การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยไมโครเอนแคปซูลเลชัน จากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

THE DEVELOPMENT OF ANTIBACTERIA ON BRASSIERE BY MICROENCAPSULATION FROM *KAEMPFERIA PARVIFLORA*

จิราภรณ์ คชสง่า

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

จิราภรณ์ คชสง่า

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ The Development of Antibacteria on Brassiere by Microencapsulation from *Kaempferia parviflora*
ชื่อ - นามสกุล	นางสาวจิราภรณ์ คชสง่า
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุภา จุฬคุปต์, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ศิริวรรณ ตี้ภู่, Ph.D.
ปีการศึกษา	2554

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุทัศนีย์ บุญโญภาส)

....กรรมการ

(อาจารย์รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, Ph.D.)

....กรรมการ

(อาจารย์ศิริวรรณ ตี้ภู่, Ph.D.)

....กรรมการ

(อาจารย์สุภา จุฬคุปต์, Ph.D.)

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

(นางสาวจีรวัฒน์ เหรียญอารีย์)

วันที่ 30 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2555

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ
ชื่อ - นามสกุล	นางสาวจิราภรณ์ คชสง่า
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุภา จุฬคุปต์, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ศิริวรรณ ตี้ภู่, Ph.D.
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อศึกษาและพัฒนาการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำซึ่งมีประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์สิ่งทอ โดยได้มีการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำในแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) และแบคทีเรีย *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 4352) พบว่าน้ำมันหอมระเหยกระชายดำมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) และแบคทีเรีย *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 4352) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้จะนำน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่สกัดได้มาทำแคปซูลในพอลิแลคติกแอซิดโดยอาศัยปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไลซ์เซชันแบบอิมัลชัน วิเคราะห์ลักษณะของไมโครแคปซูลจะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) จากการทดลองพบว่า ไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลม สามารถสังเกตเห็นได้จากกล้องจุลทรรศน์ โดยไมโครแคปซูลที่เตรียมขึ้นจะมีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 10 – 150 ไมโครเมตร มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ 23.881 ไมโครเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.801 เมื่อนำไมโครแคปซูลที่เตรียมขึ้นไปใช้เคลือบติดบนผ้า (ฝ้าย พอลิเอสเทอร์ และไนลอน) พบว่าการเคลือบติดบนผ้าไนลอนที่มีโครงสร้างเป็นผ้าถักด้ายยืนมีประสิทธิภาพยับยั้งแบคทีเรียดีที่สุด และผ้าไนลอนที่ผ่านการซัก 5 ครั้ง เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยังคงพบไมโครแคปซูลจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำติดอยู่

คำสำคัญ : กระชายดำ, ชุดชั้นใน, ไมโครเอนแคปซูลเลชัน, การยับยั้งแบคทีเรีย

Thesis Title	The Development of Antibacteria on Brassiere by Microencapsulation from *Kaempferia parviflora*
Name - Surname	Miss. Jiraporn Koatsaha
Program	Home Economics Technology
Thesis Advisor	Mrs. Supa Chulacupt, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Mrs. Siriwan Teepoo, Ph.D.
Academic Year	2011

ABSTRACT

This study was aimed to develop the *KaempferiaParviflora Oil* (KPO) microcapsules for textile application, KPO antibacterial had been tested against *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538) and *Klebsiellapneumoniae* (ATCC 4352) and its effects against these two different kinds of bacteria were significantly different at $p<0.05$. In this study, the KPO was encapsulated in Poly-l-Lactic Acid (PLLA) to make microcapsules by an emulsion polymerization and the prepared capsules were then analyzed by means of Scanning Electron Microscope, SEM) and Thermo-Gravimetric Analysis, TGA). It was found that through an optical microscope the developed KPO microcapsules could be seen in three-dimension sphere shapes. The particle sizes of these microcapsules ranged between 10 – 150 µm. and their average particle size was 23.881 µm with the standard diviation of 2.801. When the KPO microcapsules were applied to finish onto the following three kinds of cotton fabrics: cotton, polyester and nylon, to study the antibacterial property of the KPO microcapsules before washing, the result showed that the KPO-finished nylon fabric with a warp knitted structure displayed the most efficient antibacterial performance and after 5-time washing, it could be seen through the scanning electron microscope that the microcapsules still remained on the nylon fabric.

Key Words: *Kaempferia Parviflora*, Brassiere, Microencapsulation, Antibacteria

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.สุภา จุฑคุปต์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ศิริวรรณ ตี้ภู่ กรรมการวิชาเอก ดร.รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ รองศาสตราจารย์ สุทัศนีย์ บุญโญภาส และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาคร ชลสาคร ที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาตลอดจนให้คำปรึกษาแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ดร.วุฒิชัย วิสุทธิพรต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้คำแนะนำในด้านความรู้เกี่ยวกับการสกัดพืชสมุนไพร ทำให้งานวิจัยมีความชัดเจนครบถ้วนสามารถนำผลงานไปใช้ประโยชน์ได้จริง ขอขอบคุณสาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกระหว่างการทำงานวิจัย ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องทดสอบ รวมทั้งเอื้อเฟื้อสถานที่การทำงานวิจัย ขอขอบคุณโรงเรียนน้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ และขอขอบคุณบริษัท อินทิเมท แฟชั่น จำกัด ที่เอื้อเฟื้อและให้การสนับสนุนผ้าสำหรับการทดลอง และขึ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทำวิจัย สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาบ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้นอกเหนือจากนี้ขอขอบคุณผู้บริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่มอบทุนสนับสนุนพัฒนาบุคลากรตลอดระยะเวลาในการศึกษาของผู้วิจัย

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

จิราภรณ์ คชสง่า

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(ภาษาไทย) .... ค
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ) .... ง
กิตติกรรมประกาศ .... จ
สารบัญ .... ฉ
สารบัญตาราง .... ฌ
สารบัญภาพ .... ญ
บทที่
1. บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 สมมติฐานการวิจัย 2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.5 คำจำกัดความในการวิจัย 3
1.6 กรอบแนวคิดในการวิจัย 4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระชายดำ 5
2.2 น้ำมันหอมระเหย 10
2.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหย 15
2.4 การวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหย 17
2.5 พอลิแลกติกแอซิด (Polylactic acid) 18
2.6 ไมโครเอนแคปซูลเลชัน 22
2.7 ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย 32
2.8 ประเภทของผ้าถัก 36
2.9 การเปรียบเทียบผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 38
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 43

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3. วิธีดำเนินการวิจัย 54

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย 54

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 57

3.3 แผนผังของการวิจัย 60

3.4 วิธีการวิจัย 62

3.5 การวิเคราะห์ทางกายภาพของไมโครเอนแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ 64

3.6 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน 66

3.7 วิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของไมโครเอนแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่ยึดติดบนผ้า 3 ชนิด 66

3.8 การตรวจสอบความคงทนต่อการซักของไมโครแคปซูลจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่มาเคลือบติดบนผ้าไนลอน 67

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล 67

4. ผลการวิจัย 68

4.1 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ 68

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำต่อความต้านทานเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ 69

4.3 ผลการเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำและการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อน 70

4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน 73

4.5 ผลการประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลกระชายดำมาเคลือบติดบนผ้า 73

4.6 ผลการตรวจสอบความคงทนของการซักของไมโครแคปซูลจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่มาเคลือบติดบนผ้าไนลอน 77

4.7 การตัดเย็บชุดชั้นในสตรี 79

5. สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 81

5.1 สรุปผลการวิจัย 81

5.2 การอภิปรายผล 83

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

5.3 ข้อเสนอแนะ 84

บรรณานุกรม 85

ภาคผนวก 89

ภาคผนวก ก 90

ภาคผนวก ข 95

ภาคผนวก ค 98

ภาคผนวก ง 106

ประวัติผู้เขียน 118

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดของสารประกอบเทอร์ปีน	12
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างพอลิเมอร์กับกลไกการปลดปล่อยตัวยา	28
2.3	องค์ประกอบผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ	34
2.4	ข้อมูลทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว	39
2.5	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว	42
3.1	ผ้าที่ใช้ในการวิจัย	55
3.2	เซลล์ที่ใช้ในการวิจัยประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย (Antibacterial Activity)	55
3.3	สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	56
3.4	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ	59
4.1	ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่ระดับความเข้มข้นของแบคทีเรีย 10^6 CFU/ml (colony-forming units per ml)	69
4.2	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำจำแนกตามชนิดของแบคทีเรีย	70
4.3	การทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน	73
4.4	หมู่ฟังก์ชั่นและความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด	75
4.5	ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของผ้าทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการเคลือบไมโครแคปซูลที่ระดับความเข้มข้นของแบคทีเรีย 10^6 CFU/ml (colony-forming units per ml)	76

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะของกระชายดำสายพันธุ์ใบแดงกับกระชายดำสายพันธุ์ใบเขียว	8
2.2	โครงสร้างของไอโซปรีน	12
2.3	วัฏจักรของพอลิแลกติกแอซิด	18
2.4	ไอโซเมอร์สองรูปแบบของพอลิแลกติกแอซิด	20
2.5	การสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดจากกรดแลกติกชนิดแอลและดี	21
2.6	ลักษณะของไมโครพาร์ติเคิลประเภทต่างๆ ของไมโครแคปซูลและไมโครสเฟียร์	23
2.7	สภาวะการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน	25
2.8	ส่วนประกอบของไมโครพาร์ติเคิล	26
2.9	การทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดในการยับยั้งแบคทีเรียโดยวิธี Paper discs method หรือ Disc diffusion method	33
2.10	ตำแหน่งที่หยดเชื้อแบคทีเรียลงบนวุ้นกึ่งแข็งที่ผสมสารทดสอบ	33
2.11	แสดงการแบ่งรูปแบบผ้าถัก	37
3.1	แผนผังการวิจัย	60
3.2	เครื่องต้มกลั่นขนาด 500 กิโลกรัม	63
3.3	Optical microscope รุ่น UC1320 ยี่ห้อ UPIX CAMERA	64
3.4	เครื่องเทอร์โมกราวิเมทริกแอนนาไลซิส รุ่น TGA 4000 ยี่ห้อ Perkin Elmer	65
3.5	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-5610LV ยี่ห้อ JEOL	66
4.1	ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำถ่ายภาพผ่านกล้อง Optical Microscope ที่กำลังขยาย 40 เท่า	71
4.2	ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมทริกแอนนาไลซิสรุ่น TGA 40 ยี่ห้อ Perkin Elmer	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.3 ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่เคลือบบนผ้าฝ้าย, ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน ถ่ายภาพผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 200 เท่า.............................. 74

4.4 ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่เคลือบบนผ้าไนลอนหลังจากผ่านการซักต่างๆ กันดังนี้ (1) ผ่านการซักที่ 1 ครั้ง (2) ผ่านการซักที่ 3 ครั้ง (3) ผ่านการซักที่ 5 ครั้ง.. 78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในปัจจุบันส่งผลให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมในทุกๆ ด้าน การแข่งขันและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าหรือผู้บริโภคจึงมีความรุนแรงมากขึ้น ทำให้นอกจากสมบัติพื้นฐานของสินค้าแล้ว ผู้บริโภคยังมีความต้องการสินค้าที่มีสมบัติพิเศษ เช่น ในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มมีความสนใจผ้าที่มีสมบัติพิเศษของเส้นใยแต่ละชนิด เช่น ต้องการผ้าที่มีความนุ่ม มีผิวสัมผัสดี มีความต้านทานเชื้อแบคทีเรีย ดังนั้นการสร้างนวัตกรรมและการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติพิเศษเฉพาะทาง จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ โดยในช่วงระยะที่ผ่านมานักวิทยาศาสตร์ได้คิดค้นวิธีการทำให้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอมีสมบัติพิเศษ โดยการใช้กระบวนการต่างๆ มากมาย ทำให้มีผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่มีสมบัติพิเศษออกวางจำหน่ายอย่างแพร่หลาย แต่ในการทำวิจัยเกี่ยวกับพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์สิ่งทอนั้นยังไม่กว้างขวางเท่าใดนัก ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำพืชสมุนไพรไทย ซึ่งมีสรรพคุณในการรักษาโรคและความเสี่ยงต่อการเกิดอาการข้างเคียงน้อย โดยสมุนไพรที่จะนำมาใช้คือ กระชายดำ (ชื่อทางวิทยาศาสตร์: *Kaempferia parviflora Wall. Ex Baker*) มาสกัดทำน้ำมันกระชายดำซึ่งมีสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียมาพัฒนาร่วมกับเทคนิคการทำไมโครเอนแคปซูลเลชัน (Microencapsulation) โดยสามารถทำให้ควบคุมกลไกการปลดปล่อยสารภายในและสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำมันหอมระเหย นอกจากนี้ยังช่วยยืดระยะเวลาการเก็บรักษา ความคงตัวของสาร และยังสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารได้ตามต้องการ โดยไมโครเอนแคปซูลที่ได้จะเป็นการเปลี่ยนสภาพของสารที่เป็นของเหลวให้อยู่ในรูปของแข็ง และใช้สารยึดติด (binder) เข้าช่วยเพื่อทำให้ไมโครเอนแคปซูลที่เตรียมได้เกิดการยึดติดกับเส้นใยของผ้าได้ดี สำหรับงานวิจัยครั้งนี้มีแนวคิดที่จะนำไปใช้ในการตกแต่งสำเร็จ ผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ ผ้าไนลอน ที่เป็นส่วนประกอบในชุดชั้นในสตรี ในส่วนที่สัมผัสโดยตรงกับความชื้นจากเหงื่อของ

ร่างกาย เมื่อผ้าชุดชั้นในสัมผัสความชื้นเป็นเวลานานก่อให้เกิดแบคทีเรีย กลิ่นอับชื้นและโรคผิวหนัง ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ อีกทั้งเป็นการสนับสนุนสมุนไพรไทยให้เป็นที่รู้จัก หรือสนับสนุนให้เกิดการเพาะปลูกพืชสมุนไพรแก่เกษตรกร ทำให้เพิ่มอาชีพและรายได้ให้แก่เกษตรกรอีกทางหนึ่ง รวมไปถึงการพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มเพื่อให้สามารถแข่งขันและส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากกระชายดำโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ

2. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

3. ศึกษาการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำลงบนผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกัน

4. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกันที่ผ่านการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

5. ผลิตชุดชั้นในสตรีต้นแบบ

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1. น้ำมันหอมระเหยกระชายดำมีประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน ที่ผ่านการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ มีประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. สกัดน้ำมันหอมระเหยจากกระชายดำโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ

2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียแกรมลบจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

3. เคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำลงบนผ้า 3 ชนิดที่ทำการศึกษา คือ ผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน

4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผ้า 3 ชนิดที่ผ่านการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

5. ผลิตชุดชั้นในสตรีต้นแบบ จำนวน 1 ชุด จากผ้าที่เคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่มีประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียดีที่สุด

1.5 คำจำกัดความในการวิจัย

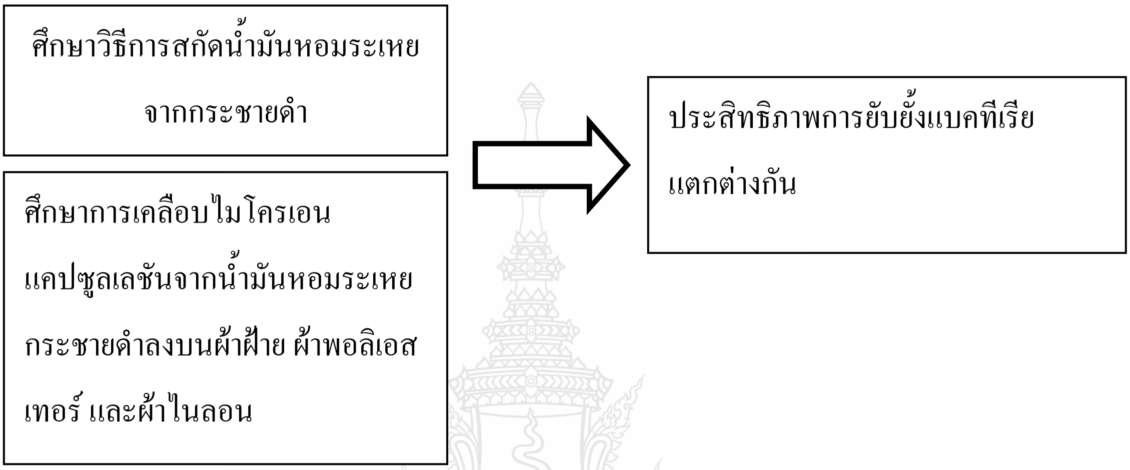
กระชายดำ (*Kaempferia parviflora*) กระชายดำเป็นพืชสมุนไพรที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศเขตร้อน พบได้ตามบริเวณป่าดิบร้อนชื้น กระชายดำมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Kaempferia parviflora Wall. Ex Baker* อยู่ในวงศ์ *Zingiberaceae* ลักษณะแตกต่างที่เด่นชัดกับกระชายธรรมดาก็คือ เนื้อในของหัวกระชายดำจะมีสีคล้ายดั่งผลหว้า คือมีสีออกม่วงอ่อนๆ ไปจนถึงสีน้ำเงินถึงดำ จึงได้ชื่อว่า “กระชายดำ”

ชุดชั้นใน (Brassiere) หมายถึง ยกทรงหรือเสื้อชั้นในของสุภาพสตรี ใช้สวมใส่เพื่อรักษารูปทรงหรือทรวดทรง และป้องกันการหย่อนยาน

ไมโครเอนแคปซูลเลชัน (Microencapsulation) หมายถึง กระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มให้อยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบางๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูล ซึ่งมีขนาดประมาณ 1-1,000 ไมครอน

การยับยั้งแบคทีเรีย (Antibacterial) หมายถึง การยับยั้งการเติบโตหรือการแพร่พันธุ์ของเชื้อแบคทีเรีย โดยสารต้านแบคทีเรียจะเข้าไปทำลายหรือยับยั้งการทำงานของโปรตีนภายในเซลล์แบคทีเรียที่เรียกว่า DNA (Deoxyribonucleic Acid) มีผลทำให้แบคทีเรียไม่สามารถแบ่งเซลล์ได้และทำให้เซลล์ตายในที่สุด

1.6 กรอบแนวคิดในการวิจัย



1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นข้อมูลทางด้านคลินิกเกี่ยวกับวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากกระชายดำและน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย

2. สนับสนุนการใช้ผลิตภัณฑ์จากพืชสมุนไพรไทยและช่วยเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทย

3. เป็นนวัตกรรมด้านสิ่งทอประเภทชุดชั้นในที่นำพืชสมุนไพรไทยมาใช้เคลือบเพื่อยับยั้งแบคทีเรีย

4. เป็นแนวทางในการผลิตชุดชั้นในสตรีที่มีสมบัติพิเศษเพื่อเป็นสินค้าสู่ตลาดอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ และได้เผยแพร่ผลงานวิจัยและตีพิมพ์ออกสู่ตลาดอุตสาหกรรมสิ่งทอ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากกระชายดำโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ศึกษาการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำลงบนผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกันที่ผ่านการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ มีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระชายดำ

2.2 น้ำมันหอมระเหย

2.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหย

2.4 การวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหย

2.5 พอลิแลกติกแอซิด

2.6 ไมโครเอนแคปซูลเลชัน

2.7 ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย

2.8 ประเภทของผ้าถัก

2.9 การเปรียบเทียบผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระชายดำ

กระชายดำ เป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ *Zingiberaceae Tribe Hedychieae* สกุล *Kaempferia* มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Kaempferia parviflora Wall. ex Baker* (syn. *Boesenbergia pandurata* (Roxb.) Schltr. (black rhizome)) (วิชัย, 2548) มีชื่อเรียกอย่างอื่นว่ากระชายดำ ว่านกระชายดำ กระชายม่วง ว่านเพชร

ดำ กระชายเลือด โดยพบว่ามีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียใต้ พบมากในเขตป่าและภูเขาของประเทศไทย ลาว พม่า อินเดียและจีน และในส่วนของประเทศไทยพบปลูกกันมากในพื้นที่จังหวัดเลย พิษณุโลก และเพชรบูรณ์ นอกจากนี้ยังพบปลูกในจังหวัดน่าน กาญจนบุรี ตาก เชียงใหม่ และเชียงราย ซึ่งต้นกระชายดำจะเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 500 ถึง 1,408 กิโลเมตร (จำรัส และมนตรี, 2546)

2.1.1 ลักษณะทั่วไปทางพฤกษศาสตร์ของกระชายดำ

กระชายดำมีลักษณะของลำต้น 2 ชนิด คือ ลำต้นเหนือดิน (Aerial stem) กับลำต้นใต้ดิน (Underground stem) (ศิวพร, 2546) ลำต้นเหนือดินตรงกลางลำต้นเป็นแกนแข็งมีกาบหรือโคนใบสีแดงอ่อนอวบหนานุ่ม หุ้มแกนลำต้นไว้ ไม่แตกสาขา ส่วนลำต้นใต้ดิน เหง้ามีการเจริญเติบโตในแนวระนาบแบบแผ่ด้านข้าง (Sympodia) เหง้าแตกแขนงตรงส่วนปลายของทุกแขนง และมีตาเจริญเป็นลำต้นเหนือดินหรือช่อดอก (ศิวพร, 2546) ใบ เป็นใบเดี่ยว (Simple leaf) รูปกรวยออกเรียงสลับ เมื่อโตขึ้นจะแยกออกจากกันเป็นอิสระ สีของใบเมื่อเริ่มแตกใบอ่อนจะมีสีเข้มม่วงอมแดงและเมื่อโตขึ้นสีจะค่อยๆ จางไปเป็นสีเขียว และใบขนาดใหญ่ขึ้น ลักษณะใบเป็นรูปรี ปลายใบเป็นติ่งแหลม โคนใบรูปหัวใจ ขอบใบเรียบเป็นคลื่นเล็กน้อย ขอบใบโดยรอบจะมีแถบเล็กๆ สีแดงใส เส้นแขนงใบนูน (จำรัส และมนตรี, 2546) เหง้าหรือหัว มีลักษณะเฉพาะหัวรูปวงกลมหรือวงรีรวมกันประกอบเป็นเหง้า สีเนื้อภายในเหง้ามีสีน้ำตาลอ่อน สีน้ำเงินหรือสีดำอ่อนจนถึงสีดำแก่ (จำรัส และมนตรี, 2546) ช่อดอก เกิดจากส่วนของลำต้นเหนือดิน หุ้มด้วยกาบใบชั้นในสุด 2 ใบ ใบประดับมีจำนวน 2 กลีบ สีเขียว มีดอกประมาณ 10-20 ดอกต่อช่อ ดอกที่อยู่ปลายยอดจะบานก่อน เมื่อดอกบานจะแยกออกจากกันเป็น 3 กลีบประกอบด้วย กลีบใหญ่ 1 กลีบ และกลีบเล็ก 2 กลีบ โคนดอกเชื่อมติดกันเป็นหลอด (กนกวรรณ, 2545) กลีบดอกบริเวณตรงกลางกลีบมีสีม่วง เกสรตัวผู้เหมือนกับกลีบดอก อับเรณูอยู่ใกล้ปลายท่อเกสรตัวเมีย รังไข่มีขนปกคลุม ก้านเกสรเป็นรูปเส้นด้าย (Sirirugsa, 1992) รากเป็นรากฝอยแตกออกจากข้อตรงส่วนโคนของเหง้ามีหน้าที่ช่วยหาอาหารและสะสมอาหารที่บริเวณปลายรากเมื่อลงหัวแก่รากจะสร้างปมขึ้นมาเป็นที่สะสมอาหาร โดยพองออกเป็นรูปวงรีหรือรูปไข่สีขาวนวลเรียกว่า “รากน้ำนม” (จำรัส และมนตรี, 2545) วงจรชีวิตของกระชายดำ พบว่ามีการเจริญเติบโตที่ดีในช่วงต้นฤดูฝนโดยเฉพาะเมื่อมีฝนกระจายตัวและต้องการปริมาณน้ำฝนมากในช่วงระยะเริ่มสร้าง

หัวและมีการพัฒนาการของหัวหรือระยะที่ต้นมีการเจริญเติบโตเต็มที่ แต่ในขณะเดียวกันในระยะหัวเริ่มแก่สังเกตจากใบคู่แรกจะเริ่มเหี่ยว และใบแห้งทั้งหมดจนต้นล้มหักลงพื้นซึ่งต้องการปริมาณน้ำน้อยลงเช่นกัน (อรนุช และคณะ, 2530)

2.1.2 สายพันธุ์กระชายดำ

สายพันธุ์กระชายดำ (จำรัสและมนตรี, 2545) กล่าวว่า กระชายดำมีหลายสายพันธุ์ จำแนกจากการสังเกตสีที่พบบริเวณท้องใบ ก้านใบ ขอบใบ และสีเนื้อภายในเหง้า นอกจากนี้ยังจำแนกตามสรรพคุณที่เหมือนกันได้ 4 สายพันธุ์ ดังนี้คือ

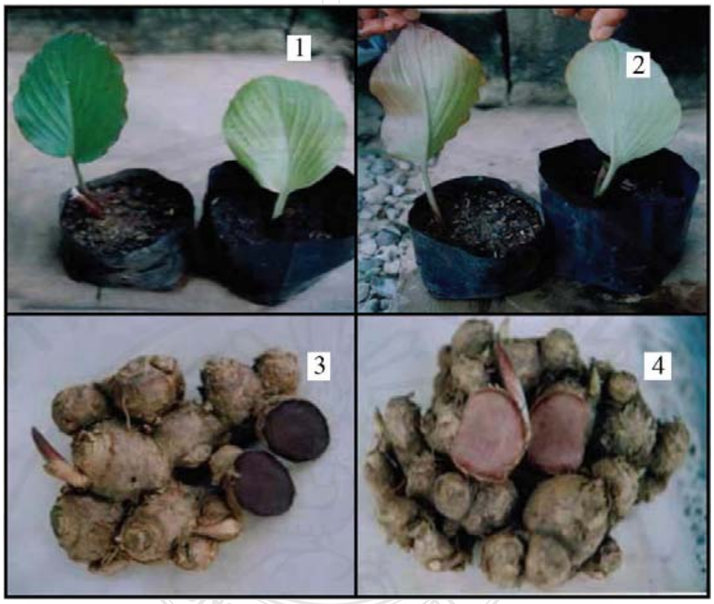
2.1.2.1 สายพันธุ์ใบแดง เป็นกระชายดำที่ได้รับความนิยมสูงสุด มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์เหมือนกับกระชายดำทั่วไป แต่สีของใบจะแตกต่าง คือ ด้านหลังของใบจะมีสีแดงแกมม่วง ด้านหน้าใบสีเขียว เส้นขอบใบจะมีสีน้ำตาลแกมแดง ลำต้นและก้านใบจะมีสีแดงแกมม่วงเข้มกาบใบสีม่วงแกมแดงเข้ม สีของเนื้อเป็นสีม่วงเข้มไปจนถึงสีดำลูกหว้าและสีดำ ความเข้มและอ่อนของสีขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ปลูก ลักษณะของแต่ละหัวจะกลมดังภาพที่ 2.1 และเป็นสายพันธุ์ที่มีราคาแพงกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ชาวบ้านเรียกทั่วไปว่า “สายพันธุ์ตัวผู้”

2.1.2.2 สายพันธุ์ใบเขียว เป็นกระชายดำที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเหมือนกับพันธุ์ใบแดง แต่จะมีความแตกต่างกันที่ลักษณะของสีใบ เป็นสีเขียวนวลทั้งด้านหน้าและด้านหลังของใบ ลำต้นมีสีเขียวไม่มีสีอื่นปน สีด้านในของกลีบดอกมีสีม่วงสวยงาม เส้นรอบกลีบดอกสีขาว ก้านดอกสีเขียวนวล สีของเนื้อเป็นสีน้ำตาลไปจนถึงน้ำตาลเข้ม ลักษณะของหัวจะเป็นวงกลมรีน้อยกว่าสายพันธุ์ตัวผู้ ดังภาพที่ 2.1 ราคาถูกกว่าสายพันธุ์ตัวผู้ ชาวบ้านเรียกว่า “สายพันธุ์ตัวเมีย” ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้กระชายดำสายพันธุ์นี้มาทำการศึกษาทดลอง

2.1.2.3 สายพันธุ์กระชายขาวหรือว่านเพชรกลับ พบขึ้นอยู่ตามป่า ลักษณะแตกต่างจากกระชายดำอย่างเห็นได้ชัด คือ มีลำต้นทอดตัวสูงยาวเหมือนต้นขิง สูงประมาณ 80-90 เซนติเมตร.ใบสีเขียว หลังใบมีสีม่วงเข้มขึ้นสลับสองข้างของลำต้น ดอกเป็นดอกเดี่ยว ภายนอกดอกมีสีขาวด้านในดอกสีแดงแกมม่วงเข้ม เหง้าใต้ดินมีลักษณะหัวเหมือนกระชายดำ แต่มีจำนวนหัวต่อหนึ่งเหง้าน้อยกว่า โดยมากให้หัวเดียว เนื้อในหัวส่วนมากมีสีขาว ชาวบ้านจึงเรียกว่า “กระชายขาว” มีสรรพคุณทาง

ยาเหมือนกับกระชายดำทุกประการ นอกจากนี้กลิ่นและรสชาติยังเหมือนกับกระชายดำ ชาวบ้านมีความเชื่อว่าหากพกกระชายขาวติดตัวเวลาเดินป่า ว่านจะชักกลับไม่ให้หลงป่า จึงเรียกชื่อตามว่า “ว่านเพชรกลับ” หรือ “ว่านชักกลับ” พบมากที่ อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก

2.1.2.4 สายพันธุ์กระชายหอมหรือว่านหอม เป็นสมุนไพรที่หายากในปัจจุบัน บ้างก็ว่าสูญพันธุ์ไปแล้ว แต่บางท่านก็ยืนยันว่ายังพบตามป่าลึก ราคาสูงกว่ากระชายดำประมาณ 3-5 เท่าตัว เพราะหายากและเชื่อกันว่าสรรพคุณเหนือกว่ากระชายดำ ลักษณะต้น ใบ และรากเหมือนกับกระชายดำทุกประการ แต่เนื้อในหัวว่านจะมีสีขาวถึงขาวอมเหลืองอ่อน ๆ มีกลิ่นหอมชวนรับประทานมากกว่ากระชายดำ



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของกระชายดำสายพันธุ์ใบแดงกับกระชายดำสายพันธุ์ใบเขียว
(จีระนันท์ ยิ่งยงวัฒนกิจ, 2551)
(1) ใบด้านบนหรือหลังใบ ของกระชายดำสายพันธุ์ใบแดง (ซ้าย) และใบด้านบนหรือหลังใบ ของกระชายดำสายพันธุ์ใบเขียว (ขวา)
(2) ใบด้านล่างหรือท้องใบ ของกระชายดำสายพันธุ์ใบแดง (ซ้าย) และ ใบด้านล่างหรือท้องใบของกระชายดำสายพันธุ์ใบเขียว (ขวา)

(3) สีภายในเหง้าของกระชายดำสายพันธุ์ใบแดง

(4) สีภายในเหง้าของกระชายดำสายพันธุ์ใบเขียว

2.1.3 การศึกษาพืชสกุลกระชาย

จากการศึกษาพืชสกุลกระชายในประเทศไทย เป็นรายงานการวิจัยในโครงการ BRT ได้รายงานการศึกษาพรรณพืชวงศ์ขิง (Zingiberace) โดยเฉพาะ *Tribe Hedychieae* ในประเทศไทยพบว่ามีประมาณ 10 สกุล ดังนี้ *Boesenbergia O. Kuntze* (สกุลกระชาย), *Caulokaempferia K. Larsen* (สกุลเปราะต้น), *Cautleya Hook.f.*, *Cornukaempferia J. Mood and K.Larsen*, *Curcuma L.* (สกุลขมิ้น, กระเจียว), *Haniffia* Holttum, *Hedychium Koenig* (สกุลมหาหงส์), *Kaempferia L.* (สกุลเปราะ), *Scaphochlamys Bak.* และ สกุล *Stahlianthus O. Kuntze* นอกจากนี้เมื่อทำการศึกษาจากรายงานวิจัยจะพบว่า พืชสกุลกระชายใน *Tribe Hedychieae* มี 2 สกุล คือ *Boesenbergia* spp. (สกุลกระชาย) และ *Kaempferia* spp. (สกุลเปราะ) ซึ่งพบว่าพืชสกุล *Boesenbergia* spp. มี 13 ชนิด และในจำนวนนี้มีอยู่ 3 ชนิด ที่เป็นพืชพันธุ์ใหม่ (Sirirugsa, 1992a) และกล่าวถึงรายงานการศึกษาวิจัยของ Larsen (1993) ว่าพบพืชสกุลกระชายชนิดใหม่สำหรับประเทศไทยอีก 1 ชนิด พบที่จังหวัดกระบี่ และในระยะเวลาถัดมา Lasen (1996) รายงานว่าพบพืชสกุล *Kaempferia* spp. จำนวน 15 ชนิด และ สกุล *Boesenbergia* spp. พบจำนวน 15 ชนิด และในปี ค.ศ. Larsen (1997) ได้รายงานพบชนิดใหม่อีก 2 ชนิด จากจังหวัดเพชรบุรีและตรัง พร้อมทั้งได้ย้ายสกุล *Curcumorpha* ไปเป็นสกุล *Boesenbergia* ส่วนกระชายสกุล *Kaempferia* spp. นั้นพบว่ามีจำนวน 15 ชนิด และในจำนวนนี้มีอยู่ 3 ชนิดที่เป็นพืชพันธุ์ใหม่ (Sirirugsa, 1992b) ขณะเดียวกันต่อมาในปี ค.ศ.1998 Lasen รายงานว่าพบพืชสกุล *Kaempferia* spp. มีประมาณ 40 ชนิด และ สกุล *Boesenbergia* spp. มีประมาณ 60 ชนิด และ 4 ปี ต่อมา Jenjittikul and Larsen (2000) จึงได้พบ *K. candida Wall.* เพิ่มขึ้นอีก 1 ชนิด

แต่อย่างไรก็ตามพืชวงศ์ขิงของไทยใน *Tribe Hedychieae* ได้มีการศึกษาทบทวนเสร็จสิ้นแล้วประมาณ 5 สกุล และประมาณ 55 ชนิด โดยพบว่าปัญหาการศึกษาพืชกลุ่มนี้ประการหนึ่ง คือ การขาดแคลนตัวอย่างพืชที่สมบูรณ์เพื่อนำมาประกอบการศึกษาดังกล่าว (พวงเพ็ญ, 2544)

2.1.4 สรรพคุณและส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ทางยา

ในปัจจุบันกระชายดำจัดเป็นพืชสมุนไพรที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางทั้งผู้บริโภคและวงการแพทย์แผนไทย เพราะเชื่อว่ามีสรรพคุณใช้เป็นยาบำรุงกำลัง บำรุงหัวใจ แก้ใจสั่น แก้ลมวิงเวียน แน่นหน้าอก แก้แผลในปาก ทำให้โลหิตหมุนเวียนดีขึ้น ผิวพรรณผุดผ่องสดใส ขับปัสสาวะ แก้โรคกระเพาะ และปวดท้อง (นบสร, 2549: 60) แก้ฝีอักเสบ กลากเกลื้อน แก้บิดมูกเลือด แก้ปวดมวนในท้อง ท้องเดิน แก้ซางตาลขโมยในเด็ก ตามตำรับยาแผนโบราณหรือตำราว่าน 108 ถือว่ากระชายดำเป็นยาอายุวัฒนะชนิดหนึ่ง และนอกจากนี้ยังมีสรรพคุณช่วยเสริมสร้างสมรรถภาพทางเพศได้ดี ทำให้ร่างกายกระชุ่มกระชวย ช่วยฟื้นฟูอาการกามตายด้านและบำรุงกำหนัด (ประเชิญ และสุเทพ , 2542: 134-138) อีกทั้งยังเพิ่มฮอร์โมนทางเพศได้ 33 % (มากกว่าโสมเกาหลี) และใช้รักษาโรคเบาหวานได้ เพราะมีสรรพคุณในการลดน้ำตาลในเลือด (รุ้งกินน้ำ, 2544: 41-44) ในกระชายดำยังมีน้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีคุณสมบัติแก้อาการจุกเสียดแน่นท้อง (Ross and Brain, 1977: 185-176)

2.1.5 สารสำคัญที่พบจากกระชายดำ

สารที่พบในเหง้ากระชายดำ ได้แก่ borneol, sylvestrene ซึ่งมีฤทธิ์สามารถต้านจุลชีพและสาร 5,7-ไดเมธอกซีฟลาโวน (5,7-dimethoxyflavone หรือ 5,7 DMF) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ นอกจากนี้มีรายงานการวิจัยของมหาวิทยาลัยขอนแก่นในปี 2547 พบว่าสารพวกฟลาโวนอยด์ จำนวน 9 ชนิดที่สำคัญ เช่น สาร 5, 7, 4ʹ - trimethoxyflavone, 5, 7, 3ʹ, 4ʹ - tetramethoxyflavone, 3,5,7,4ʹ – tetramethoxyflavone เป็นต้น (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2550)

2.2 น้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหย คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีกลิ่นหอม ระเหยง่าย เป็นของเหลวใสไม่มีสีหรือมีสีเหลืองอ่อน และเป็นสารพฤกษเคมีชนิดหนึ่งที่พืชสร้างขึ้น จากขบวนการชีวสังเคราะห์ (Biosynthesis) และสร้างขึ้นบนอวัยวะพิเศษ เช่น ในเซลล์ขนต่อม (Glandular hair หรือ Glandular trichomes) ของพืชวงศ์กะเพรา (Labiatae) พบในช่องเก็บน้ำมันหอม (Secretory cavities) ของพืชวงศ์ยูคาลิปตัสและส้ม (Mytaceae และ Rutaceae) พบสะสมอยู่ในท่อเก็บน้ำมัน (Secretory canals) ในกลุ่ม

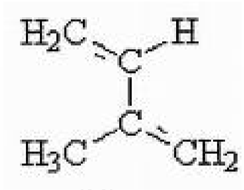
ต้นผักชีและเบญจมาศ (Apiaceae และ Asteraceae) พบในเซลล์น้ำมัน (Oil cells) ของพืชวงศ์ขิงและการบูร (Zingiberaceae และ Lauraceae) ซึ่งจะเก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่นดอก ตา ใบ กลีบเลี้ยง ผล เมล็ด เนื้อ เปลือกไม้ ลำต้น ราก และเหง้า เป็นต้น

โดยน้ำมันหอมระเหยที่พืชสร้างขึ้นมีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อต้นพืชเพื่อป้องกันพืชจากแมลง แบคทีเรีย เชื้อรา และพืชชนิดอื่น มีส่วนช่วยดึงดูดผึ้งหรือแมลงในการผสมเกสรดอกไม้ มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการสื่อสารทำหน้าที่เป็น Biological massager ทั้งยังช่วยสมานแผลในเนื้อเยื่อพืช และเป็นแหล่งพลังงานสำรอง นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันพืชจากการสูญเสียน้ำเนื่องจากสภาพอากาศร้อนและแห้งแล้ง (ชวลิต, 2541)

2.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำมันหอมระเหย

ชวลิต (2541) ได้กล่าวถึง คุณสมบัติทั่วไปทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย มีดังนี้น้ำมันหอมระเหยส่วนใหญ่มีสถานะเป็นของเหลว ยกเว้นน้ำมันหอมระเหยจากพืชบางชนิดที่มีสถานะเป็นของแข็งกึ่งเหลว (Semisolid) ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง มีจุดเดือดอยู่ระหว่าง 150-300 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่จะไม่มีสีหรืออาจมีสีเหลืองอ่อน แต่ถ้าเก็บน้ำมันหอมระเหยไว้เป็นเวลานานจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือ Resinification ทำให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น มีกลิ่นเฉพาะตัว มีความหนืดค่อนข้างต่ำ ส่วนใหญ่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.842-1.172 สามารถหักเหแสงได้ มีค่าดัชนีหักเหแสง (Refractive index) สูงถึงประมาณ 1.5 ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป เช่น อีเทอร์ แอลกอฮอล์ และสามารถละลายได้ในไขมัน แต่ละลายได้น้อยในน้ำ และไม่เกิดกลิ่นหืน นอกจากนี้น้ำมันหอมระเหยยังมีคุณสมบัติทางชีวภาพซึ่งโดยส่วนใหญ่พบว่ามีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา เช่น มีคุณสมบัติเป็นสารยับยั้งเชื้อ (Antiseptics) มีฤทธิ์ขับลม แก้ปวดและกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง เป็นต้น และน้ำมันหอมระเหยหลายชนิดมีประโยชน์ในทางการแพทย์และสุวคนธบำบัด ซึ่งหากศึกษาองค์ประกอบภายในน้ำมันหอมระเหยจะพบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีที่สลับซับซ้อน ส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่ม Terpens และ Phenylpropenes ซึ่งการชีวสังเคราะห์ของ Terpenes มีกระบวนการสังเคราะห์ผ่าน Acetate-Mevalonate pathway ส่วนการชีวสังเคราะห์ของ Phenylpropenes ได้จากการสังเคราะห์ผ่าน Shikimic acid pathway สามารถแบ่งน้ำมันหอมระเหยตามชนิดขององค์ประกอบหลักได้ 4 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

2.2.1.1 Terpenes และอนุพันธุ์ เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยเกือบทุกชนิด ประกอบด้วยโครงสร้างพื้นฐาน คือ ไอโซปรีน (Isoprene: C5H8) และมีขบวนการชีวสังเคราะห์ผ่าน Acetate-Mevalonate pathway ซึ่งจะมีโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นตามจำนวนหน่วยของไอโซปรีนแต่ละหน่วยที่เชื่อมต่อกันแบบ Head to Tail ทำให้ได้โครงสร้างของสารประกอบของเทอร์ปีนต่างๆ กัน ดังภาพที่ 2.2 และตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของไอโซปรีน

ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารประกอบเทอร์ปีน

ชนิด	จำนวนหน่วยไอโซปรีน	จำนวนคาร์บอนอะตอม	สูตรโมเลกุล
Hemiterpenes	1	5	C_5H_8
Monoterpenes	2	10	$C_{10}H_{16}$
Sesquiterpenes	3	15	$C_{15}H_{24}$
Diterpenes	4	20	$C_{20}H_{32}$
Triterpenes	6	30	$C_{30}H_{48}$
Tetraterpenes	8	40	$C_{40}H_{64}$
Polyterpene	>8	>40	$(C_5H_8)_n$

องค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันหอมระเหยมักจะเป็นสารในกลุ่ม Monoterpenes และ Sesquiterpenes และสารในกลุ่ม Terpenes และอนุพันธุ์ ที่มักพบในน้ำมันหอมระเหยแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย ดังนี้

ก) Monoterpenes ($C_{10}H_{16}$) ประกอบด้วย Isoprene 2 หน่วย หรือมี 10-Carbon Skeleton ในโครงสร้างของโมเลกุล นอกจากนี้ยังมีสารที่แสดงกลิ่นเฉพาะของน้ำมันหอมระเหย แต่

ละชนิด ซึ่งสารเหล่านั้นเป็นอนุพันธ์ของ Terpenes ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันตรงบริเวณพันธะคู่ของ Terpenes ได้แก่

ก.1) Alcohol volatile oils คือ น้ำมันหอมระเหยที่มี Alcohol เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น Menthone จากน้ำมันมิ้นต์ Citronellol และ Geranoil จากน้ำมันดอกกุหลาบ α-terpeneol จากผลกระวาน เป็นต้น

ก.2) Aldehyde volatile oils คือ น้ำมันหอมระเหยที่มี Aldehyde เป็นองค์ประกอบหลักเช่น Geranial neral และ Citronellal จาก Lemon และมิ้นต์

ก.3) Ketone volatile oils มีสารจำพวก Ketone เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น Menthone carvone, Tipertione pulegone, Camphor fenchone และ Thujone จากการบูรและมิ้นต์

ก.4) Phenol volatile oils มีสารจำพวก Phenol เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น Thymo carvacrol จากน้ำมันกานพลู Thyme oil, Creosote, Pine tar และ Juniper tar

ก.5) Phenolic ether volatile oils มีสารจำพวก Phenolic ether เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น Anthole จากน้ำมันโป๊ยกั๊ก

ก.6) Oxide volatile oils มีสารจำพวก Oxide เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น Cineole ในน้ำมันยูคาลิปตัส

ก.7) Ester volatile oils มีสารจำพวก Ester เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น Methyl salicylate พบใน Wintergreen oil

สารในกลุ่ม Monoterpenes สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้อีก คือ Acyclic monoterpenes เช่น myrcene ocimene Geranial geraniol และ Linalool, Monocyclic monoterpenes และ Bicyclic monoterpenes เช่น Thujane carane pinane camphene และ Fenchane group

ข) Sesquiterpenes ($C_{15}H_{24}$) ประกอบด้วย isoprene 3 หน่วยหรือมี 15-carbon skeleton ในโครงสร้างโมเลกุล เป็นองค์ประกอบสำคัญในน้ำมันหอมระเหยเกือบทุกชนิด มักมีจุดเดือดสูงมีอิทธิพลต่อ organoleptic properties แต่น้อยกว่า monoterpenes แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 4 กลุ่ม ดังนี้ acyclic sesquiterpenes เช่น farnesol และ nerolidol, monocyclic sesquiterpenes เช่น zingiberene และ

α-bisabolene, bicyclic sesquiterpenes เช่น cadalene vetivazulene caryophyllene, และ tricyclic esquiterpenes เช่น aromadendrene

ค) Diterpenes ($C_{20}H_{22}$) ประกอบด้วย isoprene 4 หน่วย หรือ มี 20-carbon skeleton อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล เช่น manool และ sclareol diterpenes พบได้ในน้ำมันหอมระเหยบางชนิดเท่านั้น แต่มักพบเป็นองค์ประกอบสำคัญใน resins จากพืช

2.2.1.2 Phenylpropenes และอนุพันธุ์ มีขบวนการชีวสังเคราะห์ผ่าน shikimic acid pathway โดยเริ่มจาก phenylalanine ถูกเปลี่ยนเป็น trans-cinnamic acid โดย phenylalanine ammonia (PAL) phenylpropenes จึงเป็นอนุพันธุ์อย่างง่ายของ cinnamic acid โครงสร้างหลักของ phenylpropenes ประกอบด้วย C_6 aromatic ring มี side chain ที่ C_3 เช่น benzyl acetate เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยมะลิ และ gardenia oil, phenylethyl acetate เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยหลายชนิด

2.2.1.3 Aliphatic compounds เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนอะตอมต่อกันด้วยพันธะอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัว เรียงตัวกันเป็นเส้นตรงหรือแบบมีสาขา ได้แก่ Aliphatic hydrocarbons เช่น 1,3-trans-5-cis-undecatriene และ 1,3-trans-5-trans-undecatriene มีความสำคัญต่อกลิ่นของ galbanum oil, aliphatic alcohols พบในน้ำมันหอมระเหยลาเวนเดอร์และ mushrooms มีกลิ่นเฉพาะตัวที่เรียกว่า earthy-forest odour , aliphatic aldehydes มีความสำคัญต่อกลิ่นของพืชมาก เช่น n-octanal n-nonanal n-decanal และ n-undecanal พบใน citrus oil, aliphatic ketones เช่น 3-hydroxy-2-butanone (acetoin) และ 2,3-butanedione (diacetyl) มีกลิ่นแบบ buttery aroma, aliphatic esters มีความสำคัญ ต่อกลิ่นของพืชมาก มักพบทั่วไปตามธรรมชาติ เช่น trans-2-hexenyl acetate

2.2.1.4 Miscellaneous compounds แม้จะพบในน้ำมันหอมระเหยบางชนิด แต่ก็มีส่วนทำให้น้ำมันหอมระเหยมีกลิ่นจำเพาะตัว เช่น sulphur-containing compounds เช่น allyl isothiocyante พบใน mustard oil, allyl sulfides พบในน้ำมันกระเทียม ในทางอุตสาหกรรมจะใช้ synthetic sulphur-containing compounds เพื่อปรับปรุงกลิ่นของบูชู galbanum และน้ำมันหอมระเหย กุหลาบ, nitrogen-containing compounds มีส่วนทำให้น้ำมันหอมระเหยมีกลิ่นเฉพาะตัว เช่น indole และสารประกอบ

พวก anthranilates พบในน้ำมันหอมระเหยดอกส้มและน้ำมันหอมระเหย มะลิในทางอุตสาหกรรมจะใช้ isolated หรือ synthetic nitrogen-containing compounds เพื่อปรับปรุงกลิ่นของน้ำมันหอมระเหยมะลิลาเวนดิน (lavandin) และ petitgrain oil, coumarin พบใน น้ำมันหอมระเหย สไปค์ลาเวนเดอร์

2.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหย

การสกัดน้ำมันหอมระเหยมีหลายวิธี การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและชนิดของสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งวิธีการสกัดที่แตกต่างกันจะทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีองค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพแตกต่างกันด้วย

2.3.1 การกลั่น (Distillation) แบ่งออกเป็น

2.3.1.1 Water Distillation หรือ Hydrodistillation พืช และน้ำถูกบรรจุไว้ในภาชนะเดียวกัน และได้รับความร้อนโดยตรง น้ำมันหอมระเหยจะออกมาพร้อมกับไอน้ำ แล้วถูกควบแน่นกลับเป็นของเหลว แยกตัวออกมาจากชั้นน้ำ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้เลือกกระบวนการ Hydrodistillation ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

2.3.1.2 Water and Steam Distillation หรือ Water Steam Distillation พืชและน้ำถูกบรรจุไว้ในภาชนะเดียวกันแต่แยกชั้น ให้ความร้อนกับน้ำที่อยู่ชั้นล่างจนกลายเป็นไอ ผ่านชั้นพืชพร้อมกับพา ไอของน้ำมันหอมระเหยขึ้นมาด้านบนของภาชนะ แล้วจึงถูกควบแน่นกลับเป็นของเหลว แยกกันระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมันหอมระเหย

2.3.1.3 Steam Distillation หรือ Dry Steam Distillation น้ำบรรจุใน Steam Generator ซึ่งได้รับอุณหภูมิประมาณ 150-200 ^{0}C แล้วกลายเป็นไอ ผ่านมายังภาชนะที่บรรจุพืช พาไอของน้ำมันหอมระเหยออกมาผ่านเครื่องควบแน่น แล้วกลับเป็นของเหลว แยกชั้นจากน้ำมันหอมระเหยในภาชนะรองรับ

2.3.1.4 Hydrodiffusion ไอน้ำที่มีความดันน้อยกว่า 0.1 บาร์ แพร่ลงในภาชนะที่บรรจุพืชไว้ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก แล้วแทรกซึมผ่านเซลล์พืชอย่างช้าๆ น้ำมันหอมระเหยจะถูก

ส่งผ่านไปยังเครื่องควบแน่นที่ติดตั้งอยู่ด้านล่างของภาชนะบรรจุพืชนี้ แล้วน้ำมันหอมระเหยจะแยกชั้นออกจากชั้นน้ำในภาชนะรองรับ

2.3.1.5 Destructive Distillation นำเอาเนื้อไม้มาเผาในที่ที่มีอากาศไม่เพียงพอ เกิดสารละลายออกมา มักใช้กับพืชในวงศ์ Pinaceae และ Cupressaceae

2.3.2 Enfleurage โดยนำกลีบดอกสดมาแผ่เป็นชั้นบางๆ บนกระจก ที่เคลือบด้วยไขมันที่ไม่มีกลิ่น เรียกว่า Chassis หรือแช่ในน้ำมันที่ไม่ระเหย ทิ้งไว้ 2-3 วัน หรือจนกว่าจะเกิดการอิ่มตัวได้ Pomade แล้ว นำมาสกัดต่อด้วยแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ ได้สิ่งที่เรียกว่า Absolute หรือ Extrait หรือ Perfume ข้อดีของ Enfleurage คือ ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีกลิ่นใกล้เคียงกับพืชวัตถุดิบมากที่สุดและได้ผลผลิตสูงกว่า Distillation และ Extraction

2.3.3 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) โดยเติมตัวทำละลายที่ระเหยง่าย (Volatile solvent) ลงในภาชนะที่บรรจุดอกไม้ จนเกิดการสลายที่สมบูรณ์ แล้วจึงนำไประเหยเพื่อกำจัดตัวทำละลายโดยใช้อุณหภูมิต่ำและในระบบสูญญากาศได้ Concrete หรือ Resinoid แล้วกำจัดสิ่งปนเปื้อนโดยล้างซ้ำหลายครั้งด้วยแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ จนได้ Absolute

2.3.4 Supercritical Fluid Extraction (SFE) เหมาะสมกับสารที่ไม่ทนความร้อน นิยมใช้ Supercritical carbon dioxide เป็นตัวทำละลาย เนื่องจากไม่มีกลิ่นและรสชาติ ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ มีความหนืดต่ำ จึงสามารถแทรกซึมเข้าสู่เซลล์พืชได้ดี มีจุดเดือดค่อนข้างต่ำ จึงกำจัดออกได้ง่าย

2.3.5 Expression หรือ Cold expression โดยการนำเปลือกผลมาบีบอัดหรือกดอัด เพื่อทำลายเซลล์พืชในชั้น Exocarp ให้ปริแตกจนปล่อยน้ำมันหอมระเหยออกมา นิยมใช้กับส่วนผลของพืชตระกูลส้ม เช่น เบอร์กามอต, Grapefruit, Lemon และ Tangerine เนื่องจากสารประกอบหลายชนิดในน้ำมันหอมระเหยของพืชเหล่านี้ ถูกทำลายด้วยความร้อนจากการกลั่นด้วยไอน้ำได้

2.3.6 Advance Phytonics ใช้ Phytosols® เป็นตัวสกัดเอาน้ำมันหอมระเหยออกมาจากเซลล์พืช ซึ่งจะอยู่ในสถานะของเหลวที่ความดันไม่น้อยกว่า 4 บาร์ Phytosols® จะแทรกซึมเข้าสู่เซลล์พืช

และละลายเอาน้ำมันหอมระเหยออกมา แล้วจึงกลายเป็นแก๊สระเหยออกไปได้ที่อุณหภูมิห้องและชั้นบรรยากาศปกติ

2.4 การวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหย

วิธีวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารเคมีในน้ำมันหอมระเหย มีหลายวิธี เช่น

2.4.1 การวิเคราะห์ด้วยโครมาโทกราฟีผิวบาง (Thin Layer Chromatography; TLC) เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็วใช้วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ

2.4.2 การวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography ; GC) มีความสำคัญและนิยมมากในการศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบที่ระเหยได้ง่าย เนื่องจากมีความจำเพาะเจาะจงสูง แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ (Fingerprint) ปัจจุบันนิยมใช้ Sampling technique เรียกว่า Headspace Analysis Method เพื่อให้ได้กลิ่นที่แท้จริง (true odour) และลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

2.4.3 การวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี ควบคู่กับแมสสเปกโตรเมทรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry ; GC-MS) สามารถพิสูจน์เอกลักษณ์และปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายและระเหยได้ปานกลางในตัวอย่างสารผสม และให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความจำเพาะเจาะจงสูง รวดเร็ว และสมบูรณ์กว่าวิธีอื่นนิยมใช้วิธีนี้ในการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยมากที่สุด เนื่องจากสามารถแปลข้อมูลจากสเปกตรัมของสารตัวอย่างนั้นได้โดยตรงจึงมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลและส่วนประกอบของธาตุต่างๆ ในสารผสม

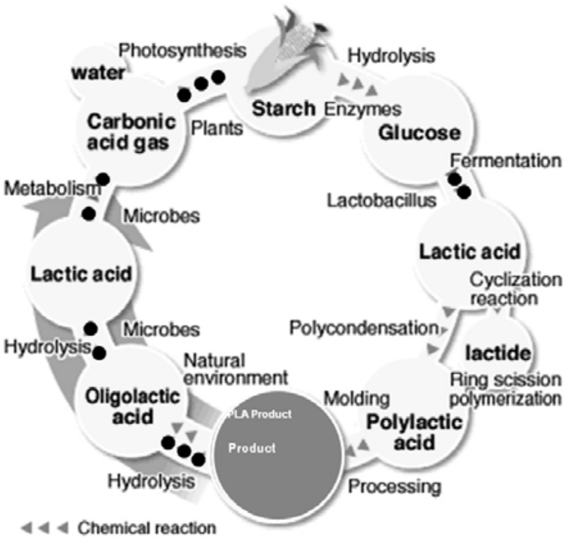
2.4.4 Nuclear Magnetic Resonance (NMR) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาโครงสร้างของสารในน้ำมันหอมระเหยว่าเป็นสารประเภทใด โดยดูค่าการเปลี่ยนแปลงของโปรตอน (H) ที่เกิดขึ้น

2.4.5 High Performance Chromatography (HPLC) เป็นเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของสารเคมีในน้ำมันหอมระเหย แต่ไม่นิยมใช้

2.5 พอลิแลกติกแอซิด (Polylactic acid) อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล, 2554: 99 -110)

พอลิแลกติกแอซิด (Poly(lactic acid), PLA) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอสเทอร์ที่มีสายโซ่ตรง (Aliphatic polyester) สังเคราะห์ได้จากกรดแลกติก (Lactic acid) ซึ่งกรดแลกติกสามารถผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาล ดังนั้นพืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลีหรืออ้อย จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้ ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถสร้างขึ้นทดแทนใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง พอลิแลกติกแอซิดจัดเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้กันทั่วไป เช่น การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) การขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming) การอัดขึ้นรูป (Compression molding) การอัดรีด (Extrusion) และการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) เป็นต้น

ภายหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์จากพอลิแลกติกแอซิด สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเมื่อนำไปฝังกลบในดินโดยใช้ระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับพลาสติกที่ผลิตจากวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี วัฏจักรของพอลิแลกติกแอซิดแสดงดังภาพที่ 2.3

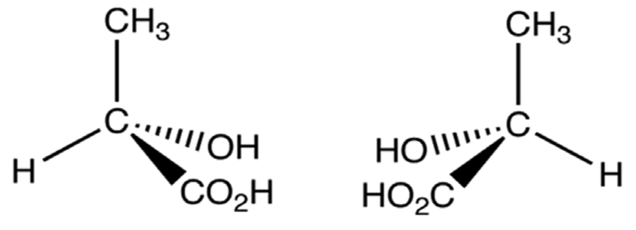


ภาพที่ 2.3 วัฏจักรของพอลิแลกติกแอซิด

ในอดีตการใช้งานของพอลิแลกติกแอซิดจำกัดอยู่ในวงการแพทย์ เช่น อุปกรณ์การปลูกถ่ายอวัยวะ (Implant devices) วัสดุค้ำจุนสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Tissue scaffolds) และไหมละลาย (Sutures) เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูง หาได้ยากและพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำทำให้มีสมบัติเชิงกลต่ำ เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาเทคนิคใหม่ๆ ที่ช่วยให้สามารถผลิตพอลิแลกติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในเชิงพาณิชย์ขึ้นได้ การใช้งานของพอลิเมอร์ชนิดนี้จึงเริ่มขยายออกไป เนื่องจากพอลิแลกติกแอซิดเป็นพอลิเมอร์ที่สลายตัวได้และผลิตได้จากวัตถุดิบที่สร้างทดแทนใหม่ จึงคาดกันว่าการใช้วัสดุชนิดนี้จะช่วยลดปัญหาขยะลงได้ และสมบัติความไม่เป็นพิษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทำให้พอลิแลกติกแอซิดเป็นวัสดุในอุดมคติสำหรับงานด้านบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เพื่อการอุปโภคด้านอื่นๆ ทิศทางงานวิจัยในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะพัฒนาพอลิแลกติกแอซิดเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งทนทาน (Semi-durable products) และสามารถใช้ทดแทนพลาสติกที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี

2.5.1 โครงสร้างเคมีและการสังเคราะห์

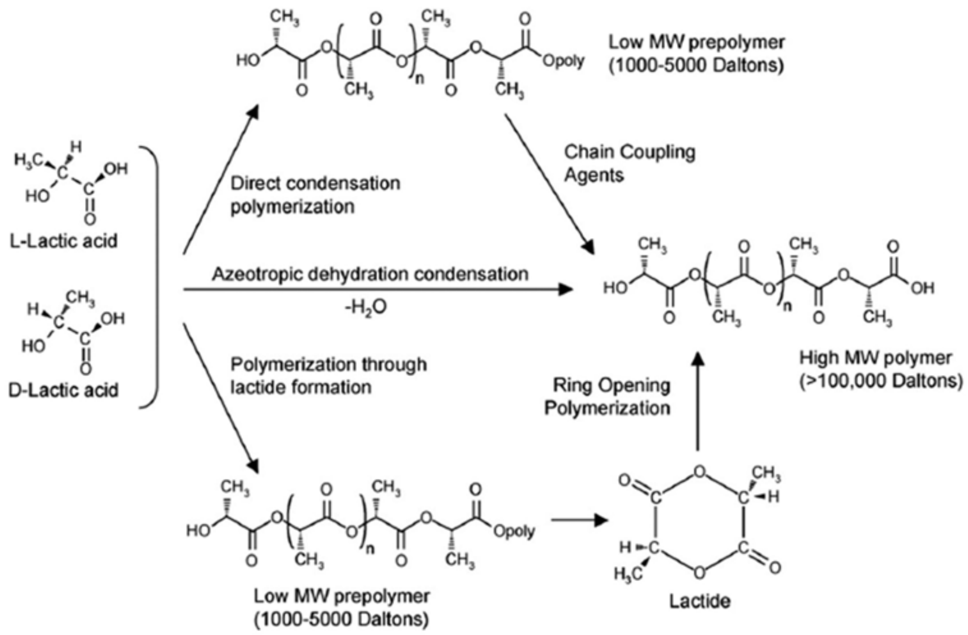
พอลิแลกติกแอซิดสังเคราะห์ขึ้นจาก กรดอัลฟาไฮดรอกซี (α-Hydroxy acids) หน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ของพอลิแลกติกแอซิด คือ กรดแลกติก หรือมีชื่อทางเคมีคือ 2-ไฮดรอกซี โพรพิโอนิคแอซิด (2-Hydroxy propionic acid) กรดแลกติกมีไอโซเมอร์สองรูปแบบ คือแบบดี และแอล (ภาพที่ 2.4) ซึ่งเป็นอิแนนชิโอ-เมอร์ (Enantiomer) ที่มีความว่องไวต่อแสง (Optical active) ต่างกัน กล่าวคือ มีสูตรเคมีเหมือนกันแต่จัดเรียงตัวในสามมิติไม่เหมือนกัน และบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ในทิศทางต่างกัน ในธรรมชาติส่วนใหญ่พบในรูปแบบแอล-ไอโซเมอร์ หรือพบในรูปของผสมระหว่างแอล-และดี-ไอโซเมอร์ เรียกว่าของผสมราซิมิก (Racemic mixture, อัตราส่วน = 1:1 เขียนแทนด้วย DL) หรือ สารประกอบมีโซ (Meso-compound) ซึ่งไม่มีสมบัติบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (Optically inactive) ปัจจุบันการผลิตกรดแลกติกอาศัยการหมักเป็นหลัก ซึ่งสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสง (Optical purity) ที่ดี



ภาพที่ 2.4 ไอโซเมอร์สองรูปแบบของพอลิแลกติกแอซิด

การผลิตพอลิแลกติกแอซิดอาจกระทำโดยสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอะซิโอโทรปิค (Azeotropic Dehydrative Condensation) ปฏิกิริยาการควบแน่นโดยตรง (Direct Condensation Polymerization) และการสังเคราะห์ผ่านการเกิดแลคไทด์ (Lactide for-mation) (ภาพที่ 2.5) พอลิแลกติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลสูง (มากกว่า 100,000 ดาลตัน) ในเชิงพาณิชย์สังเคราะห์ได้โดยผ่านการเปิดวง (Ring-Opening Polymerization) ของแลคไทด์ (Lim, Aurus and Rubino, 2008: 820-852) เนื่องจากกรดแลกติกมีสองไอโซเมอร์ สายโซ่หลักของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ส่วนใหญ่อาจประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์ชนิดแอล-ไอโซเมอร์เกือบทั้งหมด (พอลิแอล-แลกติกแอซิด (PLLA) หรือประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์ที่เป็นของผสมราซิมิก (พอลิดีแอล-แลกติกแอซิด (PDLLA)) ในปัจจุบันการผลิต ดี-ไอโซเมอร์ของกรดแลกติกที่บริสุทธิ์นั้นทำได้ยาก การผลิตพอลิเมอร์ที่สายโซ่หลักประกอบไปด้วยมอนอเมอร์ชนิด ดี หรือพอลิดี-แลกติกแอซิด (PDLA) ในเชิงพาณิชย์จึงยังไม่มี

สำหรับพอลิแลกติกแอซิดมีโครงสร้างผลึกสามรูปแบบ ได้แก่ แอลฟา (α) เบตา (β) และแกมมา (γ) ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอิแนนชิโอเมอร์ แอล หรือ ดี-แอล โครงสร้างแบบอัลฟาเป็นโครงสร้างที่เสถียรที่สุด หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ในขณะที่โครงสร้างเบต้าหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส (Aurus R.; Harte B. and Selke S., 2004: 835-864)



ภาพที่ 2.5 การสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดจากกรดแลกติกชนิดแอลและดี

2.5.2 การนำพอลิแลกติกแอซิดมาใช้ประโยชน์

พอลิแลกติกแอซิดมีสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานทดแทนเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ได้มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี แม้ปัจจุบันราคาของพอลิแลกติกแอซิดอยู่ในระดับสูงกว่าพอลิเมอร์ที่ผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมาก ปัจจัยด้านราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ภาษีสิ่งแวดล้อม (Green tax) ในสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีและญี่ปุ่น และการบังคับใช้พอลิเมอร์ที่แตกสลายได้ทางชีวภาพ สำหรับบรรจุภัณฑ์ขององค์กรขนาดใหญ่ ได้สร้างแรงผลักดันให้การใช้งานพอลิแลกติกแอซิดขยายตัวออกไป หากการใช้งานของพอลิแลกติกแอซิดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความต้องการวัตถุดิบด้านการเกษตรที่มีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตาม (ปัจจุบันใช้ข้าวโพดเป็นหลัก) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการจัดการห่วงโซ่อุปทานอาหารสำหรับมนุษย์และสัตว์ที่จำนวนประชากรมีการขยายตัวอย่างมาก ดังนั้นการผลิตพอลิแลกติกแอซิดโดยใช้วัตถุดิบจากแหล่งอาหารจะเป็นปัญหาใหญ่ในอนาคตหากไม่มีนโยบายการจัดการที่ดีหรือไม่มีงานวิจัยเพื่อใช้ประโยชน์จากแหล่งวัตถุดิบที่สร้างทดแทนใหม่ได้ชนิดอื่น เช่น เซลลูโลส การผลิตพอลิแลกติกแอซิดจากเซลลูโลสจึงเป็นอีกนวัตกรรมหนึ่งซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต

สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้พอลิแลกติกแอซิดชนิด พอลิแอล-แลกติกแอซิด (PLLA) มาทำการศึกษาในเรื่องของการทำไมโครเอนแคปซูลเลชันน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ซึ่งจะขอกล่าวในบทที่ 3

2.6 ไมโครเอนแคปซูลเลชัน

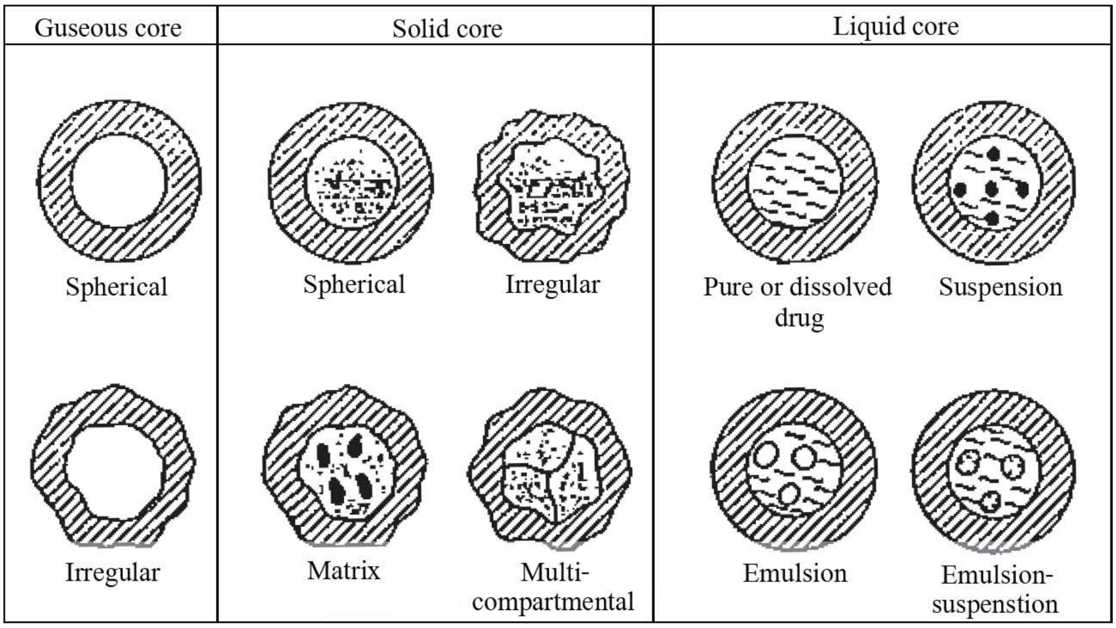
ไมโครเอนแคปซูลเลชัน (Microencapsulation) คือกระบวนการที่ใช้ในการผลิตอนุภาคที่มีขนาดเป็นไมครอน (1-1000 ไมโครเมตร) หรือไมโครพาร์ติเคิล (Microparticle) โดยเป็นเทคโนโลยีสำหรับบรรจุหรือห่อหุ้มสารซึ่งอาจมีสถานะเป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซด้วยสารที่สามารถก่อตัวเป็นผนังได้ สารเหล่านี้อาจเป็นพอลิเมอร์ ขี้ผึ้ง ไขมัน หรือสารอื่นๆ สำหรับสารที่ถูกบรรจุอาจถูกบรรจุอยู่ภายในอนุภาคหรืออาจถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของอนุภาคก็ได้

2.6.1 ชนิดของไมโครพาร์ติเคิล

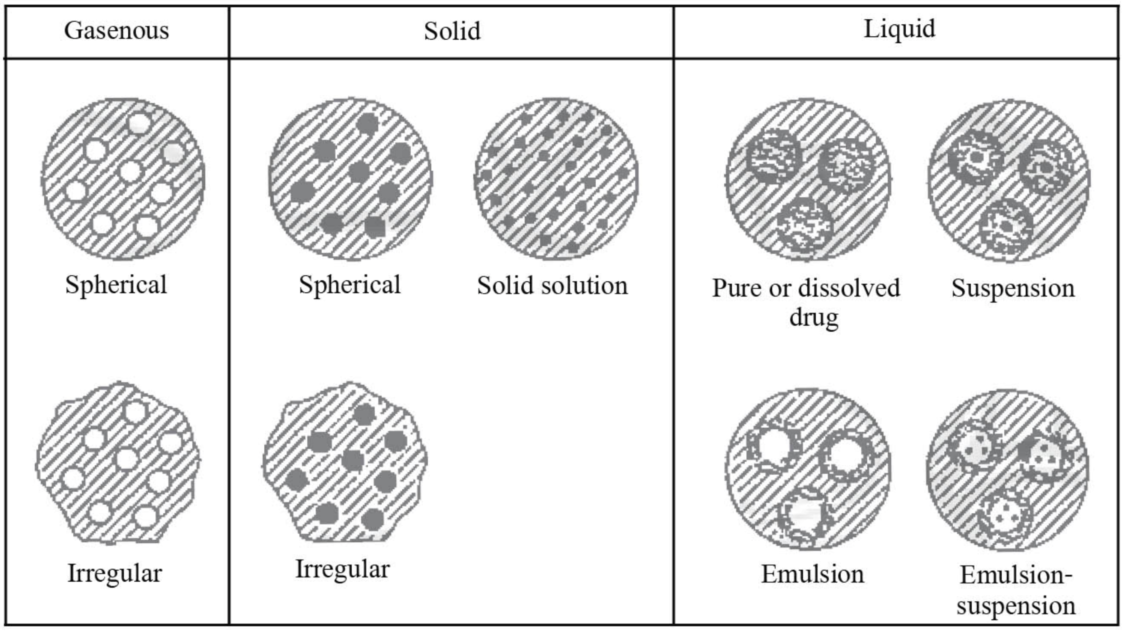
ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการไมโครเอนแคปซูลเลชันจะเรียกว่าไมโครพาร์ติเคิล (Microparticle) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ (ภาพที่ 2.6) คือ

Microspheres คือ อนุภาคที่มีสารหรือตัวยากระจายอยู่ในอนุภาคในลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

Microcapsules คือ อนุภาคที่มีตัวยาหรือสารถูกห่อหุ้มอยู่ในอนุภาคและสามารถแยกกันอย่างชัดเจนกับส่วนที่เป็นผนังได้



(1)



(2)

ภาพที่ 2.6 ลักษณะของไมโครพาร์ติเคิลประเภทต่างๆ ของไมโครแคปซูล (1) และไมโครสเฟียร์ (2)

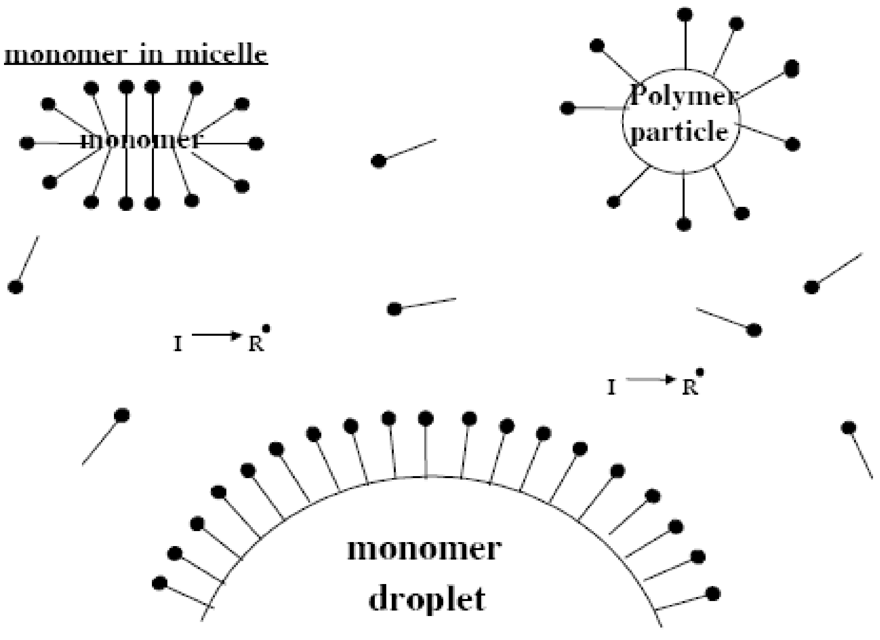
2.6.2 กระบวนการเตรียมไมโครแคปซูลแบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerization) (กฤษณะ พจน์เสถียร, 2549)

การเกิดพอลิเมอร์แบบนี้พัฒนามาจากการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอย แต่ตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ละลายอยู่ในน้ำแทน ไม่ละลายในมอนอเมอร์ และมีอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifier) ทำให้เกิดภาวะอิมัลชัน ระบบปฏิกิริยามีความหนืดต่ำ สามารถควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาได้ง่าย ได้การเปลี่ยนโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์สูง แต่พอลิเมอร์ที่ได้มีความบริสุทธิ์ต่ำ เนื่องจากตัวเริ่มปฏิกิริยาและอิมัลซิฟายเออร์ปนอยู่ด้วยเสมอ

การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน เป็นเทคนิคกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ที่มีน้ำเป็นตัวกลาง ตัวเริ่มปฏิกิริยาละลายอยู่ในน้ำ แต่ไม่ละลายในมอนอเมอร์ มอนอเมอร์จะถูกปั่นกวนให้กลายเป็นหยดเล็กๆ (Droplet) แขวนลอยอยู่ในน้ำที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เรียกว่า อิมัลซิฟายเออร์ อยู่เป็นจำนวนมาก และการเกิดพอลิเมอร์จะเกิดผ่านอนุมูลอิสระ (free radical) โดยอนุภาคในระบบอิมัลชันนี้จะไม่ตกตะกอนหรือรวมตัวกันเมื่อหยุดการปั่นกวน เพราะมีอิมัลซิฟายเออร์อยู่ที่ผิวของอนุภาค ทำให้อนุภาคไม่ชนและไม่รวมตัวกันเป็นเม็ดขนาดใหญ่ สำหรับปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันอาจแบ่งได้เป็น 3 ช่วง (interval) ดังนี้

ช่วงที่ 1 เป็นช่วงเริ่มปฏิกิริยาไปจนอัตราการเกิดปฏิกิริยาคงที่ โดยก่อนเริ่มปฏิกิริยาจะมีอิมัลซิฟายเออร์บางส่วนไปรวมตัวกันเป็นกลุ่มเรียกว่า ไมเซลล์ (micelle) ซึ่งโมเลกุลของ อิมัลซิฟายเออร์จะมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ หันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหากันและหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหาตัวกลางในระบบคือ น้ำ ไมเซลล์ที่เกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์ในน้ำมีค่าสูงกว่าค่า CMC (Critical Micelle Concentration) ซึ่งเป็นค่าสมบัติของอิมัลซิฟายเออร์แต่ละตัวอนุภาคมอนอเมอร์ที่มีขนาดเล็กและไม่ละลายน้ำส่วนหนึ่งจะละลายสามารถเข้าไปอยู่ในไมเซลล์ได้ และมีมอนอเมอร์เล็กน้อยบางส่วนละลายอยู่ในน้ำ ช่วยให้หยดของมอนอเมอร์กระจายตัวอยู่อย่างเสถียร ไมเซลล์ส่วนนี้จะเป็นส่วนของบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาในช่วงเวลาแรก หลังจากเติมตัวเริ่มปฏิกิริยาเข้าไปในระบบ ตัวเริ่มปฏิกิริยาจะแตกตัวให้อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์จำนวนเล็กน้อยที่ละลายอยู่ในน้ำเกิดเป็นอนุมูลโอลิโกเมอร์ และแพร่เข้าไปในไมเซลล์ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ขึ้นใน

ไมเซลล์ ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของช่วงที่ 1 เมื่อพอลิเมอร์เริ่มเกิดขึ้นในไมเซลล์ ปริมาณมอนอเมอร์ในไมเซลล์จะถูกใช้ไปในการเกิดพอลิเมอร์ ดังนั้นมอนอเมอร์ที่กระจายอยู่รอบไมเซลล์จะแพร่เข้าไปทดแทนในไมเซลล์ ทำให้หยดมอนอเมอร์ขนาดเล็กในน้ำค่อยๆ เล็กลง โดยอัตราการถ่ายโอนมอนอเมอร์นี้จะเร็วกว่าอัตราการเกิดพอลิเมอร์ในไมเซลล์ ทำให้ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ในน้ำและในไมเซลล์คงที่ เนื่องจากอยู่ในภาวะสมดุลของความเข้มข้นของพอลิเมอร์ในหยดมอนอเมอร์ในน้ำและในไมเซลล์ เมื่อปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ดำเนินไปขนาดของพอลิเมอร์ในไมเซลล์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ทำให้ไมเซลล์เกิดการเสียรูปและเปลี่ยนเป็นอนุภาคของพอลิเมอร์ที่มีอิมัลซิฟายเออร์ป้องกันผิวไม่ให้รวมตัวกับอนุภาคอื่น ๆ และดึงอิมัลซิฟายเออร์จากไมเซลล์อื่นที่ยังไม่มีการเกิดปฏิกิริยามาเกาะที่ผิวเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปและขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นจนสุดท้ายไมเซลล์หมดไปจากของผสม ในช่วงนี้จำนวนไมเซลล์ที่เปลี่ยน เป็นเม็ดของพอลิเมอร์ซึ่งมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นข้างใน จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นจนกระทั่งไมเซลล์หมดไป จำนวนเม็ดพอลิเมอร์ที่มีปฏิกิริยาจะคงที่ไม่เพิ่มขึ้นอีก เป็นการสิ้นสุดช่วงแรกของปฏิกิริยา ดังภาพที่ 2.7



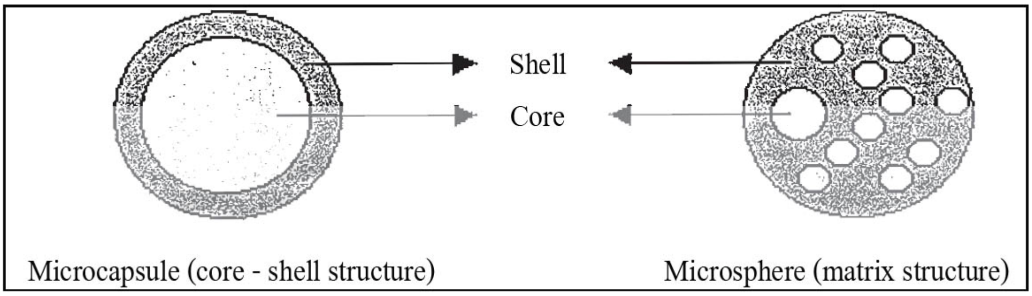
ภาพที่ 2.7 สภาวะการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน

ช่วงที่ 2 หลังจากไมเซลล์หมดไป จะไม่มีเม็ดพอลิเมอร์ใหม่เกิดขึ้นอีก ปฏิกิริยาในแต่ละเม็ดพอลิเมอร์จะดำเนินไปด้วยอัตราเร็วคงที่ เนื่องจากความเข้มข้นของมอนอเมอร์ในเม็ดพอลิเมอร์แต่ละหยดคงที่ เพราะมอนอเมอร์จากหยดมอนอเมอร์ในน้ำจะถ่ายโอนโดยการแพร่ผ่านน้ำเข้าไปในเม็ดพอลิเมอร์ตลอดเวลา ทำให้ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ในเม็ดพอลิเมอร์อยู่ในสภาวะสมดุล ดังนั้นอัตราเร็วรวมในการเกิดพอลิเมอร์คงที่ด้วย ซึ่งปฏิกิริยาจะดำเนินไปด้วยอัตราคงที่จนกระทั่งหยดมอนอเมอร์หมดไป เป็นอันสิ้นสุดช่วงที่ 2

ช่วงที่ 3 เมื่อปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ดำเนินไป จนหยดมอนอเมอร์หมดไป ดังนั้นจะไม่มีมอนอเมอร์ใหม่เติมเข้ามาในเม็ดพอลิเมอร์ ทำให้ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ในเม็ดพอลิเมอร์ลดลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงจนหยุด เมื่อมอนอเมอร์ที่ละลายอยู่ในเม็ดพอลิเมอร์เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ทั้งหมดแล้ว เป็นอันสิ้นสุดการเกิดพอลิเมอร์

กระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันมีข้อได้เปรียบ คือ มีความหนืดต่ำ และการควบคุมอุณหภูมิได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบบัลค์ และเนื่องจากกลไกของการเกิดปฏิกิริยากระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบนี้ จะสามารถผลิตพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงได้ สำหรับกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันนั้นในบางกรณีพอลิเมอร์ที่ผลิตขึ้นมาได้จะอยู่ในรูปผลิตภัณฑ์สุดท้ายเลย เช่น วัสดุเคลือบผิว สี และกาว ซึ่งเป็นอิมัลชันในตัว เป็นต้น

ส่วนประกอบของไมโครแคปซูลประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ ส่วนที่เป็นผนัง (Coating, wall) และส่วนที่เป็นสารแกน (core) ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบของไมโครพาร์ติเคิล

2.6.3 ชนิดของสารก่อผนัง

ชนิดของพอลิเมอร์สารก่อผนังที่ใช้ในการเตรียมไมโครแคปซูล สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

2.6.3.1 พอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ (Natural polymers) เช่น

ก) สารพวกโปรตีน ได้แก่ alburnin, casein gelatin gluten

ข) สารพวกโพลีแซคคาไรด์ ได้แก่ agar, acacia, alginate, caragenan, dextran, starch, chitosan

ค) สารพวกไขมัน ได้แก่ beeswax

2.6.3.2 พอลิเมอร์กึ่งสังเคราะห์ (Semi-synthetic polymers) เช่น

ก) Cellulose esters and ethers ได้แก่ methyl cellulose, ethyl cellulose, cellulose acetate

ข) Fatty acid derivatives ได้แก่ glyceryl mono, di หรือ tri-stearate, stearic acid, aluminium monostearate, glyceryl mono and di-palmitate

2.6.3.3 พอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic polymers) เช่น

ก) vinyl polymers and copolymers ได้แก่ polyvinyl alcohol, polyacrylamide and copolymers, polyvinyl pyrrolidone, carboxyvinyl polyers (Carbopol)

ข) polyamides and polyesters ได้แก่ polylysine and copolymers, polyglutamic acid and copolymers, polyglycolic acid

ค) waxes and resins ได้แก่ paraffin wax, hydrocarbon wax, stearic acid

2.6.3.4 สารอนินทรีย์ (Inorganic materials) เช่น calcium sulfate, clays, silicates

โดยพบว่าชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็น Coating material นั้นจะมีความสัมพันธ์กับกลไกการปลดปล่อยตัวยาด้วย (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพอลิเมอร์กับกลไกการปลดปล่อยตัวยา

ชนิดพอลิเมอร์	กลไกการปลดปล่อยยา
Soluble, swellable หรือ pH sensitive	Solution-diffusion controlled
Biodegradable	Erosion
Charged polymer	Ion-exchange reaction
Insoluble	Capillary diffusion, wall rupture หรือ osmotic driving fforce
Other	Mechanical rupture by chewing, crushing, pounding and shearing

การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์พบว่าพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติจะไม่พิษต่อร่างกาย สามารถเข้ากันได้และถูกย่อยสลายได้ภายในร่างกาย (Biocompatible & biodegrade-able) และมีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำ แต่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของโพลีเมอร์ได้ (Poor batch to batch reproducibility) และอาจมีฤทธิ์ potential antigenicity เป็นต้น ส่วนพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์นั้นถึงแม้จะมีคุณสมบัติ biocompatible และ biodegradable แต่พบว่าสารในกลุ่มพอลีเอสเตอร์มักมีราคาแพงและสารที่ได้จากการสังเคราะห์บางชนิด เช่น poly(lactide-co-glycolide) เมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะก่อให้เกิดสภาพกรด ซึ่งอาจมีผลต่อความคงตัวของตัวยาสำคัญ

2.6.4 ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้สารเพื่อเป็นผนังไมโครแคปซูล

2.6.4.1 เทคนิคการเตรียมไมโครแคปซูลที่เลือกใช้

2.6.4.2 กระบวนการทำให้ผนังแข็งตัว หรือการ Cross-linking

2.6.4.3 คุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของสารแกนและผนังไมโครแคปซูล

สำหรับสารแกน (Core material) อาจเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว อาจมีตัวยาอยู่หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชนิดผสมกันอยู่ การเลือกใช้สารเคลือบหรือสารก่อผนังที่ไม่เหมาะสมกับสารแกนอาจมีปัญหาต่อการปลดปล่อยตัวยาได้ ซึ่งคุณสมบัติการละลายของตัวยาหรือสารแกนจะเป็นตัวบ่งชี้การเลือกใช้ coating material โดยถ้าตัวยาสำคัญละลายได้ดีในน้ำ ควรเลือกใช้สารเคลือบที่ละลายได้ดีใน organic solvent และถ้าตัวยาสำคัญไม่ละลายในน้ำ ควรเลือกใช้สารเคลือบที่ละลายได้ดีในน้ำ

2.6.5 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติไมโครแคปซูล

ความพรุนและคุณสมบัติการยอมให้สารผ่าน รวมทั้งคุณสมบัติเชิงกลขึ้นกับการเกิด coalescence และการทำให้ผนังแข็งตัว หากผนังมีความเปราะสูงอาจทำให้ผนังแตกหรือลอกได้ และหากผนังยึดติดสารแกนไม่ดีจะทำให้เกิดโพรงใต้ฟิล์ม โดยคุณสมบัติไมโครแคปซูลขึ้นอยู่กับ

2.6.5.1 คุณสมบัติหรือส่วนประกอบของสารก่อผนังที่มีผลลดคุณสมบัติการยอมให้สารผ่าน

2.6.5.2 เทคนิคการเตรียม

2.6.5.3 ความหนาของผนังและความสมบูรณ์ของไมโครแคปซูล

2.6.5.4 รูปร่าง ขนาด การกระจายขนาดของไมโครแคปซูล และการกระจายตัวของไมโครแคปซูล

2.6.6 ประโยชน์ของกระบวนการไมโครเอนแคปซูลเลชัน

กระบวนการไมโครเอนแคปซูลเลชันถูกใช้ครั้งแรกในการผลิต carbonless paper ในปี ค.ศ. 1930 โดยใช้เจลาตินเป็นสารก่อผนัง (Coating material) และสารที่ถูกบรรจุเป็น colorless dye ไมโครแคปซูลถูกนำไปเคลือบด้านหลังของกระดาษ เมื่อได้รับแรงกดจากการเขียนจะทำให้ผนังแคปซูลแตก dye จะทำปฏิกิริยาเคมีกับ acid clay ที่กระดาษแผ่นล่างทำให้เกิดสีขึ้น จากความสำเร็จของ carbonless paper จึงได้เกิดการพัฒนากระบวนการผลิตโดยวิธีไมโครเอนแคปซูลเลชันและการพัฒนา coating material เพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านอื่นๆ เช่น ในด้านผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางได้นำไปใช้ในการผลิต

microencapsulated aroma (scratch-n-sniff) ในทางการแพทย์ได้นำไปใช้ในการเก็บกักเซลล์ของสิ่งมีชีวิตในไมโครแคปซูลเพื่อการผลิตวัคซีน ในทางอุตสาหกรรมอาหารนำไปใช้ในการพัฒนารูปแบบของสารแต่งกลิ่น รส หรือในทางการเกษตรได้นำไปพัฒนารูปแบบของสารฆ่าแมลง เป็นต้น

2.6.6.1 ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม

สำหรับประโยชน์ในทางเภสัชกรรม กระบวนการไมโครเอนแคปซูลเลชันถูกนำมาใช้ในหลายด้าน เช่น การพัฒนารูปแบบการนำส่งยา การควบคุมการปลดปล่อยยา การกลบกลิ่นรสของตัวยา การเพิ่มความคงตัวของยาโดยการป้องกันยาจากสภาพแวดล้อม เช่น การออกซิเดชัน ความชื้น แสง ความร้อนการลดการระเหยของตัวยาสำคัญ การเปลี่ยนรูปแบบยาจากของเหลวเป็นของแข็ง เป็นต้น ตัวอย่างของกลุ่มยาที่นำมาพัฒนารูปแบบ การนำส่งยาด้วยวิธีไมโครเอนแคปซูลเลชัน ได้แก่ antineoplastic drugs, non-steroidal anti-inflammatory drug, antihyperlipidemic drug หรือ ยากลุ่มฮอร์โมน เป็นต้น

2.6.6.2 สมบัติพิเศษของ Microcapsule

ก) การควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นรส (Controlled flavors release) สามารถทำได้โดยขึ้นอยู่กับชนิดของ coating material และคุณสมบัติของ core material โดยสามารถควบคุมการปลดปล่อยในลักษณะต่างๆได้ เช่น

ก.1) ควบคุมการปล่อยให้เป็นแบบ gradually หรือ abruptly หรือให้การปลดปล่อยในช่วงแรกหรือช่วงสุดท้ายของ product cycle

ก.2) ควบคุมการปลดปล่อย ณ อุณหภูมิ, สภาพความกรด – ด่าง ที่ต้องการ

ข) ถ้าผลิตภัณฑ์นั้นประกอบด้วยหลายชนิดของกลิ่นรส สามารถทำ encapsulate ได้หลายชั้น (Multiple layers) เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถควบคุมการปลดปล่อยให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

ค) ส่วนใหญ่วิธีการ microencapsulation จะถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการป้องกันความไม่คงตัวของสารหอมระเหยจากการระเหยและการทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆในตำรับ

ง) สามารถใช้วิธีการ microencapsulation เพื่อช่วยในการเพิ่มขนาดอนุภาคของ flavor ingredient ซึ่งจะให้ประโยชน์ในกรณีที่สารตกแต่งกลิ่นรสมีขนาดอนุภาคเล็ก แต่ราคาแพง เช่น ผงชาซึ่งมีลักษณะอนุภาคเล็กจากวิธีการ spray dry ซึ่งในขณะบรรจุผงชา อนุภาคของสารแต่งกลิ่นรสสามารถลอดผ่านซองชาได้

จ) ผู้ผลิตบางรายใช้วิธีการ microencapsulation ในการปกปิดกลิ่นรสที่ไม่ดีของสมุนไพร โดยสามารถปกปิดรสชาติและกลิ่นที่ไม่ดี นอกจากนี้ยังป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับส่วนประกอบอื่นๆ และปรับปรุงลักษณะพื้นผิวของอนุภาคได้ด้วยเช่นกันใช้วิธีการ microencapsulation กับ Echinacea, ginkgo และ sibreian ginseng เป็นต้น

ฉ) วิธีการ microencapsulation ช่วยให้สารในตำรับที่แตกร่อนได้ง่าย หรือ ไวต่อปฏิกิริยา มีความคงตัวและสามารถผ่านกระบวนการผลิตได้

ผลิตภัณฑ์ที่มักนำมาผ่านวิธี Microencapsulate แบ่งเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

ฉ.1) สารแต่งกลิ่นรส (Flavoring agents)

ฉ.2) สารพวกวิตามินและแร่ธาตุ (Vitamins and minerals)

ฉ.3) สารพวกน้ำมันและไขมัน (Oils and fats) เช่น omega-3s และ 6s

ฉ.4) สารพวกสมุนไพร (Herbs and bioactives) เช่น creatine และ probiotic bacteria

ฉ.5) สารประกอบในอาหารประเภทอื่น ๆ เช่น enzymes, leavening agents, psyllium และ yeast

2.7 ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย

2.7.1 วิธีการทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย

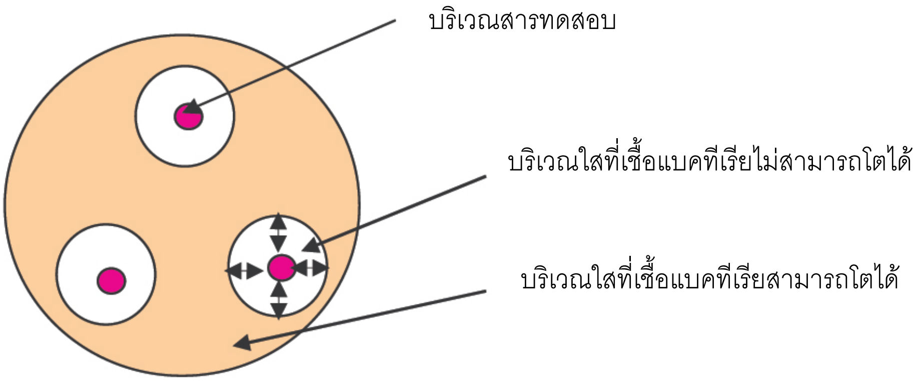
การยับยั้งแบคทีเรียสามารถหาได้หลายวิธี ซึ่งเป็นการวัดความสามารถในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียหลังการบ่มกับสารทดสอบ ส่วนใหญ่ใช้วิธีการวัดบริเวณใส (Clear zone) รอบ ๆ สารทดสอบซึ่งเป็นบริเวณที่เชื้อแบคทีเรียไม่สามารถเจริญเติบโตได้

วิธีที่นิยมในการหาความสามารภในการยับยั้งแบคทีเรีย ได้แก่

2.7.1.1 Agar spot assay คือ การหยดสารทดสอบลงบนอาหารแข็งโดยตรง จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิที่เหมาะสมกับเชื้อแบคทีเรียที่ต้องการทดสอบ เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง แล้วเททับด้วยอาหารกึ่งแข็งที่มีเชื้อแบคทีเรีย บ่มต่อที่อุณหภูมิเดิม 18-24 ชั่วโมง แล้ววัดผลการยับยั้ง โดยดูการเกิด clear zone รอบสารทดสอบ

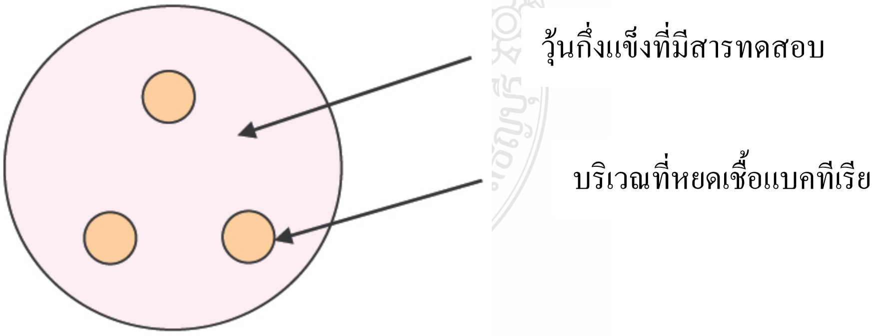
2.7.1.2 Agar well diffusion assay คือ การหยดสารทดสอบลงในหลุมของอาหารแข็งที่มีเชื้อแบคทีเรียที่ต้องการทดสอบ เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ตรวจผลโดยสังเกตการเกิด clear zone รอบหลุมที่มีสารทดสอบ

2.7.1.3 Paper discs method หรือ Disc diffusion method (Bauer and others, 1966: 493-496) คือ การหยดสารทดสอบลงบน paper discs ทิ้งไว้ให้แห้งเพื่อระเหยตัวทำละลายออก จากนั้นไปวางบนอาหารแข็งที่มีเชื้อแล้วบ่มที่อุณหภูมิที่เหมาะสมกับเชื้อแบคทีเรียที่ต้องการทดสอบ เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ตรวจผลโดยสังเกตการเกิด clear zone รอบหลุมที่มีสารทดสอบ ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 การทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดในการยับยั้งแบคทีเรีย
โดยวิธี Paper discs method หรือ Disc diffusion method

นอกจากนี้ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารทดสอบ จนถึงค่าหนึ่ง จะสามารถหาค่า MIC ของสารทดสอบได้ โดยค่า MIC (Minimum inhibitory concentration) คือ ความเข้มข้นต่ำสุดของสารทดสอบที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ 100% ทำได้โดย หยดเชื้อลงบนอาหารกึ่งแข็งที่มีสารทดสอบดังภาพที่ 2.10 บ่มที่อุณหภูมิที่เหมาะสม 48 ชั่วโมง แล้วตรวจวัดผล



ภาพที่ 2.10 ตำแหน่งที่หยดเชื้อแบคทีเรียลงบนวุ้นกึ่งแข็งที่ผสมสารทดสอบ

2.7.2 แบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง

แบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง เป็นเชื้อที่สามารถพบได้ทั่วไปและหาได้ง่าย โดยสุ่มตัวอย่างของแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียแกรมบวก (Gram-positive) คือ *Staphylococcus aureus,* และแบคทีเรียแกรมลบ (Gram-negative) คือ *Klebsiella pneumoniae*

แบคทีเรียสามารถจำแนกได้ 2 ชนิด ตามความแตกต่างของผนังเซลล์ ได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ โดยทั้ง 2 ชนิดนี้มีโครงสร้างแข็งขนาดใหญ่ เรียกว่า เปปติโดไกลแคน (Peptidoglycan) ซึ่งประกอบด้วยไกลแคนสานเป็นร่างแหกับเปปไทด์สายสั้น ซึ่งแบคทีเรียแกรมบวกมีชั้นเปปติโดกลัยแคนและโพลิแซคคาไรด์ (Polysacaride) ที่หนากว่าแบคทีเรียแกรมลบ ในขณะที่แบคทีเรียแกรมลบมีความซับซ้อนมากกว่าเนื่องมาจากการมีเยื่อหุ้มเซลล์ที่ประกอบด้วยฟอสโฟลิปิดถึง 2 ชั้น โดยเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกมีไลโปโพลิแซคคาไรด์ (Lipopolysacaride) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น endotoxin มีส่วนสำคัญต่อการก่อโรคและความเป็นพิษของแบคทีเรียแกรมลบ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ

ส่วนประกอบ	แบคทีเรียแกรมบวก	แบคทีเรียแกรมลบ
เปปติโดไกลแคน	60-100%	5-20%
โพลิแซคคาไรด์	35-60%	15-20%
ความหนา	15-80 นาโนเมตร	10 นาโนเมตร
เยื่อหุ้มเซลล์	1 ชั้น	2 ชั้น
ฟอสโฟลิปิด	0.2%	10-20%
กรดทีโคอิก	บางชนิดมี	ไม่มี

*กรดทีโคอิก เป็นโพลีเมอร์ที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ ทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกมีประจุลบ (วีรานุช หลางม, 2551)

2.7.3 *Staphylococcus aureus*

เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างกลม โดยอยู่รวมกันเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น พบได้ทั่วไปในอากาศ บนผิวหนังและเยื่อเมือกของร่างกายของสัตว์เลือดอุ่นรวมถึงคนด้วย เช่น บริเวณใบหน้า ใบหู

ช่องจมูก และมือ เป็นต้น ต้องการอากาศในการเติบโต (Aerobic) และไม่สร้างสปอร์เป็นกลุ่มที่ใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจนในการสร้างพลังงานก็ได้ (Facultative anaerobe)

S. aureus สามารถเพิ่มจำนวนได้ในอาหารที่มีน้ำน้อย มีความเค็มสูง โปรตีนสูง หรืออาหารที่มีไขมันสูง เช่น เนื้อสัตว์สุก แฮม เนื้อ สัตว์ปีก อาหารทะเล ขนมปังอบไส้ครีม เนยแข็ง นมผง และอาหารที่เหลือจากการบริโภค เป็นต้น

โดยในระหว่างการเพิ่มจำนวนนี้ S. aureus จะหลั่งน้ำย่อยเพื่อย่อยโมเลกุลอาหารให้เล็กลง และน้ำย่อยนี้เป็นพิษ (Enterotoxin) และเป็นสาเหตุให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ นอกจากนี้ S. aureus ยังมักเพิ่มจำนวนในบาดแผลที่เกิดขึ้นที่ผิวหนัง เป็นสาเหตุของการเกิดฝีหนองนั่นเอง ลักษณะอาการของผู้ติดเชื้อ ส่วนใหญ่จะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน พบร่วมกับอาการปวดท้องและท้องเสีย วิธีการป้องกัน คือ เก็บอาหารในที่เย็น หรือรับประทานที่ร้อนอยู่เสมอ หลีกเลี่ยงการปรุงหรือรับประทานอาหารด้วยมือเปล่า (ศุภชัย เนื้อนวลสุวรรณ 2549)

2.7.4 *Klebsiella pneumoniae*

เชื้อ *K. pneumoniae* เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ที่มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีแคปซูลหนา เมื่อย้อมแกรมจะเห็นเป็นวงใสๆ รอบตัวเชื้อ เคลื่อนที่ไม่ได้เพราะไม่มี Peritrichous flagella แหล่งที่พบเชื้อพบได้ในธรรมชาติ น้ำ ดิน และลำไส้ของคน และอาจพบได้ในอาหารจำพวกนม ขนม น้ำแข็ง

การทำให้เกิดโรค

2.7.4.1 ทำให้เกิดโรคที่ระบบทางเดินหายใจ โดยเฉพาะ *Klebsiella pneumoniae* โดยส่วนมากมักจะเกิดกับวัยกลางคนหรือวัยสูงอายุ ที่มีปัญหาสุขภาพมาก่อน เช่น โรคพิษสุราเรื้อรัง โรคเรื้อรังเกี่ยวกับปอดและหลอดลม หรือโรคเบาหวาน ผู้ป่วยมักมีเสมหะเหนียวบางครั้งมีเลือดปนออกมาผู้ป่วยที่เป็นโรคปอดบวมจากเชื้อนี้ มักจะเป็นฝีในปอด

2.7.4.2 เป็นสาเหตุของโรคติดเชื้อทางระบบทางเดินปัสสาวะ

2.7.4.3 Wound infection ทำให้แผลติดเชื้อ เป็นหนอง ฝี

2.7.4.4 ทำให้เกิดอุจจาระร่วง

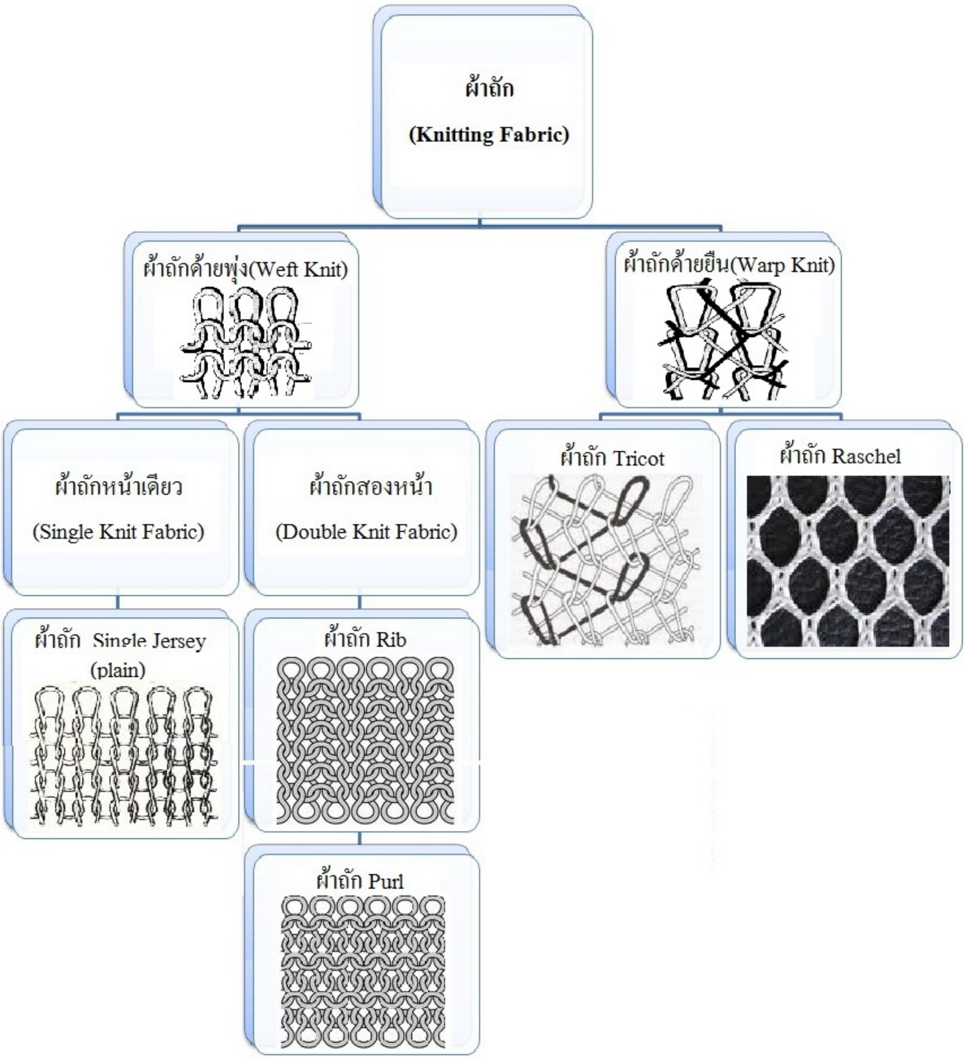
2.7.4.5 ก่อให้เกิดการอักเสบในอวัยวะต่างๆ เช่น โพรงจมูกอักเสบจากเชื้อ K. rhinoscleromatis หรือ K. ozaenae (สำนักงานความปลอดภัยอาหาร, 2554)

2.8 ประเภทของผ้าถัก

ประเภทของผ้าถัก แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามทิศทางของการสร้างห่วง (Loop direction) และชนิดของห่วง (Loop type) คือ

2.8.1 ผ้าถักด้ายพุ่ง (Weft Knitted fabric) หรือเรียกว่า ผ้าถักตามแนวนอนมีรูปแบบการผลิต คือ ห่วงที่เกิดเป็นผืนผ้าจะคล้องต่อเนื่องกันตามแนวนอนของผืนผ้า โครงสร้างผ้าที่เกิดจากการถักในลักษณะนี้จะมีความถี่ ช่องว่างระหว่างโครงสร้างผ้าถักน้อย น้ำหนักผ้าต่อตารางเมตรสูงกว่าเมื่อเทียบกับผ้าถักด้ายยืน

2.8.2 ผ้าถักด้ายยืน (Warp Knitted fabric) หรือเรียกว่า ผ้าถักตามแนวตั้ง มีรูปแบบการผลิต คือ ห่วงที่เกิดเป็นผืนผ้าจะคล้องต่อเนื่องกันตามแนวยาวของผืนผ้า ซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างผ้าทำให้โครงสร้างที่เกิดจากการถักในลักษณะนี้มีความโปร่ง เกิดช่องว่างของโครงสร้างผ้าที่ห่าง



ภาพที่ 2.11 แสดงการแบ่งรูปแบบผ้าถัก

2.9 การเปรียบเทียบผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

2.9.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA)

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One Way Analysis of Variance) ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ทดสอบเปรียบเทียบเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป โดยที่มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวหรือศึกษาเพียงมิติเดียว

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว จะใช้สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

c	=	จำนวนประชากรทั้งหมดที่นำมาทดสอบ
n_i	=	จำนวนตัวอย่างที่เลือกมาจากประชากรชุดที่ $i, i=1,2,3,\ldots,c$
n	=	จำนวนตัวอย่างที่เลือกมาจากชุดประชากร = $n_1 + n_2 + n_3 + \ldots + n_c$
x	=	ข้อมูลหรือค่าสังเกตซึ่งได้จากตัวอย่างที่ j ที่เลือกมาจากประชากรชุดที่ i
T_i	=	ผลรวมของข้อมูลหรือค่าสังเกตจากทุกตัวอย่างที่เลือกมาจากประชากรชุดที่ i
T	=	ผลรวมของข้อมูลหรือค่าสังเกตจากทุกตัวอย่างที่เลือกมาจากทุกประชากร
x_i	=	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลหรือค่าสังเกตจากทุกตัวอย่างที่เลือกมาจากประชากรชุดที่ i
x	=	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลหรือค่าสังเกตจากทุกตัวอย่างที่เลือกมาจากทุกประชากร
μ_i	=	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลหรือค่าสังเกตจากประชากรชุดที่ i

ข้อมูลหรือค่าสังเกตจากตัวอย่างที่เลือกมาจากแต่ละประชากรทั้ง c ชุด ซึ่งจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวอาจเขียนได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

Row	Treatment			
	1	2	i	c
1	X_{11}	X_{21}	X_{i1}	X_{c1}
2	X_{12}	X_{22}	X_{i2}	X_{c2}
J	X_{1j}	$X_{2}j$	X_{ij}	X_{ci}
n	X_{1n}	X_{2n}	X_{in}	X_{cj}
Totals	T_1	T_2	T_i	T_j
Means	$\overline{X}_1$	$\overline{X}_2$	$\overline{X}_i$	$\overline{X}_c$

Grand total $T = \sum_{i=1}^{c} Ti$

Grand mean $\overline{X} = T/cn$

ความแปรปรวนของข้อมูลหรือค่าสังเกตทั้งหมด ความแปรปรวนระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรและผลรวมของความแปรปรวนภายในประชากรแต่ละชุด หาได้จากจำนวนสามจำนวน ซึ่งจะเรียกว่าผลรวมกำลังสองเฉลี่ยของยอดรวม ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยระหว่างประชากรและผลรวมกำลังสองเฉลี่ยภายในประชากร โดยทั้งหมดข้างต้นสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยของยอดรวม :

$$MS(T) = \frac{SS(T)}{df(T)}$$

เมื่อ MS(T) คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยของยอดรวม

SS(T) คือ ผลรวมกำลังสองของยอดรวม

df(T) คือ ระดับชั้นความเสรีของยอดรวม (Total degree of freedom)

ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยระหว่างประชากร :

$$MS(B) = \frac{SS(B)}{df(B)}$$

เมื่อ MS(B) คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยระหว่างประชากร

SS(B) คือ ผลรวมกำลังสองระหว่างประชากร

df(B) คือ ระดับชั้นความเสรีระหว่างประชากร

ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยภายในประชากร :

$$MS(W) = \frac{SS(W)}{df(W)}$$

เมื่อ MS(W) คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยภายในประชากร

SS(W) คือ ผลรวมกำลังสองภายในประชากร (Within sum of square)

df(W) คือ ระดับชั้นความเสรีภายในประชากร (Within degree of freedom)

แต่เนื่องจาก SS(T) = SS(B) + SS(W) และ

df(T) = df(B) + df(W)

จึงนิยมหา SS(W) และ df(W) จาก

$$SS(W) = SS(T) - SS(B)$$

$$df(W) = df(T) - df(B)$$

เนื่องจากการหา SS(T) และ df(T) ทำได้สะดวกกว่าการหา SS(W)

ถ้าประชากรที่นำมาทดสอบทั้ง 4 ชุด มีการแจกแจงปกติที่มีความแปรปรวนของข้อมูลเท่ากันแล้ว อัตราส่วน MS(B)/ MS(W) จะมีการแจกแจงแบบเอฟ (F distribution) ที่มีระดับขั้นความเสรี k-l และ n-k

การแจกแจงแบบเอฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีสมมาตร (Asymmetry shape) ขอบเขตของการปฏิเสธสมมติฐานว่าง (H_0) อยู่ทางขวาของเส้นโค้งดังกล่าว เช่น ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือ 5%

ตารางแจกแจงแบบเอฟ ณ ระดับนัยสำคัญต่าง ๆ ซึ่งมี v_1 และ v_2 แทนระดับขั้นความเสรี อยู่ในตารางแจกแจงทางสถิติ

การทดสอบสมมติฐานว่างที่ว่าค่าเฉลี่ยของประชากรทั้ง 4 ชุด ไม่มีความแตกต่างกัน เทียบกับ MS(B)/ MS(W) มีค่ามากกว่า $F_{(0.95,V1,V2)}$ เมื่อ $F_{(0.95,V1,V2)}$ เป็นค่าที่อ่านได้จากตารางแจกแจงแบบเอฟที่ระดับชั้นความเสรีของระหว่างประชากร (V_1) และภายในประชากร (V_2)

การกำหนดสมมติฐาน

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \ldots = \mu_j$

H_1 : H_0 ค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรอย่างน้อยหนึ่งค่าต่างจากกลุ่มอื่น

การทดสอบสมมติฐานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน นิยมเขียนอยู่ในรูปตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance table) สำหรับตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

สาเหตุของความแปรปรวน	df	SS	MS	F
ระหว่างประชากร	k-1	SS(B) = $\sum_{i=0}^{c}\frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n}$	MS(B) = $\frac{SS(B)}{k-1}$	$\frac{MS(B)}{MS(W)}$
ภายในประชากร	n-k	SS(W) = $\sum_{i=1}^{c}\sum_{j=1}^{ni} x_{ij}^2 - \sum_{i=1}^{c}\frac{T_i^2}{n_i}$	MS(W) = $\frac{SS(W)}{n-k}$	
รวม	n-1	SS(W) = $\sum_{i=1}^{c}\sum_{j=1}^{ni} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$		

ผลจากการปฏิเสธสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะบอกแต่เพียงว่ามีค่าเฉลี่ยของประชากรอย่างน้อยหนึ่งชุดที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของประชากรอื่นๆ ที่เหลือ แต่จะไม่สามารถบอกได้ว่าค่าเฉลี่ยของประชากรใดที่แตกต่างจากประชากรใดบ้าง หากต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยของประชากรใดที่แตกต่างจากประชากรใดบ้าง จะต้องใช้วิธีการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรสองชุดหรือใช้การทดสอบสมมติฐานเพื่อการเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple comparison test)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าถ้าหากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า มีผลของค่าเฉลี่ยประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะต้องทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากรใดๆ กล่าวคือในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่สามชุดขึ้นไป โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน หากผลการทดสอบเป็นการยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของประชากรที่นำมาทำการทดสอบไม่มีความแตกต่างกัน หรือแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ถ้าผลการทดสอบเป็นการปฏิเสธ H_0 หรือยอมรับ H_1 จะสามารถสรุปได้เพียงว่ามีค่าเฉลี่ยประชากรอย่างน้อยหนึ่งชุดที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของประชากรอื่นๆ ที่นำมาเปรียบเทียบเท่านั้น ซึ่ง

หากต้องการทราบว่ามีค่าเฉลี่ยของประชากรใดบ้างที่แตกต่างกันและค่าเฉลี่ยของประชากรใดบ้างที่ไม่แตกต่างกัน

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยการพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยนวัตกรรมไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ เป็นการเพิ่มโอกาสในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค เพราะพฤติกรรมการเลือกซื้อชุดชั้นในสตรีของผู้บริโภคมีความแตกต่างกัน ผู้บริโภคบางคนเลือกซื้อจากยี่ห้อของผลิตภัณฑ์ ราคา หรือความประทับใจในด้านอื่นๆ การทบทวนวรรณกรรมในงานวิจัยฉบับนี้ได้ตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านต่างๆ ต่อไปนี้

2.10.1 พฤติกรรมของผู้บริโภคในการเลือกซื้อชุดชั้นในสตรี ซึ่ง อดิศร สังข์คร (2549: 1) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณค่าตราสินค้ากับพฤติกรรมการซื้อชุดชั้นในสตรีของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร โดยในการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคุณค่าตราสินค้ากับพฤติกรรมการซื้อชุดชั้นในสตรีของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ประชากรเพศหญิง จำนวน 400 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่แบบสอบถาม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่ายของเพียร์สัน ผลการศึกษาพบว่า คุณค่าตราสินค้าของชุดชั้นในวาโก้ (Wacoal) มีความแตกต่างกันจำแนกตามอายุ ระดับการศึกษา รายได้ต่อเดือน สถานภาพสมรส และอาชีพ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 และคุณค่าตราสินค้ามีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการซื้อชุดชั้นในสตรีของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 นอกจากนี้ อรอุมา รักษิตานนท์ (2548: 1) ศึกษาพฤติกรรมการซื้อชุดชั้นในของผู้หญิงไทยในเขตกรุงเทพมหานคร การวิจัยในครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาถึงลักษณะประชากรศาสตร์ ระดับการรับรู้จากสื่อนิตยสาร สื่อโทรศัพท์ สื่อป้ายโฆษณาและพนักงานขาย ส่วนประสมทางการตลาด และระดับคุณค่าตราสินค้า ที่มีผลต่อพฤติกรรมการซื้อชุดชั้นในของผู้หญิงไทยในเขตกรุงเทพมหานคร กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ ผู้หญิงที่มีอายุตั้งแต่ 15 ปีขึ้นไป ที่ได้เริ่มมีการสวมใส่ชุดชั้นในแล้ว และอาศัยอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 400 คน โดยมีแบบสอบถามเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าร้อยละ ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์เพียร์สัน และใช้โปรแกรม SPSS version 11 ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสิถิติ จากการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่าง

ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 21-30 ปี มีระดับการศึกษาปริญญาตรี มีอาชีพพนักงานบริษัทเอกชน และมีรายได้ต่อเดือนอยู่ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท มีพฤติกรรมการซื้อชุดชั้นในแบบตั้งใจมาซื้อ แต่ถ้าแบบไม่ถูกใจก็จะไม่ซื้อ โดยกลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญกับเรื่องทรงที่กระชับมากที่สุด มีการใช้ชุดชั้นในมากกว่า 2 ยี่ห้อ และยี่ห้อที่มีความพอใจมากที่สุด คือ ยี่ห้อวาโก้ ชอบซื้อชุดชั้นในจากห้างเซ็นทรัล มีจำนวนครั้งที่ซื้อโดยเฉลี่ย 2 ครั้งต่อปี ราคาที่ซื้ออยู่ที่ตัวละ 300 บาท และมีเกณฑ์การตัดสินใจเลือกซื้อโดยพิจารณาจากชุดชั้นในที่มียี่ห้อดังและมีคุณภาพดี มีระดับการรับรู้จากสื่อต่างๆ ในระดับปานกลาง มีความพอใจระดับมากในด้านผลิตภัณฑ์ ราคา และช่องทางการจำหน่าย และมีความพอใจระดับปานกลางในด้านการส่งเสริมการตลาด ในด้านระดับคุณค่าตราสินค้ามีความพึงพอใจในระดับมาก ด้านการรู้จักตราสินค้าและความสัมพันธ์กับตราสินค้า และมีระดับคุณค่าตราสินค้าในระดับปานกลาง ด้านคุณภาพที่ถูกรับรู้และความภักดีต่อตราสินค้า นอกจากนี้พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีอายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้ต่อเดือนแตกต่างกัน มีผลต่อพฤติกรรมการซื้อชุดชั้นในด้านจำนวนครั้งที่ซื้อโดยเฉลี่ยต่อปีและด้านราคาที่ซื้อโดยเฉลี่ยต่อตัวแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในด้านระดับการรับรู้จากสื่อนิตยสารและพนักงานขาย มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการซื้อชุดชั้นในด้านจำนวนครั้งที่ซื้อโดยเฉลี่ยต่อปี แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับสื่อโทรทัศน์และสื่อป้ายโฆษณา ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อีกทั้งระดับความพอใจในส่วนประสมทางการตลาดที่ความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการซื้อชุดชั้นในด้านจำนวนครั้งที่ซื้อโดยเฉลี่ยต่อปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ตลอดจนระดับคุณค่าตราสินค้ามีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการซื้อชุดชั้นในด้านจำนวนครั้งที่ซื้อโดยเฉลี่ยต่อปี อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

จากงานวิจัยข้างต้นเป็นการศึกษาพฤติกรรมของผู้บริโภคในการเลือกซื้อชุดชั้นในสตรี ซึ่งผู้บริโภคในปัจจุบันมีพฤติกรรมในการเลือกซื้อแตกต่างกัน และการเลือกซื้อที่แตกต่างกันของผู้บริโภคก็ส่งผลให้เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ออกสู่ตลาด

2.10.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสมุนไพรกระชายดำ ในปัจจุบันสมุนไพรไทยมีหลายชนิดเป็นที่นิยมและนำมาใช้รวมทั้งกระชายดำ อีกทั้งยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ศึกษาสารสกัดกระชายดำไว้ว่ามีผลในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เชื้อจุลชีพ และเชื้อรา ซึ่ง ประเชิญ สร้อยทองคำ (2542: 134-138) ได้ศึกษาลักษณะทั่วไปของกระชายดำ มีลักษณะเหง้าหรือหัวคล้ายกับกระชายธรรมดาที่ใช้ปรุงอาหารอยู่ในครัวเรือนแต่ไม่มีรากขนาดใหญ่ที่เรียกว่า “นิ้ว” เหมือนกระชายทั่วๆ ไป และเมื่อพิจารณาลักษณะใบจะพบว่า ใบของกระชายดำจะใหญ่และมีสีเขียวเข้มกว่า กาบใบมีสีแดงจางและหนาอวบ และกระชายดำมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Beesenbergia sp.*อยู่ในวงศ์ *ZINGIBERACEAE* ลักษณะแตกต่างที่

เด่นชัดกับกระชายธรรมดาก็คือ เนื้อในของหัวกระชายดำจะมีสีคล้ายดั่งผลหว้า คือมีสีออกม่วงอ่อนๆ ไปจนถึงสีน้ำเงินถึงดำ จึงได้ชื่อว่า "กระชายดำ" กระชายดำเป็นพืชล้มลุกจัดเป็นว่านชนิดหนึ่ง ลำต้นมีความสูงประมาณ 30 เซนติเมตร ส่วนกลางของลำต้นเป็นแก่นแข็ง มีกาบหรือโคนใบหุ้ม ใบมีกลิ่นหอม ก้านใบแทงขึ้นจากหัวในดิน ออกเป็นรัศมีติดผิว ขนาดใบกว้างประมาณ7-15 เซนติเมตร ยาว 30-35 เซนติเมตร ดอกออกจากยอด ช่อละหนึ่งดอก มีใบเลี้ยงที่ช่อดอก ดอกมีสีชมพูอ่อนๆ ริมปากดอกมีสีขาว กลีบรองกลีบดอกเชื่อมติดกันมีลักษณะเป็นรูปท่อ มีขน โคนเชื่อมติดกันเป็นช่อยาว เกสรตัวผู้จะเหมือนกับกลีบดอกอับเรณูอยู่ใกล้ปลายท่อ เกสรตัวเมียมีขนาดยาว เล็ก ยอดของมันเป็นรูปปากแตรเกลี้ยงไม่มีขน ศิวชนม์ ยาใจ และศันสนีย์ ธรรมวิมล (2545: 4) ได้ทำการศึกษาสมุนไพรกระชาย ดังรายละเอียด ชื่อไทย กระชาย ชื่ออื่น ชีฟู เป๊าะซอเร๊าะ เป๊าะสี่ระแอน ว่านพระอาทิตย์ ชื่อวิทยาศาสตร์ *Boesenbergia rotunda (L.) Mansf.* ชื่อพ้อง *Boesenbergia pandurata (Roxb.) Schltr. Gastrochilus panduratum (Roxb.) Rild., Kaempferia pandurata Roxb.* และชื่อวงศ์ *Zinggiberaceae* นอกจากนี้ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ไม่มีลำต้นบนดิน มีเหง้าใต้ดินซึ่งแตกรากออกไปเป็นกระจุกจำนวนมาก อวบน้ำ ตรงกลางพองกว้างกว่าส่วนหัวและท้าย ใบเดี่ยวเรียงสลับในระนาบเดียวกันรูปขอบขนานแกมรูปไข่ กว้าง 5-10 เซนติเมตร ยาว 15-30 เซนติเมตร ตรงกลางด้านในของก้านใบมีร่องลึก ดอกช่อ ออกแทรกอยู่ระหว่างกาบใบที่โคนต้น กลีบดอกมีสีขาวหรือสีชมพูอ่อน มีใบประดับรูปหอกสีม่วงแดง ดอกย่อยจะบานครั้งละ 1 ดอก ผลเป็นแบบผลแห้ง เมื่อแก่แล้วไม่แตก กระชายเจริญได้ดีในที่มีอากาศร้อนชื้นและเขตอบอุ่น จึงมักพบมีปลูกตามบ้านเรือนทั่วๆ ไป และกระชายเป็นพืชที่ให้น้ำมันหอมระเหยเช่นเดียวกับเครื่องเทศชนิดอื่นๆ แต่ปริมาณที่มีอยู่นั้นค่อนข้างน้อย ประมาณร้อยละ 0.08 เมื่อกลั่นด้วยไอน้ำ สำหรับองค์ประกอบต่างๆ ที่พบในรากกระชายนั้น มีดังนี้ α – Thujene, α – Pinene, Camphene, Myrcene, Limonene, 1.8 – Cineol, trans – Ocimene, p – Cymene, Linalool, Neral, α – Terpineol, Borneol, Geraneol, Benzyl acetone, Methy cinnamate, Geranial Camphor ร้อยละ 32.1 นอกจากนี้ยังพบสารเคมีชนิดอื่นๆ อีกหลายชนิด คือ Pinostrobin, Alpinetin, Boesenbergia A เป็นต้น รวมถึงสรรพคุณ ราก แก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ จุกเสียด ปวดท้อง ท้องร่วง แก้บิด แก้ปวดมวนในท้อง แก้โรคลม ขับระดู บำรุงกำหนัดแก้กามตายด้าน แก้มุตกิด แก้เบาเหลือง เบาแดง แก้กระษัย แก้เจ็บปวดบั้นเอว บำรุงกำลัง แก้กลากเกลื้อน แก้ลมทำให้หัวใจสั่น ขับปัสสาวะ แก้ปัสสาวะพิการ แก้โรคในปาก แก้ปากคือเป็นเม็ดยอด แก้แผลในปาก แก้ปากเปื่อย แก้ไอเรื้อรัง แก้โรคกำเดา แก้อ่อนเพลีย กระตุ้นหัวใจให้เต้นสม่ำเสมอ แก้ใจสั่น แก้ปวดเมื่อย แก้บาดทะยัก แน่นหน้าอก ตำพอกละบองคั่ง ไล่ละบองลงฝี ใบแก้โรคในปาก ในคอ แก้โลหิตเป็นพิษ ถอนพิษต่างๆ บำรุงธาตุ แก้เม็ดยอดในปากในคอ แก้ปากเหม็น แก้โลหิตระดูสตรี นอกจากนี้ กุลยา จันทร์อรุณ และคณะ

(2540: 1) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบสมุนไพรกระชายดำ สมุนไพรกระชายดำเป็นพืชที่พบปลูกมากบนภูเขาสูงที่มีอากาศเย็น การวิจัยใช้กระชายดำบนเขาค้อ จังหวัดพิษณุโลก เปรียบเทียบกับกระชายเหลืองที่ปลูกบนพื้นราบ อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก พบว่า กระชายดำ ความชื้น 76.04% เถ้า 3.16% แทนนิน 0.22% วิตามินซี 21.68 mg/100g และฟอสฟอรัส 45.60 mg/100g กระชายเหลือง ความชื้น 89.10% เถ้า 2.81% แทนนิน 0.13% วิตามินซี 18.63 mg/100g และฟอสฟอรัส 50.04 mg/100g จากการทดสอบหาอัลคอลอยด์ให้ผลบวกกับ Primary amine alkaloid แต่กลับไม่ให้ผลกับ Quaternary amine alkaloid นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่า ชาวเขามีความเชื่อว่ากระชายดำสามารถใช้รักษาโรคได้มากชนิด โดยตัวสารที่สำคัญในการักษาคือ สารแทนนิน ซึ่งเป็นสารที่มีมากแทนนิน (อังกฤษ: tannin) เป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่และโครงสร้างซับซ้อน มีสถานะเป็นกรดอ่อนรสฝาด เป็นสารให้ความฝาดในพืช พบได้ในพืชหลายชนิด แทนนิน มี 2 ชนิด คือ คอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins) หรือเรียกอีกอย่างว่า โปรแอนโทรไซยานิน (proanthrocyanin) พบได้ในส่วนเปลือกต้น และแก่นไม้เป็นส่วนใหญ่ และ สารไฮโดรไลซ์แทนนิน (hydrolysable tannins) คือแบบที่สามารถถูกแยกออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้ พบมากในส่วนใบ ฝัก และส่วนที่ปูดออกมาจากปกติ เมื่อต้นไม้ได้รับอันตราย (gall) แทนนิน มีคุณสมบัติตกตะกอนโปรตีน ทำให้หนังสัตว์ไม่เน่าเปื่อย จึงมีการใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วย แทนนินมีฤทธิ์ฝาดสมาน จึงใช้เป็นยารักษาโรคท้องเสียได้ แทนนินมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ ตลอดจน สุปราณี จอมแจ้ง (2551: 1-2) ได้ทำการศึกษาปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากเหง้ากระชายดำ (*Kaempferia parviflora* Wall. *ex* Bak.) และขมิ้นดำ(*Curcuma aeruginosa* Roxb.) (Zingiberaceae) ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นกระชายดำและขมิ้นดำ โดยการวางแผนการทดลองแบบ CRD ทำ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ต้น พบว่า ต้นกระชายดำ (*Kaempferia- parviflora* Wall. *ex* Bak.) มีใบเป็นชนิดใบเดี่ยว (simple leaf) สีเขียวเข้มขนาดปานกลาง ออกเรียงแบบสลับ (closely alternate) แผ่นใบ (blade) เป็นรูปไข่ (ovate) ปลายใบแหลม (acute) ฐานใบเป็นรูปหัวใจ (subcordate) ดอกเป็นช่อแบบกระจุกแน่น (capitulum) ออกตรงกลางระหว่างใบคู่ในสุด เหง้า (rhizome) รูป subglobose ภายในมีสีม่วงดำ มีกลิ่นหอมเย็น มีรากสะสมอาหาร (tuber) จำนวนมาก กระชายดำที่ปลูกในสภาพที่ไม่เหมือนกันจะมีช่วงเวลาการออกดอกที่ต่างกัน ถ้าปลูกลงในกระถางที่มีดินสำเร็จรูปและปลูกลงแปลงทดลองจะออกดอกในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม และปลูกลงในกระบะทรายในโรงเรือนเพาะชำจะออกดอกในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป โดยช่อดอกจะเกิดหลังจากที่มีใบ ส่วนขมิ้นดำ (*Curcuma aeruginosa* Roxb.) มีใบเป็นชนิดใบเดี่ยว (simple leaf) สีเขียวขนาดใหญ่ออกเรียงแบบสลับ (alternate) แผ่นใบ (blade) เป็นรูป oblong - lanceolate ปลายใบเรียวแหลม(acuminate) ฐานใบ

รูปคล้ายลิ่ม (cuneate) ท้องใบมีขน (hairy) เส้นใบขนาน และเส้นกลางใบด้านบนมีสีน้ำตาลไหม้ เหง้า (rhizome) มีขนาดใหญ่ (large) สีเนื้อภายในเหง้าสีน้ำเงินแกมม่วง (aeruginose) เหง้ากลาง (central rhizome) รูปทรงไข่ (ovoid) เหง้าแขนง (finger rhizome) รูปทรงกระบอก มีรากสะสมอาหาร (tuber) จำนวนมาก หัวขมิ้นดำที่ปลูกในสภาพที่ไม่เหมือนกันจะมีช่วงเวลาการออกดอกต่างกัน ถ้าปลูกลงในกระถางที่มีดินสำเร็จรูปและปลูกลงแปลงทดลองจะออกดอกในช่วงเดือนพฤษภาคมโดยช่อดอกจะเกิดหลังจากที่มีใบแล้ว และที่ปลูกลงในกระบะทรายในโรงเรือนเพาะชำจะออกดอกเดือนพฤษภาคมเช่นกัน โดยช่อดอกจะเกิดก่อนที่จะมีใบ จากนั้นทำการศึกษาการงอกหน่อของท่อนพันธุ์กระชายดำและขมิ้นดำ จำนวนชนิดละ 4 ขนาด คือท่อนพันธุ์เบอร์ 1, ท่อนพันธุ์เบอร์ 2, ท่อนพันธุ์เบอร์ 3 และท่อนพันธุ์เบอร์ 4 ทุกท่อนพันธุ์ของกระชายดำงอกได้ 100 % แต่ ท่อนพันธุ์เบอร์ 1 มีอัตราการงอกหน่อจนครบ 100 ท่อนพันธุ์เร็วกว่าท่อนพันธุ์เบอร์2, 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนการศึกษาการงอกหน่อของท่อนพันธุ์ขมิ้นดำทั้ง 4 ขนาด ก็พบว่า มีผลเช่นเดียวกันกับกระชายดำ และเมื่อทดสอบทางสถิติด้วย Kruskal – Wallis ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความเร็วของการงอกของท่อนพันธุ์ทั้ง 4 ขนาดของพืชทั้งสองชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทำการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกระชายดำและขมิ้นดำ โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD ในระยะเวลา 1 ปี ทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของพืช 9 รายการ คือ ความสูงของต้น จำนวนใบต่อกอ จำนวนหน่อต่อกอ น้ำหนักสดหัวต่อกอ ความยาวราก น้ำหนักสดรวม น้ำหนักแห้งรวมพื้นที่ใบทั้งหมดต่อกอ และปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อกอ พบว่า ต้นกระชายดำและขมิ้นดำมีการเจริญเติบโตในแต่ละเดือนแตกต่างกัน ตลอดจนทำการศึกษาปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าของกระชายดำและขมิ้นดำ โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ พบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าของกระชายดำมีปริมาณมากที่สุดในเดือนที่ 8 (ธ.ค. พ.ศ. 2550) ปริมาณ 0.1906 % และมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยน้อยที่สุดในเดือนที่ 12 (เม. ย. พ.ศ. 2550) ปริมาณ 0.0268 % ส่วนปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าแขนงของกระชายดำไม่สามารถนำมาสกัดหาน้ำมันหอมระเหยได้ เนื่องจากปริมาณเหง้าแขนงที่งอกขึ้นมาใหม่มีจำนวนน้อย ส่วนปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าหัวหลักของขมิ้นดำมีปริมาณมากที่สุดในเดือนที่ 10 (ก.พ. พ.ศ. 2550) ปริมาณ 0.7590 % และมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยน้อยที่สุดในเดือนที่ 4 (ส.ค. พ.ศ. 2549) ปริมาณ 0.3415 % และปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าแขนงของขมิ้นดำมีปริมาณมากที่สุดในเดือนที่ 9 (ม.ค.พ.ศ. 2550) ปริมาณ 0.843 % และมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยน้อยที่สุดในเดือนที่ 12 (เม.ย. พ.ศ. 2550) ปริมาณ 0.419 % เมื่อคำนวณค่าทางสถิติด้วย RCBD ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ทั้งเหง้าของกระชายดำ ส่วนของเหง้าหลักและเหง้าแขนงของขมิ้นดำ มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.10.3 ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียจากกระชายดำ อุทุมพร ทองอินทร์ (2544: 1) ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อรา *Cladosporium cladusporioides* และเชื้อแบคทีเรีย *Serratia marcescens* ของสารสกัดจากกระชาย ฟ้าทะลายโจร มะนาวแป้น และมะนาวน้ำหอม โดยทำการสกัดสารสกัดหยาบของหัวกระชาย ใบฟ้าทะลายโจร ใบและเปลือกมะนาวแป้น ใบและเปลือกมะนาวน้ำหอมด้วยไดครอโรมีเทน เมื่อนำมาทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อรา *Cladosporium cladusporioides* ด้วยวิธี TLC-Bioassy พบว่าสารสกัดจากใบฟ้าทะลายโจร กระชาย ใบมะนาวแป้น ใบมะนาวน้ำหอมมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อรา เมื่อทำการสกัดแถบต้าน เชื้อราดังกล่าวนำมาทำให้บริสุทธ์และวิเคราะห์โดยแก็สโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์พบว่า สารต้านเชื้อราจากใบฟ้าทะลายโจร ไม่สามารถบอกสูตรโครงสร้างได้แต่เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุล 140 สารต้านเชื้อราจากกระชายประกอบด้วย Pimostobin chachone (%ID=99%), N-vinylpyrrolidone (%ID=91%) และสารที่มีน้ำหนักโมเลกุล 331 และ 432 สารต้านเชื้อราจากใบมะนาวแป้นประกอบด้วยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุล 208 และ 309 สารต้านเชื้อราจากใบมะนาวน้ำหอมประกอบด้วยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุล 206 และ 355 และเมื่อนำสารสกัดหยาบมาทดสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย *Serratia marcescens* ด้วยวิธี TLC-Bioassay พบว่า สารสกัดหยาบจากกระชายเท่านั้นที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เมื่อทำการสกัดแถบต้านเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวและนำมาทำให้บริสุทธ์และวิเคราะห์โดยแก็สโครมาโตรกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์พบว่า สารต้านเชื้อแบคทีเรียของกระชายประกอบด้วย cis-9-octadecen-1-ol (%ID=95%), 1,13-tetradecadiene (%ID=99%), 1-octadecene (%ID=99%) และ Pionostobin chachone (%ID=99%) ส่วนในพืชอื่นไม่แสดงแถบต้านเชื้อแบคทีเรียที่ชัดเจน และวิชชุลดา ก่อนกำเนิด (2552: 1) ได้ศึกษาลักษณะสมบัติของเลคตินจากเหง้าของกระชายดำ *Kaempferia parviflora Wall Ex. Baker* โดยการนำเหง้าของกระชายดำมาสกัดด้วยสารละลายทริสบัฟเฟอร์ที่ค่าความเป็นกรดด่าง 7.2 จากนั้นนำโปรตีนมาทำให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอนด้วยเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตอิ่มตัวที่ 80 เปอร์เซนต์ ทำเลคตินให้บริสุทธ์โดยเทคนิคโครมาโตรกราฟีแบบสัมพรรคภาพด้วยคอลัมน์ ConA Sepharose และโครมาโตรกราฟีแบบเจลฟิลเตรชันด้วยคอลัมน์ Sephacryl S100 ตามลำดับ เมื่อใช้เทคนิคพอลิอะคริลาไมด์เจลอิเล็กโตรฟอเรซิสแบบเสียสภาพ ซึ่งเลคตินบริสุทธิ์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 41.7 กิโลดาลตัน และมีกิจกรรมการเกาะกลุ่มของเซลล์เม็ดเลือดแดงของกระต่ายมากที่สุด รองลงมาได้แก่ เซลล์เม็ดเลือดแดงของแกะ ห่าน หนูแรท หนูเมาส์ และหนูตะเภาตามลำดับ รวมถึงมีกิจกรรมการเกาะกลุ่มของเซลล์เม็ดเลือดแดงของคนในระบบเลือดเอบีโอโดยมีปฏิกิริยากับเม็ดเลือดแดงของหมู่เลือดโอมากที่สุด รองลงมาได้แก่ หมู่เลือดเอ บี และเอบี ซึ่งมีกิจกรรมเท่ากัน เลคตินมีความเสถียรต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 6 จนถึง 8 และมีความเสถียรต่อความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นอกจากนี้เล

คตินสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของราโรคพืช ได้แก่ *Exserohilum turcicum, Fusarium oxysporum* และ *Colectrotrichum cassicola* ที่ความเข้มข้น 18 จนถึง 36 ไมโครกรัม รวมทั้งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทั้งแบคทีเรียแกรมลบ (*Pseudomonas aeruginosa*) และแกรมบวก (*Bacillus subtilis* และ *Staphylococcus aureus*) อย่างไม่จำเพาะที่ความเข้มข้น 1.270, 1.270 และ 0.184 ไมโครกรัมตามลำดับ และค่าความเข้มข้นการยับยั้งการทำงานของแอลฟา- กลูโคซิเดสที่ 50 เปอร์เซนต์ เท่ากับ 0.04 มิลลิกรัม นอกจากนี้ พิชัญญา ชาญชัย และคณะ (2551: 1) ได้ทำการศึกษาการต้านจุลินทรีย์ของไส้บรรจุที่แช่น้ำมันหอมระเหยเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์ในอาหาร โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพการเป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ของไส้บรรจุไส้กรอกที่แช่น้ำมันหอมระเหยได้แก่ ขิง ข่า ขมิ้น กระชาย และเปลือกมะกรูด โดยเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่ยับยั้งจุลินทรีย์ (Minimum inhibitory- concentration: MIC) ด้วยวิธี agar dilution เพื่อคัดเลือกน้ำมันหอมระเหยที่มีประสิทธิภาพยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคแต่ไม่ยับยั้งแบคทีเรียกรดแล็กติก พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะกรูดและกระชายมีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียก่อโรคแกรมบวกดีที่สุด โดยมีค่า MIC อยู่ในช่วง 0.5-0.6% (v/v) และ 0.1-0.4% (v/v) ตามลำดับ จึงนำไส้บรรจุไส้กรอก คือ ไส้สด ไส้คอลลาเจน และไส้เซลโลเฟน แช่ในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะกรูดและกระชายที่ความเข้มข้น 0, 10 และ 50 เท่า ของค่า MIC ที่ได้ เป็นเวลา 1 และ 24 ชั่วโมง ทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ของไส้บรรจุที่แช่น้ำมันหอมระเหยด้วยวิธี agar diffusion พบว่าไส้สดที่แช่น้ำมันหอมระเหยเปลือกมะกรูดความเข้มข้น 5% (v/v) และไส้คอลลาเจนที่แช่น้ำมันหอมระเหยกระชายที่ความเข้มข้น 5% (v/v) ระยะเวลาแช่สาร 1 ชั่วโมงมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการต้านแบคทีเรียก่อโรคแกรมบวกได้แก่ *Bacillus cereus, Listeria monocytogenes* และ *Staphylococcus aureus* รวมถึง ยุพา ชาญวิกรัย (2550: 1) ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากกระชายดำและข่ามีผลเหนี่ยวนำให้เซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว (U937 cells) เกิดการตายแบบอะพอพโทสิส กระชายดำและข่าเป็นพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพหลายอย่าง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดทั้งสอง และฤทธิ์ของสารสกัดร่วมกับยารักษามะเร็ง paclitaxel และ camptothecin ในการเหนี่ยวนำให้เซลล์ U937 เกิดการตายแบบอะพอพโทสิส โดยการนำสารสกัดกระชายดำ และข่า fraction 1และ 4 ที่ความเข้มข้นต่างๆ บ่มร่วมกับเซลล์ U937 ตรวจการเจริญเติบโต และการรอดชีวิตของเซลล์ด้วยการทดสอบ Trypan blue exclusion พบว่าสารสกัดทั้งสองมีผลยับยั้งการเพิ่มจำนวนเซลล์แปรผันโดยตรงกับความเข้มข้น ($p < 0.05$) และเวลาอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่าความเข้มข้นของสารสกัดกระชายดำที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ 50 เปอร์เซนต์ที่เวลา 24 ชม. , 48 ชม. และ 72 ชม. คือ 92, 70 และ 60 μg/ml ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นของข่า fraction 1 ที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ 50 เปอร์เซนต์ ที่เวลา 24

และ 48 ชม. คือ 37 และ 35 μg/ml และข่า fraction 4 คือ 7 และ 5 μg/ml ตามลำดับ เมื่อศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดทั้งสองต่อการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ของเยื่อหุ้มไมโตรคอนเดรียของเซลล์ U937 ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยการย้อมเซลล์ด้วย 3,3'-dihexyloxacarbocyanine iodide (DiOC6) แล้วตรวจวัดด้วย flow cytometer พบว่าสารสกัดทั้งสองทำให้เปอร์เซนต์ของเพิ่มขึ้นแปรผันตามความเข้มข้นของสารอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)และให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อบ่มเซลล์กับสารสกัดร่วมกับ paclitaxel และ camptothecin ที่ความเข้มข้นต่างๆการศึกษารูปร่างของเซลล์ด้วยกล้องฟลูออเรสเซนต์หลังบ่มร่วมกับสารสกัดทั้งสอง แล้วทำให้เซลล์เมมเบรนเกิดรูด้วย absolute methanol และย้อมเซลล์ด้วย Propidium iodide พบเซลล์มีการแตกเป็นอะพอพโทติคบอดี้ และนิวเคลียสมีการหดตัว โดยสรุปสารสกัดทั้งสองเหนี่ยวนำไมโตรคอนเดรียของเซลล์ U937 ให้เกิดการตายแบบอะพอพโทสิส และสารสกัดเมื่อบ่มร่วมกับ paclitaxel และ camptothecin มีฤทธิ์ทั้งส่งเสริม และยับยั้งฤทธิ์กันเซลล์ที่มีการลดลงของความต่างศักย์ที่เยื่อหุ้มไมโตรคอนเดรีย อีกทั้งศันสนีย์ เติมธนาสมบัติ (2541: 1) ได้ศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อรา *Candida albicans* ของสารสกัดจากพืชสมุนไพรไทย วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้เพื่อจะศึกษาหาสมุนไพรไทยที่มีฤทธิ์ยับยั้งหรือเสริมฤทธิ์ยาที่ใช้รักษาเชื้อรา เพื่อช่วยลดขนาดของยาหรือพบสารใหม่ที่นำมาทำเป็นยารักษาให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ในการทดลองใช้สารสกัดสมุนไพรจำนวน 12 สารสกัด ได้แก่ สารสกัดจาก ชะเอม ใบฝรั่ง ใบบัวบก กระเจี๊ยบแดง สมอ กระชายดำ มะขามป้อม ชาขาว หญ้าหวาน มังคุด และว่านชักมดลูกจากแหล่งกาญจนบุรี และแหล่งเพชรบูรณ์ ศึกษาการออกฤทธิ์ของตัวสารสกัดเอง และการออกฤทธิ์เสริมตัวยาฆ่าเชื้อรา *Ketoconazole* และ *Nystatin* จากผลการศึกษาพบว่า สารสกัดว่านชักมดลูกจากเพชรบูรณ์และกาญจนบุรีมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา *Candida albicans* ได้บ้างเล็กน้อย และเมื่อศึกษาการออกฤทธิ์เสริมฤทธิ์ยาเชื้อรา พบว่า สารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง กระชายดำ และว่านชักมดลูกทั้งสองแหล่งสามารถเสริมฤทธิ์ยา *Ketoconazole* ได้ แต่ไม่เสริมฤทธิ์ยา *Nystatin* ได้ทำการศึกษาต่อไปโดยหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อรา (MIC) และความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถฆ่าเชื้อรา (MFC) ของสารสกัดว่านชักมดลูกจากเพชรบูรณ์และกาญจนบุรี โดยเสริมฤทธิ์กับยา *Ketoconazole* ในขั้นต้นพบว่าสารสกัดว่านชักมดลูกจากเพชรบูรณ์เสริมฤทธิ์ยา *Ketoconazole* ได้ดีกว่าสารสกัดว่านชักมดลูกจากกาญจนาบุรี แต่เมื่อทำการตรวจสอบหาค่า MIC และ MFC ไม่พบว่ามีความแตกต่างกันโดยสรุปสมุนไพรที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อราและเสริมฤทธิ์ยา *Ketoconazole* ได้ น่าจะทำการศึกษาต่อเพื่ออาจพัฒนาเป็นยาใช้ในการรักษาโรคที่เกิดจากเชื้อ *Candida albicns* ในอนาคต ได้แก่ กระเจี๊ยบแดง กระชายดำ และว่านชักมดลูก และ Sopa Kummee (2008: 1) จากการศึกษาฤทธิ์ต้านการอักเสบของกระชายดำของ (Tewtrakul & Subhadhirasakul, 2008) พบว่าสารสำคัญจากเหง้ากระชายดำที่สกัดด้วยเอทานอลมีความสามารถใน

การยับยั้งไนตริกออกไซด์ (NO) ในเซลล์เพาะเลี้ยงแมคโครฟาจชนิดRAW264.7 ได้ดีโดยให้ค่า IC_{50} เท่ากับ 7.8 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ส่วนสกัดแยกส่วนต่อด้วยเฮกเซนพบว่าให้ค่า IC_{50} สูงสุดเท่ากับ 3.6 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรและยังมีรายงานว่าสารสำคัญ hydroxy-3, 7,3', 4 ' tetramethooxyflavone จากกระชายดำสามารถยับยั้งการสร้าง PGE_2 และ TNF-α ในเซลล์เพาะเลี้ยงแมคโครฟาจชนิด RAW 264.7 ได้ดีโดยให้ค่า IC_{50} เท่ากับ 16.3 และ > 10 ไมโครโมลตามลำดับ ซึ่งจากรายงานการศึกษาฤทธิ์การต้านการอักเสบที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพจากสารสกัดกระชายดำในการยับยั้งการสร้างสาร สื่อประสาทที่ทำให้เกิดการทำลายของเซลล์และเนื้อเยื่อในกระบวนการอักเสบทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังได้

2.10.4 เทคนิคการเคลือบสมุนไพรโดยไมโครเอนแคปซูลเลชัน การนำน้ำมันหอมระเหยกระชายดำมาตกแต่งสำเร็จบนผ้าได้ต้องนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วย และนวัตกรรมไมโครเอนแคปซูลเลชันก็เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ศึกษาเกี่ยวกับนวัตกรรมไมโครเอนแคปซูลเลชันไว้ดังต่อไปนี้

Ankit, Pramod and Arunabha. (2011: 1-7) ได้ทำการศึกษาไมโครเอนแคปซูลเลชัน (Microencapsulation) หมายถึง กระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มให้อยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบางๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูลซึ่งมีขนาดประมาณ 1-1,000 ไมครอน ชั้นพอลิเมอร์บางๆ นี้เองที่จะเป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารสำคัญภายในออกมาเมื่อเราต้องการ และปริณดา อุปธารปรีชา และดาขวัญ โคศิริ (2546: 1) ได้ทำการศึกษาการเตรียมน้ำมันมะกรูด โดยวิธีไมโครเอนแคปซูลเลชัน โดยใช้หลักการ Ionic gelation และเลือกใช้ Orifice method โดยการหยดส่วนผสมระหว่าง sodium alginate กับ oil emulsion ลงใน สารละลาย calcium chloride ผ่านทาง syringe ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยน ions ระหว่าง sodium และ calcium ได้เป็น calcium alginate ที่ไม่ละลายน้ำ และเกิดเป็น alginate bead หรือ micro bead ขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและคุณภาพของ alginate bead ได้แก่ ปริมาณ alginate และ $CaCl_2$ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ alginate จะมีผลทำให้น้ำหนักและขนาดของ alginate bead ลดลง ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มปริมาณของ $CaCl_2$ จะผลให้ alginate bead ที่ได้จะมีน้ำหนักและขนาดเพิ่มขึ้นลักษณะทางกายภาพของ alginate bead หลังจากเตรียมเสร็จจะมีลักษณะเป็นทรงกลม ผิวเรียบเต่งตึง เมื่อแห้งสนิทผิวเหี่ยว และแข็งขึ้น การประเมินความคงตัวของ alginate bead โดยใช้แก๊สโครมาโตรกราฟีพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ สูตรตำรับที่มีปริมาณน้ำมันมะกรูด และ $CaCl_2$ น้อย มีการสูญเสียน้ำมันมะกรูดได้มากกว่าสูตรที่มีปริมาณน้ำมันมะกรูดและ $CaCl_2$ มาก จากผลการทดลอง

สูตรตำรับที่คิดว่าดีที่สุด คือสูตรตำรับที่มีสัดส่วนของ alginate ต่อน้ำมันมะกรูดเป็น 1:3 และความเข้มข้นของ calcium chloride 20% เนื่องจากเป็นสูตรตำรับที่มีปริมาณน้ำมันมะกรูดมากที่สุด การที่มี Ca^{2+} ปริมาณมากทำให้เกิดการเกิด crosslink ระหว่าง Ca^{2+} กับalginate เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ผนังของ alginate bead ที่ได้จึงมีความแข็งแรง ช่วยป้องกันการระเหยของน้ำมันมะกรูดได้ดี นอกจากนี้ ภัทราวดี จันทร์แจ่ม และอรุณศรี ปรีเปรม (2547: 1) ขมิ้นชันเป็นสมุนไพรที่นิยมใช้เป็นเครื่องปรุงแต่งรสและสีของอาหาร ส่วนประกอบหลักถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของผงขมิ้นชัน คือ คอร์คูมินฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของคอร์คูมิน คือฤทธิ์ต้านอาการอักเสบและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างไรก็ตามคอร์คูมินดูดซึมได้ยาก ทำให้ค่าประสิทธิผลต่ำเมื่อให้ในรูปแบบรับประทาน ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการพัฒนาวิธีเก็บกักสารสกัดขมิ้นชันในเอทิลเซลลูโลสพอลิเมอร์ โดยใช้วิธีระเหยตัวทำละลายและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำไมโครเอนแคปซูเลชัน ไมโครสเฟียร์ที่ได้จากการใช้เอทิลเซลลูโลส ความหนืด 100 เซนติพอยส์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.67±7.60 ไมครอน ในขณะที่ไม่เกิดไมโครสเฟียร์ เมื่อใช้เอทิลเซลลูโลสความหนืด 45 เซนติพอยส์ เปอร์เซ็นต์การกักเก็บสารสกัดขมิ้นชันในไมโครสเฟียร์ ที่ทำจากเอทิลเซลลูโลสความหนืด 100 เซนติพอยส์ปริมาณ 100 มิลลิกรัม วิเคราะห์โดยตรวจจากคอร์คูมิน มีค่า 70.45±7.16 % แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างสารสกัดขมิ้นกับไดคลอโรมีเทนเป็น 1 ต่อ 400 จะเพิ่มเปอร์เซ็นต์การกักเก็บ 86.80±5.08 % การผสมโพลไวนิลแอลกอฮอร์ ในปริมาณ 0.25% ใน วัฏภาคนอก สามารถป้องกันการรวมตัวกันของหยดสารสกัดขมิ้น/เอทิลเซลลูโลส ปริมาตรของวัฏภาคนอก ไม่ว่าจะเป็น 400 หรือ 1000 ให้ปริมาณไมโครสเฟียร์ ไม่ต่างกัน ส่วนการคนผสมสารละลาย ยิ่งคงนาน (17 ชั่วโมง) ยิ่งเพิ่มปริมาณของไมโครสเฟียร์ที่ได้ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้สามารถเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนา ไมโครสเฟียร์ในช่วงขนาดนาโนเมตร อีกทั้ง พรรณกร อนินท์ภัคนันทิน และณัฐฑา ภูมะธน (2553: 22) ได้ทำการศึกษาการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยน้ำมันขมิ้นชันชนิดไมโครแคปซูล การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ทำการตกแต่งสำเร็จด้วยการผนึกไมโครแคปซูลน้ำมันขมิ้นชัน โดยวิธี Padding-Drying-Curing ซึ่งใช้ปริมาณ ไมโครแคปซูลน้ำมันขมิ้นชัน 10, 20 และ 30 g/100 ml ต่อสารช่วยติด 0, 10 และ 20 g/100 ml หลังจากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้เชื้อ *Escherichia coli* การตรวจสอบการวิเคราะห์การยึดติดไมโครแคปซูลน้ำมันขมิ้นชัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ทดสอบสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง และวัดค่าดัชนีความขาว ผลของการวิจัยพบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันขมิ้นชัน 20 g/100 ml ต่อสารช่วยติด 20 g/100 ml มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งก่อนและหลังทดสอบความคงทนต่อการซักล้าง ผลการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสามารถ

ยืนยันได้ว่ามีการยึดติดของไมโครแคปซูลน้ำมันขมิ้นชันบนผืนผ้าฝ้าย และผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยไมโครแคปซูลน้ำมันขมิ้นชันมีค่าดัชนีความขาวลดลง เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ และสายัญ พันธ์สมบูรณ์ (2550: 1) ได้ทำการศึกษาการเตรียมไมโครอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำของเมนทอลขึ้นก่อนด้วยการปั่นกวนความเร็วรอบสูง 16,000 รอบต่อนาที โดยใช้ของผสมในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ระหว่างสารลดแรงตึงผิวที่มีอัตราส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรือเอชแอลบีต่ำ คือ พอลิออกซิเอทิลีน-2-สเตียริลอีเทอร์ (เอชแอลบี = 4.9) และสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีเอชแอลบีสูง คือ เซทิล-สเตียริลแอลกอฮอล์ (เอชแอลบี = 15) ทำไมโครอิมัลชันของเมนทอลที่เคลือบด้วยไคโตซาน ให้เป็นของแข็งผ่านการเชื่อมขวางโดยพันธะไอออนิกด้วยไทรพอลิฟอสเฟต (ทีพีพี) จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดด้วยการกระเจิงแสงเลเซอร์พบว่า ไมโครแคปซูล ที่เตรียมได้มีขนาดอยู่ในช่วง 0.5-40 ไมโครเมตร วิเคราะห์รูปร่างและสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน ภาวะในการเตรียมที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ไมโครแคปซูลที่มีเสถียรภาพและการกระจายขนาดที่แคบมีดังนี้คือ ความเร็วในการปั่นกวน 16,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 5.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก พีเอช 4.9 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไคโตซานและทีพีพี 2:1 เวลาในการปั่นเชื่อมขวาง 120 นาที และอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันและไคโตซาน 8:1 ไมโครอิมัลชันที่มีไมโครแคปซูลบรรจุเมนทอลมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูงประมาณ 40 องศาเซลเซียส ได้ถึง 3 รอบโคจรภายใต้สภาวะเฉือนคงตัว 1 พาสคัล ซึ่งยืนยันได้ด้วยค่า G′ และG′′ จากการวัดด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีพบว่า ประสิทธิภาพในการกักเก็บเมนทอลในไมโครแคปซูลมีค่าประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเมนทอลที่กักเก็บในไมโครแคปซูลมีค่าเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก รวมถึง Lian-Yan Wang and others (2006: 1) ศึกษาการเตรียมอนุภาคขนาดไมครอนของไคโตซานเพื่อประยุกต์ในการควบคุมการปล่อยของอินซูลิน โดยเตรียมไคโตซานที่บรรจุอินซูลินให้อยู่ในรูปอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (water-in-oil, w/o) ด้วยเทคนิค (membrane- emulsification) ทำให้เกิดเป็นอิมัลชันด้วยการทำให้สารละลายไคโตซานผสมกับอินซูลินผ่านเมมเบรนแก้วที่มีรูพรุน (porous glass membrane) ลงในของผสมพาราฟิน/ปิโตรเลียมอีเทอร์ ที่มีสารลดแรงตึงผิว PO-500 เชื่อมขวางขั้นที่หนึ่งด้วยไตรพอลิฟอสเฟต (tripolyphosphate; TPP) และเชื่อมขวางขั้นที่สองด้วยกลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde; GA) โดยพบว่าภาวะในการเชื่อมขวางมีผลต่อสัญฐานวิทยาของอนุภาค ปริมาณของยาที่บรรจุในอนุภาคและแบบแผนการปลดปล่อยยา ทั้งนี้ภาวะที่เหมาะสมคือ pH 3.5-4.0 อัตราส่วนระหว่างหมู่อะมิโนของไคโตซานและหมู่อัลดีไฮด์ของ GA เป็น 1:1 และระยะเวลาในการเชื่อมขวางของ GA คือ 60 นาที

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ศึกษาการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำลงบนผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกันที่ผ่านการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ มีขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 สมุนไพรที่ใช้ในการวิจัย

สมุนไพรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ กระชายดำ โดยมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Kaempferia parviflora Wall. Ex Baker* มีชื่อพ้องคือ *Boesenbergia pandurata (Roxb.) (Schltr.black rhizome)* และชื่อวงศ์คือ *Zingiberaceae* โดยได้คัดเลือกมาจากจังหวัดเพชรบูรณ์

3.1.2 ผ้าที่ใช้ในการวิจัย

ผ้าที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผ้าสำหรับใช้ในการตัดเย็บชุดชั้นในสตรี โดยตัวอย่างผ้าที่ทำการศึกษา แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผ้าที่ใช้ในการวิจัย

ผ้าที่ใช้ในการวิจัย	ประเภทของผ้าที่ใช้ในการวิจัย	บริษัท
ผ้าฝ้าย	ผ้าถักด้ายพุ่ง (Weft Knitted fabric)	บริษัท อินทิเมท แฟชั่น จำกัด
ผ้าพอลิเอสเทอร์	ผ้าถักด้ายพุ่ง (Weft Knitted fabric)	บริษัท อินทิเมท แฟชั่น จำกัด
ผ้าไนลอน	ผ้าถักด้ายยืน (Warp Knitted fabric)	บริษัท อินทิเมท แฟชั่น จำกัด

3.1.3 เซลล์ที่ใช้ในการวิจัย

เซลล์ที่ใช้ในการวิจัยประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย (Antibacterial Activity) แสดงในตารางที่ 3.2

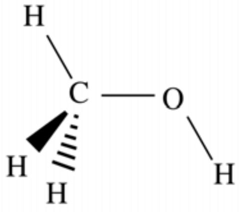
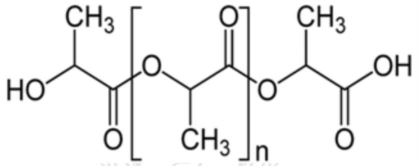
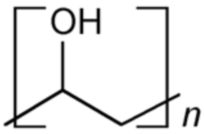
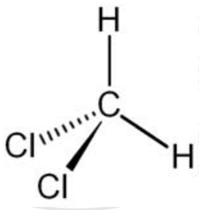
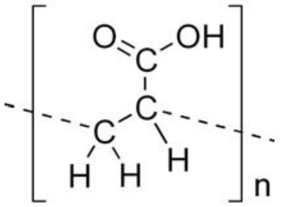
ตารางที่ 3.2 เซลล์ที่ใช้ในการวิจัยประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย (Antibacterial Activity)

เซลล์ที่ใช้ในการวิจัย	บริษัท
แบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* ATCC 6538	บริษัท ไทย แคน ไบโอเทค จำกัด เลขที่ 35/3 ซอยพหลโยธิน 14 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
แบคทีเรียแกรมลบ *Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352	ฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.1.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัยแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

สารเคมี	สูตรโครงสร้าง	บริษัท
Methanol (methyl alcohol) Analytical Reagent(R)		VWR International LTD, Poole, BH151 TD, England.
PLLA (Poly-L-lactic acid)		Sigma-Aldrich®, US
PVA (Polyvinly alcohol)		Sigma-Aldrich®, US
DCM (Dichloromethane)		P & N Labchem Ltd.,
Binder PD-87 (Poly Acrylic)		RADCHA CHEMICAL Co., Ltd.

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

3.2.1.1 เครื่องปั่นอัตโนมัติ เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร

3.2.1.2 เครื่องชั่ง 12 กิโลกรัม รุ่น Sartorius CP|Gemplus Series ประเทศเยอรมัน

3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

3.2.2.1 หลอดวิจัย (tube)

3.2.2.2 หลอดหยด (dropper)

3.2.2.3 จานเพาะเชื้อ (petridish plate)

3.2.2.4 ปากคีบ (forceps)

3.2.2.5 แท่งแก้ว 3 เหลี่ยม

3.2.2.6 ตะเกียงแอลกอฮอล์

3.2.2.7 ห่วงเขี่ยเชื้อ (loop)

3.2.2.8 หม้อนึ่งความดัน (autoclave)

3.2.2.9 เครื่องฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำความดันสูง (Autoclave)

3.2.2.10 ตู้บ่มเชื้อ Heraeus รุ่น Hera cell

3.2.2.11 ตู้เขี่ยเชื้อ (laminar air flow)

3.2.2.12 ตู้เย็น (refrigerator)

3.2.2.13 เครื่องต้มกลั่น (steam distillation apparatus)

3.2.2.14 เครื่องวัด pH (pH meter)

3.2.2.15 กระดาษกรองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 มิลลิเมตร (disc)

3.2.2.16 เครื่อง mixer

3.2.2.17 ตู้ปฏิบัติการปลอดเชื้อ (Laminar air flow) Biohazard Cabinet class II รุ่น BH2000

3.2.2.18 ไมโครปิเปตขนาด 100, 1000 และ 5000 ไมโครลิตร
รุ่น Propette autoclavable

3.2.3 ขั้นตอนการทำไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

3.2.3.1 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น AV264C ยี่ห้อ Ohaus ประเทศอเมริกา

3.2.3.2 เครื่อง Homoginizer รุ่น IKA(R)T25 digital ULTRA-TURRAX

3.2.3.3 กรวยกรอง (Buchner funnel)

3.2.3.4 บิกเกอร์ขนาด 50, 100, 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร

3.2.3.5 เครื่อง Vacuum Drying Oven รุ่น DZF-6051 ยี่ห้อ DZF

3.2.4 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน

3.2.4.1 เครื่องชั่งละเอียดไฟฟ้าทศนิยม 3 ตำแหน่ง รุ่น PG603-S
ยี่ห้อ METTLER TOLEDO

3.2.5 ขั้นตอนการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำลงบนผ้า

3.2.5.1 การใช้เครื่องวัดค่าพีเอช รุ่น pH 211 ยี่ห้อ HANNA

3.2.5.2 เครื่องอบแห้งชิ้นงาน รุ่น MINI DRYER R-3 ยี่ห้อ Rapid

3.2.5.3 เครื่องจุ่มอัดสารเคมี รุ่น Vertical type P- AO ยี่ห้อ Rapid

3.2.5.4 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น AV264C ยี่ห้อ Ohaus ประเทศอเมริกา

3.2.5.5 บิกเกอร์ขนาด 500, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร

3.2.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์และตรวจสอบความคงทนต่อการซัก

3.2.6.1 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น AV264C ยี่ห้อ Ohaus ประเทศอเมริกา

3.2.6.2 เครื่องย้อมแบบอินฟราเรด (Infra-Red (IR) Dyeing machine)

3.2.6.3 กระบอกเครื่องย้อมแบบอินฟราเรดขนาด 50 มิลลิลิตร

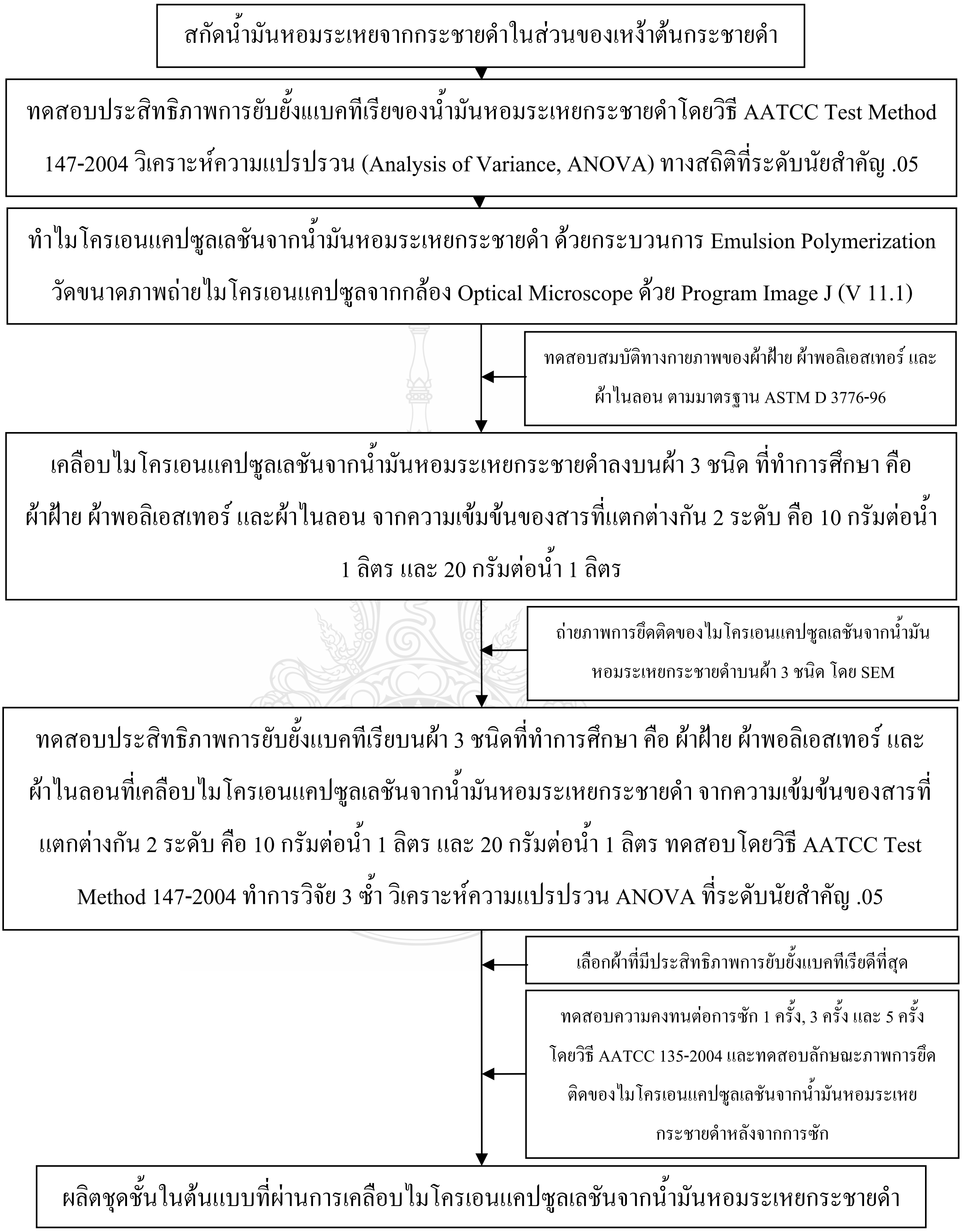
3.2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

เครื่อง	รุ่น	หมายเหตุ
เครื่องทดสอบ OPTICAL MICROSCOPE	รุ่น UC1320 ยี่ห้อ UPIX CAMERA MODEL	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA)	รุ่น TGA 4000 ยี่ห้อ Perkin Elmer	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	รุ่น JSM-5610LV ยี่ห้อ JEOL	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.3 แผนผังของการวิจัย



ภาพที่ 3.1 แผนผังการวิจัย

วิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ →

- ทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบโดยวิธี AATCC Test Method 147-2004
- วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ (Analysis of Variance, ANOVA) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

วิเคราะห์ทางกายภาพไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ →

- ถ่ายภาพไมโครเอนแคปซูลเลชันจากกล้อง Optical Microscope รุ่น UC1320 ยี่ห้อ UPIX CAMERA MODEL ที่กำลังขยาย 40 เท่า
- วัดขนาดภาพถ่ายไมโครเอนแคปซูลเลชันจากกล้อง Optical Microscope ด้วย Program Image J (V 11.2) วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วย SEM บนผ้า 3 ชนิดคือ ผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน ที่กำลังขยาย 200 เท่า
- วิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง PLLA ต่อ น้ำมันหอมระเหยกระชายดำ (Wall/Core) ด้วยเทคนิค TGA

วิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่ยึดติดบนผ้า 3 ชนิด →

- วิเคราะห์ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียบนผ้า 3 ชนิด เลือกผ้าที่มีประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียดีที่สุด
- วิเคราะห์ประสิทธิภาพการยึดติดไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำบนผ้าที่มีประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียดีที่สุด ที่ความคงทนต่อการซัก 1 ครั้ง, 3 ครั้ง และ 5 ครั้ง

ภาพที่ 3.1 แผนผังการวิจัย (ต่อ)

3.4 วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนดังนี้คือ ส่วนที่ 1 เป็นการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำต่อความต้านทานแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ส่วนที่ 3 การเตรียมไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำและการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อน ส่วนที่ 4 เป็นการประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำมาเคลือบติดบนผ้าซึ่งจะนำไปสู่การนำไปใช้ในกลุ่มผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ซึ่งในที่นี้คือ ชุดชั้นในสตรี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากกระชายดำในส่วนของเหง้าต้นกระชายดำ โดยวิธีการต้มกลั่น (Water Distillation หรือ Hydrodistillation)

นำกระชายดำในส่วนเหง้าที่ต้องการสกัด 250 กิโลกรัม ล้างทำความสะอาดเศษดินและสิ่งสกปรก จากนั้นหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ และนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นอัตโนมัติ (จะได้ปริมาณกระชายดำที่บดละเอียดปริมาณ 235 กิโลกรัม โดยประมาณ) แล้วนำมาบรรจุในเครื่องต้มกลั่นขนาด 500 กิโลกรัม (ดังภาพที่ 3.2) โดยการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องที่ไม่เกิน 100 องศาเซลเซียล เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง เมื่อกระชายดำบดละเอียดที่ต้องการสกัดได้รับความร้อน จะได้สารหอมระเหยออกมาพร้อมกันกับไอน้ำ โดยจะกลั่นตัวออกมาพร้อมกันที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของสารที่ภาวะอุณหภูมิห้อง จากนั้นของเหลวทั้ง 2 ชนิดจะเกิดการควบแน่นและการแยกชั้นเป็น 2 ชั้น โดยน้ำมีความหนาแน่นมากกว่าจะอยู่ชั้นล่าง ส่วนสารที่ต้องการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำจะอยู่ชั้นบน (ซึ่งในการวิจัยจะได้น้ำมันหอมระเหยปริมาณ 5 มิลลิลิตร) จากนั้นนำน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบต่อไป

ภาพที่ 3.2 เครื่องต้มกลั่นขนาด 500 กิโลกรัม

3.4.2 ทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ โดยวิธี AATCC Test Method 147-2004 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ (Analysis of Variance, ANOVA)

3.4.3 การทำไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ด้วยกระบวนการ Emulsion Polymerization

ในการทำไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ เริ่มต้นจากการชั่งน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ 1.3 กรัม และ PLLA 3.9 กรัม นำมาละลายใน DCM 50 มิลลิลิตร ทำการละลายจนน้ำมันหอมระเหยกระชายดำและ PLLA ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปค่อยๆ เติมลงไปในสารละลาย PVA 50 มิลลิลิตร ปั่นด้วยเครื่อง Homogenizer ที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 5 นาที จะได้สารละลาย Emulsion นำสาร Emulsion มาระเหยตัวทำละลาย DCM ออกด้วยการปั่นเบาๆ และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 วัน เพื่อให้ DCM ระเหยออกให้หมด จากนั้นนำ

Emulsion ที่ผ่านการระเหยของ DCM ออกแล้วไปหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) จะได้ชั้นของตะกอนไมโครแคปซูล นำตะกอนที่ได้ไปทำการดูดสูญญากาศ (Vacuum) ก็จะได้ไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ หลังจากนั้นนำไมโครเอนแคปซูเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพต่อไป

3.5 การวิเคราะห์ทางกายภาพของไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

3.5.1 การวิเคราะห์ขนาดไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำทางกายภาพด้วยกล้อง Optical microscope

หลังจากผ่านกระบวนการสังเคราะห์ไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ โดยกระบวนการอิมัลชันแล้ว นำตัวอย่างไมโครเอนแคปซูลที่ได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วย Optical microscope รุ่น UC1320 ยี่ห้อ UPIX CAMERA โดยมีรายละเอียดการเตรียมตัวอย่าง ดังนี้ เนื่องจากการจะนำตัวอย่างไปวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วย Optical microscope รุ่น UC1320 ยี่ห้อ UPIX CAMERA โดยวางตัวอย่างกับวัสดุรองรับตัวอย่างที่เรียกว่า Stub ทำจาก Cover slide และทำการปรับเลนส์ที่กำลังขยาย 40 เท่า จากนั้นทำการถ่ายภาพผ่านคอมพิวเตอร์ นำภาพถ่ายไมโครเอนแคปซูลที่ได้ไปวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยโปรแกรม Image J Version 11.2

ภาพที่ 3.3 Optical microscope รุ่น UC1320 ยี่ห้อ UPIX CAMERA

3.5.2 การวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างน้ำมันหอมระเหยกระชายดำต่อ Poly L-Lactic Acid (PLLA) ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมทริกแอนนาไลซิส (Thermogravimetic Analysis, TGA)

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA เป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างน้ำมันหอมระเหยกระชายดำต่อ Poly L-Lactic Acid (PLLA) โดยอาศัยเสถียรภาพทางความร้อนที่แตกต่างกันของสารอินทรีย์ (น้ำมันหอมระเหยกระชายดำ) และสารอนินทรีย์ (Poly L-Lactic Acid (PLLA)) ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมทริกแอนนาไลซิสของเครื่อง รุ่น TGA 4000 ยี่ห้อ Perkin Elmer ดังภาพที่ 3.4 โดยนำสารตัวอย่างที่มีน้ำหนักประมาณ 5 มิลลิกรัม ใส่ในถาดอะลูมินา ใช้ภาวะในการทดสอบเริ่มจากอุณหภูมิ 50 ถึง 700 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที อัตราการเพิ่มความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ทดสอบภายใต้บรรยากาศของแก๊สออกซิเจน และมีอัตราเร็วในการไหล (gas flow rate) 20 มิลลิลิตรต่อนาที

ภาพที่ 3.4 เครื่องเทอร์โมกราวิเมทริกแอนนาไลซิส รุ่น TGA 4000 ยี่ห้อ Perkin Elmer

3.5.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำหลังการเคลือบผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-5610LV ยี่ห้อ JEOL ดัง

ภาพที่ 3.5 เป็นการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ โดยนำผ้าที่ผ่านการเคลือบผิวไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำมาเคลือบผิวด้วยทองคำ ใช้ 15 แอมแปร์ เป็นเวลา 3 นาที ก่อนตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ใช้ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ที่กำลังขยาย 200 เท่า

ภาพที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-5610LV ยี่ห้อ JEOL

3.6 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน

การทดสอบหาน้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่ (Fabric weight) ตามมาตรฐาน ASTM D 3776-96 Standard Test Method for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric1

3.7 การวิเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของไมโครเอนแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่ยึดติดบนผ้า 3 ชนิด

3.7.1 การเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำลงบนผ้า 3 ชนิด

การเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำลงบนผ้า 3 ชนิดที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในการทำชุดชั้นในสตรี คือ ผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน โดยทำการเตรียมสารผสาน (Binder) PD-87 ในอัตราส่วน 10 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร และ ชั่งสารไมโครแคปซูลเลชัน

จากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำในอัตราส่วน 10 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร และ 20 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ตามลำดับ ทำการผสมสารผสานและสารละลายไมโครแคปซูลเข้าด้วยกันจะได้สารละลาย 2 ชนิด ที่อัตราส่วนของสารไมโครแคปซูลเลซันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่แตกต่างกัน จากนั้นนำผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน ขนาด 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร ตามลำดับ มาจุ่มในสารละลายที่เตรียมขึ้น และทำการบีบอัดสาร (Padding Mangle) ที่ Pick up 100 เปอร์เซนต์ ทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที และทำการบ่มที่ 120 องศาเซลเซียส อีก 1 นาที จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการชุบสารไมโครแคปซูลเลซันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำมาทำการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย โดยวิธี AATCC Test Method 147-2004 ตามลำดับ แล้วนำผ้าที่มีผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียที่ดีที่สุดมาวิเคราะห์และตรวจสอบความคงทนต่อการซัก

3.8 การตรวจสอบความคงทนต่อการซักของไมโครแคปซูลจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่มาเคลือบติดบนผ้าไนลอน

การวิเคราะห์และตรวจสอบความคงทนต่อการซักโดยวิธี AATCC 135-2004 จากนั้นวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำหลังจากการซักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ดังภาพที่ 3.5

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ศึกษาการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำลงบนผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกันที่ผ่านการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ศึกษาการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำลงบนผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกันที่ผ่านการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ผลการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนดังนี้คือ ส่วนที่ 1 เป็นการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำต่อความต้านทานเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ส่วนที่ 3 การเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำและการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อน ส่วนที่ 4 เป็นการประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำมาเคลือบติดบนผ้าซึ่งจะนำไปสู่การนำไปใช้ในกลุ่มผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ซึ่งในที่นี้คือ ชุดชั้นในสตรี

4.1 ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

จากการวิจัยพบว่า กระชายดำในส่วนเหง้าที่เตรียมโดยการหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ จำนวน 250 กิโลกรัม ผ่านการสกัดด้วยวิธีการต้มกลั่น (Water Distillation หรือ Hydrodistillation) และควบแน่นที่อุณหภูมิห้อง ได้น้ำมันหอมระเหยกระชายดำปริมาณ 5 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ธีรศิลป์ และคณะ, 2550) ที่พบว่า การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการการต้มกลั่น เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นมีค่าลดลงจะส่งผลต่อปริมาณร้อยละ ผลได้ของน้ำมันหอมระเหยที่สูงขึ้น และจะให้ค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส กล่าวคือ อุณหภูมิของของน้ำหล่อเย็นแปรผกผันกับปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ด้วยวิธีการต้มกลั่น ทั้งนี้เนื่องจากการลด

อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจะทำให้น้ำมันหอมระเหยเกิดการรวมตัวกันได้มากขึ้นและไม่กระจายในน้ำ ทั้งนี้ (ธีรศิลป และคณะ, 2550) พบว่า อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่มากเกินไปก็จะทำให้เกิดการควบแน่นของสารสกัดก่อนถึงชุดหล่อเย็นได้เช่นกัน

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำต่อความต้านทานเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำต่อความต้านทานเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ โดยใช้แบคทีเรีย *Staphylococcus aureus,* ATCC 6538 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรีย *Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบ พบว่าน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่สกัดด้วยวิธีต้มกลั่นมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่นำมาทดสอบทั้ง 2 ชนิด มีค่า Disk Diffusion Test อยู่ในช่วง 1 – 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ที่ระดับความเข้มข้นของแบคทีเรีย 10^6 CFU/ml (colony-forming units per ml)

จานเพาะเชื้อ	ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย แสดงความกว้างบริเวณโปร่งใส (clear zone) เฉลี่ย (mm)					
	Staphylococcus aureus (ATCC 6538)			*Klebsiella pneumoniae* (ATCC 4352)		
จานเพาะเชื้อที่ 1	5	6	7	4	3	1
จานเพาะเชื้อที่ 2	7	5	6	2	2	2
จานเพาะเชื้อที่ 3	10	10	5	2	2	1

จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำมันหอมระเหยกระชายดำมีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 และ แบคทีเรีย *Klebsiella pneumonia* ATCC 4352 ตามลำดับ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำจำแนกตามชนิดของแบคทีเรีย

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำจำแนกตามชนิดของแบคทีเรีย

ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย	แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ชนิดของแบคทีเรีย	ระหว่างกลุ่ม	.980	1	.980	40.786	.000
	ภายในกลุ่ม	.384	16	.024		
	รวม	1.364	17			

จากผลการวิจัยในตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำจำแนกตามชนิดของแบคทีเรีย โดยใช้ One-Way ANOVA พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากกระชายดำมีประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 และแบคทีเรีย *Klebsiella pneumonia* ATCC 4352 แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 ได้ดีกว่า *Klebsiella pneumonia* ATCC 4352

4.3 ผลการเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำและการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อน

4.3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

จากการเตรียมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำด้วยวิธีการ Emulsion ชนิดน้ำมันในน้ำ โดยใช้น้ำมันหอมระเหยกระชายดำเป็นแกน (Core) และ PLLA เป็นเปลือกหุ้ม (Shell) พบว่า ลักษณะของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลม และ

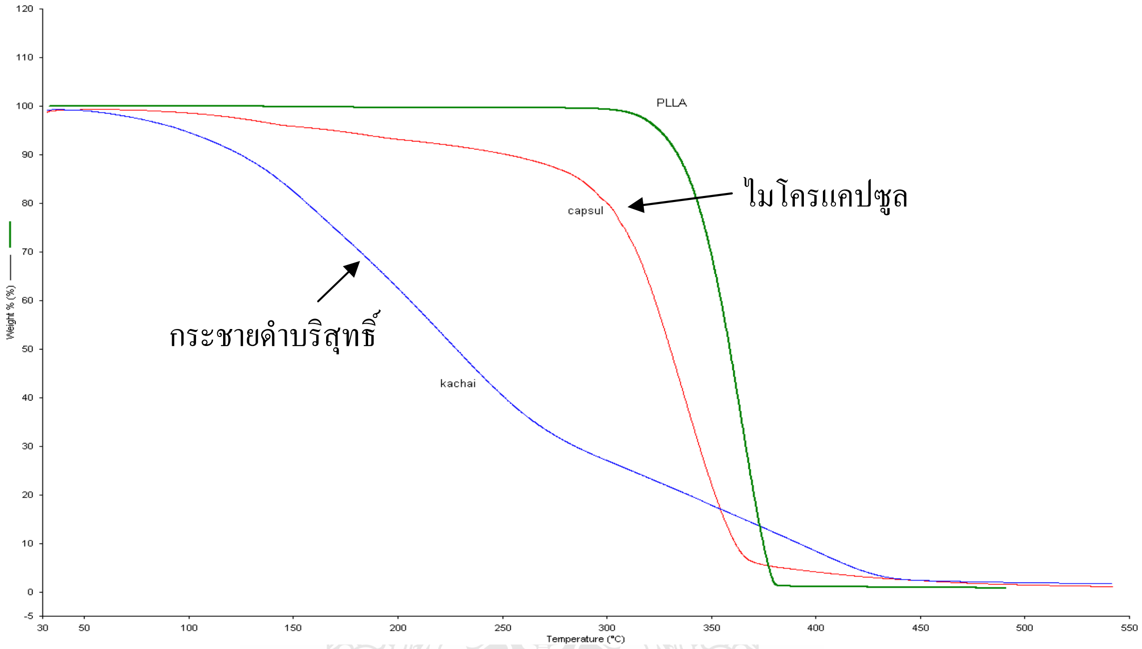
มีขนาด 10 – 150 ไมโครเมตรโดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 23.881 ไมโครเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.801 ซึ่งขนาดของอนุภาคที่วัดจากโปรแกรม Image J Version 11.2 ดังภาพที่ 4.1

ภาพที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลเลซันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำถ่ายภาพผ่านกล้อง Optical Microscope ที่กำลังขยาย 40 เท่า

จากภาพที่ 4.1 จะพบว่าขนาดของไมโครแคปซูลเลซันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ มีขนาดอนุภาคที่หลากหลายและเป็นทรงกลม ทั้งนี้เนื่องจากในการเตรียมไมโครแคปซูลระหว่างการปั่นกวนของใบพัดที่ใช้มีความไม่สม่ำเสมอกัน จึงจะทำให้เกิดการพอลิเมอร์ไลซ์ของ PLLA ที่แตกต่างกัน ซึ่งบริเวณที่ได้รับแรงเหวี่ยงมากจะเกิดการรบกวนปฏิกิริยาทำให้ได้ขนาดของแคปซูลขนาดเล็กกว่าบริเวณที่ได้รับแรงเหวี่ยงน้อย จึงทำให้ได้ขนาดแคปซูลที่เตรียมขึ้นมีขนาดที่หลากหลาย นอกจากนี้ (Voncina and Others, 2009) ที่อธิบายไว้ว่า ขนาดและลักษณะของอนุภาคไมโครแคปซูลที่เตรียมได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการปั่นขณะทำการเตรียมไมโครแคปซูล ซึ่งถ้าใช้ความเร็วรอบการการปั่นต่ำขนาดของไมโครแคปซูลที่ได้จะมีขนาดใหญ่ กล่าวคือ ความเร็วรอบในการปั่นขณะทำการเตรียมไมโครแคปซูลจะแปรผกผันกลับขนาดของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้

4.3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

เมื่อนำสารไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมทริกแอนนาไลซิส (Thermogravimetic Analysis, TGA) ดังภาพที่ 4.2 และ 4.3



ภาพที่ 4.2 ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมทริกแอนนาไลซิส รุ่น TGA 40 ยี่ห้อ Perkin Elmer

สมบัติทางความร้อนเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่สำคัญในการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนระหว่างน้ำมันหอมระเหยกระชายดำและสาร PLLA จากภาพที่ 4.2 พบว่า กราฟทางความร้อนของไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำมีการลดลงอย่างรวดเร็วของน้ำหนัก 2 ช่วง คือที่อุณหภูมิ 123 องศาเซลเซียส และ 365 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งที่อุณหภูมิ 123 องศาเซลเซียส แสดงถึงการลดลงของน้ำหนักน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่รวดเร็วจนมีน้ำหนักรวม 91.21 เปอร์เซ็น สำหรับที่อุณหภูมิ 365 องศาเซลเซียส แสดงถึงการลดลงของน้ำหนัก PLLA ที่รวดเร็วจนมีน้ำหนักรวม 4.96 เปอร์เซ็น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Pacharida and Others, 2510) ที่พบว่า PLLA จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองข้างต้น จึงทำให้เชื่อว่าไมโครแคปซูลที่

เตรียมได้มีน้ำมันหอมระเหยกระชายดำบรรจุอยู่ภายใน ถึงแม้ว่าการทดสอบสมบัติทางความร้อนของไมโครแคปซูลจะบอกถึงองค์ประกอบของสารไมโครแคปซูลที่เตรียมขึ้นได้ แต่ก็ยังไม่ชัดเจนเท่าที่ควร ซึ่งจะสังเกตได้จากที่อุณหภูมิ 123 องศาเซลเซียส เป็นการลดลงของน้ำหนักของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ แต่ก็ยังเป็นการลดลงของมวลน้ำด้วยเช่นกัน ดังนั้นเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของไมโครแคปซูลที่ละเอียดยิ่งขึ้น จึงควรมีเทคนิคชนิดอื่นเข้าร่วมวิเคราะห์ในเชิงลึกต่อไป

4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน

ผลการทดสอบหาน้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่ของผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน

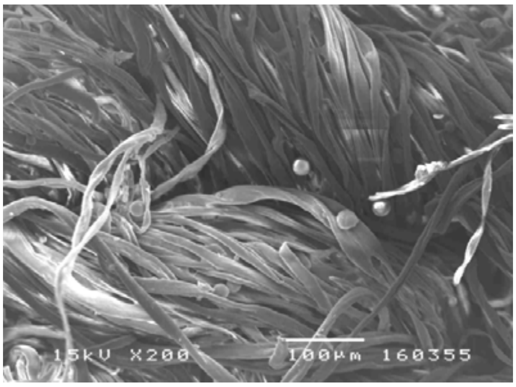
สมบัติทางกายภาพ	ผลการทดสอบ		
	ผ้าฝ้าย	ผ้าพอลิเอสเทอร์	ผ้าไนลอน
น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่	1.165 กรัม/เมตร^3	1.228 กรัม/เมตร^3	0.765 กรัม/เมตร^3

จากตารางที่ 4.3 พบว่าผ้าที่มีโครงสร้างในการถักที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของผ้า คือ น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่ โดยผ้าถักด้ายยืนซึ่งเป็นโครงสร้างของผ้าไนลอนที่ใช้ในการทดสอบมีน้ำหนักกรัมต่อตารางเมตรที่น้อยที่สุด ตามด้วยผ้าที่มีโครงสร้างในการถักด้ายพุ่งซึ่งในการทดสอบนี้คือ ผ้าฝ้าย และผ้าพอลิเอสเทอร์ ตามลำดับ

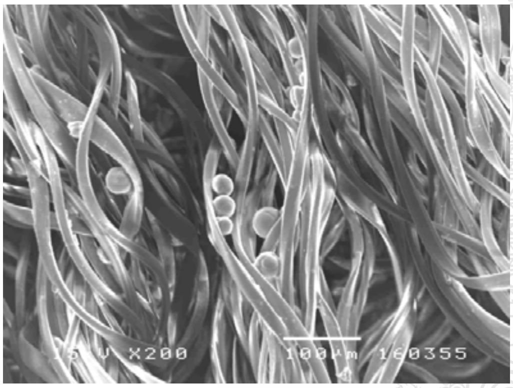
4.5 ผลการประยุกต์ใช้ไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำมาเคลือบติดบนผ้า

จากการนำไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำไปเคลือบติดบนผ้า 3 ชนิด ที่ทำการศึกษา คือ ผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน พบว่า ไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำสามารถเคลือบติดบนผ้าทั้ง 3 ชนิดได้ดังภาพที่ 4.3

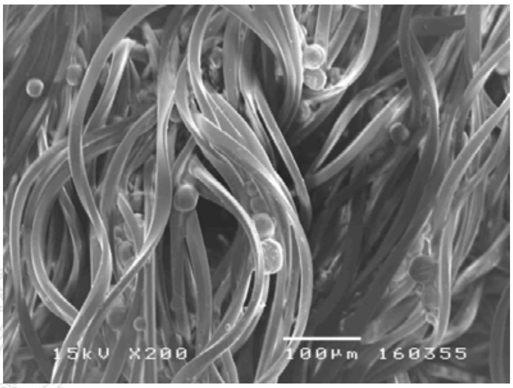
(1) ผ้าฝ้าย ที่ 10 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร



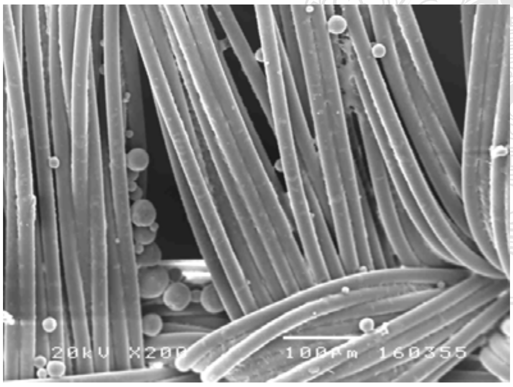
(2) ผ้าฝ้าย ที่ 20 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร



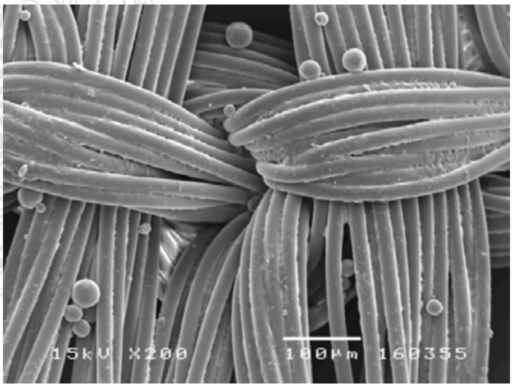
(3) ผ้าพอลิเอสเทอร์ ที่ 10 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร



(4) ผ้าพอลิเอสเทอร์ ที่ 20 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร



(5) ผ้าไนลอน ที่ 10 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร



(6) ผ้าไนลอน ที่ 20 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร

ภาพที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่เคลือบบนผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน ถ่ายภาพผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 200 เท่า

ผลจากการนำไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำไปเคลือบติดบนผ้าทั้ง 3 ชนิด ที่ทำการศึกษา คือ ผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน ที่ปริมาณไมโครแคปซูล 10 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร และ 20 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร พบว่า ไมโครแคปซูลที่เตรียมขึ้น สามารถเคลือบติดได้บนผ้าทั้ง 3 ชนิด และเมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างทางเคมีและคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำของผ้าที่มีเส้นใยทั้ง 3 ชนิดเป็นองค์ประกอบพบว่า เส้นใยฝ้ายเป็นเส้นใยเซลลูโลสโครงสร้างทางเคมีเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) ซึ่งเมื่อละลายในน้ำจะแสดงประจุลบอ่อนๆ เส้นใยไนลอนโครงสร้างทางเคมีเป็นหมู่เอมีน (NH_2^+) ซึ่งเมื่อละลายอยู่ในน้ำจะแสดงประจุบวกอ่อนๆ และเส้นใยพอลิเอสเทอร์โครงสร้างทางเคมีเป็นไฮโดรคาร์บอน (C-H) ซึ่งเมื่ออยู่ในน้ำจะไม่แสดงประจุหรือมีประจุเป็นกลาง เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด จะพบว่า ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำบนผ้า 3 ชนิด คือ ผ้าฝ้าย > ผ้าไนลอน > ผ้าพอลิเอสเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เนื่องจากน้ำเป็นตัวนำพาไมโครแคปซูลไปเกาะบนเส้นใยดังนั้นในการพิจารณาการเคลือบติดของไมโครแคปซูลบนเส้นใยจำเป็นต้องพิจารณาหมู่ฟังก์ชั่นของเส้นใยต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำซึ่งพบว่า เนื่องจาก OH Group ในเส้นใยเซลลูโลสมี OH group อยู่ 3 หมู่ ทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้ดี เนื่องจาก OH Group ดังกล่าวสามารถไปเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างไฮโดรเจนในหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) มายึดติดกับออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำ สำหรับเส้นใยไนลอนจะมีหมู่ NH 1-2 หมู่ (ในกรณี nylon 6 หรือ nylon 6,6) ซึ่งจะมีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ต่ำกว่า OH ของเซลลูโลสที่มี 3 หมู่ จึงมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่า สำหรับเส้นใยพอลิเอสเทอร์เนื่องจากเส้นใยพอลิเอสเทอร์เป็นเส้นใยในกลุ่มพอลิโอเลฟินส์ (C-H) ซึ่งในสายโซ่โมเลกุลไม่มีหมู่ฟังก์ชั่นในการยึดเกาะกับโมเลกุลของน้ำทำให้ความสามารถการดูดซึมน้ำจึงมีค่าน้อยที่สุดในชนิดของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 4.4 หมู่ฟังก์ชั่นและความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด

ชนิดเส้นใย / สมบัติ	ผ้าฝ้าย	ผ้าไนลอน	ผ้าพอลิเอสเทอร์
หมู่ฟังก์ชั่น	OH^-	NH_2^+	C-H
ความสามารถในการดูดซึมน้ำ	ผ้าฝ้าย > ผ้าไนลอน > ผ้าพอลิเอสเทอร์		

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้สารผสาน (Binder) คือ PD-87 ซึ่งมีประจุเป็นลบ ดังนั้นผ้าที่มีเส้นใยไนลอนจึงมีการเคลือบติดของไมโครแคปซูลมากที่สุด เพราะผ้าเส้นใยไนลอน มีประจุบวกอ่อนๆ โดยจะสามารถยึดเกาะกับสารผสานได้ดีที่สุด ถึงแม้ว่าผ้าเส้นใยเซลลูโลสจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดีกว่าก็ตาม ทั้งนี้ผลการทดลองนี้สามารถยืนยันได้จากผลการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียหลังจากการเคลือบไมโครแคปซูลบนผ้า ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของผ้าทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการเคลือบไมโครแคปซูลที่ระดับความเข้มข้นของแบคทีเรีย 10^6 CFU/ml (colony-forming units per ml)

ชนิดของผ้า	ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย แสดงความกว้างบริเวณโปร่งใส (clear zone) เฉลี่ย (mm)		หมายเหตุ
	Staphylococcus aureus (ATCC 6538)	*Klebsiella pneumoniae* (ATCC 4352)	
1. ผ้าฝ้าย : 10 กรัม MIC*	0.00*	0.00	*ปริมาณเชื้อรอบชิ้นส่วนตัวอย่างจางลงแต่ยังไม่เกิดบริเวณโปร่งใส (clear zone)
2. ผ้าพอลิเอสเทอร์ : 10 กรัม MIC	0.00	0.00	
3. ผ้าไนลอน : 10 กรัม MIC	2.10	Clear zone ไม่ชัด	
4. ผ้าฝ้าย : 20 กรัม MIC	0.00	0.00	
5. ผ้าพอลิเอสเทอร์ : 20 กรัม MIC	0.00	0.00	
6. ผ้าไนลอน : 20 กรัม MIC	1.90	Clear zone ไม่ชัด	

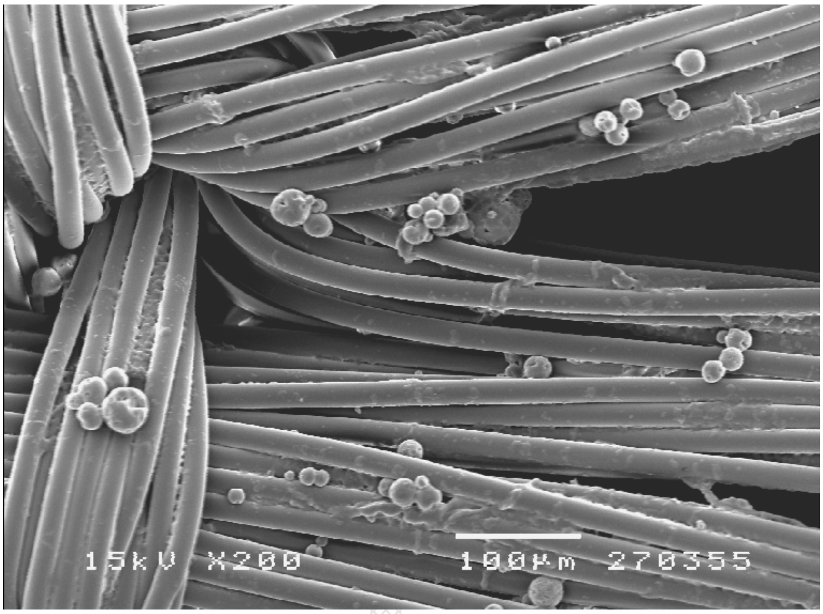
หมายเหตุ : MIC* = ไมโครแคปซูล (microcapsule), 0.00* = ไม่เกิดความกว้างบริเวณโปร่งใส (clear zone)

จากตารางที่ 4.5 จะพบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 และ *Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352 ของผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าไนลอน

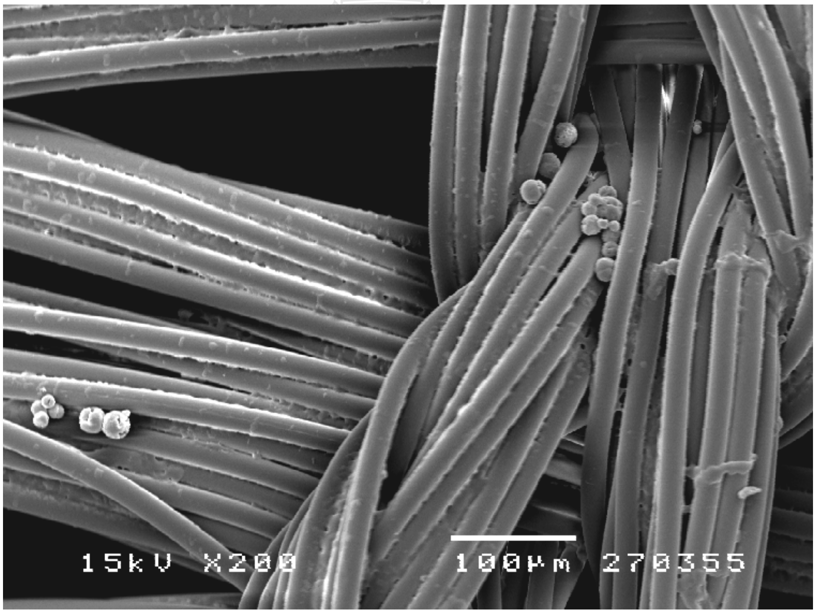
ที่ปริมาณความเข้มข้นของไมโครแคปซูลที่แตกต่างกัน พบว่า เฉพาะผ้าไนลอนมีสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย โดยจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 ได้ดีกว่าแบคทีเรีย *Klebsiella pneumonia*e ATCC 4352 ซึ่งจากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่มีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 ได้ดีกว่า *Klebsiella pneumonia*e ATCC 4352 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 นอกจากนี้ผ้าที่มีโครงสร้างในการถักที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย โดยผ้าถักด้ายยืนซึ่งเป็นโครงสร้างของผ้าไนลอนที่ใช้ในการทดสอบมีน้ำหนักกรัมต่อตารางเมตรที่น้อยที่สุดเป็นโครงสร้างผ้าถักแบบหลวม จึงทำให้เมื่อได้รับแรงขยี้ทุกเส้นใยจึงเกิดการแตกของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำได้ง่ายทำให้เกิดประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างในการถักด้ายพุ่งซึ่งในการทดสอบนี้คือ ผ้าฝ้าย และผ้าพอลิเอสเทอร์ เป็นโครงสร้างผ้าถักแบบแน่น ซึ่งมีการซ้อนทับของห่วงถักหลายชั้นเมื่อได้รับแรงขยี้บางเส้นใยทำให้ไม่เกิดการแตกของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ จึงไม่เกิดผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย อีกกรณีหนึ่งคือทำการทดสอบของแบคทีเรียที่ปริมาณความเข้มข้นลดลง

4.6 ผลการตรวจสอบความคงทนต่อการซักของไมโครแคปซูลจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่มาเคลือบติดบนผ้าไนลอน

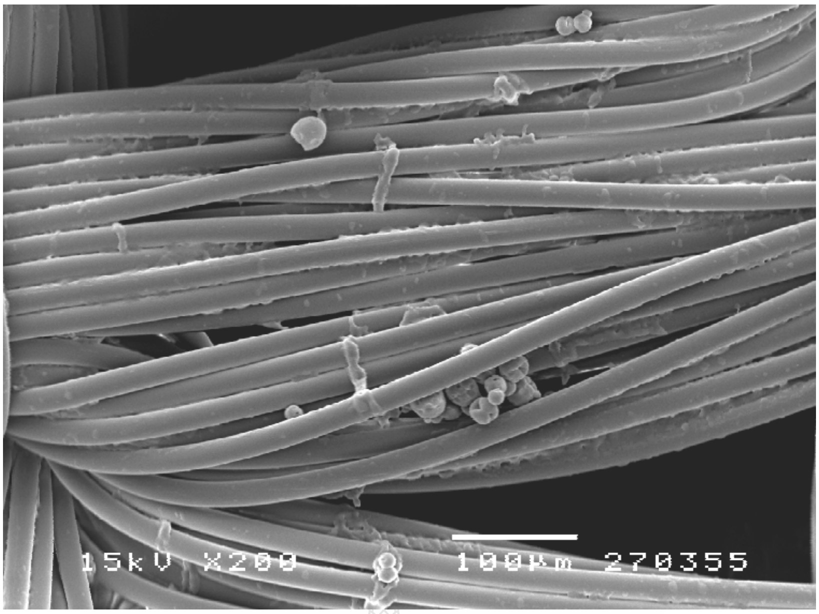
การวิเคราะห์และตรวจสอบความคงทนต่อการซักโดยวิธี AATCC 135-2004 จากนั้นวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ดังภาพที่ 4.4



(1)



(2)



(3)

ภาพที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่เคลือบบนผ้าไนลอนหลังจากผ่านการซักต่างๆ กันดังนี้ (1) ผ่านการซักที่ 1 ครั้ง (2) ผ่านการซักที่ 3 ครั้ง (3) ผ่านการซักที่ 5 ครั้ง

จากภาพที่ 4.4 จะพบว่าเมื่อสังเกตปริมาณของไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำหลังจากผ่านการซักที่ 1 ครั้ง เริ่มเห็นปริมาณไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่มีการแตกออกของเปลือกไมโครแคปซูล และเมื่อผ่านการซักที่ 3 ครั้ง และ 5 ครั้ง จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าจำนวนไมโครแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำมีจำนวนที่ลดลงมากขึ้นเรื่อยๆ และสังเกตเห็นการแตกออกของบางส่วนของเปลือกไมโครแคปซูลที่ยังหลงเหลือส่วนของเปลือกที่ยังคงติดที่เส้นใย

4.7 ผลการตัดเย็บชุดชั้นในสตรี

เนื่องจากสภาพแวดล้อมและมลภาวะรอบตัวของเรามีเชื้อโรคอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ที่ใกล้ตัวเราที่สุดก็คือแบคทีเรีย ที่มักจะสะสมอยู่ในเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคผิวหนังต่างๆ และเมื่อแบคทีเรียรวมตัวกับความเปียกชื้นจากเหงื่อก็จะทำให้เกิดปัญหากลิ่นอับ ซึ่งเป็น

สิ่งไม่พึงประสงค์ กลิ่นอับชื้นมักเกิดกับเสื้อผ้าเมื่อผ่านการสวมใส่แล้วย่อมจะเกิดคราบสกปรกต่างๆ ซึ่งก็คือ คราบโปรตีนและไขมัน ภายใต้สภาวะความชื้นและอุณหภูมิที่พอเหมาะจะเกิดขบวนการย่อยสลายโปรตีน และไขมันเหล่านั้นโดยแบคทีเรียซึ่งมีอยู่ทั่วไปในบรรยากาศ แล้วเกิดเป็นกลิ่นเหม็นอับชื้น ดังนั้นการพัฒนาชุดชั้นในสตรี ซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสใกล้ชิดร่างกายที่สุดให้สามารถยับยั้งแบคทีเรีย ลดกลิ่นอับชื้นและการเกิดโรคผิวหนัง จึงมีความน่าสนใจเนื่องจากผ้าชุดชั้นในการตัดเย็บมักประกอบด้วยผ้าหลายชั้น และเป็นผ้าที่มีความหนา การใช้งานเรื่องการระบายความชื้นจะลดลง เป็นสาเหตุของการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ศึกษาการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำลงบนผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกันที่ผ่านการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ มีวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ
2. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ
3. ศึกษาการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำลงบนผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกัน
4. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผ้า 3 ชนิดที่แตกต่างกันที่ผ่านการเคลือบไมโครเอนแคปซูลเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ
5. ผลิตชุดชั้นในสตรีต้นแบบ

โดยในการวิจัยครั้งนี้มีสรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำด้วยวิธีการต้มกลั่น โดยทำกาสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำจากกระชายดำในส่วนเหง้าจำนวน 250 กิโลกรัม จะได้น้ำมันหอมระเหยกระชายดำจำนวน 5 มิลลิลิตร.

การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำต่อความต้านทานแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรีย *Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบ ตามลำดับ พบว่าน้ำมันหอมระเหย

กระชายดำที่สกัดด้วยวิธีต้มกลั่นมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่นำมาทดสอบทั้ง 2 ชนิด โดยมีค่า Disk Diffusion Test อยู่ในช่วง 1 – 10 มิลลิเมตร.

จากการทดสอบทางสถิติของน้ำมันหอมระเหยจากกระชายดำพบว่า มีประสิทธิภาพต่อการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 และแบคทีเรีย *Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352 แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 ได้ดีกว่าแบคทีเรีย *Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352

ไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่เตรียมได้มีลักษณะทรงกลม มีขนาดอนุภาคระหว่าง 10 – 150 ไมโครเมตร โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 23.881 ไมโครเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.801

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน พบว่า กราฟทางความร้อนของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยกระชายดำมีการลดลงอย่างรวดเร็วของน้ำหนัก 2 ช่วง คือที่อุณหภูมิ 123 องศาเซลเซียส และ 365 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งที่อุณหภูมิ 123 องศาเซลเซียส แสดงถึงการลดลงของน้ำหนักน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่รวดเร็วจนมีน้ำหนักรวม 91.21 เปอร์เซนต์ สำหรับที่อุณหภูมิ 365 องศาเซลเซียส แสดงถึงการลดลงของน้ำหนัก PLLA ที่รวดเร็วจนมีน้ำหนักรวม 4.96 เปอร์เซนต์

ผ้าที่มีโครงสร้างในการถักที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของผ้า คือ น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่ โดยผ้าถักด้ายยืนซึ่งเป็นโครงสร้างของผ้าไนลอนที่ใช้ในการทดสอบมีน้ำหนักกรัมต่อตารางเมตรที่น้อยที่สุด ตามด้วยผ้าที่มีโครงสร้างในการถักด้ายพุ่งซึ่งในการทดสอบนี้คือ ผ้าฝ้าย และผ้าพอลิเอสเทอร์ ตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 และแบคทีเรีย *Klebsiella pneumonia*e ATCC 4352 พบว่า เฉพาะผ้าไนลอน มีสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียดีที่สุด โดยจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 ได้ดีกว่าแบคทีเรีย *Klebsiella pneumonia*e ATCC 4352 ซึ่งจากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำที่มีความสามารถในการยับยั้ง

แบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 ได้ดีกว่าแบคทีเรีย *Klebsiella pneumonia*e ATCC อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 นอกจากนี้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพโครงสร้างของผ้าไนลอนที่ใช้ในการทดสอบมีน้ำหนักกรัมต่อตารางเมตรที่น้อยที่สุดเป็นโครงสร้างผ้าถักแบบหลวม จึงทำให้เกิดประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียดีที่สุด

5.2 การอภิปรายผล

การศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากระชายดำ โดยใช้วิธีโดยวิธีการต้มกลั่น (Water Distillation หรือ Hydrodistillation) ถือเป็นวิธีที่เหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธีรศิลป์ และคณะ (2550) เรื่องการศึกษาการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากขิงด้วยเครื่องกลั่นต้นแบบ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากขิง โดยได้ผลการศึกษาพบว่าขิงสดฝานจะให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย ที่สูงและสภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 10 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นวิธีการสกัดเดียวกัน แต่ต้องเพิ่มการทดลองการลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ระดับใดที่เหมาะสมกับกระชายดำ

การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยกระชายดำต่อความต้านทานแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรีย *Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ฉาตยา ธนะศิริวัฒนา และคณะ (2530) เรื่องการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านจุลชีพของน้ำมันหอมระเหยจากเปราะหอม กระชายดำ และเฒ่าหนังแห้ง พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากเปราะหอม กระชายดำ และเฒ่าหนังแห้ง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ได้ดี ในขณะที่น้ำมันหอมระเหยจากกระชายดำ และเฒ่าหนังแห้ง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *P.aeruginosa* และน้ำมันหอมระเหยจากกระชายดำ และเฒ่าหนังแห้ง สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *B.subtilis* ซึ่งได้ผลการทดลองในแนวทางเดียวกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

เพื่อให้ได้ขนาดไมโครแคปซูลที่มีขนาดเท่าๆ กัน ควรศึกษาการปั่นกวนของใบพัดจากเครื่อง Homoginizer และศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียชนิดอื่นๆ เพิ่มเติม

5.3.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งต่อไป

เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่มากขึ้นควรศึกษาการทดลองการลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ระดับใดจึงจะเหมาะสมกับกระชายดำ นอกจากนี้เพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในไมโครแคปซูลที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นควรมีการนำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gel permeation chromatography (GPC) เข้าร่วม และสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอควรมีการศึกษาการใช้ชนิดของ Binder ที่หลากหลาย เพื่อประสิทธิภาพในการเคลือบติดบนเนื้อผ้า

บรรณานุกรม

กนกวรรณ แสนจันทร์. 2545. **อิทธิพลของไนโตรเจนและโปตัสเซียมที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและน้ำมันหอมระเหยของกระชายดำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

กฤษณะ พจน์เสถียร. 2549. **สมบัติเชิงกลของพลาสติกโคพอลิเมอร์พอลิสไตรีนกับยางธรรมชาติ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กุลยา จันทร์อรุณ, กฤษตยาพร เนียมทอง และ สุดาทิพย์ ช่อดาว. 2540. "การศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบสมุนไพรกระชายดำ," **รายงานการวิจัย.** ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม.

จำรัส เซ็นนิล และ พิสสม มะสิสุวรรณ. 2546. **น้ำมันหอมระเหยกับศาสตร์ที่ควรรู้.** กรุงเทพมหานคร: มรดกสยาม.

จำรัส เซ็นนิล และ มนตรี ตรีชารี. 2545. **กระชายดำ สมุนไพรมหัศจรรย์.** กรุงเทพมหานคร: เคพีเอ็ม มีเดียสยาม.

จีระนันท์ ยิ่งยงวัฒนกิจ. 2551. "จำหน่ายต้นพันธ์กระชายดำ หัวสดกระชายดำ หัวแห้งกระชายดำ ชาชงกระชายดำ," [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: **http://th.88db.com/Home-Services/Gardening-Landscaping/ad-323825/,** [สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2555]

ชวลิต สิทธิสมบัติ. 2541. **เครื่องเทศและน้ำมันหอมระเหย.** ภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ฉาตยา ธนะศิริวัฒนา สุนิดา ณ ตะกั่วทุ่ง และ ธนนันต์ ฐานะจาโร. 2541. "องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านจุลชีพของน้ำมันหอมระเหยจากเปราะหอมกระชายดำ และเฒ่าหนังแห้ง," **โครงการพิเศษ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.** คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีรศิลป์ ชมแก้ว และคณะ. 2550. "การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากขิง," **การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17**. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นบสร วันชาญเวช. 2548. "สมุนไพรมหัศจรรย์ "โสมเมืองไทย" บำรุงร่างกายบำรุงกำลัง," **สมุนไพรเพื่อสุขภาพ.** 5, 60 (ธันวาคม): 91-94.

ประเชิญ สร้อยทองคำ และสุเทพ เฉียบแหลม. 2542. "กระชายดำ สมุนไพรไทยสู้ไวอะกร้า," **วนสาร.** 57, 2: 134-138.

ปริณดา อุปธารปรีชา และ ดาขวัญ โคศิริ. 2546. **การเตรียมน้ำมันมะกรูด โดยวิธีไมโครเอนแคปซูเลชัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเภสัชศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

พรรณกร อนินท์ภัคนันทิน และณัฐฑา ภูมะธน. 2553. "การตกแต่งสาเร็จผ้าฝ้ายด้วยน้ำมันขมิ้นชันชนิดไมโครแคปซูล," ใน **บทคัดย่อปริญญานิพนธ์ และปัญหาพิเศษ** คณะวิทยาศาสตร์.

พวงเพ็ญ ศิริรักษ์. 2532. "กระชายและเปราะ," **รายงานประจำปี 2531.** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา: อมรินทร์พริ้นติ้งกรุ๊ฟ.

พิชัญญา ชาญชัย, วรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร และ จิตศิริ ราชตนะพันธุ์. 2551. **การต้านจุลินทรีย์ของไส้บรรจุที่แช่น้ำมันหอมระเหยเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์ในอาหาร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัทราวดี จันทร์แจ่ม และอรุณศรี ปรีเปรม. 2547. "ปัจจัยที่มีผลต่อการทำไมโครเอนแคปซูลของสารสกัดขมิ้น," **วารสารวิจัย มข.9(1)**. (มกราคม-มิถุนายน 2547): 39-47.

ยุพา ชาญวิกรัย. 2550. "ฤทธิ์ของสารสกัดจากกระชายดำและข่ามีผลเหนี่ยวนำให้เซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว (U937 cells) เกิดการตายแบบอะพอพโทสิสของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาเทคนิคการแพทย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่," **วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่.** 40, 2 (พฤษภาคม 2550): 139-140.

รุ้งกินน้ำ (นามแฝง). 2544. "ธุรกิจกระชายดำ," **วารสารสมุนไพร**. 1, 10: 41-44.

วิชชุลดา ก่อนกำเนิด. 2552. **การทำให้บริสุทธิ์และลักษณะสมบัติของเลคตินจากเหง้าของกระชายดำ *Kaempferia parviflora* Wall Ex. Baker.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชัย โชควิวัฒน และ คณะ. 2548. "สมุนไพรก้าวไกลสู่สากลม," ใน **เอกสารกรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก.** กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ ร.ส.พ.

ศันสนีย์ เติมธนาสมบัติ. "ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ Candida albicans ของสารสกัดจากพืชสมุนไพรไทย," [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:**http://www.study.vcharkarn.com/project/upload/0/260_1.pdf**, 2541. [สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2551]

ศิวชนม์ ยาใจ และ ศันสนีย์ ธรรมวิมล. 2545. **การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพของสารสกัดกระชาย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ศิวพร อินทร์ประสิทธิ์. 2546. **อิทธิพลของร่อเงาที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของกระชายดำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สถาบันการแพทย์แผนไทย. 2550. “กระชายดำ,”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา **http://ittm.dtam.moph.go.th/product_champion/herb1.htm** [25 มิถุนายน 2550]

สายัญ พันธ์สมบูรณ์. 2550. **ไมโครเอนแคปซูเลชันและการปลดปล่อยแบบควบคุมของเมนทอลด้วยไคโตซาน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานความปลอดภัยอาหาร. 2554. “Klebsiella,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: **http://www.sahafoodsf.com/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=7&Itemid=29&limitstart=18,** [สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2555]

สุปราณี จอมแจ้ง. 2551. **ปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากเหง้ากระชายดำ (*Kaempferia parviflora* Wall. *ex* Bak.) และขมิ้นดำ (*Curcuma aeruginosa* Roxb.) (Zingiberaceae) ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ชีววิทยา). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อดิศร สังข์คร. 2549. **ความสัมพันธ์ระหว่างคุณค่าตราสินค้ากับพฤติกรรมการซื้อชุดชั้นในสตรีของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล. 2554. “พอลิแลกติกแอซิด: พอลิเอสเทอร์จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้,” **วิศวกรรมสาร มก.** 24, 77 (กรกฎาคม – กันยายน): 99-110

อรนุช เกษประเสริฐ, หรรษา จักรพันธุ์ ณ อยุธยา และ วรกิจ ห้องแซง. 2530. “ศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาในการเจริญเติบโตของขมิ้น 4 ชนิด,” ใน **กลุ่มงานพฤษชีพการวิทยากองพฤกษศาสตร์และวัชพืช** กรมวิชาการ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อรอุมา รักษิตานนท์. 2548. **พฤติกรรมการเลือกซื้อชุดชั้นในของผู้หญิงไทยในเขตกรุงเทพมหานคร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

อุทุมพร ทองอินทร์. 2544. **การศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อรา Cladosporium cladusporioides และเชื้อแบคทีเรีย Serratia marcescens ของสารสกัดจากกระชายฟ้าทะลายโจร มะนาวแป้น และมะนาวน้ำหอม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Ankit, K. Pramod, K. S. and Banik, A. 2011. "Microencapsulation as a novel drug delivery system**,"** **INTERNATIONALE PHARMACEUTICA SCIENCIA.** (Jan-March): 1-7.

Aurus, R. Harte, B. and Selke, S. 2004 "An overview of polylactides as packaging materials," **Macromolecular Bioscience**, 4: 835-864.

Bauer, AW. WMM. Kirby. JC. Sherris. and M, Truck. 1966. "Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method," **American Journal of Clinical Pathology**. 45: 493-496.

Lian-Yan Wang a, Yong-Hong Gub, Qing-Zhu Zhoua, Guang-Hai Maa, Yin-Hua Wan a, Zhi-Guo Sua. 2006. "Preparation and characterization of uniform-sized chitosan microspheres containing insulin by membrane emulsification and a two-step solidification process," **Colloids and surfaces. B, Biointerfaces**. 50: 126.

Lim, L.T. Aurus, R. and Rubino, M. (2008) "Processing technologies for poly(lactic acid," **Progress in Polymer Science**. 33: 820-852.

Pacharida, C. Pittadaporn, P. Puengrawee, N. Krisana, S. and Kawee, S. 2010. "Preparation of Hydrophobic Chitosan Using ComplexationMethod for PLA/Chitosan Blend," **Journal of Metals, Materials and Minerals.** 20: 41-44.

Reeve, Ross. M.S.F. and Brain, K.R. 1977. "An introduction to Phytophamacy" **London: Pithman medical Publishing Co.Ltd**. 185-176.

Voncina, B. Kreft, O. Kokol, V. and Chen, W.T. 2009. "Encapsulation of Rosemary Oil in Ethylcellulose Microcapsules," **Textile and Polymer Journal**. 1: 13-19.

Sirirugsa, P. 1992. "Taxonomy of the genus Kaempferia (Zingiberaceae) in Thailand. Thai Forest Bulletin (Botany)," **The Forest Herbarium**. Bangkok: Royal Forest Department. 19: 1-15.

Sopa, K. Supinya, T. and Sanan, S. 2008. "**Antimicrobial activity of the ethanol extract and compounds from the rhizomes of *Kaempferia parviflora*.**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หนังสือขอความอนุเคราะห์นักศึกษาเข้าศึกษาและทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ศธ 0578.04/ 1256

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

21 กันยายน 2554

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษา

เรียน ดร.วุฒิชัย วิสุทธิพรต

ด้วยนางสาวจิราภรณ์ คชสง่า นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กำลังศึกษาค้นคว้าวิทยานิพนธ์ ในหัวข้อ "การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยไมโครเอนแคปซูเลชั่นจากสารสกัดกระชายดำ (The Development of Antibacterial Activity by Brassiere Microencapsulation from Kaempferia Parviflora) เพื่อให้นักศึกษาได้รับความรู้อย่างเต็มที่ จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์ท่านให้คำปรึกษา เพื่อที่นักศึกษาจะได้นำไปประยุกต์และปรับปรุงวิทยานิพนธ์ต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรานี พรรณวิเชียร)
รักษาราชการแทนคณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

สำนักงานคณบดี
โทร. 0- 2549- 3161
โทรสาร. 0 -2577 -2358

ศธ 0578.04/ 0136

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

๗ กุมภาพันธ์ 2555

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์นักศึกษาเข้าศึกษาดูงาน

เรียน ดร.จงกชพร พินิจอักษร กรรมการผู้จัดการ โรงเรียนน้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพ

ด้วยนางสาวจิราภรณ์ คชสง่า นักศึกษาปริญญาโท คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้ทำวิทยานิพนธ์ หัวข้อเรื่อง “ชุดชั้นในต้านแบคทีเรียด้วยไมโครเอ็นแคปซูเลชั่นจากสารสกัดกระชายดำ" ในการนี้ เพื่อให้การดำเนินการวิจัยของนักศึกษาเป็นไปด้วยความเรียบร้อย จึงขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาเข้าศึกษาดูงานขั้นตอนการสกัดน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ณ หน่วยงานของท่าน ในวันพุธที่ 8 กุมภาพันธ์ 2555

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่าน และขอบขอบคุณ มา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(นางสาวจีรวัฒน์ เหรียญอารีย์)
คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

สำนักงานคณบดี
โทร.0-2549-3161
โทรสาร. 0-2577-2358

ศธ 0578.04/ 0267

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

๑๗ กุมภาพันธ์ 2555

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ซื้อเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ

เรียน ผู้อำนวยการฝ่ายวิทยาศาสตร์ชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ด้วยนางสาวจิราภรณ์ คชสง่า นักศึกษาปริญญาโท ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ กลุ่มวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยนวัตกรรมไมโครเอนแคปซูเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ ซึ่งขณะนี้ได้ดำเนินการวิจัยไปบางส่วนแล้ว แต่ขณะนี้ยังคงขาดเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ดังนั้นเพื่อให้งานวิจัยดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย จึงขอความอนุเคราะห์ซื้อเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ชื่อ Klebsiella pnenmoniae จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(นางสาวจีรวัฒน์ เหรียญอารีย์)
คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

สำนักงานคณบดี
โทร.0-2549-3161
โทรสาร. 0-2577-2358

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โทร.02-549-3153

ที่ ศธ 0578.04/ 0419 วันที่ ๑๖ มีนาคม 2555

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ทดสอบเชื้อแบคทีเรีย

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ด้วยนางสาวจิราภรณ์ คชสง่า นักศึกษาปริญญาโท ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ กลุ่มวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การพัฒนาชุดชั้นในสตรียับยั้งแบคทีเรียด้วยนวัตกรรมไมโครเอนแคปซูเลชันจากน้ำมันหอมระเหยกระชายดำ" โดยมี ดร.สุภา จุฬคุปต์ เป็นประธานกรรมการที่ปรึกษา เพื่อให้การดำเนินการวิจัยของนักศึกษาเป็นไปด้วยความเรียบร้อย จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านอนุญาตให้นักศึกษารายดังกล่าว ใช้เครื่องมือในการทดลองการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ จากศูนย์เครื่องมือของหน่วยงานของท่าน ทั้งนี้ได้ติดต่อกับเจ้าหน้าที่ไว้เบื้องต้นแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

(นางสาวจีรวัฒน์ เหรียญอารีย์)
คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

ยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ภาคผนวก ข

เอกสารการตอบรับการเผยแพร่ผลงาน

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (RMUTP), Bangkok, Thailand

Technical University of Liberec (TUL), Liberec, Czech Republic

The 4th RMUTP International Conference: Textiles and Fashion

3rd and 4th July 2012

Bangkok, Thailand

February 27, 2012
Bangkok, Thailand

Dear Ms. Jiraporn Koatsaha,

I am pleased to inform you that your presentation has been accepted by Scientific Committee as follows:

Authors: Jiraporn Koatsaha, Supa Chulakup, Sakorn Chonsakorn, Siriwan Teepoo and Rattanaphol Mongkholrattanasit

Title: Antibacterial Activity by *Kaempferia Parviflora* Micoroencapsulation from and Applications for Textile Industry

Presentation: Poster

The "4th RMUTP International Conference: Textiles and Fashion" will be held in Pullman Bangkok King Power, Bangkok, Thailand from July 3rd to July 4th, 2012.

We hereby extend our cordial invitation to your to join us in this prominent event. You are encouraged to visit the "4th RMUTP International Conference: Textiles and Fashion" website http://textileconference.rmutp.ac.th/

We thank you for the support and look forward to welcome you in Bangkok, Thailand.

Sincerely yours

Asst. Prof. Supatra Kosaiyakanont

Vice-President for Academic and International Affairs
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, (RMUTP)
399 Samsen Rd.,Vachira Phayaban, Dusit, Bangkok 10300 THAILAND
Email: supatra.k@live.rmutp.ac.th, supatra_ko@hotmail.com
Tel: +66 (0) 2280 7918 Mobile: +66 (0) 89890 3971 Fax: +66 (0) 2628 5210

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (RMUTP), Bangkok, Thailand

Technical University of Liberec (TUL), Liberec, Czech Republic

The 4th RMUTP International Conference: Textiles and Fashion

3rd and 4th July 2012

Bangkok, Thailand

Dear Jiraporn Koatsaha

Thank you for sending me full paper. We will inform you about acceptation for publish full paper as RMUTP Research Journal after 31 st May 2012. We are looking forward to welcome you at The 4 th RMUTP International Conference: Textiles & Fashion 2012 in Bangkok, Thailand. If you have further enquiries, please do not hesitate to let me know.

Best regards

Member of organizing committee

Mr.Rattanaphol Mongkholrattanasit; Ph.D.

Email: rattanaphol.m@rmutp.ac.th

Department of Textile Chemistry Technology

Faculty of Industrial Textile and Fashion Design

RajamangalaUniversity of Technology Phra Nakon

517, Nakhonsawan Road, Kwang Suan Chitladda,
Dusit District, Bangkok,10300 Thailand
Mobile +66(0)874843723
Land line +66(0)26299152-7 Ext.3003
Fax +66(0)22823718

ภาคผนวก ค

รายงานผลการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันวิจัยเคมี เดิม)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก (กม.13) ธัญบุรี ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ + 66 (0) 2549 3534,40 โทรสาร + 66 (0) 2549 3522

รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบ

เลขที่ 55/14 (รหัสงาน BT55/06) **สาขา เทคโนโลยีชีวภาพ**

1. **ชื่อลูกค้า** นางสาวจิราภรณ์ คชสง่า

   ที่อยู่ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

   โทรศัพท์ 08-9106-7425 **โทรสาร** -

2. **รายละเอียดลักษณะ สภาพ และการบ่งชี้ ของตัวอย่างที่ทดสอบ**

   น้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

3. **รับตัวอย่าง** วันที่ 20 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2555

4. **ทำการทดสอบ** วันที่ 21 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2555

5. **ผลการวิเคราะห์ทดสอบ**

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ Clear Zone (cm)	วิธีที่ใช้	หมายเหตุ
1. เชื้อ *Staphylococcus aureus* (6.4×10^{6} CFU/ml)	0.68		

ลงนาม..
(นางสาวกนกวรรณ ฤดีสิริศักดิ์)
หัวหน้างานด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

ลงนาม..
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรินช พงษ์สวัสดิ์))
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. รายงานนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ทดสอบเท่านั้น
2. รายงานผลการทดสอบ ต้องไม่ถูกสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน ยกเว้นทำทั้งฉบับโดยได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ
3. ช่องหมายเหตุ ใช้ระบุ มาตรฐาน ข้อกำหนด detection limit หรือข้อมูลอื่นๆ ตามที่ลูกค้าร้องขอ
4. * เป็นรายการวิเคราะห์ที่ไม่รับรองโดย สมอ. และ/หรือ สรอ.
5. N.D. หมายถึง ตรวจไม่พบ , LOD หมายถึง ขีดจำกัดวิธีการวิเคราะห์

Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Rungsit – Nakornnayok (km.13) Rd., Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND.
Tel. + 66 (0) 2549 3534, 40 Fax. + 66 (0) 2549 3522

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันวิจัยเคมี เดิม)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก (กม.13) ธัญบุรี ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ + 66 (0) 2549 3534,40 โทรสาร + 66 (0) 2549 3522

รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบ

เลขที่ 55/08 (รหัสงาน BT55/04) **สาขา เทคโนโลยีชีวภาพ**

1. **ชื่อลูกค้า** นางสาวจิราภรณ์ คชสง่า

   ที่อยู่ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

   โทรศัพท์ 08-9106-7425 **โทรสาร** -

2. **รายละเอียดลักษณะ สภาพ และการบ่งชี้ ของตัวอย่างที่ทดสอบ**

   น้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

3. **รับตัวอย่าง** วันที่ 28 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555
4. **ทำการทดสอบ** วันที่ 28 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555
5. **ผลการวิเคราะห์ทดสอบ**

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ Clear Zone (cm)	วิธีที่ใช้	หมายเหตุ
1. เชื้อ *Klebsiella pneumoniae* ($5.30x10^6$ CFU/ml)	0.21		

ลงนาม...
(นางสาวกนกวรรณ ฤดีสิริศักดิ์)
หัวหน้างานด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

ลงนาม...
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงศ์ วรเศรษฐพงศ์)
รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน
รักษาราชการแทน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. รายงานนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ทดสอบเท่านั้น
2. รายงานผลการทดสอบ ต้องไม่ถูกสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน ยกเว้นทำทั้งฉบับโดยได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ
3. ช่องหมายเหตุ ใช้ระบุ มาตรฐาน ข้อกำหนด detection limit หรือข้อมูลอื่นๆ ตามที่ลูกค้าร้องขอ
4. * เป็นรายการวิเคราะห์ที่ไม่รับรองโดย สมอ. และ/หรือ สรอ.
5. N.D. หมายถึง ตรวจไม่พบ , LOD หมายถึง ขีดจำกัดวิธีการวิเคราะห์

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
สถาบันวิจัยเคมี

WORK SHEET การตรวจหา TOTAL PLATE COUNT (TPC)

วันที่วิเคราะห์ 21 มี.ค. 55 Media Lot No. ....

ลำดับ	หมายเลขวิเคราะห์	ระดับการเจือจาง						ค่าที่อ่านได้	ผลประเมิน	หมายเหตุ
	ปริมาณเชื้อเริ่มต้น	10^{0}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	(CFU/ml)	ผ่าน/ไม่ผ่าน	
1	S aureus	-	-	-	7300, 7300	60, 68	6, 32	64×10^{6}		
2	K pneumoniae	-	-	-	7300, 7300	44, 36	5, 1	40×10^{6}		

หมายเหตุ : NC = Not Check F = fail SP = Spreader TNTC = Too Numerous To Count

ลงชื่อ (ผู้ตรวจสอบ) ....
([illegible])
วันที่ 27 มี.ค. 55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
สถาบันวิจัย[illegible]

WORK SHEET การตรวจหา TOTAL PLATE COUNT (TPC)

วันที่วิเคราะห์ 21 มี.ค. 55 Media Lot No. S. aureus (6.4 x 10^6 CFU/ml) $\bar{x}$ clearzone (mm)

ลำดับ	หมายเลขวิเคราะห์	[illegible]ซ้ำที่			~~ระดับการเจือจาง~~ ขนาด clear zone (mm)			~~ค่าที่อ่านได้ (CFU/ml)~~	ผลประเมิน ผ่าน/ไม่ผ่าน	หมายเหตุ
		~~10^0~~ 1	~~10^{-1}~~ 2	~~10^{-2}~~ 3	~~10^{-3}~~	~~10^{-4}~~	~~10^{-5}~~			
1.	BT 55/02 (น้ำมันหอมระเหย [illegible])	5, 6, 7	7, 5, 6	10, 10, 5				6.8		

หมายเหตุ : NC = Not Check F = fail SP = Spreader TNTC = Too Numerous To Count

ลงชื่อ (ผู้ตรวจสอบ) [signature]
(เยาวลักษณ์ [illegible])
วันที่ 23 มี.ค. 55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
สถาบันวิจัยเคมี

WORK SHEET การตรวจหา TOTAL PLATE COUNT (TPC)

วันที่วิเคราะห์ 28 กพ.55 (BT55/04) Media Lot No. Klepsiella pneumoniae

ลำดับ	หมายเลขวิเคราะห์ ปริมาณเชื้อเริ่มต้น	ระดับการเจือจาง 10^{1}	10^{2}		10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	ค่าที่อ่านได้ (CFU/ml)	ผลประเมิน ผ่าน/ไม่ผ่าน	หมายเหตุ
1	Klepsiella pneumoniae	–	–	–	7300, 7300	7300, 7300	48, 58	5.3×10^{6}		
ทดสอบการยับยั้งเชื้อ		ขนาด clear zone (mm)			$\bar{x}$ clear zone (mm)					
		1	2	3						
1.	BT 55/04 (จริงในหอประเพ กรรมเก่า)	4, 3, 1	2, 2, 2	2, 2, 1	2.1					

หมายเหตุ : NC = Not Check F = fail SP = Spreader TNTC = Too Numerous To Count

ลงชื่อ (ผู้ตรวจสอบ) ....
(..........)
วันที่ 2 / มี.ค. / 55

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันวิจัยเคมี เดิม)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก (กม.13) ธัญบุรี ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ + 66 (0) 2549 3534,40 โทรสาร + 66 (0) 2549 3522

รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบ

เลขที่ 55/13 (รหัสงาน BT55/05) **สาขา เทคโนโลยีชีวภาพ**

1. **ชื่อลูกค้า** นางสาวจิราภรณ์ คชสง่า

ที่อยู่ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

โทรศัพท์ 08-9106-7425 **โทรสาร** -

2. **รายละเอียดลักษณะ สภาพ และการบ่งชี้ ของตัวอย่างที่ทดสอบ**

ผ้าใช้ Microcapsul

3. **รับตัวอย่าง** วันที่ 20 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2555

4. **ทำการทดสอบ** วันที่ 21 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2555

5. **ผลการวิเคราะห์ทดสอบ**

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ Clear zone (cm)		วิธีที่ใช้	หมายเหตุ
	Staphylococcus aureus ($6.4x10^6$ CFU/ml)	*Klebsiella pneumonia* ($4.0x10^6$ CFU/ml)		
1. cotton : 10g Microcapsul	ไม่เกิด Clear zone	ไม่เกิด Clear zone		* ปริมาณเชื้อรอบชิ้นส่วนตัวอย่างจางลง แต่ยังไม่เกิด Clear zone
2. polyester :10g Microcapsul	ไม่เกิด Clear zone	ไม่เกิด Clear zone		
3. nylon :10g Microcapsul	0.21	Clear zone ไม่ชัด*		
4. cotton : 20g Microcapsul	ไม่เกิด Clear zone	ไม่เกิด Clear zone		
5. polyester : 20g Microcapsul	ไม่เกิด Clear zone	ไม่เกิด Clear zone		
6. nylon : 20g Microcapsul	0.19	Clear zone ไม่ชัด*		

ลงนาม.. (นางสาวกนกวรรณ ฤดีสิริศักดิ์) หัวหน้างานด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

ลงนาม.. (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิวินข พงษ์สวัสดิ์) คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. รายงานนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ทดสอบเท่านั้น
2. รายงานผลการทดสอบ ต้องไม่ถูกสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน ยกเว้นทำทั้งฉบับโดยได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ
3. ช่องหมายเหตุ ใช้ระบุ มาตรฐาน ข้อกำหนด detection limit หรือข้อมูลอื่นๆ ตามที่ลูกค้าร้องขอ
4. * เป็นรายการวิเคราะห์ที่ไม่รับรองโดย สมอ. และ/หรือ สรอ.
5. N.D. หมายถึง ตรวจไม่พบ , LOD หมายถึง ขีดจำกัดวิธีการวิเคราะห์

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
สถาบันวิจัยเคมี

WORK SHEET การตรวจหา TOTAL PLATE COUNT (TPC)

วันที่วิเคราะห์ 21 มี.ค. 55 (BT 55/05) Media Lot No. S. aureus (6.4 x 10^6 cfu/ml) $\bar{x}$ clear zone (mm)

ลำดับ	หมายเลขวิเคราะห์	การยับยั้งเชื้อ			~~ระดับการเจือจาง~~ ขนาด Clear zone (mm)			~~ค่าที่อ่านได้~~ (CFU/ml)	ผลประเมิน ผ่าน/ไม่ผ่าน	หมายเหตุ
		~~10~~ 1	~~10~~ 2	~~10~~ 3	10^{-3}	~~10^{-4}~~	10^{-5}			
1	BT55/05 (1)	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0				0		
2	" (2)	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0				0		
3	" (3)	0.3 0.2, 0.1	0.3 0.3, 0.2	0.2, 0.2, 0.1				2.1		
4	" (4)	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0				0		
5	" (5)	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0				0		
6	" (6)	0.1, 0.1, 0.2	0.3 0.2, 0.1	0.3, 0.3, 0.1				1.9		

หมายเหตุ : NC = Not Check F = fail SP = Spreader TNTC = Too Numerous To Count

ลงชื่อ (ผู้ตรวจสอบ) ....
(เขษมศานต์ ฯลฯ)
วันที่ 23 มี.ค. 55

ภาคผนวก ง

มาตรฐานการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

AATCC Test Method 147-2004

Antibacterial Activity Assessment of Textile Materials: Parallel Streak Method

Developed in 1976 by AATCC Committee RA31; reaffirmed 1977, 1982, 1998; editorially revised 1980, 1982, 1983, 1986; revised 1987, 1988 (with title change), 1993; editorially revised and reaffirmed 2004.

Foreword

The Parallel Streak Method has filled a need for a relatively quick and easily executed qualitative method to determine antibacterial activity of diffusable antimicrobial agents on treated textile materials.

AATCC Method 100, Antibacterial Finishes on Textile Materials, Assessment of, is a quantitative procedure which is adequately sensitive but is cumbersome and time consuming for routine quality control and screening tests. Therefore, when the intent is to demonstrate bacteriostatic activity by the diffusion of the antibacterial agent through agar, Method 147 fulfills this need. In the Parallel Streak Method, the agar surface is inoculated making it easier to distinguish between the test organism and contaminant organisms which may be present on the unsterilized specimen. The Parallel Streak Method has proven effective over a number of years of use in providing evidence of antibacterial activity against both Gram positive and Gram negative bacteria.

1. Purpose and Scope

1.1 The objective is to detect bacteriostatic activity on textile materials. The results of using this procedure have been demonstrated by Committee RA31 to be reproducible by various laboratories working with materials containing residual amounts of antibacterial agents (as determined by chemical assay) after multiple standard washings. The method is useful for obtaining a rough estimate of activity in that the growth of the inoculum organism decreases from one end of each streak to the other and from one streak to the next resulting in increasing degrees of sensitivity. The size of the zone of inhibition and the narrowing of the streaks caused by the presence of the antibacterial agent permit an estimate of the residual antibacterial activity after multiple washings.

2. Principle

2.1 Specimens of the test material, including corresponding untreated controls of the same material, are placed in intimate contact with nutrient agar (see 7.1 and 7.4) which has been previously streaked with an inoculum of a test bacterium. After incubation, a clear area of interrupted growth underneath and along the sides of the test material indicates antibacterial activity of the specimen. A standard strain of bacteria is used which is specific to the requirements of the material under test. If no other bacterial species is specified, *Staphylococcus aureus* may be used as a representative Gram positive organism. Other recommended strains are listed below in Section 6.

3. Terminology

3.1 **activity,** n.—*of an antibacterial agent*, a measure of effectiveness of the agent.

3.2 **antibacterial agent,** n.—*in textiles*, any chemical which kills bacteria (bactericide) or interferes with the multiplication, growth or activity of bacteria (bacteriostat).

3.3 **zone of inhibition,** n.—clear area of no growth of a microorganism, cultured onto the surface of an agar growth medium, in proximity to the borders of a specimen placed in direct contact with this agar surface.

NOTE: A zone of inhibition occurs as a result of the diffusion of an antimicrobial agent from the specimen.

4. Safety Precautions

NOTE: These safety precautions are for information purposes only. The precautions are ancillary to the testing procedures and are not intended to be all inclusive. It is the user's responsibility to use safe and proper techniques in handling materials in this test method. Manufacturers MUST be consulted for specific details such as material safety data sheets and other manufacturer's recommendations. All OSHA standards and rules must also be consulted and followed.

4.1 This test should be performed only by trained personnel. The U.S. Department of Health and Human services publication *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* should be consulted (see 13.1).

4.2 CAUTION: Some of the bacteria used in this test are pathogenic; i.e., capable of infecting humans and producing disease. Therefore, every necessary and reasonable precaution must be taken to eliminate this risk to the laboratory personnel and to personnel in the associated environment. Wear protective clothing and respiratory protection that prevents penetration by the bacteria.

4.3 Good laboratory practices should be followed. Wear safety glasses in all laboratory areas.

4.4 All chemicals should be handled with care.

4.5 An eyewash/safety shower should be located nearby for emergency use.

4.6 Sterilize all contaminated samples and test materials prior to disposal.

4.7 Exposure to chemicals used in this procedure must be controlled at or below levels set by government authorities (e.g., Occupational Safety and Health Administrations [OSHA] permissible exposure limits [PEL] as found in 29 CFR 1910.1000 of January 1, 1989). In addition, the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Threshold Limit Values (TLVs) comprised of time weighted averages (TLV-TWA), short term exposure limits (TLV-STEL) and ceiling limits (TLV-C) are recommended as a general guide for air contaminant exposure which should be met (see 13.2).

5. Uses and Limitations

5.1 The method is not suitable for materials which tend to encapsulate and prevent the diffusion of the antibacterial agent or contain antibacterial-neutralizing substances.

6. Test Organisms

6.1 Test bacteria:

6.1.1 *Staphylococcus aureus*, American Type Culture Collection No. 6538. Gram positive organism. (see 13.3)

6.1.2 *Klebsiella pneumoniae*, American Type Culture Collection No. 4352. Gram negative organism. (see 13.3)

6.1.3 Other suitable species can also be used depending on the intended end-use of the test sample.

6.2 Whenever possible, test the activity of the culture to be used against a standard control specimen (a positive control) with known antibacterial activity.

6.3 To determine whether the antibacterial activity is due to the antibacterial agent, test a specimen of the same material treated in exactly the same way with

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

whatever other finishing agents were used, but without the antibacterial agent. Many standard textile finishing chemicals, especially crease resistant and permanent press reagents, will often give strong antibacterial activity even after many washes.

7. Culture Medium

7.1 Suitable broth/agar media are Nutrient, Trypticase Soy and Brain-Heart Infusion.

Nutrient Broth:	
Peptone (Bacto-peptone) (see 13.5)	5 g
Beef extract (see 13.6)	3 g
Distilled water	to 1000 mL

7.2 Heat to a boil to disperse ingredients. Adjust to pH 6.8 ± 0.1 with 1*N* NaOH solution. (This is not necessary if prepared, dehydrated medium is used.)

7.3 Dispense in 10.0 ± 0.5 mL amounts in conventional bacteriological culture tubes (i.e., 125 × 17 mm). Plug and sterilize at 103 kPa (15 psi) for 15 minutes.

7.4 Nutrient agar (see 13.4). Add 1.5% bacteriological agar to nutrient (or appropriate) broth. Heat to boiling. Check pH and adjust to 7.1 ± 0.1 using NaOH solution if necessary. Dispense in 15.0 ± 0.5 mL amounts in conventional bacteriological culture tubes, plug, and sterilize at 103 kPa (15 psi) for 15 min. (May be sterilized in 1,000 mL borosilicate glass flasks and petri dishes poured from this.)

8. Maintenance of Culture of Test Organisms

8.1 Using a 4 mm inoculating loop, transfer the culture daily in nutrient (or appropriate medium) broth for not more than two weeks. At the conclusion of two weeks, make a fresh transplant from stock culture. Incubate cultures at 37 ± 2°C (99 ± 3°F).

8.2 Maintain stock cultures on nutrient or appropriate agar slants. Store at 5 ± 1°C (41 ± 2°F) and transfer once a month to fresh agar (see 13.7).

9. Test Specimens

9.1 Test specimens (non-sterile) are cut by hand or with a die. They may be any convenient size. Rectangular specimens cut 25 × 50 mm are recommended. A 50 mm length permits the specimens to lie across 5 parallel inoculum streaks each of diminishing width from about 8 mm to 4 mm wide.

10. Procedure

10.1 Dispense sterilized nutrient (or appropriate medium) agar [cooled to 47 ± 2°C (117 ± 4°F)] by pouring 15 ± 2 mL into each standard (15 × 100 mm) flat bottomed petri dish. Allow agar to gel firmly before inoculating.

10.2 Prepare inoculum by transferring 1.0 ± 0.1 mL of a 24 h broth culture into 9.0 ± 0.1 mL of sterile distilled water contained in a test tube or small flask. Mix well using appropriate agitation.

10.3 Using a 4 mm inoculating loop, load one loopful of the diluted inoculum and transfer to the surface of the sterile agar plate by making five streaks approximately 60 mm in length, spaced 10 mm apart covering the central area of a standard petri dish (see 10.1) without refilling the loop. Take care not to break the surface of the agar while making the streaks.

10.4 Gently press the test specimen transversely across the five inoculum streaks to ensure intimate contact with the agar surface. This may be accomplished more easily by pressing the specimen to the agar surface with a biological section lifter or with a spatula which has been sterilized by flaming and then air cooled immediately before use.

10.5 If the specimen curls, preventing intimate contact with the inoculated surface, place sterile glass slides on the ends of the specimen to hold it in place.

10.6 Incubate at 37 ± 2°C (99 ± 4°F) for 18-24 h.

11. Evaluation

11.1 Examine the incubated plates for interruption of growth along the streaks of inoculum beneath the specimen and for a clear zone of inhibition beyond its edge. The average width of a zone of inhibition along a streak on either side of the test specimen may be calculated using the following equation:

$$W = (T - D)/2$$

where:

W = width of clear zone of inhibition in mm

T = total diameter of test specimen and clear zone in mm

D = diameter of the test specimen in mm

11.2 The size of the zone cannot be construed as a quantitative evaluation of antibacterial activity. Treated materials should be compared to an untreated corresponding material and a material specimen with known bacteriostatic activity. Report of results will include an observation of zones of inhibition and growth under the specimen if present. The criterion for passing the test must be agreed upon by the interested parties. To constitute acceptable antibacterial activity, there must be no bacterial colonies directly under the sample in the contact area.

12. Precision and Bias

12.1 Precision for this test method has not been established. Until a precision statement is generated for this test method, use standard statistical techniques in making any comparisons of test results for either *within-laboratory* or *between-laboratory* averages.

13. Notes and References

13.1 Publication available from U.S. Department of Health and Human Services—CDC/NIH-HHS Publication No. (CDC) 84-8395.

13.2 Booklet available from Publications office, ACGIH, Kemper Woods Center, 1330 Kemper Meadow Dr., Cincinnati OH 45240; tel: 513/742-2020.

13.3 American Type Culture Collection, P.O. Box 1549, Manassas VA 20108; tel: 703/365-2700; fax: 703/365-2701.

13.4 Nutrient Agar can be obtained from Difco Laboratories, 920 Henry St., Detroit MI 48201 and from Baltimore Biological Laboratories, 250 Schilling Circle, Cockeyville MD 21030.

13.5 Peptone from Difco Laboratories (address above), or Thiotone from Baltimore Biological Laboratories (address above).

13.6 Beef extract may be obtained from Baltimore Biological Laboratories (address above); Difco Laboratories (address above); or Oxoid USA Inc., 9017 Red Branch Road, Columbia MD 21045.

13.7 Consistent and accurate testing requires maintenance of a pure, uncontaminated, non-mutant test culture. Avoid contamination by using good sterile technique in plating and transferring. Avoid mutation by strict adherence to monthly stock transfers. Check culture purity by making streak plates periodically and observing for a single species-characteristic type of colonies.

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

Designation: D 3776 – 96 (Reapproved 2002)

Standard Test Method for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric[1]

This standard is issued under the fixed designation D 3776; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the measurement of fabric mass per unit area (weight) and is applicable to most fabrics.

1.2 There are four approved options:

1.2.1 *Option A*—Full Piece, Roll, Bolt or Cut (Section 7).

1.2.2 *Option B*—Full Width Sample (Section 8).

1.2.3 *Option C*—Small Swatch of Fabric (Section 9).

1.2.4 *Option D*—Narrow Fabrics (Section 10).

1.3 The values either in SI units or U.S. customary units are regarded as standard. U.S. customary units may be approximate.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:* [2]

D 123 Terminology Relating to Textiles

D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing

D 3773 Test Methods for Length of Woven Fabric

D 3774 Test Methods for Width of Woven Fabric

2.2 *Other Standard:*

ANSI/ASQC Z1.4 Inspection by Attributes[3]

3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 *weight, n—as used with fabrics*, mass per unit area.

3.1.1.1 *Discussion*—Fabric mass per unit area is expressed either as grams per square metre (ounces per square yard), or grams per linear metre (ounces per linear yard). Fabric mass is also sometimes expressed inversely as linear metres per kilograms (yards per pound) with the fabric width stated.

3.2 For definitions of other textile terms used in these test methods, refer to Terminology D 123.

4. Summary of Test Methods

4.1 Fabric mass is calculated from the mass of a specimen the length and width of which have been measured as directed in one of the procedures in Test Method D 3773 and D 3774.

5. Apparatus

5.1 *Scale*, with a capacity and sensitivity sufficient to weigh the full piece, roll, bolt, or cut units to within ±0.1 % of their gross mass. The accuracy of the scale should be certified by a recognized authority.

5.2 *Balance*, having a capacity and sensitivity to weigh within ±0.1 % of the mass of the specimens being tested.

5.3 *Cutting Die*, either square or round with an area of at least 13 cm^2 or 4 $in.^2$

6. Conditioning

6.1 Condition test specimens as directed in Practice D 1776.

6.2 All weighing tests should be made in the standard atmosphere for testing textiles (20 ± 1°C (70 ± 2°F), 65 ± 2 % RH), after the specimens have been conditioned in the same atmosphere. It may be impractical to condition the specimens in Option A or nonconditioned testing may be agreed upon by the purchaser and supplier. When the full rolls or bolts of fabric cannot be properly conditioned in a reasonable time with available facilities, perform the tests without conditioning and report the actual conditions prevailing at the time of the test. Such results may not correspond with the results obtained after testing adequately conditioned specimens in the standard atmosphere for testing textiles.

7. Option A—Full Piece, Roll, Bolt, or Cut

7.1 *Significance and Use*

7.1.1 Option A for the determination of mass per unit area of woven fabrics may be used for acceptance testing of commercial shipments since it has been used extensively in the trade.

7.1.2 In case of a dispute arising from differences in reported test values when using Test Methods D 3776 for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the supplier should conduct comparative tests to determine if

---

[1] These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D13 on Textiles and are the direct responsibility of Subcommittee D13.60 on Fabric Test Methods, Specific.

Current edition approved April 10, 1996. Published June 1996. Replaces Sections 35 to 41 of Methods D 1910 – 64 (1975). Originally published as D 3776 – 79. Last previous edition D 3776 – 85(1990).

[2] For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

[3] Available from American National Standards Institute, 11 W. 42nd St., 13th Floor, New York, NY 10036.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens which are as homogeneous as possible and which are from a lot of material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using student's *t*-test for unpaired data and an acceptable probability level chosen by the two parties before testing is begun. If a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the supplier must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

7.2 *Sampling*—As a lot sample for acceptance testing, take at random the number of rolls of fabric as directed in an applicable material specification or other agreement between the purchaser and the supplier. Consider rolls of fabric to be the primary sampling units. Consider the rolls of fabric in the lot sample as the laboratory sample and as the test specimens.

7.3 *Procedure*:

7.3.1 Measure the length of the full piece, roll, bolt, or cut by the hand procedure in Test Method D 3773.

7.3.2 Measure the width by the tension-free alternative of Option A of Test Method D 3774.

7.3.3 Weigh the fabric, with shell and holder, if any, to the nearest 0.1 % of its mass.

7.3.4 Weigh the holder, if any, to the nearest 0.1 % of its mass.

7.4 *Calculations*:

7.4.1 Determine the net weight of the fabric by subtracting the weight of the holder from the total weight.

7.4.2 Dimensions and mass may all be determined in SI units and mass per unit area calculated using Eq 1, Eq 2, or Eq 3, as follows:

$$g/m^2 = 10^3 M/LW \quad (1)$$

$$g/m = 10^3 M/L \quad (2)$$

$$m/kg = L/M \quad (3)$$

where:
M = mass of fabric, in kilograms,
L = length of fabric, in metres, and
W = width of fabric, in metres.

7.4.3 Calculate the mass per unit area, mass per linear yard, or linear yards per pound to three significant figures, unless otherwise specified, using Eq 4, Eq 5, Eq 6, or Eq 7, as follows:

Mass per unit area:

$$oz/yd^2 = 576M/LW \quad (4)$$

Mass per yard:

$$oz/yd = 16M/L \quad (5)$$

Linear yards per pound:

$$yd/lb = L/M \quad (6)$$

$$yd/lb = 16\ oz/yd \quad (7)$$

where:
M = mass of fabric, in pounds,
L = length of fabric, in yards, and
W = width of fabric, in inches.

7.4.4 If preferred, convert the U.S. customary units to SI units using Eq 8, Eq 9, or Eq 10, as follows:

$$\text{Mass, } g/m^2 = oz/yd^2 \times 33.906 \quad (8)$$

$$\text{Mass, } g/m = oz/yd \times 31.000 \quad (9)$$

$$m/kg = yd/lb \times 2.016 \quad (10)$$

8. Option B—Full Width Sample

8.1 *Significance and Use*:

8.1.1 This procedure is applicable to a full-width sample cut from a full piece, roll, bolt, or cut. Unless otherwise specified, these results will include selvages and will be on the basis of conditioned fabric.

8.1.2 Option B is not recommended for the acceptance testing of commercial shipments, since Option A is regularly used for that purpose.

8.2 *Sampling*:

8.2.1 *Lot Sample*—As a lot sample for acceptance testing, take at random the number of rolls of fabric as directed in an applicable material specification or other agreement between the purchaser and the supplier. Consider the roll of fabric to be the primary sampling units.

8.2.2 *Laboratory Sample*—From each roll or piece in the lot sample, cut—don't tear—at least one laboratory sample the full width of the fabric and at least 250 mm (10 in.) in length. The cut edges must be a straight line, free of indentations or bulges, unless both edges have been made to trace parallel filling yarns. In this procedure the complete laboratory sample is used as the specimen.

8.3 *Procedure*:

8.3.1 Measure the length of the conditioned specimen by the hand procedure of Test Method D 3773.

8.3.2 Measure the width by the tension-free alternative of Option A of Test Method D 3774.

8.3.3 Weigh the specimen in grams on a scale or balance to the nearest 0.1 % of its mass (weight).

8.4 *Calculations*:

8.4.1 Calculate the mass per unit area, mass per linear yard, or linear yards per pound to three significant figures, unless otherwise specified, using Eq 11, Eq 12, Eq 13, or Eq 14, as follows:

Mass per unit area:

$$oz/yd^2 = 45.72G/L_s W \quad (11)$$

Mass per linear yard:

$$oz/yd = 1.27G/L_s \quad (12)$$

Linear yards per pound:

$$yd/lb = 16/\text{oz per linear yd} \quad (13)$$

$$yd/lb = 12.6L_s/G \quad (14)$$

where:
G = mass of specimen, in grams,
L_s = length of specimen, in inches, and
W = width of specimen, in inches.

8.4.2 If preferred, convert the U.S. customary units to SI units using Eq 4, Eq 5, or Eq 6 in 7.4.3.

8.4.3 Alternatively, dimensions and mass may all be determined in SI units and calculated using Eq 15, Eq 16, or Eq 17, as follows:

Mass per unit area:

$$g/m^2 = 10^6 G/L_s W \tag{15}$$

Mass per linear metre:

$$g/m = 10^3 G/L_s \tag{16}$$

Linear metres per kilogram:

$$m/kg = L_s/G \tag{17}$$

where:
G = mass of specimen, g
L_s = length of specimen, mm, and
W = width of specimen, mm.

9. Option C—Small Swatch of Fabric

9.1 *Significance and Use*:

9.1.1 This procedure is applicable when a small swatch of fabric is sent to the laboratory to be used as the test specimen. The results are considered to be applicable to the sample only and not necessarily to the lot from which the sample was taken.

9.1.2 Measurements by this method do not include selvages and should be reported as such, unless a selvage allowance is specified.

9.1.3 Option C is not recommended for acceptance testing of commercial shipments since Option A is regularly used for that purpose.

9.2 *Sampling*—Option C is used only when limited fabric is available and should not be used for acceptance sampling. Prepare such specimens from small swatches as is possible.

9.3 *Preparation of Specimens*—Prepare a conditioned specimen having an area of at least 130 cm^2 (20 in.^{2}) or a number of smaller die cut specimens taken from different locations in the sample and having a total area of at least 130 cm^2 (20 in.^{2}) Do not take these specimens closer than one tenth of the fabric width to a selvage or cut edge. If insufficient fabric is available to meet these criteria, note that fact in the report.

9.4 *Procedure*:

9.4.1 Determine the area of the specimen(s) used. For die-cut specimens, the area of the die is normally given. For other specimens, multiply the length by the width.

9.4.2 Weigh the specimen(s) to within ±0.1 % of mass (weight) on a balance. Specimens of a fabric may be weighed together.

9.5 *Calculations*:

9.5.1 Dimensions and mass may be determined in SI units and calculated using Eq 15 (8.4.3), Eq 18, or Eq 19, as follows:

Mass per linear metre:

$$g/m = 10^3 GW/L_s W_s \tag{18}$$

Linear metre per kilogram:

$$m/kg = L_s W_s/GW \tag{19}$$

where:
G = mass of specimen, g
W = width of fabric, mm
L_s = length of specimen, mm, and
W_s = width of specimen mm.

9.5.2 Calculate the mass in ounces per square yard, ounces per linear yard, or linear yards per pound to three significant figures using Eq 11 (8.4.1), Eq 19, or Eq 20, as follows:

Mass per linear yard:

$$oz/yd = 1.27GW/L_s W_s \tag{20}$$

Linear yards per pound:

$$yd/lb = 12.6L_s W_s/GW \tag{21}$$

where:
G = mass of specimen, g,
W = width of fabric, in.
W_s = width of specimen, in., and
L_s = length of specimen, in.

9.5.3 If preferred convert the U.S. customary units to SI units by using Eq 8, Eq 9, or Eq 10 in 7.4.4.

10. Option D—Narrow Fabrics

10.1 *Significance and Use*:

10.1.1 This procedure is intended for use with narrow fabrics as so designated by the trade. These fabrics are usually 300 mm (12 in.) in width or less, have a selvage on both sides and are woven on multishuttle looms.

10.1.2 Option D is not recommended for acceptance testing of commercial shipments since Option A is regularly used for that purpose.

10.2 *Sampling*:

10.2.1 *Lot Sample*—As a lot sample for acceptance testing, take at random the number of rolls of fabric as directed in an applicable material specification or other agreement between the purchaser and the supplier. Consider the rolls of fabric to be the primary sampling units.

10.2.2 *Laboratory Sample*—From each roll or piece in the lot sample, cut a conditioned laboratory sample 1 m ± 3 mm (36.0 ± 0.10 in.) long perpendicular to the selvages. Take a minimum of three such laboratory samples from different places, distributed as evenly as practicable along the length of the roll or piece. In this procedure a complete laboratory sample is used as a specimen.

10.3 *Procedure*:

10.3.1 Measure the width of the fabric to the nearest 1 mm (0.125 in.) by the tension-free alternative of Option A of Test Methods D 3774.

10.3.2 Weigh each specimen to within ±0.1 % of its weight on a scale or balance.

10.4 *Calculations*:

10.4.1 If all measurements are made in SI units, use Eq 15, Eq 16 or Eq 17 in 8.4.3.

10.4.2 Calculate the average mass as ounces per linear yard or linear yards per pound using Eq 12, Eq 13, or Eq 14 from 8.4.1.

10.4.3 If preferred, convert the U.S. customary units to SI units using Eq 9 or Eq 10 in 7.4.4.

11. Report

11.1 State that the tests were made as directed in Option A (or B or C or D) in Test Methods D 3776. Describe the material or product sampled and the method of sampling used.

11.2 Report the following information:

11.2.1 Option used to measure fabric mass per unit area.

11.2.2 Fabric mass in ounces per square yard, or ounces per linear yard, or in yards per pound, to three significant figures.

11.2.3 Fabric mass in grams per square metre, or grams per linear metre, or metres per kilogram, to three significant figures.

11.2.4 Fabric width if mass is reported as mass per linear metre (yard) or metres per kilogram (yards per pound).

11.2.5 State whether the fabric weight includes or does not include selvages, and

11.2.6 Atmospheric conditions under which the tests were conducted and whether the specimens were conditioned as directed in Practice D 1776.

12. Precision and Bias

12.1 *Summary*—In comparing two averages of four observations when using Option B of Test Methods D 3776, the difference should not exceed the following amounts in 95 out of 100 cases when all of the observations were taken by the same well-trained operator using the same piece of equipment and specimens randomly drawn from the same sample of material:

Seersucker	0.125 oz/yd^2
Gingham	0.080 oz/yd^2
Corduroy	0.330 oz/yd^2
Denim	0.105 oz/yd^2

Larger differences are likely under all other circumstances. The procedure in Option B of Test Methods D 3776 has no known bias and is used as a referee method.

12.2 *Interlaboratory Test Data*—An interlaboratory test was run in 1981 in which randomly drawn specimens of four materials were tested in each of four laboratories using Option B of Test Methods D 3776. Two operators in each laboratory each tested two specimens of each material for mass per unit area. The first fabric was a 65 % polyester and 35 % cotton seersucker type basket weave. The second fabric was a 65 % polyester and 35 % cotton gingham check. The third fabric was an 88 % cotton and 12 % polyester corduroy. The fourth fabric was a 100 % cotton denim. The components of variance for fabric mass per unit area expressed as standard deviations were calculated to be as follows:

	Average Mass per Unit Area	Single-Operator Component	Within-Laboratory Component	Between-Laboratory Component
Seersucker	6.11 oz/yd^2	0.091	0.000	0.023
Gingham	2.90 oz/yd^2	0.029	0.000	0.031
Corduroy	10.42 oz/yd^2	0.119	0.073	0.082
Denim	7.45 oz/yd^2	0.038	0.000	0.066

NOTE 1—The square roots of the components are being reported to express the variability in the appropriate unit of measure rather than as the square of those units of measure.

12.3 *Precision*—For the components of variance reported in 12.2, two averages of observed values should be considered significantly different at the 95 % probability level if the difference equals or exceeds the critical differences in Table 1.

NOTE 2—The tabulated values of the critical differences should be considered to be a general statement, particularly with respect to between-laboratory precision. Before a meaningful statement can be made about two specific laboratories, the amount of statistical bias, if any, between them must be established with each comparison being based on recent data obtained on specimens taken from a lot of material of the type being evaluated so as to be as nearly homogeneous as possible and then randomly assigned in equal numbers to each of the laboratories.

12.4 *Bias*—Option B in Test Method D 3776 for measuring mass per unit area (weight) of full width samples has no known bias and is accepted as a referee procedure. The accuracy of the other procedures in Test Method D 3776 has not been established. Weights of unconditioned fabric will be affected by the past history of the product.

13. Keywords

13.1 fabric; mass per unit area; weight

TABLE 1 Critical Differences for the Conditions Noted, 95 % Probability Level, Option B, Mass per Unit Area[A]

Fabric	Number of Observations in Each Average	Single-Operator Precision	Within-Laboratory Precision	Between-Laboratory Precision
Seersucker (6.11 oz/yd^2)	1	0.249	0.249	0.257
	4	0.125	0.125	0.140
	8	0.088	0.088	0.109
	16	0.062	0.062	0.089
Gingham (2.90 oz/yd^2)	1	0.080	0.080	0.118
	4	0.040	0.040	0.095
	8	0.028	0.028	0.090
	16	0.020	0.020	0.088
Corduroy (10.42 oz/yd^2)	1	0.330	0.387	0.449
	4	0.165	0.261	0.346
	8	0.117	0.234	0.326
	16	0.082	0.218	0.315
Denim (7.45 oz/yd^2)	1	0.105	0.105	0.211
	4	0.053	0.053	0.190
	8	0.037	0.037	0.187
	16	0.026	0.026	0.185

[A] The critical differences were calculated using $t = 1.960$ which is based on infinite degrees of freedom.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

AATCC Test Method 135-2004

Dimensional Changes of Fabrics after Home Laundering

Developed in 1970 by AATCC Committee RA42; reaffirmed 1973, 2000; revised 1978, 1987, 1995, 2001, 2003 (with title change), 2004; editorially revised 1982, 1985, 1989, 1990, 1991, 1996, 1997; editorially revised and reaffirmed 1992. Related to ISO 3759.

1. Purpose and Scope

1.1 This test method is intended for the determination of dimensional changes of fabrics when subjected to home laundering procedures used by consumers. Four washing temperatures, three agitation cycles, two rinse temperatures and four drying procedures cover the common home care options available to consumers using current laundering machines.

2. Principle

2.1 The dimensional changes of fabric specimens subjected to home laundering care are measured using pairs of benchmarks applied to the fabric before laundering.

3. Terminology

3.1 **dimensional change,** n.—a generic term for changes in length or width of a fabric specimen subjected to specified conditions. The change is usually expressed as a percentage of the initial dimension of the specimen.

3.2 **growth,** n.—a dimensional change resulting in an increase of length or width of a specimen.

3.3 **laundering,** n.—*of textile materials*, a process intended to remove soils and/or stains by treatment (washing) with an aqueous detergent solution and normally including rinsing, extraction and drying.

3.4 **shrinkage,** n.—a dimensional change resulting in a decrease in the length or width of a specimen.

4. Safety Precautions

NOTE: These safety precautions are for information purposes only. The precautions are ancillary to the testing procedures and are not intended to be all inclusive. It is the user's responsibility to use safe and proper techniques in handling materials in this test method. Manufacturers MUST be consulted for specific details such as material safety data sheets and other manufacturer's recommendations. All OSHA standards and rules must also be consulted and followed.

4.1 Good laboratory practices should be followed. Wear safety glasses in all laboratory areas.

4.2 The 1993 AATCC Standard Reference Detergent may cause irritation. Care should be taken to prevent exposure to skin and eyes.

4.3 Manufacturer's safety recommendations should be followed when operating laboratory testing equipment.

5. Apparatus and Materials

5.1 Automatic washing machine (see 12.1).

5.2 Automatic tumble dryer (see 12.2).

5.3 Conditioning/drying racks with pull-out screens or perforated shelves (see 12.3).

5.4 Facilities for drip drying and line drying.

5.5 1993 AATCC Standard Reference Detergent (see 12.10 and 12.11).

5.6 Ballast of 920 × 920 mm (36 × 36 in.) hemmed pieces of bleached cotton sheeting (Wash load ballast type 1), or 50/ 50 polyester/cotton bleached plain weave (Wash load ballast type 3) (see 12.4 and 12.11).

5.7 Indelible ink marking pen (see 12.5) for use with suitable rule, tape, marking template or other marking device (see 12.6). Sewing thread may be used for making benchmarks.

5.8 Measuring devices.

5.8.1 Tape or rule marked in millimeters, eighths or tenths of an inch.

5.8.2 Tape or ruled template marked directly in percent dimensional change to 0.5% or smaller increment (see 12.6).

5.8.3 Digital Imaging System (see 12.7).

5.9 Scale with at least 5.0 kg (10.0 lb) capacity.

6. Test Specimens

6.1 Sampling and Preparation.

6.1.1 Samples from which dimensional change specimens are to be taken should be representative of the fabric processing stage, finishing treatment, research lab trial, pallet, lot or end-product stage.

6.1.2 Fabrics that are distorted in their unlaundered state may give deceptive dimensional change results when laundered by any procedure. In such cases, it is recommended that specimens not be taken from any distorted area of a fabric sample.

6.1.3 Tubular knitted samples should be slit and handled flat in a single layer. Only circular knitted fabrics produced on body-width machines are to be used as specimens in their tubular form. Circular knitted fabrics made on body-width machines are ones to be used in garments with no side seams. Body-width tubular circular knitted garments and seamless garments (knit-to-wear) should be tested according to AATCC Method 150, Dimensional Changes of Garments after Home Laundering.

6.1.4 If fraying of specimens is expected in laundering, see 12.8.

6.1.5 Prior to marking, condition test specimens as directed in ASTM D 1776, Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles. Condition each specimen for at least 4 h in an atmosphere of 21 ± 1°C (70 ± 2°F) and 65 ± 2% RH by laying each test specimen separately on a screen or perforated shelf of a conditioning rack.

6.1.6 Lay the sample on a flat surface. Do not allow any section of the sample to hang over the edge of the work table. Using a template for the selected test size, mark specimens parallel to the selvege or fabric length direction. Avoid use of the sample area within ten percent of the sample width. Specimens should be taken from areas with different lengthwise and widthwise yarns (see Fig. 1). Identify the length direction of the specimens before cutting them out of the sample. When possible, three specimens from each fabric should be used. One or two specimens may be used when insufficient fabric sample is available.

6.2 Marking.

6.2.1 Option 1: *250 mm (10.0 in.) benchmarks*. Mark each 380 × 380 mm (15 × 15 in.) test specimen with three 250 mm (10 in.) pairs of benchmarks parallel to the test specimen length and three 250 mm (10 in.) pairs of benchmarks parallel to the test specimen width. Each benchmark must be at least 50 mm (2 in.) from all test specimen edges. Pairs of bench-

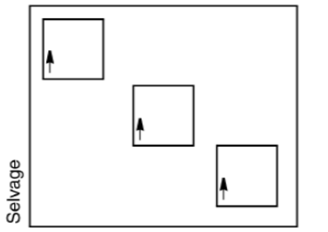


Fig. 1—Diagram for cutting fabric specimens.

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

marks in the same direction must be spaced approximately 120 mm (5 in.) apart.

6.2.2 Option 2: *460 mm (18.0 in.) benchmarks*. Mark each 610 × 610 mm (24.0 × 24.0 in.) test specimen with three 460 mm (18.0 in.) pairs of benchmarks parallel to the test specimen length and three 460 mm (18.0 in.) pairs of benchmarks parallel to the test specimen width. Each benchmark must be at least 50 mm (2.0 in.) from all test specimen edges. Pairs of benchmarks in the same directions must be spaced approximately 250 mm (10 in.) apart.

6.2.3 Narrow Fabrics.

6.2.3.1 For test specimens greater than 125 mm (5 in.) and less than 380 mm (15 in.) wide, take full width of test fabrics and cut each specimen 380 mm (15 in.) long. Mark the length as in 6.2.1. Measurement of the width is optional.

6.2.3.2 For test specimens 25-125 mm (1-5 in.) wide, take full width of test fabrics and cut each specimen 380 mm (15 in.) long. Use only two pairs of benchmarks parallel to the length. Measurement of the width is optional.

6.2.3.3 For test specimens less than 25 mm (1 in.) in width, take full width of test fabrics and cut each specimen 380 mm (15 in.) long. Use only one pair of benchmarks parallel to the length. Measurement of the width is optional.

6.3 Original Measurements and Specimen Size.

6.3.1 Specimen size and benchmarks distances used must be indicated in the report.

6.3.2 Dimensional change results may not be comparable when different specimen sizes, different benchmark lengths, different number of specimens, or different number of benchmarks are used.

6.3.3 To improve the accuracy and precision of the dimensional change calculations based on the benchmarks applied to the fabrics as instructed in 6.2, measure and record the distance between each pair of benchmarks with suitable tape or rule to nearest millimeter, eight or tenth of an inch. This is measurement A. In case of narrow fabrics less than 380 mm (15 in.) wide, measure and record width if width measurement will be used. If using a calibrated template for marking and measuring in percent dimensional change directly, an initial measurement is not needed.

7. Test Procedure

7.1 Tables I, II and III summarize alternative washing, rinsing and drying conditions and settings. Additional information on the machine and laundering conditions may be found in the monograph, *Standardization of Home Laundry Test Conditions*, elsewhere in this TECHNICAL MANUAL.

7.2 Washing.

7.2.1 Weigh test specimens and enough ballast to make a 1.8 ± 0.1 kg (4.00 ± 0.25 lb) load. An alternative load size of 3.6 ± 0.1 kg (8.00 ± 0.25 lb) may be used. Dimensional change results obtained using a 1.8 kg (4 lb) load weight may not be equal to those obtained with a 3.6 kg (8 lb) load weight and should not be compared.

7.2.2 Select the specified water level, the desired water temperature for the washing cycle and a rinse temperature of less than 29°C (85°F). If this rinse temperature is not attainable, record available rinse temperature. Fill the washing machine to the 18 ± 0.5 gal water level. For alternate load size, fill washing machine to the 22.0 ± 0.5 gal water level.

7.2.3 Add 66.0 ± 1 g of 1993 AATCC Standard Reference Detergent to an 18 ± 0.5 gal wash load. For alternative load size of 22.0 ± 0.5 gal, add 80 ± 1 g of 1993 AATCC Standard Reference Detergent. Agitate water briefly to dissolve detergent. Stop the machine agitation. It should be noted that in soft water areas, the amount of detergent used may be reduced to avoid excessive sudsing.

7.2.4 Add test specimens and ballast to machine. Set the washer for the selected washing cycle and time (see Tables I and II).

7.2.5 For specimens to be dried by procedures A, B or D, allow washing to proceed through the final spin cycle. Remove the test specimens immediately after the final spin cycle, separate tangled pieces, taking care to minimize distortion, and dry by procedure A, B or D (see Tables I and III).

7.2.6 For specimens to be dried by procedure C, Drip Dry, allow washing to proceed through to the final rinse cycle. Remove the specimens from the washer just before the water begins to drain for the final rinse cycle. Remove specimens soaking wet.

7.3 Drying.

7.3.1 For drying procedures B, C and D, do not blow air directly on specimens as it may cause fabric distortion.

7.3.2 (A) Tumble Dry. Place the washed load (test specimens and ballast) in the tumble dryer, and set the temperature control to generate the correct exhaust temperatures as specified in Table III. For fibers that are heat sensitive, lower temperatures consistent with producer's care recommendations should be used and reported. Allow the dryer to operate until the total load is dry. Remove the load immediately after the dryer stops.

7.3.3 (B) Line Dry. Hang each specimen by two corners with the fabric length in the vertical direction. Allow the test specimen to hang in still air at room temperature not greater than 26°C (78°F) until dry.

7.3.4 (C) Drip Dry. Hang each dripping wet specimen by two corners, with the fabric length in the vertical direction. Allow the specimens to hang in still air at room temperature not greater than 26°C (78°F) until dry.

7.3.5 (D) Screen Dry. Spread each

Table I—Alternative Washing and Drying Conditions (see 7.1)

Machine Cycle	Washing Temperature	Drying Procedure
(1) Normal/Cotton Sturdy	(II) 27 ± 3°C (80 ± 5°F)	(A) Tumble
(2) Delicate	(III) 41 ± 3°C (105 ± 5°F)	i. Cotton Sturdy
(3) Permanent Press	(IV) 49 ± 3°C (120 ± 5°F)	ii. Delicate
	(V) 60 ± 3°C (140 ± 5°F)	iii. Permanent Press
		(B) Line
		(C) Drip
		(D) Screen

Table II—Washing Machine Conditions Without Load (see 7.1)

	Normal	Delicate	Permanent Press
(A) Water Level	18 ± 1 gal	18 ± 1 gal	18 ± 1 gal
(B) Agitator Speed	179 ± 2 spm	119 ± 2 spm	179 ± 2 spm
(C) Washing Time	12 min	8 min	10 min
(D) Spin Speed	645 ± 15 rpm	430 ± 15 rpm	430 ± 15 rpm
(E) Final Spin Time	6 min	4 min	4 min

Table III—Dryer Setting Conditions (see 7.1)

	Cotton Sturdy	Delicate	Permanent Press
Exhaust Temperature	High 66 ± 5°C (150 ± 10°F)	Low < 60°C (140°F)	High 66 ± 5°C (150 ± 10°F)
Cool Down Time	10 min	10 min	10 min

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

specimen on a horizontal screen or perforated surface removing wrinkles without distorting or stretching it. Allow the specimen to dry in still air at room temperature not greater than 26°C (78°F).

7.3.6 Repeat the selected washing and drying cycle two more times or to an agreed number of cycles.

7.4 Conditioning and Restoration.

7.4.1 After the final washing and drying cycle, condition the specimens for at least 4 h (see 6.1.5) by laying each specimen separately on the screen or perforated shelves of a conditioning rack in an atmosphere of 21 ± 1°C (70 ± 2°F) and 65 ± 2% RH.

7.4.2 For fabrics that are intended to be used in a form fitting garment, restoration techniques are sometimes used prior to determining the dimensional change. Techniques for this type of restoration are not standardized (hand pulling specimens in the length and width directions at multiple locations using an unspecified force). If restoration techniques are used, a description of the technique should be reported and results should be reported as restored dimensional change.

7.4.3 If the specimens are extremely wrinkled and the consumer would ALWAYS expect to iron a garment made from the fabric, test specimens may be hand ironed prior to re-measurement of benchmarks. Use safe ironing temperatures appropriate to the fibers in the fabric being ironed. See Table I, Safe Ironing Temperature Guide, in AATCC Method 133, Colorfastness to Heat: Hot Pressing. Exert only that pressure during pressing which is necessary to remove wrinkles.

7.4.3.1 Due to the extremely high variability of hand ironing procedures performed by individual operators (no standard test method exists for hand ironing procedures), the reproducibility of dimensional change results after hand ironing has been found to be extremely poor. Consequently, caution is advised when comparing dimensional change results after laundering and hand ironing, reported by different operators.

7.4.3.2 Hand ironing is intended primarily for the evaluation of fabrics used in garments, which require ironing to remove wrinkles prior to wearing. Use safe ironing temperatures appropriate to the fibers in the fabric being ironed. See Table I, Safe Ironing Temperature Guide, in AATCC Method 133, Colorfastness to Heat: Hot Pressing. Exert only that pressure during pressing which is necessary to remove wrinkles.

7.4.3.3 After ironing, condition specimens for at least 4 h (see 6.1.5) by laying each specimen separately on the screen or perforated shelves of a conditioning rack in an atmosphere at 21 ± 1°C (70 ± 2°F) and 65 ± 2% RH.

8. Measurement

8.1 After conditioning, lay each test specimen without tension on a flat smooth, horizontal surface. Measure and record the distance between each pair of benchmarks to the nearest millimeter, eighth or tenth of an inch. This is measurement B. If using a scale calibrated in percent dimensional change, measure each benchmark to nearest 0.5% or smallest increment on the scale and record the percent dimensional change directly.

8.2 The wrinkles in most fabrics flatten sufficiently under pressure of a measuring instrument at the time of measurement not to cause measurement bias.

9. Calculation and Interpretation

9.1 Calculation.

9.1.1 If measurements were made directly in percent dimensional change, average the measurements in each direction made on the specimens after the first, third, or other specified number of washing and drying cycles. Calculate length and width averages separately to the nearest 0.1%.

9.1.2 If measurements were made to the nearest millimeter or eight or tenth of an inch, calculate the dimensional change after the first and third or other specified washing and drying cycle as follows:

$$\text{Average\% DC} = 100\,(B - A)/A$$

where:

DC = Average dimensional change
A = Average original dimension
B = Average dimension after laundering

Both the average original and average final dimensions are the averages of the measurements in each direction made on all test specimens. Calculate length and width averages separately to the nearest 0.1% (see 12.9).

9.1.3 A final measurement smaller than the original measurement results in a negative dimensional change which is shrinkage. A final measurement larger than the original measurement results in a positive dimensional change which is growth.

9.2 Interpretation.

9.2.1 If the dimensional change after one washing, drying, and, if used, hand ironing cycle as calculated in 9.1, is within a specification previously agreed on, continue test procedures as directed in 7.2, 7.3 and 7.4 until an agreed upon number of cycles has been completed.

9.2.2 If the dimensional change after one washing, drying, and, if used, hand ironing cycle as calculated in 9.1 exceeds a specification previously agreed on, terminate the test.

10. Report

10.1 Report for each sample tested:

(a) Dimensional change of length and width, separately, to the nearest 0.1% with a minus sign (-) for shrinkage or a plus (+) sign for growth (see 9.1.3).

(b) Washing procedure (include type of washing, cycle and temperature) and drying procedure (include type of drying, cycle and temperature).

(c) Size of specimens and benchmarks

(d) Size of load; i.e., 1.8 kg (4 lb) or 3.6 kg (8 lb).

(e) Number of complete washing and drying cycles (see 9.2).

(f) If fabrics were distorted or wrinkled in their original state.

(g) If fabrics were hand ironed.

(h) If fabric was restored and a restoration technique.

11. Precision and Bias

11.1 *Precision.* Precision for this test method has not been established. Until a precision statement is generated for this test method, use standard statistical techniques in making any comparisons of test results for either *within-laboratory* or *between-laboratory* averages.

11.2 *Bias.* Dimensional changes in automatic home laundering of fabrics can be defined only in terms of a test method. There is no independent method for determining the true value. As a means of estimating this property, the method has no known bias.

12. Notes

12.1 Contact AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel: 919/ 549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@aatcc.org, for model number(s) and source(s) of current approved washer(s). Any other washer, which is known to give comparable results, can be used. Washing machine conditions given in Table II represent the actual speeds and times available on the current specified model(s). Other washers can vary in one or more of these settings.

12.2 Contact AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel: 919/549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@aatcc.org, for model number(s) and source(s) of current approved dryer(s). Any other dryer, which is known to give comparable results, can be used. Dryer machine conditions given in Table III represent the actual temperatures and cool-down times available on the current specified model(s). Other dryers can vary in one or more of these settings.

12.3 Screen or perforated conditioning/drying racks available from: Somers Sheet Metal Inc., 5590 N. Church St., Greensboro NC 27405; tel: 336/643-3477; fax: 336/643-7443. Rack drawings are available from AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel: 919/549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@aatcc.org.

12.4 Ballast are available from Testfabrics

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

Inc., P.O. Box 26, 415 Delaware St., W. Pittston PA 18643; tel: 570/603-0432; fax: 570/603-0433; e-mail: testfabric@aol.com; and Textile Innovators Corp., div. of SDL Atlas L.L.C., P.O. Box 8, 101 Forest St., Windsor NC; tel: 252/794-9703; fax: 252/794-9704; e-mail: tic@sdlatlas.com.

12.5 Marking pens with different size tips are available from Mark-Tex Corp., Box 681, Englewood NJ 07631; and AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel:919/549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@ aatcc.org.

12.6 A ruled template marked in percent dimensional change is available from AATCC, Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel: 919/549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@ aatcc.org. A mechanical marking device and measuring tape marked in percent dimensional change is available from The Sanforized Co., 3200 Highlands Pkwy., Suite 300, Smyrna GA 30082; tel: 770/803-7662.

12.7 A digital imaging system may be used as a measuring device in place of the prescribed manual measurement devices if it is established that its accuracy is equivalent to the manual devices.

12.8 If excessive fraying occurs in laundering, specimen edges may be pinked or slashed. Sewing or over-edging a specimen is not recommended as it may influence actual dimensional change results. However, in the case where AATCC Methods 124 (Appearance of Fabrics after Repeated Home Laundering) and 135 are performed on the same specimens, some woven fabric constructions may require the specimen edges to be sewn or over-edged to prevent severe raveling that could cause entanglement in washing or drying, and therefore influence the assessment of both dimensional change and smoothness.

12.9 If information on the dimensional change variability within or between specimens is desired, calculate dimensional change based on the individual pairs of benchmarks for within specimen data or based on the average of the three pair of benchmarks for between specimen data.

12.10 Available from AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel: 919/549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@aatcc.org

12.11 The AATCC Technical Center conducted a study to compare the 1993 AATCC Standard Reference Detergent, AATCC Standard Reference Detergent 124 and two different types of fabrics (current and proposed) to be used as ballast, under the following test conditions:

Machine cycle:	(1)—Normal/Cotton Sturdy
Washing Temp:	(V)—60 ± 3°C (140 ± 5°F)
Drying Procedure:	(A)i—Tumble dry, cotton sturdy cycle
Fabrics tested:	White Twill (100% cotton)
	Beige Twill (100% cotton)
	Grey Poplin (100% cotton)
	Blue Twill (50/50 poly/cotton)

No significant differences were found in the results using either detergent or ballast load fabrics.

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

ภาคผนวก ข

เอกสารการตอบรับการเผยแพร่ผลงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Rajamangala University of Technology
Phra Nakhon (RMUTP), Bangkok, Thailand

Technical University of Liberec (TUL),
Liberec, Czech Republic

Textiles & FASHION
THE 4TH RMUTP INTERNATIONAL CONFERENCE

The 4th RMUTP International Conference: Textiles and Fashion

3rd and 4th July 2012

Bangkok, Thailand

February 27, 2012
Bangkok, Thailand

Dear Ms. Jiraporn Koatsaha,

I am pleased to inform you that your presentation has been accepted by Scientific Committee as follows:

Authors: Jiraporn Koatsaha, Supa Chulakup, Sakorn Chonsakorn, Siriwan Teepoo and Rattanaphol Mongkholrattanasit

Title: Antibacterial Activity by *Kaempferia Parviflora* Micoroencapsulation from and Applications for Textile Industry

Presentation: Poster

The "4th RMUTP International Conference: Textiles and Fashion" will be held in Pullman Bangkok King Power, Bangkok, Thailand from July 3rd to July 4th, 2012.

We hereby extend our cordial invitation to your to join us in this prominent event. You are encouraged to visit the "4th RMUTP International Conference: Textiles and Fashion" website http://textileconference.rmutp.ac.th/

We thank you for the support and look forward to welcome you in Bangkok, Thailand.

Sincerely yours

Asst. Prof. Supatra Kosaiyakanont

Vice-President for Academic and International Affairs
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, (RMUTP)
399 Samsen Rd.,Vachira Phayaban, Dusit, Bangkok 10300 THAILAND
Email: supatra.k@live.rmutp.ac.th, supatra_ko@hotmail.com
Tel: +66 (0) 2280 7918 Mobile: +66 (0) 89890 3971 Fax: +66 (0) 2628 5210

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (RMUTP), Bangkok, Thailand

Technical University of Liberec (TUL), Liberec, Czech Republic

The 4th RMUTP International Conference: Textiles and Fashion

3rd and 4th July 2012

Bangkok, Thailand

Dear Jiraporn Koatsaha

Thank you for sending me full paper. We will inform you about acceptation for publish full paper as RMUTP Research Journal after 31 st May 2012. We are looking forward to welcome you at The 4th RMUTP International Conference: Textiles & Fashion 2012 in Bangkok, Thailand. If you have further enquiries, please do not hesitate to let me know.

Best regards

Member of organizing committee

Mr.Rattanaphol Mongkholrattanasit; Ph.D.

Email: rattanaphol.m@rmutp.ac.th

Department of Textile Chemistry Technology

Faculty of Industrial Textile and Fashion Design

RajamangalaUniversity of Technology Phra Nakon

517, Nakhonsawan Road, Kwang Suan Chitladda,
Dusit District, Bangkok,10300 Thailand
Mobile +66(0)874843723
Land line +66(0)26299152-7 Ext.3003
Fax +66(0)22823718

ภาคผนวก ค

รายงานผลการทดสอบ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันวิจัยเคมี เดิม)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก (กม.13) ธัญบุรี ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ + 66 (0) 2549 3534,40 โทรสาร + 66 (0) 2549 3522

รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบ

เลขที่ 55/14 (รหัสงาน BT55/06) **สาขา เทคโนโลยีชีวภาพ**

1. **ชื่อลูกค้า** นางสาวจิราภรณ์ คชสง่า

ที่อยู่ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

โทรศัพท์ 08-9106-7425 **โทรสาร** -

2. **รายละเอียดลักษณะ สภาพ และการบ่งชี้ ของตัวอย่างที่ทดสอบ**

น้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

3. **รับตัวอย่าง** วันที่ 20 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2555
4. **ทำการทดสอบ** วันที่ 21 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2555
5. **ผลการวิเคราะห์ทดสอบ**

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ Clear Zone (cm)	วิธีที่ใช้	หมายเหตุ
1. เชื้อ *Staphylococcus aureus* (6.4×10^{6} CFU/ml)	0.68		

ลงนาม.......................................
(นางสาวกนกวรรณ ฤดีสิริศักดิ์)
หัวหน้างานด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

ลงนาม.......................................
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริแข พงษ์สวัสดิ์))
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. รายงานนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ทดสอบเท่านั้น
2. รายงานผลการทดสอบ ต้องไม่ถูกสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน ยกเว้นทำทั้งฉบับโดยได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ
3. ช่องหมายเหตุ ใช้ระบุ มาตรฐาน ข้อกำหนด detection limit หรือข้อมูลอื่นๆ ตามที่ลูกค้าร้องขอ
4. * เป็นรายการวิเคราะห์ที่ไม่รับรองโดย สมอ. และ/หรือ สรอ.
5. N.D. หมายถึง ตรวจไม่พบ , LOD หมายถึง ขีดจำกัดวิธีการวิเคราะห์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันวิจัยเคมี เดิม)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก (กม.13) ธัญบุรี ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ + 66 (0) 2549 3534,40 โทรสาร + 66 (0) 2549 3522

รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบ

เลขที่ 55/08 (รหัสงาน BT55/04) **สาขา เทคโนโลยีชีวภาพ**

1. **ชื่อลูกค้า** นางสาวจิราภรณ์ คชสง่า

ที่อยู่ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

โทรศัพท์ 08-9106-7425 **โทรสาร** -

2. **รายละเอียดลักษณะ สภาพ และการบ่งชี้ ของตัวอย่างที่ทดสอบ**

   น้ำมันหอมระเหยกระชายดำ

3. **รับตัวอย่าง** วันที่ 28 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555
4. **ทำการทดสอบ** วันที่ 28 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555
5. **ผลการวิเคราะห์ทดสอบ**

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ Clear Zone (cm)	วิธีที่ใช้	หมายเหตุ
1. เชื้อ *Klebsiella pneumoniae* (5.30×10^6 CFU/ml)	0.21		

ลงนาม...
(นางสาวกนกวรรณ ฤดีสิริศักดิ์)
หัวหน้างานด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

ลงนาม...
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงศ์ วรเศรษฐพงศ์)
รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน
รักษาราชการแทน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. รายงานนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ทดสอบเท่านั้น
2. รายงานผลการทดสอบ ต้องไม่ถูกสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน ยกเว้นทำทั้งฉบับโดยได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ
3. ช่องหมายเหตุ ใช้ระบุ มาตรฐาน ข้อกำหนด detection limit หรือข้อมูลอื่นๆ ตามที่ลูกค้าร้องขอ
4. * เป็นรายการวิเคราะห์ที่ไม่รับรองโดย สมอ. และ/หรือ สรอ.
5. N.D. หมายถึง ตรวจไม่พบ , LOD หมายถึง ขีดจำกัดวิธีการวิเคราะห์

Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Rungsit – Nakornnayok (km.13) Rd., Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND.
Tel. + 66 (0) 2549 3534, 40 Fax + 66 (0) 2549 3522

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
สถาบันวิจัยเคมี

WORK SHEET การตรวจหา TOTAL PLATE COUNT (TPC)

วันที่วิเคราะห์ 21 มี.ค. 55 Modu Lot No. ....

ลำดับ	หมายเลขวิเคราะห์ ปริมาณเชื้อเริ่มต้น	ระดับการเจือจาง 10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	ค่าที่อ่านได้ (CFU/ml)	ผลประเมิน ผ่าน/ไม่ผ่าน	หมายเหตุ
1	S. aureus	-	-	-	7300, 7300	60, 65	6, 32	64×10^6		
2	K. pneumoniae	-	-	-	7300, 7300	44, 36	5, 1	4.0×10^6		

หมายเหตุ : NC = Not Check F = fail SP = Spreader TNTC = Too Numerous To Count

ลงชื่อ (ผู้ตรวจสอบ) ....
(..........)
วันที่ 27 มี.ค. 55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
สถาบันวิจัยเคมี

WORK SHEET การตรวจนับ TOTAL PLATE COUNT (TPC)

วันที่วิเคราะห์ 21 มี.ค. 55 Media Lot No. S. aureus (6.4×10^6 CFU/ml) $\bar{x}$ clearzone (mm)

ลำดับ	หมายเลขวิเคราะห์	หลุมที่			ขนาด clear zone (mm)			ค่าที่อ่านได้ (CFU/ml)	ผลประเมิน ผ่าน/ไม่ผ่าน	หมายเหตุ
		1	2	3	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}			
1.	BT 55/06 (น้ำมันหอมระเหย ตะไคร้)	5, 6, 7	7, 5, 6	10, 10, 5				6.8		

หมายเหตุ : NC = Not Check F = fail SP = Spreader TNTC = Too Numerous To Count

ลงชื่อ (ผู้ตรวจสอบ) ....
([illegible])
วันที่ 23 / มี.ค. / 55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
สถาบันวิจัยและ...

WORK SHEET การตรวจหา TOTAL PLATE COUNT (TPC)

วันที่วิเคราะห์ 28 กพ 55 (BT55/04) Media Lot No. Klepsiella pneumoniae

ลำดับ	หมายเลขวิเคราะห์ ปริมาณเชื้อเริ่มต้น	ระดับการเจือจาง 10[illegible]	10[illegible]	10[illegible]	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	ค่าที่อ่านได้ (CFU/ml)	ผลประเมิน ผ่าน/ไม่ผ่าน	หมายเหตุ
1	Klepsiella pneumoniae	–	–	–	7300, 7300	7300, 7300	48, 58	5.3×10^{6}		

ทดสอบการยับยั้งเชื้อ		ขนาด clear zone (mm) 1	2	3	$\bar{x}$ clear zone (mm)
1.	BT 55/04 (ผลิตภัณฑ์...)	4, 3, 1	2, 2, 2	2, 2, 1	2.1

หมายเหตุ : NC = Not Check F = fail SP = Spreader TNTC = Too Numerous To Count

ลงชื่อ (ผู้ตรวจสอบ) [signature]
([handwritten name])
วันที่ 2 / มี.ค. / 55

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันวิจัยเคมี เดิม)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก (กม.13) ธัญบุรี ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ + 66 (0) 2549 3534,40 โทรสาร + 66 (0) 2549 3522

รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบ

เลขที่ 55/13 (รหัสงาน BT55/05) **สาขา เทคโนโลยีชีวภาพ**

1. **ชื่อลูกค้า** นางสาวจิราภรณ์ คชสง่า

   ที่อยู่ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

   โทรศัพท์ 08-9106-7425 **โทรสาร** -

2. **รายละเอียดลักษณะ สภาพ และการบ่งชี้ ของตัวอย่างที่ทดสอบ**

   ผ้าใช้ Microcapsul

3. **รับตัวอย่าง** วันที่ 20 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2555

4. **ทำการทดสอบ** วันที่ 21 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2555

5. **ผลการวิเคราะห์ทดสอบ**

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ Clear zone (cm)		วิธีที่ใช้	หมายเหตุ
	Staphylococcus aureus ($6.4x10^6$ CFU/ml)	*Klebsiella pneumonia* ($4.0x10^6$ CFU/ml)		
1. cotton : 10g Microcapsul	ไม่เกิด Clear zone	ไม่เกิด Clear zone		* ปริมาณเชื้อรอบชิ้นส่วนตัวอย่างจางลง แต่ยังไม่เกิด Clear zone
2. polyester :10g Microcapsul	ไม่เกิด Clear zone	ไม่เกิด Clear zone		
3. nylon :10g Microcapsul	0.21	Clear zone ไม่ชัด*		
4. cotton : 20g Microcapsul	ไม่เกิด Clear zone	ไม่เกิด Clear zone		
5. polyester : 20g Microcapsul	ไม่เกิด Clear zone	ไม่เกิด Clear zone		
6. nylon : 20g Microcapsul	0.19	Clear zone ไม่ชัด*		

ลงนาม.. ลงนาม..

(นางสาวกนกวรรณ ฤดีสิริศักดิ์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริแข พงษ์สวัสดิ์)

หัวหน้างานด้านเทคโนโลยีชีวภาพ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. รายงานนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ทดสอบเท่านั้น
2. รายงานผลการทดสอบ ต้องไม่ถูกสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน ยกเว้นทำทั้งฉบับโดยได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ
3. ช่องหมายเหตุ ใช้ระบุ มาตรฐาน ข้อกำหนด detection limit หรือข้อมูลอื่นๆ ตามที่ลูกค้าร้องขอ
4. * เป็นรายการวิเคราะห์ที่ไม่รับรองโดย สมอ. และ/หรือ สรข.
5. N.D. หมายถึง ตรวจไม่พบ , LOD หมายถึง ขีดจำกัดวิธีการวิเคราะห์

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
สถาบันวิจัยเคมี

WORK SHEET การตรวจหา TOTAL PLATE COUNT (TPC)

วันที่วิเคราะห์ 21 มี.ค. 55 (BT 55/05)   Media Lot No. S. aureus (6.4 x 10^6 cfu/ml) $\bar{x}$ clear zone (mm)

ลำดับ	หมายเลขวิเคราะห์	การยับยั้งเชื้อ			~~ระดับการเจือจาง~~ ขนาด clear zone (mm)			~~ค่าที่อ่านได้~~ (CFU/ml)	ผลประเมิน ผ่าน/ไม่ผ่าน	หมายเหตุ
		1	2	3	10^{-1}	10^{-4}	10^{-5}			
1	BT 55/05 (1)	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0				0		
2	" (2)	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0				0		
3	" (3)	0.3, 0.2, 0.1	0.3, 0.3, 0.2	0.2, 0.2, 0.1				2.1		
4	" (4)	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0				0		
5	" (5)	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0				0		
6	" (6)	0.1, 0.1, 0.2	0.3, 0.2, 0.1	0.3, 0.3, 0.1				1.9		

หมายเหตุ : NC = Not Check   F = fail   SP = Spreader   TNTC = Too Numerous To Count

ลงชื่อ (ผู้ตรวจสอบ) [signature]
([illegible])
วันที่ 23 มี.ค. 55

ภาคผนวก ง

มาตรฐานการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

AATCC Test Method 147-2004

Antibacterial Activity Assessment of Textile Materials: Parallel Streak Method

Developed in 1976 by AATCC Committee RA31; reaffirmed 1977, 1982, 1998; editorially revised 1980, 1982, 1983, 1986; revised 1987, 1988 (with title change), 1993; editorially revised and reaffirmed 2004.

Foreword

The Parallel Streak Method has filled a need for a relatively quick and easily executed qualitative method to determine antibacterial activity of diffusable antimicrobial agents on treated textile materials.

AATCC Method 100, Antibacterial Finishes on Textile Materials, Assessment of, is a quantitative procedure which is adequately sensitive but is cumbersome and time consuming for routine quality control and screening tests. Therefore, when the intent is to demonstrate bacteriostatic activity by the diffusion of the antibacterial agent through agar, Method 147 fulfills this need. In the Parallel Streak Method, the agar surface is inoculated making it easier to distinguish between the test organism and contaminant organisms which may be present on the unsterilized specimen. The Parallel Streak Method has proven effective over a number of years of use in providing evidence of antibacterial activity against both Gram positive and Gram negative bacteria.

1. Purpose and Scope

1.1 The objective is to detect bacteriostatic activity on textile materials. The results of using this procedure have been demonstrated by Committee RA31 to be reproducible by various laboratories working with materials containing residual amounts of antibacterial agents (as determined by chemical assay) after multiple standard washings. The method is useful for obtaining a rough estimate of activity in that the growth of the inoculum organism decreases from one end of each streak to the other and from one streak to the next resulting in increasing degrees of sensitivity. The size of the zone of inhibition and the narrowing of the streaks caused by the presence of the antibacterial agent permit an estimate of the residual antibacterial activity after multiple washings.

2. Principle

2.1 Specimens of the test material, including corresponding untreated controls of the same material, are placed in intimate contact with nutrient agar (see 7.1 and 7.4) which has been previously streaked with an inoculum of a test bacterium. After incubation, a clear area of interrupted growth underneath and along the sides of the test material indicates antibacterial activity of the specimen. A standard strain of bacteria is used which is specific to the requirements of the material under test. If no other bacterial species is specified, *Staphylococcus aureus* may be used as a representative Gram positive organism. Other recommended strains are listed below in Section 6.

3. Terminology

3.1 **activity,** n.—*of an antibacterial agent*, a measure of effectiveness of the agent.

3.2 **antibacterial agent,** n.—*in textiles*, any chemical which kills bacteria (bactericide) or interferes with the multiplication, growth or activity of bacteria (bacteriostat).

3.3 **zone of inhibition,** n.—clear area of no growth of a microorganism, cultured onto the surface of an agar growth medium, in proximity to the borders of a specimen placed in direct contact with this agar surface.

NOTE: A zone of inhibition occurs as a result of the diffusion of an antimicrobial agent from the specimen.

4. Safety Precautions

NOTE: These safety precautions are for information purposes only. The precautions are ancillary to the testing procedures and are not intended to be all inclusive. It is the user's responsibility to use safe and proper techniques in handling materials in this test method. Manufacturers MUST be consulted for specific details such as material safety data sheets and other manufacturer's recommendations. All OSHA standards and rules must also be consulted and followed.

4.1 This test should be performed only by trained personnel. The U.S. Department of Health and Human services publication *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories* should be consulted (see 13.1).

4.2 CAUTION: Some of the bacteria used in this test are pathogenic; i.e., capable of infecting humans and producing disease. Therefore, every necessary and reasonable precaution must be taken to eliminate this risk to the laboratory personnel and to personnel in the associated environment. Wear protective clothing and respiratory protection that prevents penetration by the bacteria.

4.3 Good laboratory practices should be followed. Wear safety glasses in all laboratory areas.

4.4 All chemicals should be handled with care.

4.5 An eyewash/safety shower should be located nearby for emergency use.

4.6 Sterilize all contaminated samples and test materials prior to disposal.

4.7 Exposure to chemicals used in this procedure must be controlled at or below levels set by government authorities (e.g., Occupational Safety and Health Administrations [OSHA] permissible exposure limits [PEL] as found in 29 CFR 1910.1000 of January 1, 1989). In addition, the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Threshold Limit Values (TLVs) comprised of time weighted averages (TLV-TWA), short term exposure limits (TLV-STEL) and ceiling limits (TLV-C) are recommended as a general guide for air contaminant exposure which should be met (see 13.2).

5. Uses and Limitations

5.1 The method is not suitable for materials which tend to encapsulate and prevent the diffusion of the antibacterial agent or contain antibacterial-neutralizing substances.

6. Test Organisms

6.1 Test bacteria:

6.1.1 *Staphylococcus aureus*, American Type Culture Collection No. 6538. Gram positive organism. (see 13.3)

6.1.2 *Klebsiella pneumoniae*, American Type Culture Collection No. 4352. Gram negative organism. (see 13.3)

6.1.3 Other suitable species can also be used depending on the intended end-use of the test sample.

6.2 Whenever possible, test the activity of the culture to be used against a standard control specimen (a positive control) with known antibacterial activity.

6.3 To determine whether the antibacterial activity is due to the antibacterial agent, test a specimen of the same material treated in exactly the same way with

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

whatever other finishing agents were used, but without the antibacterial agent. Many standard textile finishing chemicals, especially crease resistant and permanent press reagents, will often give strong antibacterial activity even after many washes.

7. Culture Medium

7.1 Suitable broth/agar media are Nutrient, Trypticase Soy and Brain-Heart Infusion.

Nutrient Broth:	
Peptone (Bacto-peptone) (see 13.5)	5 g
Beef extract (see 13.6)	3 g
Distilled water	to 1000 mL

7.2 Heat to a boil to disperse ingredients. Adjust to pH 6.8 ± 0.1 with 1*N* NaOH solution. (This is not necessary if prepared, dehydrated medium is used.)

7.3 Dispense in 10.0 ± 0.5 mL amounts in conventional bacteriological culture tubes (i.e., 125 × 17 mm). Plug and sterilize at 103 kPa (15 psi) for 15 minutes.

7.4 Nutrient agar (see 13.4). Add 1.5% bacteriological agar to nutrient (or appropriate) broth. Heat to boiling. Check pH and adjust to 7.1 ± 0.1 using NaOH solution if necessary. Dispense in 15.0 ± 0.5 mL amounts in conventional bacteriological culture tubes, plug, and sterilize at 103 kPa (15 psi) for 15 min. (May be sterilized in 1,000 mL borosilicate glass flasks and petri dishes poured from this.)

8. Maintenance of Culture of Test Organisms

8.1 Using a 4 mm inoculating loop, transfer the culture daily in nutrient (or appropriate medium) broth for not more than two weeks. At the conclusion of two weeks, make a fresh transplant from stock culture. Incubate cultures at 37 ± 2°C (99 ± 3°F).

8.2 Maintain stock cultures on nutrient or appropriate agar slants. Store at 5 ± 1°C (41 ± 2°F) and transfer once a month to fresh agar (see 13.7).

9. Test Specimens

9.1 Test specimens (non-sterile) are cut by hand or with a die. They may be any convenient size. Rectangular specimens cut 25 × 50 mm are recommended. A 50 mm length permits the specimens to lie across 5 parallel inoculum streaks each of diminishing width from about 8 mm to 4 mm wide.

10. Procedure

10.1 Dispense sterilized nutrient (or appropriate medium) agar [cooled to 47 ± 2°C (117 ± 4°F)] by pouring 15 ± 2 mL into each standard (15 × 100 mm) flat bottomed petri dish. Allow agar to gel firmly before inoculating.

10.2 Prepare inoculum by transferring 1.0 ± 0.1 mL of a 24 h broth culture into 9.0 ± 0.1 mL of sterile distilled water contained in a test tube or small flask. Mix well using appropriate agitation.

10.3 Using a 4 mm inoculating loop, load one loopful of the diluted inoculum and transfer to the surface of the sterile agar plate by making five streaks approximately 60 mm in length, spaced 10 mm apart covering the central area of a standard petri dish (see 10.1) without refilling the loop. Take care not to break the surface of the agar while making the streaks.

10.4 Gently press the test specimen transversely across the five inoculum streaks to ensure intimate contact with the agar surface. This may be accomplished more easily by pressing the specimen to the agar surface with a biological section lifter or with a spatula which has been sterilized by flaming and then air cooled immediately before use.

10.5 If the specimen curls, preventing intimate contact with the inoculated surface, place sterile glass slides on the ends of the specimen to hold it in place.

10.6 Incubate at 37 ± 2°C (99 ± 4°F) for 18-24 h.

11. Evaluation

11.1 Examine the incubated plates for interruption of growth along the streaks of inoculum beneath the specimen and for a clear zone of inhibition beyond its edge. The average width of a zone of inhibition along a streak on either side of the test specimen may be calculated using the following equation:

$$W = (T - D)/2$$

where:

W = width of clear zone of inhibition in mm

T = total diameter of test specimen and clear zone in mm

D = diameter of the test specimen in mm

11.2 The size of the zone cannot be construed as a quantitative evaluation of antibacterial activity. Treated materials should be compared to an untreated corresponding material and a material specimen with known bacteriostatic activity. Report of results will include an observation of zones of inhibition and growth under the specimen if present. The criterion for passing the test must be agreed upon by the interested parties. To constitute acceptable antibacterial activity, there must be no bacterial colonies directly under the sample in the contact area.

12. Precision and Bias

12.1 Precision for this test method has not been established. Until a precision statement is generated for this test method, use standard statistical techniques in making any comparisons of test results for either *within-laboratory* or *between-laboratory* averages.

13. Notes and References

13.1 Publication available from U.S. Department of Health and Human Services—CDC/NIH-HHS Publication No. (CDC) 84-8395.

13.2 Booklet available from Publications office, ACGIH, Kemper Woods Center, 1330 Kemper Meadow Dr., Cincinnati OH 45240; tel: 513/742-2020.

13.3 American Type Culture Collection, P.O. Box 1549, Manassas VA 20108; tel: 703/365-2700; fax: 703/365-2701.

13.4 Nutrient Agar can be obtained from Difco Laboratories, 920 Henry St., Detroit MI 48201 and from Baltimore Biological Laboratories, 250 Schilling Circle, Cockeyville MD 21030.

13.5 Peptone from Difco Laboratories (address above), or Thiotone from Baltimore Biological Laboratories (address above).

13.6 Beef extract may be obtained from Baltimore Biological Laboratories (address above); Difco Laboratories (address above); or Oxoid USA Inc., 9017 Red Branch Road, Columbia MD 21045.

13.7 Consistent and accurate testing requires maintenance of a pure, uncontaminated, non-mutant test culture. Avoid contamination by using good sterile technique in plating and transferring. Avoid mutation by strict adherence to monthly stock transfers. Check culture purity by making streak plates periodically and observing for a single species-characteristic type of colonies.

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

Designation: D 3776 – 96 (Reapproved 2002)

Standard Test Method for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric[1]

This standard is issued under the fixed designation D 3776; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the measurement of fabric mass per unit area (weight) and is applicable to most fabrics.

1.2 There are four approved options:

1.2.1 *Option A*—Full Piece, Roll, Bolt or Cut (Section 7).

1.2.2 *Option B*—Full Width Sample (Section 8).

1.2.3 *Option C*—Small Swatch of Fabric (Section 9).

1.2.4 *Option D*—Narrow Fabrics (Section 10).

1.3 The values either in SI units or U.S. customary units are regarded as standard. U.S. customary units may be approximate.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:* [2]

D 123 Terminology Relating to Textiles

D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing

D 3773 Test Methods for Length of Woven Fabric

D 3774 Test Methods for Width of Woven Fabric

2.2 *Other Standard:*

ANSI/ASQC Z1.4 Inspection by Attributes[3]

3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 *weight, n—as used with fabrics*, mass per unit area.

3.1.1.1 *Discussion*—Fabric mass per unit area is expressed either as grams per square metre (ounces per square yard), or grams per linear metre (ounces per linear yard). Fabric mass is also sometimes expressed inversely as linear metres per kilograms (yards per pound) with the fabric width stated.

3.2 For definitions of other textile terms used in these test methods, refer to Terminology D 123.

4. Summary of Test Methods

4.1 Fabric mass is calculated from the mass of a specimen the length and width of which have been measured as directed in one of the procedures in Test Method D 3773 and D 3774.

5. Apparatus

5.1 *Scale*, with a capacity and sensitivity sufficient to weigh the full piece, roll, bolt, or cut units to within ±0.1 % of their gross mass. The accuracy of the scale should be certified by a recognized authority.

5.2 *Balance*, having a capacity and sensitivity to weigh within ±0.1 % of the mass of the specimens being tested.

5.3 *Cutting Die*, either square or round with an area of at least 13 cm^2 or 4 $in.^2$

6. Conditioning

6.1 Condition test specimens as directed in Practice D 1776.

6.2 All weighing tests should be made in the standard atmosphere for testing textiles (20 ± 1°C (70 ± 2°F), 65 ± 2 % RH), after the specimens have been conditioned in the same atmosphere. It may be impractical to condition the specimens in Option A or nonconditioned testing may be agreed upon by the purchaser and supplier. When the full rolls or bolts of fabric cannot be properly conditioned in a reasonable time with available facilities, perform the tests without conditioning and report the actual conditions prevailing at the time of the test. Such results may not correspond with the results obtained after testing adequately conditioned specimens in the standard atmosphere for testing textiles.

7. Option A—Full Piece, Roll, Bolt, or Cut

7.1 *Significance and Use*

7.1.1 Option A for the determination of mass per unit area of woven fabrics may be used for acceptance testing of commercial shipments since it has been used extensively in the trade.

7.1.2 In case of a dispute arising from differences in reported test values when using Test Methods D 3776 for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the supplier should conduct comparative tests to determine if

[1] These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D13 on Textiles and are the direct responsibility of Subcommittee D13.60 on Fabric Test Methods, Specific.

Current edition approved April 10, 1996. Published June 1996. Replaces Sections 35 to 41 of Methods D 1910 – 64 (1975). Originally published as D 3776 – 79. Last previous edition D 3776 – 85(1990).

[2] For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

[3] Available from American National Standards Institute, 11 W. 42nd St., 13th Floor, New York, NY 10036.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens which are as homogeneous as possible and which are from a lot of material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using student's *t*-test for unpaired data and an acceptable probability level chosen by the two parties before testing is begun. If a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the supplier must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

7.2 *Sampling*—As a lot sample for acceptance testing, take at random the number of rolls of fabric as directed in an applicable material specification or other agreement between the purchaser and the supplier. Consider rolls of fabric to be the primary sampling units. Consider the rolls of fabric in the lot sample as the laboratory sample and as the test specimens.

7.3 *Procedure*:

7.3.1 Measure the length of the full piece, roll, bolt, or cut by the hand procedure in Test Method D 3773.

7.3.2 Measure the width by the tension-free alternative of Option A of Test Method D 3774.

7.3.3 Weigh the fabric, with shell and holder, if any, to the nearest 0.1 % of its mass.

7.3.4 Weigh the holder, if any, to the nearest 0.1 % of its mass.

7.4 *Calculations*:

7.4.1 Determine the net weight of the fabric by subtracting the weight of the holder from the total weight.

7.4.2 Dimensions and mass may all be determined in SI units and mass per unit area calculated using Eq 1, Eq 2, or Eq 3, as follows:

$$g/m^2 = 10^3 M/LW \quad (1)$$

$$g/m = 10^3 M/L \quad (2)$$

$$m/kg = L/M \quad (3)$$

where:
M = mass of fabric, in kilograms,
L = length of fabric, in metres, and
W = width of fabric, in metres.

7.4.3 Calculate the mass per unit area, mass per linear yard, or linear yards per pound to three significant figures, unless otherwise specified, using Eq 4, Eq 5, Eq 6, or Eq 7, as follows:

Mass per unit area:

$$oz/yd^2 = 576 M/LW \quad (4)$$

Mass per yard:

$$oz/yd = 16 M/L \quad (5)$$

Linear yards per pound:

$$yd/lb = L/M \quad (6)$$

$$yd/lb = 16\ oz/yd \quad (7)$$

where:
M = mass of fabric, in pounds,
L = length of fabric, in yards, and
W = width of fabric, in inches.

7.4.4 If preferred, convert the U.S. customary units to SI units using Eq 8, Eq 9, or Eq 10, as follows:

$$\text{Mass, } g/m^2 = oz/yd^2 \times 33.906 \quad (8)$$

$$\text{Mass, } g/m = oz/yd \times 31.000 \quad (9)$$

$$m/kg = yd/lb \times 2.016 \quad (10)$$

8. Option B—Full Width Sample

8.1 *Significance and Use*:

8.1.1 This procedure is applicable to a full-width sample cut from a full piece, roll, bolt, or cut. Unless otherwise specified, these results will include selvages and will be on the basis of conditioned fabric.

8.1.2 Option B is not recommended for the acceptance testing of commercial shipments, since Option A is regularly used for that purpose.

8.2 *Sampling*:

8.2.1 *Lot Sample*—As a lot sample for acceptance testing, take at random the number of rolls of fabric as directed in an applicable material specification or other agreement between the purchaser and the supplier. Consider the roll of fabric to be the primary sampling units.

8.2.2 *Laboratory Sample*—From each roll or piece in the lot sample, cut—don't tear—at least one laboratory sample the full width of the fabric and at least 250 mm (10 in.) in length. The cut edges must be a straight line, free of indentations or bulges, unless both edges have been made to trace parallel filling yarns. In this procedure the complete laboratory sample is used as the specimen.

8.3 *Procedure*:

8.3.1 Measure the length of the conditioned specimen by the hand procedure of Test Method D 3773.

8.3.2 Measure the width by the tension-free alternative of Option A of Test Method D 3774.

8.3.3 Weigh the specimen in grams on a scale or balance to the nearest 0.1 % of its mass (weight).

8.4 *Calculations*:

8.4.1 Calculate the mass per unit area, mass per linear yard, or linear yards per pound to three significant figures, unless otherwise specified, using Eq 11, Eq 12, Eq 13, or Eq 14, as follows:

Mass per unit area:

$$oz/yd^2 = 45.72 G/L_s W \quad (11)$$

Mass per linear yard:

$$oz/yd = 1.27 G/L_s \quad (12)$$

Linear yards per pound:

$$yd/lb = 16/\text{oz per linear yd} \quad (13)$$

$$yd/lb = 12.6 L_s/G \quad (14)$$

where:
G = mass of specimen, in grams,
L_s = length of specimen, in inches, and
W = width of specimen, in inches.

8.4.2 If preferred, convert the U.S. customary units to SI units using Eq 4, Eq 5, or Eq 6 in 7.4.3.

8.4.3 Alternatively, dimensions and mass may all be determined in SI units and calculated using Eq 15, Eq 16, or Eq 17, as follows:

Mass per unit area:

$$g/m^2 = 10^6 G/L_s W \quad (15)$$

Mass per linear metre:

$$g/m = 10^3 G/L_s \quad (16)$$

Linear metres per kilogram:

$$m/kg = L_s/G \quad (17)$$

where:

G = mass of specimen, g
L_s = length of specimen, mm, and
W = width of specimen, mm.

9. Option C—Small Swatch of Fabric

9.1 *Significance and Use*:

9.1.1 This procedure is applicable when a small swatch of fabric is sent to the laboratory to be used as the test specimen. The results are considered to be applicable to the sample only and not necessarily to the lot from which the sample was taken.

9.1.2 Measurements by this method do not include selvages and should be reported as such, unless a selvage allowance is specified.

9.1.3 Option C is not recommended for acceptance testing of commercial shipments since Option A is regularly used for that purpose.

9.2 *Sampling*—Option C is used only when limited fabric is available and should not be used for acceptance sampling. Prepare such specimens from small swatches as is possible.

9.3 *Preparation of Specimens*—Prepare a conditioned specimen having an area of at least 130 cm^2 (20 $in.^2$) or a number of smaller die cut specimens taken from different locations in the sample and having a total area of at least 130 cm^2 (20 $in.^2$) Do not take these specimens closer than one tenth of the fabric width to a selvage or cut edge. If insufficient fabric is available to meet these criteria, note that fact in the report.

9.4 *Procedure*:

9.4.1 Determine the area of the specimen(s) used. For die-cut specimens, the area of the die is normally given. For other specimens, multiply the length by the width.

9.4.2 Weigh the specimen(s) to within ±0.1 % of mass (weight) on a balance. Specimens of a fabric may be weighed together.

9.5 *Calculations*:

9.5.1 Dimensions and mass may be determined in SI units and calculated using Eq 15 (8.4.3), Eq 18, or Eq 19, as follows:

Mass per linear metre:

$$g/m = 10^3 GW/L_s W_s \quad (18)$$

Linear metre per kilogram:

$$m/kg = L_s W_s/GW \quad (19)$$

where:

G = mass of specimen, g
W = width of fabric, mm
L_s = length of specimen, mm, and
W_s = width of specimen mm.

9.5.2 Calculate the mass in ounces per square yard, ounces per linear yard, or linear yards per pound to three significant figures using Eq 11 (8.4.1), Eq 19, or Eq 20, as follows:

Mass per linear yard:

$$oz/yd = 1.27 GW/L_s W_s \quad (20)$$

Linear yards per pound:

$$yd/lb = 12.6 L_s W_s/GW \quad (21)$$

where:

G = mass of specimen, g,
W = width of fabric, in.
W_s = width of specimen, in., and
L_s = length of specimen, in.

9.5.3 If preferred convert the U.S. customary units to SI units by using Eq 8, Eq 9, or Eq 10 in 7.4.4.

10. Option D—Narrow Fabrics

10.1 *Significance and Use*:

10.1.1 This procedure is intended for use with narrow fabrics as so designated by the trade. These fabrics are usually 300 mm (12 in.) in width or less, have a selvage on both sides and are woven on multishuttle looms.

10.1.2 Option D is not recommended for acceptance testing of commercial shipments since Option A is regularly used for that purpose.

10.2 *Sampling*:

10.2.1 *Lot Sample*—As a lot sample for acceptance testing, take at random the number of rolls of fabric as directed in an applicable material specification or other agreement between the purchaser and the supplier. Consider the rolls of fabric to be the primary sampling units.

10.2.2 *Laboratory Sample*—From each roll or piece in the lot sample, cut a conditioned laboratory sample 1 m ± 3 mm (36.0 ± 0.10 in.) long perpendicular to the selvages. Take a minimum of three such laboratory samples from different places, distributed as evenly as practicable along the length of the roll or piece. In this procedure a complete laboratory sample is used as a specimen.

10.3 *Procedure*:

10.3.1 Measure the width of the fabric to the nearest 1 mm (0.125 in.) by the tension-free alternative of Option A of Test Methods D 3774.

10.3.2 Weigh each specimen to within ±0.1 % of its weight on a scale or balance.

10.4 *Calculations*:

10.4.1 If all measurements are made in SI units, use Eq 15, Eq 16 or Eq 17 in 8.4.3.

10.4.2 Calculate the average mass as ounces per linear yard or linear yards per pound using Eq 12, Eq 13, or Eq 14 from 8.4.1.

10.4.3 If preferred, convert the U.S. customary units to SI units using Eq 9 or Eq 10 in 7.4.4.

11. Report

11.1 State that the tests were made as directed in Option A (or B or C or D) in Test Methods D 3776. Describe the material or product sampled and the method of sampling used.

11.2 Report the following information:

11.2.1 Option used to measure fabric mass per unit area.

11.2.2 Fabric mass in ounces per square yard, or ounces per linear yard, or in yards per pound, to three significant figures.

11.2.3 Fabric mass in grams per square metre, or grams per linear metre, or metres per kilogram, to three significant figures.

11.2.4 Fabric width if mass is reported as mass per linear metre (yard) or metres per kilogram (yards per pound).

11.2.5 State whether the fabric weight includes or does not include selvages, and

11.2.6 Atmospheric conditions under which the tests were conducted and whether the specimens were conditioned as directed in Practice D 1776.

12. Precision and Bias

12.1 *Summary*—In comparing two averages of four observations when using Option B of Test Methods D 3776, the difference should not exceed the following amounts in 95 out of 100 cases when all of the observations were taken by the same well-trained operator using the same piece of equipment and specimens randomly drawn from the same sample of material:

Seersucker	0.125 oz/yd^2
Gingham	0.080 oz/yd^2
Corduroy	0.330 oz/yd^2
Denim	0.105 oz/yd^2

Larger differences are likely under all other circumstances. The procedure in Option B of Test Methods D 3776 has no known bias and is used as a referee method.

12.2 *Interlaboratory Test Data*—An interlaboratory test was run in 1981 in which randomly drawn specimens of four materials were tested in each of four laboratories using Option B of Test Methods D 3776. Two operators in each laboratory each tested two specimens of each material for mass per unit area. The first fabric was a 65 % polyester and 35 % cotton seersucker type basket weave. The second fabric was a 65 % polyester and 35 % cotton gingham check. The third fabric was an 88 % cotton and 12 % polyester corduroy. The fourth fabric was a 100 % cotton denim. The components of variance for fabric mass per unit area expressed as standard deviations were calculated to be as follows:

	Average Mass per Unit Area	Single-Operator Component	Within-Laboratory Component	Between-Laboratory Component
Seersucker	6.11 oz/yd^2	0.091	0.000	0.023
Gingham	2.90 oz/yd^2	0.029	0.000	0.031
Corduroy	10.42 oz/yd^2	0.119	0.073	0.082
Denim	7.45 oz/yd^2	0.038	0.000	0.066

NOTE 1—The square roots of the components are being reported to express the variability in the appropriate unit of measure rather than as the square of those units of measure.

12.3 *Precision*—For the components of variance reported in 12.2, two averages of observed values should be considered significantly different at the 95 % probability level if the difference equals or exceeds the critical differences in Table 1.

NOTE 2—The tabulated values of the critical differences should be considered to be a general statement, particularly with respect to between-laboratory precision. Before a meaningful statement can be made about two specific laboratories, the amount of statistical bias, if any, between them must be established with each comparison being based on recent data obtained on specimens taken from a lot of material of the type being evaluated so as to be as nearly homogeneous as possible and then randomly assigned in equal numbers to each of the laboratories.

12.4 *Bias*—Option B in Test Method D 3776 for measuring mass per unit area (weight) of full width samples has no known bias and is accepted as a referee procedure. The accuracy of the other procedures in Test Method D 3776 has not been established. Weights of unconditioned fabric will be affected by the past history of the product.

13. Keywords

13.1 fabric; mass per unit area; weight

TABLE 1 Critical Differences for the Conditions Noted, 95 % Probability Level, Option B, Mass per Unit Area[A]

Fabric	Number of Observations in Each Average	Single-Operator Precision	Within-Laboratory Precision	Between-Laboratory Precision
Seersucker (6.11 oz/yd^2)	1	0.249	0.249	0.257
	4	0.125	0.125	0.140
	8	0.088	0.088	0.109
	16	0.062	0.062	0.089
Gingham (2.90 oz/yd^2)	1	0.080	0.080	0.118
	4	0.040	0.040	0.095
	8	0.028	0.028	0.090
	16	0.020	0.020	0.088
Corduroy (10.42 oz/yd^2)	1	0.330	0.387	0.449
	4	0.165	0.261	0.346
	8	0.117	0.234	0.326
	16	0.082	0.218	0.315
Denim (7.45 oz/yd^2)	1	0.105	0.105	0.211
	4	0.053	0.053	0.190
	8	0.037	0.037	0.187
	16	0.026	0.026	0.185

[A] The critical differences were calculated using $t = 1.960$ which is based on infinite degrees of freedom.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

AATCC Test Method 135-2004

Dimensional Changes of Fabrics after Home Laundering

Developed in 1970 by AATCC Committee RA42; reaffirmed 1973, 2000; revised 1978, 1987, 1995, 2001, 2003 (with title change), 2004; editorially revised 1982, 1985, 1989, 1990, 1991, 1996, 1997; editorially revised and reaffirmed 1992. Related to ISO 3759.

1. Purpose and Scope

1.1 This test method is intended for the determination of dimensional changes of fabrics when subjected to home laundering procedures used by consumers. Four washing temperatures, three agitation cycles, two rinse temperatures and four drying procedures cover the common home care options available to consumers using current laundering machines.

2. Principle

2.1 The dimensional changes of fabric specimens subjected to home laundering care are measured using pairs of benchmarks applied to the fabric before laundering.

3. Terminology

3.1 **dimensional change,** n.—a generic term for changes in length or width of a fabric specimen subjected to specified conditions. The change is usually expressed as a percentage of the initial dimension of the specimen.

3.2 **growth,** n.—a dimensional change resulting in an increase of length or width of a specimen.

3.3 **laundering,** n.—*of textile materials*, a process intended to remove soils and/or stains by treatment (washing) with an aqueous detergent solution and normally including rinsing, extraction and drying.

3.4 **shrinkage,** n.—a dimensional change resulting in a decrease in the length or width of a specimen.

4. Safety Precautions

NOTE: These safety precautions are for information purposes only. The precautions are ancillary to the testing procedures and are not intended to be all inclusive. It is the user's responsibility to use safe and proper techniques in handling materials in this test method. Manufacturers MUST be consulted for specific details such as material safety data sheets and other manufacturer's recommendations. All OSHA standards and rules must also be consulted and followed.

4.1 Good laboratory practices should be followed. Wear safety glasses in all laboratory areas.

4.2 The 1993 AATCC Standard Reference Detergent may cause irritation. Care should be taken to prevent exposure to skin and eyes.

4.3 Manufacturer's safety recommendations should be followed when operating laboratory testing equipment.

5. Apparatus and Materials

5.1 Automatic washing machine (see 12.1).

5.2 Automatic tumble dryer (see 12.2).

5.3 Conditioning/drying racks with pull-out screens or perforated shelves (see 12.3).

5.4 Facilities for drip drying and line drying.

5.5 1993 AATCC Standard Reference Detergent (see 12.10 and 12.11).

5.6 Ballast of 920 × 920 mm (36 × 36 in.) hemmed pieces of bleached cotton sheeting (Wash load ballast type 1), or 50/ 50 polyester/cotton bleached plain weave (Wash load ballast type 3) (see 12.4 and 12.11).

5.7 Indelible ink marking pen (see 12.5) for use with suitable rule, tape, marking template or other marking device (see 12.6). Sewing thread may be used for making benchmarks.

5.8 Measuring devices.

5.8.1 Tape or rule marked in millimeters, eighths or tenths of an inch.

5.8.2 Tape or ruled template marked directly in percent dimensional change to 0.5% or smaller increment (see 12.6).

5.8.3 Digital Imaging System (see 12.7).

5.9 Scale with at least 5.0 kg (10.0 lb) capacity.

6. Test Specimens

6.1 Sampling and Preparation.

6.1.1 Samples from which dimensional change specimens are to be taken should be representative of the fabric processing stage, finishing treatment, research lab trial, pallet, lot or end-product stage.

6.1.2 Fabrics that are distorted in their unlaundered state may give deceptive dimensional change results when laundered by any procedure. In such cases, it is recommended that specimens not be taken from any distorted area of a fabric sample.

6.1.3 Tubular knitted samples should be slit and handled flat in a single layer. Only circular knitted fabrics produced on body-width machines are to be used as specimens in their tubular form. Circular knitted fabrics made on body-width machines are ones to be used in garments with no side seams. Body-width tubular circular knitted garments and seamless garments (knit-to-wear) should be tested according to AATCC Method 150, Dimensional Changes of Garments after Home Laundering.

6.1.4 If fraying of specimens is expected in laundering, see 12.8.

6.1.5 Prior to marking, condition test specimens as directed in ASTM D 1776, Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles. Condition each specimen for at least 4 h in an atmosphere of 21 ± 1°C (70 ± 2°F) and 65 ± 2% RH by laying each test specimen separately on a screen or perforated shelf of a conditioning rack.

6.1.6 Lay the sample on a flat surface. Do not allow any section of the sample to hang over the edge of the work table. Using a template for the selected test size, mark specimens parallel to the selvege or fabric length direction. Avoid use of the sample area within ten percent of the sample width. Specimens should be taken from areas with different lengthwise and widthwise yarns (see Fig. 1). Identify the length direction of the specimens before cutting them out of the sample. When possible, three specimens from each fabric should be used. One or two specimens may be used when insufficient fabric sample is available.

6.2 Marking.

6.2.1 Option 1: *250 mm (10.0 in.) benchmarks*. Mark each 380 × 380 mm (15 × 15 in.) test specimen with three 250 mm (10 in.) pairs of benchmarks parallel to the test specimen length and three 250 mm (10 in.) pairs of benchmarks parallel to the test specimen width. Each benchmark must be at least 50 mm (2 in.) from all test specimen edges. Pairs of bench-

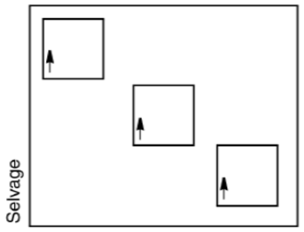


Fig. 1—Diagram for cutting fabric specimens.

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

marks in the same direction must be spaced approximately 120 mm (5 in.) apart.

6.2.2 Option 2: *460 mm (18.0 in.) benchmarks*. Mark each 610 × 610 mm (24.0 × 24.0 in.) test specimen with three 460 mm (18.0 in.) pairs of benchmarks parallel to the test specimen length and three 460 mm (18.0 in.) pairs of benchmarks parallel to the test specimen width. Each benchmark must be at least 50 mm (2.0 in.) from all test specimen edges. Pairs of benchmarks in the same directions must be spaced approximately 250 mm (10 in.) apart.

6.2.3 Narrow Fabrics.

6.2.3.1 For test specimens greater than 125 mm (5 in.) and less than 380 mm (15 in.) wide, take full width of test fabrics and cut each specimen 380 mm (15 in.) long. Mark the length as in 6.2.1. Measurement of the width is optional.

6.2.3.2 For test specimens 25-125 mm (1-5 in.) wide, take full width of test fabrics and cut each specimen 380 mm (15 in.) long. Use only two pairs of benchmarks parallel to the length. Measurement of the width is optional.

6.2.3.3 For test specimens less than 25 mm (1 in.) in width, take full width of test fabrics and cut each specimen 380 mm (15 in.) long. Use only one pair of benchmarks parallel to the length. Measurement of the width is optional.

6.3 Original Measurements and Specimen Size.

6.3.1 Specimen size and benchmarks distances used must be indicated in the report.

6.3.2 Dimensional change results may not be comparable when different specimen sizes, different benchmark lengths, different number of specimens, or different number of benchmarks are used.

6.3.3 To improve the accuracy and precision of the dimensional change calculations based on the benchmarks applied to the fabrics as instructed in 6.2, measure and record the distance between each pair of benchmarks with suitable tape or rule to nearest millimeter, eight or tenth of an inch. This is measurement A. In case of narrow fabrics less than 380 mm (15 in.) wide, measure and record width if width measurement will be used. If using a calibrated template for marking and measuring in percent dimensional change directly, an initial measurement is not needed.

7. Test Procedure

7.1 Tables I, II and III summarize alternative washing, rinsing and drying conditions and settings. Additional information on the machine and laundering conditions may be found in the monograph, *Standardization of Home Laundry Test Conditions*, elsewhere in this TECHNICAL MANUAL.

7.2 Washing.

7.2.1 Weigh test specimens and enough ballast to make a 1.8 ± 0.1 kg (4.00 ± 0.25 lb) load. An alternative load size of 3.6 ± 0.1 kg (8.00 ± 0.25 lb) may be used. Dimensional change results obtained using a 1.8 kg (4 lb) load weight may not be equal to those obtained with a 3.6 kg (8 lb) load weight and should not be compared.

7.2.2 Select the specified water level, the desired water temperature for the washing cycle and a rinse temperature of less than 29°C (85°F). If this rinse temperature is not attainable, record available rinse temperature. Fill the washing machine to the 18 ± 0.5 gal water level. For alternate load size, fill washing machine to the 22.0 ± 0.5 gal water level.

7.2.3 Add 66.0 ± 1 g of 1993 AATCC Standard Reference Detergent to an 18 ± 0.5 gal wash load. For alternative load size of 22.0 ± 0.5 gal, add 80 ± 1 g of 1993 AATCC Standard Reference Detergent. Agitate water briefly to dissolve detergent. Stop the machine agitation. It should be noted that in soft water areas, the amount of detergent used may be reduced to avoid excessive sudsing.

7.2.4 Add test specimens and ballast to machine. Set the washer for the selected washing cycle and time (see Tables I and II).

7.2.5 For specimens to be dried by procedures A, B or D, allow washing to proceed through the final spin cycle. Remove the test specimens immediately after the final spin cycle, separate tangled pieces, taking care to minimize distortion, and dry by procedure A, B or D (see Tables I and III).

7.2.6 For specimens to be dried by procedure C, Drip Dry, allow washing to proceed through to the final rinse cycle. Remove the specimens from the washer just before the water begins to drain for the final rinse cycle. Remove specimens soaking wet.

7.3 Drying.

7.3.1 For drying procedures B, C and D, do not blow air directly on specimens as it may cause fabric distortion.

7.3.2 (A) Tumble Dry. Place the washed load (test specimens and ballast) in the tumble dryer, and set the temperature control to generate the correct exhaust temperatures as specified in Table III. For fibers that are heat sensitive, lower temperatures consistent with producer's care recommendations should be used and reported. Allow the dryer to operate until the total load is dry. Remove the load immediately after the dryer stops.

7.3.3 (B) Line Dry. Hang each specimen by two corners with the fabric length in the vertical direction. Allow the test specimen to hang in still air at room temperature not greater than 26°C (78°F) until dry.

7.3.4 (C) Drip Dry. Hang each dripping wet specimen by two corners, with the fabric length in the vertical direction. Allow the specimens to hang in still air at room temperature not greater than 26°C (78°F) until dry.

7.3.5 (D) Screen Dry. Spread each

Table I—Alternative Washing and Drying Conditions (see 7.1)

Machine Cycle	Washing Temperature	Drying Procedure
(1) Normal/Cotton Sturdy	(II) 27 ± 3°C (80 ± 5°F)	(A) Tumble
(2) Delicate	(III) 41 ± 3°C (105 ± 5°F)	i. Cotton Sturdy
(3) Permanent Press	(IV) 49 ± 3°C (120 ± 5°F)	ii. Delicate
	(V) 60 ± 3°C (140 ± 5°F)	iii. Permanent Press
		(B) Line
		(C) Drip
		(D) Screen

Table II—Washing Machine Conditions Without Load (see 7.1)

	Normal	Delicate	Permanent Press
(A) Water Level	18 ± 1 gal	18 ± 1 gal	18 ± 1 gal
(B) Agitator Speed	179 ± 2 spm	119 ± 2 spm	179 ± 2 spm
(C) Washing Time	12 min	8 min	10 min
(D) Spin Speed	645 ± 15 rpm	430 ± 15 rpm	430 ± 15 rpm
(E) Final Spin Time	6 min	4 min	4 min

Table III—Dryer Setting Conditions (see 7.1)

	Cotton Sturdy	Delicate	Permanent Press
Exhaust Temperature	High 66 ± 5°C (150 ± 10°F)	Low < 60°C (140°F)	High 66 ± 5°C (150 ± 10°F)
Cool Down Time	10 min	10 min	10 min

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

specimen on a horizontal screen or perforated surface removing wrinkles without distorting or stretching it. Allow the specimen to dry in still air at room temperature not greater than 26°C (78°F).

7.3.6 Repeat the selected washing and drying cycle two more times or to an agreed number of cycles.

7.4 Conditioning and Restoration.

7.4.1 After the final washing and drying cycle, condition the specimens for at least 4 h (see 6.1.5) by laying each specimen separately on the screen or perforated shelves of a conditioning rack in an atmosphere of 21 ± 1°C (70 ± 2°F) and 65 ± 2% RH.

7.4.2 For fabrics that are intended to be used in a form fitting garment, restoration techniques are sometimes used prior to determining the dimensional change. Techniques for this type of restoration are not standardized (hand pulling specimens in the length and width directions at multiple locations using an unspecified force). If restoration techniques are used, a description of the technique should be reported and results should be reported as restored dimensional change.

7.4.3 If the specimens are extremely wrinkled and the consumer would ALWAYS expect to iron a garment made from the fabric, test specimens may be hand ironed prior to re-measurement of benchmarks. Use safe ironing temperatures appropriate to the fibers in the fabric being ironed. See Table I, Safe Ironing Temperature Guide, in AATCC Method 133, Colorfastness to Heat: Hot Pressing. Exert only that pressure during pressing which is necessary to remove wrinkles.

7.4.3.1 Due to the extremely high variability of hand ironing procedures performed by individual operators (no standard test method exists for hand ironing procedures), the reproducibility of dimensional change results after hand ironing has been found to be extremely poor. Consequently, caution is advised when comparing dimensional change results after laundering and hand ironing, reported by different operators.

7.4.3.2 Hand ironing is intended primarily for the evaluation of fabrics used in garments, which require ironing to remove wrinkles prior to wearing. Use safe ironing temperatures appropriate to the fibers in the fabric being ironed. See Table I, Safe Ironing Temperature Guide, in AATCC Method 133, Colorfastness to Heat: Hot Pressing. Exert only that pressure during pressing which is necessary to remove wrinkles.

7.4.3.3 After ironing, condition specimens for at least 4 h (see 6.1.5) by laying each specimen separately on the screen or perforated shelves of a conditioning rack in an atmosphere at 21 ± 1°C (70 ± 2°F) and 65 ± 2% RH.

8. Measurement

8.1 After conditioning, lay each test specimen without tension on a flat smooth, horizontal surface. Measure and record the distance between each pair of benchmarks to the nearest millimeter, eighth or tenth of an inch. This is measurement B. If using a scale calibrated in percent dimensional change, measure each benchmark to nearest 0.5% or smallest increment on the scale and record the percent dimensional change directly.

8.2 The wrinkles in most fabrics flatten sufficiently under pressure of a measuring instrument at the time of measurement not to cause measurement bias.

9. Calculation and Interpretation

9.1 Calculation.

9.1.1 If measurements were made directly in percent dimensional change, average the measurements in each direction made on the specimens after the first, third, or other specified number of washing and drying cycles. Calculate length and width averages separately to the nearest 0.1%.

9.1.2 If measurements were made to the nearest millimeter or eight or tenth of an inch, calculate the dimensional change after the first and third or other specified washing and drying cycle as follows:

$$\text{Average\% DC} = 100\,(B - A)/A$$

where:

DC = Average dimensional change
A = Average original dimension
B = Average dimension after laundering

Both the average original and average final dimensions are the averages of the measurements in each direction made on all test specimens. Calculate length and width averages separately to the nearest 0.1% (see 12.9).

9.1.3 A final measurement smaller than the original measurement results in a negative dimensional change which is shrinkage. A final measurement larger than the original measurement results in a positive dimensional change which is growth.

9.2 Interpretation.

9.2.1 If the dimensional change after one washing, drying, and, if used, hand ironing cycle as calculated in 9.1, is within a specification previously agreed on, continue test procedures as directed in 7.2, 7.3 and 7.4 until an agreed upon number of cycles has been completed.

9.2.2 If the dimensional change after one washing, drying, and, if used, hand ironing cycle as calculated in 9.1 exceeds a specification previously agreed on, terminate the test.

10. Report

10.1 Report for each sample tested:

(a) Dimensional change of length and width, separately, to the nearest 0.1% with a minus sign (-) for shrinkage or a plus (+) sign for growth (see 9.1.3).

(b) Washing procedure (include type of washing, cycle and temperature) and drying procedure (include type of drying, cycle and temperature).

(c) Size of specimens and benchmarks

(d) Size of load; i.e., 1.8 kg (4 lb) or 3.6 kg (8 lb).

(e) Number of complete washing and drying cycles (see 9.2).

(f) If fabrics were distorted or wrinkled in their original state.

(g) If fabrics were hand ironed.

(h) If fabric was restored and a restoration technique.

11. Precision and Bias

11.1 *Precision.* Precision for this test method has not been established. Until a precision statement is generated for this test method, use standard statistical techniques in making any comparisons of test results for either *within-laboratory* or *between-laboratory* averages.

11.2 *Bias.* Dimensional changes in automatic home laundering of fabrics can be defined only in terms of a test method. There is no independent method for determining the true value. As a means of estimating this property, the method has no known bias.

12. Notes

12.1 Contact AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel: 919/ 549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@aatcc.org, for model number(s) and source(s) of current approved washer(s). Any other washer, which is known to give comparable results, can be used. Washing machine conditions given in Table II represent the actual speeds and times available on the current specified model(s). Other washers can vary in one or more of these settings.

12.2 Contact AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel: 919/549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@aatcc.org, for model number(s) and source(s) of current approved dryer(s). Any other dryer, which is known to give comparable results, can be used. Dryer machine conditions given in Table III represent the actual temperatures and cool-down times available on the current specified model(s). Other dryers can vary in one or more of these settings.

12.3 Screen or perforated conditioning/drying racks available from: Somers Sheet Metal Inc., 5590 N. Church St., Greensboro NC 27405; tel: 336/643-3477; fax: 336/643-7443. Rack drawings are available from AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel: 919/549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@aatcc.org.

12.4 Ballast are available from Testfabrics

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

Inc., P.O. Box 26, 415 Delaware St., W. Pittston PA 18643; tel: 570/603-0432; fax: 570/603-0433; e-mail: testfabric@aol.com; and Textile Innovators Corp., div. of SDL Atlas L.L.C., P.O. Box 8, 101 Forest St., Windsor NC; tel: 252/794-9703; fax: 252/794-9704; e-mail: tic@sdlatlas.com.

12.5 Marking pens with different size tips are available from Mark-Tex Corp., Box 681, Englewood NJ 07631; and AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel:919/549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@ aatcc.org.

12.6 A ruled template marked in percent dimensional change is available from AATCC, Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel: 919/549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@ aatcc.org. A mechanical marking device and measuring tape marked in percent dimensional change is available from The Sanforized Co., 3200 Highlands Pkwy., Suite 300, Smyrna GA 30082; tel: 770/803-7662.

12.7 A digital imaging system may be used as a measuring device in place of the prescribed manual measurement devices if it is established that its accuracy is equivalent to the manual devices.

12.8 If excessive fraying occurs in laundering, specimen edges may be pinked or slashed. Sewing or over-edging a specimen is not recommended as it may influence actual dimensional change results. However, in the case where AATCC Methods 124 (Appearance of Fabrics after Repeated Home Laundering) and 135 are performed on the same specimens, some woven fabric constructions may require the specimen edges to be sewn or over-edged to prevent severe raveling that could cause entanglement in washing or drying, and therefore influence the assessment of both dimensional change and smoothness.

12.9 If information on the dimensional change variability within or between specimens is desired, calculate dimensional change based on the individual pairs of benchmarks for within specimen data or based on the average of the three pair of benchmarks for between specimen data.

12.10 Available from AATCC, P.O. Box 12215, Research Triangle Park NC 27709; tel: 919/549-8141; fax: 919/549-8933; e-mail: orders@aatcc.org

12.11 The AATCC Technical Center conducted a study to compare the 1993 AATCC Standard Reference Detergent, AATCC Standard Reference Detergent 124 and two different types of fabrics (current and proposed) to be used as ballast, under the following test conditions:

Machine cycle:	(1)—Normal/Cotton Sturdy
Washing Temp:	(V)—60 ± 3°C (140 ± 5°F)
Drying Procedure:	(A)i—Tumble dry, cotton sturdy cycle
Fabrics tested:	White Twill (100% cotton)
	Beige Twill (100% cotton)
	Grey Poplin (100% cotton)
	Blue Twill (50/50 poly/cotton)

No significant differences were found in the results using either detergent or ballast load fabrics.

Copyright © 2005 American Association of Textile Chemists and Colorists

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวจิราภรณ์ คชสง่า

วัน เดือน ปีเกิด เกิดเมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2525

ที่อยู่ 66/40 พฤกษ์ลดาการ์เด้นท์ ถ.สุขุมวิท ต.เทศบาลคลองตำหรุ อ.เมืองชลบุรี จ.ชลบุรี 20000

การศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรคหกรรมศาสตรบัณฑิต (คหกรรมศาสตร์ศึกษา) คณะคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในปีการศึกษา 2548

ศึกษาต่อหลักสูตรคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในปีภาคการศึกษา 1/2553 จนถึงปีภาคการศึกษา 2/2554

ประสบการณ์การทำงาน พ.ศ.2548-2550 สำนักงานประสานงานโครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำแหน่งผู้ช่วยดีไซน์เนอร์ และแพทเทริ์น

พ.ศ.2551-ปัจจุบัน บริษัท อินทิเมท แฟชั่น จำกัด ตำแหน่งเจ้าหน้าที่เทคนิค