ้าที่เหมาะสำหรับทำเป็นเสื้อผ้าสวมใส่ เนื่องจากถ่ายเทอากาศได้ดี แต่ในทางตรงกันข้าม ผ้าลินินเกิดเชื้อราง่ายกว่าผ้าสังเคราะห์ มีหลักฐานบอกว่าพบเชื้อราเกิดขึ้นบนผ้า เช่น สภาพพื้นผิวของผ้าเปลี่ยนไป สีจางลง มีกลิ่นอับชื้น เป็นต้น เมื่อเกิดเชื้อราบนผ้า เมื่อมนุษย์ใส่ผ้าที่มีเชื้อราทำให้เชื้อราแพร่เข้าสู่ร่างกาย ส่งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน มีงานวิจัยพบว่าสาร Quaternary Ammonium Compounds (QACs) มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราสูงและไม่ทำลายเซลลูโลสของผ้า และจากงานวิจัยของ Pernak และคณะ (2006) พบว่าเกลือไนเตรทและเกลือไนไตรท์มีประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อราสูง จึงเลือกใช้สาร didecyldimethylammonium nitrate ([DDA][NO_3]) ยับยั้งเชื้อราบนผ้าลินิน โดยนำผ้าลินินไปวางไว้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วทำหยดเชื้อราลงไป นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 29±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90% หลังจากบ่มเสร็จแล้ว ใช้วิธีการดูจำนวนเชื้อราด้วยตาเปล่าแล้วประเมินเป็นระดับ โดย

ระดับ 0 คือ มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าและส่องกล้องไม่พบเชื้อรา

ระดับ 1 คือ มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่ส่องกล้องแล้วพบเชื้อรา

ระดับ 2 คือ มองเห็นด้วยตาเปล่า มีเชื้อรา 25% ของพื้นที่ทดลอง

ระดับ 3 คือ มองเห็นด้วยตาเปล่า มีเชื้อรา 50% ของพื้นที่ทดลอง

ระดับ 4 คือ มองเห็นด้วยตาเปล่า มีเชื้อรามากกว่า 50% ของพื้นที่ทดลอง

ระดับ 5 คือ เชื้อราคลุมพื้นที่ทดลองทั้งหมด

หลังจากนั้น นำไปส่องดูด้วยกล้อง scanning electron microscopy เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงเส้นใยของผ้าลินิน จากการทดลองพบว่า ตั้งแต่ความเข้มข้น 5,000 µg/g dry fabric สามารถยับยั้งเชื้อราได้ในระดับ 3

ข้อดีของงานวิจัยที่ศึกษามา ได้แก่ งานวิจัยของ Dao และ Dantigny (2011) Tzortzakis และ Economakis (2007) Xu และคณะ (2012) ทำการทดลองด้วยเชื้อรา *Aspergillus niger* และ

Penicillium sp. ซึ่งเป็นเชื้อราที่พบมากในบรรยากาศ และงานวิจัยของ Dao และ Dantigny (2011) Phongpaichit และคณะ (1995) Xu และคณะ (2012) และ Foksowicz-Flaczyk และ Walentowska (2012) บอกสภาวะการบ่มเชื้อราซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ได้

ข้อจำกัดของงานวิจัยที่ศึกษามา ได้แก่ งานวิจัยของ Tzortzakis และ Economakis (2007) ใช้สภาวะการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 13°C ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการบ่มเชื้อราคือ 25-30°C และงานวิจัยของ Dao และ Dantigny (2011) ใช้สารยับยั้งเชื้อราเอทานอล ซึ่งเป็นสารที่มีโทษต่อมนุษย์

ในปัจจุบันงานวิจัยการยับยั้งเชื้อราด้วยสาร Quaternary Ammonium Compounds ยังมีน้อยมาก และยังไม่มีการนำไปประยุกต์ใช้กับผ้าโพลีเอสเตอร์ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารประกอบ BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้เป็นสารยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์

จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดข้างต้นทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยสรุปตัวแปรที่ใช้ทดลองได้ดังนี้

1. เชื้อราที่ใช้ทดลอง คือ *Aspergillus niger*
2. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในการทดลองอยู่ในช่วง 70 – 80%
3. อุณหภูมิในการบ่มเชื้อรา 30°C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
แผนการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและเคมีภัณฑ์

3.1.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Mineral Salts Agar (MSA)

- Ammonium nitrate (NH_4NO_3)
- Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4)
- Dipotassium hydrogen phosphate (K_2HPO_4)
- Magnesium sulfate ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)
- Ferrous sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)
- Agar
- Petri dish ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร
- Autoclave
- แอลกอฮอล์
- บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
- ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร

3.1.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวัด pH ของผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่

- pH meter
- บีกเกอร์ 400 มิลลิลิตร
- ผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 10 กรัม ขนาด 30×30 เซนติเมตร
- ฟอร์เซป
- Hot plate
- กระจกนาฬิกา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.3 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเชื้อรา

- อาหารเลี้ยงเชื้อ MSA
- Petri dish ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร
- หลอดทดลอง
- ตู้บ่มเชื้อรา
- ห่วงเขี่ยเชื้อ
- แอลกอฮอล์
- ไมโครปิเปตต์

- ทิปขนาด 1000 ไมโครลิตร
- ชุดกรองเชื้อรา

3.2 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ MSA

ชั่งน้ำหนัก NH_4NO_3 3.0 กรัม KH_2PO_4 2.5 กรัม K_2HPO_4 2.0 กรัม $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 กรัม $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.1 กรัม และ Agar 20.0 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นจนปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร และคนจนสารละลาย หลังจากนั้นเทใส่ขวดรูปชมพู่ขวดละ 350 มิลลิลิตร แล้วนำไปเข้าเครื่อง autoclave ที่มีอุณหภูมิ 121.5 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที นำขวดรูปชมพู่ไปแช่ใน water bath ที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วนำอาหารเลี้ยงเชื้อมาเทลง Petri dish ให้ทั่วผิวหน้าของจาน ทิ้งไว้สักครู่จนแข็งตัว

3.3 การวัด pH ของผ้า (AATCC, 2006)

ใช้วิธีมาตรฐาน AATCC (American Association of Textile Chemists and Colorists) Test Method 81-2006 ต้มน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ด้วย Hot plate เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำผ้าตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ไว้ในน้ำกลั่นโดยให้จมอยู่ใต้น้ำ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา แล้วต้มน้ำกลั่นต่อไป 10 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของน้ำกลั่นลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง นำผ้าตัวอย่างออกจากน้ำกลั่นด้วยฟอร์เซป หลังจากนั้นทำการวัดค่า pH ด้วย pH meter

3.4 การเตรียมเชื้อรา

เชื้อรา *Aspergillus niger* สั่งซื้อจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรมวิทยาศาสตร์ (TISTR) โดยเชื้อราอยู่ในรูปหลอดเชื้อแห้งแข็ง (Freeze – Dried Cultures) ซึ่งมีวิธีการเพาะเชื้อจากหลอดเชื้อแห้งแข็งดังนี้ (TISTR, 2012)

3.4.1 ใช้ตะไบเหล็กค่อยๆเลื่อยที่กึ่งกลางของหลอดเชื้อแห้งแข็งให้เป็นรอย จับสำลีชุบแอลกอฮอล์ 70% พอหมาดๆ แล้วหักหลอดเชื้อแห้งแข็งออกเป็นสองส่วน

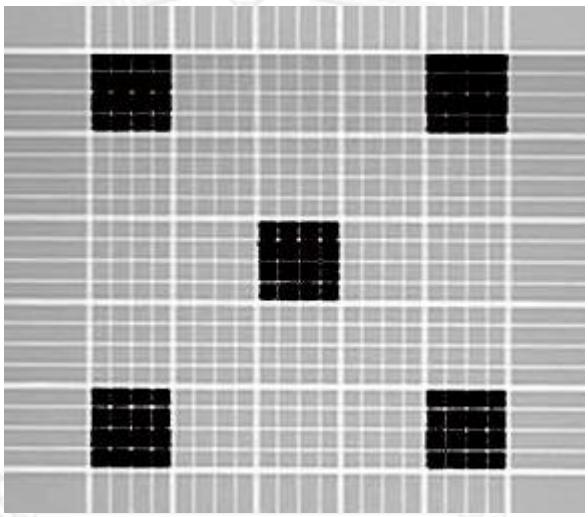
3.4.2 ดึงปลายหลอดจุลินทรีย์ออกมา แล้วใช้ไมโครปิเปตต์ดูด Potato Dextrose Broth (PDB) ประมาณ 0.3 – 0.4 ml ถ่ายลงในหลอดจุลินทรีย์เพื่อละลายสารผสมเซลล์จุลินทรีย์ในหลอด โดยทำในสภาพปลอดเชื้อ

3.4.3 ดูดสารละลายผสมเซลล์จุลินทรีย์จากหลอดจุลินทรีย์ แล้วนำไปหยดลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็ง (Agar plate) จำนวน 1 หยด

3.4.4 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน เพื่อให้เชื้อรา *Aspergillus niger* เจริญเป็นสปอร์

3.4.5 เตรียมความเข้มข้นของเชื้อรา *Aspergillus niger* โดยนำน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 9 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในจานเพาะเชื้อรา แล้วใช้ห่วงเขี่ยเชื้อเขี่ยให้ทั่วผิวหน้าอาหาร เพื่อให้สปอร์ราหลุดออกจากผิวหน้าอาหาร จากนั้นนำไปกรองด้วยชุดกรองเพื่อกรองเอาอาหารออกไป ใช้ไมโครปิเปตต์ดูดสารละลายสปอร์รา 0.1 มิลลิลิตร นำไปหยดลงบนแผ่นฮีมาไซโตมิเตอร์ (Hemacytometer) แล้วปิดด้วย cover glass นำไปนับจำนวนสปอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ดังภาพที่ 3-1 และปรับความเข้มข้นให้เท่ากับ 10^5 สปอร์/มิลลิลิตร โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{สปอร์/มิลลิลิตร} = \frac{\text{จำนวนสปอร์ที่นับได้ทั้งหมด} \times 25 \times 10^4}{5}$$



ภาพที่ 3-1 การนับจำนวนสปอร์เชื้อราด้วยวิธีฮีมาไซโตมิเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้

ตารางที่ 3-1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และ น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	
- ความเข้มข้นของสาร BKC	1 5 10 15 20 และ 25%
- ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้	1 2 3 4 5 และ 10%
- % ของผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่	35 และ 100%

ตัวแปรตาม - ปริมาณเชื้อราที่ลดลง	
ตัวแปรควบคุม - อุณหภูมิในตู้บ่มเชื้อ - ระยะเวลาในการบ่มเชื้อ - ความชื้นสัมพัทธ์ในตู้บ่มเชื้อ - pH ของผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่สีขาว - จำนวนเชื้อรา	 $30^{\circ}C$ 14 วัน 70 – 80% 5.0 – 7.0 10^5 สปอร์/มิลลิลิตร

ใช้วิธีมาตรฐาน AATCC Test Method 30-2004 Section III (AATCC, 2004) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ MSA

2. นำผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่สีขาว 35 และ 100% ไปวัดค่า pH

3. หยดเชื้อรา *Aspergillus niger* ความเข้มข้น 10^5 สปอร์/มิลลิลิตร ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วเกลี่ยเชื้อให้ทั่วด้วยแท่งแก้วรูปตัวแอล

4. ตัดผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35 และ 100% เป็นรูปวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8±0.5 เซนติเมตร แล้วนำผ้าไปชุบด้วยสารละลาย BKC ความเข้มข้น[*2] 1 5 10 15 20 และ 25% น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ความเข้มข้น[*3] 1 2 3 4 5 และ 10% และแอลกอฮอล์ 50% (control) ซึ่งใช้เป็นตัวทำละลายน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ จากนั้นนำไปวางตรงกลางบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

5. นำไปบ่มไว้ในตู้บ่มเชื้อที่มีอุณหภูมิ $30^{\circ}C$ และความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% เป็นเวลา 14 วัน

6. ประเมินประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราดังนี้

ไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อรา (รายงานผลเป็น clear zone ในหน่วยมิลลิเมตร และเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซนต์ของ clear zone โดยเทียบจากเส้นผ่านศูนย์กลางของ clear zone)

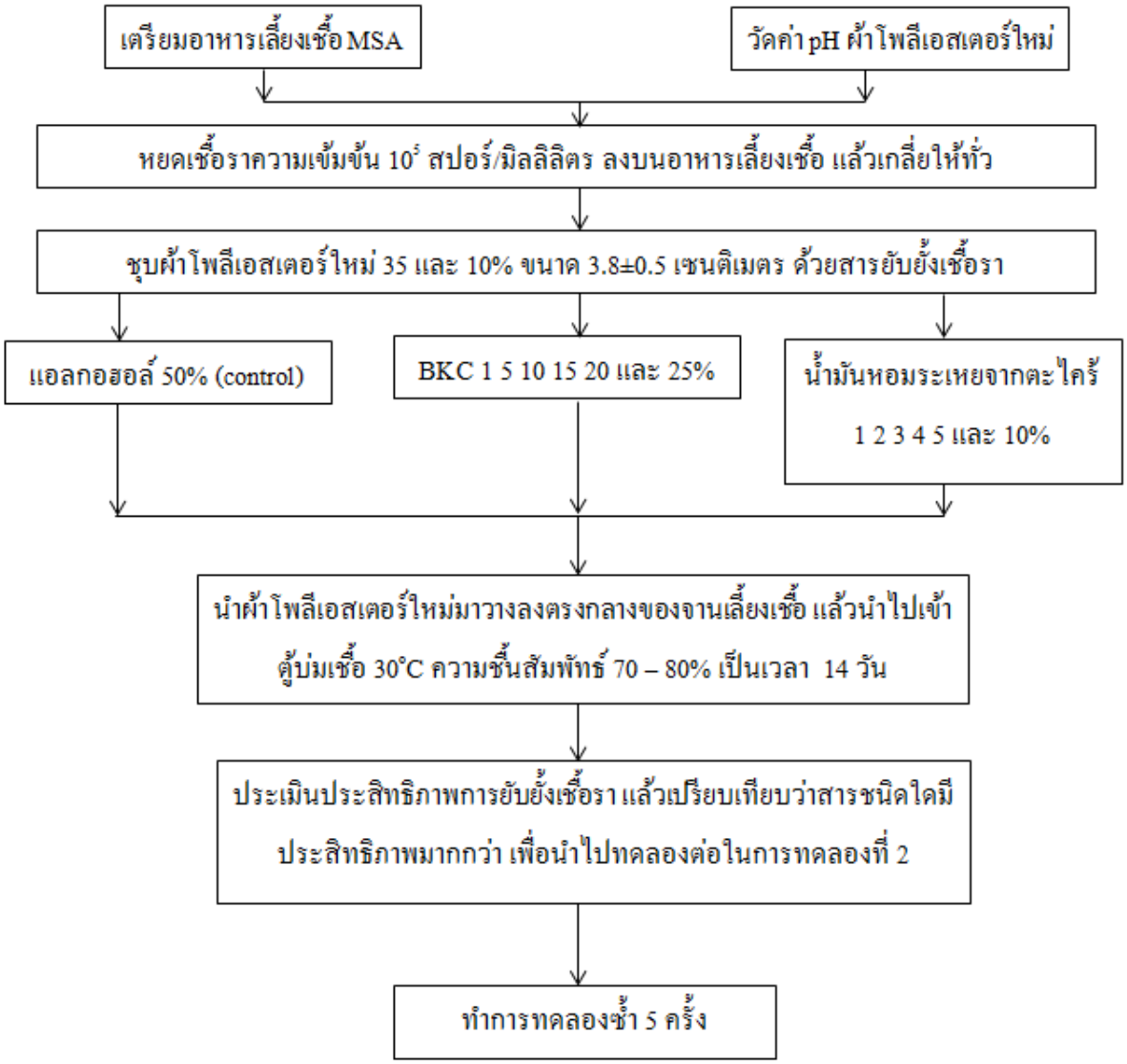
ไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อราเมื่อมองด้วยตาเปล่า แต่พบการเจริญเติบโตของเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์

พบการเจริญเติบโตของเชื้อราเมื่อมองด้วยตาเปล่า

7. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราว่าสารชนิดใดมีประสิทธิภาพสูงกว่า แล้วนำความเข้มข้นของสารนั้นไปทดลองต่อในการทดลองที่ 2

8. ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

<u>หมายเหตุ</u> : ความหมายของ *2 และ *3 ให้ย้อนกลับไปดูที่หน้า ฐ (คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ)



ภาพที่ 3-2 แผนผังการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

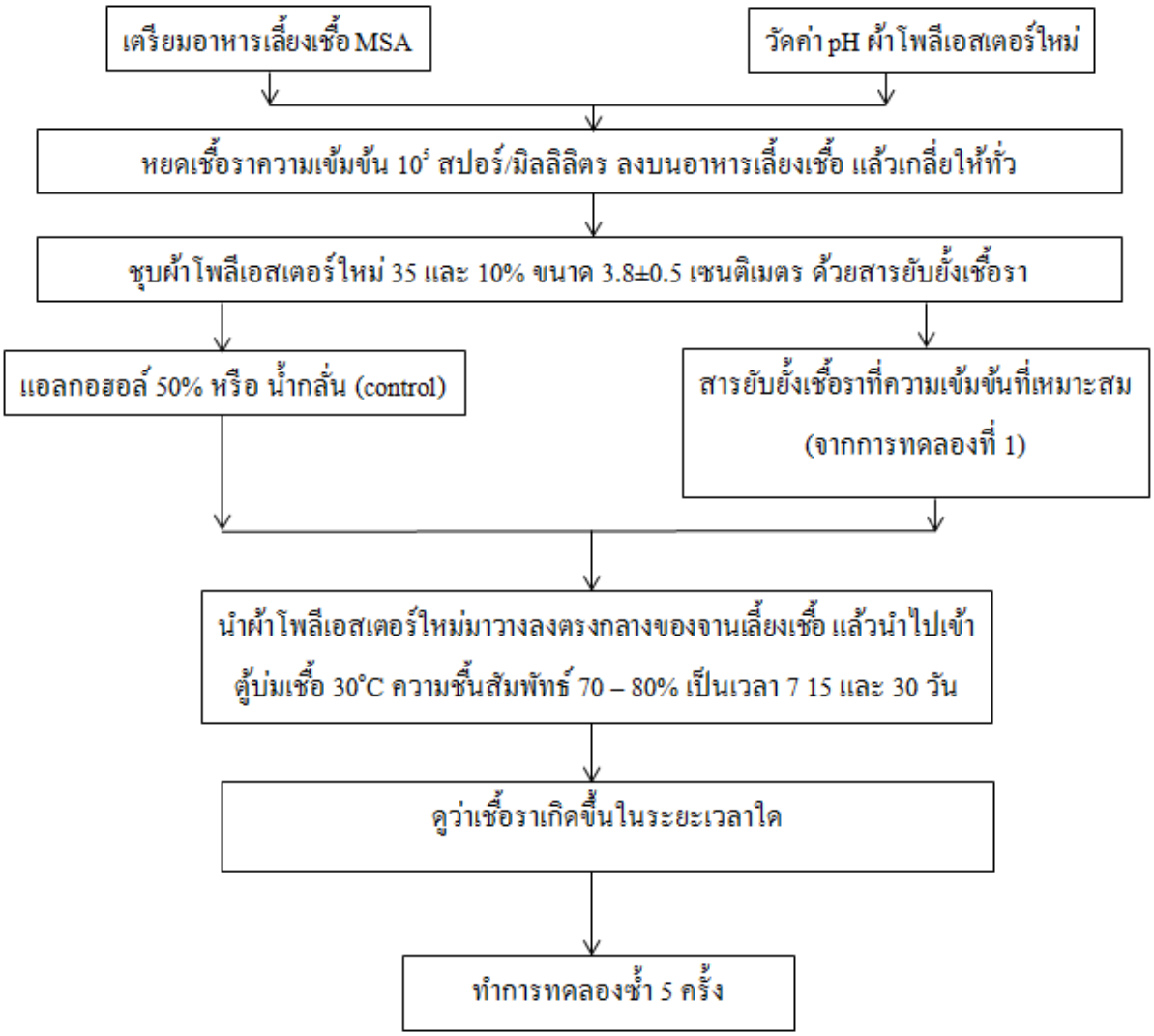
3.5.2 ศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา

ตารางที่ 3-2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	
- % ของผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่สีขาว	35 และ 100%
- ระยะเวลาในการบ่มเชื้อ	7 15 และ 30 วัน
ตัวแปรตาม	
- การเกิดขึ้นของเชื้อรา	
ตัวแปรควบคุม	
- อุณหภูมิในตู้บ่มเชื้อ	$30^{\circ}C$
- ความชื้นสัมพัทธ์ในตู้บ่มเชื้อ	70 – 80%
- ความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อรา	จากผลการทดลองที่ 1
- pH ของผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่สีขาว	5.0 – 7.0
- จำนวนเชื้อรา	10^5 สปอร์/มิลลิลิตร

ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ MSA
2. นำผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่สีขาว 35 และ 100% ไปวัดค่า pH
3. หยดเชื้อรา *Aspergillus niger* ความเข้มข้น 10^5 สปอร์/มิลลิลิตร ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วเกลี่ยเชื้อให้ทั่วด้วยแท่งแก้วรูปตัวแอล
4. ตัดผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35 และ 100% เป็นรูปวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8±0.5 เซนติเมตร แล้วนำผ้าไปชุบด้วยสารยับยั้งเชื้อราจากการทดลองที่ 1 และแอลกอฮอล์ 50% หรือ น้ำกลั่น (control) จากนั้นนำไปวางตรงกลางบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ
5. นำไปบ่มไว้ในตู้บ่มเชื้อที่มีอุณหภูมิ $30^{\circ}C$ และความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% เป็นเวลา 7 15 และ 30 วัน
6. ดูว่ามีเชื้อราเกิดขึ้นในระยะเวลาใด ถ้าไม่มีเชื้อราเกิดขึ้นแสดงว่าอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราเท่ากับระยะเวลานั้น
7. ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง



ภาพที่ 3-3 แผนผังการศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5.3 ศึกษาผลของสารยับยั้งเชื้อราต่อเนื้อผ้า

ตารางที่ 3-3 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาผลของสารยับยั้งเชื้อราต่อเนื้อผ้า

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	
- ความเข้มข้นของสาร BKC	1 5 10 15 20 25 และ 80%
- ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้	1 2 3 4 5 10 และ 100%
- % ของผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่สีขาว	35 และ 100%
- ระยะเวลาการชั่งน้ำหนักและส่องสภาพผ้า	1 3 7 10 และ 14 วัน
ตัวแปรตาม	
- น้ำหนักของผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่	
- ลักษณะผ้าของผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่	

ใช้วิธีมาตรฐาน AATCC Test Method 20-2008 (AATCC, 2008) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

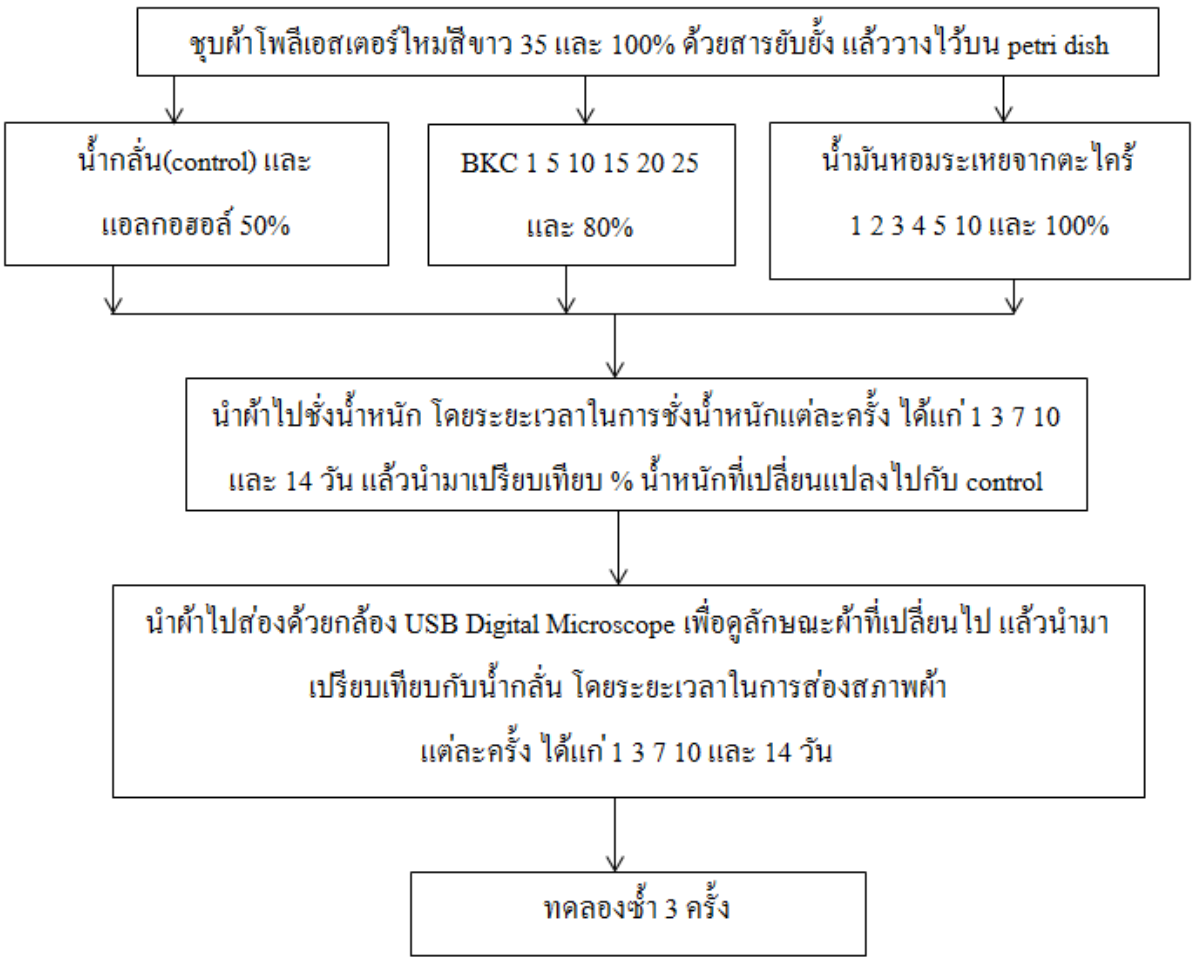
1. ตัดผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35 และ 100% เป็นรูปวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8±0.5 เซนติเมตร แล้วนำผ้าไปชุบด้วยสารละลาย BKC ความเข้มข้น[*2] 1 5 10 15 20 25% และ 80% น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ความเข้มข้น[*3] 1 2 3 4 5 10 และ 100% แอลกอฮอล์ 50% น้ำกลั่น (control) แล้วนำไปวางไว้บน petri dish

2. นำผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35 และ 100% จากข้อ 1 ไปชั่งน้ำหนัก (ไม่ต้องนำผ้าไปอบให้แห้ง เพราะจะทำให้ความเข้มข้นของสารยับยั้งเปลี่ยนแปลงไปและความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตด้วย) โดยระยะเวลาในการชั่งน้ำหนักแต่ละครั้ง ได้แก่ 1 3 7 10 และ 14 วัน แล้วคำนวณน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในการชั่งน้ำหนักแต่ละครั้งในลักษณะของเปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับ control ว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักมากน้อยเพียงใด

3. นำผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35 และ 100% จากข้อ 1 ไปส่องสภาพผ้าด้วยกล้อง USB Digital Microscope ดังภาพที่ 3-4 เพื่อดูความเสียหายของผ้าเนื่องจากความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อรา แล้วนำมาเปรียบเทียบกับน้ำกลั่น โดยระยะเวลาในการส่องสภาพผ้าแต่ละครั้ง ได้แก่ 1 3 7 10 และ 14 วัน

4. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ภาพที่ 3-4 กล้อง USB Digital Microscope



ภาพที่ 3-5 แผนผังการศึกษาผลของสารยับยั้งเชื้อราต่อเนื้อผ้า

3.6 สรุปชุดทดลองในงานวิจัย

ตารางที่ 3-4 สรุปชุดการทดลองในงานวิจัย

การทดลอง	**จำนวนชุดการทดลอง**	**ระยะเวลาการทดลอง**
1. ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้	130 ชุด	2 เดือน
2. ศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา	120 ชุด	2 เดือน
3. ศึกษาผลของสารยับยั้งเชื้อราต่อเนื้อผ้า	480 ชุด	4 เดือน
สรุปชุดการทดลองทั้งหมด	**730 ชุด**	**7 เดือน**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการทดลองจากการวิจัยในการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 3 ผลการทดลอง ตามแผนการดำเนินงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ดังนี้

1. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้
2. ผลการศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา
3. ผลการศึกษาความเสียหายจากสารยับยั้งเชื้อราต่อเนื้อผ้า

จากผลการทดลองทั้ง 3 การทดลองนี้ ได้นำมาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อหาข้อสรุปและนำไปสู่คำตอบของวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ โดยแต่ละการทดลองมีรายละเอียดของผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้

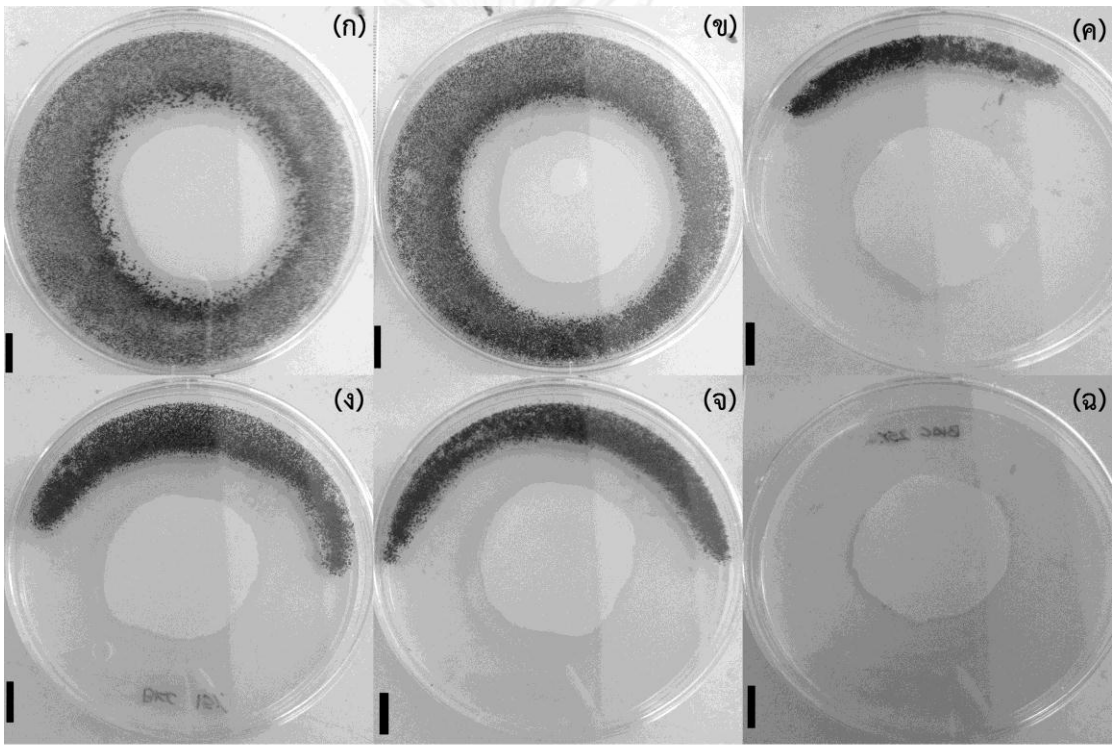
เป็นการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพของสารยับยั้งเชื้อราทั้ง BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ว่าสารยับยั้งเชื้อราชนิดใด ความเข้มข้นเท่าใด มีความเหมาะสมกับผ้าชนิดใด และนำผลจากการศึกษานี้ไปศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราต่อ

4.1.1 ผลการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 100% (TK)

การทดลองนี้เป็นการทดลองการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ด้วยสาร BKC ก่อนการทดลองได้ทำการวัดค่า pH ของผ้า TK ได้ค่า 5.60 ซึ่งอยู่ในขอบเขตงานวิจัยนี้

เมื่อบ่มเชื้อราครบเวลา 14 วันแล้ว สังเกตประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ด้วยสาร BKC โดยเปรียบเทียบขนาดของ clear zone จากภาพที่ 4-1 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสาร BKC สูงขึ้น ขนาดของ clear zone จะใหญ่ขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเกิดจากสาร BKC ละลายจากผ้าไปสู่อาหารเลี้ยงเชื้อ ทำให้มี clear zone เกิดขึ้นรอบผ้า โดยความเข้มข้นของสาร BKC ที่มีขนาดของ clear zone น้อยที่สุด คือ BKC 1% ดังภาพที่ 4-1 (ก) ซึ่งมีขนาดของ clear zone เท่ากับ 46.0 มิลลิเมตร ในขณะที่ BKC 5% ดังภาพที่ 4-1 (ข) BKC 10% ดังภาพที่ 4-1 (ค) BKC 15% ดังภาพที่ 4-1 (ง) และ BKC 20% ดังภาพที่ 4-1 (จ) มีขนาดของ clear zone เท่ากับ 56.0 77.0 74.0 78.0 มิลลิเมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราเพิ่มขึ้น 22% 67% 61% และ 70% ตามลำดับ และความเข้มข้นของสาร BKC ที่มี clear zone มากที่สุด คือ BKC 25% ดังภาพที่ 4-1 (ฉ) ซึ่งมีขนาดของ clear zone เท่ากับ 90.0 มิลลิเมตร (ไม่มีเชื้อราเกิดขึ้น) และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราเพิ่มขึ้น 96% เมื่อเทียบกับสาร BKC 1% เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง clear zone ของผ้า TK และความเข้มข้นของสาร BKC ดังภาพที่ 4-2 พบว่า ความเข้มข้น

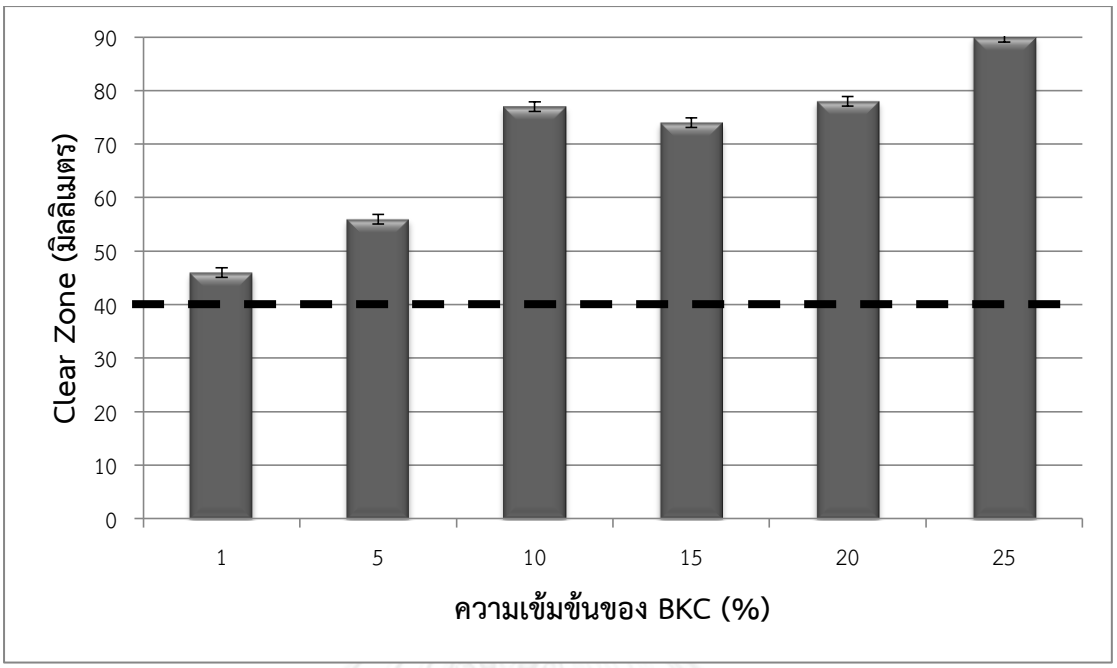
ของสาร BKC มีผลต่อขนาดของ clear zone อย่างชัดเจน โดยขนาดของ clear zone จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร BKC และทุกความเข้มข้นของสาร BKC มี clear zone มากกว่าค่ามาตรฐาน (เส้นประ หมายถึง ค่ามาตรฐานของ clear zone ในงานวิจัยนี้ เท่ากับ 40 มิลลิเมตร โดยมีที่มาจากขนาดของผ้า TK ที่ใช้ทดลอง ซึ่งถ้าเชื้อราขึ้นบนผ้า TK จะไม่สามารถนำความเข้มข้นของสาร BKC นั้นไปใช้งานได้) แสดงว่า ทุกความเข้มข้นของสาร BKC ในงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้ยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ได้ และความเข้มข้นของสาร BKC ที่น้อยที่สุดที่สามารถยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ได้ คือ BKC 1%



bar = 1 เซนติเมตร

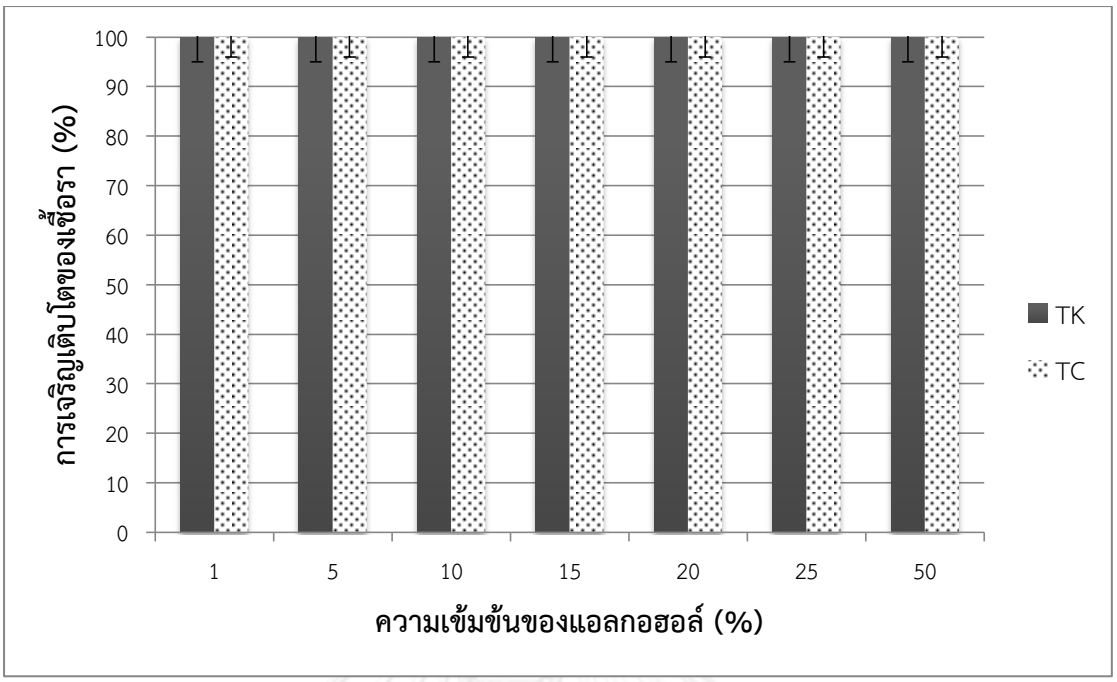
ภาพที่ 4-1 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 100% ที่มีความเข้มข้นของสาร BKC ต่างๆ: (ก) BKC 1%; (ข) BKC 5%; (ค) BKC 10%; (ง) BKC 15%; (จ) BKC 20%; (ฉ) BKC 25%

CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Clear zone ของผ้า TK และความเข้มข้นของสาร BKC (เส้นประ หมายถึง ค่ามาตรฐานของ clear zone ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 40 มิลลิเมตร โดยมีที่มาจากขนาดของผ้า TK ที่ใช้ทดลอง)

งานวิจัยนี้ใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ ซึ่งแอลกอฮอล์ก็นับว่าเป็นสารฆ่าเชื้อโรค เพราะฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องทำการทดลองผลของแอลกอฮอล์ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้า TK และ TC ด้วย เพื่อทราบประสิทธิภาพที่แท้จริงของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ในการยับยั้งเชื้อรา โดยในการทดลองนี้เลือกใช้แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 1% 5% 10% 15% 20% 25% และ 50% และก่อนการทดลองได้ทำการวัดค่า pH ของผ้า TK และ TC ได้ค่า 5.61 และ 6.74 ตามลำดับ ผลการทดลองปรากฏว่า เชื้อราเจริญเติบโตได้ทุกความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ ดังภาพที่ 4-3 หมายความว่า แอลกอฮอล์ไม่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK และ TC ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แอลกอฮอล์ความเข้มข้น 50% เป็นตัวทำละลาย เนื่องจากมีความสามารถในการละลายสูงที่สุด และมีงานวิจัยของ Dao และ Dantigny (2011) ที่ใช้แอลกอฮอล์เป็นสารยับยั้งเชื้อรา โดยพบว่าแอลกอฮอล์สามารถยับยั้งเชื้อราได้ แต่ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราไม่ถึง 100% ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มเชื้อราเป็นปัจจัยหลัก โดยการบ่มเชื้อราที่อุณหภูมิ 25°C ต้องใช้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ 36% ในการยับยั้งเชื้อราซึ่งมากกว่าการบ่มเชื้อราที่อุณหภูมิ 40°C ที่ใช้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ 20% ในการยับยั้งเชื้อรา เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของเชื้อราอยู่ในช่วง 25-30°C



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้า TK/TC และความเข้มข้นของแอลกอฮอล์

ก่อนการทดลองยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ ได้ทำการวัดค่า pH ของผ้า TK ได้ค่า 5.61ซึ่งอยู่ในขอบเขตงานวิจัยนี้

จากภาพที่ 4-4 เป็นผลการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ พบว่า ทุกความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ ดังภาพที่ 4-4 (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ) (ช) (ซ) (ฌ) มีขนาดของ clear zone เท่ากัน คือ 90 มิลลิเมตร ยกเว้นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1% ดังภาพที่ 4-4 (ก) ที่ไม่มีขนาดของ clear zone และจากภาพที่ 4-5 พบว่า ทุกความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้มีขนาดของ clear zone มากกว่าค่ามาตรฐาน ยกเว้นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1% ซึ่งแสดงว่า เราสามารถนำความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้เหล่านี้ไปใช้ยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ได้ โดยความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่น้อยที่สุด คือ น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2%

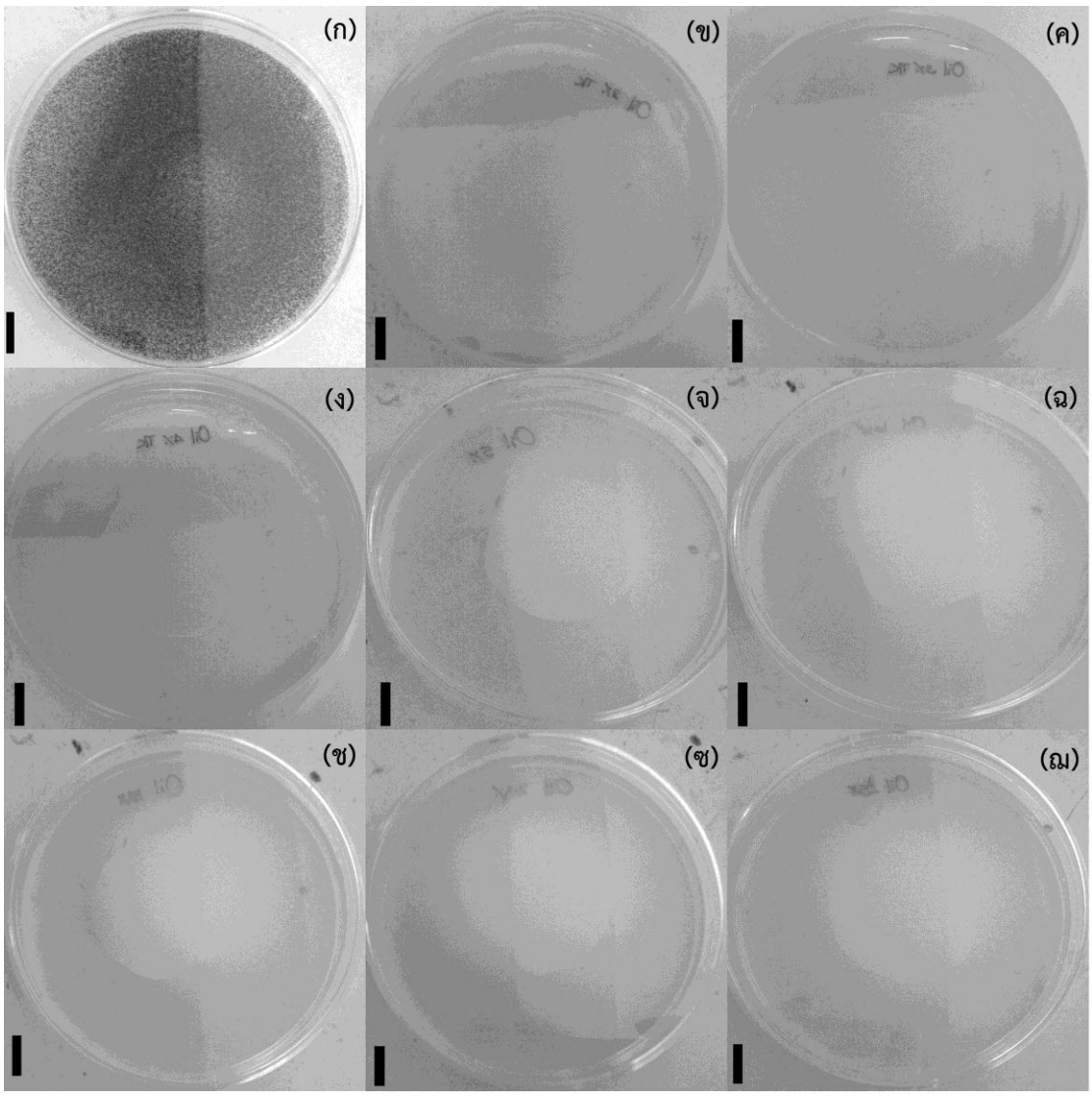
เมื่อนำภาพที่ 4-2 และ 4-5 มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่า มีความแตกต่างของการยับยั้งเชื้อราเกิดขึ้น จากภาพที่ 4-2 จะเห็นได้ว่าขนาดของ clear zone จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร BKC แต่ขนาดของ clear zone จะไม่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ จะมี clear zone เพียงสองขนาด คือ 0 และ 90 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4-5 ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะความแตกต่างของการถ่ายเทมวลสาร เหตุผลของความแตกต่างนี้ คือ ความสามารถในการระเหยของสารยับยั้งที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 4-1 พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้มีค่าความดันไอ 0.07 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งมีค่าสูงกว่าสาร BKC ที่มีค่าความดันไอ 1.88×10^{-11} มิลลิเมตรปรอท

หมายความว่า น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้สามารถระเหยได้ง่ายกว่าสาร BKC และในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองในภาชนะระบบปิด ทำให้ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้กระจายไปและมีความเข้มข้นเท่ากันทั่วจานอาหารเลี้ยงเชื้อ แต่สาร BKC เคลื่อนที่ไปทางรอบนอกของผ้า จึงเห็นขนาดของ clear zone ที่แตกต่างกันออกไปตามความเข้มข้นของสาร BKC

ตารางที่ 4-1 ค่าความดันไอและจุดเดือดของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้

สารยับยั้งเชื้อรา	**ค่าความดันไอ (มิลลิเมตรปรอท ณ 25 องศาเซลเซียส)**	**จุดเดือด (องศาเซลเซียส)**	**ที่มา**
BKC	1.88×10^{-11}	538	(EPI System, 2010)
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้	0.07	228	(Rajasekaran, 2006)

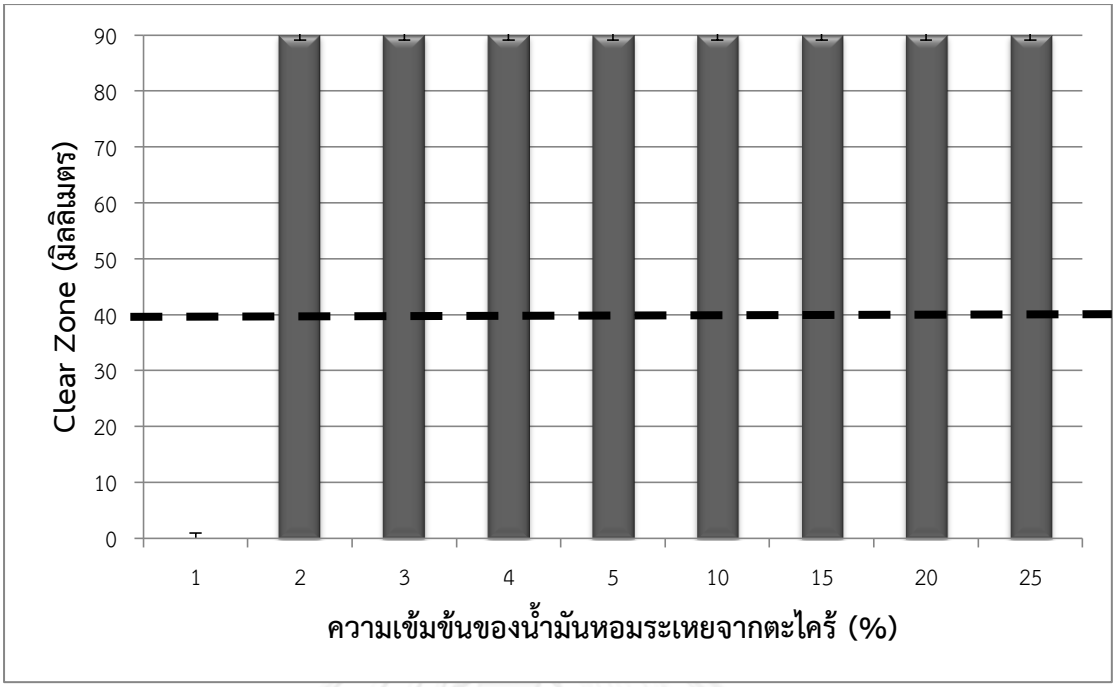
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



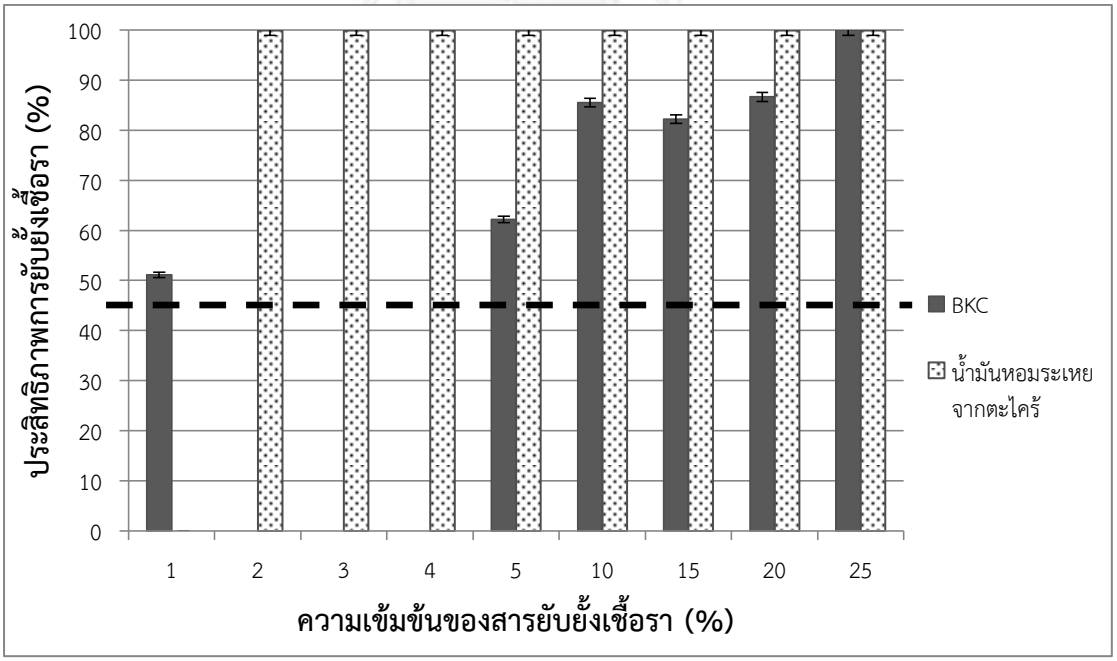
bar = 1 เซนติเมตร

ภาพที่ 4-4 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 100% ที่มีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ต่างๆ: (ก) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%; (ข) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2%; (ค) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 3%; (ง) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 4%; (จ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 5%; (ฉ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 10%; (ช) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 15%; (ซ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 20%; (ฌ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 25%

CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Clear zone ของผ้า TK และความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ (เส้นประ หมายถึง ค่ามาตรฐานของ clear zone ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 40 มิลลิเมตร โดยมีที่มาจากขนาดของผ้า TK ที่ใช้ทดลอง)



ภาพที่ 4-6 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ระหว่างสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ (เส้นประ หมายถึง ค่ามาตรฐานของประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราในงานวิจัยนี้เท่ากับ 44% โดยมีที่มาจากขนาดของผ้า TK ที่ใช้ทดลอง)

ตารางที่ 4-2 ราคาของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK (เคมีภัณฑ์, 2556)

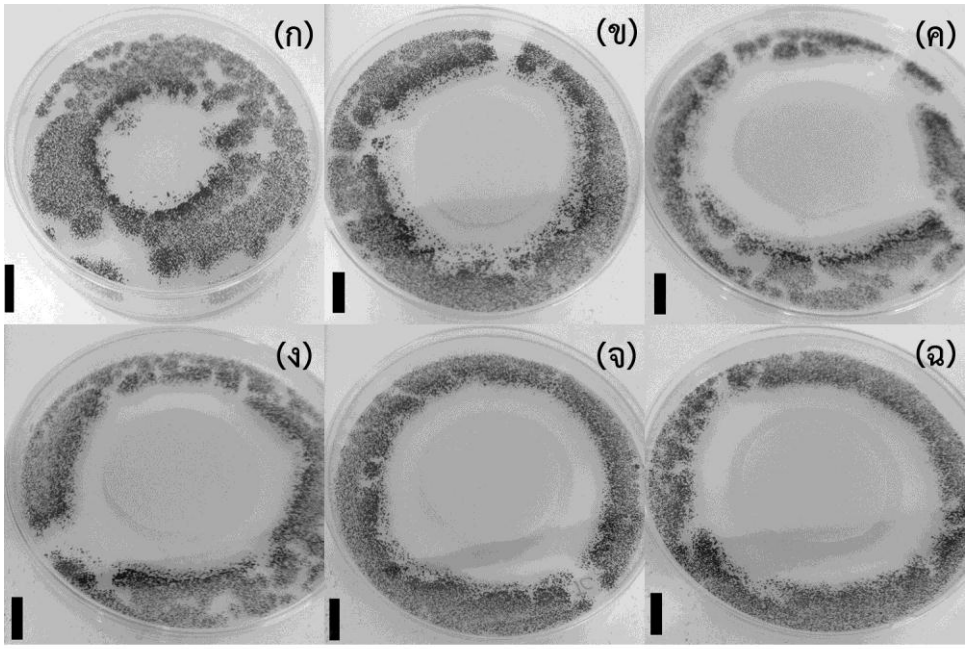
สารยับยั้งเชื้อรา	ราคา (บาทต่อมิลลิลิตร)
BKC 1%	0.0014
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2%	0.0764

เมื่อนำภาพที่ 4-2 และ 4-5 มาวิเคราะห์เป็นประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราและเปรียบเทียบกัน ดังภาพที่ 4-6 พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อราเท่ากัน เช่น ความเข้มข้น 10% น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK มากกว่าสาร BKC อาจดูเหมือนว่า น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ควรเป็นตัวแทนของสารยับยั้งเชื้อราที่จะนำมาใช้ยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK แต่ในชีวิตประจำวันนั้น คนส่วนใหญ่ต้องการความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่สามารถยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ได้เท่านั้น ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกสาร BKC 1% และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2% เป็นตัวแทนของสารยับยั้งเชื้อรา และเมื่อพิจารณาจากราคาของสารยับยั้งเชื้อราทั้งสอง ดังตารางที่ 4-2 พบว่า สาร BKC 1% มีราคาถูกกว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2% ประมาณ 55 เท่า เพราะฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกสาร BKC 1% เป็นสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ซึ่งจะนำไปทดลองต่อในการทดลองศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา

4.1.2 ผลการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% (TC)

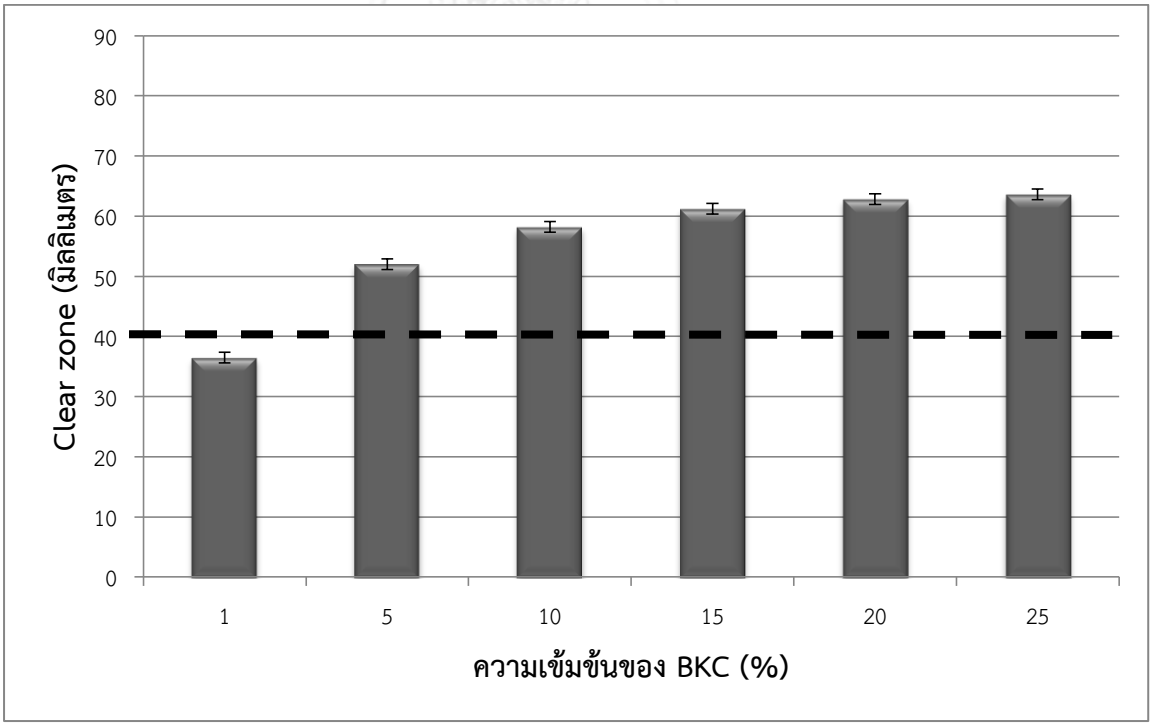
การทดลองนี้เป็นการทดลองการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC ด้วยสาร BKC โดยก่อนการทดลองสามารถวัด pH ของผ้า TC ได้ค่า 6.75 ซึ่งอยู่ในขอบเขตงานวิจัยนี้

หลังจากบ่มเชื้อราเป็นเวลา 14 วันแล้ว พบว่า มีความแตกต่างของการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC ด้วยสาร BKC เกิดขึ้น โดยสาร BKC 1% มีขนาดของ clear zone น้อยที่สุด คือ 36.5 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4-7 (ก) และสาร BKC 5% ดังภาพที่ 4-7 (ข) BKC 10% ดังภาพที่ 4-7 (ค) BKC 15% ดังภาพที่ 4-7 (ง) และ BKC 20% ดังภาพที่ 4-7 (จ) มีขนาดของ clear zone เท่ากับ 52.0 58.2 61.2 และ 62.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ และสาร BKC 25% ดังภาพที่ 4-7 (ฉ) มีขนาดของ clear zone มากที่สุด เท่ากับ 63.6 มิลลิเมตร และเมื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Clear zone ของผ้า TC และความเข้มข้นของสาร BKC ดังภาพที่ 4-8 พบว่าขนาดของ clear zone เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร BKC เหมือนกับการทดลองยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK ด้วยสาร BKC และทุกความเข้มข้นของสาร BKC มีขนาดของ clear zone มากกว่าค่ามาตรฐาน ยกเว้น สาร BKC 1% หมายความว่า งานวิจัยนี้สามารถเลือกใช้สาร BKC ทุกความเข้มข้นยกเว้นสาร BKC 1% อันได้แก่ สาร BKC 5% 10% 15% 20% และ 25% เป็นสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC ได้ และความเข้มข้นของสาร BKC ที่น้อยที่สุดที่สามารถยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC ได้ คือ BKC 5%



bar = 1 เซนติเมตร

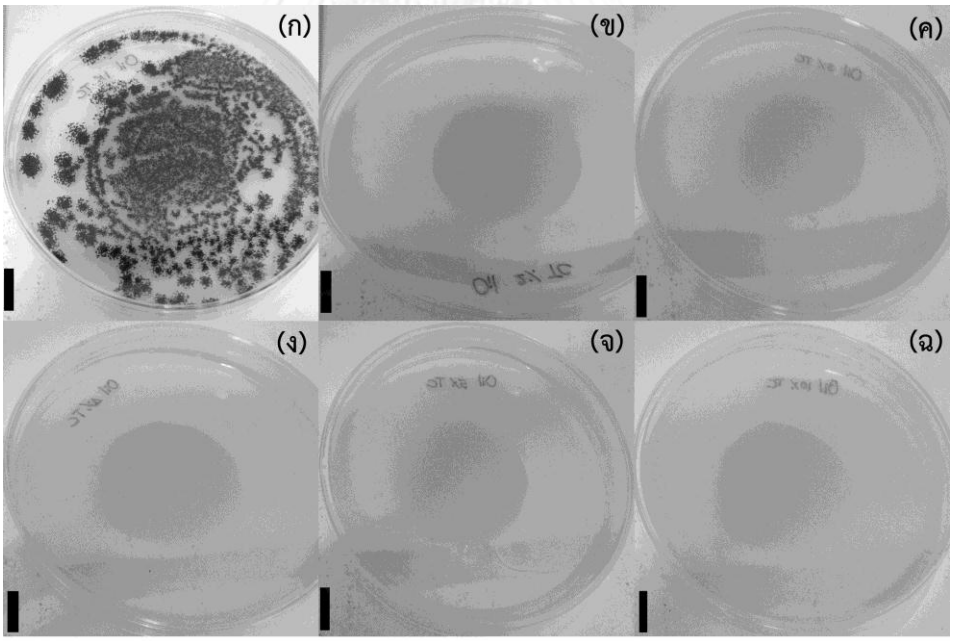
ภาพที่ 4-7 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% ที่มีความเข้มข้นของสาร BKC ต่างๆ: (ก) BKC 1%; (ข) BKC 5%; (ค) BKC 10%; (ง) BKC 15%; (จ) BKC 20%; (ฉ) BKC 25%



ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Clear zone ของผ้า TC และความเข้มข้นของสาร BKC (เส้นประ หมายถึง ค่ามาตรฐานของ clear zone ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 40 มิลลิเมตร โดยมีที่มาจากขนาดของผ้า TC ที่ใช้ทดลอง)

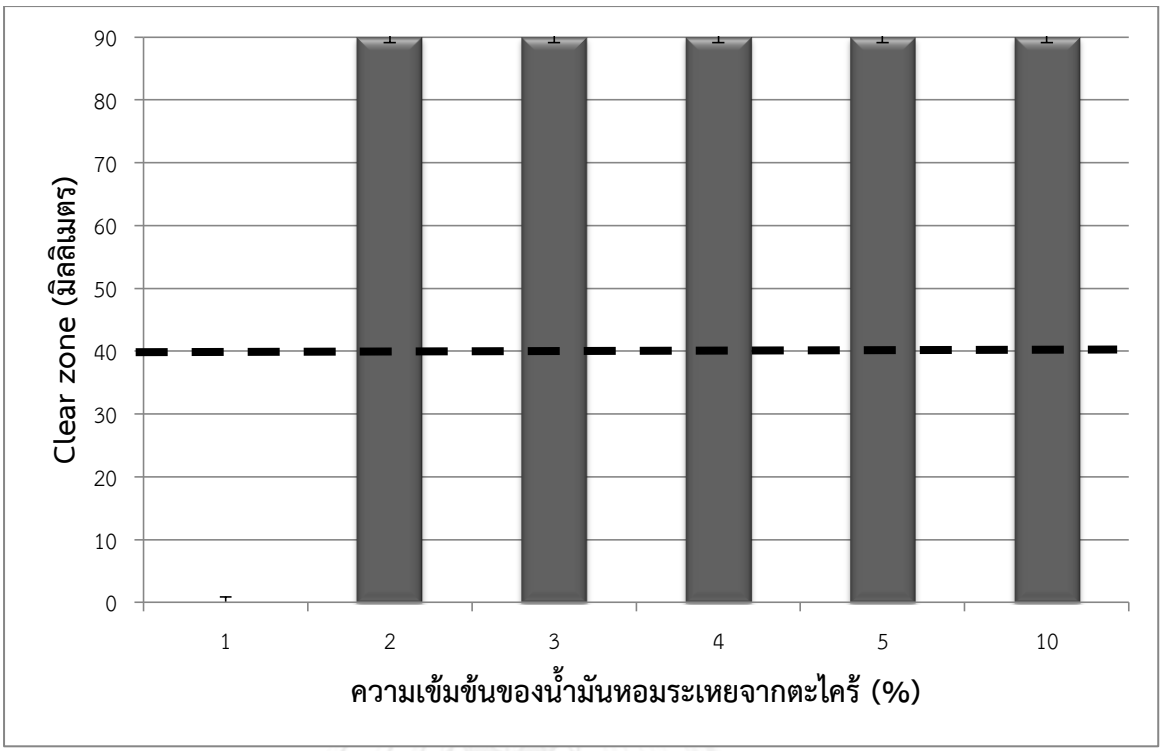
การทดลองนี้เป็นการทดลองการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC ด้วยน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ โดยก่อนการทดลองสามารถวัด pH ของผ้า TC ได้ค่า 6.74 ซึ่งอยู่ในขอบเขตงานวิจัยนี้

จากภาพที่ 4-9 พบว่า มีความแตกต่างของการยับยั้งเชื้อราเกิดขึ้นที่น้ำมันระเหยจากตะไคร้ความเข้มข้น 1% และ 2% เท่านั้น โดยน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2% ดังภาพที่ 4-9 (ข) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 3% ดังภาพที่ 4-9 (ค) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 4% ดังภาพที่ 4-9 (ง) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 5% ดังภาพที่ 4-9 (จ) และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 10% ดังภาพที่ 4-9 (ฉ) มีขนาดของ clear zone เท่ากัน คือ 90 มิลลิเมตร แต่น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1% ดังภาพที่ 4-9 (ก) ไม่มีขนาดของ clear zone และเมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Clear zone ของผ้า TC และความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ ดังภาพที่ 4-10 พบว่า ขนาดของ clear zone ของทุกความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้มีค่ามากกว่าค่ามาตรฐาน ยกเว้นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1% หมายความว่า งานวิจัยนี้สามารถเลือกน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ไปใช้ในการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC ได้ทุกความเข้มข้น ยกเว้นน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1% และความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่สามารถยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC ได้ คือ น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2%



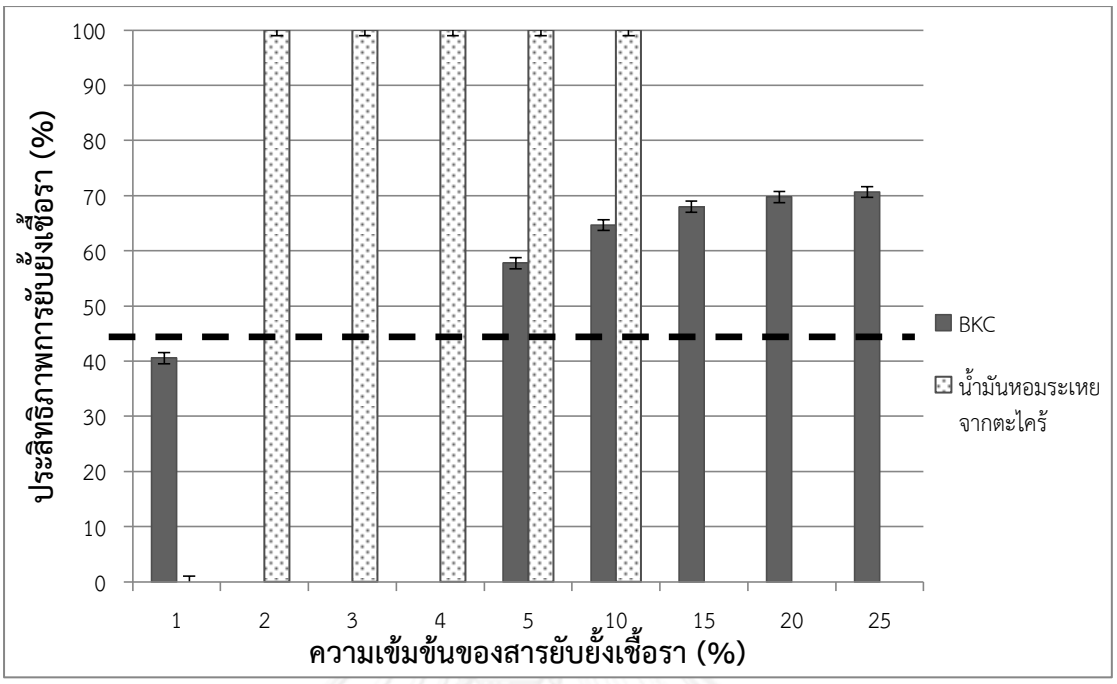
bar = 1 เซนติเมตร

ภาพที่ 4-9 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% ที่ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ต่างๆ: (ก) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%; (ข) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2%; (ค) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 3%; (ง) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 4%; (จ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 5%; (ฉ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 10%



ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Clear zone ของผ้า TC และความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ (เส้นประ หมายถึง ค่ามาตรฐานของ clear zone ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 40 มิลลิเมตร โดยมีที่มาจากขนาดของผ้า TC ที่ใช้ทดลอง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4-11 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC ระหว่างสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ (เส้นประ หมายถึง ค่ามาตรฐานของประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราในงานวิจัยนี้เท่ากับ 44% โดยมีที่มาจากขนาดของผ้า TC ที่ใช้ทดลอง)

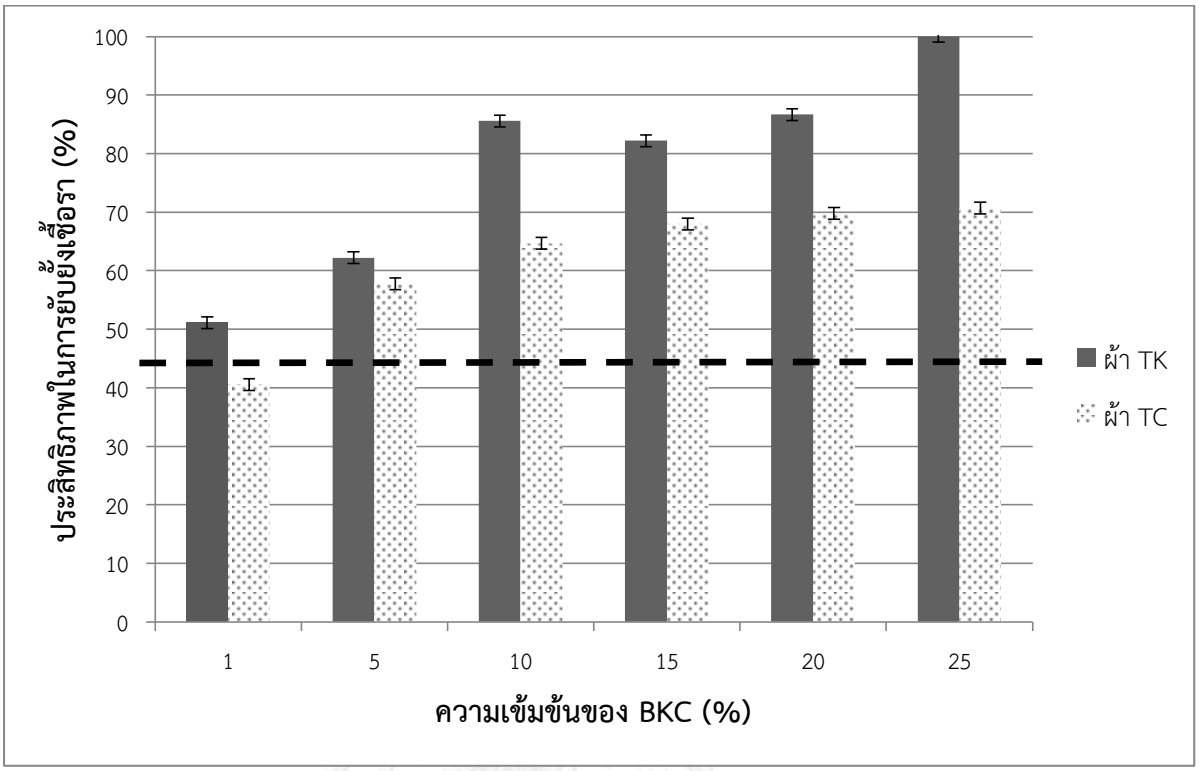
ตารางที่ 4-3 ราคาของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC (เคมีภัณฑ์, 2556)

สารยับยั้งเชื้อรา	ราคา (บาทต่อมิลลิลิตร)
BKC 5%	0.0070
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2%	0.0764

จากภาพที่ 4-11 พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรามากกว่าสาร BKC ที่ความเข้มข้นเดียวกัน แต่ถ้าดูที่ความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่สามารถยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC ได้ ความเข้มข้นของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ เท่ากับ 5% และ 2% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาราคาของสารยับยั้งทั้งสอง ดังตารางที่ 4-3 พบว่า สาร BKC 5% มีราคาถูกกว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2% ประมาณ 11 เท่า เพราะฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกสาร BKC 5% เป็นสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC ซึ่งจะนำไปทดลองต่อในการทดลองศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา และกลไกในการยับยั้งเชื้อรา คือ ส่วนที่ไม่มีขั้วของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ทำให้ฟอสโฟลิปิดเกิดการเรียงตัวที่ผิดรูป แยกห่างออกจากกัน ในขณะที่ส่วนที่มีขั้วของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ทำให้ผนังฟอสโฟลิปิดบางลง เกิดการแพร่ง่ายขึ้น ทำให้ของเหลวภายในเซลล์ไหลออกและทำให้เซลล์ตาย (Dao และคณะ, 2011) (Ikeda และคณะ, 1985)

เมื่อนำผลการทดลองที่ 4.1.1 และ 4.1.2 มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ พบว่าสาร BKC ในงานวิจัยนี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger* ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับผลการทดลองของ Xu และคณะ (2012) ที่สาร BKC ความเข้มข้น 8×10^{-4} % สามารถยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger* ได้ และในงานวิจัยของ Tzortzakis และ Economakis (2007) พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger* ที่ความเข้มข้น 5×10^{-2} % แต่ในงานวิจัยนี้ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราคือ 2% ซึ่งความแตกต่างของความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้เป็นผลมาจากสภาวะในการบ่มเชื้อรา อาหารเลี้ยงเชื้อ โดยในงานวิจัยของ Tzortzakis และ Economakis (2007) ใช้ Potato Dextrose Agar (PDA) เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ บ่มเชื้อราที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของเชื้อรา *Aspergillus niger* แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ MSA เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งมีสารอาหารเป็นไนโตรเจนอนินทรีย์ บ่มเชื้อราที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 14 วัน ด้วยเหตุผลของความแตกต่างดังกล่าว จึงทำให้งานวิจัยนี้ใช้ความเข้มข้นของสาร BKC และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้มากกว่างานวิจัยอื่น โดยความแตกต่างของอาหารเลี้ยงเชื้อไม่ส่งผลต่อการทดลองในงานวิจัยนี้ และมีงานวิจัยที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้คือ งานวิจัยของ Foksowicz-Flaczyk และ Walentowska (2012) ที่ใช้สาร Didecyldimethylammonium nitrate ซึ่งเป็นสารประกอบในกลุ่ม Quaternary Ammonium Compounds เช่นเดียวกับสาร BKC ที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้ มายับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger* บนผ้าลินิน โดยผลการทดลองปรากฏว่าสาร Didecyldimethylammonium nitrate สามารถยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger* ได้เมื่อใช้ปริมาณมากกว่า 5,000 ไมโครกรัมต่อผ้าลินิน 1 กรัม โดยมีตัวแปรในการทดลองที่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มเชื้อรา 29±1 องศาเซลเซียส และเชื้อราที่ใช้ในการทดลองคือ *Aspergillus niger* ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนเข้ามาประยุกต์ใช้บนผ้าเพื่อยับยั้งเชื้อรา แต่ข้อจำกัดของการใช้เทคโนโลยีซิลเวอร์นาโนคือ ผ้าซิลเวอร์นาโนมีราคาที่สูงกว่าผ้าปกติประมาณ 2-3 เท่า (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551) และเมื่อนำผ้าไปซักหรือเมื่อผ้าได้รับแสง UV ซิลเวอร์ไอออน (Ag^{+}) ที่เป็นโลหะหนักมักหลุดออกจากเนื้อผ้า ทำให้ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราและอายุการใช้งานของผ้าซิลเวอร์นาโนลดลง นอกจากนั้นซิลเวอร์ไอออนยังไหลลงสู่ชั้นดิน ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในภายหลัง (Oromieh, 2011) ในขณะที่สาร BKC ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีราคาถูก จึงเหมาะสมแก่การนำไปใช้ในชีวิตประจำวันมากกว่า

4.1.3 เปรียบเทียบผลการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC ระหว่างผ้า TK และ TC



ภาพที่ 4-12 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK/TC และความเข้มข้นของสาร BKC (เส้นประหมายถึง ค่ามาตรฐานของประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราในงานวิจัยนี้เท่ากับ 44% โดยมีที่มาจากขนาดของผ้าที่ใช้ทดลอง)

จากผลการทดลอง 4.1.1 และ 4.1.2 ปรากฏว่า สารยับยั้งเชื้อราที่เหมาะสมบนผ้า TK และ TC คือ สาร BKC เหมือนกัน แต่ความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อราไม่เท่ากัน แสดงว่าความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผ้า จากภาพที่ 4-12 พบว่า ที่ทุกๆความเข้มข้นของสาร BKC ผ้า TK จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราสูงกว่าผ้า TC เพราะ ผ้า TC เป็นผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ประกอบด้วยโพลีเอสเตอร์ 35% และ ฝ้าย 65% ซึ่งฝ้ายมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ สามารถดูดซับน้ำได้ดี และเมื่อนำผ้า TC ไปวางบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ผ้าจะดูดซับสารอาหารซึ่งอยู่ในรูปสารละลายเข้าไปในเนื้อผ้า ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตบนผ้าได้ง่ายกว่าผ้า TK ที่ประกอบด้วยโพลีเอสเตอร์ 100% ซึ่งมีคุณสมบัติที่ทนเชื้อราได้ดี (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554) เพราะฉะนั้นผ้า TC จึงต้องใช้ความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อรามากกว่าผ้า TK ในการยับยั้งเชื้อรา

4.2 ผลการศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดูว่าเชื้อราจะเกิดขึ้นบนผ้าที่มีสารยับยั้งเชื้อราอยู่เมื่อใด นั่นคืออายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา โดยแบ่งระยะเวลาในการสังเกตออกเป็น 3 ช่วง คือ เมื่อผ่านไป 7 15 และ 30 วัน

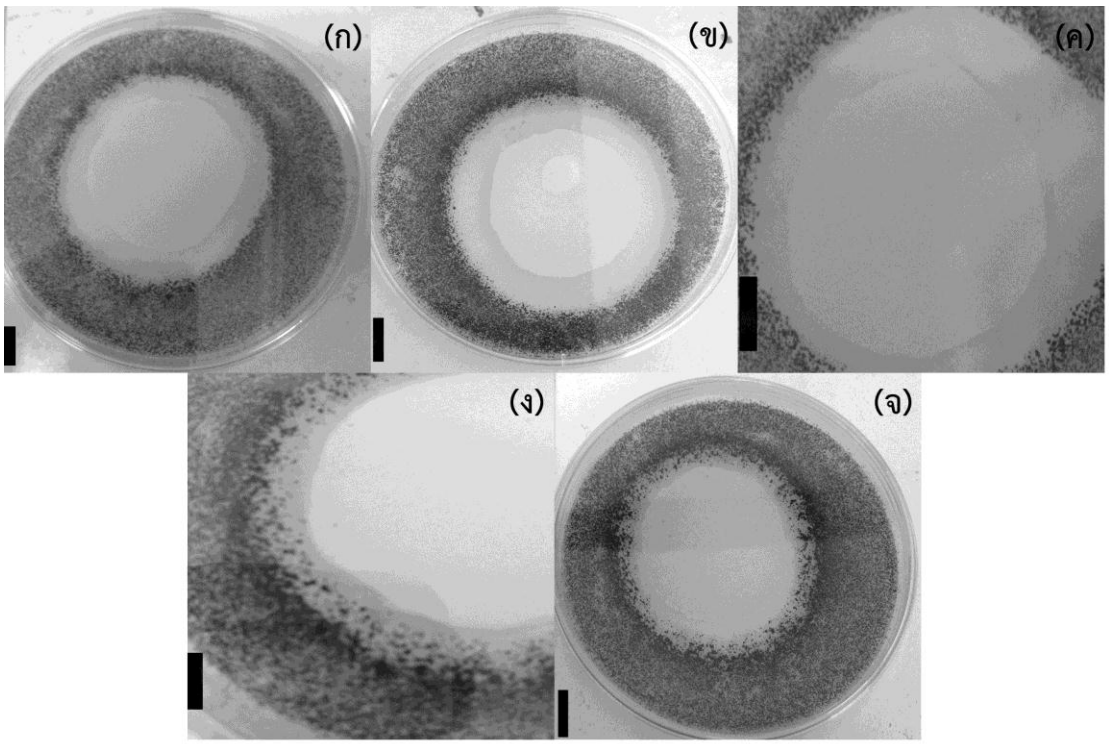
4.2.1 อายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK

ก่อนการทดลองได้ทำการวัดค่า pH ของผ้า TK ได้ค่า 5.60 ซึ่งอยู่ในขอบเขตของงานวิจัยนี้

จากผลการทดลองที่ 4.1.1 ปรากฏว่า สารยับยั้งเชื้อราที่เหมาะสมกับผ้า TK คือ สาร BKC 1% จากภาพที่ 4-13 เป็นผลการทดลองการเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้า TK ที่มีสาร BKC 1% อยู่ โดยภาพที่ 4-13 (ก) เป็นการเจริญเติบโตของเชื้อราเมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน สังเกตได้ว่ามี clear zone เกิดขึ้นตามปกติ ไม่พบเชื้อราเกิดขึ้นบนผ้า TK เมื่อระยะเวลาผ่านไป 15 และ 18 วัน ก็ยังไม่พบเชื้อราเกิดขึ้นบนผ้า TK ดังภาพที่ 4-13 (ข) และ 4-13 (ค) แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 19 วัน พบเชื้อราเกิดขึ้นบนผ้า TK ดังภาพที่ 4-13 (ง) แม้ว่าเกิดเชื้อราขึ้นไม่มาก แต่ก็แสดงถึงประสิทธิภาพของสารยับยั้งเชื้อราที่หายไป และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 30 วัน ดังภาพที่ 4-13 (จ) ขนาดของ clear zone ลดลง และมีเชื้อราเกิดขึ้นบนผ้า TK เพราะฉะนั้นสารยับยั้งเชื้อรา BKC 1% บนผ้า TK มีอายุการใช้งาน 18 วัน โดยเมื่อครบ 18 วัน จะต้องฉีดสารยับยั้งเชื้อรา BKC 1% ลงบนผ้า TK ใหม่อีกครั้งหนึ่ง เหตุผลที่ทำให้ขนาดของ clear zone ลดลงและมีเชื้อราเกิดขึ้นบนผ้าคือ เชื้อรามีการพัฒนากระบวนการเมตาบอลิซึมและปรับตัวให้สามารถดูดซึมสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นส่วนประกอบของสารยับยั้ง BKC ได้เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ในการเจริญเติบโต (Pedrini และคณะ, 2013) ซึ่งขนาดของ clear zone ที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 เปอร์เซ็นต์ของ clear zone ที่ลดลงตามระยะเวลาต่างๆ

วันที่	% clear zone ที่ลดลงเมื่อเทียบกับวันที่ 7
15	10
18	20
19	100
30	100



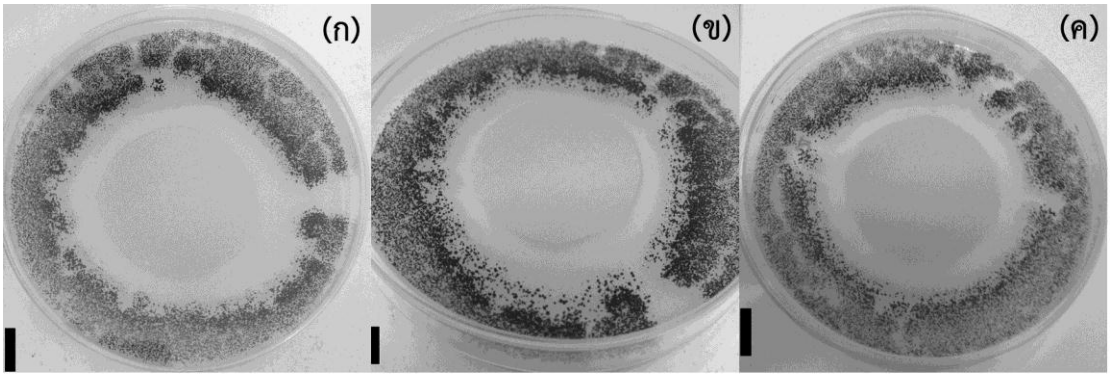
bar = 1 เซนติเมตร

ภาพที่ 4-13 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้า TK ที่มีสาร BKC 1% อยู่ตามระยะเวลาต่างๆ: (ก) ผ่านไป 7 วัน; (ข) ผ่านไป 15 วัน; (ค) ผ่านไป 18 วัน; (ง) ผ่านไป 19 วัน; (จ) ผ่านไป 30 วัน

4.2.2 อายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TC

ก่อนการทดลองได้ทำการวัดค่า pH ของผ้า TC ได้ค่า 6.74 ซึ่งอยู่ในขอบเขตของงานวิจัยนี้

จากผลการทดลองที่ 4.1.2 ปรากฏว่า สารยับยั้งเชื้อราที่เหมาะสมกับผ้า TC คือ สาร BKC 5% จากภาพที่ 4-14 เป็นผลการทดลองการเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้า TK ที่มีสาร BKC 1% อยู่ พบว่าเมื่อบ่มเชื้อราเป็นระยะเวลา 7 15 และ 30 วัน ดังภาพที่ 4-14 (ก) (ข) (ค) ยังไม่มีเชื้อราเกิดขึ้นบนผ้า TC แต่ขนาดของ clear zone ลดลงตามลำดับ แสดงว่าอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อรา BKC 5% บนผ้า TC มีอายุการใช้งานมากกว่า 30 วัน นั่นคือ ต้องฉีดสาร BKC 5% ลงบนผ้า TC ทุก 30 วันหรือมากกว่า และเมื่อนำผลการทดลองที่ 4.2.1 และ 4.2.2 มาวิเคราะห์สรุปอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้า TK และ TC จะได้ดังตารางที่ 4-5



bar = 1 เซนติเมตร

ภาพที่ 4-14 การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้า TC ที่มีสาร BKC 5% อยู่ตามระยะเวลาต่างๆ: (ก) ผ่านไป 7 วัน; (ข) ผ่านไป 15 วัน; (ค) ผ่านไป 30 วัน

ตารางที่ 4-5 อายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้าชนิดต่างๆ

ชนิดของผ้า / สารยับยั้งเชื้อรา	อายุการใช้งาน (วัน)
ผ้า TK / BKC 1%	18
ผ้า TC / BKC 5%	มากกว่า 30

4.3 ผลการศึกษาความเสียหายจากสารยับยั้งเชื้อราต่อเนื้อผ้า

ผลการทดลองนี้เป็นผลการศึกษาน้ำหนักที่หายไปและลักษณะที่เปลี่ยนไปของผ้า TK และ TC เนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อรา ซึ่งวิเคราะห์ควบคู่ระหว่างน้ำหนักที่หายไปและลักษณะที่เปลี่ยนไปของผ้าร่วมกัน เมื่อพิจารณาตารางที่ 4-6 พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยของผ้า TK และ TC มีความสอดคล้องไปในทางเดียวกัน คือ ผ้าที่ได้รับสารเคมี อันได้แก่ สาร BKC 80% น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2% 3% 4% 5% 10% และ 100% ไม่สามารถชั่งน้ำหนักของผ้าได้ เนื่องจากเนื้อผ้ายึดติดกับผิวของจานอาหารเลี้ยงเชื้อพลาสติก ดังภาพที่ 4-15 ในงานวิจัยนี้จึงประเมินเป็นความเสียหายของเนื้อผ้าที่เกิดจากสารยับยั้งเชื้อราให้มีค่าความเสียหาย 100% นอกจากนั้นยังพบว่า ผ้าที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ น้ำหนักผ้าของวันที่ 1 และ วันที่ 3 นั้นมีความแตกต่างกันประมาณ 20-70% ในขณะที่น้ำหนักผ้าของวันที่ 7 10 และ 14 มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (ไม่เกิน 10%)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลน้ำหนักผ้าเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผ้าที่หายไป ดังตารางที่ 4-7 พบว่า น้ำหนักผ้าที่หายไปเนื่องจากน้ำกลั่นในวันที่ 3 7 10 และ 14 คิดเป็น 57% เมื่อเทียบกับวันที่ 1 ซึ่งมีค่ามากกว่าสารเคมีชนิดอื่นๆ ยกเว้นแอลกอฮอล์ 50% และเป็นที่รู้กันทั่วไปว่า น้ำกลั่นไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อผ้า สารเคมีที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักผ้าที่หายไปน้อยกว่าน้ำกลั่นควรถูก

ระบุว่าไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อผ้า แต่ไม่สามารถระบุได้แบบนั้น เนื่องจากน้ำหนักผ้าที่หายไปอาจเป็นผลมาจากการระเหยของสารเคมี จึงทำให้น้ำหนักผ้าลดลง เพราะฉะนั้นต้องพิจารณาลักษณะของผ้าควบคู่กันไปด้วย

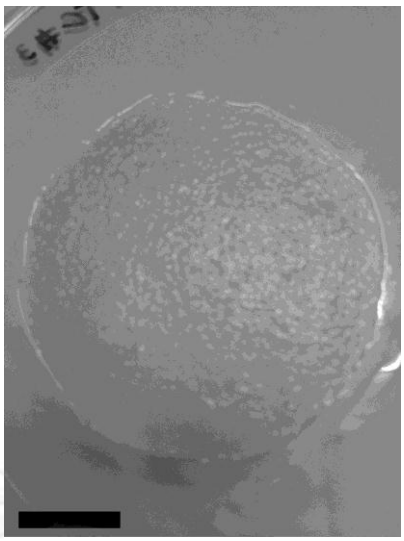
ตารางที่ 4-6 น้ำหนักผ้า TK และ TC เฉลี่ยเมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ

สารเคมี	**น้ำหนักผ้าเฉลี่ย TK และ TC (กรัม)**				
	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 14
น้ำกลั่น	0.2015±0.0085 0.2159±0.0036	0.0867±0.0048 0.1207±0.0071	0.0866±0.0047 0.1174±0.0025	0.0866±0.0047 0.1131±0.0026	0.0866±0.0047 0.1129±0.0026
แอลกอฮอล์ 50%	0.1518±0.0012 0.1971±0.0034	0.0499±0.0007 0.1068±0.0040	0.0498±0.0006 0.1016±0.0039	0.0498±0.0006 0.0977±0.0036	0.0498±0.0006 0.0975±0.0035
BKC 1%	0.1813±0.0062 0.2114±0.0094	0.0811±0.0020 0.1209±0.0024	0.0810±0.0020 0.1191±0.0016	0.0807±0.0020 0.1150±0.0017	0.0807±0.0020 0.1148±0.0018
BKC 5%	0.1955±0.0075 0.2096±0.0037	0.1264±0.0076 0.1542±0.0053	0.1169±0.0034 0.1264±0.0004	0.1148±0.0031 0.1207±0.0004	0.1126±0.0028 0.1201±0.0006
BKC 10%	0.1848±0.0092 0.2260±0.0044	0.1203±0.0041 0.1671±0.0033	0.1129±0.0042 0.1425±0.0032	0.1129±0.0042 0.1345±0.0031	0.1115±0.0040 0.1304±0.0032
BKC 15%	0.2104±0.0133 0.2280±0.0041	0.1675±0.0151 0.1900±0.0055	0.1498±0.0163 0.1556±0.0028	0.1438±0.0166 0.1447±0.0031	0.1388±0.0166 0.1365±0.0031
BKC 20%	0.2076±0.0223 0.2273±0.0025	0.1650±0.0160 0.1867±0.0073	0.1468±0.0061 0.1691±0.0018	0.1388±0.0061 0.1542±0.0017	0.1316±0.0060 0.1422±0.0024
BKC 25%	0.2159±0.0126 0.2560±0.0129	0.1749±0.0083 0.2174±0.0114	0.1546±0.0049 0.1848±0.0085	0.1452±0.0055 0.1649±0.0079	0.1335±0.0057 0.1446±0.0080
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil[*4] 1%	0.1704±0.0064 0.1791±0.0072	0.0839±0.0036 0.1165±0.0015	0.0836±0.0036 0.1554±0.0015	0.0835±0.0036 0.1151±0.0017	0.0835±0.0036 0.1149±0.0017
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

ตารางที่ 4-7 น้ำหนักผ้า TK และ TC ที่หายไปตามระยะเวลาต่างๆเมื่อเทียบกับน้ำหนักของวันที่ 1

สารเคมี	**น้ำหนักผ้า TK และ TC ที่หายไปเมื่อเทียบกับวันที่ 1 (%)**			
	วันที่ 3	วันที่ 7	วันที่ 10	วันที่ 14
น้ำกลั่น	56.97±1.10 44.09±2.51	57.02±1.13 45.62±0.28	57.02±2.30 47.61±0.34	57.02±1.13 47.71±0.32
แอลกอฮอล์ 50%	67.13±0.18 45.81±1.09	67.19±0.15 48.45±1.09	67.19±0.40 50.43±0.99	67.19±0.15 50.53±0.94
BKC 1%	55.27±1.55 42.81±1.55	55.32±1.57 43.66±2.38	55.49±1.07 45.60±2.24	55.49±1.55 45.70±2.19
BKC 5%	35.35±6.09 26.43±3.77	40.20±3.94 39.69±1.19	41.28±1.59 42.41±1.19	42.40±3.56 42.70±1.27
BKC 10%	34.90±2.51 26.06±1.11	38.91±0.87 36.95±1.14	38.91±2.25 40.49±1.12	39.66±0.93 42.30±1.03
BKC 15%	20.39±2.36 16.67±1.37	28.80±3.46 31.75±0.21	31.65±8.46 36.54±0.30	34.03±3.92 40.13±0.29
BKC 20%	20.52±1.86 17.86±4.03	29.29±5.40 25.60±1.57	33.14±3.24 32.16±1.46	36.61±4.88 37.44±1.70
BKC 25%	18.99±1.81 15.08±1.40	28.39±3.49 27.81±0.80	32.75±2.49 35.59±0.58	38.17±2.92 43.52±0.46
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil 1%	50.76±0.56 34.95±1.81	50.94±0.55 35.57±1.78	51.00±2.08 35.73±1.69	51.00±0.58 35.85±1.69
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	N/A
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	N/A

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



bar = 1 เซนติเมตร

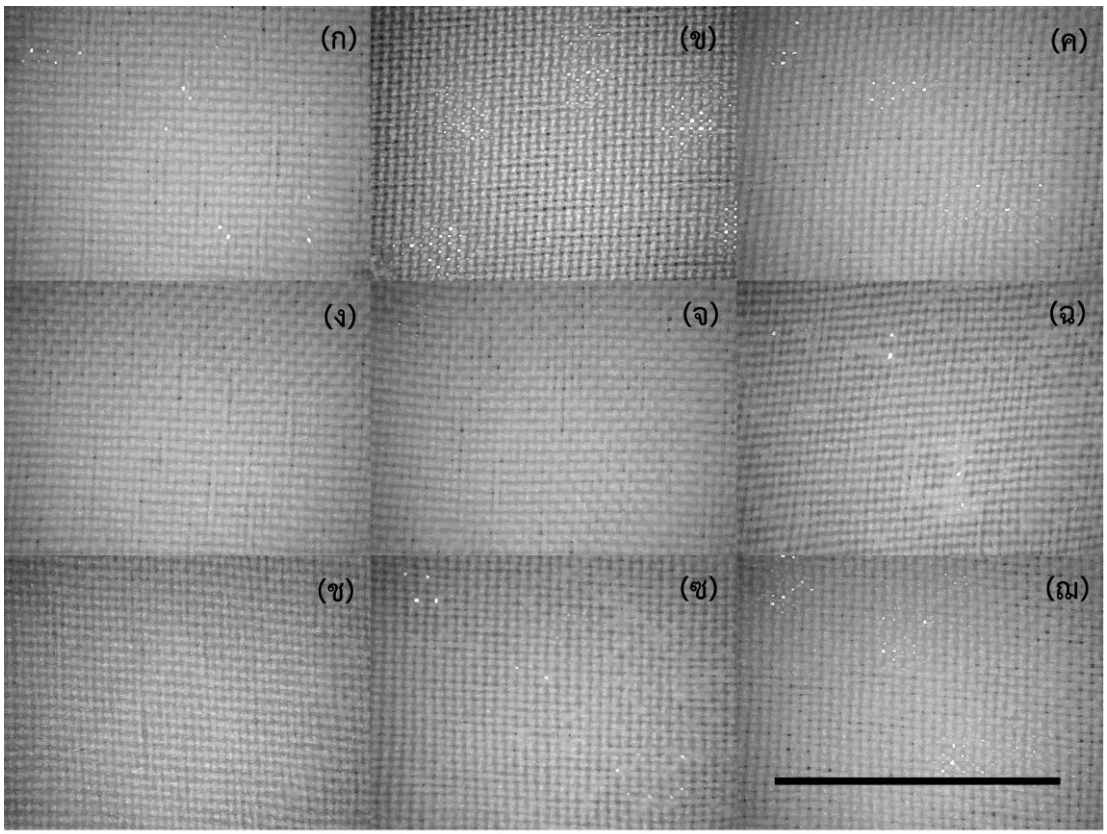
ภาพที่ 4-15 เนื้อผ้ายึดติดกับจานอาหารเลี้ยงเชื้อพลาสติกเมื่อได้รับสารยับยั้งเชื้อรา

เมื่อนำลักษณะของผ้า TK ที่ได้รับสารเคมีมาเปรียบเทียบกับผ้าที่ได้รับน้ำกลั่น (control) ดังภาพที่ 4-16 (ก) ที่ระยะเวลา 1 วัน พบว่า ทุกสารยับยั้งเชื้อรา ได้แก่ แอลกอฮอล์ 50% ดังภาพที่ 4-16 (ข) สาร BKC 1% ดังภาพที่ 4-16 (ค) BKC 5% ดังภาพที่ 4-16 (ง) BKC 10% ดังภาพที่ 4-16 (จ) BKC 15% ดังภาพที่ 4-16 (ฉ) BKC 20% ดังภาพที่ 4-16 (ช) BKC 25% ดังภาพที่ 4-16 (ซ) และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1% ดังภาพที่ 4-16 (ฌ) มีลักษณะเนื้อผ้าไม่แตกต่างกับน้ำกลั่น คือ ไม่มีการฉีกขาดของเส้นใยผ้าโพลีเอสเตอร์แต่อย่างใด เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า น้ำหนักของผ้าที่ลดลงไปเป็นผลมาจากการระเหยของสารยับยั้ง ซึ่งมีความสามารถระเหยที่แตกต่างกันดังตารางที่ 4-8 จะเห็นได้ว่า แอลกอฮอล์มีความสามารถในการระเหยสูงที่สุด ในขณะที่สาร BKC มีความสามารถในการระเหยต่ำที่สุด ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับความสามารถในการระเหยของสารยับยั้ง โดยแอลกอฮอล์ 50% สามารถเห็นการเรียงตัวของเส้นใยได้อย่างชัดเจน เนื่องจากแอลกอฮอล์ได้ระเหยออกไปมาก ในขณะที่เส้นใยของผ้าที่ได้รับสารยับยั้งอื่นๆไม่สามารถเห็นการเรียงตัวของเส้นใยได้อย่างชัดเจน เนื่องจากสารยับยั้งปกคลุมผิวหน้าของผ้าอยู่

ตารางที่ 4-8 ค่าความดันไอและจุดเดือดของสารยับยั้งเชื้อราและตัวทำละลาย

สารยับยั้ง	**ค่าความดันไอ (มิลลิเมตรปรอท ณ 25 องศาเซลเซียส)**	**จุดเดือด (องศาเซลเซียส)**	**ที่มา**
แอลกอฮอล์	55	78	(Lange และคณะ, 1967)
น้ำกลั่น	23.8	100	(Fordham Preparatory School, 1998)
น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้	0.07	228	(Rajasekaran, 2006)
BKC	1.88×10^{-11}	538	(EPI System, 2010)

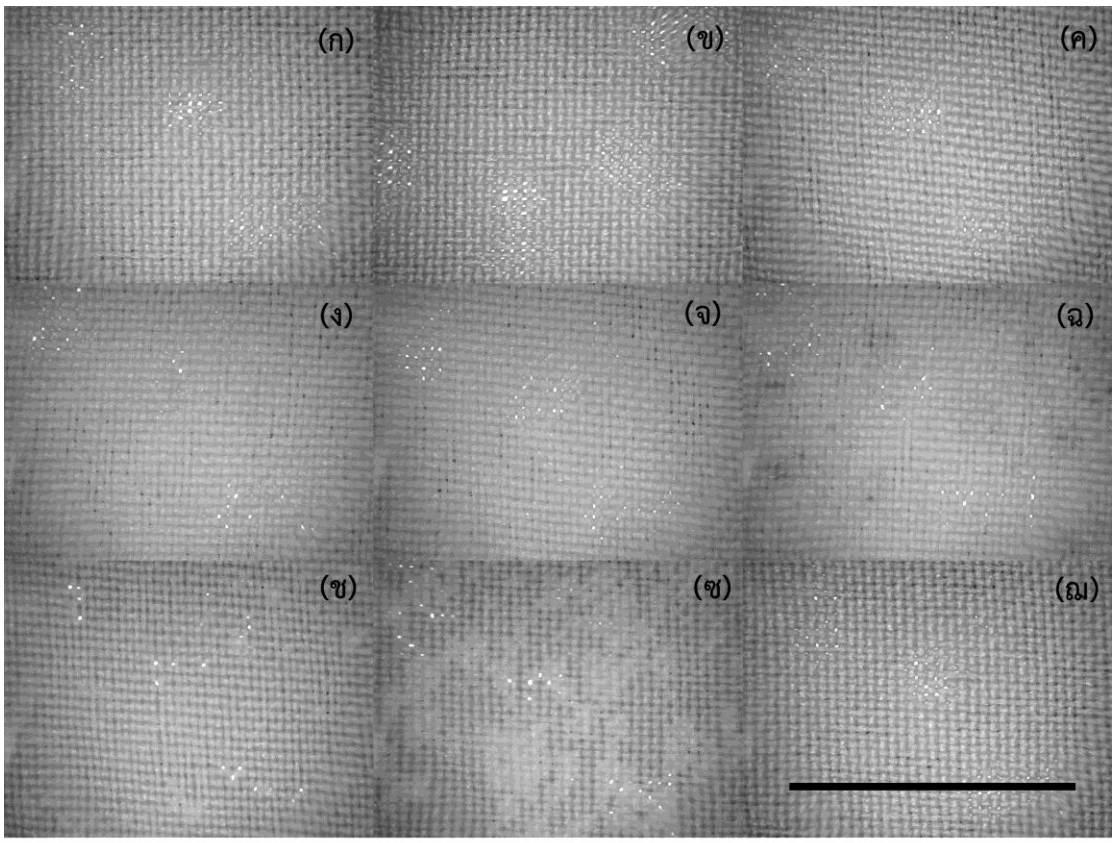
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



bar = 12 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4-16 ลักษณะของผ้า TK เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 1 วัน: (ก) น้ำกลั่น; (ข) แอลกอฮอล์ 50%; (ค) BKC 1%; (ง) BKC 5%; (จ) BKC 10%; (ฉ) BKC 15%; (ช) BKC 20%; (ซ) BKC 25%; (ฌ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%

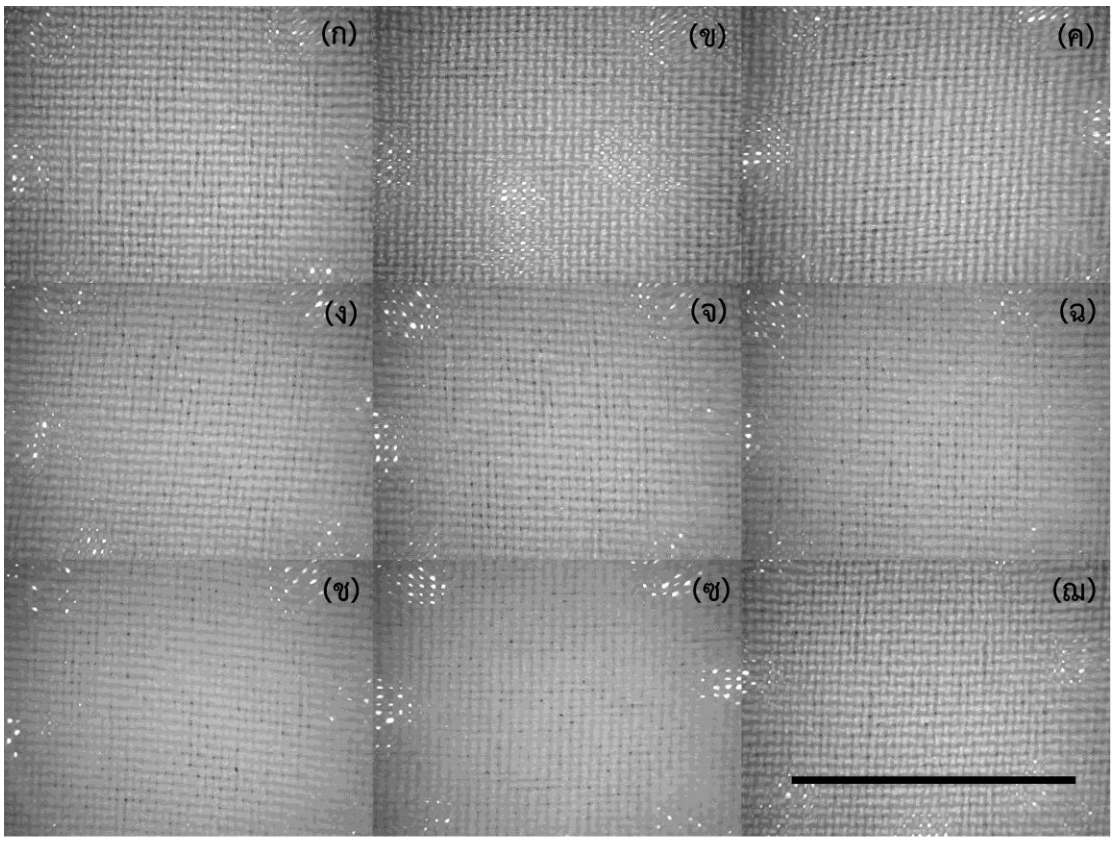
แต่เมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน พบว่า ผ้า TK ที่ได้รับน้ำกลั่น ดังภาพที่ 4-17 (ก) แอลกอฮอล์ 50% ดังภาพที่ 4-17 (ข) BKC 1% ดังภาพที่ 4-17 (ค) และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1% ดังภาพที่ 4-17 (ฌ) มีลักษณะเนื้อผ้าที่เหมือนกัน คือ เห็นการเรียงตัวของเส้นใยที่ชัดเจน ในขณะที่สาร BKC 5% ดังภาพที่ 4-17 (ง) BKC 10% ดังภาพที่ 4-17 (จ) BKC 15% ดังภาพที่ 4-17 (ฉ) BKC 20% ดังภาพที่ 4-17 (ช) และ BKC 25% ดังภาพที่ 4-17 (ซ) เริ่มเห็นการเรียงตัวของเส้นใยที่ชัดเจนมากขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไป 7 10 และ 14 วัน ดังภาพที่ 4-18 4-19 และ 4-20 พบว่าระยะเวลามีความสัมพันธ์กับลักษณะของเนื้อผ้า TK ที่เปลี่ยนแปลงไป คือ เมื่อเวลาผ่านไปนาน ลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยผ้า TK จะปรากฏชัดเจนขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นผลมาจากความสามารถในการระเหยของสารเคมี ซึ่งสาร BKC มีความสามารถในการระเหยช้าที่สุดจากสารเคมีทั้งหมดในงานวิจัยนี้ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ผ้า TK ที่ได้รับสาร BKC ปรากฏการเรียงตัวของเส้นใยผ้าช้าที่สุด



bar = 12 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4-17 ลักษณะของผ้า TK เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 3 วัน: (ก) น้ำกลั่น; (ข) แอลกอฮอล์ 50%; (ค) BKC 1%; (ง) BKC 5%; (จ) BKC 10%; (ฉ) BKC 15%; (ช) BKC 20%; (ซ) BKC 25%; (ฌ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%

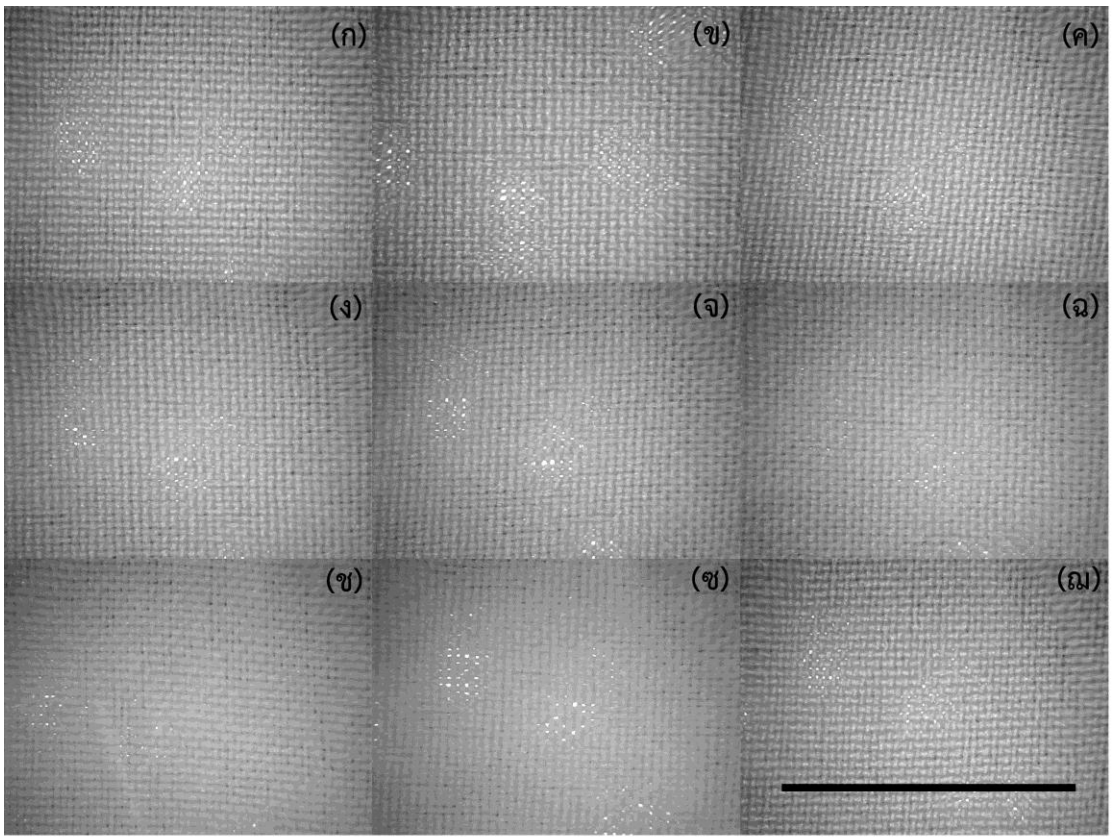
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



bar = 12 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4-18 ลักษณะของผ้า TK เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 7 วัน: (ก) น้ำกลั่น; (ข) แอลกอฮอล์ 50%; (ค) BKC 1%; (ง) BKC 5%; (จ) BKC 10%; (ฉ) BKC 15%; (ช) BKC 20%; (ซ) BKC 25%; (ฌ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%

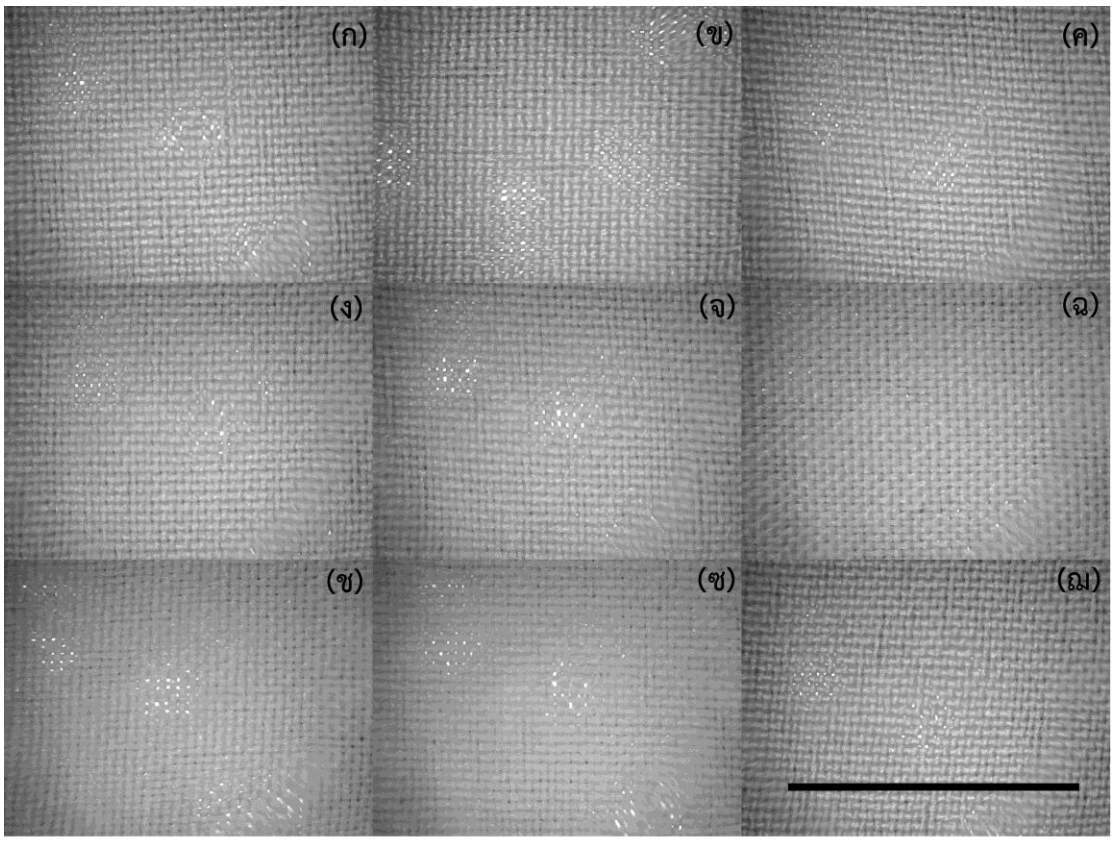
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



bar = 12 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4-19 ลักษณะของผ้า TK เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 10 วัน: (ก) น้ำกลั่น; (ข) แอลกอฮอล์ 50%; (ค) BKC 1%; (ง) BKC 5%; (จ) BKC 10%; (ฉ) BKC 15%; (ช) BKC 20%; (ซ) BKC 25%; (ฌ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%

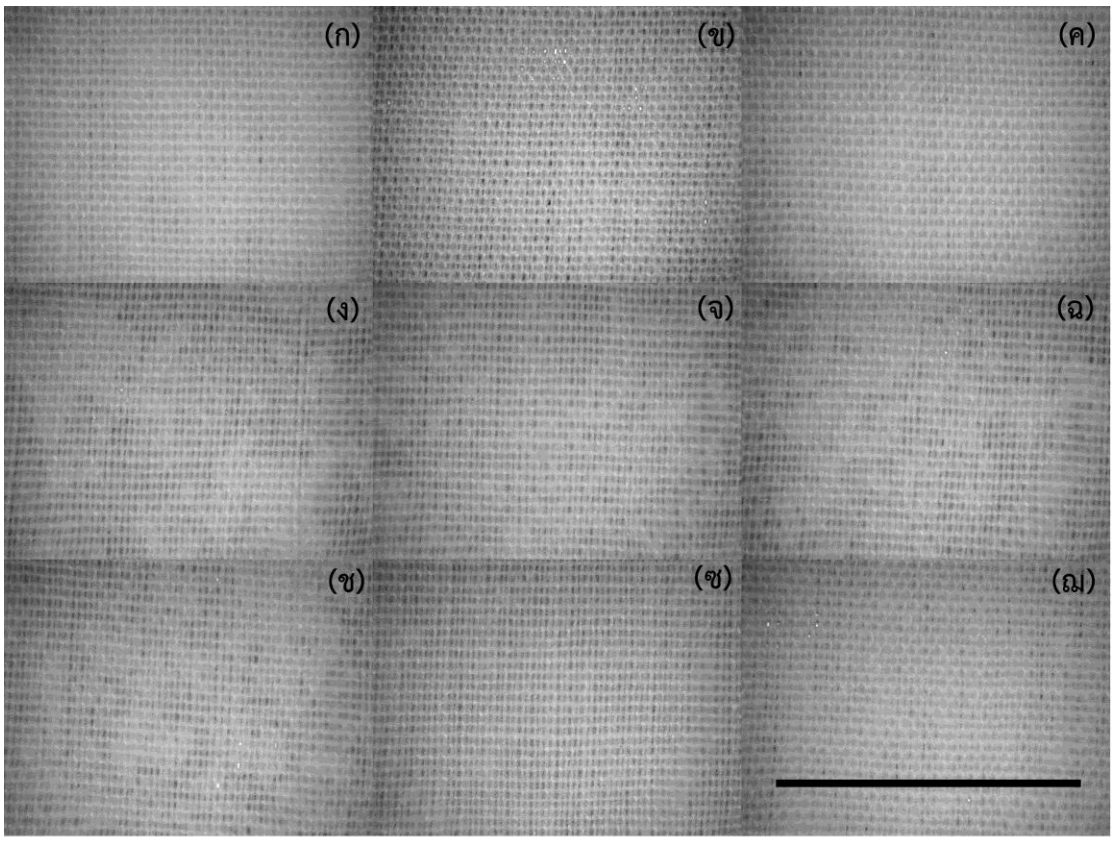
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



bar = 12 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4-20 ลักษณะของผ้า TK เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 14 วัน: (ก) น้ำกลั่น; (ข) แอลกอฮอล์ 50%; (ค) BKC 1%; (ง) BKC 5%; (จ) BKC 10%; (ฉ) BKC 15%; (ช) BKC 20%; (ซ) BKC 25%; (ฌ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%

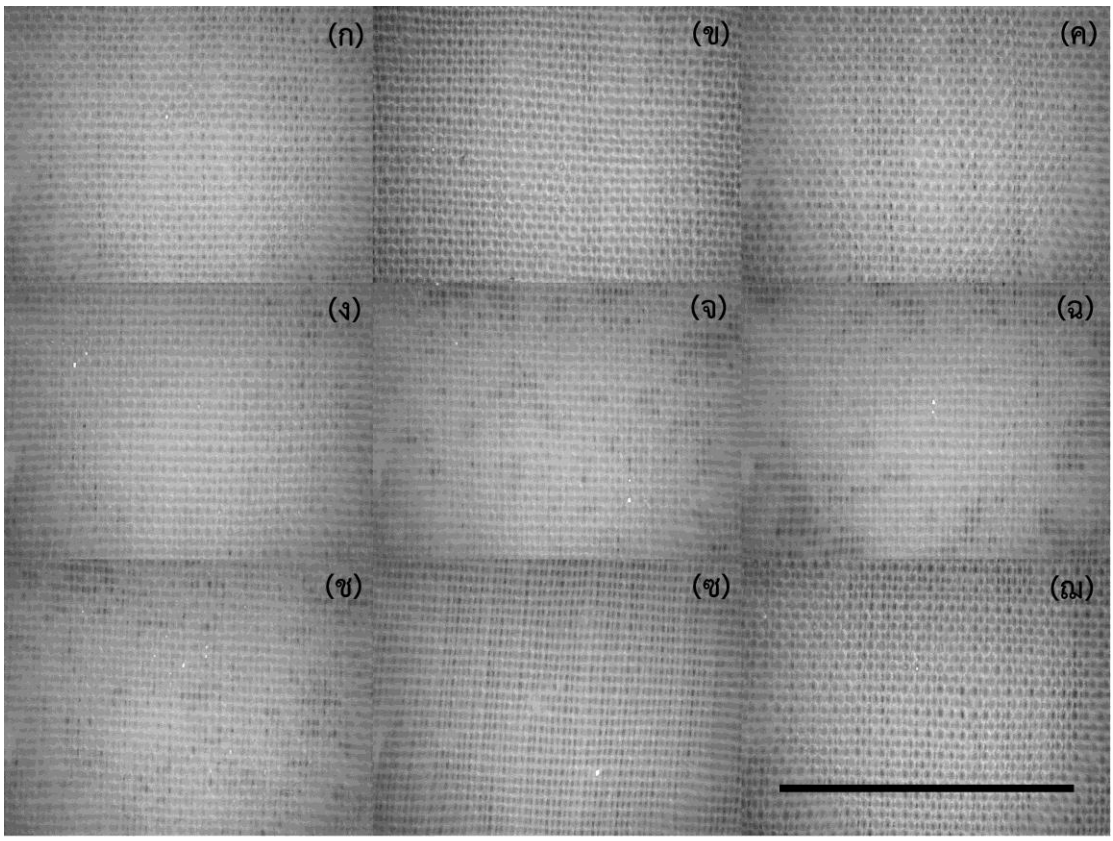
ผลการศึกษาลักษณะของผ้า TC ที่เปลี่ยนไปเมื่อได้รับสารยับยั้งเชื้อราเป็นไปตามดังภาพที่ 4-21 4-22 4-23 4-24 และ 4-25 เมื่อวิเคราะห์ผลของลักษณะเนื้อผ้า TC ที่เปลี่ยนไปเมื่อได้รับสารยับยั้งเชื้อราแล้ว พบว่า มีความคล้ายคลึงกับผลของลักษณะเนื้อผ้า TK ที่เปลี่ยนไป คือ การเรียงตัวของเส้นใยผ้า TC จะปรากฏชัดเจนขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไปนาน ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการระเหยของสารเคมีเช่นเดียวกัน และมีข้อแตกต่างระหว่างลักษณะผ้า TK และ TC ที่เปลี่ยนไป คือ ผ้า TK จะเห็นการเรียงตัวของเส้นใยชัดเจนเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน แต่ผ้า TC จะเห็นการเรียงตัวของเส้นใยชัดเจนเมื่อระยะเวลาผ่านไป 7 วัน ทั้งนี้เป็นเพราะคุณสมบัติของเนื้อผ้าที่ต่างกัน โดยผ้า TC มีคุณสมบัติดูดซับที่ดีกว่าผ้า TK ตามที่ได้กล่าวไว้ในผลการทดลองที่ 4.1.3



bar = 12 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4-21 ลักษณะของผ้า TC เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 1 วัน: (ก) น้ำกลั่น; (ข) แอลกอฮอล์ 50%; (ค) BKC 1%; (ง) BKC 5%; (จ) BKC 10%; (ฉ) BKC 15%; (ช) BKC 20%; (ซ) BKC 25%; (ฌ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%

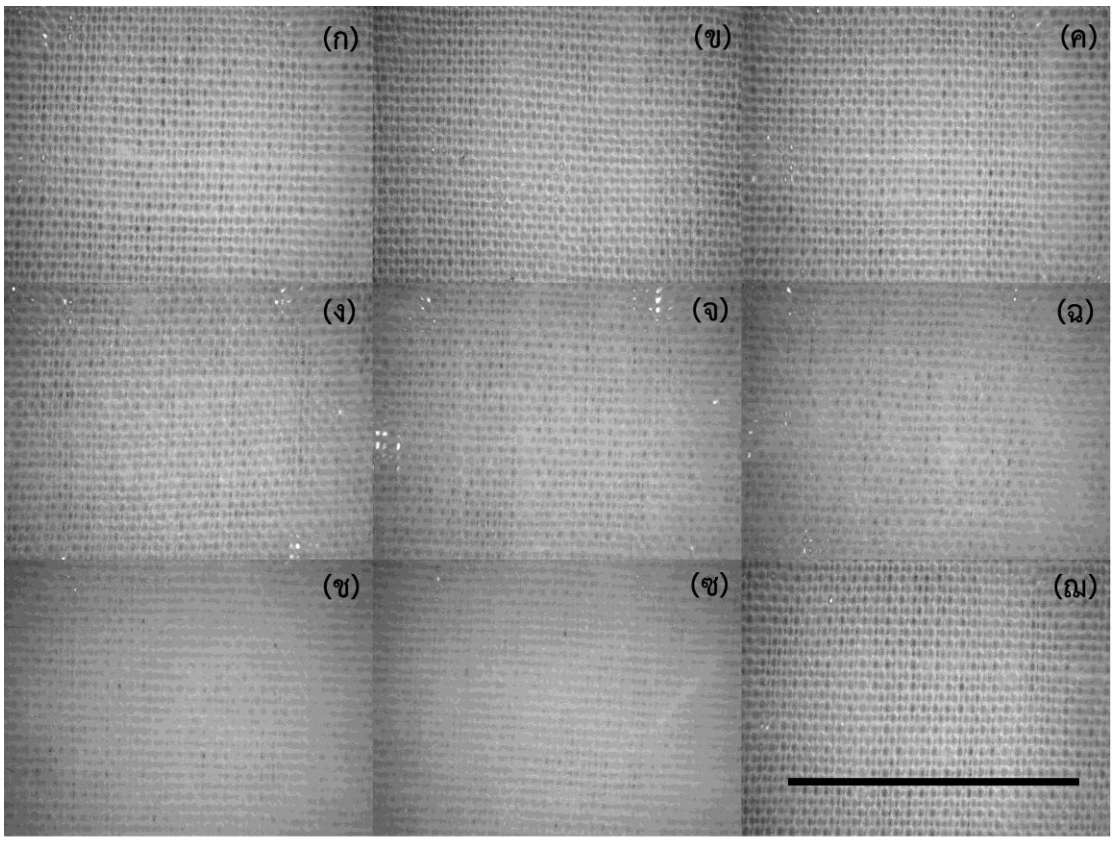
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



bar = 12 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4-22 ลักษณะของผ้า TC เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 3 วัน: (ก) น้ำกลั่น; (ข) แอลกอฮอล์ 50%; (ค) BKC 1%; (ง) BKC 5%; (จ) BKC 10%; (ฉ) BKC 15%; (ช) BKC 20%; (ซ) BKC 25%; (ฌ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%

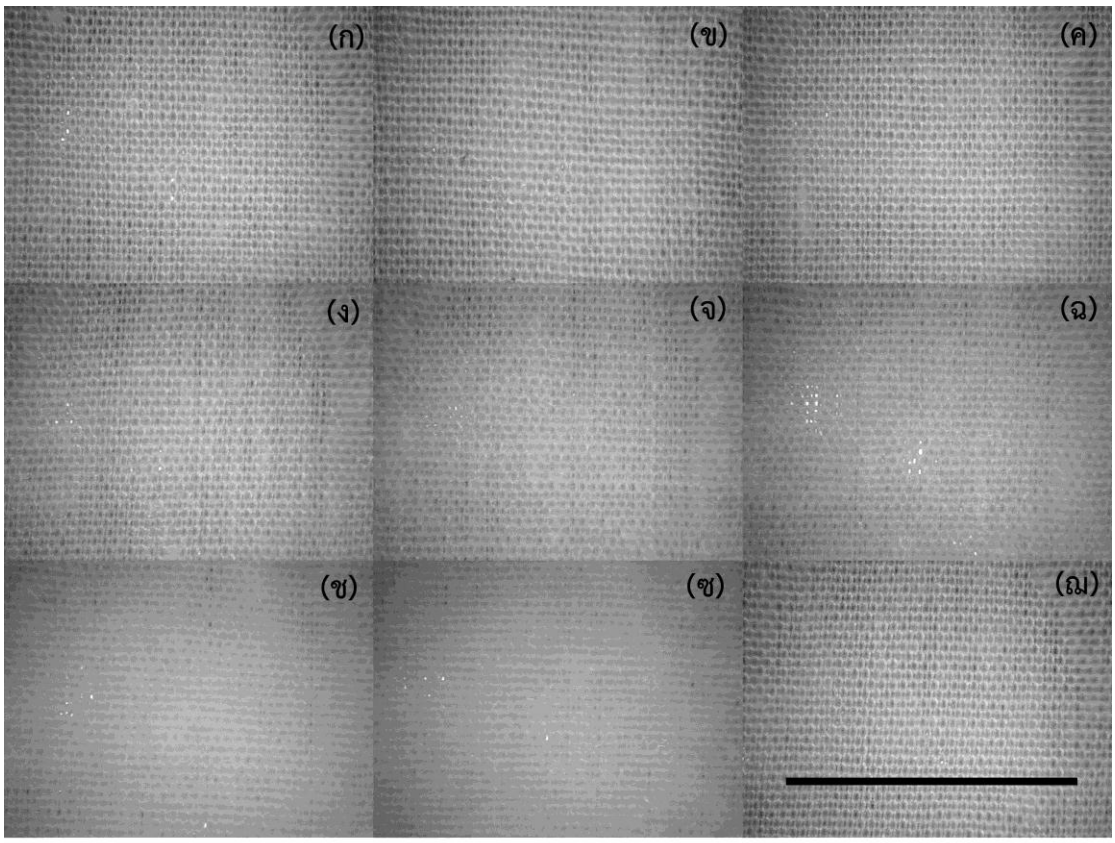
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



bar = 12 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4-23 ลักษณะของผ้า TC เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 7 วัน: (ก) น้ำกลั่น; (ข) แอลกอฮอล์ 50%; (ค) BKC 1%; (ง) BKC 5%; (จ) BKC 10%; (ฉ) BKC 15%; (ช) BKC 20%; (ซ) BKC 25%; (ฌ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%

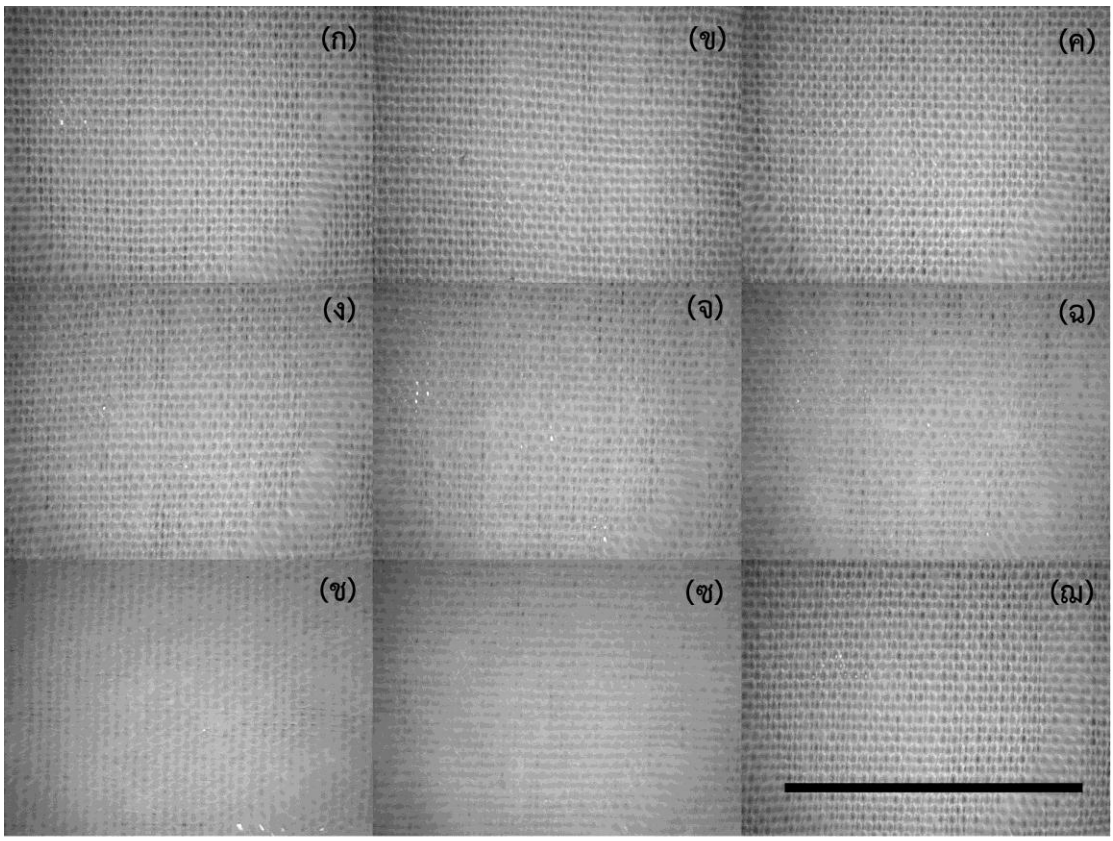
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



bar = 12 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4-24 ลักษณะของผ้า TC เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 10 วัน: (ก) น้ำกลั่น; (ข) แอลกอฮอล์ 50%; (ค) BKC 1%; (ง) BKC 5%; (จ) BKC 10%; (ฉ) BKC 15%; (ช) BKC 20%; (ซ) BKC 25%; (ฌ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

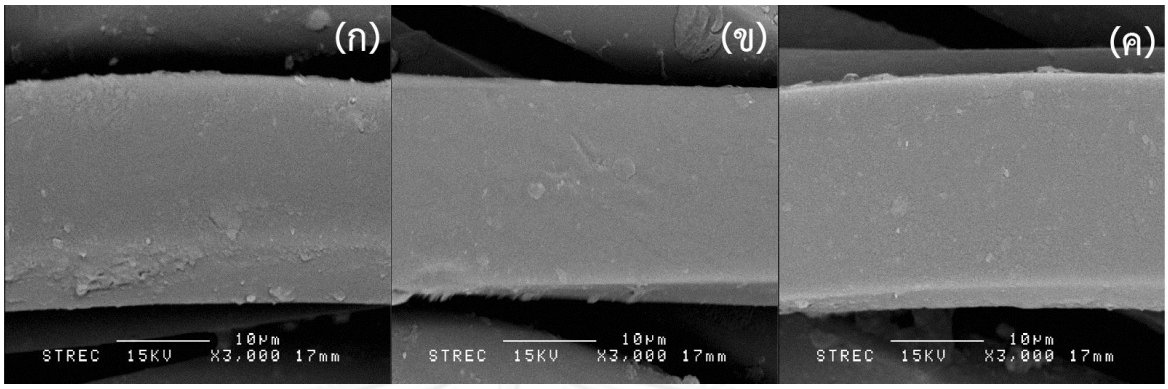


bar = 12 มิลลิเมตร

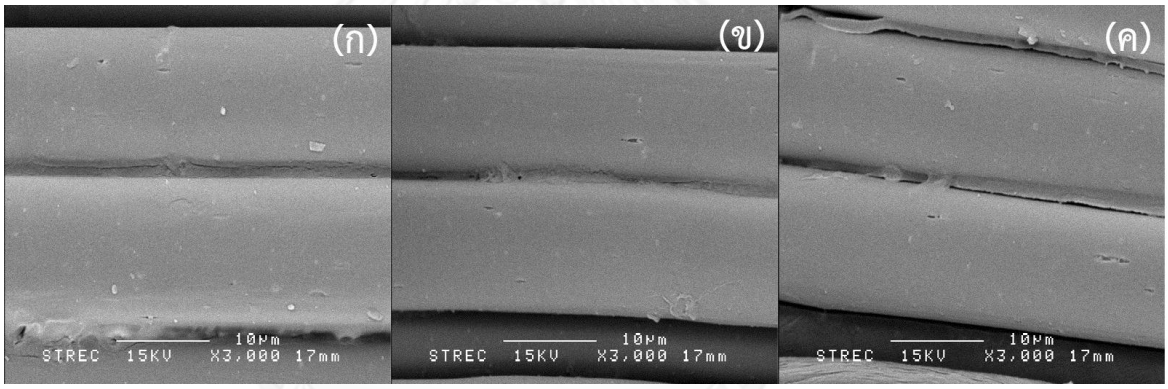
ภาพที่ 4-25 ลักษณะของผ้า TC เมื่อได้รับสารเคมีต่างๆ เมื่อผ่านไป 14 วัน: (ก) น้ำกลั่น; (ข) แอลกอฮอล์ 50%; (ค) BKC 1%; (ง) BKC 5%; (จ) BKC 10%; (ฉ) BKC 15%; (ช) BKC 20%; (ซ) BKC 25%; (ฌ) น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1%

จากผลการทดลองนี้สามารถวิเคราะห์ร่วมกันได้ผลว่า สารยับยั้งเชื้อรา BKC 80% น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 2% 3% 4% 5% 10% และ 100% ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อผ้า โดยสารยับยั้งจะทำให้ผ้ายึดติดกับจานอาหารเลี้ยงเชื้อพลาสติก ซึ่งใช้เป็นภาชนะรองรับผ้าในงานวิจัยนี้ ส่วนสารยับยั้งเชื้อรา BKC 1% 5% 10% 15% 20% 25% และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1% ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อผ้า เนื่องจากสามารถชั่งน้ำหนักผ้าได้ และน้ำหนักที่ลดลงไปนั้นเป็นผลมาจากการระเหยของสารยับยั้งเชื้อรา และลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยไม่ได้เปลี่ยนแปลง ลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับชนิดของสารยับยั้ง สารยับยั้งเชื้อราที่ระเหยง่ายทำให้การเรียงตัวของเส้นใยปรากฏให้เห็นชัดเจนเร็ว แต่หากเป็นสารยับยั้งเชื้อราที่ระเหยช้า การเรียงตัวของเส้นใยปรากฏให้เห็นชัดเจนช้า ขึ้นอยู่กับความสามารถในการระเหยของสารยับยั้งเชื้อราและคุณสมบัติของเนื้อผ้า ในแง่ของการนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน สารยับยั้งเชื้อราที่ระเหยช้าก่อให้เกิดความเสียหายมากกว่าสารยับยั้งเชื้อราที่ระเหยง่าย เนื่องจากเมื่อนำสาร

ยับยั้งเชื้อราที่ระเหยช้า เช่น สาร BKC 20 และ 25% เป็นต้น ต้องใช้เวลาให้ผ้าแห้งนานกว่าสารยับยั้งเชื้อราที่ระเหยง่าย เช่น สาร BKC 1% และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ 1% เป็นต้น



ภาพที่ 4-26 สภาพเส้นใยผ้า TK เมื่อได้รับสารยับยั้ง BKC ระยะเวลา 14 วัน จากกล้อง SEM: (ก) ผ้าเปล่า (Control); (ข) น้ำกลั่น; (ค) BKC 1%



ภาพที่ 4-27 สภาพเส้นใยผ้า TC เมื่อได้รับสารยับยั้ง BKC ระยะเวลา 14 วัน จากกล้อง SEM: (ก) ผ้าเปล่า (Control); (ข) น้ำกลั่น; (ค) BKC 5%

อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้ใช้กล้องที่มีกำลังขยายภาพต่ำในการศึกษาความเสียหายจากสารยับยั้งเชื้อราต่อเนื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ อาจทำให้ภาพการทดลองมีความไม่ชัดเจน ไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัดว่าเส้นใยผ้าโพลีเอสเตอร์เกิดความเสียหายหรือไม่ โดยเส้นใยของผ้าโพลีเอสเตอร์อาจเกิดการฉีกขาดหรือเปื่อยยุ่ยเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อราก็ได้ จึงนำผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ได้รับสารยับยั้งเชื้อราไปวิเคราะห์สภาพเส้นใยผ้าโพลีเอสเตอร์ด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM รุ่น JSM6400) ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า โดยเลือกวิเคราะห์ผ้า TK และ TC ที่ได้รับสาร BKC 1% และ 5% เป็นระยะเวลา 14 วัน ตามลำดับ เนื่องจากมีความเหมาะสมแก่การนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันมากที่สุด และเมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังภาพที่ 4-26 และ 4-27 ซึ่งพบว่าผ้า TK และ TC ที่ไม่ได้รับสารใดๆ ได้รับน้ำกลั่น และได้รับสาร BKC 1% และ 5% มีลักษณะ

เส้นใยเหมือนกัน ไม่มีการฉีดขาดของเส้นใยเกิดขึ้น เพราะฉะนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสาร BKC 1% และ 5% ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อผ้าโพลีเอสเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ (BKC) และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ในการยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% และ 100% นอกจากนี้ยังศึกษาอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% และ 100% รวมถึงความเสียหายของผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% และ 100% ที่เกิดขึ้นจากสารยับยั้งเชื้อรา ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้ สามารถนำมาสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่า สารยับยั้งเชื้อราที่เหมาะสมกับการยับยั้งเชื้อราทั้งบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% และ 100% คือ สารประกอบเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ (BKC) 1% และ 5% และน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ความเข้มข้น 2% แต่เมื่อพิจารณาถึงราคาและความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้นั้น สาร BKC 1% มีความเหมาะสมในการยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 100% ในขณะที่สาร BKC 5% เหมาะสมกับการยับยั้งเชื้อราบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% และอายุการใช้งานของสารยับยั้งเชื้อราทั้งสองความเข้มข้นก็มีความแตกต่างกัน โดยสาร BKC 1% และ 5% มีอายุการใช้งาน 18 และมากกว่า 30 วัน ตามลำดับ เมื่อสารยับยั้งเชื้อราครบอายุการใช้งาน 18 และ 30 วันหรือมากกว่าแล้ว จะต้องพ่นหรือฉีดสารยับยั้งเชื้อราลงไปบนผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่อีกครั้งหนึ่งภายในระยะเวลา 18 และ 30 วันหรือมากกว่า ตามลำดับ นอกจากนี้สารยับยั้งเชื้อรา BKC 1% และ 5% ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ 35% และ 100% อีกด้วย จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การทดลองในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรามากที่สุด เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันซึ่งมีปริมาณเชื้อราและค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่น้อยกว่าค่าในการทดลอง ทำให้ค่าที่ได้จากผลการทดลองเป็นค่าที่มากเกินพอ สามารถเลือกใช้ความเข้มข้นของสารยับยั้งเชื้อราที่ต่ำกว่าผลการทดลองในงานวิจัยนี้ได้

2) เมื่อผ้าโพลีเอสเตอร์ใหม่ที่มีสารยับยั้งเชื้อราได้รับการสัมผัส เช่น การนั่งบนเบาะที่นั่ง ทำให้สารยับยั้งเชื้อราสูญเสียความเข้มข้นไปกับการสัมผัส จึงทำให้อายุการใช้งานน้อยลง ควรทดลองกรณีศึกษาเพิ่มขึ้นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างถูกต้องมากขึ้น

รายการอ้างอิง

AATCC. (2004). Antifungal Activity, Assessment on Textile Materials: Mildew and Rot Resistance of Textile Materials. *AATCC Technical Manual* 2010*,* 85, 76-79.

AATCC. (2006). pH of Water Extracted from Wet Processed Textiles. *AATCC Technical Manual* 2010*,* 85, 101-102.

AATCC. (2008). Fibers in Textiles: Identification. *AATCC Technical Manual* 2010*,* 85, 40-58.

Bore, E., Hebraud, M., Chafsey, I., Chambon, C., Skjaeret, C., Moen, B., Moretro, T., Oyvind, L., Rudi, K., and Langsrud, S. (2007). Adapted tolerance to benzalkonium chloride in Escherichia coli K-12 studied by transcriptome and proteome analyses. *Microbiology,* 153, 935-946.

Center for Disease Control and Prevention. (2013). *Aspergillosis*, [cited 8 March 2013]: Available from: http://www.cdc.gov/fungal/aspergillosis/.

Dao, T., and Dantigny, P. (2011). Control of food spoilage fungi by ethanol. *Food Control,* 22, 360-368.

EPI System. (2010). *Benzalkonium chloride compounds*, [cited 17 March 2014]: Available from: http://www.thegoodscentscompany.com/episys/ep1221691.html.

Filip, Z. (1979). Polyurethane as the Sole Nutrient Source for Aspergillus niger and Cladosporium herbarum. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology,* 7, 277-280.

Foksowicz-Flaczyk, J., and Walentowska, J. (2012). Antifungal activity of ionic liquid applied to linen fabric. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 1-4.

Fordham Preparatory School. (1998). *Vapor pressure of water*, [cited 5 March 2014]: Available from: http://www.fordhamprep.org/gcurran/sho/sho/reference/table2074a.htm.

Ikeda, T., and Tazuke, S. (1985). Biocidal polycations. *Polymer Preprints,* 26, 226-227.

Ioannou, C. J., Hanlon, G. W., and Denyer, S. P. (2007). Action of Disinfectant Quaternary Ammonium Compounds against Staphylococcus aureus. *Applied and Environmental Microbiology,* 51(1), 296-306.

Jezek, G. (2006). *What Is Polyester*, [cited 15 October 2012]: Available from: http://www.whatispolyester.com/.

Lange, N. A., and Dean, J. A. (1967). *Lange's Handbook of Chemistry,* 10 *th ed*, 1522-1524.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

March, J. (1997). *Polyesters*, [cited 27 October 2012]: Available from: http://www.britannica.com/EBchecked/topic/95261/carboxylic-acid/277758/Polyesters.

McBain, A. J., Ledder, R. G., Moore, L. G., Catrenich, C. E., and Gilbert, P. (2004). Effects of Quaternary-Ammonium-Based Formulations on Bacterial Community Dynamics and Antimicrobial Susceptibility. *Applied and Environmental Microbiology,* 70(6), 3449-3456.

New York City Department of Health and Mental Hygiene. (2008). *Guidelines on Assessment and Remediation of Fungi in Indoor Environments*, 1-23.

Oromieh, A. G. (2011). *Evaluating solubility, aggregation and sorption of nanosilver particles and silver ions in soils*, Department of Soil and Environment. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Swedish University of Agricultural Sciences.

Pasquarella, C., Vitali, P., Saccani, E., Manotti, P., Boccuni, C., Ugolotti, M., Signorelli, C., Mariotti, F., Sansebastiano, G. E., and Albertini, R. (2012). Microbial air monitoring in operating theatres : experience at the University Hospital of Parma. *Journal of Hospital Infection,* 81, 50-57.

Pedrini, N., Ortiz-Urquiza, A., Huarte-Bonnet, C., Zhang, S. Z., and Keyhani, N. O. (2013). Targeting of insect epicuticular lipids by the entomopathogenic fungus Beauveria bassiana: hydrocarbon oxidation within the context of a host-pathogen interaction. *Frontiers in Microbiology,* 4(24), 1-18.

Phongpaichit, S., Schneider, E. F., Picman, A. K., Tantiwachwuttikul, P., Wiriyachitra, P., and Arnason, J. T. (1995). Inhibition of Fungal Growth by an Aqueous Extract and Saponins from Leaves of Maesa ramentacea Wall. *Biochemical Systematics and Ecology,* 23(1), 17-25.

Rajasekaran, A. (2006). *Recovery of Citral from lemon grass oil by steam distillation*, [cited 5 March 2014]: Available from: http://www.pharmainfo.net/reviews/recovery-citral-lemon-grass-oil-steam-distillation.

Russell, J. R., Huang, J., Anand, P., Kucera, K., Sandoval, A. G., Dantzler, K. W., Hickman, D. S., Jee, J., Kimovec, F. M., Koppstein, D., Marks, D. H., Mittermiller, P. A., Nunez, S. J., Santiago, M., Townes, M. A., Vishnevetsky, M., Williams, N. E., Vargas, M. P. N., Boulanger, L. A., Bascom-Slack, C., and Strobel, S. A. (2011). Biodegradation of Polyester Polyurethane by Endophytic Fungi. *Applied and Environmental Microbiology,* 77(17), 6076-6084.

Sciencelab. (2013). *Benzalkonium Chloride MSDS*, [cited 17 March 2014]: Available from: http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9923038.

Sciencelab.com. (2013). *Lemongrass essential oil MSDS*, [cited 17 March 2014]: Available from: http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9924483.

Seddon, K. R. (1997). Ionic liquids for clean technology. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology,* 68, 351-356.

Takeoka, G. R., Dao, L. T., Wong, R. Y., and Harden, L. A. (2005). Identification of Benzalkonium Chloride in Commercial Grapefruit Seed Extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 53, 7630-7636.

Tzortzakis, N. G., and Economakis, C. D. (2007). Antifungal activity of lemongrass (Cympopogon citratus L.) essential oil against key postharvest pathogens. *Innovative Food Science and Emerging Technologies,* 8, 253-258.

Wannissorn, B., Jarikasem, S., and Soontorntanasart, T. (1996). Antifungal activity of lemon grass oil and lemon grass oil cream. *Phytotherapy Research,* 10(7), 551-554.

Xu, Y., He, Y., Li, X., Gao, C., Zhou, L., Sun, S., and Pang, G. (2012). Antifungal effect of ophthalmic preservatives phenylmercuric nitrate and benzalkonium chloride on ocular pathogenic filamentous fungi. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*.

Ylisela, M. (2008). *How to Get Mold and Mildew Out of Polyester Clothing*, [cited 28 October 2012]: Available from: http://www.ehow.com/how_7668015_mold-mildew-out-polyester-clothing.html. .

เคมีภัณฑ์. (2556). น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บ้าน, [cited 10 January 2013]: Available from: http://www.chemipan.com/home/index.php/2635-สินค้า/2636-เคมีเครื่องสำอาง/2638-น้ำมันหอมระเหย/2181/2181-ตะไคร้บ้าน-lemongrass-เคมีภัณฑ์-สารเคมี.html.

จิตรพรรณ ภูษาภักดีภพ, และชมภูศักดิ์ พูลเกษ. (2547). ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพอากาศภายในอาคารและกลุ่มอาการเจ็บป่วยของพนักงานในสำนักงานของโรงพยาบาล กรณีศึกษาจังหวัดชลบุรี. วารสารสาธารณสุขศาสตร์, 34(3), 180-189.

ณหทัย เลิศการค้าสุข, นพนันท์ นานคงแนบ, พิพัฒน์ ลักษมีจรัลกุล, และวชิระ สิงหเชนทร์. (2554). ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพอากาศภายในอาคารโดยสารสาธารณะกับกลุ่มอาการอาคารป่วยในพนักงานจำหน่ายตั๋วโดยสาร เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร. วารสารสาธารณสุขศาสตร์.

ณัฐพงศ์ แหละมัน. (2548). สถานการณ์ปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อสุขภาพในระดับประเทศ, สำนักโรคจากการประกอบอาชีพ กรมควบคุมโรค. กรุงเทพมหานคร.

ธีระ วีณิน. (2553). ปัจจัยที่ *Fungi* ต้องการในการเจริญเติบโต, [cited 25 January 2013]: Available from: http://www.buranapagroup.com/knowledge_fungi.php.

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ, และปรีชา สุวรรณพินิจ. (2547). จุลชีววิทยาทั่วไป. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นภดนัย อาชวาคม. (2554). คุณภาพอากาศภายในอาคาร (*Indoor Air Quality)*, [cited 15 October 2012]: Available from:

http://www.eng.chula.ac.th/files/langearforum/download/langearforum2554/Nopdanai_AirQuality.pdf.

บริษัท ออนเวลล์ จำกัด. (2553). สารธรรมชาติกับสารสังเคราะห์, [cited 4 Febuary 2013]: Available from: http://www.onwell.co.th/tips/สารธรรมชาติ-กับ-สารสังเค.html.

ปฐมา ลอออรรถพงศ์. (2555). แรงงานไทยเสี่ยงพิษสุรา, [cited 8 January 2013]: Available from: http://haamor.com/th/แรงงานไทย-เสี่ยงพิษสุรา/.

ประเสริฐ เอื้อวรากูล. (2542). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโรคติดเชื้อและพาหะนำโรค. *NIH Newsletter,* 3(2).

พรรณกร อิ่มวิทยา. (2535). เชื้อราก่อโรคในคน. กรุงเทพมหานคร: ภาคจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, และนิธิยา รัตนาปนนท์. (2555). *Mold/*รา, [cited 22 January 2013]: Available from: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0831/mold-รา.

พิไลพรรณ พงษ์พูล. (2525). ราวิทยาเบื้องต้น, โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร.

มนตรี ตู้จินดา. (2554). โรคภูมิแพ้, [cited 18 November 2012]: Available from: http://guru.sanook.com/encyclopedia/โรคภูมิแพ้/.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2551). ผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยี, [cited 15 January 2014]: Available from: it.kmutnb.ac.th/FileDL/89255110415.doc.

เมเจอร์ซินีเพล็กซ์. (2553). ธุรกิจโรงภาพยนตร์, [cited 3 December 2012]: Available from: http://major-th.listedcompany.com/cinema_biz.html.

ลภน โมกขะสมิต. (2553). การจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร, [cited 20 January 2013]: Available from: http://www.arch.ku.ac.th/2010/attachments/sheet/IAQ.pdf.

วนิดา จีนศาสตร์. (2551). มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมชัย บวรกิตติ, จอห์น พี ลอฟทัส, และกฤษฎา ศรีสำราญ. (2542). โรคเหตุสิ่งแวดล้อมในอาคารที่อยู่อาศัยและสำนักงาน. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์.

สำนักงานข้อมูลสมุนไพร. (2544). ตะไคร้, [cited 4 January 2013]: Available from: http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/cymbopo.html.

สำนักงานพัฒนาระบบสาธารณสุข. (2554). สำนักอนามัยเตรียมจัดการคุณภาพอากาศ, [cited 7 November 2012]: Available from: http://2203.2155.2220.2217/phpd/web2011/index.php?option=com_content&view=article&id=2241:2011-2010-2004-2004-2045-2028&catid=2042:article&Itemid=2074.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีแห่งชาติ. (2554). ทำไมผ้าฝ้ายจึงดูดซับน้ำได้ดีกว่าผ้าไนลอน, [cited 17 December 2013]: Available from: http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=1561&Itemid=2178.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2545). น้ำมันหอมระเหยสารสกัดจากพืชสมุนไพรไทย. สมอ สาร, 28(325).

สำนักโรคติดต่อทั่วไป. (2554). ภัยสุขภาพ: ประชาชนจะป้องกันตนเองและครอบครัวอย่างไร, กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพมหานคร.

สิรินมาส คัชมาตย์. (2544). หนังสือความรู้เกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ ตอนที่ 15, กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพมหานคร.

สุรัตน์ เพชรเกษม. (2553). ห่วงใยสุขภาพ ใส่ใจคุณภาพอากาศภายในอาคาร. วันนี้กับวิทยาศาสตร์, 30.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC และ น้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้

ตาราง ก-1 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC บนผ้า TK โดยใช้ขอบเขตงานวิจัยเดิม

การทดลอง (10^7 10^5 และ 10^3 สปอร์/ มิลลิลิตร)	**Clear zone ของผ้า TK (มิลลิเมตร)**				**pH**
	ความเข้มข้นของ BKC (ppm)				
	1	**2**	**4**	**8**	
ครั้งที่ 1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.60
ครั้งที่ 2	0.0	0.0	0.0	0.0	
ครั้งที่ 3	0.0	0.0	0.0	0.0	
ครั้งที่ 4	0.0	0.0	0.0	0.0	
ครั้งที่ 5	0.0	0.0	0.0	0.0	
เฉลี่ย	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	

ตาราง ก-2 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บนผ้า TK โดยใช้ขอบเขตงานวิจัยเดิม

การทดลอง (10^7 10^5 และ 10^3 สปอร์/ มิลลิลิตร)	**Clear zone ของผ้า TK (มิลลิเมตร)**				**pH**
	ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ (ppm)				
	50	**100**	**200**	**500**	
ครั้งที่ 1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.60
ครั้งที่ 2	0.0	0.0	0.0	0.0	
ครั้งที่ 3	0.0	0.0	0.0	0.0	
ครั้งที่ 4	0.0	0.0	0.0	0.0	
ครั้งที่ 5	0.0	0.0	0.0	0.0	
เฉลี่ย	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	

ตาราง ก-3 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC บนผ้า TK

การทดลอง (10^5 สปอร์/ มิลลิลิตร)	**Clear zone ของผ้า TK (มิลลิเมตร)**						**pH**
	ความเข้มข้นของ BKC (%)						
	1%	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**	
ครั้งที่ 1	44.0	52.0	75.5	72.0	80.0	90.0	5.60
ครั้งที่ 2	46.0	58.0	76.0	77.0	74.5	90.0	
ครั้งที่ 3	47.0	56.0	79.0	75.0	76.0	90.0	
ครั้งที่ 4	45.0	55.0	73.5	76.0	77.0	90.0	
ครั้งที่ 5	48.0	59.0	81.0	70.0	82.5	90.0	
เฉลี่ย	**46.0**	**56.0**	**77.0**	**74.0**	**78.0**	**90.0**	

ค่า Clear zone ของ BKC 10% 15% และ 20% ไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P value >0.05

ตาราง ก-4 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บนผ้า TK

การทดลอง (10^5 สปอร์/ มิลลิลิตร)	**Clear zone ของผ้า TK (มิลลิเมตร)**								**pH**
	ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ (%)								
	1%	**2%**	**3%**	**4%**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**	
ครั้งที่ 1	0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	5.61
ครั้งที่ 2	0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	
ครั้งที่ 3	0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	
ครั้งที่ 4	0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	
ครั้งที่ 5	0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	
เฉลี่ย	**0.0**	**90.0**	**90.0**	**90.0**	**90.0**	**90.0**	**90.0**	**90.0**	**90.0**	

ตาราง ก-5 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของแอลกอฮอล์ 50% บนผ้า TK และ TC

การทดลอง (10^5 สปอร์/ มิลลิลิตร)	**การเจริญเติบโตของเชื้อราบนผ้า TK และ TC (%)**							**pH**	
	ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (%)								
	1%	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**	**50%**	**TK**	**TC**
ครั้งที่ 1	100	100	100	100	100	100	100	5.61	6.74
ครั้งที่ 2	100	100	100	100	100	100	100		
ครั้งที่ 3	100	100	100	100	100	100	100		
ครั้งที่ 4	100	100	100	100	100	100	100		
ครั้งที่ 5	100	100	100	100	100	100	100		
เฉลี่ย	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**		

ตาราง ก-6 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของสาร BKC บนผ้า TC

การทดลอง (10^5 สปอร์/ มิลลิลิตร)	**Clear zone ของผ้า TC (มิลลิเมตร)**						**pH**
	ความเข้มข้นของ BKC (%)						
	1%	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**	
ครั้งที่ 1	38.0	54.0	59.0	59.0	61.0	62.0	6.75
ครั้งที่ 2	36.0	50.5	57.0	65.0	62.0	62.0	
ครั้งที่ 3	35.5	51.0	59.0	61.0	64.0	64.5	
ครั้งที่ 4	37.0	52.5	58.0	60.0	65.0	63.0	
ครั้งที่ 5	36.0	52.0	58.0	61.0	61.0	66.5	
เฉลี่ย	**36.5**	**52.0**	**58.2**	**61.2**	**62.8**	**63.6**	

ค่า Clear zone ของ BKC 10% 15% 20% และ 25% ไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P value >0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ก-7 ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บนผ้า TC

การทดลอง (10^5 สปอร์/ มิลลิลิตร)	**Clear zone ของผ้า TC (มิลลิเมตร)**						**pH**
	ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ (%)						
	1%	**2%**	**3%**	**4%**	**5%**	**10%**	
ครั้งที่ 1	0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	6.74
ครั้งที่ 2	0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	
ครั้งที่ 3	0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	
ครั้งที่ 4	0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	
ครั้งที่ 5	0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	
เฉลี่ย	**0.0**	**90.0**	**90.0**	**90.0**	**90.0**	**90.0**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาน้ำหนักของผ้าที่หายไปเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อรา

ตาราง ข-1 น้ำหนักของผ้า TK ที่หายไปเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อราเมื่อผ่านไป 1 วัน

สารเคมี	**น้ำหนักผ้า (กรัม)**			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	**เฉลี่ย**
น้ำกลั่น	0.2052	0.2076	0.1918	**0.2015**
แอลกอฮอล์ 50%	0.1508	0.1531	0.1514	**0.1518**
BKC 1%	0.1883	0.1765	0.1790	**0.1813**
BKC 5%	0.1928	0.1898	0.2040	**0.1955**
BKC 10%	0.1873	0.1746	0.1925	**0.1848**
BKC 15%	0.1963	0.2227	0.2121	**0.2104**
BKC 20%	0.1898	0.2005	0.2326	**0.2076**
BKC 25%	0.2224	0.2239	0.2014	**0.2159**
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 1%	0.1738	0.1743	0.1630	**0.1704**
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	**N/A**

หมายเหตุ: N/A หมายถึง ไม่สามารถชั่งน้ำหนักของผ้าได้เนื่องจากเนื้อผ้าเกาะยึดติดกับจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-2 น้ำหนักของผ้า TK ที่หายไปเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อราเมื่อผ่านไป 3 วัน

สารเคมี	**น้ำหนักผ้า (กรัม)**			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	**เฉลี่ย**
น้ำกลั่น	0.0909	0.0878	0.0815	**0.0867**
แอลกอฮอล์ 50%	0.0493	0.0506	0.0498	**0.0499**
BKC 1%	0.0824	0.0822	0.0788	**0.0811**
BKC 5%	0.1325	0.1289	0.1179	**0.1264**
BKC 10%	0.1246	0.1165	0.1199	**0.1203**
BKC 15%	0.1531	0.1832	0.1663	**0.1675**
BKC 20%	0.1497	0.1637	0.1817	**0.1650**
BKC 25%	0.1758	0.1828	0.1662	**0.1749**
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 1%	0.0867	0.0852	0.0798	**0.0839**
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	**N/A**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-3 น้ำหนักของผ้า TK ที่หายไปเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อราเมื่อผ่านไป 7 วัน

สารเคมี	**น้ำหนักผ้า (กรัม)**			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	**เฉลี่ย**
น้ำกลั่น	0.0908	0.0875	0.0815	**0.0866**
แอลกอฮอล์ 50%	0.0492	0.0504	0.0497	**0.0498**
BKC 1%	0.0822	0.0821	0.0787	**0.0810**
BKC 5%	0.1177	0.1198	0.1132	**0.1169**
BKC 10%	0.1134	0.1085	0.1169	**0.1129**
BKC 15%	0.1317	0.1634	0.1543	**0.1498**
BKC 20%	0.1398	0.1498	0.1509	**0.1468**
BKC 25%	0.1519	0.1602	0.1516	**0.1546**
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 1%	0.0864	0.0849	0.0796	**0.0836**
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	**N/A**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-4 น้ำหนักของผ้า TK ที่หายไปเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อราเมื่อผ่านไป 10 วัน

สารเคมี	**น้ำหนักผ้า (กรัม)**			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	**เฉลี่ย**
น้ำกลั่น	0.0908	0.0875	0.0815	**0.0866**
แอลกอฮอล์ 50%	0.0492	0.0504	0.0497	**0.0498**
BKC 1%	0.0820	0.0818	0.0784	**0.0807**
BKC 5%	0.1152	0.1176	0.1115	**0.1148**
BKC 10%	0.1134	0.1085	0.1169	**0.1129**
BKC 15%	0.1253	0.1574	0.1488	**0.1438**
BKC 20%	0.1317	0.1417	0.1429	**0.1388**
BKC 25%	0.1422	0.1516	0.1418	**0.1452**
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 1%	0.0863	0.0847	0.0794	**0.0835**
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	**N/A**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-5 น้ำหนักของผ้า TK ที่หายไปเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อราเมื่อผ่านไป 14 วัน

สารเคมี	**น้ำหนักผ้า (กรัม)**			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	**เฉลี่ย**
น้ำกลั่น	0.0908	0.0875	0.0815	**0.0866**
แอลกอฮอล์ 50%	0.0492	0.0504	0.0497	**0.0498**
BKC 1%	0.0820	0.0818	0.0784	**0.0807**
BKC 5%	0.1130	0.1151	0.1096	**0.1126**
BKC 10%	0.1121	0.1073	0.1152	**0.1115**
BKC 15%	0.1204	0.1525	0.1436	**0.1388**
BKC 20%	0.1246	0.1349	0.1352	**0.1316**
BKC 25%	0.1306	0.1401	0.1298	**0.1335**
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 1%	0.0863	0.0847	0.0794	**0.0835**
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	**N/A**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-6 น้ำหนักของผ้า TC ที่หายไปเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อราเมื่อผ่านไป 1 วัน

สารเคมี	**น้ำหนักผ้า (กรัม)**			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	**เฉลี่ย**
น้ำกลั่น	0.2165	0.2192	0.2121	**0.2159**
แอลกอฮอล์ 50%	0.1932	0.1984	0.1997	**0.1971**
BKC 1%	0.2147	0.2186	0.2008	**0.2114**
BKC 5%	0.2138	0.2082	0.2068	**0.2096**
BKC 10%	0.2247	0.2309	0.2225	**0.2260**
BKC 15%	0.2281	0.2321	0.2239	**0.2280**
BKC 20%	0.2297	0.2273	0.2248	**0.2273**
BKC 25%	0.2658	0.2607	0.2414	**0.2560**
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 1%	0.1717	0.1794	0.1861	**0.1791**
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	**N/A**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-7 น้ำหนักของผ้า TC ที่หายไปเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อราเมื่อผ่านไป 3 วัน

สารเคมี	**น้ำหนักผ้า (กรัม)**			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	**เฉลี่ย**
น้ำกลั่น	0.1255	0.1240	0.1126	**0.1207**
แอลกอฮอล์ 50%	0.1022	0.1085	0.1096	**0.1068**
BKC 1%	0.1209	0.1232	0.1185	**0.1209**
BKC 5%	0.1482	0.1567	0.1578	**0.1542**
BKC 10%	0.1690	0.1690	0.1633	**0.1671**
BKC 15%	0.1867	0.1963	0.1869	**0.1900**
BKC 20%	0.1783	0.1903	0.1916	**0.1867**
BKC 25%	0.2225	0.2254	0.2044	**0.2174**
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 1%	0.1150	0.1166	0.1179	**0.1165**
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	**N/A**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-8 น้ำหนักของผ้า TC ที่หายไปเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อราเมื่อผ่านไป 7 วัน

สารเคมี	**น้ำหนักผ้า (กรัม)**			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	**เฉลี่ย**
น้ำกลั่น	0.1175	0.1199	0.1149	**0.1174**
แอลกอฮอล์ 50%	0.0972	0.1030	0.1046	**0.1016**
BKC 1%	0.1177	0.1209	0.1188	**0.1191**
BKC 5%	0.1260	0.1267	0.1264	**0.1264**
BKC 10%	0.1391	0.1455	0.1428	**0.1425**
BKC 15%	0.1551	0.1586	0.1531	**0.1556**
BKC 20%	0.1679	0.1683	0.1712	**0.1691**
BKC 25%	0.1927	0.1859	0.1758	**0.1848**
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 1%	0.1140	0.1153	0.1170	**0.1154**
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	**N/A**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-9 น้ำหนักของผ้า TC ที่หายไปเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อราเมื่อผ่านไป 10 วัน

สารเคมี	**น้ำหนักผ้า (กรัม)**			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	**เฉลี่ย**
น้ำกลั่น	0.1134	0.1155	0.1103	**0.1131**
แอลกอฮอล์ 50%	0.0936	0.0992	0.1004	**0.0977**
BKC 1%	0.1135	0.1169	0.1145	**0.1150**
BKC 5%	0.1202	0.1210	0.1208	**0.1207**
BKC 10%	0.1312	0.1373	0.1349	**0.1345**
BKC 15%	0.1441	0.1480	0.1419	**0.1447**
BKC 20%	0.1529	0.1535	0.1561	**0.1542**
BKC 25%	0.1720	0.1662	0.1564	**0.1649**
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 1%	0.1135	0.1149	0.1168	**0.1151**
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	**N/A**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข-10 น้ำหนักของผ้า TC ที่หายไปเนื่องจากได้รับสารยับยั้งเชื้อราเมื่อผ่านไป 14 วัน

สารเคมี	**น้ำหนักผ้า (กรัม)**			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	**เฉลี่ย**
น้ำกลั่น	0.1132	0.1153	0.1102	**0.1129**
แอลกอฮอล์ 50%	0.0935	0.0990	0.1001	**0.0975**
BKC 1%	0.1134	0.1168	0.1142	**0.1148**
BKC 5%	0.1195	0.1203	0.1206	**0.1201**
BKC 10%	0.1272	0.1336	0.1305	**0.1304**
BKC 15%	0.1362	0.1397	0.1336	**0.1365**
BKC 20%	0.1407	0.1409	0.1450	**0.1422**
BKC 25%	0.1515	0.1464	0.1358	**0.1446**
BKC 80%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 1%	0.1134	0.1147	0.1167	**0.1149**
Oil 2%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 3%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 4%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 5%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 10%	N/A	N/A	N/A	**N/A**
Oil 100%	N/A	N/A	N/A	**N/A**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

Material Safety Data Sheet

Benzalkonium Chloride MSDS (Sciencelab, 2013)

Section 1: Chemical Product and Company Identification

Product Name: Benzalkonium chloride

Catalog Codes: SLB1921

CAS#: 8001-54-5

RTECS: BO3150000

TSCA: TSCA 8(b) inventory: No products were found.

CI#: Not available.

Synonym: Zephiral, Zephiran chloride, Osvan, Paralkan, Germitol, Germicin, Enuclen, Drapolex, Drapolene, Cequartyl, Benzalkonium A, Benirol, Bayclean, Ammonyx; Alkyl dimethylbenzyl ammonium chloride; Ammonium, Alkyldimethyl(phenylmethyl) Chloride; Alkylbenzyldimethylammonium Chloride; Alkyldimethyl(phenylmethyl)quaternary ammonium chlorides; Quaternary ammonium compounds, alkylbenzyldimethyl, chlorides

Chemical Name: Ammonium, alkyldimethylbenzyl-, chloride

Chemical Formula: Not available.

Section 2: Composition and Information on Ingredients

Composition:

Name	CAS #	% by Weight
Benzalkonium chloride	8001-54-5	100

Toxicological Data on Ingredients: Benzalkonium chloride: ORAL (LD50): Acute: 240 mg/kg [Rat].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Section 3: Hazards Identification

Potential Acute Health Effects:

Very hazardous in case of skin contact (irritant), of eye contact (irritant), of ingestion, of inhalation. Hazardous in case of skin contact (corrosive), of eye contact (corrosive). The amount of tissue damage depends on length of contact. Eye contact can result in corneal damage or blindness. Skin contact can produce inflammation and blistering. Inhalation of dust will produce irritation to gastro-intestinal or respiratory tract, characterized by burning, sneezing and coughing. Severe over-exposure can produce lung damage, choking, unconsciousness or death. Inflammation of the eye is characterized by redness, watering, and itching. Skin inflammation is characterized by itching, scaling, reddening, or, occasionally, blistering.

Potential Chronic Health Effects:

CARCINOGENIC EFFECTS: Not available. MUTAGENIC EFFECTS: Mutagenic for mammalian somatic cells. Mutagenic for bacteria and/or yeast.

TERATOGENIC EFFECTS: Not available.

DEVELOPMENTAL TOXICITY: Classified Reproductive system/toxin/female, Reproductive system/toxin/male [POSSIBLE]. The substance may be toxic to kidneys, liver, heart, gastrointestinal tract, cardiovascular system, central nervous system (CNS). Repeated or prolonged exposure to the substance can produce target organs damage. Repeated exposure of the eyes to a low level of dust can produce eye irritation. Repeated skin exposure can produce local skin destruction, or dermatitis. Repeated inhalation of dust can produce varying degree of respiratory irritation or lung damage.

Section 4: First Aid Measures

Eye Contact: Check for and remove any contact lenses. In case of contact, immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes. Cold water may be used. Get medical attention immediately.

Skin Contact: In case of contact, immediately flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Cover the irritated skin with an emollient. Cold water may be used.Wash clothing before reuse. Thoroughly clean shoes before reuse. Get medical attention immediately.

Serious Skin Contact: Wash with a disinfectant soap and cover the contaminated skin with an anti-bacterial cream. Seek immediate medical attention.

Inhalation: If inhaled, remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Get medical attention immediately.

Serious Inhalation: Evacuate the victim to a safe area as soon as possible. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. If breathing is difficult, administer oxygen. If the victim is not breathing, perform mouth-to-mouth resuscitation. WARNING: It may be hazardous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation when the inhaled material is toxic, infectious or corrosive. Seek immediate medical attention.

Ingestion: Do NOT induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person. If large quantities of this material are swallowed, call a physician immediately. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband.

Serious Ingestion: Not available.

Section 5: Fire and Explosion Data

Flammability of the Product: May be combustible at high temperature.

Auto-Ignition Temperature: Not available.

Flash Points: OPEN CUP: 250°C (482°F).

Flammable Limits: Not available.

Products of Combustion: Not available.

Fire Hazards in Presence of Various Substances: Slightly flammable to flammable in presence of heat.

Explosion Hazards in Presence of Various Substances: Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not available. Risks of explosion of the product in presence of static discharge: Not available.

Fire Fighting Media and Instructions:

SMALL FIRE: Use DRY chemical powder. LARGE FIRE: Use water spray, fog or foam. Do not use water jet.

Special Remarks on Fire Hazards: As with most organic solids, fire is possible at elevated temperatures

Special Remarks on Explosion Hazards: Fine dust dispersed in air in sufficient concentrations, and in the presences of an ignition source is a potential dust explosion hazard.

Section 6: Accidental Release Measures

Small Spill: Use appropriate tools to put the spilled solid in a convenient waste disposal container.

Large Spill: Corrosive solid. Stop leak if without risk. Do not get water inside container. Do not touch spilled material. Use water spray to reduce vapors. Prevent entry into sewers, basements or confined areas; dike if needed. Eliminate all ignition sources. Call for assistance on disposal.

Section 7: Handling and Storage

Precautions: Keep locked up. Keep container dry. Keep away from heat. Keep away from sources of ignition. Empty containers pose a fire risk; evaporate the residue under a fume hood. Do not ingest. Do not breathe dust. Never add water to this product. In case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment. If ingested, seek medical advice immediately and show the container or the label. Avoid contact with skin and eyes. Keep away from incompatibles such as oxidizing agents, moisture.

Storage: Hygroscopic. Keep container tightly closed. Keep container in a cool, well-ventilated area. Do not store above 23°C (73.4°F).

Section 8: Exposure Controls/Personal Protection

Engineering Controls: Use process enclosures, local exhaust ventilation, or other engineering controls to keep airborne levels below recommended exposure limits. If user operations generate dust, fume or mist, use ventilation to keep exposure to airborne contaminants below the exposure limit.

Personal Protection: Splash goggles. Synthetic apron. Vapor and dust respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Gloves.

Personal Protection in Case of a Large Spill: Splash goggles. Full suit. Vapor and dust respirator. Boots. Gloves. A self contained breathing apparatus should be used to avoid inhalation of the product. Suggested protective clothing might not be sufficient; consult a specialist BEFORE handling this product.

Exposure Limits: Not available.

Section 9: Physical and Chemical Properties

Physical state and appearance: Solid. (Amorphous solid powder or lumps.)

Odor: Aromatic.

Taste: Bitter. (Strong.)

Molecular Weight: Not available.

Color: White to yellowish.

pH (1% soln/water): Not available.

Boiling Point: Not available.

Melting Point: Decomposition temperature: >140°C (284°F)

Critical Temperature: Not available.

Specific Gravity: 0.98 (Water = 1)

Vapor Pressure: Not applicable.

Vapor Density: Not available.

Volatility: Not available.

Odor Threshold: Not available.

Water/Oil Dist. Coeff.: Not available.

Ionicity (in Water): Not available.

Dispersion Properties: See solubility in water, acetone.

Solubility: Easily soluble in cold water, hot water. Soluble in acetone. Very slightly soluble in diethyl ether. Very soluble in alcohol. Soluble in benzene. Solubility in Benzene: 1 g dissolves in 6 ml of benzene. Solubility in Ether: 1 g dissolves in 100 ml of Ether

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Section 10: Stability and Reactivity Data

Stability: The product is stable.

Instability Temperature: Not available.

Conditions of Instability: Excess heat, dust generation, moisture, incompatible materials.

Incompatibility with various substances: Reactive with oxidizing agents.

Corrosivity: Non-corrosive in presence of glass.

Special Remarks on Reactivity: Hygroscopic. Also incompatible with nitrates, anion detergents

Special Remarks on Corrosivity: Not available.

Polymerization: Will not occur.

Section 11: Toxicological Information

Routes of Entry: Inhalation. Ingestion.

Toxicity to Animals: Acute oral toxicity (LD50): 240 mg/kg [Rat].

Chronic Effects on Humans:

MUTAGENIC EFFECTS: Mutagenic for mammalian somatic cells. Mutagenic for bacteria and/or yeast.

DEVELOPMENTAL TOXICITY: Classified Reproductive system/toxin/female, Reproductive system/toxin/male [POSSIBLE]. May cause damage to the following organs: kidneys, liver, heart, gastrointestinal tract, cardiovascular system, central nervous system (CNS).

Other Toxic Effects on Humans: Very hazardous in case of skin contact (irritant), of ingestion, . Hazardous in case of skin contact (corrosive), of eye contact (corrosive), of inhalation (lung corrosive).

Special Remarks on Toxicity to Animals: Not available.

Special Remarks on Chronic Effects on Humans: May affect genetic material (mutagen) and cause adverse reproductive effects (fetotoxicity, fertility (female)) based on laboratory experiments on animals.

Special Remarks on other Toxic Effects on Humans: Acute Potential Health Effects: Skin: Causes severe skin irritation and burns. Eyes: Causes sever eye irritation and burns. Ingestion: Harmful if swallowed. May cause severe and permanent damage to the digestive tract. Causes gastrointestinal (digestive) tract burns. May affect behavior (central nervous system depression, depression) and metabolism. May produce burning pains in the mouth, throat, and abdomen, profuse salivation, muscle weakness. May also affect the respiratory system and cardiovascular system, liver and kidneys. Inhalation: May cause severe irritation of the respiratory tract with sore throat, coughing, shortness of breath, and delayed lung edema. Causes chemical burns to the respiratory tract. Causes irritation of the mucous membranes. Chronic Potential Health Effects:

May affect material (mutagenic) and may cause adverse reproductive effects. Prolonged or repeated skin contact may cause dermatitis. Repeated or prolonged exposure may cause allergic reactions in sensitive individuals. May cause cyanosis of the skin and lips caused by lack of oxygen.

Section 12: Ecological Information

Ecotoxicity: Not available.

BOD5 and COD: Not available.

Products of Biodegradation: Possibly hazardous short term degradation products are not likely. However, long term degradation products may arise.

Toxicity of the Products of Biodegradation: Not available.

Special Remarks on the Products of Biodegradation: Not available.

Section 13: Disposal Considerations

Waste Disposal: Waste must be disposed of in accordance with federal, state and local environmental control regulations.

Section 14: Transport Information

DOT Classification: Class 8: Corrosive material

Identification: Corrosive Solid, Acid, Organic, n.o.s. (Benzalkonium Chloride) UNNA: 3261 PG: II

Special Provisions for Transport: Not available.

Section 15: Other Regulatory Information

Federal and State Regulations: No products were found.

Other Regulations: OSHA: Hazardous by definition of Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200).

Other Classifications:

WHMIS (Canada): CLASS D-1B: Material causing immediate and serious toxic effects (TOXIC). CLASS D-2B: Material causing other toxic effects (TOXIC). CLASS E: Corrosive solid.

DSCL (EEC): R21/22- Harmful in contact with skin and if swallowed. R34- Causes burns. R50- Very toxic to aquatic organisms. S26- In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice. S28- After contact with skin, wash immediately with plenty of water. S36/37/39- Wear suitable protective clothing, gloves and eye/face protection. S45- In case

of accident or if you feel unwell, seek medical advice immediately (show the label where possible). S61- Avoid release to the environment. Refer to special instructions/Safety data sheets.

HMIS (U.S.A.):

Health Hazard: 3

Fire Hazard: 1

Reactivity: 0

Personal Protection: j

National Fire Protection Association (U.S.A.):

Health: 3

Flammability: 1

Reactivity: 0

Specific hazard:

Protective Equipment: Gloves. Synthetic apron. Vapor and dust respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Splash goggles.

Section 16: Other Information

References: Not available.

Other Special Considerations: Not available.

Created: 10/09/2005 04:19 PM

Last Updated: 05/21/2013 12:00 PM

The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall ScienceLab.com be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, howsoever arising, even if ScienceLab.com has been advised of the possibility of such damages.

Lemongrass Essential Oil MSDS (Sciencelab.com, 2013)

Section 1: Chemical Product and Company Identification

Product Name: Lemongrass oil

Catalog Codes: SLL1522, SLL1897

CAS#: 8007-02-1

RTECS: OG8250000

TSCA: TSCA 8(b) inventory: Lemongrass oil

CI#: Not available.

Synonym:

Chemical Name: Not available.

Chemical Formula: Not available.

Section 2: Composition and Information on Ingredients

Composition:

Name	CAS #	% by Weight
Lemongrass oil	8007-02-1	100

Toxicological Data on Ingredients: Lemongrass oil LD50: Not available. LC50: Not available.

Section 3: Hazards Identification

Potential Acute Health Effects: Very hazardous in case of eye contact (irritant), of ingestion, of inhalation. Hazardous in case of skin contact (irritant). Slightly hazardous in case of skin contact (permeator). Inflammation of the eye is characterized by redness, watering, and itching.

Potential Chronic Health Effects: Very hazardous in case of eye contact (irritant), of ingestion, of inhalation. Hazardous in case of skin contact (irritant). Slightly hazardous in case of skin contact (permeator). CARCINOGENIC EFFECTS: Not available. MUTAGENIC EFFECTS: Not available. TERATOGENIC EFFECTS: Not available. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Not available. The substance is toxic to lungs, mucous membranes. Repeated or prolonged exposure to the substance can produce target organs damage.

Section 4: First Aid Measures

Eye Contact: Check for and remove any contact lenses. Do not use an eye ointment. Seek medical attention.

Skin Contact: After contact with skin, wash immediately with plenty of water. Gently and thoroughly wash the contaminated skin with running water and non-abrasive soap. Be particularly careful to clean folds, crevices, creases and groin. Cover the irritated skin with an emollient. If irritation persists, seek medical attention. Wash contaminated clothing before reusing.

Serious Skin Contact: Wash with a disinfectant soap and cover the contaminated skin with an anti-bacterial cream. Seek medical attention.

Inhalation: Allow the victim to rest in a well ventilated area. Seek immediate medical attention.

Serious Inhalation: Not available.

Ingestion: Do not induce vomiting. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. If the victim is not breathing, perform mouth-to-mouth resuscitation. Seek immediate medical attention.

Serious Ingestion: Not available.

Section 5: Fire and Explosion Data

Flammability of the Product: Combustible.

Auto-Ignition Temperature: Not available.

Flash Points: CLOSED CUP: 71°C (159.8°F).

Flammable Limits: Not available.

Products of Combustion: Not available.

Fire Hazards in Presence of Various Substances: Not available.

Explosion Hazards in Presence of Various Substances: Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not available. Risks of explosion of the product in presence of static discharge: Not available.

Fire Fighting Media and Instructions:

SMALL FIRE: Use DRY chemical powder. LARGE FIRE: Use water spray, fog or foam. Do not use water jet.

Special Remarks on Fire Hazards: Not available.

Special Remarks on Explosion Hazards: Not available.

Section 6: Accidental Release Measures

Small Spill: Absorb with an inert material and put the spilled material in an appropriate waste disposal.

Large Spill: Combustible material. Keep away from heat. Keep away from sources of ignition. Stop leak if without risk. Finish cleaning by spreading water on the contaminated surface and allow to evacuate through the sanitary system.

Section 7: Handling and Storage

Precautions: Keep away from heat. Keep away from sources of ignition. Ground all equipment containing material. Do not breathe gas/ fumes/ vapour/spray. In case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment If you feel unwell, seek medical attention and show the label when possible. Avoid contact with skin and eyes

Storage: Flammable materials should be stored in a separate safety storage cabinet or room. Keep away from heat. Keep away from sources of ignition. Keep container tightly closed. Keep in a cool, well-ventilated place. Ground all equipment containing material. Keep container dry. Keep in a cool place.

Section 8: Exposure Controls/Personal Protection

Engineering Controls: Provide exhaust ventilation or other engineering controls to keep the airborne concentrations of vapors below their respective threshold limit value. Ensure that eyewash stations and safety showers are proximal to the work-station location.

Personal Protection: Splash goggles. Lab coat. Vapor respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Gloves.

Personal Protection in Case of a Large Spill: Splash goggles. Full suit. Vapor respirator. Boots. Gloves. A self contained breathing apparatus should be used to avoid inhalation of the product. Suggested protective clothing might not be sufficient; consult a specialist BEFORE handling this product.

Exposure Limits: Not available.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Section 9: Physical and Chemical Properties

Physical state and appearance: Liquid.

Odor: Strong.

Taste: Not available.

Molecular Weight: Not available.

Color: Orange. to Brownish-red.

pH (1% soln/water): Not available.

Boiling Point: Not available.

Melting Point: Not available.

Critical Temperature: Not available.

Specific Gravity: 0.895 (Water = 1)

Vapor Pressure: Not available.

Vapor Density: Not available.

Volatility: Not available.

Odor Threshold: Not available.

Water/Oil Dist. Coeff.: Not available.

Ionicity (in Water): Not available.

Dispersion Properties: Not available.

Solubility: Not available.

Section 10: Stability and Reactivity Data

Stability: The product is stable.

Instability Temperature: Not available.

Conditions of Instability: Not available.

Incompatibility with various substances: Not available.

Corrosivity: Non-corrosive in presence of glass.

Special Remarks on Reactivity: Not available.

Special Remarks on Corrosivity: Not available.

Polymerization: No.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Section 11: Toxicological Information

Routes of Entry: Eye contact. Inhalation. Ingestion.

Toxicity to Animals: the oral, rat, LD50 is anticipated to be greater than 65 g/kg, Dermal LD50: 2 g/kg [Rabbit].

Chronic Effects on Humans: The substance is toxic to lungs, mucous membranes.

Other Toxic Effects on Humans: Very hazardous in case of ingestion, of inhalation. Hazardous in case of skin contact (irritant). Slightly hazardous in case of skin contact (permeator).

Special Remarks on Toxicity to Animals: Not available.

Special Remarks on Chronic Effects on Humans: Not available.

Special Remarks on other Toxic Effects on Humans: Not available.

Section 12: Ecological Information

Ecotoxicity: Not available.

BOD5 and COD: Not available.

Products of Biodegradation: Possibly hazardous short term degradation products are not likely. However, long term degradation products may arise.

Toxicity of the Products of Biodegradation: The products of degradation are more toxic.

Special Remarks on the Products of Biodegradation: Not available.

Section 13: Disposal Considerations

Waste Disposal:

Section 14: Transport Information

DOT Classification: Not a DOT controlled material (United States).

Identification: Not applicable.

Special Provisions for Transport: Not applicable.

Section 15: Other Regulatory Information

Federal and State Regulations: TSCA 8(b) inventory: Lemongrass oil

Other Regulations: OSHA: Hazardous by definition of Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200).

Other Classifications:

WHMIS (Canada): CLASS B-3: Combustible liquid with a flash point between 37.8°C (100°F) and 93.3°C (200°F). CLASS D-2A: Material causing other toxic effects (VERY TOXIC).

DSCL (EEC): R38- Irritating to skin. R41- Risk of serious damage to eyes.

HMIS (U.S.A.):

Health Hazard: 2

Fire Hazard: 2

Reactivity: 0

Personal Protection: h

National Fire Protection Association (U.S.A.):

Health: 2

Flammability: 2

Reactivity: 0

Specific hazard:

Protective Equipment: Gloves. Lab coat. Vapor respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Splash goggles.

Section 16: Other Information

References: Not available.

Other Special Considerations: Not available.

Created: 10/09/2005 05:57 PM

Last Updated: 05/21/2013 12:00 PM

The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall ScienceLab.com be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, howsoever arising, even if ScienceLab.com has been advised of the possibility of such damages.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐวัฒน์ วิทยาคุณสถิต เกิดเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2533 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสาตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2554 และเข้าศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University