- 4 มิ.ย. 2545

การศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

วรพงษ์ ขุนอินทร์

อภินันทนาการ
ห้องสมุดคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ. 2542

ISBN 974-662-733-3

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

กพ
ว๓๓๔ก
๒๕๔๒
น.๓

Copyright by Mahidol University

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

.....

นายวรพงษ์ ขุนอินทร์

ผู้วิจัย

.....

อาจารย์สมพงษ์ ธงไชย วท.ม.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....

ศาสตราจารย์ธีรวุฒิ บุณยโสภณ Ph.D.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....

อาจารย์สัญชัย สูติพันธ์วิหาร วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุจิระ ขอจิตต์เมตต์ วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....

ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์ Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

.....

รองศาสตราจารย์รุ่งจรัส หุตะเจริญ วท.ม.

ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

Copyright by Mahidol University

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2542

.....

นายวรพงษ์ ขุนอินทร์

ผู้วิจัย

.....

อาจารย์สมพงษ์ ธงไชย วท.ม.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

อาจารย์สัญชัย สูติพันธ์วิหาร วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

ศาสตราจารย์ธีรวุฒิ บุณยโสภณ Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

อาจารย์สมประสงค์ ภาษาประเทศ Ph.D.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุจิระ ขอจิตต์เมตต์ วท.ม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิ้มล้อมวงศ์ Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

.....

รองศาสตราจารย์รุ่งจรัส หุตะเจริญ วท.ม.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

Copyright by Mahidol University

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. ธีรวุฒิ บุณยโสภณ รองอธิการบดีสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรรมการควบคุมและสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์สมพงษ์ ธงไชย ประธานกรรมการควบคุม และสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์สัญชัย สูติพันธ์วิหาร กรรมการควบคุมและสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุจิระ ขอจิตต์เมตต์ รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ดร.สมประสงค์ ภาษาประเทศ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล กรรมการควบคุม และสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลือพล ปุณณกันต์ ที่ได้ให้ความรู้ และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กรมอาชีวศึกษา ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณบางส่วนในการวิจัย คุณเสวก อยู่กลัด หัวหน้า DEPARTMENT และคุณเนตรชนก ขุนโขลน หัวหน้า SECTION โรงงานบริษัท TTL (มหาชน) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาตัวอย่างผ้า และทำการทดสอบตัวอย่างผ้าจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความครบถ้วนสมบูรณ์

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ภรรยา และบุตร ตลอดจนเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่เป็นกำลังใจอย่างดีตลอดมา

วรพงษ์ ขุนอินทร์

Copyright by Mahidol University

3937709 ENAT/M : สาขาวิชา : เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร ;
วท.ม.(เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)
คำสำคัญ : การซักผ้า / คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

วรพงษ์ ขุนอินทร์ : การศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง (THE FEASIBILITY STUDY ON LAUNDERING BY USING ULTRASONIC WAVE) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : สมพงษ์ ธงไชย, วท.ม., ธีรวุฒิ บุณยโสภณ, Ph.D., สุจิระ ขอจิตต์เมตต์, วท.ม., สัญชัย สูติพันธ์วิหาร, วท.ม., สมประสงค์ ภาษาประเทศ, Ph.D., 190 หน้า. ISBN 974-662-733-3

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง เพื่อศึกษา วิเคราะห์ คุณสมบัติด้านฟิสิกส์และเคมีของสารมลทินที่ปนเปื้อนอยู่บนเนื้อผ้า ในการที่จะออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ซักผ้าที่ทำงานด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ให้สามารถขจัดสารมลทินดังกล่าวได้ กลุ่มตัวอย่างเป็นผ้าใยผสมที่ประชาชนนิยมใช้ทำเสื้อผ้าสวมใส่ทั่วไป รวม 6 ชนิด จำนวน 120 ผืน โดยทำให้เกิดรอยเปื้อนเหงื่อไคล และฝุ่นละออง ก่อนที่จะทำการทดลองซักด้วยผงซักฟอก และคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง หลังจากนั้นทำการทดลองซักและนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของการซักโดยใช้สถิติ t-test เพื่อศึกษาประสิทธิผล สมรรถนะ และประสิทธิภาพการซักของอุปกรณ์ซักผ้าด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

ผลการวิจัยพบว่า อุปกรณ์ซักผ้าด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนี้ ให้ประสิทธิผลในการซักใกล้เคียงกับการซักด้วยวิธีใช้ผงซักฟอก โดยที่ค่า Color change, Tensile strength, Shrinkage percentage และ Appearance after laundering ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แต่คุณภาพน้ำทิ้งภายหลังจากการซักจะแตกต่างกัน โดยที่น้ำทิ้งจากการซักด้วยวิธีใช้ผงซักฟอกส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง นอกจากนั้นแล้วการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนี้ยังมีสมรรถนะสูงสามารถซักผ้าที่มีเนื้อหนาบาง ผ้าสีได้เช่นเดียวกับการซักด้วยผงซักฟอก แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และเวลาในการซักน้อยกว่า เมื่อเปรียบประสิทธิภาพในการซักทั้งสองวิธี พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 จากการศึกษานี้ทำให้ทราบว่าอุปกรณ์ซักผ้าคลื่นเสียงความถี่สูงนี้สามารถซักผ้าให้ผลเช่นเดียวกันกับการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก จึงสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

Copyright by Mahidol University

3937709 ENAT/M : MAJOR : APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR RESOURCE DEVELOPMENT ; M.Sc.(ENVIRONMENT AND RESOURCE STUDIES)

KEY WORDS : LAUNDERING / ULTRASONIC WAVE

WORAPONG KHOONIN : THE FEASIBILITY STUDY ON LAUNDERING BY USING ULTRASONIC WAVE. THESIS ADVISORS : SOMPONG TONGCHAI, M.Sc., TEERAWOOT BOONYASOPON, Ph.D., SUJIRA KAOJITHMATE, M.Sc., SANCHAI SUTIPANWIHAN, M.Sc., SOMPRASONG PASAPRATAETH, Ph.D., 190 p.

ISBN 974-662-733-3

This research was a feasibility study on laundering by using ultrasonic wave. The purpose of this thesis was to study and analyze the physical and chemical properties of impurities on garments, and to develop and build an ultrasonic wave laundering device. The ability of this invention to clean the impurities that stick to garments was tested in terms of effectiveness, performance and efficiency. The sample group consisted of 120 normal garments repreesenting 6 different types of garments. Before the laundering process, a thin film of perspiration and dust was deposited on the clothes. After laundering, data from detergent laundering and ultrasonic wave laundering were compared by analyzing by t-test.

The findings of this study showed that the effectiveness of this ultrasonic wave laundering method was the same as that of detergent laundering method. The values of color change tensile strength, shrinkage percentage and appearance after laundering were not different at 0.01 significance. The waste water from the two laundering methods, however, did have difference properties. The waste water of detergent laundering method was of low quality level. The two laundering methods were not different in effectiveness, performance and efficiency at 0.01 significance value . This demonstration showed that the results of the two laundering methods were equivalent and laundering by using ultrasonic wave was feasibility.

Copyright by Mahidol University

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 แนวคิดในการวิจัย..... 3

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 6

1.4 สมมติฐานของการวิจัย..... 6

1.5 ขอบเขตของการวิจัย..... 6

1.6 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย..... 8

1.7 คำนิยามศัพท์..... 9

1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 12

2. ทบทวนวรรณกรรม..... 13

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการทำความสะอาดผ้า..... 13

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเส้นใยผ้า..... 24

2.3 โครงสร้างของเส้นใยผ้า..... 26

2.4 คุณสมบัติของเส้นใย..... 28

2.5 คุณสมบัติของใยชนิดต่าง ๆ..... 31

2.6 เส้นด้ายที่นำมาใช้ในการทอผ้า..... 45

2.7 ความรู้ที่เกี่ยวกับคลื่นและเสียง..... 49

Copyright by Mahidol University

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. วัตถุและวิธีการวิจัย..... 72
3.1 ขั้นตอนการเตรียมการ..... 72
3.2 ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ซักผ้าด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง..78
3.3 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์..... 86
3.4 ขั้นตอนการทดลองในห้องปฏิบัติการ..... 88
3.5 ขั้นตอนการประมวลผลและวิเคราะห์ผล..... 99
4. ผลการศึกษา..... 100
4.1 ผลการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติด้านฟิสิกส์และเคมี..... 100
ของสารมลทินที่ปนเปื้อนอยู่บนเนื้อผ้า
4.2 ผลการศึกษา วิเคราะห์ ออกแบบ สร้าง และทดลอง..... 101
กระบวนการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
4.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียง.... 102
ที่มีความถี่สูงทั้ง 3 ด้าน
5. อภิปรายผล..... 110
5.1 ด้านประสิทธิผล..... 110
5.2 ด้านสมรรถนะ..... 115
5.3 ด้านประสิทธิภาพในการซัก..... 115
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 116
รายการอ้างอิง..... 120

Copyright by Mahidol University

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 125
ภาคผนวก ข 132
ภาคผนวก ค 135
ภาคผนวก ง 147
ภาคผนวก จ 160
ภาคผนวก ฉ 167
ภาคผนวก ช 176
ภาคผนวก ซ 183

ประวัติผู้วิจัย 190

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 สารประกอบของผงซักฟอกที่ใช้กับเครื่องซักผ้ามาตรฐาน..... 23

ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติทั่วไปและลักษณะเฉพาะทางกายภาพของเส้นใยเซลลูโลส.... 33

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติของเส้นใยโปรตีน..... 36

ตารางที่ 2-4 ลักษณะความแตกต่างของเส้นด้ายเมื่อพันบิดเกลียวที่มีขนาดแตกต่างกัน... 48

ตารางที่ 2-5 อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางบางชนิด 63

ตารางที่ 2-6 ระดับความเข้มเสียงจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ..... 65

ตารางที่ 2-7 คุณสมบัติของสารต่าง ๆที่ใช้ในการสร้างคลื่นอุลตราโซนิก 69

ตารางที่ 1ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซักระหว่าง..... 136
การซักด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับผ้าก่อนทำการซัก
ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ตารางที่ 2ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซักระหว่าง..... 137
การซักด้วยวิธีใช้ผงซักฟอก กับผ้าก่อนทำการซัก
ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ตารางที่ 3ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซักระหว่าง..... 138
การซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับผ้าก่อนทำการซัก
ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ตารางที่ 4ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซักระหว่าง..... 139
การซักด้วยวิธีใช้ผงซักฟอก กับผ้าก่อนทำการซัก
ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ตารางที่ 5ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซักระหว่าง..... 140
การซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับวิธีใช้ผงซักฟอก
ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 6ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซักระหว่าง..... 141
การซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับวิธีใช้ผงซักฟอก
ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ตารางที่ 7ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก..... 148
ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก กับค่าเดิมก่อนการทดลองซัก
ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ตารางที่ 8ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก..... 150
ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก กับค่าเดิมก่อนการทดลองซัก
ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ตารางที่ 9ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก..... 152
ด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับค่าเดิมก่อนการทดลองซัก
ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ตารางที่ 10ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก..... 154
ด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับค่าเดิมก่อนการทดลองซัก
ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ตารางที่ 11ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก..... 156
ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ตารางที่ 12ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก..... 158
ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ตารางที่ 13ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงขนาดที่กำหนดบนผ้าตัวอย่าง..... 161
ภายหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก ทั้งกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล
และฝุ่นละออง

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 14ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงขนาดที่กำหนดบนผ้าตัวอย่าง..... 163
ภายหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
ทั้งกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล และฝุ่นละออง

ตารางที่ 15ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงขนาดที่กำหนดบนผ้าตัวอย่าง..... 165
ภายหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก และคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
ทั้งกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล และฝุ่นละออง

ตารางที่ 16ผ ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำทิ้งภายหลังจากการซัก..... 168
ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก

ตารางที่ 17ผ ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำทิ้งภายหลังจากการซัก..... 172
ด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

ตารางที่ 18ผ ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการซักผ้าหนาและบาง..... 177
ระหว่างการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียง
ที่มีความถี่สูง

ตารางที่ 19ผ อัตราค่าใช้จ่ายในการซักกรณีที่ใช้ผงซักฟอก..... 178

ตารางที่ 20ผ อัตราค่าใช้จ่ายในการซักกรณีที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูง..... 180

ตารางที่ 21ผ ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการซักผ้าหนาและบางระหว่างการ..... 182
ซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

ตารางที่ 22ผ ประสิทธิภาพในการซักผ้าชนิดต่างๆ ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล..... 184
เมื่อซักด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

ตารางที่ 23ผ ประสิทธิภาพในการซักผ้าชนิดต่างๆ ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล..... 185
เมื่อซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก

ตารางที่ 24ผ ประสิทธิภาพในการซักผ้าชนิดต่างๆ ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง..... 186
เมื่อซักด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 25ผ ประสิทธิภาพในการซักผ้าชนิดต่างๆ ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง..... 187
เมื่อซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก

ตารางที่ 26ผ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผ้าที่ทำการซักในกรณี..... 188
ที่เปื้อนเหงื่อไคลระหว่างการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
กับวิธีใช้ผงซักฟอก

ตารางที่ 27ผ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผ้าที่ทำการซักในกรณี..... 189
ที่เปื้อนฝุ่นละอองระหว่างการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
กับวิธีใช้ผงซักฟอก

Copyright by Mahidol University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1-1 แผนภูมิแสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย..... 5
ภาพที่ 2-1 ลักษณะการเรียงตัวของโซ่โมเลกุล..... 27
ภาพที่ 2-2 ลักษณะการเรียงตัวของโซ่โมเลกุลก่อนและหลังการดึงยืด..... 27
ภาพที่ 2-3 โครงสร้างโมเลกุลของใยเซลลูโลส..... 31
ภาพที่ 2-4 ลักษณะของไมโครไฟบริลส์ที่รวมตัวเป็นใยเซลลูโลส..... 32
ภาพที่ 2-5 ลักษณะการหมุนบิดเกลียวเส้นด้ายแบบ S-Twist และแบบ Z-Twist..... 47
ภาพที่ 2-6 การสะท้อนแสงจากด้ายที่ปั่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มการบิดเกลียว..... 48
ภาพที่ 2-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านแรงดึงและจำนวนเกลียวบิดของเส้นด้าย.. 49
ภาพที่ 2-8 ลักษณะของคลื่นตามขวาง..... 50
ภาพที่ 2-9 ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวางในแนวเส้นลวด..... 51
ภาพที่ 2-10 คลื่นความยาวซึ่งประกอบด้วยส่วนอัดและส่วนขยาย..... 52
ภาพที่ 2-11 การเปรียบเทียบ Sine curve ระหว่าง Soprano และ Bass..... 53
ภาพที่ 2-12 การเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาวในของไหล..... 53
ภาพที่ 2-13 คลื่น a และคลื่น b เข้ารวมกันได้คลื่นรวมมีการขจัดลัพธ์เพิ่มขึ้น..... 55
ภาพที่ 2-14 คลื่น a และคลื่น b เข้ารวมกันได้คลื่นรวมมีการขจัดลัพธ์ลดลง..... 56
ภาพที่ 2-15 การสะท้อนของคลื่นวงกลม..... 56
ภาพที่ 2-16 การสะท้อนของคลื่นเส้นตรง..... 57
ภาพที่ 2-17 ลักษณะการหักเหของคลื่นเมื่อผ่านตัวกลาง..... 58
ภาพที่ 2-18 ลักษณะการหักเหของคลื่นที่เป็นมุมตกกระทบและมุมหักเห..... 59
ภาพที่ 2-19 คลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งจะมีแนวขนานกับชายฝั่ง..... 60
ภาพที่ 2-20 คลื่นน้ำตกกระทบกับสิ่งกีดขวางแล้วเกิดการเลี้ยวเบนขึ้น..... 61

Copyright by Mahidol University

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 2-21 คลื่นน้ำตกกระทบกับสิ่งกีดขวางที่มีช่องแคบ แล้วเกิดการ..... 61
เลี้ยวเบนขึ้นเป็นคลื่นแผ่ในลักษณะเป็นส่วนโค้งของวงกลม

ภาพที่ 2-22 Direct Piezoelectric effect..... 67

ภาพที่ 2-23 Reverse Piezoelectric effect..... 67

ภาพที่ 3-1 ลักษณะการเกาะยึดของฝุ่นละอองที่ปรากฏบนเนื้อผ้า..... 75

ภาพที่ 3-2 ลักษณะการเกาะยึดของดินโคลนที่ปรากฏบนเนื้อผ้า..... 75

ภาพที่ 3-3 ลักษณะการเกิดคราบเหงื่อไคลที่ปรากฏอยู่บนคอปกเสื้อ..... 76

ภาพที่ 3-4 รัศมีการแผ่กระจายของคลื่นเสียงความถี่สูงที่อยู่ภายในถังซักผ้า..... 79
เมื่อมองจากด้านบน

ภาพที่ 3-5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการผลิตคลื่นเสียงความถี่สูง..... 83
ขนาดกำลัง 140 วัตต์

ภาพที่ 3-6 อุปกรณ์สำหรับการติดตั้งแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์..... 84

ภาพที่ 3-7 อุปกรณ์สำหรับการติดตั้งหัวสั่น..... 85

ภาพที่ 3-8 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานของหัวสั่น..... 86

ภาพที่ 3-9 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานของหัวสั่นหลังจากประกอบ.... 86
เรียบร้อยแล้ว

ภาพที่ 3-10 การติดตั้งหัวสั่นในภาชนะที่ใช้จุ่มลงในถังซักผ้า..... 87

ภาพที่ 3-11 ชุดหัวสั่นหลังจากการประกบเรียบร้อยแล้ว..... 87

ภาพที่ 3-12 อุปกรณ์ซักผ้าด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงภายหลังจากการสร้าง..... 88
และประกอบเสร็จ

ภาพที่ 4-1 ลักษณะของอุปกรณ์ซักผ้าที่ทำงานด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง..... 102

Copyright by Mahidol University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญของปัญหา

การซักผ้าเป็นวิธีการขจัดสารมลทิน หรือสิ่งสกปรกออกจากผ้าวิธีหนึ่งที่ปฏิบัติกันทุกครัวเรือนความมุ่งหมายในการซักผ้าก็คือ ทำความสะอาด ทำอย่างไรผ้าจึงจะสะอาดลบรอยเปรอะเปื้อนออกให้หมด รอยเปรอะเปื้อน หรือสารมลทินที่ติดอยู่บนเสื้อผ้านั้นเกิดจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่ เหงื่อไคล และไขมันจากการสวมใส่ในกิจกรรมปกติทั่วไป คราบอาหารจากกิจกรรมการบริโภค หรือปรุงอาหาร ฝุ่น ดินโคลน สี และน้ำมัน จากกิจกรรมการทำงาน เป็นต้น ดังนั้น ความยากลำบากในการขจัดรอยเปื้อนจึงมี 3 ระดับ ได้แก่ ระดับที่สามารถขจัดออกได้ง่ายหมดจดโดยใช้ระยะเวลาสั้น ๆ ระดับที่ขจัดออกได้ง่ายเพียงบางส่วนโดยต้องใช้ระยะเวลาพอสมควร และระดับที่ขจัดออกได้ค่อนข้างยากโดยต้องใช้ระยะเวลานาน

ขั้นตอนของการซักผ้าโดยทั่วไปจะเริ่มด้วยการแช่น้ำให้เปียก น้ำจะช่วยละลายสิ่งสกปรกออกมาบ้าง หลังจากนั้นจึงใช้สารซักฟอก เช่น สบู่ หรือผงซักฟอก ซึ่งจะช่วยให้การขจัดสารมลทินหรือรอยเปื้อนง่ายขึ้น โดยสารซักฟอกเหล่านี้จะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวของน้ำ ทำให้น้ำแทรกซึมเข้าไปในสารมลทิน หรือรอยเปื้อนได้ง่าย หลังจากนั้นจึงใช้แปรงถู มือขยี้ หรือใส่ลงไปในเครื่องซักผ้า ซึ่งการถูด้วยแปรง มือขยี้ หรือการหมุนปั่นของเครื่องซักผ้าเป็นการทำให้สารมลทิน หรือรอยเปื้อนแตกออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำที่ซัก และไม่สามารถเข้าไปเกาะผ้าที่ซักได้อีก ต่อจากนั้นจึงล้างสิ่งสกปรกด้วยน้ำเปล่า ซึ่งเป็นสารมลทินที่แตกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ และสารซักฟอกออกจากผ้า พร้อมที่จะนำไปบิดแห้ง และผึ่งแสงแดดต่อไป

สารซักฟอกหลังจากผ่านกระบวนการซักเรียบร้อยแล้ว ก็จะถูกปล่อยทิ้งออกมาจากบ้านเรือน ไหลลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ และลงสู่แม่น้ำ ลำคลองในขั้นสุดท้าย ก่อให้เกิดผลกระทบ

Copyright by Mahidol University

ต่อสิ่งแวดล้อมของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำได้ เนื่องจากในสารซักฟอกมีสารเคมีที่อยู่ในรูปของสารประกอบหลายชนิดด้วยกัน (1) ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวของน้ำ (Surface active agents) สารฟอสเฟต (Phosphate) สารซิลิเกต (Silicate) สารโซเดียมคาร์บอซีเมทิล เซลลูโลส (Sodium carboxy methyl cellulose) และสารเพิ่มความสดใส (Optical brightening agents) เป็นต้น โดยทั่วไปสารซักฟอกจะใส่สารประกอบฟอสเฟตประมาณร้อยละ 12-29 เนื่องจากสารประกอบชนิดนี้สามารถทำหน้าที่ขจัดสารมลทินต่างๆ ได้ดี แต่อย่างไรก็ตามสารฟอสเฟตซึ่งอาจจะเป็นชนิดใดชนิดหนึ่ง ได้แก่ โซเดียมฟอสเฟต ($Na_3 PO_4$) เทตร้าโซเดียมฟอสเฟต ($Na_4 P_2 O_7$) และไตรโพลิฟอสเฟต ($Na_5 P_3 O_{10}$) ล้วนแต่เป็นสารที่เร่งการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น เมื่อสารเหล่านี้ที่อยู่ในผงซักฟอกถูกปล่อยระบายลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง ก็จะทำให้พืชที่อยู่ในน้ำ เช่น สาหร่าย และผักตบชวาเจริญงอกงาม และแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันก็จะดึงก๊าซออกซิเจนจากน้ำไปใช้ในกระบวนดังกล่าวเพิ่มขึ้น ดังนั้น ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจึงลดลง สัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ เช่น ปลา กุ้ง หอย ไม่มีอากาศหายใจ และตายในที่สุด ทำให้น้ำเน่าเสียในเวลาต่อมา ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบนิเวศในน้ำ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะได้มีการใช้สารฟอสเฟตลดน้อยลงแล้วก็ตาม โดยใช้สารตัวอื่นมาแทน คือ ซีโอไลต์ (Zeolite) แต่ก็ยังไม่ช่วยลดปัญหาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมมากนัก และอีกประการหนึ่งคือ สารเคมีที่นำมาผลิตเป็นสารซักฟอกนั้น ประเทศไทยต้องสั่งนำเข้ามาจากต่างประเทศในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ทำให้เสียดุลการค้ากับต่างประเทศตลอดมา

ดังนั้น หากมองย้อนไปในอดีตที่มนุษย์ยังไม่รู้จักการนำสารซักฟอกมาใช้ในการซักผ้าและเครื่องนุ่งห่มต่าง ๆ แล้ว จะเห็นว่าการซักล้างนั้นกระทำง่าย ๆ ด้วยการใช้ไม้ทุบที่เสื้อผ้าที่ม้วนเป็นก้อนโดยออกแรงตีเบาๆ ให้ทั่ว เพื่อให้สารมลทินที่เกาะติดอยู่ตามเนื้อผ้าแตกตัวออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ก่อน หลังจากนั้นจุ่มลงในน้ำพร้อมกับใช้มือขยี้ให้สารมลทินเล็ก ๆ เหล่านี้หลุดออกจากเนื้อผ้า บิดแล้วนำไปผึ่งแสงแดดให้แห้ง จากภูมิปัญญาของมนุษย์สมัยนั้น หากได้นำมาพัฒนาและปรับปรุงให้ดีขึ้นด้วยกระบวนการเทคโนโลยีสมัยใหม่แล้ว ก็อาจมีความเป็นไปได้ที่การซักผ้าไม่ต้องอาศัยสารซักฟอก หรืออาจใช้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากความสำคัญของปัญหาดังกล่าวนี้ ผู้วิจัยเห็นว่าควรจะได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงแทนการใช้ผงซักฟอก ซึ่งผลที่ได้รับหลังจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ อาจจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซักผ้าลง และเป็นการควบคุมสภาพแวดล้อม พร้อมกับพัฒนาระบบนิเวศในน้ำให้ยั่งยืนตลอดไป

Copyright by Mahidol University

1.2 แนวคิดในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีแนวคิดดังต่อไปนี้

1.2.1 โดยทั่วไปสิ่งสกปรก หรือสารมลทินที่ยึดเกาะเสื้อผ้ามี 2 ลักษณะ คือ ยึดเกาะที่เส้นใยผ้า และซึมเข้าไปในเส้นใยผ้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผ้า

1.2.2 การลดและเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ซัก มีผลต่อการยึด และหดตัวของโครงสร้างผืนผ้า รวมทั้งการใช้น้ำสเปรย์ด้วยความดันสูง มีผลต่อการชะล้างสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ในเส้นใยผ้า ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีโมเลกุลของปรากฏการณ์ขนส่ง (2) ดังนี้

1.2.2.1 การเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่ปั่นป่วน ทำให้เกิดการส่งผ่านโมเลกุลจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของโมเลกุลมาก ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของโมเลกุลน้อย โดยที่ความหนาแน่นของกระแสโมเลกุลเป็นไปตามกฎของฟิกค์

1.2.2.2 การนำความร้อน เกิดจากการส่งผ่านพลังงานความร้อน จากบริเวณที่โมเลกุลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังบริเวณที่โมเลกุลเคลื่อนที่ช้าหรือมีอุณหภูมิต่ำ โดยการชนกันระหว่างโมเลกุลที่ปั่นป่วน และให้ความหนาแน่นกระแสพลังงานสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารเป็นไปตามกฎของฟูเรียร์

1.2.2.3 การเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่ปั่นป่วนของ ของไหล ซึ่งกำลังเคลื่อนที่อยู่และความเร็วของ ของไหลที่ตำแหน่งต่าง ๆ ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการส่งผ่านโมเมนตัมจากบริเวณที่ของไหลไหลเร็ว ไปยังบริเวณที่ของไหลไหลช้ากว่า

1.2.2.4 การทำให้ผ้าและน้ำที่ซัก สั่นสะเทือนด้วยความถี่สูง จะสามารถทำให้ตัวยึดติด (Bond) ที่ยึดเกาะโมเลกุลหลุดออก ดังนั้น สารมลทินหรือสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่เส้นใยผ้าจะหลุดออกมาได้ เนื่องจากคลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic waves) เป็นคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิรตซ์ ความถี่อุลตราโซนิกสามารถทำได้สูงถึง $6x10^8$ เฮิรตซ์ โดยใช้การสั่นสะเทือนของผลึกควอทซ์ คลื่นความถี่ขนาดนี้จะมีความยาวคลื่นในอากาศประมาณ $5x10^{-5}$ เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดพอ ๆ กับความยาวคลื่นแสง การใช้ประโยชน์โดยตรงจากคลื่นเหนือเสียง ได้แก่ การทำความสะอาดตามซอกเล็กซอกน้อยได้ดี ถ้าทำคลื่นเหนือเสียงให้เกิดในของเหลว จะมีฟองเล็ก ๆ

Copyright by Mahidol University

เกิดขึ้นในขณะที่มีส่วนขยาย หลังจากนั้นพอมีส่วนอัดตามมา ฟองเหล่านี้ถูกบีบอัดภายในเนื้อที่ของฟองเล็กๆ เหล่านี้ จะเกิดความดัน และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นคลื่นกระแทกอย่างรุนแรง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "แควิเตชัน" (Cavitation) หรือการเดือดอย่างเย็น (3) มีผลทำให้สิ่งสกปรกในวัตถุซึ่งจุ่มในของเหลวหลุดไป เนื่องจากการทำความสะอาดจะได้ผลดีที่ความถี่ต่ำ ๆ ดังนั้น อุปกรณ์ในการทำความสะอาดแบบอุลตราโซนิก จึงมักใช้ความถี่ขนาด 20-30 กิโลเฮิรตซ์ และได้ผลดีมากสำหรับการฆ่าเชื้อแบคทีเรียหลายชนิด จึงใช้เป็นกระบวนการฆ่าเชื้อโรคได้แบบหนึ่ง (4)

1.2.3 ในกระบวนการขจัดสารมลทินที่อยู่ในเนื้อผ้า โดยทั่วไปอาศัยหลักการ 4 ประการ ได้แก่

1.2.3.1 การละลาย คือ การใช้สารละลาย ละลายรอยเปื้อนของสารมลทินออกจากผ้า แต่สารมลทินนั้นต้องละลายออกง่ายด้วยน้ำ เช่น แป้ง น้ำตาล และ ดินโคลน เป็นต้น

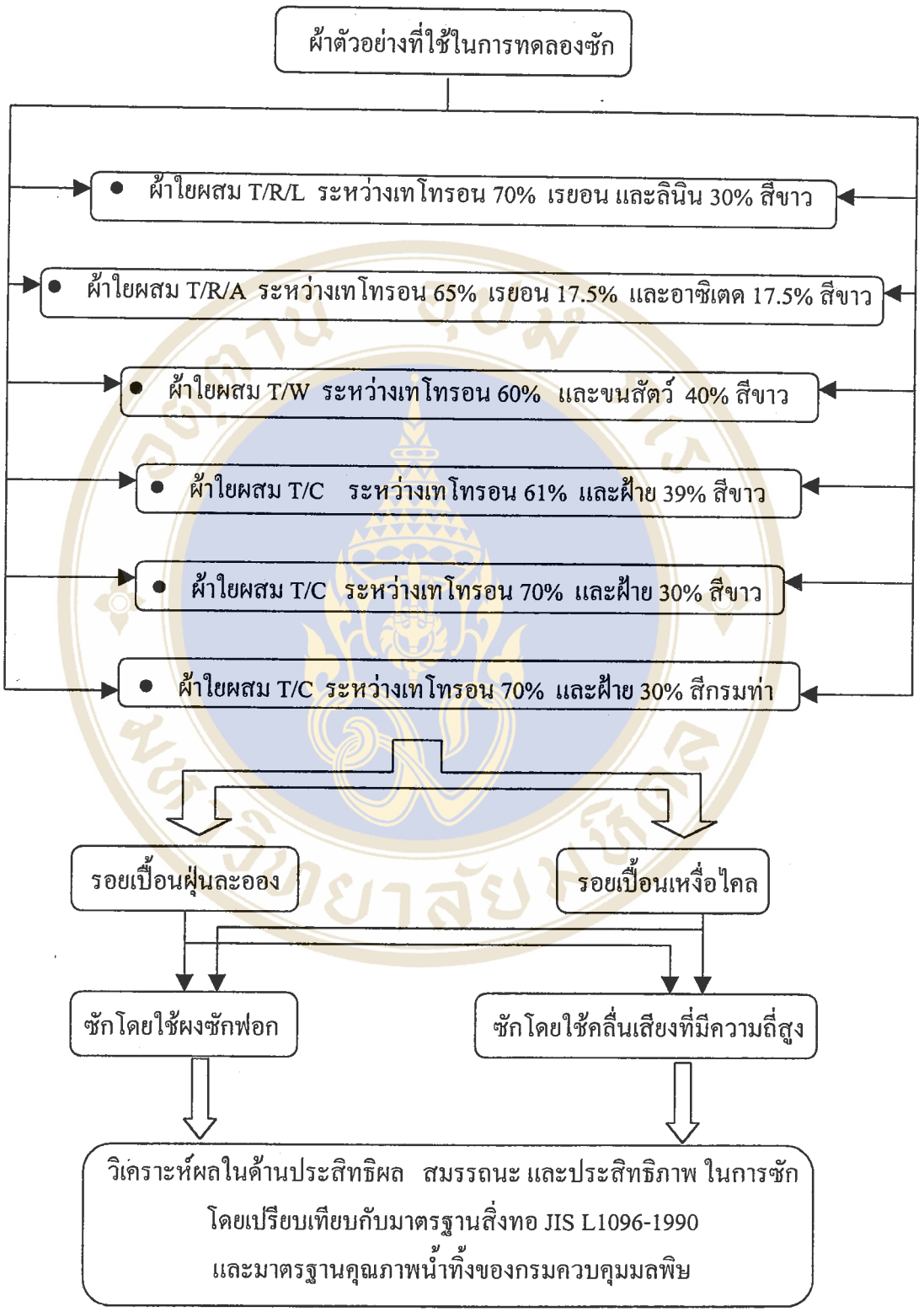
1.2.3.2 การหล่อลื่น โดยใช้สบู่ และผงซักฟอก รอยเปื้อนของสารมลทินที่ฝังอยู่ในเส้นใยผ้า และเกิดแรงยึดเหนี่ยวทางไฟฟ้ากับผ้า ทำให้เกาะยึดแน่น สบู่ หรือผงซักฟอกทำหน้าที่แทรกซึมเข้าไปในระหว่างรอยเปื้อน เมื่อขยี้ หรือแปรงมีผลทำให้สารมลทินหลุดออกมา

1.2.3.3 ปฏิกิริยาทางเคมี รอยเปื้อนของสารมลทินบางชนิดที่เป็นด่าง เมื่อใช้สารเคมีบางชนิดที่เป็นกรดอ่อน ๆ ทำให้สารมลทินนั้นมีสภาพเป็นกลาง และซักออกได้ง่าย

1.2.3.4 การย่อย เป็นการย่อยสารมลทินที่เป็นคราบสกปรก ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง และละลายน้ำหลุดออกไป สารมลทินเหล่านี้ ได้แก่ นม เลือด และ ช็อกโกแลต เป็นต้น ซึ่งในผงซักฟอกจะมีสารเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารมลทินดังกล่าว

ดังนั้น ในการพัฒนาวิธีการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง จะทำงานบนพื้นฐานของกระบวนการขจัดสารมลทินที่อยู่ในเนื้อผ้าดังกล่าวทั้ง 4 ประการ โดยจะมีลักษณะการทำงานด้วยแกนหมุนแกว่งผ้าสลับไปมาในแนวตั้ง พร้อมกับเพิ่มกระบวนการทางฟิสิกส์ที่อาศัยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลน้ำ ที่จะไปกระทบกับโมเลกุลของสารมลทินให้หลุดออกจากเส้นใยผ้าได้

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 1-1 แผนภูมิแสดงกรอบแนวความคิดในการวิจัย

Copyright by Mahidol University

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1.3.1 เพื่อศึกษา และวิเคราะห์คุณสมบัติด้านฟิสิกส์ และเคมีของสารมลทิน ที่ปนเปื้อนอยู่บนเนื้อผ้า

1.3.2 เพื่อศึกษาวิเคราะห์ ออกแบบ สร้าง และทดลองกระบวนการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

1.3.3 เพื่อศึกษา เปรียบเทียบ ความเป็นไปได้ในการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

การวิจัยในเรื่องนี้ ได้ตั้งสมมติฐานที่สำคัญ ดังนี้

1.4.1 ผ้าที่ผ่านกระบวนการซักทั้งสองวิธี จะมีระดับค่า Color change, Tensile strength, Shrinkage percentage และ Appearance after laundering ไม่แตกต่างกัน

1.4.2 น้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการซักด้วยผงซักฟอก

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีขอบเขตการศึกษา ประกอบด้วย

1.5.1 สารมลทินที่เกิดจากกิจกรรมปกติทั่วไป ได้แก่

1.5.1.1 คราบเหงื่อไคล ที่เกิดจากการขับถ่ายของเสียออกทางผิวหนัง ของร่างกายมนุษย์ คราบเหงื่อไคลเป็นคราบจากสารอินทรีย์ โดยปกติจะมีสีน้ำตาลเข้ม ส่วนใหญ่มักจะปรากฏบริเวณคอปกเสื้อ

Copyright by Mahidol University

1.5.1.2 ฝุ่นละออง และดินโคลน ที่ปะปนอยู่ในอากาศทั่วไป และบนเส้นทางในการสัญจร ซึ่งมักจะเกาะติดเป็นบริเวณกระจายทั่วไปบนเสื้อผ้าและกางเกง หรือกระโปรง

1.5.2 ลักษณะการเกาะยึดของสารมลทิน ศึกษาเฉพาะการเกาะยึดภายนอกโครงสร้างผ้าเท่านั้น

1.5.3 เปรียบเทียบผลการขจัดสารมลทินที่อยู่ในเนื้อผ้า ด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นจากการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง และกระบวนการทางเคมีที่เกิดจากการใช้ผงซักฟอกแบบธรรมดาซึ่งไม่มีส่วนผสมของสารฟอกขาว

1.5.4 ประเภท และชนิดของผ้าตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ผ้าทอประเภทเส้นใยผสม เนื่องจากเป็นเส้นใยประดิษฐ์อีกลักษณะหนึ่ง ที่เกิดจากการนำเส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยประดิษฐ์มาผสมกันเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในด้านความทนทาน และความสะดวกสบายในการสวมใส่ ซึ่งในการนำมาศึกษาครั้งนี้มี 6 ชนิด ได้แก่

1.5.4.1 ผ้าใยผสม T/R/L ระหว่างเทโทรอน 70% เรยอน และลินิน 30% สีขาว

1.5.4.2 ผ้าใยผสม T/R/A ระหว่างเทโทรอน 65% เรยอน 17.5% และอาซิเตด 17.5 % สีขาว

1.5.4.3 ผ้าใยผสม T/W ระหว่างเทโทรอน 60% และขนสัตว์ 40% สีขาว

1.5.4.4 ผ้าใยผสม T/C ระหว่างเทโทรอน 61% และฝ้าย 39% สีขาว

1.5.4.5 ผ้าใยผสม T/C ระหว่างเทโทรอน 70% และฝ้าย 30% สีขาว

1.5.4.6 ผ้าใยผสม T/C ระหว่างเทโทรอน 70% และฝ้าย 30% สีกรมท่า เพื่อทดสอบเฉพาะการตกของสี

1.5.5 ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้อุปกรณ์ซักผ้าที่สร้างขึ้น ซึ่งทำงานด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง นั้น มีข้อกำหนดในการวิเคราะห์ข้อมูลในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1.5.5.1 ด้านประสิทธิผล (Effectiveness) คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการซักผ้า ซึ่งทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ 5 รายการ ได้แก่

1) Color change
2) Tensile strength
3) Shrinkage percentage

Copyright by Mahidol University

4) Appearance after laundering

5) คุณภาพน้ำทิ้งภายหลังจากการซัก

1.5.5.2 ด้านสมรรถนะ (Performance) คือ ความสามารถในการซักผ้า ที่มีเนื้อหนาบาง ผ้าสี อัตราการใช้ไฟฟ้าขณะทำการซัก และระยะเวลาที่ใช้ในการซัก

1.5.5.3 ด้านประสิทธิภาพในการซัก (Laundering efficiency) คือ การหาอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเปลี่ยนแปลงของสีผ้า (Color change) เนื่องจากความสกปรกก่อนการซัก(Input) และภายหลังจากการซัก (Output)

1.6 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญ ดังนี้

1.6.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ กรรมวิธีในการซักผ้า ผ้าตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองซัก (Specimen)

1.6.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ Color change, Tensile strength, Shrinkage percentage, Appearance after laundering และคุณภาพน้ำทิ้งที่ปล่อยออกหลังจากการซัก

1.6.3 ตัวแปรควบคุม ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการซัก ซึ่งเป็นน้ำประปาที่ใช้ตามครัวเรือนตามปกติ ชนิดของผงซักฟอก ซึ่งเป็นชนิดธรรมดาที่ไม่มีสารฟอกขาวตามมาตรฐานการทดสอบสิ่งทอของ JIS L 1096-1990 สีของผ้าตัวอย่าง เวลาที่ใช้ในการซัก และเครื่องซักผ้าที่ใช้ในการทดลองซัก ซึ่งเป็นแบบถังเดี่ยว

Copyright by Mahidol University

1.7 คำนิยามศัพท์

1.7.1 วิธีการซักผ้าโดยใช้ผงซักฟอกแบบธรรมดา หมายถึง การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่งที่ใช้สำหรับการซักผ้าแทนแรงงานคน แบบที่มีใช้อยู่ในครัวเรือนทั่วไป ซึ่งการซักวิธีนี้จะเติมผงซักฟอกแบบธรรมดาที่ไม่มีส่วนผสมของสารฟอกขาว ลงไปตามขนาดน้ำหนัก และปริมาณของผ้า

1.7.2 วิธีการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง หมายถึง การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เหมือนกับข้อ 1.7.1 แต่ไม่เติมผงซักฟอกไปในระหว่างการซัก ซึ่งจะใช้อุปกรณ์กำเนิดคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ขนาดความถี่ 28 กิโลเฮิรตซ์ จุ่มแช่รวมไปกับผ้าและน้ำที่ทำการซักในระหว่างการซักช่วงแรกเพื่อย่อยสลายสารมลทินที่ติดอยู่ในเนื้อผ้า ก่อนที่จะทำการซักด้วยน้ำในจังหวะต่อไป

1.7.3 ปริมาณน้ำ หมายถึง ปริมาณโดยประมาณของน้ำในถังซักที่เหมาะสมที่สุดเป็นลิตร สำหรับซักผ้าที่มีมวลเท่ากับความจุของการซัก

1.7.4 ผ้า (Fabrics) หมายถึง วัสดุที่เป็นผืน ผลิตมาจากเส้นใยหรือเส้นด้าย โดยวิธีการทอ หรือวิธีการอื่น ๆ เช่น การถัก และการอัด เป็นต้น

1.7.5 เส้นใย (Fibers) หมายถึง หน่วยที่มีขนาดเล็กที่สุด มีความยาวมากกว่าความกว้างไม่จำกัดขนาด และรูปร่าง

1.7.6 เส้นใยผ้า (Textile fibers) หมายถึง เส้นใยที่มีคุณสมบัติใช้ผลิตเป็นเส้นด้าย หรือผ้าได้

Copyright by Mahidol University

1.7.7 ผงซักฟอก (Synthetic detergent) หมายถึง สารสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นจากสารเคมี ที่เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นปิโตรเลียม อาจจะอยู่ในรูปของเหลว หรือเป็นผง ส่วนใหญ่เป็นผง ในผงซักฟอกประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิด (5) ได้แก่

1.7.7.1 สารลดแรงตึงผิว เช่น อัลคิล เบนซินซัลโฟเนต เป็นสารตัวหลักในผงซักฟอก โดยทำหน้าที่ช่วยในการลดแรงตึงผิวของน้ำ และกำจัดคราบไขมัน ผงซักฟอกชนิดเข้มข้นจะเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวมากขึ้น 2-3 เท่า จากผงซักฟอกทั่วไป

1.7.7.2 สารฟอสเฟต เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการลดความกระด้างของน้ำ และทำให้ผงซักฟอกทำงานได้ดี

1.7.7.3 โซเดียมซิลิเกต ทำหน้าที่ป้องกันการผุกร่อนของโลหะ

นอกจากสารเคมีดังกล่าวแล้ว ยังมีการเติมสารฟอกขาวเพื่อให้ผ้าที่ซักแลดูขาวสะอาดสดใส อย่างไรก็ตามในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จะเลือกใช้ผงซักฟอกแบบธรรมดาที่ไม่มีสารฟอกขาว เพื่อให้การเปรียบเทียบผลการทดลองเป็นไปในลักษณะใกล้เคียงกันมากที่สุด

1.7.8 คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง หรือ อุลตราโซนิก (Ultrasonic) หมายถึง คลื่นเหนือเสียง เป็นคลื่นที่มีความถี่สูงถึง 20-40 กิโลเฮิรตซ์ ความถี่นี้เกิดจากการสั่นของผลึกควอทซ์ ปัจจุบันนี้การนำคลื่นเหนือเสียงที่มีความถี่สูงนี้ไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ได้แก่ งานด้านอุตสาหกรรม งานด้านการแพทย์ และงานด้านการคมนาคมขนส่งต่าง ๆ เป็นต้น ในการวิจัยครั้งนี้ใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่ 28 กิโลเฮิรตซ์ เนื่องจากหาซื้อวัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างได้ง่าย

1.7.9 Color change หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของสีผ้าภายหลังจากการซัก ในการตรวจสอบจะใช้วิธีการเทียบสีด้วย สเกลสีเทา (Gray scale) โดยระบุออกมาเป็นตัวเลข

1.7.10 Tensile strength หมายถึง ค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้า มีหน่วยวัดเป็น ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว หรือ กรัมต่อเดนเยอร์ ความต้านแรงดึงของเส้นใยอาจเปลี่ยนแปลงได้เมื่อผ้าผ่านกระบวนการซัก

Copyright by Mahidol University

1.7.11 Shrinkage percentage หมายถึง เปอร์เซ็นต์การหดตัวของเนื้อผ้าภายหลังจากการซัก

1.7.12 Appearance after laundering หมายถึง สภาพที่ปรากฏภายหลังจากการซัก ได้แก่ รอยคราบของสารมลทินที่อาจจะไม่ถูกขจัดออกไปหมด ที่เกิดขึ้นภายหลังจากผ่านกระบวนการซัก ในการตรวจสอบดังกล่าวนี้จะใช้วิธีการสังเกตความแตกต่างเปรียบเทียบกับก่อนการซัก

1.7.13 คุณภาพน้ำทิ้งภายหลังจากการซัก หมายถึง คุณภาพของน้ำที่ปล่อยทิ้งออกมาจากเครื่องซักผ้าภายหลังจากการซัก ทั้งจากการซักด้วยการใช้ผงซักฟอก และการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ซึ่งอาจมีมลพิษต่าง ๆ ปนเปื้อนออกมา ได้แก่ สารฟอสเฟต และสารเคมีอื่น ๆ ที่ผสมลงในผงซักฟอก

1.7.14 ประสิทธิผล หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ที่เกิดขึ้นจากการซักผ้า ด้วยอุปกรณ์กำเนิดคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงที่สร้างขึ้น ซึ่งทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ 5 รายการ ตามมาตรฐานสิ่งทอในการตรวจสอบของ JIS L1096-1990 ได้แก่

1.7.14.1 Color change

1.7.14.2 Tensile strength

1.7.14.3 Shrinkage percentage

1.7.14.4 Appearance after laundering

1.7.14.5 คุณภาพน้ำทิ้งภายหลังจากการซัก

1.7.15 สมรรถนะ หมายถึง ความสามารถในการซักผ้า ที่มีเนื้อหนาบาง อัตราค่าใช้จ่ายขณะทำการซัก และระยะเวลาที่ใช้ในการซัก

1.7.16 ประสิทธิภาพในการซัก หมายถึง การหาอัตราส่วนความสัมพันธ์ ระหว่างระดับความเปลี่ยนแปลงของสีผ้า (Color change) เนื่องจากความสกปรกก่อนการซัก (Input) และภายหลังจากการซัก (Output)

Copyright by Mahidol University

1.8 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ในการศึกษาครั้งนี้ คาดว่าจะได้รับประโยชน์ในเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

1.8.1 ได้รับความรู้ในการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการทำความสะอาดผ้าทอ และทราบถึงลักษณะของการเปื้อนสารมลทินบางชนิด ที่ไม่จำเป็นต้องใช้ผงซักฟอก

1.8.2 อุปกรณ์ซักผ้าที่ทำงานด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนี้ จะมีประสิทธิผล สมรรถนะ และประสิทธิภาพสูง เหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการซักผ้าได้

1.8.3 น้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการซักด้วยผงซักฟอก เนื่องจากไม่สร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อม และยังเป็นการพัฒนาสิ่งแวดล้อมให้ยั่งยืนตลอดไป

Copyright by Mahidol University

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนั้น ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็น พื้นฐาน และแนวทางในการวิจัย ดังนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการทำความสะอาดผ้า

ความมุ่งหมายในการซักผ้า คือ การทำความสะอาด เอารอยเปื้อนออกให้หมด แต่สิ่งที่จะช่วยชะล้างออกไปให้หมด ได้แก่ น้ำ หรือของเหลวชนิดอื่น การซักผ้าทำได้ 2 วิธี คือ การซักด้วยน้ำ ที่เรียกว่า ซักเปียก และซักด้วยสารละลาย เรียกว่า ซักแห้ง

รอยเปื้อนบนเสื้อผ้าที่เกิดจากการสวมใส่เป็นเหงื่อ และไขมัน จากการบริโภคอาหารหรือการทำงาน นอกจากนั้นก็เป็นฝุ่น ดิน หรือโคลน รวมทั้งควันจากไอเสียรถยนต์ หรือโรงงานอุตสาหกรรม สารมลทินหรือรอยเปื้อนนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ สารมลทินที่เอาออกได้ง่าย ยาก และยากที่สุดหรือไม่ออกเลย

สารมลทินที่สามารถเอาออกได้ง่าย เป็นพวกฝุ่นละอองต่าง ๆ ซึ่งเพียงแต่สลัดหรือปัดก็อาจหลุดออกไปได้ แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผ้าด้วย เช่น ผ้าที่มีลักษณะการทอแน่นผิวเรียบฝุ่นจะหลุดออกได้ง่ายกว่า ถ้าเป็นผ้าที่มีลักษณะเนื้อหยาบขนฟู ฝุ่นจะเข้าไปสอดแทรกในส่วนของผ้าตามช่องว่างฟันหวี ซึ่งจะต้องใช้ผงซักฟอกและการสั่นสะเทือนบ้าง ฝุ่นจึงจะหลุดออกได้ ถ้าสารมลทินสามารถรวมตัวกันทางเคมีกลายเป็นส่วนหนึ่งของผ้าหรือเส้นใยจะเอาออกยาก ซึ่งต้องทำให้การรวมตัวระหว่างสารมลทินกับผ้าแยกออก และต้องรีบเอาออกโดยเร็วเพื่อไม่ให้สารมลทินกลับเข้าไปติดอีก ถ้าใช้ผงซักฟอก ผงซักฟอกจะทำหน้าที่แทรกซึมเข้าไปกั้นระหว่างสารมลทินและเนื้อผ้า ทำให้สารมลทินหลุดออกและลอยอยู่ในน้ำ สารมลทินบางชนิดมีคุณสมบัติในการรวมตัว

Copyright by Mahidol University

กับผ้าได้ดียากที่จะขจัดออกได้ เช่น โคลน น้ำชา ผลไม้ หมึก และสีแห้ง หรือสีน้ำ การใช้ผงซักฟอกลำพังอย่างเดียวอาจไม่ได้ผล ต้องใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นบางชนิดช่วยขจัดออก

สารช่วยทำความสะอาด ซึ่งประกอบด้วยน้ำ น้ำจะต้องเป็นน้ำใสสะอาดไม่กระด้าง น้ำมีคุณสมบัติในการช่วยทำความสะอาด โดยช่วยทำให้เปียก ช่วยการกระจายสารซักฟอก และชะล้างสารมลทินให้หลุดออกมาจากเนื้อผ้าได้

ผงซักฟอก หมายถึง สารประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ในการซักล้าง สามารถช่วยในการซักฟอกให้ดีขึ้น มีคุณสมบัติช่วยลดความตึงผิวของน้ำ ให้ความเปียกชุ่ม แทรกซึมและทำให้เกิดฟอง หรือหมายถึงสารเคมีสังเคราะห์เพื่อใช้ในการซักฟอก เป็นสิ่งที่ใช้ชำระล้างสิ่งสกปรกออกจากเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่มและภาชนะให้สะอาด (6)

ผงซักฟอกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามคุณสมบัติของสารที่ใช้ลดแรงตึงผิว (7) คือ

1. Hard detergent ได้แก่ ผงซักฟอกที่สลายตัวได้ยากในธรรมชาติ และมีส่วนประกอบที่เป็นสารลดแรงตึงผิว(Surfactant) เป็นพวก BAS (Branch alkyl benzene sulfonate) หรือ ABS (Alkyl benzene sulfonate)

2. Soft detergent ได้แก่ ผงซักฟอกที่สามารถถูกย่อยสลายตัวได้ง่ายโดยแบคทีเรียในธรรมชาติ ทำให้ปริมาณการตกค้างในธรรมชาติมีน้อย และเชื่อกันว่าจะไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อม มี surfactant เป็นพวก LAS (Linear alkyl benzene sulfonate)

ส่วนประกอบของผงซักฟอกมีมากมายหลายชนิดแตกต่างกันออกไปแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต แต่ส่วนประกอบหลักทั้งที่สามารถละลายได้ในน้ำ และละลายได้ในไขมัน มีดังนี้

1. สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ซึ่งมีส่วนประกอบของสารเคมี 4 ประเภท (8) คือ

1.1 แอนอิออนิก (Anionic) เป็นสารที่มีประจุไฟฟ้าลบ เนื่องจากโมเลกุลของสารเหล่านี้เมื่อละลายน้ำจะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ได้แก่ Alkyl sulfate, Alkyl ether sulfate, Sodium alkyl benzene sulfonate และ Sodium benzene sulfonate เป็นต้น

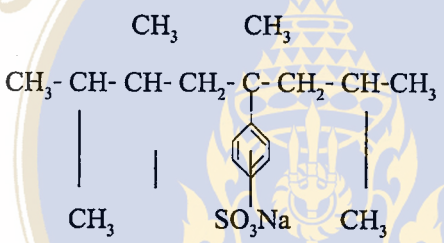
Copyright by Mahidol University

1.2 นอนอิออนิก (Nonionic) เป็นสารที่มีโมเลกุลที่ละลายน้ำ จะไม่มีประจุไฟฟ้า แต่สามารถดึงดูดกับน้ำทำให้เกิดการละลายได้ เช่น Alcohol ethoxylates, Alkyl phenol และ Ethyl orylated

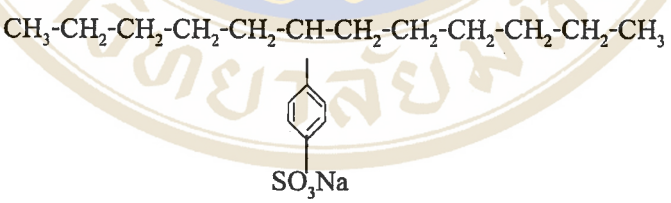
1.3 แคทอิออนิก (Cationic) เป็นสารที่มีโมเลกุลที่ละลายน้ำ จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ได้แก่ Quarternary ammonium หรือ Pyridinium salt เช่น Alkyl trimethyl ammonium halides

1.4 แอมโฟเทอริก (Amphoteric) เป็นสารที่มีโมเลกุลที่ละลายน้ำ จะสามารถเป็นได้ทั้งประจุบวกและประจุลบ ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด และด่างของน้ำ เช่น Alkyl betain

สารลดแรงตึงผิว Hard detergent คือ Alkyl benzene sulfonate (ABS) หรือ Branch alkyl sulfonate (BAS) ซึ่งมีอยู่ในผงซักฟอกประมาณ 12-13 เปอร์เซ็นต์ (9) มีสูตรโครงสร้างทางเคมี ดังนี้



สารลดแรงตึงผิว Soft detergent คือ Linear alkyl benzene sulfonate (LAS) ซึ่งมีสูตรคล้ายกับ Hard detergent แต่เป็น Linear chain ดังนี้



สารลดแรงตึงผิวทั้งชนิด ABS และ LAS เมื่อละลายน้ำแล้วจะมีคุณสมบัติ (10) ดังนี้

1) ลดแรงตึงผิวของน้ำ (Lowering of surface)ทำหน้าที่ขจัดคราบและความสกปรก

2) การทำให้เปียก (Wetting) โดยการทำให้ผิวสัมผัสเปียกมากขึ้นอย่างทั่วถึง เพื่อสะดวกในการทำความสะอาดและชำระล้าง

3) การดึงสิ่งสกปรกออกจากผิว (Detergency) ทำหน้าที่ลดแรงดึงดูด ระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นที่ผิวสัมผัส

4) การแขวนลอยในน้ำ (Emulsion) ทำหน้าที่ขจัดคราบน้ำมัน ซึ่งไม่ละลายน้ำ ทำให้เกิดการแขวนลอยอยู่ในน้ำ และสามารถขจัดออกไปได้

Copyright by Mahidol University

5) การป้องกันการกลับเข้าจับใหม่ (Suspension preventation of redeposition) ทำหน้าที่ในการดึงเอาสิ่งสกปรกที่ถูกขจัดออก มาแขวนลอยอยู่ในน้ำไม่ให้กลับเข้าไปเกาะติดกับผิวสัมผัสอีก

2. Builder เป็นสารประกอบที่ซับซ้อนของเกลือฟอสเฟต ทำหน้าที่เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ Surfactant นอกจากนี้ยังไม่ทำให้สิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่หลุดออกจากเส้นใยเข้าจับใหม่ได้ ทำหน้าที่ช่วยแก้ความกระด้างของน้ำโดยทำให้แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนิเซียม(Mg^{2+}) ตกตะกอน ซึ่งได้แก่สารโซเดียมฟอสเฟต และไตรไพโรฟอสเฟต ซึ่งทำให้เกิดฟองผสมอยู่ประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนผสมของเกลือโซเดียมซิลิเกต ทำหน้าที่ป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ และป้องกันสนิม มีส่วนผสมเท่ากับ 5-10 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติผงซักฟอกทั่วไปจะมี Builder ผสมอยู่ประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์

3. Sud regulators เป็นสารที่เติมลงไปในผงซักฟอกเพื่อทำหน้าที่เป็นตัว Stabilizer หรือ Suppressor ซึ่งมีผลต่อการลดและเพิ่มฟองตามต้องการ โครงสร้างทางเคมีของสารนี้จะเป็นลูกโซ่ยาว ๆ ของพวก Fatty acid และ Silica มีคุณสมบัติเป็น Hydrophobic ได้แก่ Lauryl alcohol alkyl sulfate ได้แก่ Lauric ethanolamine alkyl benzene sulfonate

<u>ผลกระทบของสารซักฟอกต่อสิ่งแวดล้อม</u>

1. <u>ผลกระทบต่อมนุษย์ และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม</u>

ในช่วงปี ค.ศ. 1967-1977 ได้มีรายงานจากวารสารทางการแพทย์ในต่างประเทศกล่าวถึงอันตรายของผงซักฟอก ต่ออันตรายของสุขภาพคนงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตผงซักฟอกว่าจะก่อให้เกิดการอักเสบของถุงลม และมีอาการหอบคล้ายหืด ทำให้ผู้ใช้มีผิวหนังหยาบแห้งเพราะผงซักฟอกทำให้ไขมันธรรมชาติที่ผิวหนังลดลง ทำให้ผิวหนังที่มือเปื่อยหรือเป็นผื่นคัน ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่ผิวหนัง ทำให้ผิวหนังลอกและติดเชื้อแบคทีเรีย หรือเกิดอาการแพ้ระคายเคืองแบบเฉียบพลัน หรือเรื้อรังก็ได้ (11)

ผงซักฟอกจะเข้าสู่ร่างกายได้โดยตรงทางผิวหนัง ถ้าไปสัมผัสกับผงซักฟอก ซึ่งจะทำให้เกิดการระคายเคือง เป็นแผลแดงช้ำเกิดอาการแพ้ ผิวหนังจะหนาขึ้น ตกสะเก็ดเป็นแผลพุพอง อาจเกิดโรคผิวหนังเรื้อรังได้ นอกจากนี้อาจเข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานเข้าไปโดยบังเอิญ ซึ่งจะมี

Copyright by Mahidol University

ผงต่อการบีบตัวของลำไส้ ทำให้เกิดอาการท้องร่วงและอาเจียน จากการทดลองของ Griffith ได้รายงานว่า จากการตรวจสอบทางผิวหนังพบว่า สาร Flurescent whitening agent (FWA) ที่ผสมอยู่ในผงซักฟอก จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางผิวหนังชนิด Delay contact hyper sensitivity กับผู้ป่วย Arundell ได้รายงานว่า สาร Phenolic detergent ทำให้เกิดอาการผื่นแดงและคันที่ผิวหนังฝ่ามือเป็นด่างขาว โดยเฉพาะผู้ป่วยที่เป็นพนักงานทำความสะอาดอุปกรณ์ในแผนกกายภาพบำบัดของโรงพยาบาลแห่งหนึ่ง (12)

กนก บุญรัตเวช (13) ได้กล่าวถึงอันตรายของผงซักฟอก ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1) ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่ออวัยวะที่สัมผัส ซึ่งอาจเกิดจากการใช้ผงซักฟอกผิดประเภท เช่น ใช้สระผม หรือฟอกตัว เมื่อเข้าตาจะทำให้เยื่อตาอักเสบ ผิวหนังศีรษะและเส้นผมหยาบแห้ง หรือเมื่อใช้ผงซักฟอกในปริมาณที่มากกว่าปกติในขณะทำการซักล้าง จะทำให้เกิดอาการคันตามผิวหนังบริเวณมือ เล็บเปื่อยเมื่อแช่นาน ๆ จะเกิดอาการมากขึ้น

2) ทำให้อาการแพ้ ซึ่งเกิดกับระบบทางเดินหายใจ กรณีที่สูดดมเอาผงซักฟอกเข้าไป จะเกิดอาการไขหวัดเรื้อรัง หรือหืดหอบได้ นอกจากนี้อาจเกิดอาการแพ้ที่ผิวหนัง ซึ่งเกิดจากสารที่เป็นส่วนผสมของผงซักฟอก เช่น สารผสมเพื่อฟอกขาว

ได้มีการกล่าวถึงรายงานการทดลองในประเทศญี่ปุ่นพบว่า ABS เป็นสารที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ในปี ค.ศ. 1970 รัฐบาลญี่ปุ่นได้สั่งห้ามการผลิตของเล่นเด็กที่ทำให้เกิดฟองโดยใช้สารละลายผงซักฟอกที่มีสาร ABS ในผงซักฟอกชนิด Hard detergent ได้มีการทดลองความเป็นพิษของ ABS ต่อสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง เช่น หนู โดยโกนขนที่หลังหนูออกแล้วเอาผงซักฟอกที่มีสาร ABS ทาบริเวณที่โกน ขณะที่หนูกำลังตั้งท้อง เมื่อผ่าหนูออกพบว่า ลูกหนูทุกตัวมีผิวหนังผื่นแดง และมีกระดูกสันหลังผิดปกติ Sato ได้ทำการทดลองเช่นเดียวกัน แต่ใช้ผงซักฟอกที่มีสาร LAS พบว่าหนูมีน้ำหนักตัวลดลง มีผลต่อการสร้างกระดูกของหนูตัวอ่อน และทำให้แท้งลูกได้ Palmer ได้ทำการทดลองเช่นเดียวกับ Sato โดยใช้ผงซักฟอกที่มีสาร LAS 0.03-3.00 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ทำให้เกิดอาการผิดปกติต่อการตั้งท้อง แต่ไม่มีอาการเฉพาะที่ที่ทำให้เกิดเป็นมะเร็ง ประสาน เลอไกรสิทธิ์ (14) ได้รายงานว่ามีผู้คิดค้นสารเคมีที่ใช้แทนฟอสเฟต คือ NTA (Nitrilotriacetate) ซึ่งต่อมาพบว่าสารนี้ทำให้คนงานเกิดเป็นโรคมะเร็ง

Copyright by Mahidol University

2. ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

Jone ได้รายงานว่าสารลดแรงตึงผิวจะทำให้สารพวกโปรตีนตกตะกอน หรือแปรสภาพ โดยเฉพาะผงซักฟอกที่มีส่วนประกอบที่เป็นพวก Pyridine จะเป็นอันตรายต่อระบบประสาทและการหายใจของปลา ถ้าในระดับที่มีความเข้มข้นน้อย ๆ ประมาณ 10-40 ppm. ปลาจะเคลื่อนไหวไม่ได้และเสียการทรงตัว Henderson ได้ทำการทดลองกับปลา Fathead minow (Primephales promelas) และปลา Blue gills (Lepomis macrochirus) พบว่า ความเข้มข้นของ ABS ทำให้ปลาทดลองตายลงครึ่งหนึ่ง หรือ 50 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 4.5 ppm. และ 5.6 ppm. ตามลำดับ Lemke และ Mount ได้ทำการทดลองกับปลา Blue gills เช่นกัน ในระยะเวลา 30 วัน จะอยู่ระหว่าง 15.5 –18.3 ppm. นอกจากนี้ยังพบว่าปลาที่ทดลองมีการเจริญเติบโตลดลง และมีอาการผิดปกติเกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อบริเวณเหงือกอีกด้วย (15)

Herbert ได้รายงานความเป็นพิษของผงซักฟอก ABS ว่าเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีผลต่อปลาทั้งในน้ำอ่อน และน้ำกระด้าง ที่ระดับความเข้มข้น 12 ppm. จะทำให้ปลา Rainbow trout ตายภายใน 8 ชั่วโมง แต่ที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 3 ppm. จะทำให้ปลาตายภายในระยะเวลา 12 สัปดาห์ Hassler ได้ทดลองอัตราการตายของปลา Rainbow trout เช่นกัน โดยใช้สารประกอบ ABS พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 2-4 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในเวลา 24 ชั่วโมง และ 2.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในเวลา 120 ชั่วโมง พบว่าปลามีอาการหายใจถี่ขึ้น เสียการทรงตัว ว่ายน้ำไม่มีทิศทาง และมีเมือกออกมามาก เหงือกถูกทำลาย Hamm ได้ทำการทดลองผงซักฟอกประเภท Nonionic จำนวน 15 ชนิด กับปลา Rainbow trout ได้ผลคล้ายกับผงซักฟอกประเภท Anionic คือปลาจะสร้างเมือกมากกว่าปกติ เหงือกถูกทำลายและตายในที่สุด Eisler ได้ทำการทดลองความเป็นพิษของสารประกอบ ABS กับปลาน้ำกร่อยบางชนิด ได้แก่ ปลา Silverside (Minidia meaidia) ปลา Nummichogs (Fundules heterocltius) ปลา Winter flounder (Psendopleurconeclitus amerieanns) และปลาไหล (Anguilla reestrata) พบว่าความเป็นพิษของสารประกอบ ABS จะยังคงมีอยู่อีกเป็นเวลานานถึง 12 สัปดาห์ และความเป็นพิษของสารประกอบ ABS จะเพิ่มมากขึ้นถ้าความเค็มเพิ่มขึ้น (16)

Ganz ได้ทดลองใช้สาร Fluorescent whitening agent (FWA) กับปลา Blue gills ในระยะเวลา 35-70 วัน แต่หลังจากนั้นนำปลามาเลี้ยงในน้ำที่สะอาดและตรวจสอบสาร FWA ในเนื้อปลา พบว่ามีสาร FWA ชนิดเดียวกันในปริมาณที่มากกว่าในน้ำที่ทดลอง แต่เมื่อนำปลามาเลี้ยงในน้ำที่สะอาด ปริมาณ FWAที่มีอยู่ในเนื้อปลาจะถูกกำจัดหมดไปภายใน 114 วัน Sturn ได้ศึกษาความ

Copyright by Mahidol University

เป็นพิษของสาร FWA เช่นกัน กับปลา 2 ชนิด คือ ปลา Blue gills และปลา Chanel catfish (Ictalurus punctatus) พบว่า ที่ระดับที่เกิดพิษเฉียบพลันแก่ปลามีค่าระหว่าง 260-10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าระดับธรรมชาติ (17)

Schidt และ Mann ได้ใช้สารประกอบของ Sodium dodecyl benzene sulfate ในผงซักฟอกกับปลา Rainbow trout พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 5 ppm. จะทำให้ซี่เหงือกผิดปกติและติดกันต่อมเมือกถูกทำลาย ถ้าความเข้มข้นสูงกว่านี้จะทำให้ Respiratory epithelium ของระบบหายใจพิการ และพบว่าในน้ำกระด้างจะมีความเป็นพิษของผงซักฟอกมากกว่าในน้ำอ่อน Badach ได้ทดลองเลี้ยงปลา Yellow bullhead (Ietalurus natalis) ในน้ำที่มีสารประกอบที่มี ABS และ LAS ในปริมาณ 0.5 ppm. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อที่หนวด โดยส่วนปลายของต่อมรับความรู้สึก (Taste bud) ถูกทำลาย ทำให้การว่ายน้ำและการหาอาหารของปลาผิดปกติ Pickerling และ Thatcher ได้ทำการทดลองความเป็นพิษของ LAS ที่มีต่อปลา Fathead minow ในระยะยาวพบว่าค่าสูงสุดของ LAS ที่ควรยอมรับให้มีอยู่ในน้ำได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อปลา มีค่าประมาณ 0.63 ppm. (18)

สุวัฒน์ ทรัพย์ประภา (19) ได้รายงานถึงสาร LAS ว่าจะสลายตัวทางชีวภาพได้เร็ว แต่ถ้ามีความเข้มข้นมาก จะทำให้กระบวนการสลายตัวชะงักลง และจะทำให้ปลาตายได้ ไมตรี ดวงสวัสดิ์ ได้รายงานว่า LAS จะมีความเป็นพิษต่อปลาแบบเฉียบพลันมากกว่า ABS ตั้งแต่ 1.5-4 เท่า โดยเฉพาะน้ำที่ไม่มีโรงบำบัดน้ำเสียที่ควบคุมคุณภาพของน้ำ

ประสิทธิ์ กลิ่นภิรมย์ (20) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผงซักฟอก 4 ประเภท ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย ซึ่งมี ABS เป็นองค์ประกอบคือ บรีส แฟ้บ เพค และรินโซ่ ที่ระดับความเข้มข้น 5.0, 7.5, 10.0 และ 12.0 ppm. พบว่าผงซักฟอกทั้ง 4 ประเภท มีพิษต่อหอยขม โดยมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นดังกล่าว และยังพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 12.5 ppm. มีผลต่อการเจริญเติบโตและการผสมพันธุ์ของหอยขม และนอกจากนี้ ณรรฐพล วัลลีลักษณ์ (21) ได้รายงานความเป็นพิษของ Fastac ที่มีต่อปลานิล กุ้งฝอยน้ำจืด ลูกน้ำยุงบ้าน และหอยนางรม มีค่าเท่ากับ 22.8, 43.4 และ 25.9 ppm. ตามลำดับ

Copyright by Mahidol University

3. ผลกระทบต่อพืช

จิรศักดิ์ แก้วม่วง (22) ได้ศึกษาผลของ Hard detergent ต่อผักคะน้า ดาวเรือง และชมพู่ม่าเหมียว โดยใช้ผงซักฟอก 3 ชนิด คือ ABS_1, ABS_2 , และ ABS_3 ที่ระดับความเข้มข้น0, 0.1, 0.5, 1.0 และ 2.0 ppm. พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของผงซักฟอกทั้ง 3 ชนิด ที่ 2.0 ppm. จะมีผลทำให้พืชที่ใช้ในการทดลองเจริญเติบโตช้ากว่าชุดที่ควบคุม ประสิทธิ์ กลิ่นภิรมย์ ยังได้กล่าวถึงการทดลองของ Paluch และ Nogai โดยใช้สาร Anionic syndete พวก Sodium alkyl aryl sulfonate, alphenol และ Sodium sulfonate พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 50-280 ppm. จะยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของรากฝอยเมล็ดถั่ว กะหล่ำปลี ฝิ่น ข้าวโอ๊ต และข้าวโพด นอกจากนั้นยังมีผลต่อพืชน้ำและสาหร่าย ทำให้เซลสืบพันธุ์เสียหายได้

Agami ได้ทำการศึกษาสารเคมีที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำขนาดใหญ่ (Aquatic macrophyte) โดยทำการทดลองใช้ผงซักฟอกที่มีความเข้มข้นในระดับ 5 และ 15 ppm. กับพืชน้ำพวก Ludwignia stolomifera, Scirpus litoralis และ Nymphaea caerulea พบว่าจะทำให้ขอบใบไหม้เกรียม ใบที่เกิดใหม่มีลักษณะผิดปกติ และมีขนาดเล็ก Sahai ได้ทำการทดลองพบว่าสารลดแรงตึงผิว Alkyl benzene sulfonate ในระดับความเข้มข้น 2.5 ppm. จะสามารถยังยั้งการเจริญเติบโตของพืชน้ำ Patamogenton pectinatus และ Paltamogenton densus ในระดับความเข้มข้น 6 ppm. จะทำให้ Paltamogenton densus ตายภายใน 14 วัน นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองต่อไปจนพบว่าผงซักฟอกทำให้ Cytoplasmic membrane ของสาหร่ายผิดปกติไปจากธรรมชาติ โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวชนิด Cladophora sp. ใช้ความเข้มข้น 1.0 ppm. สำหรับสาหร่ายทะเลเมื่อได้รับผงซักฟอกที่มีความเข้มข้น 1.0 ppm. เป็นเวลา 96 ชั่วโมง จะทำให้การสังเคราะห์แสงถูกยับยั้งลงไปถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (23)

4. ผลกระทบต่อจุลินทรีย์

ผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ ในการย่อยสลายผงซักฟอกนั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ หลายประการ ดังนี้

4.1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ จากการศึกษาของ Wayman และ Robertson พบว่าการสลายตัวทางชีวภาพ (Biodegradation) ของผงซักฟอกภายใต้สภาพที่มีออกซิเจน จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน

Copyright by Mahidol University

4.2 ธาตุอาหารที่มีอยู่ในธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้ว แบคทีเรียซึ่งอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะสามารถย่อยสลายอินทรียสารในน้ำได้ง่ายกว่า ที่จะย่อยสลายผงซักฟอก ซึ่งถ้าอินทรียสารในน้ำหมดแล้ว แบคทีเรียจึงย่อยสลายผงซักฟอกต่อไป

4.3 Haloorson และ Ishaque ได้ศึกษาพบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 10 องศาเซลเซียส จะทำให้แบคทีเรียใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายผงซักฟอก Liquinox(ABS) เพิ่มขึ้น และถ้าลดอุณหภูมิลงถึง 2 องศาเซลเซียส การย่อยสลายจะไม่เกิดขึ้นเลย

4.4 สารพิษที่เจือปนอยู่ในแหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อแบคทีเรีย ซึ่งจะมีผลต่อการสลายตัวของผงซักฟอกด้วย เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม วัตถุมีพิษที่ใช้ในการเกษตรซึ่งตกค้างอยู่ในแหล่งน้ำ Fuhrmann ได้ศึกษาพบว่า Phenol ที่ระดับความเข้มข้น 2 ppm. จะมีผลต่อการย่อยสลายตัวทางชีวภาพของผงซักฟอก และจะสลายตัวได้หมดภายในเวลา 2-8 วัน

4.5 สภาพความเป็นกรด ด่าง จากการศึกษาของ Glassman และ Molnan ได้รายงานว่าที่ระดับ pH เป็นกลาง ผงซักฟอกประเภท Cationic surfactants จะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากที่สุด และระดับความเป็นพิษจะลดน้อยลงเมื่อ pH ต่ำลง ส่วนผงซักฟอกประเภท Anionic surfactants ที่ระดับ pH เป็นกลาง จะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียน้อยกว่าพวก Cationic surfactants ส่วนที่ระดับ pH ต่ำแล้วจะมีความเป็นพิษเพิ่มมากขึ้น

4.6 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว จากการศึกษาส่วนใหญ่พบว่า LAS จะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากกว่า ABS และ Nonionic surfactants จะมีความเป็นพิษน้อยกว่า Anionic surfactants นอกจากนี้ความยาวและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของ Surfactants ก็จะมีส่วนทำให้พิษของผงซักฟอกเปลี่ยนแปลงไปด้วย (24)

ผงซักฟอก เป็นสารประกอบหมู่ใหญ่ที่เรียกว่า Sulphonated Fatty Alcohol ใช้เป็นผงซักฟอกได้ดีแตกต่างจากสบู่ เนื่องจากสบู่ที่ผลิตจำหน่ายทั่วไปผลิตจากไขมันรวมหลายชนิด เพื่อให้ได้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น สบู่ที่ใช้ซักผ้าให้ขาวสะอาดจะใช้สบู่ที่ทำมาจากกรดไขมันที่มีจุดละลายสูง 37-40 องศาเซลเซียส ต้องใช้น้ำร้อนช่วยจึงจะซักได้ขาวสะอาด ถ้าใช้น้ำเย็นจะให้ผลต่ำ หากซักด้วยน้ำเย็นจะต้องเลือกใช้สบู่ที่ผลิตจากไขมันที่มีจุดละลายต่ำ การเลือกใช้สบู่ต้องพิจารณาเลือก

Copyright by Mahidol University

ใช้ตามชนิดของผ้าและสารมลทินที่เกาะยึด ดังนั้น จะเห็นได้ว่าความนิยมในการใช้สบู่ลดลง หันมาใช้ผงซักฟอกกันมากขึ้น

ผงซักฟอกมีความสามารถทนต่อกรดได้มากกว่าสบู่เมื่อใช้กับน้ำกระด้างเกลือแมกนีเซียมและแคลเซียมจะละลายอยู่ในน้ำไม่จับเป็นก้อน ซักผ้าได้สะดวกกว่า ไม่มีด่างเกิดขึ้นในน้ำซัก สามารถใช้กับกรดหรือเกลือเพื่อช่วยให้สีตกน้อยลง แม้ว่าจะซักออกไม่หมดก็ไม่มีผลอะไร ผ้าจะไม่หดมากนักเพราะไม่ต้องซักน้ำอยู่นานเหมือนซักด้วยสบู่ ผงซักฟอกจึงใช้ซักผ้าได้ทุกชนิด แต่อย่างไรก็ตามสบู่ใช้ได้ดีกับผ้าฝ้ายและผ้าลินินเท่านั้น

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้สบู่ หรือผงซักฟอก มีดังนี้

1) สบู่ใช้กับผ้าที่เปื้อนน้อย เป็นสบู่ธรรมดาไม่มีสารพิษ นิยมใช้ซักผ้าเนื้อบาง เบา ผ้าทอสวยงาม เย็บประณีต และสีซีดเร็ว

2) สบู่ที่ใช้สำหรับเสื้อผ้าที่เปื้อนมาก เป็นสบู่ธรรมดาแต่เพิ่มด่างพิเศษเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการทำความสะอาดมากขึ้น ซึ่งอาจจะมีการเติมสารเคมีช่วยลดความกระด้างของน้ำ และเพิ่มปริมาณฟอง

3) ผงซักฟอกชนิดฟองมากใช้กับผ้าเปื้อนน้อยและซักด้วยมือเท่านั้น ไม่เหมาะกับเครื่องซักผ้า ใช้ซักผ้าเนื้อบางและสีซีดเร็ว

4) ผงซักฟอกชนิดฟองมากใช้กับผ้าเปื้อนมาก ซึ่งต้องเพิ่มปริมาณสารเคมีที่จะไปช่วยทำความสะอาด มีฟองมาก เหมาะสำหรับใช้กับเครื่องซักผ้า

5) ผงซักฟอกชนิดฟองน้อย ได้รับการผลิตขึ้นเพื่อให้มีฟองน้อยลง สำหรับใช้กับเครื่องซักผ้าชนิดกลิ้งไปมา (Tumbler) เพราะหากมีฟองมากเกินไปจะล้นออกมาภายนอก

ในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตผงซักฟอก และสบู่มักจะเติมสารสีนวลลงไป เพื่อให้ผ้าที่ซักมีสีสันที่ดูสะอาดนวลใยมากขึ้นเมื่อกระทบกับแสงสว่าง หากไม่กระทบกับแสงสว่างก็จะมีสีคล้ำเหมือนเดิม เนื่องจากสารสีนวลนั้นมิได้ทำหน้าที่ฟอกผ้าให้ขาว แต่จะไปเคลือบเส้นใยไว้ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอีกชนิดหนึ่งที่เรียกชื่อทางการค้าว่า CMC ซึ่งเป็นสารเคมีที่ช่วยให้สารมลทินที่หลุดออกจากเส้นใยแล้วไม่กลับเข้าไปติดอีก สารเคมีในผงซักฟอกนี้อาจทำอันตรายต่อผิวหนังของมนุษย์ จึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง (25)

Copyright by Mahidol University

ผงซักฟอกที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของเครื่องซักผ้า ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1462-2540 ได้กำหนดไว้ดังนี้

ตารางที่ 2-1 สารประกอบของผงซักฟอกที่ใช้กับเครื่องซักผ้ามาตรฐาน (26)

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยมวล
• ลิเนียร์โซเดียมอัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear sodium alkyl benzene sulfonate) ที่มีค่าความยาวเฉลี่ยของลูกโซ่อัลเคน (Alkane chain) C_{11-5}	0.75
• เอโทไซเลเทดแฟตตีแอลกอฮอล์ (Ethoxylated fatty alcohol) C_{12-18} (7EO)	4.0
• สบู่โซเดียม (Sodium soap) ที่มีค่าความยาวของลูกโซ่เป็นอัตราส่วน C_{12-18} ต่อ C_{20-22} เท่ากับร้อยละ 65 ต่อร้อยละ 35	2.8
• SIK ที่มีสารลดฟอง (Foam inhibitor) แบบเข้มข้น ซิลิคอนร้อยละ 8	5.0
• โซเดียมไทรพอลิฟอสเฟส (Sodium tripolyphosphate)	25.0
• โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate)	9.1
• เกลือโซเดียมของกรดมาเลอิกและอะคริลิกที่อยู่ในรูปของโคพอลิเมอร์ (Copolymer form acrylic and maleic acid) หรือ Sokalan CP 5/BASF	4.0
• โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) ที่มีอัตราส่วน SiO_2 ต่อ Na_2O เท่ากับ 3.3 ต่อ 1	2.6

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยมวล
• คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose)	1.0
• โซเดียมเอทิลีนไดอามีนเททระแอซิเทต (Sodium ethylenediaminetetraacetate)	0.2
• ออปทิคัลไวเทนเนอร์ (Optical whitener) สำหรับผ้าฝ้ายแบบสทิลบีน (Stilbene)	0.2
• โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate) สำหรับเป็นสารแอกคอมพานีอิง (Accompanying) หรือเติม	5.7
• น้ำ	9.4
• โพรทีโอไลต์เอนไซม์พริลส์ (Proteolyte enzyme prills) ที่มีแอกทิวิตี (Activity) เท่ากับ 11 mAU/g	0.5
• โซเดียมเพอร์บอเรตเททระไฮเดรต (Sodium perborate tetrahydrate)	20.0
• เททระอะเซทิลเอทิลีนไดอามีน (Tetraacetylethylenediamine)	3.0

2. 2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเส้นใยผ้า

เส้นใยที่ใช้สำหรับทำผ้า หรือเส้นด้าย มีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากพืช สัตว์ และสารอินทรีย์ และที่ผลิตขึ้นจากวัตถุดิบที่มิใช่เส้นใย วัตถุดิบเหล่านี้บางทีเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ แล้วนำมาดัดแปลงให้เป็นเส้นใย บางทีเป็นเพียงธาตุต่าง ๆ นำมารวมกันเข้าทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีรวมกัน เป็นสารประกอบชนิดใหม่ มีคุณสมบัติทำเป็นเส้นใยได้ มีอยู่มากมายหลายสิบชนิด เส้นใยบางชนิดแม้จะมีส่วนประกอบเหมือนกัน แต่ผลิตจากโรงงานหรือประเทศต่างกัน จะมีชื่อการค้าไม่เหมือนกัน เช่น ใยโพลิเอสเตอร์ของประเทศอังกฤษเรียก เทอร์ลีน (Terylene) สหรัฐ

Copyright by Mahidol University

อเมริกาเรียกเดครอน แต่ญี่ปุ่นเรียก เทโทรอน(Tetoron) นอกจากนี้แล้วใยชนิดเดียวกันนี้เมื่อนำไปทำเป็นเส้นด้ายต่างแบบกัน ยังมีชื่อการค้าต่างกันออกไป ปัจจุบันมีการจำแนกเส้นใยออกตามส่วนประกอบทางเคมีเป็น 4 ชนิด (27) ได้แก่

2.2.1 ใยเซลลูโลส มีส่วนประกอบเป็นเซลลูโลส อันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญยิ่งที่ทำให้พืชยืนต้นอยู่ได้ ใยเซลลูโลสเป็นใยที่ได้มาจากพืชทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นใยชนิดใด ได้แก่

2.2.1.1 ใยเซลลูโลสธรรมชาติ ใยพวกนี้มีลักษณะเป็นใยอยู่แล้วในธรรมชาติ นำมาดัดแปลงแต่งเติมบ้างเล็กน้อยก็ใช้ประโยชน์ได้ เช่น ฝ้าย ลินิน

2.2.1.2 ใยเซลลูโลสประดิษฐ์ ได้แก่ใยที่นำเซลลูโลสธรรมชาติที่อาจมีสภาพเป็นใยหรือมิได้มีสภาพเป็นใย มาทำเสียใหม่ให้เป็นใยใช้ประโยชน์ได้ แต่คุณสมบัติของเซลลูโลสยังคงเดิม เช่น เรยอน และ อาซิเตต

2.2.2 ใยโปรตีน คือใยที่ส่วนประกอบเป็นโปรตีน มีทั้งที่เป็นใยธรรมชาติ และใยประดิษฐ์

2.2.2.1 ใยโปรตีนธรรมชาติ ได้แก่ ใยประเภทขน ผม หรือเคราของสัตว์ นำมาใช้เป็นเส้นใยได้ทันที ถ้าต้องการให้สวยงามจะดัดแปลงบ้างเล็กน้อย เช่น ขนสัตว์ ขนม้า และใยไหม เป็นต้น

2.2.2.2 ใยโปรตีนประดิษฐ์ ทำมาจากส่วนประกอบโปรตีนของพืชบางชนิด หรือโปรตีนของสัตว์ เช่น โปรตีนจากนม โปรตีนจากข้าวโพดหรือถั่ว เป็นต้น

2.2.3 ใยสังเคราะห์จากสารเคมี เป็นใยที่ประดิษฐ์ขึ้นจากมวลธาตุหลายชนิดรวมกัน ส่วนใหญ่ทนความร้อนสูงไม่ได้

2.2.4 ใยอนินทรีย์ เป็นใยธรรมชาติ และใยสังเคราะห์ ใยธรรมชาติมีใยหินเพียงชนิดเดียว นอกนั้นเป็นใยประดิษฐ์ เช่น ใยแก้ว อะลูมิเนียม และทอง เป็นต้น

Copyright by Mahidol University

2.3 โครงสร้างของเส้นใยผ้า

โดยทั่วไปโครงสร้างของเส้นใยผ้า แบ่งออกเป็น 2 ส่วน (28) ได้แก่

2.3.1. โครงสร้างภายนอกของเส้นใย หมายถึง ลักษณะรูปร่างภายนอกของเส้นใย ได้แก่ ความยาว เส้นผ่าศูนย์กลาง ความละเอียด ภาคตัดขวาง และการหยิกงอของเส้นใย

2.3.1.1 ความยาว เส้นใยที่ผลิตมี 2 ชนิด ได้แก่ ใยยาว (Filament) และใยสั้น(Staple) ใยยาวเดี่ยว (Monofilament) หรือใยยาวรวมจำกัดจำนวนเส้นใย (Multifilament) หรือใยยาวรวมไม่จำกัดจำนวนเส้นใย (Filament tow) ตามปกติใยยาวมีผิวเรียบ แต่ดัดแปลงทำให้มีผิวแตกต่างกันได้ ใยสั้นยาวประมาณ 1.9-45 เซนติเมตร ใยธรรมชาติทั้งหมดเป็นใยสั้น ยกเว้นใยไหม ใยยาวรวมไม่จำกัดจำนวน ต้องทำให้หยิกก่อนจึงตีเกลียวเป็นเส้นด้าย

2.3.1.2 ขนาดใยมีความสำคัญต่อรูปลักษณะและเนื้อสัมผัสของผ้า ถ้าเป็นเส้นใยหยาบค่อนข้างใหญ่ จะทำให้เนื้อผ้าหยาบ กระด้าง แข็ง แต่มีเนื้อมาก และทนแรงเค้นได้ดี ใยธรรมชาติผิวไม่เรียบสม่ำเสมอ แตกต่างกันมาก เพราะความสมบูรณ์ไม่เท่ากัน การวัดเส้นผ่าศูนย์กลางทำได้ยาก บางครั้งจะวัดเป็นความละเอียด ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของเส้นใยมาก

2.3.1.3 ลักษณะตามขวาง รูปร่าง หรือลักษณะตามขวางของใย มีความสำคัญต่อความมัน ความฟองฟู เนื้อผ้าผิวสัมผัส และเนื้อสัมผัสของผ้ามาก ลักษณะตามขวางของใยธรรมชาติไม่เปลี่ยนแปลง แต่ใยประดิษฐ์เปลี่ยนแปลงปรับปรุงให้เป็นรูปต่าง ๆ มีคุณสมบัติแตกต่างกันได้หลายแบบตามลักษณะของรูปในแว่นกดเส้นใย

2.3.1.4 ผิวเส้นใย (Surface contour) เส้นใยที่ใช้ในการทำเส้นด้าย มีลักษณะหน้าตัด และรูปร่างแตกต่างกัน

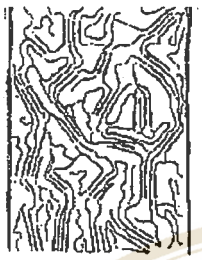
2.3.2 โครงสร้างภายในของเส้นใย เป็นสารประกอบเคมีที่รวมตัวยึดกันเป็นเส้นใย เป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่ (Polymer) ประกอบด้วยโมเลกุลเล็ก ๆ จำนวนมาก ที่มีคุณสมบัติอย่างเดียวกัน หรือคล้ายกันเรียงตัวกันเป็นลูกโซ่ ซึ่งมีลักษณะความยาวเป็น 3 แบบ ได้แก่

2.3.2.1 โมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วยสารชนิดเดียวกัน (Homopolymer)

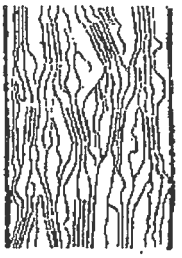
2.3.2.2 โมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วยสารเคมีสองชนิด (Copolymer)

2.3.2.3 โมเลกุลใหญ่ที่เชื่อมต่อกัน โดยมีสารหมู่อื่นมาต่อด้านข้าง (Side chain) ทำให้โครงสร้างโดยส่วนรวมยึดกันไม่แน่น เปิดออกเป็นช่อง (Less crystallinity) โมเลกุลแบบนี้ดูดสีย้อม หรือสารเคมีเข้าไปในช่องว่างนี้ได้มาก

Copyright by Mahidol University



การเรียงตัวแบบที่ 1



การเรียงตัวแบบที่ 2

ภาพที่ 2-1 ลักษณะการเรียงตัวของโซ่โมเลกุล

สำหรับเส้นใยสังเคราะห์สามารถปรับปรุง และพัฒนากระบวนการผลิตให้เส้นใยเรียงตัวกันมากขึ้นได้ โดยการนำไปดึงยืดก่อนที่เส้นใยจะแข็งตัว ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเหนียวขึ้นมากและยืดตัวออกได้มากขึ้น นอกจากนั้นยังดูดความชื้นได้มากขึ้น

ลักษณะก่อนการดึงยืด

ลักษณะหลังการดึงยืด

ภาพที่ 2-2 ลักษณะการเรียงตัวของโซ่โมเลกุลก่อน และหลังการดึงยืด

โซ่โมเลกุลจำนวนมากเหล่านี้ ยึดกันอยู่ได้ด้วยแรงวันเดอร์วาลส์ (Van der waals) และไฮโดรเจนบอนด์ (H.bond) ถ้าโซ่โมเลกุลเรียงชิดกันได้มากเท่าไร ความเหนียวของเส้นใยจะเพิ่มขึ้นมากเท่านั้น

Copyright by Mahidol University

2.4 คุณสมบัติของเส้นใย

เส้นใยมีคุณสมบัติแตกต่างกันตามชนิดและที่มาของเส้นใย ทำให้ผ้ามีคุณสมบัติและลักษณะแตกต่างกัน คุณสมบัติเหล่านี้ได้แก่ ความน่าใช้ การดูแลรักษา และความยากง่ายในการตัด

คุณสมบัติของใย มีทั้งที่เป็นคุณสมบัติฟิสิกส์ และสารเคมี โดยทั่วไปมีอยู่ 13 ชนิด (29) ได้แก่

2.4.1 ความยาว

ด้ายจะเหนียว ผ้าจะทนทาน และมีเนื้อเรียบถ้าผลิตจากใยยาว ใยที่มีความยาวเมื่อทำเป็นเส้นด้ายก็ยิ่งมีความเหนียว โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับใยชนิดเดียวกัน เช่น เมื่อเอาใยฝ้ายที่มีขนาดความโตของเส้นใยเท่ากัน แต่ความยาวไม่เท่ากันมาปั่นเป็นเส้นด้ายขนาดเท่ากันจะมีความเหนียวไม่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่า ความยาวของใยมีความสัมพันธ์กับความเหนียวของเส้นด้าย ใยสั้นเมื่อทำเป็นเส้นด้ายจะมีความเหนียวลดลง ผิวสัมผัสอ่อนนุ่ม มีขน เพราะปลายใยลอยขึ้นมาบนผิวผ้ามาก

2.4.2 ความมัน

ความมันเป็นคุณสมบัติในการสะท้อนแสง ความเงาสดใสของเส้นใยบางอย่างมีความลื่น เกิดจากการสะท้อนแสงของพื้นเรียบ ยิ่งเรียบมากยิ่งสะท้อนแสงมาก ใยกลมสามารถสะท้อนแสงได้ดีกว่าใยแบน ความมันของใยขึ้นอยู่กับลักษณะราบเรียบของเส้นใย เมื่อทำเป็นเส้นด้าย หรือผ้าจะมันมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวิธีการผลิตด้าย ถ้าเอาเส้นใยยาววางขนานกันโดยไม่เข้าเกลียว หรือเข้าแต่เพียงเล็กน้อยจะเป็นมันเงามากกว่าใยสั้น

2.4.3 ความต้านแรงดึง

ผ้าที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ดี และทนทาน ต้องมีความเหนียว ความเหนียวเป็นความสามารถในการทนต่อการดึงหรือฉีกขาด มีหน่วยเป็น ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือ กรัม/ขนาดของเส้นใย (เดนเยอร์) ใยบางอย่างจะมีคุณสมบัติเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเปียก แต่บางชนิดอาจลดลง หรือไม่เปลี่ยนแปลง

Copyright by Mahidol University

2.4.4 ความยืดหยุ่น

ด้ายที่ยืดหยุ่นดี จะมีความคืนตัว ทนยับได้ ความยืดหยุ่นนี้ทำให้ใยไม่ขาดง่าย ซึ่งมีผลทำให้ด้ายและผ้าเหนียวขึ้น ความยืดหยุ่นมีความสัมพันธ์กับความโยนตัว ความอ่อนตัว ความคงตัว การจัดรูปใหม่ได้ง่าย เป็นคุณสมบัติที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน คุณสมบัติเหล่านี้มักจะอยู่รวมกันในใยชนิดเดียวกัน

2.4.5 การนำความร้อน

ผ้าจะมีความเหมาะสมกับการสวมใส่หรือไม่ขึ้นอยู่กับการนำความร้อนของเส้นใย ใยที่นำความร้อนดีและเร็วเหมาะสำหรับสวมใส่ในฤดูร้อน ชนิดที่นำความร้อนไม่ดีควรใช้ในฤดูหนาว ส่วนชนิดที่ไม่นำความร้อนจะใช้เป็นฉนวนป้องกันความร้อน คุณสมบัตินี้นอกจากจะเป็นคุณสมบัติที่มีอยู่ในเส้นใยเองแล้ว การทอ การถัก และการตกแต่ง ยังทำให้คุณสมบัตินี้ลด หรือเพิ่มขึ้นได้ ผ้าที่ทอห่าง ๆ มีช่องว่างระหว่างเส้นด้าย อากาศผ่านไปมาได้ ผ้านั้นใส่แล้วจะไม่ร้อน ผ้าที่ตกแต่งให้มีขนฟู นุ่ม ความร้อนถ่ายเทได้ยาก ผ้าชนิดนั้นให้ความอบอุ่นดี

2.4.6 การดูดความชื้น

ความชื้นเป็นความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศเข้าไว้ภายในเส้นใย ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักเส้นใย การดูดความชื้น และระเหยออกอย่างรวดเร็วมีความสำคัญต่อสุขภาพ และความสะดวกสบายของผู้สวมใส่ รวมถึงการทำความสะอาด เส้นใยดูดความชื้นได้ไม่เท่ากันแต่สามารถทำให้มีเพิ่มมากขึ้นได้ด้วยกรรมวิธีในการผลิต

2.4.7 การทำความสะอาด และการซัก

เส้นใยที่มีผิวนอนราบเรียบ เช่น ฝ้าย ลินิน และเรยอน จะทำความสะอาดได้ง่ายกว่าเส้นใยชนิดอื่น ๆ แต่ถ้าตกแต่งให้ขนฟูต้องให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ นอกจากนั้นลักษณะโครงสร้างผ้าก็มีผลต่อการถ่ายเทอากาศ เช่น ผ้าเนื้อห่าง อากาศจะถ่ายเทได้ง่าย และปกติเส้นใยประเภทนี้มีคุณสมบัติไม่ดูดความสกปรก มีผิวราบเรียบ ซักง่าย และแห้งเร็ว

2.4.8 ปฏิกิริยาต่อสารฟอกขาว

เสื้อผ้าเมื่อมีรอยเปรอะเปื้อนหรือด่างดำ การฟอกธรรมดาไม่อาจทำให้ขาวได้จำเป็นต้องใช้สารเคมีบางชนิดช่วย สารฟอกขาวบางชนิดมีอันตรายต่อเส้นใยมาก การฟอกขาวที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ และแคลเซียมไฮโปคลอไรด์ ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันนี้

Copyright by Mahidol University

เป็นสินค้านำเข้าจากสหรัฐอเมริกา เรียกว่า สารฟอกขาว และที่ผลิตในประเทศไทยเรียกว่า ไฮเตอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติอย่างเดียวกัน ใยที่ทนต่อการฟอกขาวได้ดี เช่น ฝ้าย ลินิน ออร์ลอน เดครอน ไดเนล และใยสังเคราะห์อื่น ๆ ส่วนไหม ขนสัตว์ อาซิเตด และไนลอน ไม่ควรใช้สารฟอกขาว โดยเฉพาะสารประเภทด่างที่จะมีผลทำให้ขนสัตว์หด และละลายได้ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังทำให้ฝ้ายมีความเหนียวเพิ่มขึ้น

2.4.9 ปฏิกิริยาต่อความร้อน

คุณสมบัติในการทนต่อความร้อนขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของใย ใยเซลลูโลสทนได้ดีกว่าใยโปรตีน ใยธรรมชาติทนได้ดีกว่าใยสังเคราะห์ คุณสมบัติของใยเป็นประโยชน์ต่อการเก็บรักษาทำความสะอาด และการรีดผ้าที่ระดับอุณหภูมิเหมาะสม นอกจากนี้ใยบางประเภท เช่น ใยสังเคราะห์เมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ และเวลาจำกัด จะทำให้เกิดการคงรูปได้ด้วย

2.4.10 ความคงทนต่อเห็ดรา

ตามปกติเมื่อผ้ามีความชื้น และได้รับอุณหภูมิที่อบอุ่น เชื้อเห็ดราที่มีอยู่ในอากาศและตกเกาะติดเสื้อผ้า จะเจริญงอกงามขึ้นเป็นจุดด่างดำ เห็ดและราเหล่านี้สามารถเจริญงอกงามแต่เฉพาะใยที่เป็นอาหารได้เท่านั้น ใยสังเคราะห์จะไม่มีเชื้อรา ใยอาซิเตดทนต่อราได้ดีแต่อาจเปลี่ยนสี ไหม และขนสัตว์ทนได้ในระดับปานกลาง แต่ถ้าเก็บไว้ในที่ชื้น และมืดมากอาจเสื่อมสภาพได้

2.4.11 ความทนแสง และอากาศภายนอก

ใยบางชนิดเสื่อมคุณภาพได้เร็วเพียงทิ้งไว้ภายนอกทั้งที่ไม่สัมผัสกับแสงแดด แสงแดดมีผลต่อโครงสร้างของเส้นใยโดยอาจทำให้เส้นใยนั้นเปื่อยเร็ว สังเกตได้จากการเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หรือสีเทา ในบางครั้งแสงแดดก็มีประโยชน์ในการฟอกขาวเส้นใยได้ เช่น การฟอกใยลินิน หรือการซักผ้าตามบ้านเรือนที่นิยมนำมาตากแดด ทำให้ผ้าขาวมีสีขาวมากขึ้น แต่ถ้ามากนักอาจทำให้ใยผ้าเสื่อมคุณภาพได้

2.4.12 ปฏิกิริยาต่อด่าง และกรด

ตามธรรมชาติด่างจะทำลายใยที่มาจากสัตว์ และกรดจะทำลายใยที่มาจากพืช แม้จะเป็นกรดอย่างอ่อนใช้ละลายเส้นใยเพื่อตรวจสอบชนิดของเส้นใยได้ การฟอกขาว การตกแต่ง

Copyright by Mahidol University

หรือการย้อมจะทำได้ดีเพียงใดหรือไม่ขึ้นอยู่กับส่วนสัมพันธ์ กับปฏิกิริยาของใยที่มีต่อด่าง และกรดที่นำมาใช้ทำเพื่อการนั้น ๆ

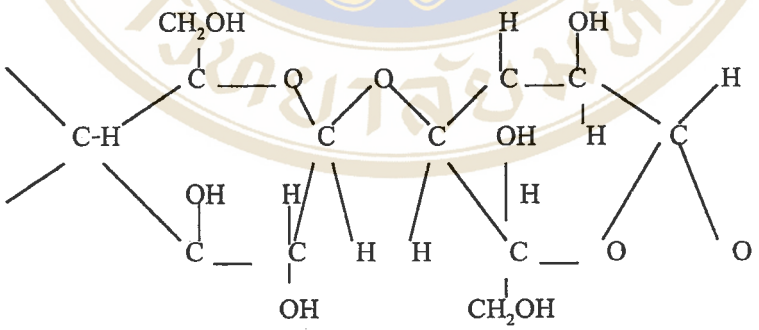
2.4.13. การดูดสีย้อม

ความสามารถในการดูดสีย้อมของผ้าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเส้นใย ความโปร่งในการทอ หรือถัก ความมันที่ผิว และความชื้นที่เส้นใย

2.5 คุณสมบัติของใยชนิดต่าง ๆ

2.5.1 ใยเซลลูโลส

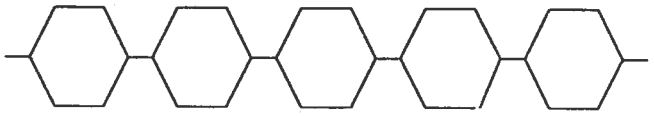
เรยอน (Rayon) เป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ และอาซิเตด (Acetate) เป็นเซลลูโลสดัดแปลง ใยเซลลูโลสทุกชนิดมีคุณสมบัติทั่วไปอย่างเดียวกัน อาจจะมีแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช คุณสมบัติโดยทั่วไปของเซลลูโลสเป็นสารประกอบเคมีสมบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในธรรมชาติยังไม่พบเซลลูโลสบริสุทธิ์ที่ปนกับสารประเภทลิกนิน เปกติน หรือขี้ผึ้ง สูตรทางเคมีของเซลลูโลส คือ $(C_6H_{10}O_5)X$ ซึ่ง X หมายถึงจำนวนไม่จำกัดของกลูโคสที่รวมกันในหนึ่งโมเลกุล



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างโมเลกุลของใยเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นกลูโคสโพลิเมอร์ ประกอบด้วยแอนไฮโดรกลูโคสจำนวนไม่จำกัด ตั้งแต่ 100-200 หรือ 1,000-2,000 หน่วยขึ้นไป

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 2-4 ลักษณะของไมโครไฟบริลส์ที่รวมตัวเป็นใยเซลลูโลส

ใยเซลลูโลสมีคุณสมบัติทนต่อด่างแต่ไม่ทนกรดเข้มข้น ถ้าสามารถควบคุมปฏิกิริยาของกรด และด่างให้อยู่ในสภาพไม่ให้มากเกินไป ก็สามารถนำมาใช้ตกแต่งใยได้ ใยนี้ลุกไหม้ได้ง่ายในอากาศโดยไม่มีกลิ่นเหม็น เหลือเถ้าที่นุ่มเล็กน้อย ถ้าเผาในหลอดทดลองจะมีหยดน้ำเกาะที่ข้าง ๆ หลอด แสดงให้เห็นว่ามีไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ คาร์บอนจะกลายเป็นเถ้า เส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ เช่น ฝ้าย ลินิน สามารถทนต่อปฏิกิริยาทางเคมีได้มากกว่าเส้นใยเซลลูโลสอื่น ๆ สารออกซิไดซ์ และการทิ้งไว้ในอากาศนาน ๆ ทำให้ใยเสื่อมคุณภาพได้

Copyright by Mahidol University

สำนักหอสมุด

ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติทั่วไป และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของเส้นใยเซลลูโลส (30)

คุณสมบัติทั่วไป	ลักษณะเฉพาะทางกายภาพ
ความแน่นมาก	• ผ้าใยเซลลูโลสจะหนักกว่าเมื่อเทียบกับผ้าที่ทำด้วยใยชนิดอื่นที่มีปริมาตรเท่ากัน
ความอยู่ตัวน้อย	• ผ้าจะยับย่นง่าย
กดให้แน่นได้	• สามารถบิดเป็นเกลียว ทำเป็นผ้าเนื้อละเอียดแน่นได้
ดูดความชื้นได้ดี	• เหมาะสำหรับการสวมใส่ในฤดูร้อน ส่วนใหญ่นิยมใช้ทำผ้าขนหนู ผ้าเช็ดหน้า
นำความร้อนดี	• เมื่อสวมใส่จะรู้สึกเย็นสบาย
ทนความร้อนได้สูง	• ทำความสะอาดด้วยการต้ม และรีดได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหาย
ทนต่อด่าง ไม่ทนต่อกรดแร่ และกรดอินทรีย์	• ทนต่อเหงื่อได้ดี สามารถซักด้วยสารฟอกขาว ขัดมัน สบู่ และสารซักฟอกอย่างแรงได้
ทนทานต่อมอด และแมลงต่าง ๆ	• รอยเปื้อนที่เป็นผลไม้ค่อนข้างเอาออกยาก ดังนั้นหากเป็นรอยเปื้อนเนื่องจากสิ่งสกปรกเหล่านี้ จะต้องรีบเอาออกทันทีไม่ควรปล่อยทิ้งไว้นาน • เก็บรักษาง่าย
ติดไฟง่าย	• ไม่ควรนำเข้าใกล้เปลวไฟ

2.5.2 <u>เส้นใยฝ้าย</u>

คุณสมบัติของฝ้ายทางด้านกายภาพ และเคมี ได้แก่

2.5.2.1 ความต้านแรงดึง ฝ้ายมีอยู่ในระหว่างขนสัตว์และไหม เส้นใยแต่ละเส้นรับน้ำหนักได้ไม่เท่ากัน เนื่องจากความหนาของผนังเซล และความเสื่อมสภาพของเนื้อใย เส้นใยที่แก่จัดและสมบูรณ์ปานกลาง จะเหนียวประมาณ 4.-9 กรัม/เดนเยอร์ ความเหนียวนี้ไม่สัมพันธ์กับขนาดของเส้นใย และจำนวนเกลียวที่พันกันตามธรรมชาติ แต่ระดับการตกผลึก การเรียงตัวของผลึก และความชื้นมีส่วนสัมพันธ์กับความเหนียวของเส้นใย

2.5.2.2 ความต้านแรงดึงของเส้นด้ายฝ้าย เมื่อเทียบอัตราส่วนร้อยของเส้นด้ายและใยฝ้าย ด้ายฝ้ายจะเหนียวน้อยลงเหลือเพียงร้อยละ 10-20 เท่านั้น มีสาเหตุหลายประการ

Copyright by Mahidol University

1139.96001

ประการแรก ได้แก่ ใยแยก หมายถึงเส้นใยที่ปั่นเป็นเส้นด้ายตีเกลียวให้ยึดกันแน่น แต่ไม่สามารถต้านแรงดึงได้ เมื่อดึงเส้นด้าย เส้นใยจะลื่นแยกจากกัน นับเป็นสาเหตุที่สำคัญมาก ส่วนสาเหตุอื่น ๆ เช่น ความยาวของใย ความแน่นจะเพาะของเส้นด้าย เนื้อที่ผิวสัมผัส ความหนืดสัมพัทธ์ และจำนวนเกลียวในเส้นด้าย

2.5.2.3 ความยืดหยุ่นขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเส้นใย ในภาวะธรรมดาใยฝ้ายยืดออกได้ประมาณร้อยละ 3-7 และจะไม่หดเข้าที่เดิม แต่ถ้านำไปแช่น้ำจะค่อย ๆ พองตัวออกและเข้าที่เดิมได้ ในผืนผ้าและเส้นด้ายที่บาง ตอนเส้นใยพันตัวกันซับซ้อนมาก และจะไม่สามารถคืนตัวเข้าที่เดิมได้

2.5.2.4 การจัดเข้ารูปแบบได้ง่าย ความอ่อนนุ่มของเส้นใยทำให้สามารถนำมาตีเกลียวขัดเป็นผืนผ้าโค้งไปดัดมาได้ตามลักษณะของด้าย

2.5.2.5 โมเลกุลฝ้ายมีลักษณะยาวมาก ยึดติดกันเป็นผลึกที่ไม่ซึมน้ำเป็นระยะ ๆ ไม่สามารถแยกเซลลูโลสของเส้นใยฝ้ายออกมาเป็นโมเลกุลเดี่ยวได้ ดังนั้น เส้นใยฝ้ายจึงค่อนข้างถาวรมาก เมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้นเส้นใยก็ยิ่งเหนียว ช่วยให้ฝ้ายทนต่อการซักฟอกได้ดี

2.5.2.6 เส้นใยฝ้ายจะมีความชื้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความชื้นในอากาศและสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ความชื้นของเส้นใยฝ้ายแบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่ ปริมาณความชื้น และปริมาณความชื้นรีเกน คิดเป็นร้อยละของน้ำหนัก ฝ้ายแห้งไม่มีความชื้น

2.5.2.7 ฝ้ายจะมีความทนทานมากไม่ว่าจะเก็บ หรือใช้ หรือผ่านกระบวนการผลิตใด ๆ แต่ถ้าทำให้ส่วนประกอบทางเคมีของฝ้ายกระทบกระเทือน อาจทำให้เสื่อมคุณภาพได้ โดยเฉพาะปฏิกิริยาออกซิเดชัน และไฮโดรไลซีส

2.5.2.8 ฝ้ายดิบ หรือฝ้ายฟอกสะอาดแล้ว เมื่อถูกความร้อนจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จนกว่าอุณหภูมิจะสูงถึง 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง ฝ้ายจะกลายเป็นสีเหลือง ฝ้ายบริสุทธิ์ทนความร้อนได้น้อยกว่าฝ้ายดิบฝ้ายชุบมัน

Copyright by Mahidol University

2.5.2.9 แสงอุลตราไวโอเลตจะมีผลทำให้ออกซิเจนในอากาศ เกิดการออกซิไดซ์ภายในฝ้าย โดยเฉพาะแสงสีม่วงและสีน้ำเงิน ยิ่งถ้าอุณหภูมิและความชื้นสูงขึ้นความเสื่อมจะมีมากขึ้น ฝ้ายดิบทนสารเคมีได้ดีกว่าฝ้ายฟอกขาว และฝ้ายที่ย้อมด้วยสีบางชนิดจะทำให้ทนต่อแสงได้ดีขึ้น แต่อย่างไรตาม บางชนิดก็มีส่วนทำให้เกิดการออกซิไดซ์มากขึ้น

2.5.3 เส้นใยโปรตีน

2.5.3.1 เส้นใยโปรตีนธรรมชาติ หมายถึง เส้นใยที่ได้มาจากธรรมชาติ นำไปตกแต่งเพียงเล็กน้อยก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ ขนแกะเมอริโน เส้นใยไหม และโมแฮ

2.5.3.2 เส้นใยโปรตีนประดิษฐ์ ใช้สารประกอบโปรตีนจากสัตว์ และพืช ที่ผลิตจากนม เรียกว่า คัสเลน (Caslen) ที่ผลิตจากข้าวโพด เรียกว่า ไวคารา (Vicara) และอื่น ๆ

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติของเส้นใยโปรตีน (31)

คุณสมบัติทั่วไป	ลักษณะเฉพาะทางกายภาพ
มีความหนาแน่นปานกลาง	• ที่ความหนาแน่นเท่ากัน ผ้าใยโปรตีนจะเบากว่าผ้าใยเซลลูโลส
เมื่อแห้งจะมีความเหนียวมากกว่าเมื่อเปียก	• เมื่อเปียกความเหนียวของขนสัตว์ลดลงร้อยละ 40 ไหมลดลงร้อยละ 15 และไวคาราลดลงร้อยละ 40 ดังนั้น การซักควรจะต้องระมัดระวังมากกว่าใยเซลลูโลส
ความอยู่ตัว	• ใยโปรตีน โดยเฉพาะใยขนสัตว์มีความคงรูปดี
สภาพความเป็นสื่อไฟฟ้าไม่ดี	• จะเกิดไฟฟ้าสถิตขึ้นในผ้าเมื่ออากาศเย็น และแห้ง
สภาพกการคายความชื้นช้า	• เหมาะสำหรับสวมใส่ในภูมิประเทศที่มีอากาศชื้นและเย็น
เมื่อถูกสารออกซิไดซ์ซิงจะเสื่อมคุณภาพเร็ว	• ถ้าถูผงซักฟอกขาวที่มีส่วนผสมของคลอรีน ใยจะเสื่อมคุณภาพ และถ้าตากแดดจะทำให้ใยสีขาวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง
การเสื่อมคุณภาพเมื่อถูกด่าง	• ถ้าซักเปียกต้องใช้ผงซักฟอก หรือสบู่ที่เป็นกลาง
การเสื่อมคุณภาพเมื่อถูกความร้อน และแห้ง	• ขนสัตว์จะเสื่อมคุณภาพเมื่อถูกความร้อน และแห้ง โดยไหมจะกลายเป็นสีเหลือง
เมื่อสัมผัสกับเปลวไฟ	• ใยโปรตีนจะไหมเฉพาะส่วนที่สัมผัสกับเปลวไฟเท่านั้น ควันจะมีกลิ่นเหม็น ขี้เถ้าจับรวมตัวเป็นก้อนกลม มีสีดำและเปราะ

Copyright by Mahidol University

2.5.4 เส้นใยขนสัตว์

ลักษณะโดยทั่วไปทางด้านกายภาพ และเคมีของเส้นใยขนสัตว์ (32) มีดังนี้

2.5.4.1 ขนสัตว์แต่ละเส้นมีความเหนียวไม่เท่ากัน ขนเส้นใหญ่จะเหนียวกว่าขนเส้นเล็ก เมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้นความต้านทานแรงดึงจะลดน้อยลง โดยทั่วไปขนสัตว์จะมีความต้านแรงดึงที่จุดขาด (Breaking strength) เฉลี่ย 5.5 กรัม/เส้นใย และความต้านแรงดึงเฉลี่ย 1,244

2.5.4.2 ขนสัตว์เมื่อถูกแรงดึงให้ยืดตัวออกก็จะยืดออกได้ แต่เมื่อปล่อยแรงดึงขนสัตว์จะหดกลับเข้าที่เดิมบางส่วน อีกส่วนหนึ่งก็ยังคงยืดอยู่ในสภาพเช่นนั้น แล้วค่อย ๆ หดตัวเข้าเมื่อปล่อยทิ้งไว้นาน ๆ อย่างไรก็ตามถ้าขนสัตว์ได้รับแรงดึงที่ไม่มากเกินไป คือไม่เกิน 30% และในช่วงเวลาสั้น ขนสัตว์ก็จะกลับเข้าที่เดิมได้ทั้งหมด

2.5.4.3 ความคืนตัว ขนสัตว์สามารถอัดให้แน่นได้ ยิ่งถ้าเป็นขนสัตว์ขนาดเล็กแล้วก็จะอัดให้แน่นได้มากขึ้น และสามารถกระจุยให้พองฟูกลับคืนเข้าที่เดิมได้โดยไม่เสื่อมคุณภาพ ดังนั้นผ้าขนสัตว์จึงยับยาก แต่อย่างไรก็ตามผ้าขนสัตว์แต่ละชนิดจะคืนตัวได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะชนิดของเส้นใย ชนิดของเส้นด้าย ความชื้น หรือวิธีการทอก็ได้

2.5.4.4 ความอัดติด (Felting) เป็นลักษณะฟิสิกส์ตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการที่ขนสัตว์ได้รับความร้อน ความกด และความชื้นจนทำให้สเกลของขนสัตว์แตกออก และกลับยึดติดกันอีก สาเหตุที่ทำให้สเกลติดกันได้นี้ เป็นเพราะการเคลื่อนที่ของเส้นใยขนสัตว์ในเวลาอัดติดประการหนึ่ง กับคุณสมบัติการเข้าเกลียวเส้นด้าย และความยืดหยุ่นของเส้นด้ายอีกประการหนึ่ง ที่ทำให้ขนสัตว์ติดกันได้ดี เซลส่วนโคนของขนสัตว์เท่านั้นที่จะมีคุณสมบัติชนิดนี้

2.5.4.5 ขนสัตว์แต่ละชนิด มีความมันไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของสัตว์ ปริมาณความหงิกงอ และความสมบูรณ์ของเซลชั้นนอก ขนสัตว์โดยทั่วไปมีสีขาว เทา น้ำตาลและดำ คุณสมบัติอื่น ๆ ไม่ว่าเส้นใยสีจะมีลักษณะเหมือนกันทั้งสิ้น ส่วนที่ทำให้เกิดสีคือส่วนโพรงตรงกลาง และส่วนเซลชั้นใน สีนี้เกิดจากโลหะที่สัตว์ได้รับจากอาหาร

2.5.4.6 เส้นใยขนสัตว์ดูดความชื้นได้ดีกว่าใยผ้าชนิดอื่น ในเส้นใยที่มีความชื้นอยู่บ้าง สามารถดูดความชื้นเพิ่มขึ้นได้อีกร้อยละ 13-18 ตามสภาพของอากาศ อากาศร้อนและชื้นทำ

Copyright by Mahidol University

ให้ผ้าขนสัตว์ย่นพองเป็นรูปฉุงมากว่าอากาศแห้ง ขนสัตว์จะดูดความชื้นไว้ได้ประมาณร้อยละ 15 ถ้ามีอุณหภูมิสูงขึ้นไม่เย็นจัดจะสามารถดูดได้ถึงร้อยละ 27

2.5.4.7 ขนสัตว์เป็นสื่อความร้อนที่เลว และนำความร้อนไม่ดี เพราะระหว่างเส้นใยในเส้นด้ายมีอากาศแทรกอยู่ ดังนั้น ความร้อนของร่างกายจึงไม่ระเหยออกไปง่าย ผ้าขนสัตว์จึงให้ความอบอุ่นมาก

2.5.4.8 โครงสร้างโมเลกุลของขนสัตว์ ประกอบด้วยโปรตีนชนิด Keratin ซึ่งเป็นสารประกอบเคมีสมบูรณ์ มีกำมะถันรวมอยู่ด้วย เคราตินประกอบด้วยสารอมิโนหลายชนิดจับตัวกันเป็น Polypeptide chain มี Cystine ที่มีหมู่ไดซัลไฟด์เป็น Cross linkage เชื่อกันว่าคุณสมบัติทั้งหลายของขนสัตว์ขึ้นอยู่กับซิสตินที่มีหมู่กำมะถันนี้

2.5.4.9 เมื่อนำขนสัตว์ไปตากแดด โครงสร้างทางเคมีจะสลายตัว ขนจะหยาบกระด้างเป็นสีเหลือง เนื่องจากกำมะถันในซีสตีนเปลี่ยนเป็นกรดกำมะถัน ทำให้เส้นใยกรอบและไม่เหนียว ไวต่อด่าง ส่วนโซดาไฟจะทำให้ใยหงิกงอได้ละลายในด่างได้เร็วขึ้น อำนาจการดูดสีลดน้อยลง กำมะถันในซีสตีนก็จะลดน้อยลงด้วย

2.5.4.10 ถ้านำขนสัตว์ไปอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 44-104 องศาเซลเซียส ขนจะแห้ง หยาบ และเปื่อย แต่ถ้านำไปไว้ภายนอกจะดูดความชื้นกลับคืนได้บ้าง เส้นใยจะเหนียวขึ้นเล็กน้อย ดังนั้น หากอบไว้นานจะให้ผลเช่นเดียวกับถูกแสงแดด

2.5.4.11 ขนสัตว์มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ถ้านำไปต้มในน้ำกลั่นนาน 2 ชั่วโมง น้ำหนักจะหายไปบ้าง แต่ถ้าต้มในน้ำเปล่าความเหนียวจะลดลง น้ำจะทำให้ขนสัตว์พองโตและหดสั้น ไอน้ำเป็นอันตรายต่อขนสัตว์น้อยกว่าน้ำ ไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะเป็นอันตรายต่อขนสัตว์ได้มากกว่าความร้อนแห้งที่มีอุณหภูมิเดียวกัน

2.5.4.12 ขนสัตว์มีคุณสมบัติในการคืนตัวดี จัดรูปแบบได้ง่ายกว่า แต่ถ้าแห้งเกินไปจะปั่นเป็นเส้นด้ายไม่ได้ ต้องมีความชื้นบ้างจึงจะจัดรูปได้ดี ที่อุณหภูมิสูงจะทำได้ง่ายยิ่งขึ้น แต่ถ้าสูงเกินไปจะคืนตัวเข้ารูปยาก ต้องต้มในน้ำเดือดจึงจะอ่อนตัว

Copyright by Mahidol University

2.5.4.13 ขนสัตว์จะมีคุณสมบัติในการทนต่อกรดได้ดีกว่าด่าง น้ำโซดาไฟที่เข้มข้น 5% เมื่อต้มให้เดือด สามารถจะละลายขนสัตว์ได้ ถ้าอุณหภูมิลดลงเหลือเพียง 50 องศาเซลเซียส ถึงจะใช้น้ำยา 9.5 นอร์มอล โดยการแช่นานประมาณ 10 นาที จะไม่ทำให้ขนเสื่อมคุณภาพแต่อย่างใด แต่อย่างไรก็ตามมีด่าง 2-3 ชนิดที่ไม่เป็นอันตรายต่อขนสัตว์ คือ น้ำประสานทอง แอมโมเนียม คาร์บอเนตและโซเดียมฟอสเฟต เมื่อใช้ด่างกับขนสัตว์ต้องล้างให้สะอาดเสียก่อนมิฉะนั้นหากเก็บไว้นานจะเกิดเป็นจุดด่าง เกลือโซเดียม และแมกนิเซียมทำให้ขนสัตว์เป็นสีเหลือง โซเดียมซัลเฟตจะทำให้กระด้าง เกลือบางชนิดใช้เพิ่มน้ำหนักขนสัตว์ได้ เช่น แมกนิเซียมซัลเฟต และสังกะสีคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ และเบเรียมไทโอไซแอนเนต ซึ่งทำให้ขนสัตว์ย่นและเนื้อเหมือนแพร ขนสัตว์มีความไวต่อสารออกซิไดซ์มาก ไม่ว่าจะเป็นสารอะไร สารออกซิไดซ์จะทำปฏิกิริยากับหมู่กำมะถันในซีสตีน ให้ผลต่อขนสัตว์เช่นเดียวกับแสงแดด

2.5.4.14 ขนสัตว์มีคุณสมบัติในการย้อมสีสังเคราะห์ทุกชนิดได้ง่าย แต่จะดูดได้มากเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของสีนั้น ๆ

2.5.4.15 หากขนสัตว์มีรอยเปื้อนสกปรก ให้ใช้แปรงออกโดยเร็ว ถ้าเปื้อนน้ำให้รีบสะบัดออก พอผ้าแห้งให้ใช้แปรงทำการแปรงออกอีกครั้งหนึ่งและต้องแปรงทุกครั้งหลังจากการสวมใส่ โดยต้องใช้แปรงที่มีขนอ่อนนุ่ม และแน่น ซึ่งนอกจากจะทำให้รอยเปื้อนหลุดออกแล้วยังช่วยให้เส้นใยกลับสู่สภาพเดิมด้วย เสื้อผ้าที่ทำจากขนสัตว์ควรใช้วิธีการซักแห้ง ถ้ามิใช่ขนสัตว์ที่ทำกันหดแล้วจะซักเหมือนผ้าฝ้ายไม่ได้ ต้องใช้น้ำอุ่น ผงซักฟอกจาง ๆ และขยำเบา ๆ ไม่ขยี้ ให้ซักก่อนที่ผ้าจะเปราะเปื้อนมาก

2.5.5 <u>เส้นใยวิสคอสส์เรยอน</u>

เป็นเส้นใยเซลลูโลสประดิษฐ์ หรือฝ้ายเทียม ซึ่งคุณสมบัติโดยทั่วไปทางด้านกายภาพ และเคมี (33) มีดังนี้

2.5.5.1 วิสคอสส์เป็นรีเยนเนอเรตเซลลูโลส เมื่อทำให้เป็นของเหลวแล้วกลับทำให้แข็งใหม่ เซลลูโลสจะจับตัวกันใหม่ไม่เหมือนเดิม และเมื่อนำไปดึงให้ยืด โมเลกุลของเซลลูโลสจะเกาะเรียงตัวกันเป็นเส้นยาว แสดงว่าความเหนียวและการยืดตัวของวิสคอสส์อาจเพิ่มและลดลงได้ด้วยการเรียงตัวเป็นโซ่ของเซลลูโลสโมเลกุล เวลาที่วิสคอสส์เหลวเปลี่ยนเป็นของแข็ง

Copyright by Mahidol University

จะใช้เวลาสั้น ดังนั้น การเกาะตัวของเซลลูโลส จึงไม่ดีเท่ากับเซลลูโลสตามธรรมชาติ ตอนใดที่เซลลูโลสตกผลึกดี จะมีระดับความเป็นผลึกสูง เส้นใยตอนนั้นจะมีความยืดหยุ่นและเหนียวดี วิสคอสส์ธรรมดามีความเหนียว 1.8-2.4 กรัม/เดนเยอร์ ถ้าเป็นวิสคอสส์ชนิดพิเศษจะมีความเหนียว 1.9-2.6 กรัม/เดนเยอร์ อย่างไรก็ตาม ถ้าหากมีความชื้นเพิ่มขึ้นความเหนียวจะลดลง ความเหนียวเมื่อเปียก 1.4 กรัม/เดนเยอร์ เส้นใยสั้นจะมีความเหนียวน้อยกว่าใยยาว

2.5.5.2 วิสคอสส์ดึงให้ยืดได้ง่ายขณะที่เปียก เส้นใยยาวอ่อนตัวมากกว่าเส้นใยสั้น การปฏิบัติต่อเส้นใยวิสคอสส์ต้องมีความระมัดระวังมาก หากดึงให้ตึงมากจนกระทั่งเส้นใยหรือเส้นด้ายลดขนาดลงจะทำให้เส้นใยยืดตัวอย่างถาวร เมื่อทอเป็นผ้าจะปรากฏรอยแตกของเส้นด้าย และจะเห็นได้ชัดยิ่งขึ้นเมื่อนำไปย้อมสีจะด่างเป็นทาง ระยะยืดตัวที่จุดขาดเมื่อแห้งร้อยละ 15 และเมื่อเปียกร้อยละ 25

2.5.5.3 ในใยมีความชื้นปกติอยู่แล้วประมาณ 12-13% ที่สภาวะอากาศมาตรฐาน (ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส) ความชื้นในเส้นใยแปรผันตามสภาวะความชื้นในอากาศ

2.5.5.4 ความหนาแน่นจำเพาะ เท่ากับ 1.52 หนักกว่าขนสัตว์ และเซลลูโลสอาซิเตด เมื่อใช้ผสมกับขนสัตว์จะทำให้ผ้าขนสัตว์นั้นพองตัวได้ดีขึ้น

2.5.5.5 เส้นใยยิ่งเล็กยิ่งทำให้ด้ายนุ่มมาก วิสคอสส์ที่ใช้ปนกับฝ้ายจะมีขนาดเล็กมาก เช่น 1.0, 1.25 และ 3 เดนเยอร์

2.5.5.6 เรยอนทุกชนิดมีคุณสมบัติทนความร้อนได้ไม่ดี ที่สูญญากาศจะเสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น ทนความร้อนได้สูงระยะสั้น ดีกว่าความร้อนต่ำระยะยาว ที่ระดับอุณหภูมิ 149 องศาเซลเซียส เส้นใยวิสคอสส์จะเสื่อมสภาพ แต่ถ้าทำการรีดเร็ว ๆ สามารถรีดได้ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส

2.5.5.7 เนื่องจากเส้นใยวิสคอสส์มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้สูง ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าไม่ดี นอกจากเมื่อทำให้แห้งสนิท และในเส้นใยไม่เกิดไฟฟ้าสถิต

Copyright by Mahidol University

2.5.5.8 เซลลูโลสมีความไวต่อปฏิกิริยาของกรด และสารออกซิไดซ์มาก กรดจะทำให้เซลลูโลสกลายเป็นไฮโดรเซลลูโลส (Hydrocellulose) สารออกซิไดซ์ทำให้เป็นออกซีเซลลูโลส (Oxycellulose) ทั้งสองชนิดทำให้ฝ้ายกลายเป็นสีเหลือง หรือคล้ำ โซ่เซลลูโลสที่ต่อกันเป็นเส้นยาวภายในจะขาดจากกันทำให้เส้นใย หรือด้ายเปื่อย

2.5.5.9 เรยอนตามธรรมชาติมีความขาวอยู่แล้วไม่ต้องฟอกขาว แต่หากต้องการก็ใช้สารประเภทเพอร์ออกไซด์ สารฟอกขาวคลอรีน วิสคอสส์ทนต่อกรดน้อยกว่าฝ้าย ใช้กรดในการตกแต่งเส้นใยได้บางกรณี แต่ต้องควบคุมระดับความเข้มข้นอุณหภูมิ และเวลาให้แน่นอน เรยอนสามารถซักด้วยสบู่ได้ดี แต่ถ้าสบู่ซักออกไม่หมด ไขมันของสบู่จะติดอยู่ที่ผ้าและซึมเข้าไปในเส้นใย หากทิ้งไว้เป็นเวลานานจะกลายเป็นกรดไขมันซึ่งจะมีกลิ่นเหม็น วิสคอสส์ไม่ทนต่อออกไซด์ของเหล็ก ไม่ว่าจะอยู่ในรูปใด สามารถเปลี่ยนเรยอนให้กลายเป็นออกไซด์เซลลูโลส ซึ่งจะทำให้มีสีเหลือง และเปื่อย นอกจากนั้นแล้ววิสคอสส์ยังไม่ทนต่อแสงอาทิตย์ หากเมื่อใดถูกแสงแดด และดูดเอาความชื้นในอากาศไว้ด้วย จะทำให้ความเหนียวลดลง แสงอุลตราไวโอเลตทำให้ใยเสื่อมคุณภาพ

2.5.5.10 เรยอนเส้นใยยาวชนิดเหนียวที่นิยมใช้ในงาน อุตสาหกรรม ส่วนชนิดสั้นทนต่อการขัดถูได้ดี เหมาะสำหรับใช้ในการทำกระเป๋าเสื้อ กางเกง หรือซับในกระเป๋าเดินทาง กระเป๋าถือ ซึ่งมีความทนทานต่อการซัก และทนยับได้ดี ถ้าใช้ผสมกับขนสัตว์ตัดเสื้อชุดชายได้สวยงามมาก

2.5.5.11 เรยอนชนิดเหนียวมากเมื่อเปียก เส้นใยที่ได้จากการผลิตวิธีนี้จะมีคุณสมบัติเหมือนกับฝ้ายมาก ทั้งด้านเคมี ฟิสิกส์ และเชิงกล ผ้าที่ทำจากเรยอนชนิดนี้สามารถตกแต่งให้กันหดได้ ทำให้การคงตัวดีขึ้น ตกแต่งให้ทนยับได้โดยที่ความเหนียวไม่เปลี่ยนแปลง ใช้ผสมกับใยสังเคราะห์ได้ดี ทนต่อการดึงยืดเมื่อเปียก

2.5.5.12 เส้นใยเรยอนสามารถทำให้หยิกได้เอง โดยไม่ต้องนำไปตกแต่ง ซึ่งสามารถกระทำได้สองแบบ แบบแรก คือ การลดปริมาณกรดกำมะถันในน้ำที่ทำให้น้ำแข็งและเพิ่มปริมาณด่าง แบบที่สอง คือ การใช้สารละลายวิสคอสส์ที่มีระยะเวลาหมักนาน และที่มีระยะเวลาหมักสั้น หากรวมเป็นเส้นใยเส้นเดียวกัน เวลาแข็งตัววิสคอสส์จะหดตัวแข็งไม่เท่ากัน ทำให้หยิกได้เอง

Copyright by Mahidol University

2.5.5.13 เรยอนได้รับการตกแต่งให้ทนไฟได้เช่นเดียวกับฝ้าย ถ้าตกแต่งให้ถูกวิธีจะทนทานกว่าฝ้าย จึงเป็นที่นิยมกันมาก ทนต่อการซักเปียกและแห้ง

2.5.6 <u>เส้นใยอาซิเตด</u>

คุณลักษณะด้านกายภาพ และเคมีโดยทั่วไปมีดังนี้

2.5.6.1 เส้นใยไม่ดูดความชื้น เพราะหมู่ไฮดรอกไซด์ ถูกเอสเทอริไฟด์ไปแล้ว มีคุณสมบัติค่อนข้างไปทางสะท้อนน้ำ พองตัวและละลายได้ในสารประกอบอินทรีย์ได้มากขึ้น

2.5.6.2 ความยืดหยุ่นของเส้นใยอาซิเตดขึ้นอยู่กับเวลา และกำลังที่ทำให้ยืด ถ้ากำลังที่ทำให้ยืดไม่เกิน 0.5-1.0 กรัม/เดนเยอร์ ดึงให้ยืดไม่เกินร้อยละ 5 เวลาไม่นานนัก เส้นใยอาซิเตดจะหดเข้าลักษณะเดิมภายในเวลา 2-3 วินาที ถ้าดึงอยู่นานเกินไปโครงสร้างภายในใยเปลี่ยนรูปจะคืนตัวได้ช้ามาก หรือถ้าดึงหรือกดเพียงเล็กน้อย แต่นานหลายวัน โครงสร้างภายในเปลี่ยนแปลงไปมาก และจะไม่หดเข้าที่เดิม

2.5.6.3 เส้นใยอาซิเตดที่ผลิตออกมากที่สุด มีความต้านแรงดึง 14 กรัม/เดนเยอร์ ดึงยืดออกได้ร้อยละ 25 เมื่อเปียกลดลงเหลือ 0.9 กรัม/เดนเยอร์ ชนิดเหนียวประมาณ 2.6 กรัม/เดนเยอร์ ดึงยืดออกได้ร้อยละ 12 อาซิเตดชนิดเหนียวมากนั้นมีความเหนียวเท่ากับเส้นใยธรรมดา แต่ดึงยืดออกได้ร้อยละ 50

2.5.6.4 ในสภาวะอากาศมาตรฐาน เส้นใยอาซิเตดมีความชื้นร้อยละ 6.5

2.5.6.5 อาซิเตดดูดของเหลวได้ดีเท่ากับเซลลูโลสชนิดอื่น โดยดูดความชื้นได้ประมาณร้อยละ 6.5 (ที่ระดับอุณหภูมิมาตรฐาน 21.2 องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 (เส้นใยอาซิเตดพองตัวได้น้อยกว่าเส้นใยเซลลูโลสชนิดอื่น)

2.5.6.6 มีความถ่วงจำเพาะเกือบเท่ากับเส้นใยขนสัตว์ คือ ประมาณ 1.32

2.5.6.7 เส้นใยยาวมีขนาดตั้งแต่ 1.5-4.1 เดนเยอร์ เส้นใยสั้นขนาด 40-600 เดนเยอร์ เส้นใยขนาดเล็กคงรูปมากกว่าเส้นใยขนาดใหญ่

Copyright by Mahidol University

2.5.6.8 อาซิเตดเป็นเส้นใยที่ไม่ทนต่อความร้อน เมื่อสัมผัสกับความร้อนสูงจะอ่อนตัว และละลายได้ รีดได้ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ผ้าจะเป็นมัน ที่ระดับอุณหภูมิ 204.4 องศาเซลเซียส ผ้าจะติดเตารีดและละลาย ผ้าเปียกจะเป็นมันได้ง่ายกว่าผ้าแห้ง

2.5.6.9 เส้นใยอาซิเตดใช้ติตาเนียมไดออกไซด์ทำให้ขุ่น ความมันจะลดน้อยลงได้ถ้าแช่ในน้ำเดือด การซักควรใช้น้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิต่ำ ๆ

2.5.6.10 ทนกรดเจือจางได้ดี เสื่อมคุณภาพในกรดเข้มข้น ยกเว้นกรดกำมะถัน แต่ไม่นิยมใช้กรดกำมะถัน ในการตกแต่งอาซิเตด เพราะทำให้สะอาดได้ยาก กรดที่เหลืออยู่ในเส้นใยจะทำให้เปื่อยเร็ว เส้นใยอาซิเตดไม่จำเป็นต้องฟอกขาว ถ้าจำเป็นก็ทำได้โดยการใช้สารฟอกขาวคลอรีน และกระทำที่อุณหภูมิต่ำ ในน้ำ 1 ลิตร ไม่ควรมีคลอรีนมากกว่า 1 กรัม อย่างไรก็ตาม สารฟอกขาวเพอร์ออกไซด์ใช้ได้ดีกว่า

2.5.6.11 เส้นใยทุกชนิดเมื่อถูกแสงแดดนาน ๆ จะเสื่อมคุณภาพเหมือนกัน

2.5.6.12 เส้นใยอาซิเตด มีสารละลายหลายชนิด ที่สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย เช่น ด่างในสบู่และสารซักฟอกทั่วไป คาร์บอนเตตราคลอไรด์ ผงซักฟอกขาว คลอรีน สารช่วยย่อย กรดออซาลิก คาร์บอนไดซัลไฟด์ และเพอร์คลอโรเอทิลีน

2.5.7 <u>เส้นใยโพลิเอสเตอร์</u> (Polyester fibers)

คุณสมบัติด้านกายภาพ และเคมีโดยทั่วไป ดังนี้

2.5.7.1 เส้นใยเทอรีลีนมีความเหนียวประมาณ 4.5-7.5 กรัม/เดนเยอร์ ยืดออกได้ร้อยละ 5-7.5 ตามลำดับ

2.5.7.2 ยับยาก เมื่อยับจะคืนตัวได้อย่างรวดเร็ว ในการจับจีบถาวรต้องรีดที่ระดับอุณหภูมิ 195 องศาเซลเซียส ผ้าเส้นใยสั้นจับจีบถาวรได้ดีกว่าผ้าใยยาว

Copyright by Mahidol University

2.5.7.3 เดครอนใยยาว ทนต่อแรงดึงมาก ถ้าดึงให้เส้นใยยืดออกพียงร้อยละ 1 จะต้องใช้แรงดึงถึง 1 กรัม/เดนเยอร์

2.5.7.4 เส้นใยเดครอนดูดความชื้นได้ร้อยละ 0.4 ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 65 เมื่อเปียกจะแห้งเร็วไม่ว่าจะเป็นเส้นใยยาวหรือเส้นใยสั้นจะแห้งเร็วเท่า ๆ กัน

2.5.7.5 เทอริลีน และเดครอน มีความถ่วงจำเพาะเพียง 1.38

2.5.7.6 เดครอนทนความร้อนได้ดีกว่าเส้นใยไนลอน หลอมละลายที่อุณหภูมิ 249 องศาเซลเซียส และถ้าให้อยู่ที่ระดับความร้อน 150 องศาเซลเซียส สามารถจะทนอยู่ได้ถึง 30 วัน โดยความเหนียวลดลงเพียงร้อยละ 25 เท่านั้น

2.5.7.7 เดครอนทนต่อสารเคมีได้ดีมาก โดยเฉพาะสารเคมีที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไป เช่น แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอน น้ำทะเล ผงซักฟอก คีโตน กรดอย่างอ่อน สารละลายซักแห้ง สบู่และผงซักฟอก ด่างอย่างอ่อน

2.5.7.8 ตามปกติโพลิเอสเตอร์ที่ผลิตออกมามีสีขาว ไม่ต้องฟอกขาวก็ใช้ประโยชน์ได้ แต่ถ้าจำเป็นอาจฟอกขาวด้วยโซเดียมคลอไรด์ที่ pH 2-3 โดยใช้กรดดินประสิวช่วย หรือยูวิเทกซ์ อาร์อี ซึ่งเป็นผงฟอกนวลที่ช่วยให้ใยเป็นสีขาวมากขึ้น ผงฟอกนวลนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ใช้ในลักษณะที่ให้กระจายตัวอยู่ในน้ำที่ 45 องศาเซลเซียส และยังมีผงซักฟอกนวลอื่น ๆ อีกมากมายนอกเหนือจากนี้

2.5.7.9 มีความสามารถในการทนต่อแสงแดดได้ดี แม้แสงผ่านกระจกก็ทนได้ดีเช่นเดียวกัน เป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี แมลง มอด และแบคทีเรีย ไม่สามารถจะทำอันตรายแก่ใยได้ ถ้าถูกน้ำเดือดด้ายจะหดตัวลงประมาณร้อยละ 13 แต่เส้นใยสั้นจะหดตัวมากกว่านี้ สามารถใช้รวมกับยางธรรมชาติ และสังเคราะห์ได้ดี ซักง่าย ไม่ว่าจะซักแห้ง หรือซักน้ำ ถ้าเป็นใยสั้นอุณหภูมิเตารีดไม่ควรสูงเกิน 155 องศาเซลเซียส ใยยาวอาจใช้ได้ถึง 130 องศาเซลเซียส ดูดสีย้อมได้ดี สีไม่ตกทั้งเวลาซักและตากแดด

Copyright by Mahidol University

2.6 เส้นด้ายที่นำมาใช้ในการทอผ้า

เส้นด้ายที่ใช้ในการทอผ้ามีหลายประเภท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการนำด้ายแต่ละชนิดนั้นไปใช้งานอะไร หรือขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต และวัตถุที่นำมาผลิต เช่น ด้ายที่ผลิตจากใยธรรมชาติ (เส้นใยพืช หรือใยขนสัตว์) เส้นใยประดิษฐ์จากพืชหรือเปลือกไม้ เส้นใยสังเคราะห์จากแร่ธาตุ หรือเส้นใยที่ผลิตโดยการผสมระหว่างเส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยธรรมชาติ (34) เป็นต้น

2.6.1 <u>คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นด้าย</u>

เส้นด้ายแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะการนำมาเข้าเกลียว หรือนำมาควบเข้าด้วยกัน ดังนี้

2.6.1.1 เส้นด้ายยืน (Warp yarn) คือเส้นด้ายที่นำไปใช้ทำเป็นเส้นยืนในใยผ้า เส้นด้ายชนิดนี้ต้องใช้เส้นใยที่มีความยาว และคุณภาพดี เป็นเส้นด้ายที่มีจำนวนเกลียวและความเหนียวสูง เพื่อทนต่อแรงดึง และการขัดสีของฟันหวีบนเครื่องทอ

2.6.1.2 เส้นด้ายพุ่ง (Weft yarn) คือเส้นด้ายที่นำไปใช้เป็นเส้นพุ่งในผืนผ้า เส้นด้ายชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องมีจำนวนเกลียว และความเหนียวมากนัก ดังนั้น จำนวนเกลียวจะน้อยกว่าเส้นด้ายยืน แต่ต้องมีความอ่อนนุ่ม หรืออ่อนตัวได้มาก เพื่อให้ได้ผืนผ้าที่มีความเรียบ และสวยงาม

2.6.1.3 เส้นด้ายถัก คือ เส้นด้ายที่นำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผ้าถัก เส้นด้ายชนิดนี้จะมีจำนวนเกลียวน้อยกว่าเส้นด้ายยืนและด้ายพุ่ง เพื่อให้เส้นด้ายมีความอ่อนนุ่ม และอ่อนตัวได้ดีขณะผ่านเข้าไปในเข็มถักและอุปกรณ์อื่นๆ ของเครื่องถัก แต่จะต้องมีความเหนียวและสม่ำเสมอดี

2.6.1.4 ด้ายเย็บผ้า คือ เส้นด้ายที่นำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป เส้นด้ายชนิดนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีพิเศษ เพราะฉะนั้นเส้นด้ายชนิดนี้จะต้องมีความเหนียว ความราบเรียบสม่ำเสมอ และละเอียดดีมาก สำหรับเส้นใยที่ใช้ผลิตเส้นด้ายสำหรับเย็บผ้าปัก หรือถักลูกไม้ ได้แก่ ฝ้าย ไหม ลินิน ไนลอน และโพลิเอสเตอร์

Copyright by Mahidol University

2.6.2 คุณสมบัติของเส้นด้ายที่สำคัญ มีดังนี้

2.6.2.1 ขนาด หรือเบอร์ของเส้นด้าย

2.6.2.2 จำนวนเกลียว/ หน่วยความยาว (นิ้ว หรือเมตร)

2.6.2.3 ทิศทาง และปริมาณจำนวนเกลียว

2.6.2.4 จำนวนเส้นด้ายที่นำมาควบ

2.6.2.5 ความแข็งแรงของเส้นด้ายแบบเส้นด้ายเดี่ยว หรือแบบลี (Single yarn strength หรือ Lea strength)

2.6.2.6 คุณภาพเกรดเส้นด้าย

2.6.3 คุณสมบัติของเส้นด้ายต่อคุณสมบัติของผ้า

2.6.3.1 ขนาดเส้นด้ายที่ไม่สม่ำเสมอจะมีผลต่อการนำไปใช้ทอผ้า ผ้าที่ได้จะมีคุณภาพไม่ดี มีความหนา และบางไม่เท่ากัน และมีผลต่อคุณสมบัติความแข็งแรง ถ้า CV% ของเบอร์ด้ายสูง หรือเบี่ยงเบนมาก อาจมีผลต่อเนื่องถึงกระบวนการย้อมสี โดยทั่วไปจะให้ขนาดเส้นด้ายเบี่ยงเบนได้ +3% ของเบอร์ด้าย และถ้านำเส้นด้ายที่ไม่สม่ำเสมอมาผลิตผ้าถัก ยิ่งทำให้เห็นชัดยิ่งขึ้น คือ จะเกิดเป็นทางตามแนวขวางของผ้าถักภายหลังการย้อม

2.6.3.2 จำนวนเกลียว/หน่วยความยาว (นิ้ว หรือเมตร) จำนวนเกลียวมีผลอย่างมากต่อความเหนียวโดยตรงของผ้า รวมถึงผิวสัมผัสของผ้า ถ้าเกลียวสูงเกินไปจะทำให้ผ้ากระด้าง และที่สำคัญที่สุดคือความไม่สม่ำเสมอของเกลียวจะมีผลต่อผ้าอาจเป็นคลื่นบางแห่ง ภายหลังการทอ หรือการตกแต่งสำเร็จ เนื่องจากการหดตัวไม่เท่ากันของเส้นด้ายที่มีผลมาจากเกลียวไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะถ้าเป็นเส้นด้ายที่ปั่นจากฝ้าย หรือฝ้ายผสมเส้นใยอื่น เช่น ใยโพลิเอสเตอร์ และอาจทำให้ผ้ามีความหนา บางไม่เท่ากัน

2.6.3.3 ความแข็งแรงของเส้นด้าย ความแข็งแรงของเส้นด้ายมีหลายสาเหตุในกระบวนการปั่น ซึ่งอาจเริ่มตั้งแต่เริ่ม คือ วัตถุดิบ กระบวนการ หรือ เครื่องจักร การผสมกันของเส้นใย การเข้าเกลียว และทิศทางการเข้าเกลียว ขนาดของด้ายซึ่งก็รวม หมายถึงโครงสร้างของด้ายนั่นเอง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพความเหนียวของผ้า ซึ่งเริ่มตั้งแต่การทอ คือ ทำให้ด้ายขาดบ่อยๆ ประสิทธิภาพการทอลดลง และในการต่อด้ายบ่อยครั้งนั้นอาจทำให้ผ้ามีจุดบกพร่อง (Defect) เกิดขึ้นได้ง่าย เมื่อถึงกระบวนการฟอกย้อมก็จะยิ่งทำให้เกิดปัญหาผ้าเปื่อยได้ ดังนั้น จึงต้องมีการ

Copyright by Mahidol University

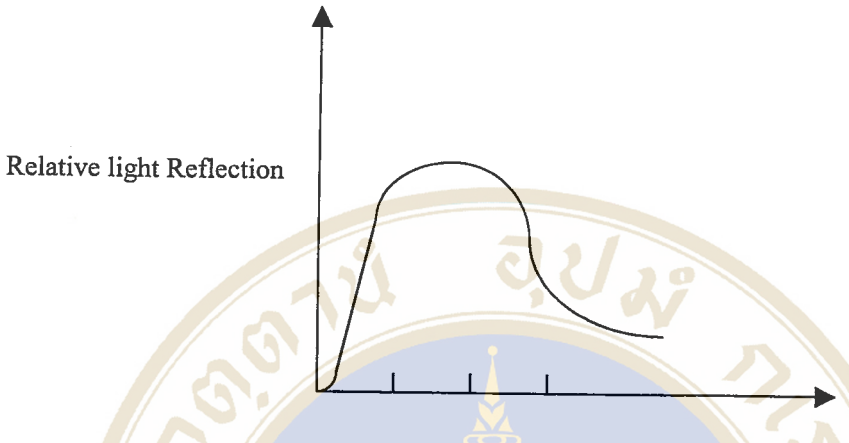
ทดสอบความเหนียวเพื่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ต่ำเกินไป ส่วนสาเหตุความแข็งแรงของผ้านั้น นอกเหนือจากเส้นด้ายแล้ว ก็ยังมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะโครงสร้างผ้า หรือจากการฟอกย้อมที่ผิดพลาด หรือเกิดจากการเก็บที่ไม่ดีพอ เป็นต้น สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ก็มีส่วนเป็นอย่างมาก และในทำนองเดียวกันถ้าเส้นด้ายมีความแข็งแรงต่ำอยู่แล้ว อาจใช้ลักษณะโครงสร้างในการทอมาช่วยเสริมให้ผ้ามีคุณภาพความเหนียวเกิดขึ้นได้ เช่น การนำเส้นด้ายมาควบเข้าด้วยกันจำนวน 2-4 เส้นก็ได้ เช่น ผ้าลายสอง หรืออาจใช้วิธีทอโดยการควบเส้นด้ายหลาย ๆ เส้นเข้าด้วยกัน โดยไม่ควบเกลียว ซึ่งจะทำให้ลักษณะผ้าที่มีเนื้อหนาขึ้น ผิวสัมผัสนุ่ม เช่น การทอแบบบาสเก็ต เป็นต้น

2.6.3.4 ความไม่สม่ำเสมอของเส้นด้าย ถ้าเส้นด้ายมีค่า Irregularity สูง หรือ Thin, Thick, Nep มาก จะมีผลทำให้คุณภาพผ้าต่ำ เพราะผ้าจะมีลักษณะ หนา ๆ บาง ๆ ที่มีปุ่มปม จึงทำให้ผ้าไม่เรียบสม่ำเสมอ และความเหนียวก็ไม่อาจสม่ำเสมอตามไปด้วย ถ้าบางมากก็จะเกิดการอ่อนตัวในส่วนนั้น โดยเฉพาะในผ้าถักก็จะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ตามเข็มนาฬิกา ทวนเข็มนาฬิกา

ภาพที่ 2-5 ลักษณะการหมุนบิดเกลียวเส้นด้าย แบบ S-twist และแบบ Z-twist

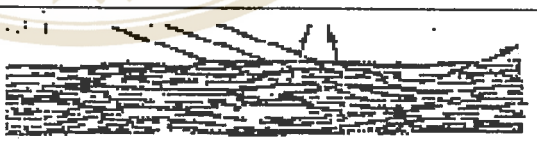
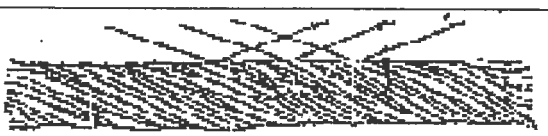
Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 2-6 การสะท้อนแสงจากด้ายที่ปั่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มการบิดเกลียว

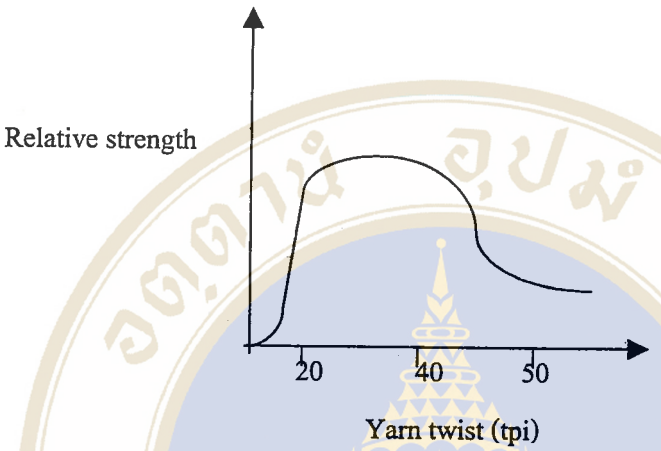
ด้ายที่มีเกลียวบิดต่ำแสงสว่างจะกระจัดกระจายไปตามเส้นใยแต่ละเส้น ซึ่งระหว่างเกลียว 20 และ 40 tpi แสงสว่างจะสะท้อนจากผิวหน้าของเส้นด้ายที่เรียบ และเส้นด้ายที่มีเกลียวบิดสูงแสงสว่างจะถูกดูดกลืนเข้าไปในช่องว่าง ระหว่างสันของเส้นใย

ตารางที่ 2-4 ลักษณะความแตกต่างของเส้นด้ายเมื่อพันบิดเกลียวที่มีขนาดแตกต่างกัน

ขนาดเกลียวด้าย	ลักษณะความแตกต่างทางด้านกายภาพ
0 tpi (low luster)	
20-40 tpi (Maximum luster)	
40-60 tpi (Decresing luster)	

Copyright by Mahidol University

ความต้านแรงดึงของเส้นด้ายเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนเกลียวเพิ่มขึ้น เนื่องจากความฝืดระหว่างเส้นใย แต่ที่จำนวนเกลียวบิดระหว่าง 20-40 tpi แรงบิดของเกลียวมากขึ้นแต่ความต้านแรงดึงของใยและเส้นด้ายจะลดลง



ภาพที่ 2-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านแรงดึงและจำนวนเกลียวบิดของเส้นด้าย

2.7 ความรู้ที่เกี่ยวกับคลื่น และเสียง

คลื่นมีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น มีการรบกวนภายในตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านไป ด้วยความเร็วที่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางนั้น ๆ คลื่นจะถ่ายทอดพลังงานจากแหล่งกำเนิดคลื่นไปยังจุดสุดท้ายที่คลื่นสามารถคลื่นที่ไปถึง ดังนั้น คลื่นจึงสามารถทำงานได้ ตัวอย่างเช่น คลื่นเสียงสามารถทำให้เยื่อหูสั่น ทำให้เกิดความรู้สึกได้ยินขึ้น คลื่นจากดวงอาทิตย์สามารถทำให้เกิดความร้อน และแสงสว่างขึ้นบนพื้นโลก คลื่นวิทยุสามารถทำให้อิเล็กตรอนในสายอากาศของเครื่องรับเกิดการสั่น ทำให้สามารถรับสัญญาณของคลื่นได้ เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่แบบคลื่นต่าง ๆ นี้มีปรากฏอยู่รอบตัวเรามากมาย เช่น คลื่นน้ำ คลื่นในเส้นเชือก คลื่นที่ยอดข้าวในนาเมื่อถูกลมพัดผ่าน คลื่นเสียง คลื่นแสง คลื่นวิทยุ และรังสีเอกซ์ เป็นต้น

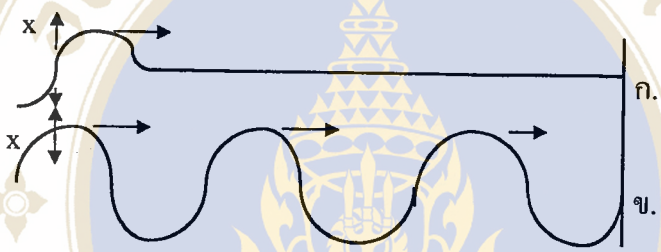
2.7.1 ชนิดของคลื่นเสียง

ชนิดของคลื่นถ้าแบ่งตามลักษณะการสั่นของอนุภาคตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านไปกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแล้ว แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด (35) ได้แก่

2.7.1.1 คลื่นเคลื่อนที่ตามขวาง คือ คลื่นที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางแล้ว จะทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่นในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น ตัวอย่างเช่น คลื่นในเส้น

Copyright by Mahidol University

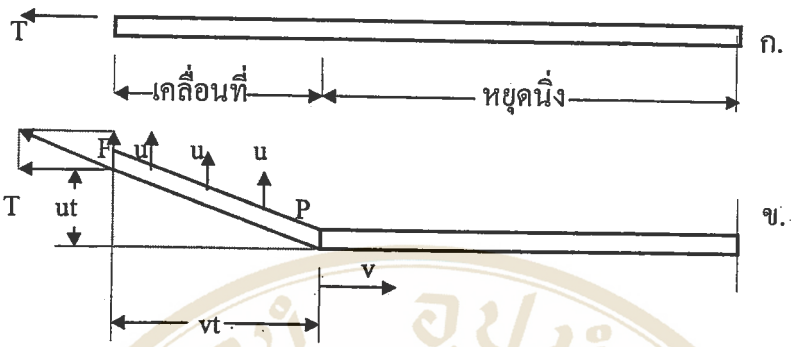
เชือก และคลื่นในสายกีตาร์ เป็นต้น คลื่นน้ำไม่ได้เป็นคลื่นตามขวางอย่างแท้จริง ดังจะเห็นได้จากเมื่อทำให้เกิดคลื่นขึ้นที่ผิวน้ำในทะเลสาปแล้ว คลื่นจะเคลื่อนที่ไปตามผิวน้ำ ทำให้เรือหรือวัตถุที่ลอยน้ำอยู่ มีการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นนั้น วิธีที่ใช้ในการศึกษาเรื่องคลื่นตามขวาง คือ พิจารณาจากคลื่นที่เกิดในเส้นเชือก โดยเอาปลายเชือกข้างหนึ่งผูกติดกับฝาผนัง แล้วสะบัดปลายเชือกอีกข้างหนึ่งโดยเร็ว 1 ครั้ง จะเกิดคลื่นขึ้น 1 คลื่น ดังภาพ 2-8 ก. คลื่นนี้จะวิ่งไปตามเส้นเชือกเข้าหาฝาผนัง และถ้าสะบัดเชือกขึ้นลงอย่างต่อเนื่องกันไป ก็จะเกิดคลื่นหลาย ๆ คลื่นวิ่งเข้าหาฝาผนัง ดังภาพ 2-8 ข. ถ้าพิจารณาตรงจุดต่าง ๆ ของเส้นเชือก เช่น จุด x จะเห็นได้ว่าจุด x มีการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น



ภาพที่ 2-8 ลักษณะของคลื่นตามขวาง

ความเร็วของคลื่นตามขวาง จากภาพที่ 2-9 จะเห็นว่าเส้นลวดมีความตึง T ซึ่งดึงตามแนวของเส้นลวด และมีมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวเป็น μ ปลายเชือกด้านขวาผูกติดกับฝาผนัง เมื่อเวลาเริ่มต้น t=0 ดังภาพ 2-9 ก. ให้มีแรง F ดึงปลายซ้ายของเส้นลวดขึ้นในแนวตั้งฉากกับเส้นลวดด้วยความเร็ว u ดังนั้น ทุกจุดในเส้นลวดทางด้านซ้ายของจุด P จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว u และจุด P ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างส่วนที่เคลื่อนที่กับส่วนที่หยุดนิ่ง จะเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร็ว v ซึ่งเป็นความเร็วของคลื่นตามขวางในเส้นลวดนั่นเอง ตามภาพ 2-9 ข. นี้แสดงให้เห็นสภาพของเส้นลวดเมื่อเวลาผ่านไป t

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 2-9 ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวางในแนวเส้นลวด

จากรูปสามเหลี่ยมคล้ายจะได้

$$\frac{F}{T} = \frac{ut}{vt} = \frac{u}{v}$$

จากการยกปลายเส้นลวดขึ้นทำให้เกิดการดล

$$Ft = \frac{Tut}{v}$$

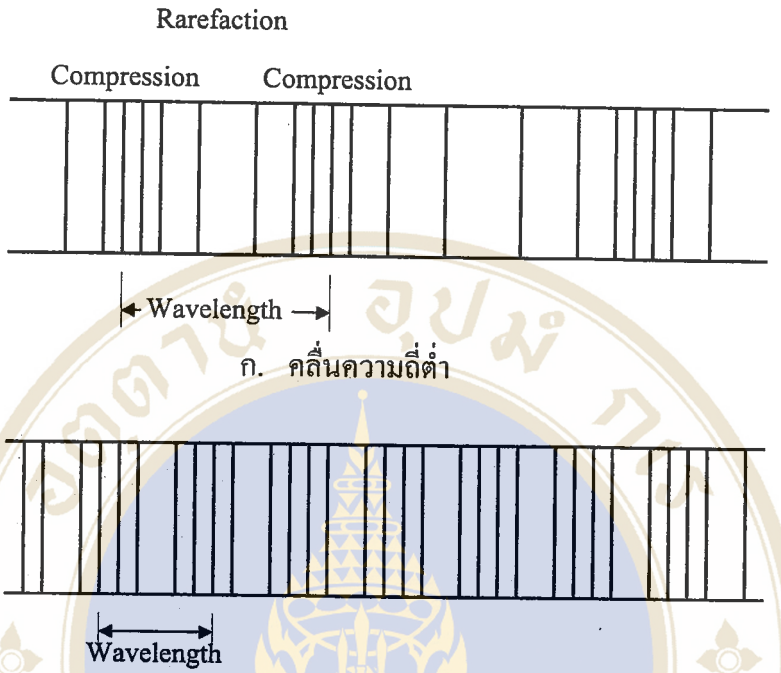
การดลเท่ากับโมเมนตัมที่เปลี่ยนไป

ดังนั้น $$\frac{Tut}{v} = mu - 0 = (\mu vt)u$$

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \text{----------} (1)$$

2.7.1.2 <u>คลื่นเคลื่อนที่ตามยาว</u> คือ คลื่นที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางแล้ว จะทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่นในแนวเดียวกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่น ตัวอย่างเช่น คลื่นเสียง คลื่นกระแทก (Shock waves) เป็นต้น เมื่อคลื่นตามยาวเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางแล้ว จะทำให้โมเลกุลของตัวกลางเกิดมีส่วนอัด (Compression) และส่วนขยาย (Rarefaction) ขึ้น สลับกันไปอย่างต่อเนื่อง เช่น เมื่อเคาะส้อมเสียงในอากาศจะทำให้ส้อมเสียงสั่น คลื่นเสียงที่เกิดขึ้นก็จะเคลื่อนที่ผ่านไปในตัวกลางอากาศนั้น ทำให้โมเลกุลของอากาศเกิดการอัดแน่นในบางส่วน และอยู่ห่าง ๆ ในบางส่วน บริเวณที่โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นเรียกว่า ส่วนอัด ส่วนบริเวณที่โมเลกุลของตัวกลางอยู่กันอย่างห่าง ๆ เรียกว่า ส่วนขยาย ดังภาพที่ 2-10

Copyright by Mahidol University

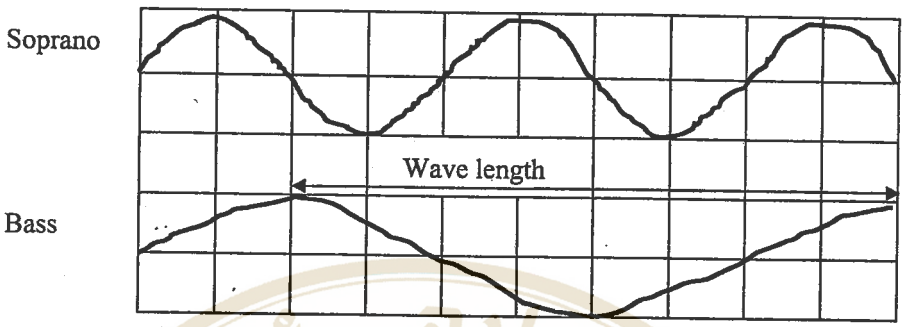


ภาพที่ 2-10 คลื่นความยาวซึ่งประกอบด้วยส่วนอัด และส่วนขยาย

ส่วนอัดเกิดขึ้นขณะที่ขาของส้อมเสียงถ่างออก ส่วนขยายเกิดขึ้นขณะที่ส้อมเสียงสั่นเข้าด้านใน 1 ส่วนอัด และ 1 ส่วนขยาย รวมกันเป็น 1 คลื่น ระยะระหว่างส่วนอัดหนึ่งไปยังส่วนอัดถัดไปเรียกว่า ความยาวคลื่น (Wavelength : λ) จำนวนคลื่นที่เกิดขึ้นใน 1 วินาที เรียกว่า ความถี่ (Frequency : f) มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz : Hz) ตัวอย่างเช่นเสียงที่มีความถี่ 120 เฮิรตซ์ ก็คือ เสียงที่ทำให้เกิด 120 ส่วนอัด และ 120 ส่วนขยายในเวลา 1 วินาที เป็นต้น (36)

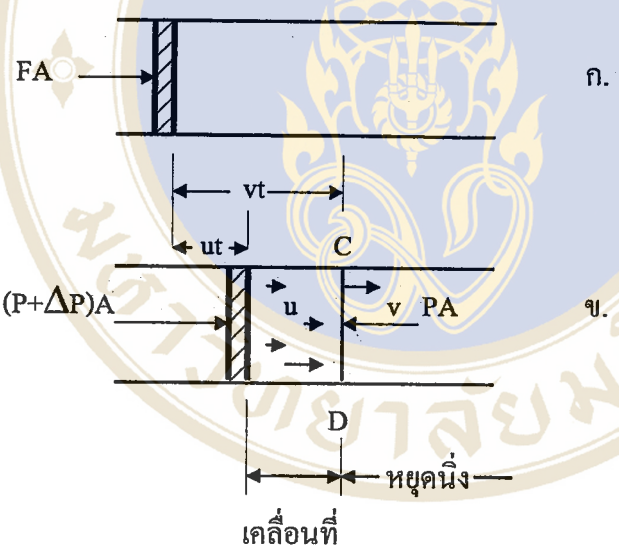
โดยทั่วไปสัญลักษณ์ที่ใช้แทนคลื่นจะเป็นรูปไซน์ (Sine curve) ดังภาพที่ 2-11 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่างคลื่นของเสียงโซปราโน (Soprano tone) และเสียงเบส (Base tone) จะเห็นว่าเสียงโซปราโนมีความยาวคลื่นสั้นกว่า แต่มีความถี่สูงกว่าเสียงเบส

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 2-11 การเปรียบเทียบ Sine curve ระหว่าง Soprano และ Bass

2.7.2 ความเร็วของคลื่นตามยาวในตัวกลางของไหล



ภาพที่ 2-12 การเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาวในของไหล

ตามภาพที่ 2-12 จะเห็นว่าของไหลมีความหนาแน่น ρ และความดัน P บรรจุอยู่ในท่อที่มีพื้นที่ภาคตัด A แรงดันที่ของไหลดันลูกสูบเท่ากับ PA และลูกสูบต้องออกแรงต้านไว้ด้วยขนาดของแรง PA ดังภาพ 2-12 ก. เมื่อเริ่มต้นเวลา t=0 ให้ลูกสูบถูกแรงดันและเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร็ว u ทำให้โมเลกุลของของไหลบริเวณหน้าลูกสูบเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว u ด้วย

Copyright by Mahidol University

สมมติ CD เป็นรอยต่อระหว่างส่วนของของไหลที่เคลื่อนที่กับส่วนของของไหลที่หยุดนิ่ง แนว CD จะเคลื่อนที่ โดยเริ่มต้นจากผิวหน้าของลูกสูบไปทางขวาด้วยความเร็ว v ซึ่งก็เป็นความเร็วของคลื่นตามยาวในของไหล

ภาพ 2-12 ข. แสดงให้เห็นสภาพของของไหลเมื่อเวลาผ่านไป t โดยลูกสูบเคลื่อนที่ได้ระยะ ut และแนว CD เคลื่อนที่ได้ระยะทาง vt

มวลของของไหลที่เคลื่อนที่ $m = \rho vtA$

โมเมนตัมของของไหลที่เคลื่อนที่ $mu = \rho vtAu$

ให้ ΔP เป็นความดันที่เพิ่มขึ้นในส่วนของของไหลที่เคลื่อนที่ โดยปริมาตรเดิมของของไหลที่เคลื่อนที่คือ vtA และปริมาตรที่ลดลงของของไหลที่เคลื่อนที่คือ utA

จากคำจำกัดความของโมดูลัสเชิงปริมาตร (Bulk modulus : B) (37) คือ

$$B = \frac{\text{ความดันที่เปลี่ยนไป}}{\frac{\text{(ปริมาตรที่เปลี่ยนไป)}}{\text{ปริมาตรเดิม}}}$$

$$= \frac{\Delta P}{\frac{utA}{vtA}}$$

$$\Delta P = \frac{Bu}{v}$$

แรงที่ลูกสูบกระทำต่อของไหลส่วนที่เคลื่อนที่คือ $(P+\Delta P)A$ และของไหลส่วนนี้ถูกแรงกระทำทางด้านขวาเท่ากับ PA ดังนั้น แรงลัพธ์ที่กระทำต่อของไหลส่วนที่เคลื่อนที่จะเท่ากับ $\Delta P.A$

จาก การดล = การเปลี่ยนโมเมนตัม

$Ft = mv-0$

ดังนั้น $\Delta PAT = \rho vtAu$

$$\frac{Bu}{v} = \rho vu$$

$$v^2 = \frac{B}{\rho}$$

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad \text{---------} \quad (2)$$

Copyright by Mahidol University

ความเร็วของคลื่นตามยาวในแท่งวัตถุแข็ง หาได้ด้วยวิธีเดียวกับการหาความเร็วของคลื่นตามยาวในของไหล โดยจะได้ความสัมพันธ์เป็น

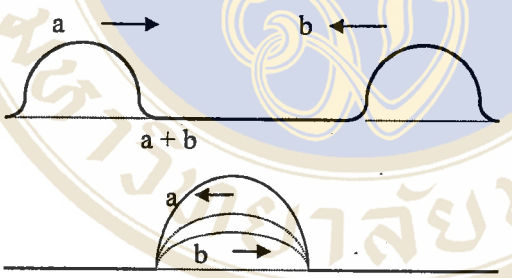
$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad \text{---------- (3)}$$

เมื่อ Y คือค่า Young 's modulus มีหน่วยเป็น นิวตัน/ตารางเมตร

ρ คือ ความหนาแน่นของแท่งวัตถุ

2.7.3 หลักการซ้อนทับ (Superposition principle)

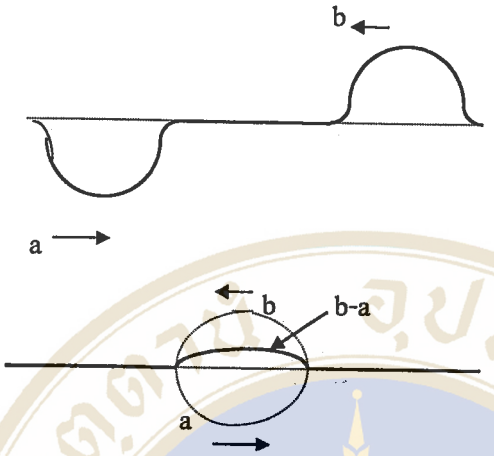
เมื่อคลื่น 2 ขบวน หรือมากกว่าขึ้นไป เคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันในเวลาเดียวกัน คลื่นเหล่านั้นจะรวมกันเป็นคลื่นเดียว เรียกว่า คลื่นรวม และจากการที่คลื่นหลาย ๆ คลื่นเข้าร่วมกันเป็นคลื่นเดียวนี้ จะทำเกิดการสอดแทรก (Interference) ขึ้น ถ้าคลื่น 2 ขบวนทำให้อนุภาคของตัวกลางมีการขจัดไปทางเดียวกันแล้ว จะทำให้คลื่นรวมมีการขจัดลัพธ์เพิ่มขึ้น และการขจัดลัพธ์จะเท่ากับผลบวกของการขจัดของคลื่นทั้งสอง ดังภาพ 2-13 คลื่น a และคลื่น b เข้ารวมกันในลักษณะที่ยอดคลื่น ทำให้คลื่นรวมมีการขจัดลัพธ์เพิ่มขึ้น และทำให้เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน (Constructive interference) (38)



ภาพที่ 2-13 คลื่น a และคลื่น b เข้ารวมกันได้คลื่นรวมมีการขจัดลัพธ์เพิ่มขึ้น

ถ้าคลื่น 2 ขบวนทำให้อนุภาคตัวกลางมีการขจัดในทิศทางตรงข้ามกันแล้ว จะทำให้คลื่นรวมมีการขจัดลัพธ์ลดลง และการขจัดลัพธ์จะเท่ากับผลลบของการขจัดของคลื่นทั้งสอง ดังภาพที่ 2-14 คลื่น a และคลื่น b เข้ารวมกันในลักษณะที่ยอดคลื่นของ b พบกับท้องคลื่นของ a ทำให้คลื่นรวมมีการขจัดลดลง และทำให้เกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกัน (Destructive interference)

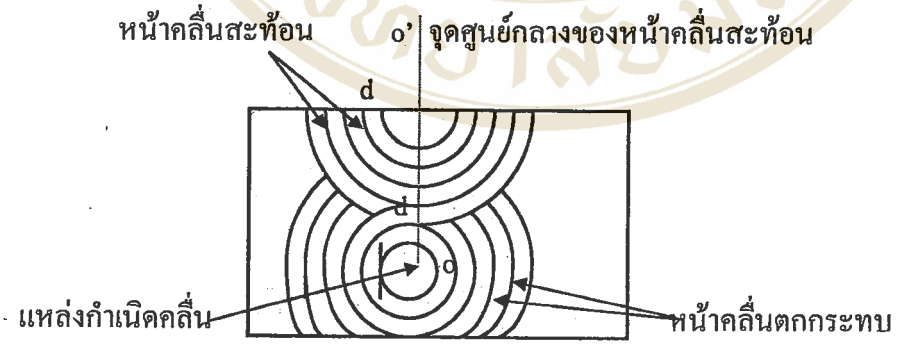
Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 2-14 คลื่น a และคลื่น b เข้ารวมกันได้คลื่นรวมมีการขจัดลดลง

2.7.4 การสะท้อนคลื่น (Reflection of waves)

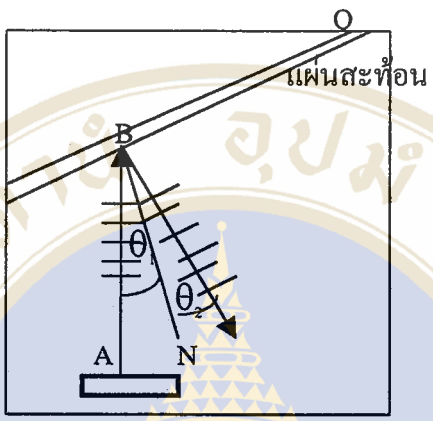
เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดคลื่นไปชนเข้ากับสิ่งกีดขวางใด ๆ คลื่นจะมีการสะท้อนกลับ วิธีทดลองให้เห็นง่าย ๆ คือ ใช้นิ้วมือจุ่มลงในน้ำที่อยู่ในถาดรูปสี่เหลี่ยม ยกนิ้วมือขึ้นลงจุ่มน้ำให้เป็นจังหวะตอดต่อกันไป จะเกิดคลื่นวงกลมเคลื่อนที่ไล่ตามกันไปจากจุดกำเนิดคลื่นและไปชนเข้ากับผนังของถาดน้ำ จะเห็นคลื่นน้ำสะท้อนกลับออกมาดังภาพของวงกลมอยู่นอกถาดน้ำออกไป



ภาพที่ 2-15 การสะท้อนของคลื่นวงกลม

Copyright by Mahidol University

ตามภาพที่ 2-16 เป็นชุดถาดน้ำที่ใส่น้ำเอาไว้พร้อมแล้ว จัดให้คานกำเนิดคลื่นแตะผิวน้ำพอดี PQ เป็นคานที่ใช้ขวางคลื่น หรือเรียกว่าเป็นแผ่นสะท้อน เมื่อมอเตอร์หมุนจะทำให้คานกำเนิดคลื่นผลิตคลื่นเส้นตรงเคลื่อนที่เข้าหาแผ่นสะท้อน เรียกคลื่นเหล่านี้ว่าคลื่นตกกระทบ (Incident waves) และทำให้เกิดคลื่นสะท้อน (Reflected waves) ขึ้น (39)



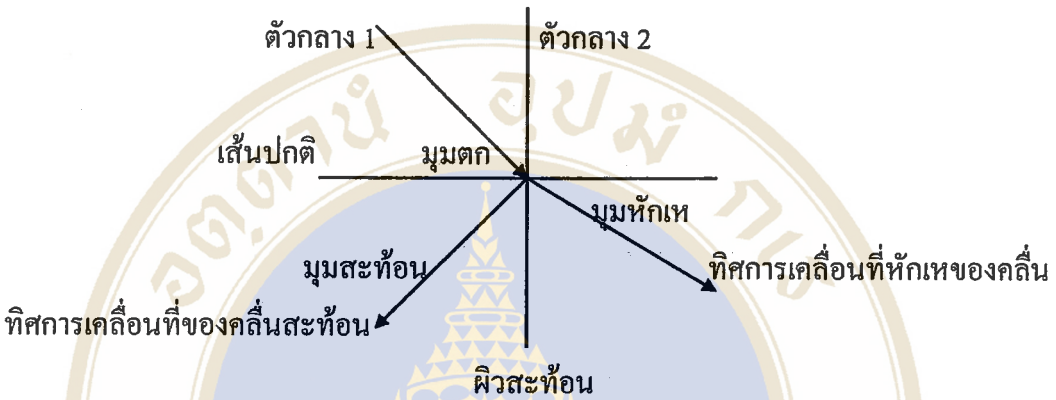
ภาพที่ 2-16 การสะท้อนของคลื่นเส้นตรง

ให้มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบกระทำกับแผ่นสะท้อนเป็น θ_1 และมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนกระทำกับแผ่นสะท้อนเป็น θ_2 จากรายงานผลการทดลองพบว่า $\theta_1 = \theta_2$ เมื่อเขียนทางเดินของคลื่นตกกระทบ AB โดยลากให้ตั้งฉากกับหน้าคลื่นตกกระทบ จากจุด B ลากเส้น BC ตั้งฉากกับหน้าคลื่นสะท้อน ดังนั้น BC จะเป็นทิศทางเดินของคลื่นสะท้อน จากจุด B ลากเส้น BN ตั้งฉากกับแผ่นสะท้อน PQ BN จะเป็นเส้นปกติ มุม ABN = θ_1 เรียกว่ามุมตกกระทบ (Angle of incidence) มุม NBC = θ_2 เรียกว่ามุมสะท้อน (Angle of reflection) ซึ่งอาจสรุปกฎการสะท้อนได้ว่าเมื่อเกิดการสะท้อนของคลื่นแล้ว มุมตกกระทบจะเท่ากับมุมสะท้อนเสมอ กฎการสะท้อนนี้สามารถใช้ได้โดยไม่จำกัดความยาวคลื่น และขนาดของมุมตกกระทบของคลื่นตกกระทบทั้งหลาย

Copyright by Mahidol University

2.7.5 <u>การหักเหของคลื่น</u> (Refraction of waves)

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งดังภาพที่ 2-30 คลื่นบางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับสู่ตัวกลางเดิม และคลื่นบางส่วนจะเกิดการหักเหผ่านเข้าไปในตัวกลางที่ 2 เสมอ เว้นแต่ว่าทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบ

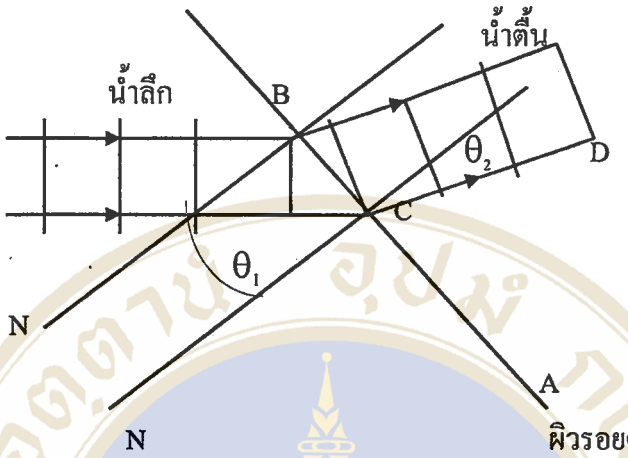


<u>ภาพที่ 2-17</u> ลักษณะการหักเหของคลื่นเมื่อผ่านตัวกลาง

ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบจะตั้งฉากกับผิวรอยต่อ หรือไปตามแนวเส้นปกติของผิวรอยต่อ จากรูปข้างบนแสดงให้เห็นว่าเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในตัวกลางที่ 2 แล้ว ความเร็วของคลื่นลดน้อยลง ทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเหเบนเข้าหาเส้นปกติ

ในกรณีของคลื่นน้ำนั้นความเร็วของคลื่นน้ำจะขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำกล่าวคือ ความเร็วของคลื่นน้ำบริเวณน้ำตื้นจะลดน้อยลง สาเหตุเพราะมีความเสียดทานเกิดขึ้นระหว่างน้ำกับพื้นดินใต้น้ำนั้น ดังนั้น ถ้าคลื่นน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกไปยังบริเวณน้ำตื้นแล้ว ความเร็วของคลื่นน้ำจะลดลง และทำให้ความยาวคลื่นมีค่าลดลงด้วย ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นจึงเปลี่ยนไปด้วย คือเกิดการหักเหของคลื่นขึ้นดังภาพที่ 2-18 θ_1 เป็นมุมตกกระทบ และ θ_2 เป็นมุมหักเห

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 2-18 ลักษณะการหักเหของคลื่นที่เป็นมุมตกกระทบ และมุมหักเห

กำหนดให้ v_1 และ λ_1 เป็นความเร็วและความยาวคลื่นในน้ำลึก

v_2 และ λ_2 เป็นความเร็วและความยาวคลื่นในน้ำตื้น

f_1 และ f_2 เป็นความถี่ของคลื่นในน้ำลึกและน้ำตื้นตามลำดับ

จาก $v = f\lambda$

หรือ $f = \frac{v}{\lambda}$

$f_1 = \frac{v_1}{\lambda_1}$

$f_2 = \frac{v_2}{\lambda_2}$

เนื่องจากความถี่ของคลื่นเกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นเดียวกัน คือ $f_1 = f_2$

ดังนั้น $\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}$

หรือ $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ ---------- (4)

จากภาพข้างบน CA เป็นความยาวคลื่นในน้ำลึก = λ_1

และ BD เป็นความยาวคลื่นในน้ำตื้น = λ_2

$$\sin\theta_1 = \frac{CA}{AB} = \frac{\lambda_1}{AB}$$

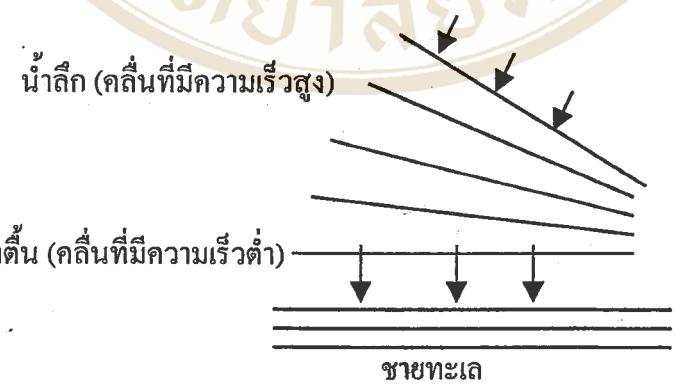
Copyright by Mahidol University

$$\sin\theta_2 = \frac{BD}{AB} = \frac{\lambda_2}{AB}$$

ดังนั้น $$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad \text{---------- (5)}$$

และ $$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{---------- (6)}$$

จากความจริงที่ว่าเมื่อน้ำยิ่งตื้นมากขึ้น ความเร็วของคลื่นจะยิ่งลดลงนั้น อาจนำไปใช้อธิบายเกี่ยวกับคลื่นในทะเลได้ว่า ทำไมเมื่อตอนที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าใกล้ชายฝั่ง จึงมีแนวขนานกับชายฝั่งทะเลนั้นเสมอ เมื่อพิจารณาพื้นที่บริเวณชายหาดนั้นจะเห็นได้ว่าค่อยลาดลงไปในทะเล คือ น้ำทะเลจะค่อย ๆ ลึกมากขึ้นทุกทีเมื่อห่างจากชายฝั่งออกไป สมมติมีคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งโดยมีแนวทำมุมขนาดหนึ่งกับชายฝั่ง ส่วนของคลื่นที่อยู่ใกล้ชายฝั่งจะอยู่ในบริเวณที่ตื้นกว่า จึงมีความเร็วน้อยกว่าส่วนของคลื่นที่อยู่ไกลออกไปในทะเล (40) หรือกล่าวในทางกลับกันคือ ส่วนของคลื่นที่อยู่ไกล จะมีความเร็วมากกว่าส่วนของคลื่นที่อยู่ใกล้ฝั่ง ผลก็คือทำให้แนวคลื่นทั้งแนวค่อย ๆ เบนเข้าหาฝั่งโดยมีแนวขนานกับชายฝั่งดังภาพข้างล่างนี้

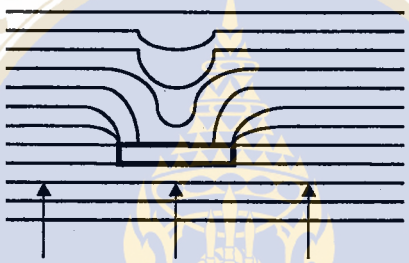


ภาพที่ 2-19 คลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งจะมีแนวขนานกับชายฝั่ง

Copyright by Mahidol University

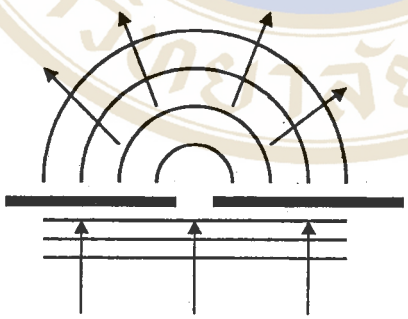
2.7.6 <u>การเลี้ยวเบนของคลื่น</u> (Diffraction of waves)

จากการศึกษาการหักเหของคลื่น (41) ได้ทราบว่า การหักเหของคลื่นนั้นเกิดจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นเปลี่ยนไป อันเนื่องมาจากคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่แตกต่างกัน หรือแม้แต่จะเป็นตัวกลางชนิดเดียวกันก็ตาม ก็อาจเกิดการหักเหของคลื่นได้ ถ้าหากคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางบางส่วนเข้า คลื่นก็จะเกิดการหักเหเลี้ยวเบนขึ้น ตัวอย่างเช่น คลื่นเสียงที่เกิดการเลี้ยวเบนของคลื่นตรงมุมตึก ทำให้เราได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงได้โดยที่ไม่ได้เห็นแหล่งกำเนิดเสียง คลื่นน้ำก็เช่นเดียวกัน เมื่อเคลื่อนที่ตกกระทบกับสิ่งกีดขวาง จะเกิดการเลี้ยวเบนของคลื่นขึ้นทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางดังภาพที่ 2-20



<u>ภาพที่ 2-20</u> คลื่นน้ำตกกระทบกับสิ่งกีดขวางแล้วเกิดการเลี้ยวเบนขึ้น

คลื่นน้ำตกกระทบกับสิ่งกีดขวางที่มีช่องแคบ ๆ เมื่อคลื่นน้ำผ่านช่องแคบนั้นไปแล้วจะแผ่ขยายออกไปทุกทิศทาง เกิดการเลี้ยวเบนของคลื่นนั้น



<u>ภาพที่ 2-21</u> คลื่นน้ำตกกระทบกับสิ่งกีดขวางที่มีช่องแคบ แล้วเกิดการเลี้ยวเบนขึ้นเป็นคลื่นแผ่ในลักษณะเป็นส่วนโค้งของวงกลม

Copyright by Mahidol University

2.7.7 เสียง

เสียงเป็นคลื่นตามยาว ที่เมื่อเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงแล้ว จะผ่านเข้าไปในตัวกลางต่าง ๆ ที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สก็ได้ มนุษย์อาจคุ้นเคยกับการได้ยินเสียงต่าง ๆ รอบ ๆ ตัว โดยที่มนุษย์อาจจะไม่รู้สึกเลยว่าเสียงนั้นเดินทางผ่านมาในอากาศ ซึ่งอากาศประกอบด้วยแก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ บางคนอาจเคยเอาหูแนบกับรางรถไฟเพื่อที่จะฟังว่ารถไฟกำลังแล่นมาหรือยัง ซึ่งแสดงว่าคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางของแข็งคือรางรถไฟ ในการใช้เครื่องโซนาร์รับคลื่นเสียงสะท้อนจากก้นทะเลเพื่อจะหาความลึกของท้องทะเลนั้นก็เป็นการแสดงถึงว่าคลื่นเสียงเดินทางผ่านตัวกลางของเหลว ซึ่งเป็นน้ำได้เช่นเดียวกัน ตามปกติหูของมนุษย์จะได้ยินเสียงที่มีความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 20-20,000 เฮิรตซ์ (42) ถ้าต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์แล้วจะไม่ได้ยินเสียง อย่างไรก็ตามความถี่ของคลื่นเสียงที่ทำให้มนุษย์ได้ยินนั้น ย่อมขึ้นอยู่กับหูของแต่ละบุคคล และยังขึ้นอยู่กับอายุของแต่ละคนด้วย จากการทดสอบการได้ยินพบว่าบุคคลที่มีอายุสูงขึ้น ประสาทหูจะขาดความไวต่อเสียงความถี่สูง ๆ เช่น ผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป มักจะไม่ค่อยได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 8,000 เฮิรตซ์ขึ้นไป แต่ไม่ค่อยเป็นอุปสรรคต่อการพูดจากันมากนัก เพราะว่าความถี่ของเสียงมนุษย์ที่ใช้พูดคุยกันนั้น ตามปกติจะอยู่ในช่วงระหว่าง 85-1,000 เฮิรตซ์เท่านั้น เมื่อเทียบกับเสียงที่เกิดจากเปียนโน ซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่าง 27-4,186 เฮิรตซ์

2.7.8 อัตราเร็วของคลื่นเสียง

อัตราเร็วของคลื่นเสียงขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง ที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านไปและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของตัวกลางนั้น ๆ ด้วย สำหรับตัวกลางของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ถ้ามีอุณหภูมิเท่ากันแล้ว เสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดในตัวกลางของแข็ง รองลงมาคือของเหลว และแก๊สตามลำดับ เสียงในของแข็งจะมีอัตราเร็วประมาณ 15 เท่าของอัตราเร็วเสียงในอากาศ และเสียงในตัวกลางของเหลวจะมีอัตราเร็วประมาณ 4 เท่าของเสียงในตัวกลางอากาศ สำหรับอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางบางชนิด ดูได้จากตารางดังต่อไปนี้

Copyright by Mahidol University

สำนักหอสมุด

ตารางที่ 2-5 อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางบางชนิด (43)

ตัวกลาง	อุณหภูมิ (°C)	อัตราเร็ว (m/s)
อากาศ	0	332
คาร์บอนไดออกไซด์	0	259
ไฮโดรเจน	0	1,284
น้ำกลั่น	25	1,498
น้ำทะเล	25	1,531
ปรอท	25	1,450
อลูมิเนียม	20	5,000
ทองแดง	20	3,750
ตะกั่ว	20	1,210
เหล็ก	20	5,200

อัตราเร็วของคลื่นเสียง (โดยประมาณ) ในอากาศแห้งที่ 0°C เท่ากับ 331 เมตร/วินาที และอัตราเร็วจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น โดยเป็นไปตามสมการ (44)

$$v_t = 331+0.6t \quad \text{---------- (7)}$$

เมื่อ v_t คือ อัตราเร็วของเสียงที่อุณหภูมิ t°C

t คือ อุณหภูมิของอากาศเป็น °C

ตัวอย่างเช่น อัตราเร็วของเสียงในอากาศแห้งที่อุณหภูมิ 25 °C คือ

$$v_{25} = 331+(0.6x225) = 346 \text{ เมตร/วินาที}$$

ในการคำนวณ อาจคำนวณหาอัตราความเร็วของเสียง ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น คือ

$$v = f\lambda \quad \text{---------- (8)}$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วของเสียงเป็น เมตร/วินาที

f คือ ความถี่ของเสียงเป็น เฮิรตซ์

λ คือ ความยาวคลื่นเสียงเป็น เมตร

Copyright by Mahidol University

ตัวอย่างเช่น เสียงที่มีความถี่ 10,000 เฮิรตซ์ในอากาศ จะมีอัตราเร็วเท่าใด กำหนดให้คลื่นเสียงมีความยาวคลื่น 3.31×10^{-2} เมตร

จาก $v = f\lambda$

$= (10{,}000\ \text{Hz}) \times (3.31 \times 10^{-2}\ \text{m})$

ดังนั้น อัตราเร็วของเสียงในอากาศ = 331 m/s

2.7.9 <u>ความเข้มของเสียง</u> (Intensity of sound)

เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ออกไปจากแหล่งกำเนิดเสียง จะนำเอาพลังงานติดตัวไปด้วย คลื่นเสียงตกกระทบลงบนพื้นที่ใด พื้นที่นั้นก็จะได้รับพลังงานจากคลื่นไป ความเข้มของคลื่นเสียง ณ จุดใด ๆ ก็คือ พลังงานของคลื่นเสียงที่ตกลงบนพื้นที่ 1 ตารางหน่วยที่ตั้งฉากกับแนวคลื่นนั้น ใน 1 หน่วยเวลา (45) ซึ่งมีสมการ ดังนี้

$$I = \frac{\frac{E}{t}}{A} \quad \text{---------- (9)}$$

หรือ $$I = \frac{P}{A} \quad \text{---------- (10)}$$

เมื่อ I คือ ความเข้มของเสียง มีหน่วยเป็น วัตต์/ตารางเมตร เสียงที่มีความเข้มมาก ๆ อาจเป็นอันตรายต่อหูเพราะเสียงจะมีพลังงานมาก จนทำให้เยื่อหูเกิดการสั่นด้วยแอมพลิจูดที่กว้างมาก ทำให้เป็นอันตรายต่อเยื่อหู และระบบกลไกต่าง ๆ ของการได้ยิน ซึ่งอยู่ภายในหู ตามปกติหูของมนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่มีความเข้มอยู่ระหว่าง 10^{-12} - 1 วัตต์/ตารางเมตร โดยไม่มีอันตรายต่อหู

2.7.10 <u>ระดับความเข้มของเสียง</u> (Intensity level of sound)

เนื่องจากหูมนุษย์ได้ยินเสียงที่มีความเข้มต่ำ ตั้งแต่น้อยมาก คือ 10^{-12} วัตต์/ตารางเมตร จนถึงเสียงที่มีความเข้มมากถึง 1 วัตต์/ตารางเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่มีขอบเขตกว้างมาก เทียบเป็นอัตราส่วนได้ถึง 10^{12} เท่า จึงนิยมใช้ในรูปของระดับความเข้มเสียง เพื่อแสดงความแตกต่างของความเข้ม ระหว่างเสียง 2 เสียง สมมติเป็น x และ y ซึ่งจะออกมาในรูปของเดซิเบล (decibel : dB) ดังนี้

Copyright by Mahidol University

ระดับความเข้มเสียงระหว่าง x และ y = $10 \log \frac{\text{(ความเข้มเสียงของ x)}}{\text{ความเข้มเสียงของ y}}$ เป็นเดซิเบล

เพื่อความสะดวก ในการใช้จึงเริ่มต้นที่ความเข้มของเสียงที่เบามาก ที่มนุษย์จะได้ยินแทนความเข้มของเสียง y ดังนั้น

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \text{----------} \ (11)$$

เมื่อ β คือ ระดับความเข้มเสียงเป็น เดซิเบล

I คือ ความเข้มของเสียงที่ต้องการวัดเป็น วัตต์/ตารางเมตร

I_0 คือ ความเข้มของเสียงเบามากพอที่จะได้ยิน คือ 10^{-12} วัตต์/ตารางเมตร

ตารางที่ 2-6 ระดับความเข้มเสียงจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ (46)

แหล่งกำเนิด	ระดับความเข้มเสียง (dB)	ความเข้มเสียง (W/m^2)	ความรู้สึก
เสียงดังที่หูเริ่มเจ็บปวด	110	1	เริ่มปวดแก้วหู
ฟ้าร้อง	110	10^{-1}	
เสียงปืนใหญ่			หนวกหู
เสียงตอกหมุดเหล็ก	100	10^{-2}	
เสียงรถไฟ	90	10^{-3}	
เสียงจากโรงงานอุตสาหกรรม			เสียงดังมาก
เสียงรถบรรทุก			
เสียงจากเครื่องเจาะที่ใช้ลม	80	10^{-4}	
ถนนที่มีการจราจรคับคั่ง	70	10^{-5}	
สำนักงานที่มีเสียงรบกวน			เสียงดัง
การสนทนาในบ้าน	60	10^{-6}	
เสียงรบกวนในบ้านที่มีคนทำงาน	50	10^{-7}	
เสียงตามปกติในสำนักงาน			ดังปานกลาง
เสียงวิทยุในบ้าน	40	10^{-8}	
เสียงในบ้านที่อยู่กันอย่างเงียบ ๆ	30	10^{-9}	
สำนักงานส่วนตัว			เงียบ

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 2-6 (ต่อ)

แหล่งกำเนิด	ระดับความเข้มเสียง (dB)	ความเข้มเสียง (W/m^2)	ความรู้สึก
โรงพยาบาล			
เสียงกระซิบ	20	10^{-10}	
เสียงใบไม้ไหว	10	10^{-11}	
ห้องเก็บเสียง			เสียงค่อยมากจนเกือบไม่ได้ยิน
เสียงเบาที่สุดที่หูเริ่มได้ยิน	0	10^{-12}	

2.7.11 อุลตราโซนิก (Ultrasonic)

เสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ขึ้นไปเรียกว่า อุตราโซนิก ซึ่งคลื่นนี้มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะสามารถได้ยิน แต่สัตว์บางชนิด เช่น สุนัข ค้างคาว อาจได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงของคลื่นอุลตราโซนิกได้ ค้างคาวสามารถส่งคลื่นอุลตราโซนิกออกไปด้วยความถี่ประมาณ 30,000 ถึง 100,000 เฮิรตซ์ เมื่อไปกระทบเข้ากับสัตว์หรือแมลงบางชนิด ก็จะสะท้อนกลับไปยังตัวค้างคาวอีก ทำให้ค้างคาวรู้ตำแหน่งของสัตว์เหล่านั้น และจะบินไปจับกินเป็นอาหารได้ เครื่องเรดาร์ก็ใช้หลักการเช่นเดียวกันนี้ด้วย คลื่นอุลตราโซนิกสามารถทำให้เกิดขึ้นได้ โดยใช้สิ่งประดิษฐ์แมกนิโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive devices) ซึ่งอาศัยคุณสมบัติของโลหะบางชนิด เช่น นิเกิล หรืออินวาร์ เมื่อถูกเหนียวนำด้วยสนามแม่เหล็กแล้ว จะเกิดเปลี่ยนแปลงขนาดและความยาวไป ทำให้เกิดการสั่นและเกิดคลื่นอุลตราโซนิกขึ้น อีกวิธีหนึ่งคือใช้ปรากฏการณ์พีซโซอิเล็กตริก (Piezoelectric effect) วิธีการคือให้กระแสไฟฟ้าสลับผ่านเข้าไปในวัสดุบางชนิด เช่น พวงผลึกและเซรามิกต่างๆ ซึ่งจะทำให้วัสดุเหล่านี้เกิดการสั่นผ่านทาง ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) เนื่องจากทรานสดิวเซอร์เป็นตัวที่ทำหน้าที่เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หรือจากพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า

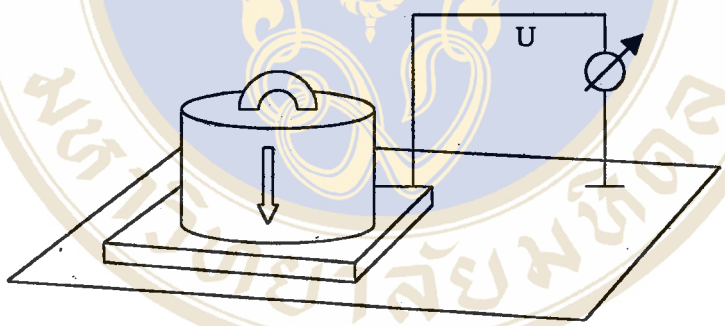
Copyright by Mahidol University

การกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิกการกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิกมีอยู่หลายวิธี ได้แก่

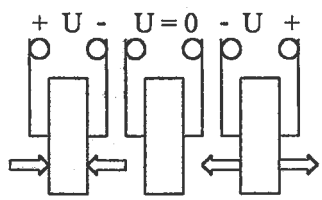
2.7.11.1 วิธีกล ใช้วิธีเดียวกับการทำเสียงดนตรี แต่เพิ่มระดับความถี่ของคลื่นเสียงให้สูงกว่า

2.7.11.2 วิธีใช้อำนาจแม่เหล็ก สารแม่เหล็ก (เช่น เหล็ก นิเกิล) เมื่อได้รับอำนาจจากสนามแม่เหล็ก ก็จะหดตัวหรือขยายตัว และในทำนองเดียวกันถ้าแท่งเหล็กถูกเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ก็จะมีอำนาจในการทำให้หดหรือขยายตัว ซึ่งผลอันนี้จะสามารถนำไปใช้ในการผลิตคลื่นกำลังสูง เมื่อมีความถี่สูง ๆ ได้

2.7.11.3 วิธีใช้อำนาจไฟฟ้าทำให้ผลึกเกิดการสั่นสะเทือน ด้วยปฏิกิริยา Piezoelectric ซึ่งเป็นวิธีการกำเนิดคลื่นวิธีเดียวที่นิยมใช้ในการตรวจสอบวัสดุอุปกรณ์ในการส่งและรับคลื่นอุลตราโซนิก จะถูกผลิตจากวัสดุแผ่นเล็ก ๆ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ตัดจากผลึกของสารบางชนิดที่เรียกว่า Piezoelectric crystal ปกติการจัดเรียงตัวของผลึก Piezoelectric จะอยู่ในสภาพสมดุล



ภาพที่ 2-22 Direct Piezoelectric effect



ภาพที่ 2-23 Reverse Piezoelectric effect

Copyright by Mahidol University

การทำงาน เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำกับแผ่นผลึกนี้ จะทำให้ความหนาของแผ่นผลึกเปลี่ยนแปลงไปไม่อยู่ในสภาพที่สมดุล ทั้งยังทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น หากฉาบผิวหน้าทั้งสองด้านของแผ่นผลึกด้วยโลหะเงิน จะสามารถต่อสายให้แรงเคลื่อนผ่านออกมาได้ ผลที่เกิดขึ้นเรียกว่า "Direct Piezoelectric effect" แรงที่กระทำนี้เมื่อกระทำในลักษณะของแรงสลับที่ต่อเนื่อง จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนกระแสสลับอย่างต่อเนื่องเช่นกัน และในลักษณะที่กลับกัน เมื่อจ่ายแรงเคลื่อนกระแสสลับให้กับแผ่นผลึกนี้ ผลึกก็จะเกิดการยืดและยุบตัว เมื่อแรงเคลื่อนกระแสสลับมีความถี่สูงๆ ความถี่เดียวกันกับความถี่ของแรงเคลื่อนที่ป้อนให้ ผลที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า "Reverse Piezoelectric effect" ด้วยแรงเคลื่อนประมาณ 300-1,000 โวลท์ กระตุ้นเป็นจังหวะ ๆ ครั้งละ 1/100,000 วินาที จึงจะสามารถกระตุ้นให้แผ่นผลึกที่มีความหนาเหมาะสม เกิดการสั่นที่ความถี่ธรรมชาติ (เกิดการกำทอน)ได้ แผ่นผลึกบางจะให้ความถี่ธรรมชาติได้สูงกว่าแผ่นผลึกที่หนากว่า เนื่องจากมันจะสร้างสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกได้ตั้งแต่เริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้า ผลึกของวัสดุ Piezoelectric บางชนิดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ผลึกของหินเขี้ยวหนุมาณ (Quartz) ซึ่งเป็นผลึกที่ใช้สร้างคลื่นสำหรับใช้ในงานตรวจสอบวัสดุในยุคต้น ๆ ผลึกที่ใช้สร้างคลื่นตามยาวและคลื่นตามขวาง จะได้จากผลึกที่ตัดในลักษณะต่างกัน เช่น ตัดตั้งฉากกับแกน X ของผลึก (X-cut) หรือการตัดตั้งฉากกับแกน Y ของผลึก (Y-cut)

ในปัจจุบันจะใช้ผลึกของหินเขี้ยวหนุมาณน้อยลงมาก โดยจะใช้สารเซรามิกที่ผลิตด้วยกรรมวิธีย่อยให้เป็นผงแล้วอัดประสานด้วยกาว หรือใช้สารอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติตามต้องการมาผลิต ดังปรากฏในตารางคุณสมบัติของสารต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างคลื่นอุลตราโซนิกสำหรับการตรวจ

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 2-7 คุณสมบัติของสารต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างคลื่นอุลตราโซนิก (46)

ชนิดของสาร / คุณสมบัติของสาร	ตะกั่วเซอร์โคเนต ไตตาเนต	แบเรียมไตตาเนต	ตะกั่วเมตาไบโอเนต	ลิเธียมซัลเฟต	หินเขี้ยวหนุมาณ	ลิเธียมไบโอเนต
ความเร็ว (เมตร/วินาที)	4,000	5,100	3,300	5,460	5,740	7,320
ความต้านทานต่อคลื่นเสียง (10^6 kg/ม^2 วินาที)	30	27	26.5	11.2	15.2	34
แฟคเตอร์การต่อนำไฟฟ้า K	0.6-0.7	0.45	0.4	0.38	0.1	0.2
Piezoelectric โมดูลัส d	150-593	125-190	85	15	2.3	6
ค่าคงที่ของการเปลี่ยนรูปของ Piezoelectric #	1.8-4.6	1.1-1.6	1.9	8.2	4.9	6.7
แฟคเตอร์การต่อนำไฟฟ้าของการสั่นตามรัศมี KP	0.5-0.6	0.3	0.07	0	0.1	-

ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้เป็นคลื่นอุลตราโซนิก ซึ่งเป็นพลังงานกล กับการเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ ข้อดีของวัสดุเหล่านี้คือมีคุณสมบัติ Piezoelectric และแฟคเตอร์ของการต่อนำคลื่นเสียงคงที่

d = Piezoelectric โมดูลัส จะบอกคุณสมบัติในการเป็นตัวส่งคลื่นอุลตราโซนิก

H = ค่าคงที่ของการเปลี่ยนรูป Piezoelectric จะเป็นตัวแสดงคุณสมบัติในการเป็นตัวรับส่งคลื่น จากตารางจะเห็นว่าตะกั่วเซอร์โคเนตไตตาเนต มีคุณสมบัติในการเป็นตัวส่งคลื่นที่ดี และลิเธียมซัลเฟตมีคุณสมบัติในการรับคลื่นที่ดี

K = Electromechanic coupling factor ซึ่งเป็นค่าทางทฤษฎีจะเป็นตัวแสดงประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า

ค่าคงที่เหล่านี้มีความสำคัญต่อการตรวจสอบด้วยเทคนิคคลื่นกล โดยใช้ผลึกเป็นทั้งตัวส่งและรับคลื่น ค่าต่าง ๆ ที่แสดงคุณสมบัติของตะกั่วเซอร์โคเนต แบเรียมไตตาเนต และตะกั่วเมตาไบโอเบต ซึ่งได้แสดงเปรียบเทียบในตารางแล้ว ในกรณีที่ทำการตรวจสอบจะต้องมีของเหลวที่มีค่าความต้านทานต่อคลื่นเสียง (Z) ต่ำ เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างหัวตรวจสอบกับผิวชิ้นงานที่จะทำการ

Copyright by Mahidol University

ตรวจสอบ ตัวผลิตคลื่นจะต้องมีค่า Z ต่ำ เพื่อลดการสูญเสียพลังงานของคลื่นที่ส่งออกไป ดังนั้น ตะกั่วเมตาไบโอเบต และลิเธียมซัลเฟตจึงถูกเลือกมาใช้เพราะมีค่า Z ต่ำที่สุด ค่า Kp ซึ่งเป็นค่าแฟคเตอร์การเชื่อมต่อสำหรับการสั่นในแนวรัศมี จะต้องมีค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จากข้อพิจารณาที่ตะกั่วเมตาไบโอเบต และลิเธียมซัลเฟตจึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด มีอยู่ตามธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้นมาได้ สำหรับการใช้ลิเธียมซัลเฟตจะมีปัญหาบ้าง เนื่องจากตัวมันเองสามารถละลายน้ำได้ ดังนั้น โดยทั่วไปจึงนิยมใช้ตะกั่วโคเนต ไตตาเนต แบเรียมไตตาเนต และตะกั่วเมตาไบโอเนต

2.7.12 ผลของคลื่นอุลตราโซนิก และการนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์พอสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.7.12.1 ทำให้เกิดความร้อน โดยสารบางอย่าง เช่น ลิพิด (Lipids) และโปรตีน เมื่อได้รับคลื่นอุลตราโซนิก ก็จะดูดซึมพลังงานเข้าไว้ ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงนำคลื่นอุลตราโซนิกไปใช้ทำความอบอุ่นให้แก่เนื้อเยื่อที่อยู่ระดับลึกลงไป ช่วยบรรเทาอาการเจ็บปวดตามข้อกระดูก

2.7.12.2 ทำให้เกิดเป็นอัมพาต โดยนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการทดลองกับกบแล้ว ปรากฏว่าเกิดอัมพาตขึ้นที่ขาหลังของกบ ถ้าปล่อยให้คนอยู่ในสนามของคลื่นอุลตราโซนิกเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้คนนั้นเกิดการเสียศูนย์การทรงตัว และการรวบรวมสติ

2.7.12.3 ใช้ทำความสะอาด ให้แก่เครื่องมือเครื่องใช้บางอย่างได้ ทั้งนี้เพราะคลื่นอุลตราโซนิกจะทำให้เกิดโมเลกุลของสารต่าง ๆ สั่น เครื่องมือเครื่องใช้จึงสะอาด ในโรงงานอุตสาหกรรม และโรงพยาบาลบางแห่ง ได้นำวิธีการนี้ไปใช้ในการทำความสะอาด เครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ อย่างได้ผล

2.7.12.4 ใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่มีความเข้มต่ำ ๆ ในการบำบัดรักษาโรคบางชนิดได้ เช่น ข้ออักเสบ (Arthritis) กล้ามเนื้ออักเสบ (Myositis) รูมาติซึม (Rheumatism) เป็นต้น อาจนำคลื่นอุลตราโซนิกที่มีความเข้มสูง ๆ มาใช้ในการควบคุมพวก Brain lesions ได้ พลังงานของคลื่นอุลตราโซนิกส์อาจช่วยเจาะหินปูนที่อยู่ในไตให้แตกออกได้ ทำให้แผลเป็นต่าง ๆ ละลายหายไปได้ และยังสามารถใช้ในการกรอฟันก่อนที่จะอุดได้ด้วย โดยไม่ทำให้เกิดเจ็บปวด หรืออาการเสียวฟันขึ้น

Copyright by Mahidol University

2.7.12.5 จากหลักการสะท้อนของคลื่น อาจใช้อุลตราโซนิกพัลส์ส่งผ่านเข้าไปในตัวคนไข้โดยตรง แล้วคอยรับเสียงสะท้อนกลับโดยใช้ทรานสดิวเซอร์เป็นตัวรับสัญญาณ ส่งต่อเข้าเครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier) แล้วให้สัญญาณแสดงออกทางจอภาพของออสซิลโลสโคป ทำให้สามารถตรวจดูอวัยวะภายในร่างกาย เช่น สมอง ทารกที่อยู่ในครรภ์มารดา เป็นต้น ความถี่ของอุลตราโซนิกพัลส์ที่ใช้อยู่ระหว่าง 1-20 เมกกะเฮิรตซ์

2.7.12.6 อุลตราซาวนด์ (Ultrasound) ที่ใช้เพื่อการวินิจฉัยทางการแพทย์นี้จะใช้ความเข้มต่ำ คือใช้ประมาณ 10^{-2} วัตต์/ตารางเมตร ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดเป็นอันตรายขึ้นแก่เนื้อเยื่อ พลังงานส่วนใหญ่ของคลื่นอุลตราโซนิกจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนให้แก่เนื้อเยื่อ ซึ่งถ้าอุลตราซาวนด์ที่มีความเข้มต่ำ ๆ ขนาด 10^{-2} วัตต์/ตารางเมตร จะไม่เกิดความร้อนมากพอที่จะทำอันตรายให้แก่เนื้อเยื่อได้ เหตุผลที่นิยมใช้อุตราซาวนด์ในการวินิจฉัยโรคก็คือสามารถที่จะทำให้เห็นบริเวณที่ต้องการวินิจฉัยได้ด้วยขนาดเล็กมาก คือประมาณ 1 ความยาวคลื่นของอุลตราซาวนด์เท่านั้น และยังสามารถวินิจฉัยได้ลึกลงไปในเนื้อเยื่อได้ถึงประมาณ 200 ความยาวคลื่น นอกจากนี้อาจนำคลื่น อุลตราโซนิกไปใช้กับเครื่องโซนาร์ เพื่อค้นหาตำแหน่งของเรือดำน้ำ ฝูงปลา หินโสโครก และความลึกของท้องทะเล เป็นต้น ทำได้โดยการส่งอุลตราโซนิกพัลส์ลงไปในน้ำ แล้วคอยรับสัญญาณคลื่นสะท้อนกลับ จับเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ไปและกลับเอาไว้ จากนั้นก็สามารถหาระยะทางได้ ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างเรือดำน้ำ 2 ลำ ก็อาจทำได้ง่ายโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิกนี้ ซึ่งตามปกติจะใช้ความถี่อยู่ระหว่าง 20,000 ถึง 100,000 เฮิรตซ์

Copyright by Mahidol University

บทที่ 3
วัตถุและวิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ซึ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ในการดำเนินการวิจัยได้แบ่งขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการเตรียมการ
3.2 ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ซักผ้าด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
3.3 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์
3.4 ขั้นตอนการทดลองในห้องปฏิบัติการ
3.5 ขั้นตอนการประมวลและวิเคราะห์ผล

3.1 ขั้นตอนการเตรียมการ

เป็นการรวบรวมเอกสาร ข้อมูลทุติยภูมิ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

3.1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับสารประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในผงซักฟอก

ส่วนประกอบของผงซักฟอกมีมากมายหลายชนิดแตกต่างกันออกไปแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต แต่ส่วนประกอบหลักทั้งที่สามารถละลายได้ในน้ำ และละลายได้ในไขมัน มีดังนี้

3.1.1.1 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ซึ่งมีส่วนประกอบของสารเคมี 4 ประเภท คือ

1) แอนอิออนิก (Anionic) เป็นสารที่มีประจุไฟฟ้าลบ เนื่องจากโมเลกุลของสารเหล่านี้เมื่อละลายน้ำจะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ได้แก่ Alkyl sulfate, Alkyl ether sulfate, Sodium alkyl benzene sulfonate และ Sodium benzene sulfonate เป็นต้น

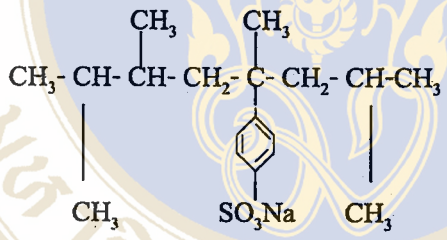
Copyright by Mahidol University

2) นอนอิออนิก (Nonionic) เป็นสารที่มีโมเลกุลที่ละลายน้ำจะไม่มีประจุไฟฟ้า แต่สามารถดึงดูดกับน้ำทำให้เกิดการละลายได้ เช่น Alcohol ethoxylates, Alkyl phenol และ Ethyl orylated

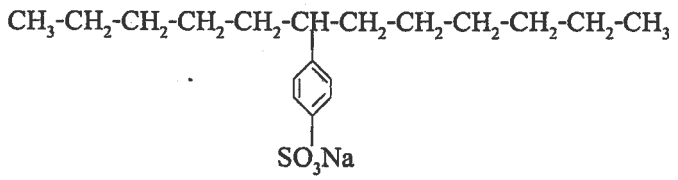
3) แคทอิออนิก (Cationic) เป็นสารที่มีโมเลกุลที่ละลายน้ำจะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ได้แก่ Quarternary ammonium หรือ Pyridinium salt เช่น Alkyl trimethyl ammonium halides

4) แอมโฟเทอริก (Amphoteric) เป็นสารที่มีโมเลกุลที่ละลายน้ำ จะสามารถเป็นได้ทั้งประจุบวกและประจุลบ ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด และด่างของน้ำ เช่น Alkyl betain

สารลดแรงตึงผิว Hard detergent คือ Alkyl benzene sulfonate (ABS) หรือ Branch alkyl sulfonate (BAS) ซึ่งมีอยู่ในผงซักฟอกประมาณ 12-13 เปอร์เซ็นต์ มีสูตรโครงสร้างทางเคมี ดังนี้



สารลดแรงตึงผิว Soft detergent คือ Linear alkyl benzene sulfonate (LAS) ซึ่งมีสูตรคล้ายกับ Hard detergent แต่เป็น Linear chain ดังนี้



สารลดแรงตึงผิวทั้งชนิด ABS และ LAS เมื่อละลายน้ำแล้วจะมีคุณสมบัติดังนี้

1) ลดแรงตึงผิวของน้ำ (Lowering of surface)ทำหน้าที่ขจัดคราบและความสกปรก

2) การทำให้เปียก (Wetting) โดยการทำให้ผิวสัมผัสเปียกมากขึ้นอย่างทั่วถึง เพื่อสะดวกในการทำความสะอาดและชำระล้าง

3) การดึงสิ่งสกปรกออกจากผิว (Detergency) ทำหน้าที่ลดแรงดึงดูด ระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นที่ผิวสัมผัส

Copyright by Mahidol University

4) การแขวนลอยในน้ำ (Emulsion) ทำหน้าที่ขจัดคราบน้ำมัน ซึ่งไม่ละลายน้ำ ทำให้เกิดการแขวนลอยอยู่ในน้ำ และสามารถขจัดออกไปได้

5) การป้องกันการกลับเข้าจับใหม่ (Suspension preventation of redeposition) ทำหน้าที่ในการดึงเอาสิ่งสกปรกที่ถูกขจัดออก มาแขวนลอยอยู่ในน้ำไม่ให้กลับเข้าไปเกาะติดกับผิวสัมผัสอีก

3.1.1.2 Builder เป็นสารประกอบที่ซับซ้อนของเกลือฟอสเฟต ทำหน้าที่เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ Surfactant นอกจากนี้ยังไม่ทำให้สิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่หลุดออกจากเส้นใยเข้าจับใหม่ได้ ทำหน้าที่ช่วยแก้ความกระด้างของน้ำโดยทำให้แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนิเซียม (Mg^{2+}) ตกตะกอน ซึ่งได้แก่สารโซเดียมฟอสเฟต และไตรไพโรฟอสเฟต ซึ่งทำให้เกิดฟองผสมอยู่ประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนผสมของเกลือโซเดียมซิลิเกต ทำหน้าที่ป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ และป้องกันสนิม มีส่วนผสมเท่ากับ 5-10 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติผงซักฟอกทั่วไปจะมี Builder ผสมอยู่ประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์

3.1.1.3 Sud regulators เป็นสารที่เติมลงไปในผงซักฟอกเพื่อทำหน้าที่เป็นตัว Stabilizer หรือ Suppressor ซึ่งมีผลต่อการลดและเพิ่มฟองตามต้องการ โครงสร้างทางเคมีของสารนี้จะเป็นลูกโซ่ยาว ๆ ของพวก Fatty acid และ Silica มีคุณสมบัติเป็น Hydrophobic ได้แก่ Lauryl alcohol alkyl sulfate ได้แก่ Lauric ethanolamine alkyl benzene sulfonate

3.1.2 <u>ข้อมูลเกี่ยวกับประเภท และชนิดของสารมลทินที่ติดอยู่บนเส้นใยผ้า</u>

เนื่องจากสารมลทินที่ปนเปื้อนอยู่บนเนื้อผ้าที่ทำการศึกษานี้เป็นฝุ่นละอองหรือดินโคลน และคราบเหงื่อไคล ที่เป็นรอยเปื้อนตามปกติของการสวมใส่โดยทั่วไป ดังนั้น ก่อนที่จะดำเนินการทดลองซักผ้าตัวอย่าง จึงจำเป็นต้องศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติด้านฟิสิกส์ และเคมีของสารมลทินต่าง ๆ ดังกล่าวนี้

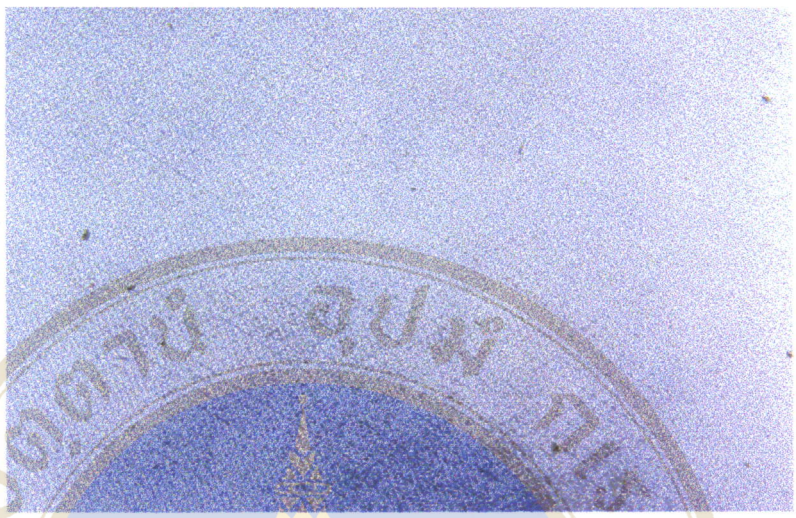
ฝุ่นละออง เป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กที่ปะปนอยู่ในอากาศ เกิดจากการสัญจรของยานพาหนะ การก่อสร้าง และการพัดพาของลม ฝุ่นละอองมีมากมายหลายชนิด ได้แก่ เศษดิน หิน ทราย เขม่าจากท่อไอเสียของยานพาหนะ และโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จากภาพที่ 3-1 นี้ได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเกาะยึดของฝุ่นละอองที่อยู่บนเนื้อผ้า

Copyright by Mahidol University

ภาพที่ 3-1 ลักษณะการเกาะยึดของฝุ่นละอองที่ปรากฏบนเนื้อผ้า

ภาพที่ 3-2 ลักษณะการเกาะยึดของดินโคลนที่ปรากฏอยู่บนเนื้อผ้า

Copyright by Mahidol University



ภาพที่ 3-3 ลักษณะการเกิดคราบเหงื่อไคลที่ปรากฏบนคอปกเสื้อ

3.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของเส้นใยชนิดต่าง ๆ

คุณสมบัติของใย ด้านฟิสิกส์ และเคมี มีอยู่ 13 ชนิด ได้แก่

3.1.3.1 ความยาว

3.1.3.2 ความมัน

3.1.3.3 ความต้านแรงดึง

3.1.3.4 ความยืดหยุ่น

3.1.3.5 การนำความร้อน

3.1.3.6 การดูดความชื้น

3.1.3.7 การทำความสะอาด และการซัก

3.1.3.8 ปฏิกิริยาต่อสารฟอกขาว

3.1.3.9 ปฏิกิริยาต่อความร้อน

3.1.3.10 ความคงทนต่อเห็ดรา

3.1.3.11 ความทนแสง และอากาศภายนอก

3.1.3.12 ปฏิกิริยาต่อด่าง และกรด

3.1.3.13 การดูดสีย้อม

Copyright by Mahidol University

3.1.4 ข้อมูลเกี่ยวกับหลักการทางฟิสิกส์ และเคมีพื้นฐาน ที่จะทำให้สารมลทินที่เกาะอยู่ในเส้นใยผ้า หลุดออกได้

การพิจารณาแรงภายนอก และแรงภายในของระบบอนุภาค โดยปกติแล้วอนุภาค กลุ่มอนุภาค หรือวัตถุจะไม่อยู่โดดเดี่ยวตามลำพัง แต่จะอยู่ท่ามกลางอนุภาคอื่น ๆ หรือวัตถุอื่น ๆ และจะมีอันตรกิริยากับสิ่งเหล่านั้นด้วย เช่น มีแรงดึงดูดต่อกันและกัน ในส่วนที่ผู้วิจัยเลือกพิจารณานั้นเป็นอนุภาคเดียว หรือกลุ่มอนุภาค สารมลทินจุดเดียวหรือหลาย ๆ จุด เรียกรวมกันว่าระบบ แรงระหว่างอนุภาคหรือวัตถุภายในระบบเรียกว่า แรงภายใน แรงระหว่างอนุภาคหรือวัตถุภายในระบบกับสิ่งต่าง ๆ นอกระบบ เรียกว่า แรงภายนอก เมื่อพิจารณาผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อระบบ แรง F จะเท่ากับผลรวมของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อแต่ละอนุภาค แรงกระทำต่อแต่ละอนุภาค หรือสารมลทินมีอยู่ 2 ส่วน คือ แรงภายใน F_j^{int} กับแรงภายนอก F_j^{ext}

นั่นคือ $$F = \sum_{j=1}^{n} F_j^{ext} + \sum_{j=1}^{n} F_j^{int} \quad \text{----------} (1)$$

แต่ผลรวมแรงภายในของระบบเป็นศูนย์

$$\sum_{j=1}^{n} F_j^{int} = 0$$

จะได้ $$F = \sum_{j=1}^{n} F_j^{ext}$$

ซึ่งหมายความว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อระบบจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงภายนอกทั้งหมดที่กระทำต่อแต่ละอนุภาค

ดังนั้น สารมลทินแต่ละอนุภาคจะได้รับแรงกระตุ้นที่เกิดจากคลื่นความถี่สูง ซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลซ์ วินาทีละ 2.773 กรัม

ในการพิจารณาการเคลื่อนที่ของศูนย์กลางมวลของกลุ่มอนุภาคที่ได้รับแรงภายนอก เมื่อพิจารณากลุ่มอนุภาค คือสารมลทินที่ไม่เป็นอิสระ หรือไม่อยู่โดดเดี่ยว คือได้รับแรงกระทำจากภายนอก จากสมการโมเมนตัมรวมของระบบ ดังนี้

$$P = \sum_{i=1}^{n} P_i = MV_{CM}$$

และ $$\frac{dP}{dt} = \frac{Md(V_{CM})}{dt} = Ma_{CM} = F^{ext} \quad \text{----------} (2)$$

Copyright by Mahidol University

ซึ่ง P = โมเมนตัมรวมของระบบ

F^{ext} = แรงกระทำจากภายนอก

จากสมการที่ 2 หมายความว่าศูนย์กลางมวลของระบบใด ๆ จะเคลื่อนที่เสมือนเป็นอนุภาค ซึ่งมีมวลเท่ากับมวลทั้งหมดของระบบ และถูกกระทำไปโดยแรงภายนอกทั้งหมดที่กระทำต่อระบบ

ดังนั้น อนุภาคของสารมลทินที่เกาะอยู่บนเนื้อผ้า หรือภายนอกโครงสร้างผ้า ซึ่งมีมวลเท่ากับมวลทั้งหมดของระบบ จะถูกกระทำโดยแรงที่เกิดขึ้นจากคลื่นเสียงความถี่สูงทั้งหมดที่กระทำต่อระบบด้วยเช่นเดียวกัน

3.1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร ตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร ตามราชกิจจานุเบกษา เล่ม 107 ตอนที่ 18 ลงวันที่ 30 มกราคม 2533 (ดูจากภาคผนวก ก)

3.2 ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ซักผ้าด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

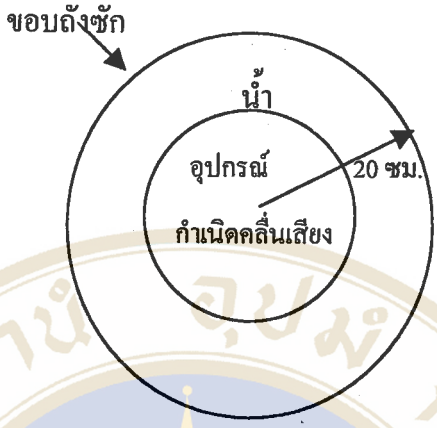
3.2.1 ศึกษาระดับความเข้มและการกระจายของคลื่นเสียง ให้เหมาะสมกับภาชนะบรรจุและน้ำหนักของผ้าตัวอย่าง เพื่อพิจารณาเลือกใช้ขนาดกำลัง และจำนวนหัวสั่น

3.2.1.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนรูป ของพลังงานเสียงที่มีความถี่สูงเป็นพลังงานกล

1) พลังงานเสียง เสียงเกิดจากการสั่นของหัวสั่นซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียง หัวสั่นที่ใช้ในการทดลองซักเป็นหัวสั่นขนาด 70 วัตต์ จำนวน 2 หัว รวมพลังงานเสียงทั้งหมดเท่ากับ 140 วัตต์

Copyright by Mahidol University

2) ความเข้มของเสียงที่กระจายออกไปจากแหล่งพลังงาน



ภาพที่ 3-4 รัศมีการแผ่กระจายของคลื่นเสียงความถี่สูงที่อยู่ภายในถังซักผ้า เมื่อมองจากด้านบน

เมื่อพิจารณาต้นกำเนิดเสียงที่มีลักษณะเป็นจุดแผ่กระจายออกไปเป็นรูปวงกลม ห่างออกไปจากแหล่งกำเนิดเสียง 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับดังนี้

จาก $I = \frac{P}{4\pi r^2}$

ซึ่ง I = ความเข้มเสียง (วัตต์/ตารางเมตร)

P = แอมพลิจูดของความดัน (วัตต์)

r = ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและจุดรับเสียง (เมตร)

ความเข้มเสียงที่ระยะ 10 เซนติเมตร จากศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดเสียง

$$I = \frac{140}{4\pi(0.10)^2}$$

$$= 1{,}114.08 \text{ วัตต์/ตารางเมตร}$$

Copyright by Mahidol University

ความเข้มเสียงที่ระยะ 15 เซนติเมตร จากศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดเสียง

$$I = \frac{140}{4\pi(0.15)^2}$$

$$= 495.15 \quad \text{วัตต์/ตารางเมตร}$$

ความเข้มเสียงที่ระยะ 20 เซนติเมตร จากศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดเสียง

$$I = \frac{140}{4\pi(0.20)^2}$$

$$= 278.52 \quad \text{วัตต์/ตารางเมตร}$$

3) อัตราเร็วของเสียงในน้ำ

$$C = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

ซึ่ง C = อัตราเร็วของเสียง เมตร/วินาที

B = มอดุลัสเชิงปริมาตรของน้ำ $B = \frac{1}{k}$ เมื่อ k คือสภาพอัดได้ของน้ำ มีค่าเท่ากับ 45.8×10^{-11} Pa^{-1}

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ = 1.0×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น $$C = \sqrt{\frac{1 \times 10^{11}}{45.8 \times 1.0 \times 10^3}}$$

$$= 1{,}478 \quad \text{เมตร/วินาที}$$

แต่อัตราเร็วที่ได้มีค่ามากกว่า 4 เท่า ของอัตราเร็วของเสียงในอากาศ ณ อุณหภูมิปกติ ดังนั้น ความยาวของคลื่นเสียงในน้ำจะมีค่าเท่ากับ

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

ซึ่ง λ = ความยาวของเสียงในน้ำ (เมตร)

C = ความเร็วของเสียง (เมตร/วินาที)

Copyright by Mahidol University

f = ความถี่ของเสียง (เฮิรตซ์)

แทนค่า $\lambda = \frac{1,478}{28 \times 10^3}$

$= 0.0528$ เมตร

ดังนั้น ในเวลา 1 วินาที เสียงคลื่นความถี่สูงขนาด 28 กิโลเฮิรตซ์ จะมีความยาวคลื่นในน้ำเท่ากับ 0.0528 เมตร

4) การพิจารณาแรงที่เกิดจากคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ณ ระยะห่างจากต้นกำเนิดเสียง 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ

จาก $I = \frac{P}{A} = \frac{W}{A.t} = \frac{F.S}{A.t} = \frac{F.C}{A} = \frac{F.\lambda.f}{A}$

ซึ่ง I = ความเข้มเสียง (วัตต์/ตารางเมตร)

F = แรงที่กระทำจากคลื่น (นิวตัน)

λ = ความยาวคลื่นเสียงในน้ำ (เมตร)

f = ความถี่ของคลื่นเสียง (เฮิรตซ์)

A = พื้นที่หน้าตัดของผ้าตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (ตารางเมตร)

แรงที่กระทำจากคลื่น ที่ระยะ ห่าง 10 เซนติเมตร จากศูนย์กลางของหัวสั่น

$F = \frac{1,114.08 \times (0.38)^2}{0.0528 \times 28 \times 10^3}$

$= 0.1088$ นิวตัน

$= 0.0111$ กิโลกรัม

$= 11.10$ กรัม

Copyright by Mahidol University

แรงที่กระทำจากคลื่น ที่ระยะ ห่าง 15 เซนติเมตร จากศูนย์กลางของหัวสั่น

$$F = \frac{495.15x(0.38)^2}{0.0528x28x10^3}$$

$$= 0.0484 \text{ นิวตัน}$$

$$= 0.00493 \text{ กิโลกรัม}$$

$$= 4.93 \text{ กรัม}$$

แรงที่กระทำจากคลื่น ที่ระยะ ห่าง 20 เซนติเมตร จากศูนย์กลางของหัวสั่น

$$F = \frac{278.52x(0.38)^2}{0.0528x28x10^3}$$

$$= 0.0272 \text{ นิวตัน}$$

$$= 0.002773 \text{ กิโลกรัม}$$

$$= 2.773 \text{ กรัม}$$

ในที่นี้จะคิดระยะห่างเฉลี่ยจากจุดศูนย์กลางของอุปกรณ์กำเนิดคลื่นเสียง ถึงขอบผนังซักผ้า เท่ากับ 10 เซนติเมตร เท่านั้น เนื่องจากผ้าที่ทำการซักจะไม่อยู่ติดกับผนังซัก หรือเกาะอยู่ที่บริเวณอุปกรณ์กำเนิดคลื่นเสียง ดังนั้น แรงจากการสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง 28 กิโลเฮิรตซ์ จึงมีขนาดเท่ากับ 11.10 กรัม ต่อพื้นที่ผืนผ้าตัวอย่างขนาด 1,444 ตารางเซนติเมตร ในเวลา 1 วินาที

3.2.2 <u>ออกแบบและเขียนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ วงจรไฟฟ้า สำหรับควบคุมการทำงานของหัวสั่น</u>

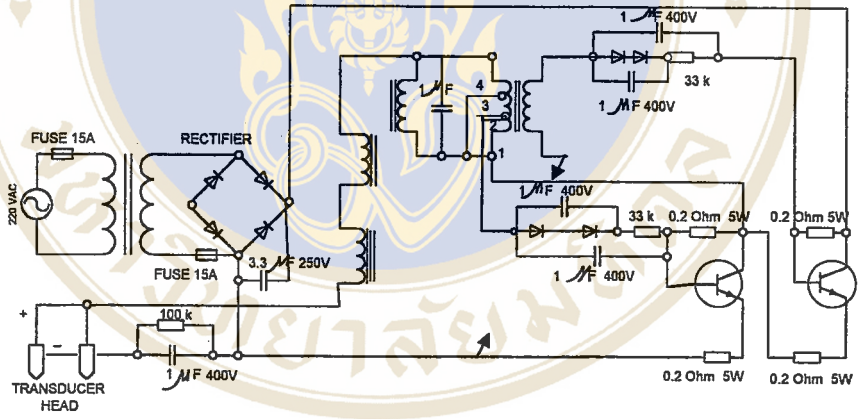
ในการออกแบบและสร้างได้พิจารณาจากองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 3 ประการ คือ

3.2.2.1 ความสะดวกในการใช้ร่วมกับเครื่องซักผ้าที่มีอยู่แล้วได้ ทั้งนี้โดยให้มีการดัดแปลงน้อยที่สุด เนื่องจากในปัจจุบันนี้ภายในครัวเรือนส่วนใหญ่ของประเทศจะมีเครื่องซักผ้าใช้กันอยู่แล้ว ซึ่งอาจจะเป็นแบบถังเดี่ยว ถังคู่ แบบถังนอน หรือถังตั้ง ในที่นี้ผู้วิจัยได้กำหนด

Copyright by Mahidol University

ขอบเขตที่จะทำการศึกษาเฉพาะถังตั้งแบบถังเดี่ยว เนื่องจากสามารถทำการติดตั้งอุปกรณ์ซักผ้าที่ทำงานด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงได้ง่ายกว่า และไม่ต้องเสียเวลาในการย้ายผ้าไปอีกถังหนึ่งเมื่อจะทำการสะบัดให้แห้ง

3.2.2.2 ขนาดกำลังของหัวสั่น ที่สามารถแผ่กระจายคลื่นเสียงในรัศมีโดยรอบอย่างทั่วถึง ในการพิจารณาเลือกใช้หัวสั่นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนั้น ได้เลือกใช้ความถี่ 28 กิโลเฮิรตซ์ เนื่องจากเป็นคลื่นที่มีความเหมาะสมในการทำความสะอาด จากรายงานการวิจัย คลื่นความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการทำความสะอาดอยู่ในช่วงความถี่ 20 – 30 กิโลเฮิรตซ์ หากความถี่สูงมากไปกว่านี้การทำความสะอาดจะไม่ได้ผล อีกประการหนึ่งขนาดที่มีจำหน่ายมีแต่ 28 กิโลเฮิรตซ์ 70 วัตต์ ดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังงานในการสั่นมีรัศมีที่กว้างออกไปเหมาะสมกับขนาดของถังซัก จึงได้ใช้จำนวน 2 หัว รวมกำลังงาน 140 วัตต์ ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการผลิตคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงสำหรับใช้กับอุปกรณ์ซักผ้าดังกล่าวดูได้จากภาพที่ 3-5



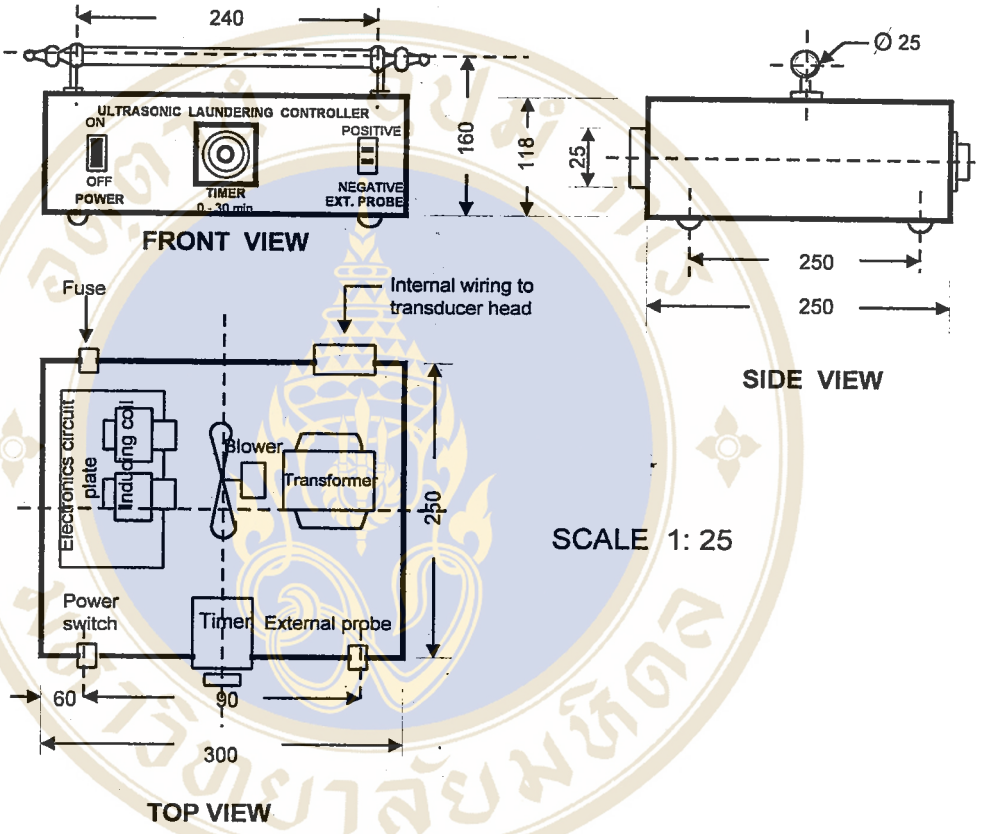
ภาพที่ 3-5 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการผลิตคลื่นเสียงความถี่สูง ขนาดกำลัง 140 วัตต์

3.2.2.3 ความเหมาะสมในรูปร่างและขนาดของอุปกรณ์กำเนิดคลื่นเสียง ที่สามารถจุ่มลงในถังซักของเครื่องซักผ้าได้ ในการพิจารณาได้คำนึงถึงปริมาตรของถังซัก น้ำหนักของผ้า และปริมาณน้ำที่อยู่ภายในถังซัก นอกจากนั้นยังจะต้องดูลักษณะและตำแหน่งของบริเวณที่จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ซักผ้าด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง โดยที่ไม่มีกระทบในด้านการหมุนเวียนของผ้า และสิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ทำอย่างไรจึงจะให้คลื่นเสียงความถี่สูงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ดัง

Copyright by Mahidol University

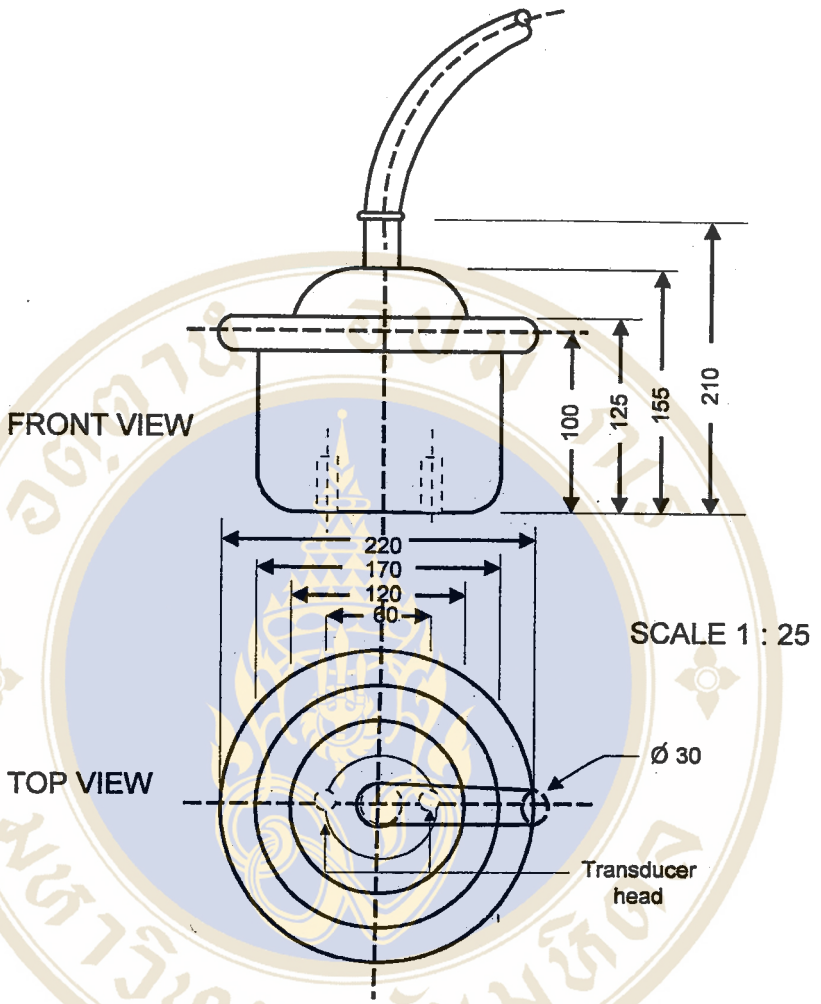
กล่าวนี้ สามารถส่งกระจายผ่านน้ำไปยังผ้าที่ทำการซักได้โดยรอบ ที่มีรัศมีของขอบเขตในการซักทุกด้านใกล้เคียงกัน เพื่อให้ได้ผลที่เกิดจากการซักไม่แตกต่างกัน

3.2.3 <u>ออกแบบชิ้นส่วน และอุปกรณ์สำหรับการติดตั้งหัวสั่นและแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์</u>



<u>ภาพที่ 3-6</u> อุปกรณ์สำหรับการติดตั้งแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

Copyright by Mahidol University



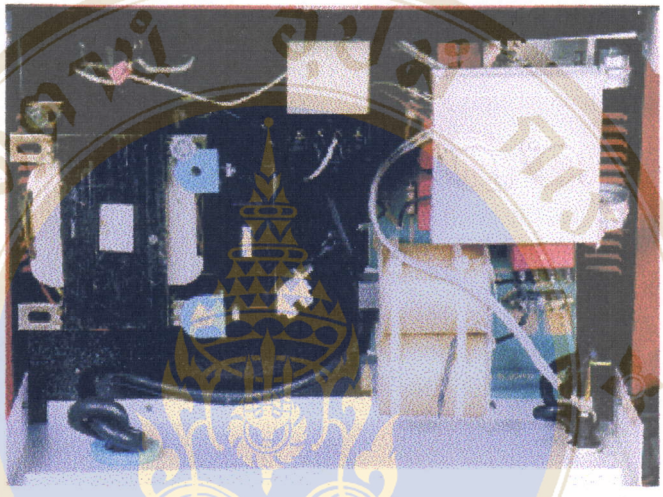
ภาพที่ 3-7 อุปกรณ์สำหรับการติดตั้งหัวสั่น

Copyright by Mahidol University

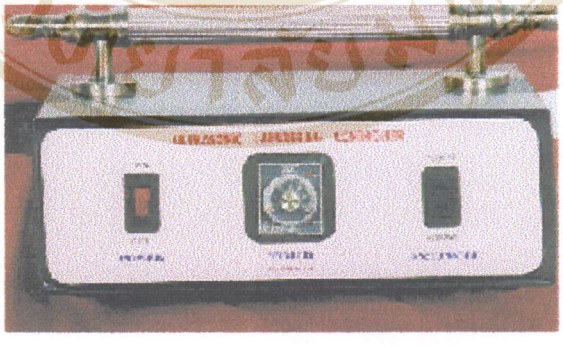
3.3 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์

3.3.1 จัดหาวัสดุที่ใช้ในการสร้างตามแบบ หรือวงจรที่ได้ออกแบบไว้

3.3.2 ดำเนินการประกอบชิ้นส่วน และอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ แผงวงจร กล่องบรรจุ และวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงาน

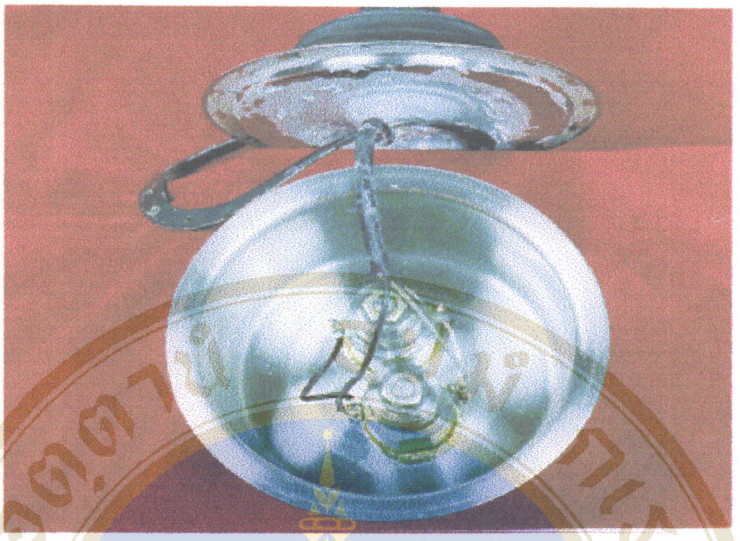


ภาพที่ 3-8 การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานของหัวสั่น



ภาพที่ 3-9 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานของหัวสั่นหลังจากประกอบเรียบร้อยแล้ว

Copyright by Mahidol University

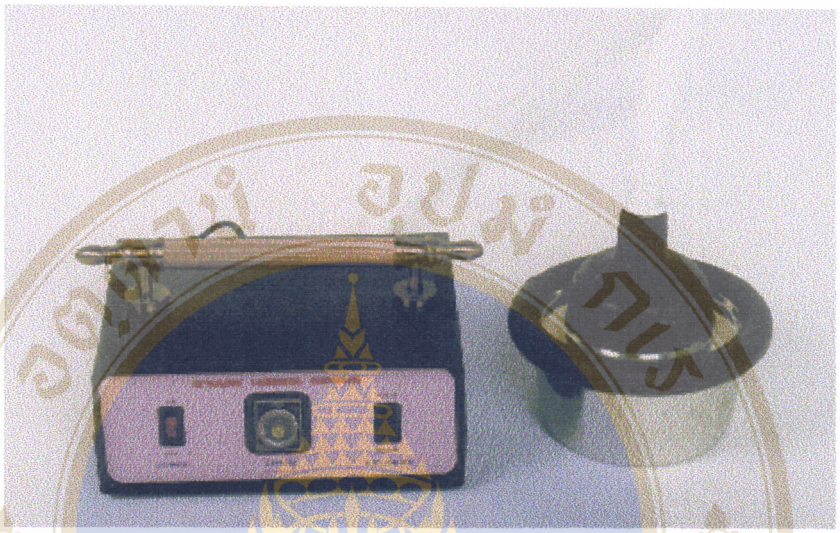


ภาพที่ 3-10 การติดตั้งหัวสั่นในภาชนะที่ใช้จุ่มลงในถังซักผ้า

ภาพที่ 3-11 ชุดหัวสั่นหลังจากการประกอบเรียบร้อยแล้ว

Copyright by Mahidol University

3.3.3 ตกแต่งความเรียบร้อย ทดสอบการทำงาน และความปลอดภัยของอุปกรณ์



ภาพที่ 3-12 อุปกรณ์ซักผ้าด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงภายหลังจากการสร้างและประกอบเสร็จ

3.4 ขั้นตอนการทดลองในห้องปฏิบัติการ

3.4.1 เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

3.4.1.1 เครื่องซักผ้าแบบอัตโนมัติ มีแกนหมุนซักในแนวตั้ง ขนาดแรงดันไฟฟ้า 220-230 โวลท์ 50 เฮิรตซ์ กำลังไฟฟ้า 380 วัตต์ ความสามารถในการซักแต่ละครั้ง 6 กิโลกรัม ปริมาณน้ำที่ใช้ในการซักสูงสุด 55 ลิตร ต่ำสุด 37 ลิตร ควบคุมการทำงานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ แรงดันน้ำที่ใช้ 0.2-8 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

3.4.1.2 อุปกรณ์ซักผ้าทำงานด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ขนาดความถี่ 28 กิโลเฮิรตซ์

3.4.1.3 เครื่องมือสำหรับการวัดค่า Parameter ต่างๆ ที่ใช้สำหรับงานวิศวกรรมสิ่งทอ

Copyright by Mahidol University

3.4.1.4 ผงซักฟอกที่ใช้ทดสอบตามมาตรฐานสิ่งทอ JIS L 0821

3.4.1.5 แบบบันทึกผลการทดลอง และตรวจสอบสภาพของผ้าตัวอย่าง ก่อนและหลังการทดลอง

3.4.1.6 มาตรฐานทั่วไปในการทดสอบคุณสมบัติของผ้าภายหลังจากการซัก (ดูจากภาคผนวก ข)

3.4.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองซักผ้า ได้ใช้กลุ่มตัวอย่างที่เลือกจากประชากรที่เป็นเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างนี้เป็นตัวแทนประชากรที่เป็นเสื้อผ้าจริง ๆ นั้น โดยได้พิจารณาเลือกมาจากผ้าชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตจากเส้นใยผสม จำนวน 6 ชนิด รวม 120 ชิ้น ได้แก่

3.4.2.1 ผ้าใยผสม T/R/L ระหว่างเทโทรอน 70% เรยอน และลินิน 30% ขนาดความกว้าง 38 เซนติเมตร ความยาว 38 เซนติเมตร (ตามมาตรฐานผ้าตัวอย่างสำหรับการทดสอบสิ่งทอของ JIS-L) จำนวน 20 ชิ้น

3.4.2.2 ผ้าใยผสม T/R/A ระหว่างเทโทรอน 65% เรยอน 17.5% และอาซิเตด 17.5% ขนาดความกว้าง 38 เซนติเมตร ความยาว 38 เซนติเมตร จำนวน 20 ชิ้น

3.4.2.3 ผ้าใยผสม T/W ระหว่างเทโทรอน 60% และขนสัตว์ 40% ขนาดความกว้าง 38 เซนติเมตร ความยาว 38 เซนติเมตร จำนวน 20 ชิ้น

3.4.2.4 ผ้าใยผสม T/C ระหว่างเทโทรอน 61% และฝ้าย 39% ขนาดความกว้าง 38 เซนติเมตร ความยาว 38 เซนติเมตร จำนวน 20 ชิ้น

3.4.2.5 ผ้าใยผสม T/C ระหว่างเทโทรอน 70% และฝ้าย 30% ขนาดความกว้าง 38 เซนติเมตร ความยาว 38 เซนติเมตร จำนวน 20 ชิ้น

Copyright by Mahidol University

3.4.2.6 ผ้าใยผสม T/C ระหว่างเทโทรอน 70% และฝ้าย 30% สีกรมท่า ขนาดความกว้าง 38 เซนติเมตร ความยาว 38 เซนติเมตร จำนวน 20 ชิ้น

3.4.3 ขั้นตอนการนำผ้าตัวอย่าง และน้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากเครื่องซักผ้า ที่ได้จากการทดลอง มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางเคมี

3.4.3.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของผ้าตัวอย่าง ประกอบด้วย Color change, Tensile strength, Shrinkage percentage และAppearance after laundering ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทดสอบสิ่งทอมาตรฐานของ JIS-L (Japanese Industrial Standard)

1) ด้านประสิทธิผล คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการซักผ้า ซึ่งทำการประเมิน 5 อย่าง ได้แก่

(1) ความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซัก (Color change) ในการทดลองซักผ้าตัวอย่างด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนั้น ได้ทำการทดลองตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน JIS L 0844 (Testing Methods for Color Fastness to Washing and Laundering) ซึ่งผลการทดลอง ปรากฏดังตารางในภาคผนวก ค

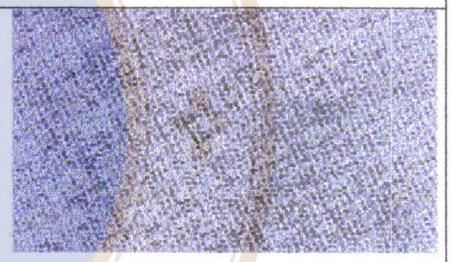
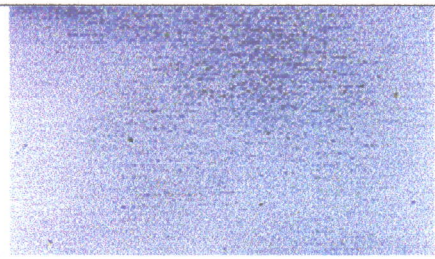
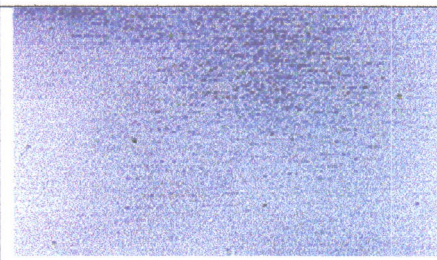
(2) ความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้า (Tensile strength) ในการทดลองซักผ้าตัวอย่างด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนั้น ได้ทำการทดสอบความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าตามมาตรฐาน ISO5081-1977(Textiles-Woven fabrics-Determination of breaking strength and elongation (Strip method) ซึ่งผลการทดลองปรากฏดังตารางในภาคผนวก ง

(3) การเปลี่ยนแปลงขนาดของผ้าตัวอย่าง ภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนั้น เป็นการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้า(Shrinkage percentage) ตามวิธีการของมาตรฐาน JIS L 1042(Testing methods for shrinkage percentage of woven fabrics) ซึ่งได้กำหนดขนาดของระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการวัดบนผืนผ้าตามแนวขวาง เท่ากับตามแนวยาว คือ 100 มิลลิเมตร ผลการทดลองปรากฏดังตารางในภาคผนวก จ

Copyright by Mahidol University

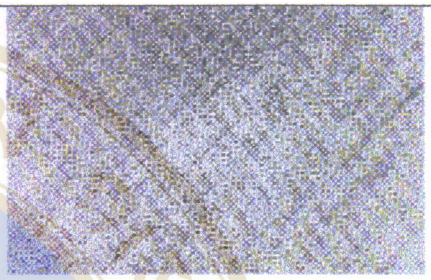
(4)สภาพที่ปรากฏบนเนื้อผ้าภายหลังจากการซัก (Appearance after laundering) ในการทดลองซักผ้าตัวอย่างด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนั้น ผลการสังเกตปรากฏดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3-1 การเปรียบเทียบสภาพที่ปรากฏบนเนื้อผ้าก่อนการซัก และภายหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ชนิดของผ้า	สภาพที่ปรากฏก่อนการซัก	สภาพที่ปรากฏหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T70%,R+L30%)		
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T 65%, R17.5%, A17.5%)		
3. ผ้าใยผสม T/W (T60%, W40%)		

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

ชนิดของผ้า	สภาพที่ปรากฏก่อนการซัก	สภาพที่ปรากฏหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก
4. ผ้าใยผสม T/C (T61%, C39%)		
5. ผ้าใยผสม T/C (T70%, C30%)		
6. ผ้าสี T/C (T70%, C30%)		

สรุปผลการเปรียบเทียบจากตารางที่ 3-1

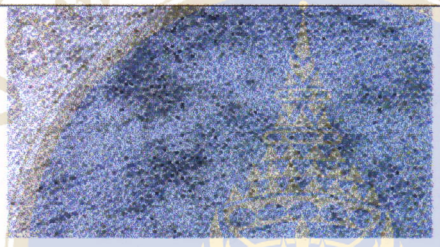
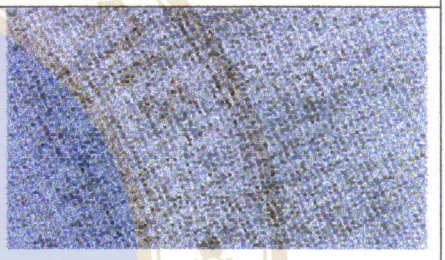
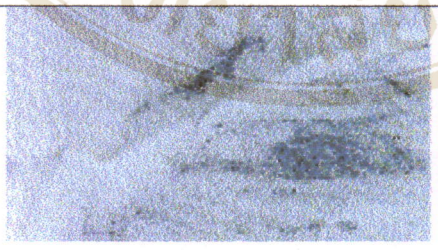
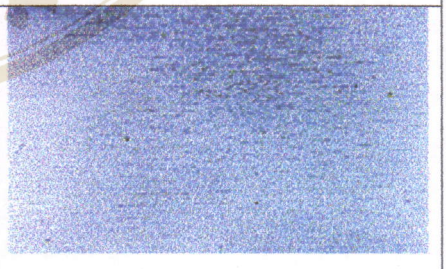
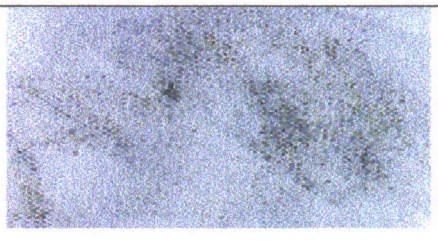
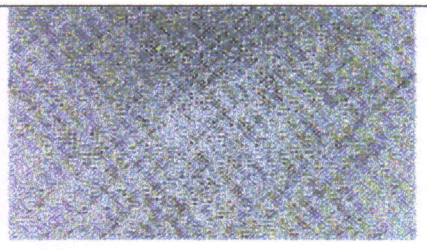
จากภาพในตารางเมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ของผ้าตัวอย่าง จากการสังเกตดูรอยเปื้อนเหงื่อไคล ของผ้าทุกชนิดก่อนการซัก และความสะอาดภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก จะเห็นว่าเนื้อผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นจากเดิม รอยเปื้อนที่ปรากฏบนผืนผ้าภายหลังจากการซักลดน้อยลง บางชนิดอาจสังเกตไม่เห็น แต่บางชนิดอาจจะคงสภาพแนวเปื้อน

Copyright by Mahidol University

สำนักหอสมุด

เล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี และทางฟิสิกส์ของเส้นด้าย ชนิดของเกลียวด้าย รวมไปถึงความหนาแน่นของเส้นด้ายที่ทอเป็นผืนผ้า

ตารางที่ 3-2 การเปรียบเทียบสภาพที่ปรากฏบนเนื้อผ้าก่อนการซัก และภายหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ชนิดของผ้า	สภาพที่ปรากฏก่อนการซัก	สภาพที่ปรากฏหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T70%,R+L30%)		
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T 65%, R17.5%, A17.5%)		
3. ผ้าใยผสม T/W (T60%, W40%)		
4. ผ้าใยผสม T/C (T61%, C39%)		

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

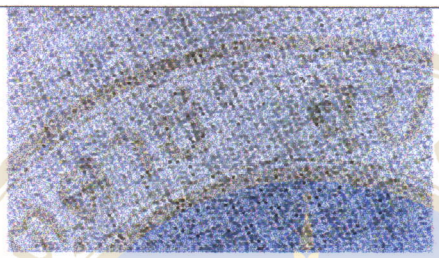
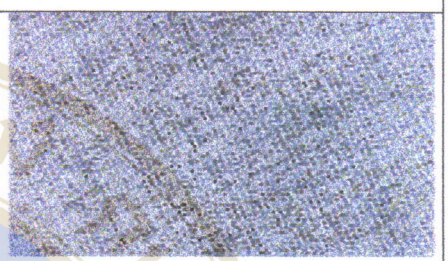
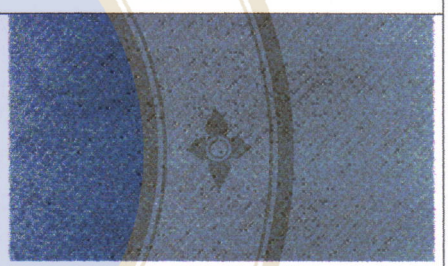
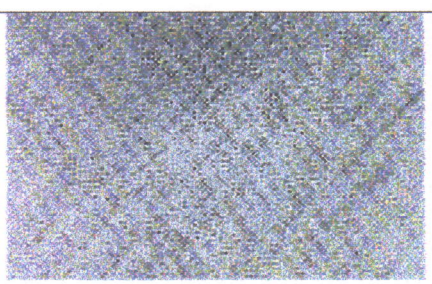
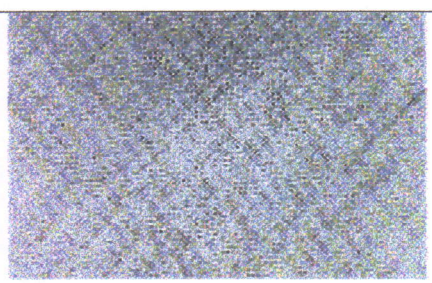
ชนิดของผ้า	สภาพที่ปรากฏก่อนการซัก	สภาพที่ปรากฏหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก
5. ผ้าใยผสม T/C (T70%, C30%)		
6. ผ้าสี T/C (T70%, C30%)		

สรุปผลการเปรียบเทียบจากตารางที่ 3-2

จากภาพในตารางเมื่อเปรียบเทียบลักษณะความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผ้าตัวอย่างจากการสังเกตดูรอยเปื้อนฝุ่นละอองของผ้าก่อนการซัก และความสะอาดภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก จะเห็นว่าผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นจากเดิมแทบสังเกตไม่เห็นรอยเปื้อนที่ปรากฏบนผืนผ้าเลย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฝุ่นนละอองมีการติดอยู่กับภายนอกผิวของเส้นด้าย หรือที่เกลียวด้ายเท่านั้น เป็นลักษณะของการเกาะยึดทางกายภาพ ไม่ใช่ทางเคมี จึงสามารถหลุดออกจากผิวของเส้นด้าย หรือเกลียวด้ายได้ง่าย การทำความสะอาดจึงกระทำได้ง่ายกว่า และค่อนข้างจะสะอาดกว่ารอยเปื้อนที่เกิดจากคราบเหงื่อไคล

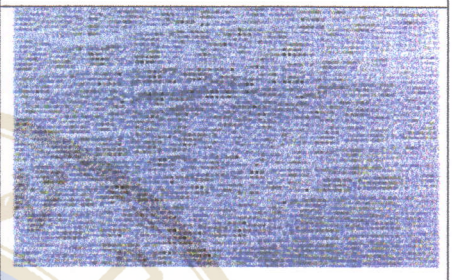
Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 3-3 การเปรียบเทียบสภาพที่ปรากฏบนเนื้อผ้าก่อนการซัก และภายหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ชนิดของผ้า	สภาพที่ปรากฏก่อนการซัก	สภาพที่ปรากฏหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T70%,R+L30%)		
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T 65%, R17.5%, A17.5%)		
3. ผ้าใยผสม T/W (T60%, W40%)		
4. ผ้าใยผสม T/C (T61%, C39%)		

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

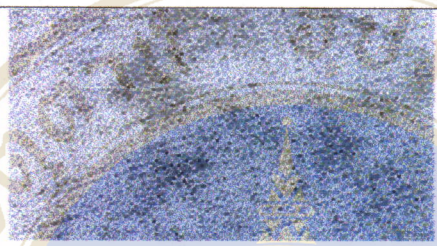
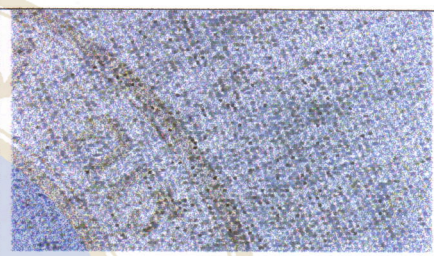
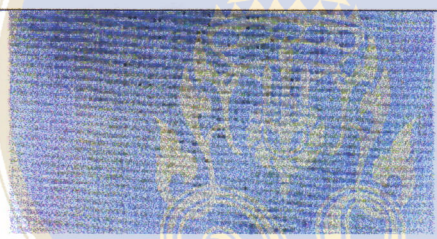
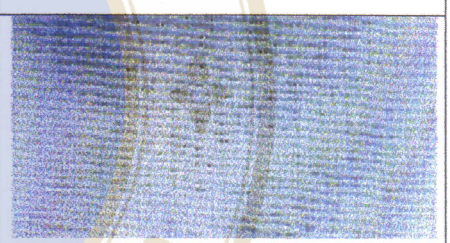
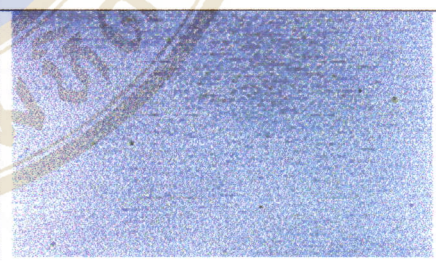
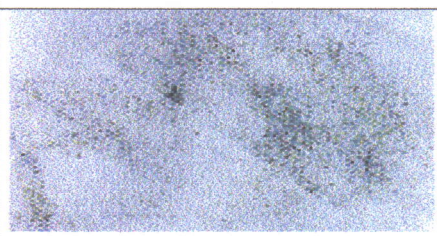
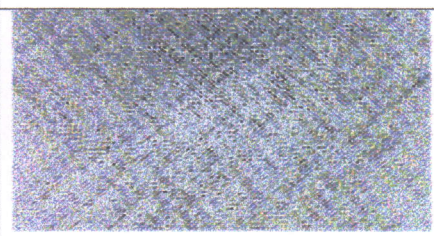
ชนิดของผ้า	สภาพที่ปรากฏก่อนการซัก	สภาพที่ปรากฏหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
5. ผ้าใยผสม T/C (T70%, C30%)		
6. ผ้าสี T/C (T70%, C30%)		

สรุปผลการเปรียบเทียบจากตารางที่ 3-3

จากภาพในตารางเมื่อเปรียบเทียบลักษณะความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผ้าตัวอย่างจากการสังเกตดูรอยเปื้อนเหงื่อไคลของผ้าทุกชนิดก่อนการซัก และความสะอาดภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง จะเห็นว่าผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นจากเดิม มีรอยเปื้อนปรากฏอยู่บนผืนผ้าน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามคราบเหงื่อไคลมีผลทางเคมีกับเคมีผ้าโดยตรง ซึ่งอาจจะมีความหมองคล้ำของสีผ้าบ้าง แรงสั่นสะเทือนเนื่องจากคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงอาจจะไม่มีผลโดยตรงต่อคราบเหงื่อไคลที่ฝังตัวซึมเข้าไปในเส้นใยหรือเส้นด้าย ที่มีส่วนผสมของฝ้ายได้มากนัก แต่ถ้าเนื้อผ้านั้นมีส่วนผสมของใยสังเคราะห์มาก การขจัดคราบเหงื่อไคลออกจากผิวของเส้นด้ายจะกระทำได้ค่อนข้างง่ายกว่า

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 3-4 การเปรียบเทียบสภาพที่ปรากฏบนเนื้อผ้าก่อนการซัก และภายหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ชนิดของผ้า	สภาพที่ปรากฏก่อนการซัก	สภาพที่ปรากฏหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T70%,R+L30%)		
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T 65%, R17.5%, A17.5%)		
3. ผ้าใยผสม T/W (T60%, W40%)		
4. ผ้าใยผสม T/C (T61%, C39%)		

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 3-4 (ต่อ)

ชนิดของผ้า	สภาพที่ปรากฏก่อนการซัก	สภาพที่ปรากฏหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
5. ผ้าใยผสม T/C (T70%, C30%)		
6. ผ้าสี T/C (T70%, C30%)		

สรุปผลการเปรียบเทียบจากตารางที่ 3-4

จากภาพในตารางเมื่อเปรียบเทียบลักษณะความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผ้าตัวอย่างจากการสังเกตดูรอยเปื้อนฝุ่นละอองของผ้าก่อนการซัก และความสะอาดภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง จะเห็นว่าผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นแทบไม่สังเกตเห็นรอยเปื้อนที่ปรากฏอยู่บนผืนผ้าเลย ทั้งนี้เนื่องจากว่าฝุ่นละอองมีคุณสมบัติในการยึดเกาะติดอยู่กับเส้นด้าย หรือเกลียวของด้ายในลักษณะทางกายภาพเท่านั้น ไม่ใช่ทางเคมี ดังนั้น เมื่อมีแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระทำของคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ก็จะส่งผลกระทบต่อการหลุดออกของฝุ่นละอองที่เกาะอยู่บนเนื้อผ้าได้ง่าย จึงทำให้ผ้าดูสะอาดขึ้นกว่าเดิม

Copyright by Mahidol University

3.4.3.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเคมีของน้ำทิ้ง ที่ปล่อยออกจากเครื่องซักผ้า ประกอบด้วย pH, BOD, COD, TDS, Total Phosphate และ Hardness โดยทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ คุณภาพของน้ำทิ้งภายหลังจากการซัก(Waste water quality after laundering) ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ได้นำไปวิเคราะห์ที่คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ ผลการวิเคราะห์ปรากฏดังตารางในภาคผนวก ฉ

2) <u>ด้านสมรรถนะ</u> คือ ความสามารถในการซักผ้า ที่มีเนื้อหนาบาง อัตราค่าใช้จ่ายขณะทำการซัก และระยะเวลาที่ใช้ในการซัก ผลปรากฏดังตารางในภาคผนวก ช

3) <u>ด้านประสิทธิภาพในการซัก</u> คือ การหาอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเปลี่ยนแปลงของสีผ้า (Color change) เนื่องจากความสกปรกก่อนการซัก (Input) และภายหลังจากการซัก (Output) ผลปรากฏดังตารางในภาคผนวก ซ

3.5 ขั้นตอนการประมวลและวิเคราะห์ผล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มาประมวลผล และวิเคราะห์ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ในด้านประสิทธิผล สมรรถนะ และประสิทธิภาพ ซึ่งจะศึกษาโดยพิจารณาจากข้อมูลที่ได้ในห้องปฏิบัติการเป็นหลัก รวมทั้งวิเคราะห์ข้อเท็จจริงจากกระบวนการซักทั้งสองกรรมวิธีเพื่อประเมินผลในเชิงเปรียบเทียบ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ ใช้ค่าเฉลี่ย $\overline{X}$ สำหรับการหาค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองซ้ำ ของค่า Parameter ต่าง ๆ ใช้ S.D. เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ t-test สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการซักแต่ละกรณี ทั้ง 2 วิธี โดยใช้ค่านัยสำคัญทางสถิติ(α) ที่ระดับ 0.01 ในด้าน Color change, Tensile strength, Shrinkage percentage สำหรับการหา Appearance after laundering นั้น ใช้วิธีการสังเกตเปรียบเทียบ

Copyright by Mahidol University

บทที่ 4
ผลการศึกษา

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนี้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย 3 ข้อ คือ

4.1 ผลการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติด้านฟิสิกส์ และเคมีของสารมลทินที่ปนเปื้อนอยู่บนเนื้อผ้า

ฝุ่นละอองที่เป็นเศษหินและทรายค่อนข้างจะมีขนาดใหญ่ และไม่ละลายน้ำ จะหลุดออกจากเนื้อผ้าได้ง่ายกว่าเมื่อมีแรงเหวี่ยงจากการสะบัดผ้า หรือเมื่อมีน้ำชะล้าง ส่วนฝุ่นละอองที่เป็นเศษเขม่าจากยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั้น ค่อนข้างจะมีขนาดเล็กละเอียด เบา และมีสีดำ เนื่องจากเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เขม่าที่มีสีดำนี้ปกติจะไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อมีการถูลงบนเนื้อผ้าจะทำให้เกิดรอยเปื้อนเป็นสีดำ เนื้อผ้าจะดูหมองคล้ำไม่สดใส ฝุ่นละอองปกติในอยู่ในสถานะของแข็งไม่ละลายน้ำ จึงมีผลกระทบต่อผ้าในด้านฟิสิกส์เท่านั้น ไม่มีผลในด้านเคมี

ดินโคลน เป็นสารมลทินที่เกิดจากเศษดินละลายน้ำ เมื่อกระเด็นเกาะยึดติดอยู่บนผ้า ส่วนที่เป็นของเหลวคือน้ำจะระเหยออกไป คงเหลือส่วนที่เป็นดินเกาะติดอยู่ ดินโคลนเกาะติดกับผ้าในด้านฟิสิกส์เท่านั้น เมื่อมีการสั่นสะเทือนผลึกของดินโคลนจะแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ บางส่วนจะหลุดร่วงออกไป ยังคงเหลือชิ้นส่วนเล็ก ๆ ที่เกาะติดอยู่ภายนอกเส้นใยผ้า ซึ่งถ้าหากได้มีการจุ่มลงในน้ำและขยี้ก็จะสามารถละลายหลุดออกได้เช่นกัน

คราบเหงื่อไคลเป็นสารมลทินที่เกิดจากของเสียที่ถูกขับถ่ายออกมาทางผิวหนังของมนุษย์ คราบเหงื่อไคลประกอบด้วยส่วนที่เป็นไขมัน เกลือแร่ โปรตีน และน้ำ โดยอยู่ในสภาพของความเป็นกรดอ่อน ๆ โดยปกติแล้วคราบเหงื่อไคลจะปรากฏให้เห็นเด่นชัดที่สุดบนคอปกเสื้อ นอกนั้นก็อยู่บริเวณขอบข้อมือเสื้อแขนยาว ขอบเอวกางเกงหรือกระโปรง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเสียดสีหรือ

Copyright by Mahidol University

สัมผัสกับผิวหนังมากที่สุด คราบเหงื่อไคลมีลักษณะการเกาะยึดติดกับผ้าทั้งในด้านฟิสิกส์และเคมี กล่าวคือในด้านฟิสิกส์เป็นลักษณะของการเกาะยึดที่ภายนอกของเส้นด้าย ส่วนในทางเคมีเป็นลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกรด ซึ่งเป็นกรดเกลือที่เกิดจากการที่มีแบคทีเรียอาศัยกินโปรตีนของเหงื่อไคลแล้วคายของเสียออกมาที่เนื้อผ้า ทำให้มีกลิ่นอับเหม็นและมีการกัดกร่อนเส้นด้าย ซึ่งมีผลให้คอปกเสื้อเปื่อยและขาดเร็ว

4.2 ผลการศึกษา วิเคราะห์ ออกแบบ สร้าง และทดลองกระบวนการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

จากการศึกษา วิเคราะห์ ออกแบบ ได้สร้างอุปกรณ์ซักผ้าที่มีคุณลักษณะ ดังนี้

4.2.1 เป็นอุปกรณ์เสริมสำหรับเครื่องซักผ้าที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป

4.2.2 ทำงานด้วยระบบไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ 15 แอมป์

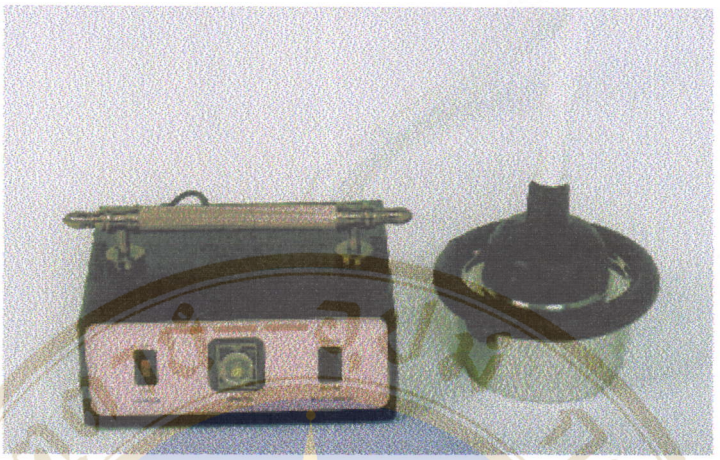
4.2.3 ระดับความถี่ของคลื่นเสียงอุลตราโซนิกส์ 28 กิโลเฮิรตซ์ 140 วัตต์

4.2.4 น้ำหนักของผ้าที่ใช้ในการซักแต่ละครั้ง ไม่ควรเกิน 5 กิโลกรัม(เมื่อยังไม่เปียกน้ำ) ในรัศมีของการกระจายคลื่น 20 เซนติเมตร ในปริมาตรน้ำซัก 20 ลิตร

4.2.5 สามารถตั้งเวลาในการซัก 30 นาที/ครั้ง

4.2.6 หลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงแล้ว ควรซักด้วยน้ำเพิ่มอีก 1 ครั้ง เพื่อ ชะล้างสารมลทินให้สะอาด

Copyright by Mahidol University



<u>ภาพที่ 4-1</u> ลักษณะของอุปกรณ์ซักผ้าที่ทำงานด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

4.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ทั้ง 3 ด้าน

4.3.1 ด้านประสิทธิผล

4.3.1.1 ผ้าตัวอย่างที่เปื้อนเหงื่อไคลก่อนทำการซัก และหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าไม่แตกต่างกันที่ระดับ 0.01 ได้แก่ ผ้าใยผสม T/R/L, T/R/A, T/W,T/C(T=61%, C=39%) และผ้าสี T/C(T=70%, C=30%) ส่วนชนิดที่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ได้แก่ ผ้าใยผสม T/C(T=70%, C=30%)

4.3.1.2 ผ้าตัวอย่างทุกชนิดที่เปื้อนฝุ่นละอองก่อนทำการซัก และหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก มีความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงว่าผ้าตัวอย่างทุกชนิดที่เปื้อนฝุ่นละออง ก่อนทำการซักและหลังจากการซักด้วยผงซักฟอกไม่มีความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าแต่อย่างใด

Copyright by Mahidol University

4.3.1.3 ผ้าตัวอย่างทุกชนิดที่เปื้อนฝุ่นละอองก่อนทำการซัก และหลังจากการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงว่าผ้าตัวอย่างทุกชนิดที่เปื้อนฝุ่นละอองก่อนทำการซักและหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ไม่มีความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าแต่อย่างใด

4.3.1.4 ผ้าตัวอย่างที่เปื้อนเหงื่อไคลก่อนทำการซัก และหลังจากการซักด้วยวิธีใช้ผงซักฟอก มีความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ได้แก่ ผ้าใยผสม T/R/L, T/R/A, T/W, T/C(T=61%, C=39%) และผ้าสี T/C(T=70%, C=30%) ส่วนชนิดที่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ได้แก่ ผ้าใยผสม T/C(T=70%, C=30%)

4.3.1.5 ผ้าตัวอย่างทุกชนิดที่เปื้อนเหงื่อไคล เมื่อทำการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง และวิธีใช้ผงซักฟอก จะมีความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 แสดงว่าผ้าตัวอย่างทุกชนิดที่เปื้อนเหงื่อไคล หลังจากทำการซักทั้งสองวิธีแล้ว ปรากฏว่าสีของผ้ามีความเปลี่ยนแปลงในลักษณะอย่างเดียวกัน

4.3.1.6 ผ้าตัวอย่างที่เปื้อนฝุ่นละออง เมื่อทำการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง และใช้ผงซักฟอก มีความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ได้แก่ ผ้าใยผสม T/R/L, T/W และ T/C(T=61%,C=39%) ส่วนชนิดของผ้าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ได้แก่ ผ้าใยผสม T/R/A, T/C (T=70,C=30%) และผ้าสี T/C(T=70%,C=30%)

4.3.1.7 ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าทุกชนิดที่เปื้อนเหงื่อไคล ก่อนซักและหลังซักด้วยผงซักฟอก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยด้ายยืนและด้ายพุ่งของเส้นใยผ้าตัวอย่างก่อนการซักมีค่าความต้านแรงดึงมากกว่าหลังการซักด้วยผงซักฟอก

4.3.1.8 ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าทุกชนิดที่เปื้อนฝุ่นละออง ก่อนซักและหลังซักด้วยผงซักฟอก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยด้ายยืนและด้ายพุ่งของเส้นใยผ้าตัวอย่างก่อนการซัก มีค่าความต้านแรงดึงมากกว่าหลังการซักด้วยผงซักฟอก

Copyright by Mahidol University

4.3.1.9 ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าทุกชนิดที่เปื้อนเหงื่อไคล ก่อนซักและหลังซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยด้ายยืนและด้ายพุ่งของเส้นใยผ้าตัวอย่างก่อนการซัก มีค่าความต้านแรงดึงมากกว่าหลังการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

4.3.1.10 ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าทุกชนิดที่เปื้อนฝุ่นละออง ก่อนการซักและหลังซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยด้ายยืนและด้ายพุ่งของเส้นใยผ้าตัวอย่างก่อนการซัก มีค่าความต้านแรงดึงมากกว่าหลังการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

4.3.1.11 ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าทุกชนิดที่เปื้อนฝุ่นละออง เมื่อทำการซักด้วยผงซักฟอกและซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยด้ายยืนและด้ายพุ่งของเส้นใยผ้าตัวอย่าง เมื่อทำการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงจะมีค่าความต้านแรงดึงมากกว่าเมื่อซักด้วยผงซักฟอก

4.3.1.12 ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าทุกชนิดที่เปื้อนเหงื่อไคล เมื่อทำการซักด้วยผงซักฟอกและซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยด้ายยืนและด้ายพุ่งของผ้า T/R/L, T/R/A, T/C(T=61%, C=39%) และ T/C(T=70%, C=30%) ที่ทำการซักด้วยผงซักฟอกจะมีค่าความต้านแรงดึงมากกว่าซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง เว้นแต่ผ้า T/W ที่ซักด้วยผงซักฟอกจะมีค่าความต้านแรงดึงของด้ายยืนน้อยกว่าซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ส่วนด้ายพุ่งจะมีค่าความต้านแรงดึงมากกว่าการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

4.3.1.13 ผ้าตัวอย่างทุกชนิดที่เปื้อนเหงื่อไคล และฝุ่นละออง ภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอกจะมีสภาพการหดตัวของเนื้อผ้าเหมือน ๆ กัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ของการหดตัวเฉลี่ย เมื่อวัดในแนวขวาง เท่ากับ 2.08% ในแนวยาว เท่ากับ 2.10% และตามพื้นที่ เท่ากับ 4.12%

Copyright by Mahidol University

4.3.1.14 ผ้าตัวอย่างทุกชนิดที่เปื้อนเหงื่อไคล และฝุ่นละออง ภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง จะมีสภาพการหดตัวของเนื้อผ้าเหมือน ๆ กัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ของการหดตัวเฉลี่ย เมื่อวัดในแนวขวาง เท่ากับ 2.10% ในแนวยาว เท่ากับ 2.10% และตามพื้นที่ เท่ากับ 4.14%

4.3.1.15 ผ้าตัวอย่างทุกชนิดที่เปื้อนเหงื่อไคลและฝุ่นละออง หลังจากผ่านกระบวนการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด หรือเปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยผ้าทุกชนิดมีลักษณะการหดตัวด้วยเปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเฉลี่ยแล้วเปอร์เซ็นต์การหดตัวตามแนวขวางอยู่ระหว่าง 2.08 – 2.10% ตามแนวยาว เท่ากับ 2.10% และตามพื้นที่อยู่ระหว่าง 4.12 – 4.14%

4.3.1.16 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผ้าตัวอย่าง จากการสังเกตดูรอยเปื้อนเหงื่อไคล ของผ้าทุกชนิดก่อนการซัก และความสะอาดภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก จะเห็นว่าเนื้อผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นจากเดิม รอยเปื้อนที่ปรากฏบนผืนผ้าภายหลังจากการซักลดน้อยลง บางชนิดอาจสังเกตไม่เห็น แต่บางชนิดอาจจะคงสภาพแนวเปื้อนเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของเส้นด้าย ชนิดของเกลียวด้าย รวมไปถึงความหนาแน่นของเส้นด้ายที่ทอเป็นผืนผ้า

4.3.1.17 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ของผ้าตัวอย่างจากการสังเกตดูรอยเปื้อนฝุ่นละอองของผ้าก่อนการซัก และความสะอาดภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก จะเห็นว่าผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นจากเดิมแทบสังเกตไม่เห็นรอยเปื้อนที่ปรากฏบนผืนผ้าเลย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฝุ่นนละอองมีการติดอยู่กับภายนอกผิวของเส้นด้าย หรือที่เกลียวด้ายเท่านั้น เป็นลักษณะของการเกาะยึดทางกายภาพ ไม่ใช่ทางเคมี จึงสามารถหลุดออกจากผิวของเส้นด้าย หรือเกลียวด้ายได้ง่าย การทำความสะอาดจึงกระทำได้ง่ายกว่า และค่อนข้างจะสะอาดกว่ารอยเปื้อนที่เกิดจากคราบเหงื่อไคล

4.3.1.18 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผ้าตัวอย่าง จากการสังเกตดูรอยเปื้อนเหงื่อไคลของผ้าทุกชนิดก่อนการซัก และความสะอาดภายหลังจากการซัก

Copyright by Mahidol University

ด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง จะเห็นว่าผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นจากเดิม มีรอยเปื้อนปรากฏอยู่บนผืนผ้าน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามคราบเหงื่อไคลมีผลทางเคมีกับเคมีผ้าโดยตรง ซึ่งอาจจะมีความหมองคล้ำของสีผ้าบ้าง แรงสั่นสะเทือนเนื่องจากคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงอาจจะไม่มีผลโดยตรงต่อคราบเหงื่อไคลที่ฝังตัวซึมเข้าไปในเส้นใยหรือเส้นด้าย ที่มีส่วนผสมของฝ้ายได้มากนัก แต่ถ้าเนื้อผ้านั้นมีส่วนผสมของใยสังเคราะห์มาก การขจัดคราบเหงื่อไคลออกจากผิวของเส้นด้ายจะกระทำได้ค่อนข้างง่ายกว่า

4.3.1.19 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะความเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ของผ้าตัวอย่างจากการสังเกตดูรอยเปื้อนฝุ่นละอองของผ้าก่อนการซัก และความสะอาดภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง จะเห็นว่าผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นแทบไม่สังเกตเห็นรอยเปื้อนที่ปรากฏอยู่บนผืนผ้าเลย ทั้งนี้เนื่องจากว่าฝุ่นละอองมีคุณสมบัติในการยึดเกาะติดอยู่กับเส้นด้าย หรือเกลียวของด้ายในลักษณะทางกายภาพเท่านั้น ไม่ใช่ทางเคมี ดังนั้น เมื่อมีแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระทำของคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ก็จะส่งผลกระทบต่อการหลุดออกของฝุ่นละอองที่เกาะอยู่บนเนื้อผ้าได้ง่าย จึงทำให้ผ้าดูสะอาดขึ้นกว่าเดิม

4.3.1.20 คุณภาพของน้ำทิ้งภายหลังจากการซักผ้า ที่เปื้อนฝุ่นละออง และเหงื่อไคล เมื่อทำการซักด้วยผงซักฟอก ผลปรากฏว่า

1) ค่า BOD ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ มีค่าเท่ากับ 140 mg/l มากกว่าน้ำประปา(0.72 mg/l)

2) ค่า COD เป็นค่ากำลังความสกปรกของน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ มีค่าเท่ากับ 2,207 mg/l มากกว่าน้ำประปา (2 mg/l) แสดงว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอกมีค่าความสกปรกมาก

3) ค่า P_{total} เป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ ส่งผลกระตุ้นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว อันก่อให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมาได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 86.0 mg/l มากกว่าน้ำประปา (0.01 mg/l)

Copyright by Mahidol University

4) ค่า pH คือค่าแสดงสภาวะความเป็นกรด หรือด่าง น้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอกนี้มีสภาวะความเป็นด่าง pH 9.96 (น้ำประปา pH 7.17) ซึ่งเป็นผลมาจากสารเคมีในตัวผงซักฟอก

5) ค่า TDS คือค่า Total dissolved solids หรือสารที่เหลืออยู่เป็นตะกอนภายหลังจากที่ผ่านการระเหยด้วยไอน้ำ ซึ่งน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอกมีค่าเท่ากับ 3,736.40 mg/l

6) ค่า Hardness คือ ค่าความกระด้างของน้ำ น้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอกมีค่าความกระด้าง 67 mg/l ($CaCo_3$) น้อยกว่าน้ำประปา (83 mg/l ($CaCo_3$)

4.3.1.21 คุณภาพของน้ำทิ้งภายหลังจากการซักผ้า ที่เปื้อนฝุ่นละออง และเหงื่อไคล เมื่อทำการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ผลปรากฏว่า

1) ค่า BOD ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ มีค่าเท่ากับ 233 mg/l มากกว่าน้ำประปา(0.72 mg/l)

2) ค่า COD เป็นค่ากำลังความสกปรกของน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ มีค่าเท่ากับ 439 mg/l มากกว่าน้ำประปา (2 mg/l) แต่น้อยกว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอก

3) ค่า P_{total} เป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ ส่งผลกระตุ้นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว อันก่อให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมาได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.37 mg/l มากกว่าน้ำประปา (0.01 mg/l) แต่น้อยกว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอก

4) ค่า pH คือค่าแสดงสภาวะความเป็นกรด หรือด่าง น้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนี้มีสภาวะความเป็นกรด pH 6.95 (น้ำประปา pH 7.17)

5) ค่า TDS คือค่า Total dissolved solids หรือสารที่เหลืออยู่เป็นตะกอนภายหลังจากที่ผ่านการระเหยด้วยไอน้ำ ซึ่งน้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีค่าเท่ากับ 651.20 mg/l น้อยกว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอก

Copyright by Mahidol University

6) ค่า Hardness คือ ค่าความกระด้างของน้ำ น้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีค่าความกระด้าง 152 mg/l ($CaCo_3$) มากกว่าน้ำประปา (83 mg/l ($CaCo_3$) และน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอก

4.3.2 ด้านสมรรถนะ

4.3.2.1 ความสะอาดในการซักผ้าหนาและบาง ระหว่างการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนั้น มีระดับผลของการซักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ซึ่งหมายความว่า ความสามารถในการซักผ้าหนาและบาง ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ให้ผลในการซักด้านความสะอาดที่ใกล้เคียงกัน

4.3.2.2 ในการซักผ้าตัวอย่างที่เปื้อนเหงื่อไคล หรือฝุ่นละออง ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอกแต่ละครั้งนั้น จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการซักผ้าแต่ละชนิด เป็นจำนวนเงิน 0.88 บาท รวมค่าใช้จ่ายในการซักผ้าตัวอย่างทั้งหมด เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 8.80 บาท

4.3.2.3 ในการซักผ้าตัวอย่างที่เปื้อนเหงื่อไคล หรือฝุ่นละออง ด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงแต่ละครั้งนั้น จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการซักผ้าแต่ละชนิด เป็นจำนวนเงิน 0.52 บาท รวมค่าใช้จ่ายในการซักผ้าตัวอย่างทั้งหมด เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 5.20 บาท

4.3.2.4 ในการซักผ้าแต่ละชนิดที่มีลักษณะความหนา บาง ไม่เท่ากัน เมื่อทำการซักด้วยผงซักฟอก จะใช้ระยะเวลานานกว่าการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

Copyright by Mahidol University

4.3.3 ด้านประสิทธิภาพในการซัก

4.3.3.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผ้าที่ทำการซัก ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล ระหว่างการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับวิธีใช้ผงซักฟอก

1) ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%) $\eta_S > \eta_D$

2) ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%) $\eta_S > \eta_D$

3) ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%) $\eta_S = \eta_D$

4) ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%) $\eta_S > \eta_D$

5) ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%) $\eta_S = \eta_D$

6) ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%) $\eta_S > \eta_D$

4.3.3.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผ้าที่ทำการซัก ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง ระหว่างการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับวิธีใช้ผงซักฟอก

1) ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%) $\eta_S > \eta_D$

2) ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%) $\eta_S = \eta_D$

3) ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%) $\eta_S < \eta_D$

4) ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%) $\eta_S > \eta_D$

5) ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%) $\eta_S = \eta_D$

6) ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%) $\eta_S > \eta_D$

Copyright by Mahidol University

บทที่ 5
อภิปรายผล

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนี้ เป็นการศึกษาเพื่อออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ซักผ้าที่ทำงานด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง โดยการศึกษาข้อมูลลักษณะการเกาะยึดของสารมลทินที่อยู่บนเนื้อผ้า หรือ เส้นใยผ้า ทั้งทางด้านกายภาพ และเคมี เพื่อที่จะวิเคราะห์ดูว่าสารมลทินที่เกิดจากพฤติกรรมปกติของคนเรานั้น จะหลุดออกจากเนื้อผ้า หรือเส้นใยผ้าที่สวมใส่ได้อย่างไรบ้าง ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนี้จึงเป็นการศึกษาเปรียบเทียบในด้านประสิทธิผล สมรรถนะ และประสิทธิภาพในการซักผ้า ระหว่างการซักด้วยวิธีใช้ผงซักฟอก และใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ซึ่งผู้วิจัยขออภิปรายผลโดยสังเขป ดังนี้

5.1 ด้านประสิทธิผล

5.1.1 ผ้าใยผสม T/R/L, T/R/A, T/W, T/C(T=61%, C=39%) ผ้าสี T/C(T=70%, C=30%) และ T/C(T=70%, C=30%) ที่เปื้อนเหงื่อไคล เมื่อซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง และผงซักฟอก ให้ความสะอาดเท่ากัน ทั้งนี้เพราะว่าคราบเหงื่อไคลได้ละลายออกด้วยน้ำไปส่วนหนึ่ง ที่เหลือติดอยู่บนเนื้อผ้าในลักษณะไม่ฝังตัวลึก ดังนั้น เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสารเคมี หรือฟิสิกส์ก็จะหลุดออกได้

5.1.2 ผ้าใยผสม T/R/A, T/C (T=70,C=30%) และผ้าสี T/C(T=70%,C=30%) ที่เปื้อนฝุ่นละออง เมื่อทำการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง และใช้ผงซักฟอก ให้ความสะอาดเท่ากัน แต่ผ้าใยผสม T/R/L, T/W และ T/C(T=61%,C=39%) เมื่อซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงให้ความสะอาดกว่า ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแรงจากคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนี้ สามารถทะลุทะลวงเข้าไปกระทบกับอนุภาคเล็ก ๆ ที่ติดอยู่บนเส้นใยผ้าที่มีความเล็กละเอียด เช่น ขนสัตว์ หรือผ้าที่มีส่วนผสมของลินินได้ดีกว่า

Copyright by Mahidol University

5.1.3 ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าทุกชนิดที่เปื้อนเหงื่อไคล เมื่อทำการซักด้วยผงซักฟอก ผ้า T/R/L, T/R/A, T/C(T=61%, C=39%) และ T/C(T=70%, C=30%) จะมีค่าความต้านแรงดึงของด้ายยืนและด้ายพุ่งมากกว่าการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง เว้นแต่ผ้า T/W ที่ซักด้วยผงซักฟอกจะมีค่าความต้านแรงดึงน้อยกว่าซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากสารมลทินที่เป็นเหงื่อไคลมีลักษณะการยึดเกาะติดบนเนื้อผ้า หรือเส้นใย ทั้งทางด้านฟิสิกส์ และเคมี ซึ่งการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง เป็นวิธีการทางฟิสิกส์เท่านั้น จึงต้องเพิ่มเวลาในการซัก อาจกระทบต่อความเหนียวของเส้นใยผ้า ส่วนผ้า T/W เป็นผ้าใยผสมที่มีขนสัตว์อยู่ด้วยจะมีผลเร็วต่อปฏิกิริยาทางเคมีมากว่าทางฟิสิกส์

5.1.4 ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าทุกชนิดที่เปื้อนฝุ่นละออง เมื่อทำการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงจะมีค่าความต้านแรงดึงมากกว่าซักด้วยผงซักฟอก โดยด้ายยืนและด้ายพุ่งของเส้นใยผ้า เมื่อทำการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงจะมีค่าความต้านแรงดึงมากกว่าเมื่อซักด้วยผงซักฟอก เนื่องจากฝุ่นละอองมีลักษณะการยึดเกาะบนเนื้อผ้า หรือเส้นใยผ้าในลักษณะทางฟิสิกส์เท่านั้น เพียงแต่ใช้วิธีทางฟิสิกส์ด้วยกันทำให้สารมลทินหลุดออกมา ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้วิธีเคมีเข้าไปในเส้นใยผ้า ทำให้ผ้าที่สวมใส่ไม่เปื่อยยุ่ยเร็วสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่า

5.1.5 ผ้าที่เปื้อนเหงื่อไคลและฝุ่นละออง หลังจากผ่านการซักด้วยวิธีใช้ผงซักฟอก และใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ยแล้วตามแนวขวางอยู่ระหว่าง 2.08 – 2.10% ตามแนวยาว 2.10% และตามพื้นที่ 4.12 – 4.14%

5.1.6 ความสะอาดของผ้าที่เปื้อนเหงื่อไคล ภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก เนื้อผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นจากเดิม รอยเปื้อนที่ปรากฏบนผืนผ้าภายหลังจากการซักลดน้อยลง บางชนิดอาจสังเกตไม่เห็น แต่บางชนิดอาจจะคงสภาพแนวเปื้อนเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี และทางฟิสิกส์ของเส้นด้าย ชนิดของเกลียวด้าย รวมไปถึงความหนาแน่นของเส้นด้ายที่ทอเป็นผืนผ้า

Copyright by Mahidol University

5.1.7 ความสะอาดของผ้าที่เปื้อนฝุ่นละออง ภายหลังจากการซักด้วยวิธีใช้ผงซักฟอก เนื้อผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นจากเดิม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฝุ่นละอองติดอยู่กับภายนอกผิวของเส้นด้ายหรือที่เกลียวด้ายเท่านั้น เป็นลักษณะของการเกาะยึดทางฟิสิกส์ ไม่ใช่ทางเคมี จึงหลุดออกจากผิวของเส้นด้าย หรือเกลียวด้ายได้ง่าย การทำความสะอาดจึงกระทำได้ง่ายกว่า และค่อนข้างจะสะอาดกว่ารอยเปื้อนที่เกิดจากคราบเหงื่อไคล

5.1.8 ความสะอาดของผ้าที่เปื้อนเหงื่อไคล ภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง เนื้อผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นจากเดิม มีรอยเปื้อนปรากฏอยู่บนผืนผ้าน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามคราบเหงื่อไคลมีผลทางเคมีกับผ้าโดยตรง ซึ่งอาจจะมีความหมองคล้ำของสีผ้าบ้าง แรงสั่นสะเทือนเนื่องจากคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงอาจจะไม่มีผลโดยตรงต่อคราบเหงื่อไคลที่ฝังตัวซึมเข้าไปในเส้นใยหรือเส้นด้าย ที่มีส่วนผสมของฝ้ายได้มากนัก แต่ถ้าเนื้อผ้านั้นมีส่วนผสมของใยสังเคราะห์มาก การขจัดคราบเหงื่อไคลออกจากผิวของเส้นด้ายจะกระทำได้ค่อนข้างง่ายกว่า

5.1.9 ความสะอาดของผ้าที่เปื้อนฝุ่นละออง ภายหลังจากการซักด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ผ้ามีความสะอาดเพิ่มขึ้นแทบไม่สังเกตเห็นรอยเปื้อนที่ปรากฏอยู่บนผืนผ้า ทั้งนี้เนื่องจากว่าฝุ่นละอองมีคุณสมบัติในการยึดเกาะติดอยู่กับเส้นด้าย หรือเกลียวของด้ายในลักษณะทางฟิสิกส์เท่านั้น ไม่ใช่ทางเคมี ดังนั้น เมื่อมีแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระทำของคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง จะส่งผลกระทบต่อการหลุดออกของฝุ่นละอองที่เกาะอยู่บนเนื้อผ้าได้ง่าย จึงทำให้ผ้าดูสะอาดขึ้นกว่าเดิม

5.1.10 คุณภาพของน้ำทิ้งภายหลังจากการซักผ้าที่เปื้อนฝุ่นละออง และเหงื่อไคล เมื่อทำการซักด้วยผงซักฟอก ผลปรากฏว่า

5.1.10.1 ค่า BOD ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ มีค่าเท่ากับ 140 mg/l มากกว่าน้ำประปา(0.72 mg/l) แสดงว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอกมีปริมาณออกซิเจนน้อย จึงต้องการออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้เพิ่มขึ้น

Copyright by Mahidol University

5.1.10.2 ค่า COD เป็นค่ากำลังความสกปรกของน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ มีค่าเท่ากับ 2,207 mg/l มากกว่าน้ำประปา (2 mg/l) แสดงว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอกมีค่าความสกปรกมาก

5.1.10.3 ค่า P_{total} เป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ ส่งผลกระตุ้นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว อันก่อให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมาได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 86.0 mg/l มากกว่าน้ำประปา (0.01 mg/l) แสดงว่าสารเคมีจากน้ำทิ้งที่เกิดจากการซักด้วยผงซักฟอกมีส่วนกระตุ้นให้พืชน้ำเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ดึงออกซิเจนจากน้ำ ทำให้น้ำในแม่น้ำลำคลองที่น้ำทิ้งจากผงซักฟอกลงไปเกิดการเน่าเสียเร็ว

5.1.10.4 ค่า pH คือค่าแสดงสภาวะความเป็นกรด หรือด่าง น้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอกนี้มีสภาวะความเป็นด่าง pH 9.96 (น้ำประปา pH 7.17) ซึ่งเป็นผลมาจากสารเคมีในตัวผงซักฟอก

5.1.10.5 ค่า TDS คือค่า Total dissolved solids หรือสารที่เหลืออยู่เป็นตะกอนภายหลังจากที่ผ่านการระเหยด้วยไอน้ำ ปกติแล้วน้ำบริโภคจะอยู่ระหว่าง 20 – 1,000 mg/l ซึ่งน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอกมีค่าเท่ากับ 3,736.40 mg/l สูงกว่ากำหนด อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ และประชาชนที่บริโภคน้ำจากแม่น้ำลำคลองได้

5.1.10.6 ค่า Hardness คือ ค่าความกระด้างของน้ำ น้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอกมีค่าความกระด้าง 67 mg/l ($CaCo_3$) น้อยกว่าน้ำประปา (83 mg/l ($CaCo_3$) โดยปกติน้ำที่ใช้ทำน้ำประปาควรมีค่าความกระด้าง ประมาณ 50 – 80 mg/l ($CaCo_3$) ถ้าความกระด้างน้อยกว่านี้จะเกิดการกัดกร่อนสูงเนื่องจากเป็นน้ำอ่อน

5.1.11 คุณภาพของน้ำทิ้งภายหลังจากการซักผ้าที่เปื้อนฝุ่นละออง และเหงื่อไคล เมื่อทำการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ผลปรากฏว่า

5.1.11.1 ค่า BOD ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ มีค่าเท่ากับ 233 mg/l มากกว่าน้ำประปา(0.72 mg/l) แสดงว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงมีปริมาณออกซิเจนน้อยมาก จึงต้องการออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแบคทีเรียที่เกิดจากคราบเหงื่อไคลของการซักด้วยคลื่นเสียงมีคงเหลือมากกว่าการซักด้วยผงซักฟอก

Copyright by Mahidol University

5.1.11.2 ค่า COD เป็นค่ากำลังความสกปรกของน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ มีค่าเท่ากับ 439 mg/l มากกว่าน้ำประปา (2 mg/l) แต่น้อยกว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอก แสดงว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงมีความสกปรกน้อยกว่า

5.1.11.3 ค่า P_{total} เป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ ส่งผลกระตุ้นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว อันก่อให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมาได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.37 mg/l มากกว่าน้ำประปา (0.01 mg/l) แต่น้อยกว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอก แสดงว่าน้ำทิ้งจากคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำน้อยกว่า

5.1.11.4 ค่า pH คือค่าแสดงสภาวะความเป็นกรด หรือด่าง น้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนี้มีสภาวะความเป็นกรด pH 6.95 (น้ำประปา pH 7.17) ซึ่งเป็นผลมาจากกรดที่เกิดจากแบคทีเรียในคราบเหงื่อไคลที่ติดอยู่บนผ้า

5.1.11.5 ค่า TDS คือค่า Total dissolved solids หรือสารที่เหลืออยู่เป็นตะกอนภายหลังจากที่ผ่านการระเหยด้วยไอน้ำ ปกติแล้วน้ำบริโภคจะอยู่ระหว่าง 20 – 1,000 mg/l ซึ่งน้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีค่าเท่ากับ 651.20 mg/l อยู่ในช่วงกำหนด น้อยกว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอก จึงไม่มีอันตรายต่อผู้บริโภค

5.1.11.6 ค่า Hardness คือ ค่าความกระด้างของน้ำ น้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีค่าความกระด้าง 152 mg/l ($CaCo_3$) มากกว่าน้ำประปา (83 mg/l ($CaCo_3$) โดยปกติน้ำที่ใช้ทำน้ำประปาควรมีค่าความกระด้าง ประมาณ 50 – 80 mg/l ($CaCo_3$) ถ้าความกระด้างน้อยกว่านี้จะเกิดการกัดกร่อนสูงเนื่องจากเป็นน้ำอ่อน

Copyright by Mahidol University

5.2 ด้านสมรรถนะ

5.2.1 ความสามารถในการซักผ้าหนาและบาง ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ให้ผลความสะอาดในการซักที่ใกล้เคียงกัน เมื่อใช้ปริมาณผงซักฟอกตามน้ำหนักของผ้าที่ซัก

5.2.2 การซักผ้าโดยใช้ผงซักฟอกนั้น จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการซักสูงกว่าการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง เนื่องจากปริมาณไฟฟ้า ปริมาณน้ำ และเวลาที่ใช้มากกว่า มิฉะนั้นจะมีคราบสารซักฟอกเกาะติดอยู่บนเนื้อผ้าได้ ซึ่งก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังของผู้สวมใส่

5.3 ด้านประสิทธิภาพในการซัก

5.3.1 ผ้าใยผสมทุกชนิดที่เป็นเหงื่อไคล เมื่อทำการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ปรากฏว่า มีประสิทธิภาพในการซักสูงกว่า หรือเท่ากับ การซักด้วยผงซักฟอก ตามปกติแล้วเหงื่อไคลสามารถยึดเกาะติดเนื้อผ้า หรือเส้นใยผ้าได้ทั้งทางฟิสิกส์และเคมี ซึ่งบางครั้งการใช้วิธีการสั่นสะเทือนโมเลกุลอย่างเดียวอาจจะไม่ได้ผล แต่ถ้าไม่ปล่อยทิ้งให้คราบสกปรกเหล่านี้เกาะติดนานเกินไป เช่น มีการแช่น้ำเพื่อละลายความเข้มข้นของสารมลทิน ก็จะช่วยให้การขจัดด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงได้ผลดีเช่นเดียวกัน

5.3.2 ผ้าใยผสมทุกชนิดที่เป็นฝุ่นละออง เมื่อทำการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ปรากฏว่า มีประสิทธิภาพในการซักสูงกว่า หรือเท่ากับ การซักด้วยผงซักฟอก ยกเว้นผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%) ที่มีประสิทธิภาพในการซักต่ำกว่าการซักด้วยผงซักฟอก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าผ้าใยผสมนี้มีส่วนผสมของขนสัตว์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นเสียงไม่ให้มีการสะท้อนกลับไปมาได้เต็มที่ แรงสั่นสะเทือนที่กระทำต่อโมเลกุลของสารมลทินจึงค่อนข้างน้อย ดังนั้นประสิทธิภาพในการซักจึงต่ำกว่าผ้าใยผสมชนิดอื่น ๆ

Copyright by Mahidol University

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาวิจัยความเป็นไปได้ในการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง นั้น ได้ผลการศึกษาวิจัย พอสรุปและให้ข้อเสนอแนะได้ ดังต่อไปนี้

6.1 ข้อสรุป

6.1.1 ผลการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติด้านฟิสิกส์ และเคมีของสารมลทินที่ปนเปื้อนอยู่บนเนื้อผ้า

สารมลทินที่เกิดจากกิจกรรมปกติของประชาชน ได้แก่ คราบเหงื่อไคล และฝุ่นละอองหรือดินโคลน ซึ่งคราบเหงื่อไคลมีลักษณะการยึดติดกับเนื้อผ้าทั้งในด้านเคมี และด้านฟิสิกส์ คราบเหงื่อไคลในด้านเคมีจะขจัดออกค่อนข้างยากหากปล่อยทิ้งไว้นานเกินไป ส่วนฝุ่นละอองหรือดินโคลนมีลักษณะการยึดติดในด้านฟิสิกส์เท่านั้น การขจัดทำได้ง่ายกว่า แต่อย่างไรก็ตามการนำผ้าที่จะซักแช่น้ำก่อนทำการซัก จะช่วยให้สารมลทินต่าง ๆ ดังกล่าวละลาย หรือเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว การซักล้างเพื่อทำความสะอาดในขั้นต่อไปจะได้ผลดีกว่า

6.1.2 ผลการศึกษา วิเคราะห์ ออกแบบ สร้าง และทดลองกระบวนการซักผ้า โดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

รูปแบบของอุปกรณ์ซักผ้าที่ทำงานด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง นั้น ควรจะมีลักษณะที่สามารถนำไปจุ่มลงในเครื่องซักผ้าที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปได้ เพื่อใช้แทนผงซักฟอกในช่วงของการซักครั้งแรก หลังจากนั้นจึงนำออกมาเพื่อให้มีการซักน้ำล้างสารมลทินออกไปตามกระบวนการของการซักผ้า หรือในกรณีที่ครัวเรือนใดไม่มีเครื่องซักผ้าก็อาจนำอุปกรณ์ดังกล่าวไปจุ่มลงในภาชนะซักล้างก็ได้

Copyright by Mahidol University

6.1.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

ผลจากการศึกษาวิจัย ด้านประสิทธิผล สมรรถนะ และประสิทธิภาพในการซักผ้าระหว่างการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง นั้น ได้ผลการศึกษาวิจัยที่ใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1.4.1 แต่การซักผ้าที่มีน้ำหนักเท่ากันและมีลักษณะการเปื้อนของสารมลทินเหมือนกัน การซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงจะเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่า

6.1.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการซักผ้าโดยใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

6.1.4.1 ค่า BOD ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ น้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงมีปริมาณออกซิเจนน้อยมาก จึงต้องการออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแบคทีเรียที่เกิดจากคราบเหงื่อไคลของการซักด้วยคลื่นเสียงมีคงเหลือมากกว่าการซักด้วยผงซักฟอก

6.1.4.2 ค่า COD เป็นค่ากำลังความสกปรกของน้ำทิ้ง ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ น้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงมีความสกปรกน้อยกว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอก

6.1.4.3 ค่า P_{total} เป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ ส่งผลกระตุ้นต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว อันก่อให้เกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมาได้ ซึ่งน้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำน้อยกว่าการซักด้วยผงซักฟอก

6.1.4.4 ค่า pH คือค่าแสดงสภาวะความเป็นกรด หรือด่าง น้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนี้มีสภาวะความเป็นกรด pH 6.95 (น้ำประปา pH 7.17) ซึ่งเป็นผลมาจากกรดที่เกิดจากแบคทีเรียในคราบเหงื่อไคลที่ติดอยู่บนผ้า

Copyright by Mahidol University

6.1.4.5 ค่า TDS คือค่า Total dissolved solids หรือสารที่เหลืออยู่เป็นตะกอนภายหลังจากที่ผ่านการระเหยด้วยไอน้ำ ซึ่งน้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีค่าเท่ากับ 651.20 mg/l อยู่ในช่วงกำหนด น้อยกว่าน้ำทิ้งจากการซักด้วยผงซักฟอก จึงไม่มีอันตรายต่อผู้บริโภค

6.1.4.6 ค่า Hardness คือ ค่าความกระด้างของน้ำ น้ำทิ้งจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีค่าความกระด้างมากกว่าน้ำประปา แต่ไม่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน ซึ่งไม่มีผลต่อการทำลายหิน หรือดินที่น้ำนี้ถูกพัดพาไป

สรุป คุณภาพของน้ำทิ้ง จากการซักผ้าด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า การซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1.4.2

6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการศึกษาวิจัย

ขนาดความเข้มของคลื่นเสียงค่อนข้างจะอ่อนกำลัง เมื่ออยู่ในภาชนะที่เป็นพลาสติก เนื่องจากให้ผลของการสะท้อนของคลื่นเสียงที่น้อยมาก

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยนี้ไปใช้งาน

6.3.1.1 ควรใช้ซักผ้าที่มีเนื้อบาง และน้ำหนักของผ้าในการซักแต่ละครั้งไม่ควรมากกว่า 5 กิโลกรัม (เมื่อแห้ง)

6.3.1.2 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการซักไม่ควรมากเกินไป ปริมาณที่เหมาะสมคือ ระดับน้ำควรสูงกว่าผ้าประมาณ 5 เซนติเมตร

Copyright by Mahidol University

6.3.1.3 ก่อนทำการซักควรแช่ในน้ำเกลือเจือจางประมาณ 30 นาที เพื่อช่วยละลายสารมลทินที่มีผลทางด้านเคมี และเพื่อขจัดกลิ่น

6.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่อง

6.3.2.1 ควรออกแบบอุปกรณ์ซักผ้าที่ทำงานด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ให้มีกำลังในการซักมากกว่านี้ เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการซักผ้าที่มีความหนา และจำนวนมากได้

6.3.2.1 ควรใช้ถัง หรือภาชนะใส่ผ้าซักที่เป็นโลหะ เช่น สแตนเลส เพื่อเพิ่มแรงในการสะท้อนของคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการซักสูงขึ้น

6.3.2.2 ควรจะได้มีการพัฒนารูปแบบของอุปกรณ์ซักผ้า ที่ทำงานด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ให้ติดตั้งรวมเข้าไปกับเครื่องซักผ้าพร้อมกับชุดไมโครโปรเซสเซอร์ ที่สามารถเลือกโปรแกรมการซักให้เหมาะสมกับลักษณะการปนเปื้อนของสารมลทินและชนิดผ้า ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่ให้ความประหยัดในการใช้ผงซักฟอก

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง

1. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. ร่างรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2538-2539. ม.ป.ท.; ม.ป.ป.
2. วิชิต กฤษณะภูติ. ฟิสิกส์เบื้องต้นและพื้นฐาน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์โอเอสพริ้นติ้งเฮ้าส์; 2538.
3. ชาญ ถนัดงาน. กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2523.
4. สุพจน์ ตามสายลม. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหัวขูดหินน้ำลายอุลตราโซนิก [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาปริทันตวิทยา]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2537.
5. จงรักษ์ เล็กอุดม. อุตสาหกรรมผงซักฟอก. กรุงเทพมหานคร: กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม; 2526.
6. ประสาน เลอไกรสิทธิ์. รายงานสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง ผงซักฟอกกับปัญหาสิ่งแวดล้อม; 5-7 มีนาคม 2514. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ; 2514.
7. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของผงซักฟอก. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว; 2517.
8. กรรณิการ์ สิริสิงห. เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์บริษัทประยูรวงศ์จำกัด; 2525.
9. กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์. รายงานการวิจัยผงซักฟอก. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ข่าวพาณิชย์; 2520.
10. ราตรี ภารา. ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ทิพยวิสุทธิ์; 2538.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

11. อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. มนุษย์-ระบบนิเวศ และสภาพนิเวศในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์บริษัทไทยวัฒนาพานิชจำกัด; 2538.

12. จิตติมา วสุสิน. การศึกษาประสิทธิภาพของพืชน้ำในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน และที่พักอาศัย กรณีศึกษาน้ำเสียจากศูนย์ศาลายา [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล; 2539.

13. กนก บุญรัตเวช. รายงานสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง ผงซักฟอกกับปัญหาสิ่งแวดล้อม; 10-11 พฤศจิกายน 2524. ม.ป.ท.; ม.ป.ป

14. . มีชัย วรสายัณห์. มลพิษทางน้ำ. วารสารภูมิศาสตร์ 2534;1: 10-15.

15. ดำรงศักดิ์ จินดากุล, วรรณภา คล้ายสงวน. น้ำเสีย ผลพวงของการพัฒนาที่ไม่ยั่งยืน ปัจจัยสำคัญของวิกฤตน้ำ. นิตยสารโลกสีเขียว 2537; 6: 5-8.

16. ทวีวงศ์ ศรีบุรี. การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: บริษัทมายด์พับลิชชิ่ง จำกัด; 2538.

17. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2536.

18. กรมควบคุมมลพิษ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. แนวทางควบคุมปัญหาน้ำเสียสำหรับองค์กรบริหารท้องถิ่น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2538.

19. สุวัฒน์ ทรัพย์ประภา. รายงานสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง เคมีของผงซักฟอก; 20-21 กรกฎาคม 2524 . กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ; 2524

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

20. ประสิทธิ์ กลิ่นภิรมย์. อิทธิพลของผงซักฟอกบางชนิดต่อตัวอ่อนของหอมขม [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2521

21. ณรรฐพล วัลลีลักษณ์. ผลของสารพิษบางชนิดต่อสัตว์น้ำ. กรุงเทพมหานคร; ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2523.

22. จิระศักดิ์ แก้วม่วง. ผลกระทบของผงซักฟอกต่อการเจริญเติบโตของชมพู่ม่าเหมียว ดาวเรือง และผักคะน้า [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2526.

23. ไมตรี ดวงสวัสดิ์. รายงานสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง พิษของผงซักฟอกต่อสัตว์น้ำ; 20-21 กรกฎาคม 2524 . กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ; 2524.

24. มูลนิธิโลกสีเขียว. สถานการณ์สิ่งแวดล้อมไทย 2539. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์ พับบลิชชิ่ง จำกัด(มหาชน); 2540.

25. วสันต์ ตันไหม. อิทธิพลของผงซักฟอกต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม]. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2532.

26. กระทรวงอุตสาหกรรม. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. เครื่องซักผ้า. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัดไทยเจริญการพิมพ์; 2540.

27. พิณทิพย์ บริบูรณ์สุข, นวลแข ปาลิวนิช, ศรีนวล โกมลวนิช. คู่มือเรื่องเสื้อผ้า. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์สารพัดช่างพระนคร; 2514.

28. บุญล้อม โพธิ์ทอง. วิเคราะห์โครงสร้างผ้า. กรุงเทพมหานคร: ม.ป.ท.; 2522.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

29. ธีระพงษ์ ไชยเฉลิมวงศ์. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับวัสดุสิ่งทอ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล; 2539.

30. เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. การควบคุมคุณภาพงานเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อม พิมพ์. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์บริษัทประชาชนจำกัด; 2537.

31. อัจฉราพร ไศละสูต. ความรู้เรื่องผ้า. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สร้างสรรค์-วิชาการ; 2539.

32. สาธิต พุทธชัยยงค์. คุณสมบัติ ลักษณะเฉพาะ และการใช้ประโยชน์ของผ้าทอ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล; 2539.

33. สมภพ นราภิรมย์อนันต์. คุณสมบัติและลักษณะเฉพาะของผ้าถัก. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล; 2539.

34. สุจิระ ขอจิตต์เมตต์. ผ้าไม่ทอ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล; 2539

35. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ภาควิชาฟิสิกส์. ฟิสิกส์ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2539.

36.. วิไลวรรณ ภูละออ. ฟิสิกส์ของคลื่น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2540.

37. J. L. Rose, S. Menon, R. Yi and R. M. German. A Guided Wave Resonance Matching Technique for in-Situ Monitoring of Powder Metal Injection Molded Products Proceeding QNDE Conference. Seattle: n.p.; 1995.

Copyright by Mahidol University

รายการอ้างอิง (ต่อ)

38. ก่อเกียรติ บุญชูกุศล, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์เม็ดทรายพริ้นติ้ง; 2539.

39. ขันติพล วัชรานาถ. การวิเคราะห์และการตรวจสอบงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2530.

40. Ristic, Velimir M. Principle of acoustic devices. New york:Wiley; 1983.

41. เดช พุทธเจริญทอง. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพ; 2539.

42. Carlin, Benson. Ulttasonics. New york: McGraw-Hill; 1960.

43. วิรุฬห์ สายคณิต. ทฤษฎีควอนตัม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2525.

44. Gary N.Mock, Robert McCall, Michael J.Cato, David Klutz. Fundamental Investigations of Ultrasonic Effects in Textile Wet Processing. Georgia: n.p.; 1997.

45. Joseph L. Rose, Randall M. German, Derrick D. Hongerholt. Advances in Ultrasonic Inspection Techniques. Pennsylvania: n.p.; 1997.

46. Kuttruff, Henrich. Ultrasonics fundamentals and applications. London: Elsevier Applied Scince; 1991.

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ก

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร

Copyright by Mahidol University

ประกาศสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ
เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร

โดยที่ ปรากฏว่าปัญหาภาวะมลพิษทางน้ำในเขตกรุงเทพมหานคร และตามเมืองใหญ่ของประเทศได้มีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงมากขึ้นในอนาคต อันอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบกระเทือนต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยส่วนรวมของประเทศได้ สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ก่อให้เกิดภาวะมลพิษทางน้ำขึ้นนั้น เป็นเพราะว่าได้มีการระบายน้ำทิ้งจากอาคารประเภทต่าง ๆ ลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อน

ฉะนั้น เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาภาวะมลพิษดังกล่าวให้บรรเทาเบาบางลง สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงเห็นสมควรประกาศกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร เพื่อให้หน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอาคาร หรือการป้องกันภาวะมลพิษทางน้ำนำไปใช้ประกอบการปฏิบัติงานไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้

" อาคาร" หมายความว่า อาคารดังต่อไปนี้ ที่ก่อสร้างขึ้นในเขตท้องที่ซึ่งกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารใช้บังคับ ไม่ว่าจะมีลักษณะเป็นอาคารหลังเดียวหรือเป็นกลุ่มของอาคารซึ่งตั้งอยู่ภายในพื้นที่ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกัน และไม่ว่าจะมีท่อระบายน้ำท่อเดียว หรือมีหลายท่อที่เชื่อมติดต่อระหว่างอาคารหรือไม่ก็ตาม

(1) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด

(2) โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม

(3) หอพักตามกฎหมายว่าด้วยหอพัก

(4) สถานบริการประเภทสถานอาบน้ำ นวด หรืออบตัว ซึ่งผู้ให้บริการแก่ลูกค้าตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ

(5) สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล หรือสถานพยาบาลของทางราชการ

Copyright by Mahidol University

(6) อาคารที่ก่อสร้างขึ้นในที่ดินของบุคคลตามที่ได้รับอนุญาตให้จัดสรรที่ดินตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมการจัดสรรที่ดิน

(7) อาคารโรงเรียนราษฎร์ตามกฎหมายว่าด้วยโรงเรียนราษฎร์ และโรงเรียนของทางราชการ และอาคารสถาบันอุดมศึกษาของเอกชน ตามกฎหมายว่าด้วยสถาบันอุดมศึกษาของเอกชนและสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ

(8) อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือองค์การระหว่างประเทศและของเอกชน

(9) อาคารของศูนย์การค้า หรือห้างสรรพสินค้า

(10) ตลาดตามกฎหมายว่าด้วยการสาธารณสุข

(11) ภัตตาคาร หรือร้านอาหาร

(12) แพปลาตามกฎหมายว่าด้วยการจัดระเบียบกิจการแพปลา

(13) อาคารหรือสถานที่อื่นใดที่คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เห็นสมควรกำหนดในภายหลัง

ข้อ 2 ให้แบ่งมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร ออกเป็น 4 ประเภท คือ

(1) มาตรฐานประเภท ก.

(2) มาตรฐานประเภท ข.

(3) มาตรฐานประเภท ค.

(4) มาตรฐานประเภท ง.

ข้อ 3 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคารประเภท ก. ต้องมีค่าดังต่อไปนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) ต้องมีค่าระหว่าง 5-9

(2) บีโอดี (BOD) ต้องมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspened solids) ต้องมีค่าไม่เกิน 30 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(4) ซัลไฟด์ (Sulfide) ต้องมีค่าไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(5) ออร์กานิค-ไนโตรเจน (ORG-N) ต้องมีค่าไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(6) สารละลาย (Dissolved solids) ต้องมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำใช้ตามปกติไม่เกิน 500 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(7) ตะกอนหนัก (Settleable solids) ต้องมีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(8) น้ำมัน และไขมัน (Oil and grease) ต้องมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัม ต่อลิตร

Copyright by Mahidol University

ข้อ 4 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท ข. ต้องเป็นไปตามข้อ 3 เว้นแต่

(1) บีโอดี ต้องมีค่าไม่เกิน 30 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(2) สารแขวนลอยต้องมีค่าไม่เกิน 40 มิลลิกรัม ต่อลิตร

ข้อ 5 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท ค. ต้องเป็นไปตามข้อ 3 เว้นแต่

(1) บีโอดี ต้องมีค่าไม่เกิน 60 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(2) สารแขวนลอย ต้องมีค่าไม่เกิน 50 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(3) ซัลไฟด์ต้องมีค่าไม่เกิน 3.0 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(4) ออร์กานิค-ไนโตรเจน ต้องมีค่าไม่เกิน 15 มิลลิกรัม ต่อลิตร

และต้องมีค่าทีเคเอ็น (TKN) ไม่เกิน 40 มิลลิกรัม ต่อลิตร และค่าแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ไม่เกิน 25 มิลลิกรัม ต่อลิตร

ข้อ 6 น้ำทิ้งจากอาคารดังต่อไปนี้ ต้องมีมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งประเภท ก. คือ

(1) อาคารชุดซึ่งมีห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 500 ห้อง

(2) โรงแรมซึ่งมีห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 200 ห้อง

(3) สถานพยาบาลซึ่งมีเตียงสำหรับรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้น ของอาคารหรือกลุ่มของอาคารเกิน 30 เตียง

(4) อาคารที่ก่อสร้างขึ้นในที่ดินของบุคคล ที่ได้รับอนุญาตให้จัดสรรที่ดินเกิน 500 หลัง

(5) อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาของเอกชน หรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารเกิน 25,000 ตารางเมตร

(6) อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชน ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 55,000 ตารางเมตร

(7) อาคารของศูนย์การค้า หรือห้างสรรพสินค้า ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารเกิน 25,000 ตารางเมตร

Copyright by Mahidol University

(8) ตลาดซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 2,500 ตารางเมตร

(9) ภัตตาคาร หรือร้านอาหารซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 2,500 ตารางเมตร

ข้อ 7 น้ำทิ้งจากอาคารดังต่อไปนี้ ต้องมีมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ประเภท ข. คือ

(1) อาคารชุดซึ่งมีห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคาร เกิน 100 ห้อง แต่ไม่เกิน 400 ห้อง

(2) โรงแรมซึ่งมีห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 60 ห้อง แต่ไม่เกิน 200 ห้อง

(3) หอพักซึ่งมีห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 250 ห้อง

(4) สถานบริการซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 5,000 ตารางเมตร

(5) สถานพยาบาลซึ่งมีเตียงสำหรับรับผู้ป่วยไว้ค้างคืนรวมกันทุกชั้น ของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 เตียง แต่ไม่เกิน 30 เตียง

(6) อาคารที่ก่อสร้างในที่ดินของบุคคลตามที่ได้รับอนุญาตให้จัดสรรที่ดินเกิน 100 หลัง แต่ไม่เกิน 500 หลัง

(7) อาคารโรงเรียนราษฎร์ โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาของเอกชน หรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคาร ตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 25,000 ตารางเมตร

(8) อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชน ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารเกิน 10,000 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 55,000 ตารางเมตร

(9) อาคารของศูนย์การค้า หรือห้างสรรพสินค้า ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 25,000 ตารางเมตร

(10) ตลาดซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 1,500 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 2,500 ตารางเมตร

(11) ภัตตาคาร หรือร้านอาหารซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 500 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 2,500 ตารางเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยมหิดล
Copyright by Mahidol University

(12) แพปลาซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยตั้งแต่ 300 ตารางเมตร ขึ้นไป แต่ทั้งนี้ต้องไม่นำมาตรฐานค่าออร์กานิค-ไนโตรเจน ตามข้อ 3 (5) มาบังคับใช้

ข้อ 8 น้ำทิ้งจากอาคารต่อไปนี้ ต้องมีมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งประเภท ค. คือ

(1) อาคารชุดซึ่งมีห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารไม่เกิน 100 ห้อง

(2) โรงแรมซึ่งมีห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารไม่เกิน 60 ห้อง

(3) หอพักซึ่งมีห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 50 ห้อง แต่ไม่เกิน 250 ห้อง

(4) สถานบริการซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 5,000 ตารางเมตร

(5) อาคารที่ก่อสร้างขึ้นในที่ดินของบุคคล ตามที่ได้รับอนุญาตให้จัดสรรที่ดินเกิน 20 หลัง แต่ไม่เกิน 100 หลัง

(6) อาคารที่ทำการของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ องค์การระหว่างประเทศหรือของเอกชน ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 10,000 ตารางเมตร

(7) ตลาดซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 1,000 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 1,500 ตารางเมตร

(8) ภัตตาคาร หรือร้านอาคาร ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารเกิน 100 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 500 ตารางเมตร

ข้อ 9 น้ำทิ้งจากอาคารดังต่อไปนี้ ต้องมีมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งประเภท ง. คือ

(1) หอพักซึ่งมีห้องสำหรับใช้เป็นที่อยู่อาศัยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 10 ห้อง แต่ไม่เกิน 50 ห้อง

(2) อาคารที่ก่อสร้างขึ้นในที่ดินของบุคคล ตามที่ได้รับอนุญาตให้จัดสรรที่ดินไม่เกิน 20 หลัง

(3) ตลาดซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 500 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 1,000 ตารางเมตร

Copyright by Mahidol University

(4) ภัตตาคาร หรือร้านอาหาร ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 50 ตารางเมตร แต่ไม่เกิน 100 ตารางเมตร

ข้อ 10 การคิดคำนวณพื้นที่ใช้สอย จำนวนอาคารและจำนวนห้องของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ให้เป็นไปตามวิธีการที่สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนด ด้วยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา ในกรณีที่มีการใช้ประโยชน์จากอาคาร หรือกลุ่มของอาคารแห่งหนึ่งแห่งใดเกินกว่าหนึ่งประเภท และอาจจะกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคารได้หลายประเภท ให้คำนวณคุณภาพน้ำทิ้งรวมกันตามหลักเกณฑ์ที่สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนด ด้วยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และให้ใช้มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งตามเกณฑ์ที่คำนวณได้

ข้อ 11 การตรวจสอบมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร ให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ว่าด้วยการกำหนดวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร

ประกาศ ณ วันที่ 30 ตุลาคม 2538

อาทร สุพโปฎก
เลขาธิการคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ข

มาตรฐานทั่วไปในการทดสอบคุณสมบัติของผ้าภายหลังจากการซัก

Copyright by Mahidol University

GENERAL JAPANESE QUALITY STANDARD FOR TRADING

April 1991

Consumer Products Inspection & Trading Co., Ltd.

Color fastness	Test method	Standard
to Light	JIS L 0842 Exposure method 3	C ≥4 *1
to Laundry	JIS L 0844 Method A-2	C ≥4, S ≥ 3-4 *2
to Water	JIS L 0846 Method A	C ≥ 4, S ≥ 3-4
to Perspiration	JIS L 0848 Method A (Alkaline, Acid)	C ≥ 4, S ≥ 3
to Rubbing	JIS L 0849 Method II	Dry S ≥ 4, Wet ≥ 3 Deep color S≥ 2-3 *3
to Dry cleaning	JIS L 0860	C ≥ 4, S ≥4
to Chlorinated water	JIS L 0884 (Weak 10 ppm.)	C ≥ 3-4
to Hot pressing	JIS L 0850 (Wet severe)	C ≥ 4, S ≥ 4
Bursting strength	JIS L 1018 (Mullen type)	≥4 kgf/cm^2 *4
Tensile strength (kgf)	JIS L 1096 (A)	W ≥ 30.0, F≥ 20.0
Tearing strength (kgf)	JIS L 1096 (D)	W ≥ 1.0, F ≥ 1.0
Pilling resistance (class)	JIS l 1076 (A) ICI Pilling box	class ≥ 3
Seam slippage (mm.)	JIS L 1096 (B), (5 kgf)	≤ 3.0 mm.
Laundering shrinkage	JIS l 1042 Method G (103), 3 times, Hang line (Line dry)	Woven W&F ± 4% *5 Knit W ± 7% , F+7% -5% Color change *7
Formaldehyde	Test method *6	Baby A-A0 ≤ 0.05 Other under wear, socks, Nigth wear, etc. ≤ 75 ppm.

Copyright by Mahidol University

Note C : Color charge. S : Staining, Adjacent undyed cloth : Cotton and Silk

W : Warp (Length), F : Filling (Cross)

*Remarks

1. Pastel color C ≥ 3, Pale color C ≥ 3
2. Denim, Corduroy, C ≥ 3-4, S ≥ 3
3. Denim, Velveteen, Corduroy, Flannel fabrics, Pigments print, etc. Dry S ≥ 3-4, Wet S ≥ 2
4. For knit fabrics
5. Sheersucker, Crepe, Pile W&F ± 6% , Cutter shirt W&F ± 3%
6. Ministry of health & Welfare, Ministerial ordinance No. 34
7. For pigment prints and rubbing prints : after laundering 3 times or 5 times C ≥ 3-4 And defect-fre.

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ค

ความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซัก

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 1ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซัก ระหว่างการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับผ้าก่อนทำการซัก ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ชนิดของผ้า	ผ้าก่อนทำการซัก		ซักด้วยคลื่นเสียง		t	P
	$\overline{X}$	*S.D.*	$\overline{X}$	*S.D.*		
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	4.600	0.548	4.600	0.548	0.000	< 0.01
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	4.600	0.548	4.600	0.548	0.000	< 0.01
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	4.600	0.548	4.600	0.548	2.448	< 0.01
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	4.600	0.548	3.000	0.000	6.529*	< 0.01
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	4.600	0.548	4.570	0.007	0.013	< 0.01

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 2ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซัก ระหว่างการซักด้วยวิธีใช้ผงซักฟอก กับผ้าก่อนทำการซัก ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ชนิดของผ้า	ผ้าก่อนทำการซัก		ซักด้วยผงซักฟอก		t	P
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	4.600	0.548	4.400	0.548	0.577	< 0.01
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	4.600	0.548	4.400	0.548	0.577	< 0.01
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	4.600	0.548	3.400	0.548	2.448	< 0.01
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 3ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซัก ระหว่างการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับผ้าก่อนทำการซัก ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ชนิดของผ้า	ผ้าก่อนทำการซัก		ซักด้วยคลื่นเสียง		t	P
	$\bar{X}$	*S.D.*	$\bar{X}$	*S.D.*		
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	4.600	0.548	4.400	0.548	0.577	< 0.01
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	4.600	0.548	4.400	0.548	0.577	< 0.01
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	4.600	0.548	4.400	0.548	0.577	< 0.01
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	4.600	0.548	3.400	0.548	3.462	< 0.01
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	4.600	0.548	4.570	0.007	0.013	< 0.01

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซัก ระหว่างการซักด้วยวิธีใช้ผงซักฟอก กับผ้าก่อนทำการซัก ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ชนิดของผ้า	ผ้าก่อนทำการซัก		ซักด้วยผงซักฟอก		t	P
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	4.600	0.548	3.600	0.548	2.885	< 0.01
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	4.600	0.548	3.000	0.000	6.529*	< 0.01
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 5ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซัก ระหว่างการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับวิธีใช้ผงซักฟอก ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ชนิดของผ้า	ซักด้วยคลื่นเสียง		ซักด้วยผงซักฟอก		t	P
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	4.600	0.548	3.600	0.548	2.885	< 0.01
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	4.600	0.548	3.000	0.000	6.529*	< 0.01
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	4.600	0.548	4.000	0.000	2.448	< 0.01

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 6ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของสีผ้าที่ทำการซัก ระหว่างการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับวิธีใช้ผงซักฟอก ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ชนิดของผ้า	ซักด้วยคลื่นเสียง		ซักด้วยผงซักฟอก		t	P
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	4.400	0.548	4.000	0.000	6.660*	< 0.01
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	4.400	0.548	4.400	0.548	0.000	< 0.01
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	4.000	0.000	4.400	0.548	-6.660*	< 0.01
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	4.400	0.548	4.000	0.000	6.660*	< 0.01
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	3.400	0.548	3.400	0.548	0.000	< 0.01
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	4.600	0.548	4.400	0.548	0.577	< 0.01

Copyright by Mahidol University

TEST REPORT OF PHYSICAL AND COLOUR FASTNESS

TEST. REQUESTED BY _____ . DATE _____ . NO. _____

CONTRACT/LOT NO. _____ . QUALITY T/R/L INSPECTOR _____

T.T.I. MAR 17 1999

COLOUR / Article / Test Item		ORIGINAL	[illegible]		[illegible]		TEST METHOD
		[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
Washing (class)	C		4	4	4-5	4-5	ISO#4 JIS-L Method
	S						
Dry Cleaning (class)	C						
	S						
Water at 37 °C (class)	C						
	S						
Perspirator (class)	C	acid / alka	acid / alka	acid / alka	acid / alka	acid / alka	acid / alka	
	S						
Rubbing (class)	DRY						
	WET						
Sublimation (class)	C						
	S						
Light (class)	C						
Shrinkage Wash (%)	L						
	W						
Shrinkage Press (%)	L						
	W						
Tensile Strength (kg)	L	100 OVER	60.05	90.86	100 OVER	77.02	1096 JIS-L Method
	W	100 OVER	55.03	91.25	90.63	67.36	
Fabric Slippage (mm) (kg)	BW						
	AW						
Tear Strength (gl)							
Piling (class)							

C: CHANGE OF SHADE S: STAINNING L: LENGHT W: WIDTH BW: BEFORE WASH AW: AFTER WASH

TTI INDUSTRIES PUBLIC CO. LTD

Copyright by Mahidol University

TEST REPORT OF PHYSICAL AND COLOUR FASTNESS

TEST REQUESTED BY. . .... DATE _____ NO. _____

CONTRACT/LOT NO ___ _____ QUALITY T/R/A INSPECTOR _____

MAR 1 ? 1993

COLOUR / Article / Test Item												TEST METHOD
Wash np (class)	C			4-5		4		4-5		4-5		
	S											
Dry Cleaning (class)	C											
	S											
Water at 30 °C (class)	C											
	S											
Perspiration (class)	C	acid	alka	acid	alka	acid	alka	acid	alka	acid	alka	
	S											
Rubbing (class)	DRY											
	WET											
Sublimation (class)	C											
	S											
Light (class)	C											

Shrinkage Wash (%)	L						
	W						
Shrinkage Press (%)	L						
	W						
Tensile Strength (kg)	L	100 OVER	71.90	87.73	86.63	83.76	ASTM D 5034 method
	W	85.7	39.47	83.80	80.70	80.33	
Fabric Slippage (mm) (kg)	BW						
	AW						
Tear Strength (g)							
Piling (class)							

C: CHANGE OF SHADE S: STAINNING L: LENGHT W: WIDTH BW: BEFORE WASH AW: AFTER WAS

TTI INDUSTRIES PUBLIC CO. LTD

Copyright by Mahidol University

TEST REPORT OF PHYSICAL AND COLOUR FASTNESS

TEST. REQUESTED BY _____. DATE _____. NO _____

CONTRACT/LOT NO. _____. QUALITY T/W. INSPECTOR _____

COLOUR / Article / Test Item		ORIGINAL	ตะกั่วปลา		ตลาดสี่แยก		TEST. METHOD
			น้ำ	เหนือ	น้ำ	เหนือ	
Washing (class)	C		4-5	4	4	4	ISO 105-C06 A1S
	S						
Dry Cleaning (class)	C						
	S						
Water at 37 °C (class)	C						
	S						
Perspiration (class)	C	acid / alka	acid / alka	acid / alka	acid / alka	acid / alka	
	S						
Rubbing (class)	DRY						
	WET						
Sublimation (class)	C						
	S						
Light (class)	C						
Shrinkage Wash (%)	L						
	W						
Shrinkage Press (%)	L						
	W						
Tensile Strength (kg)	L	72.11	43.73	52.60	67.79	57.35	ASTM D5034 Method
	W	54.37	27.13	46.75	42.10	38.43	
Fabric Slippage (mm) (kg)	BW						
	AW						
Tear Strength (g)							
Piling (class)							

C: CHANGE OF SHADE S: STAINING L: LENGHT W: WIDTH BW: BEFORE WASH AW: AFTER WASH

TTI INDUSTRIES PUBLIC CO., LTD.

Copyright by Mahidol University

TEST REPORT OF PHYSICAL AND COLOUR FASTNESS

TEST. REQUESTED BY _____ DATE _ _ . _ . _ _ NO. _ _ _ _ _

CONTRACT/LOT NO _____ QUALITY TC (6/39) INSPECTOR _____

COLOUR / Article / Test Item		ORIGINAL	วิธีการปฏิบัติ ปกติ		สภาพเปียก ปกติ		TEST. METHO
Washing (class)	C		4	3-4	4-5	4-5	ISO 105
	S						
Dry Cleaning (class)	C						
	S						
Water at 37 °C (class)	C						
	S						
Perspiration (class)	C	acid / alka	acid / alka	acid / alka	acid / alka	acid / alka	acid / alka
	S						
Rubbing (class)	DRY						
	WET						
Sublimation (class)	C						
	S						
Light (class)	C						
Shrinkage Wash (%)	L						
	W						
Shrinkage Press (%)	L						
	W						
Tensile Strength (kg)	L	93.30	41.50	86.20	83.45	73.7	ISO
	W	44.02	32.53	35.95	41.03	34.62	BS-A
Fabric Slippage (mm) (kg)	BW						
	AW						
Tear Strength (g)							
Piling (class)							

C: CHANGE OF SHADE S: STAINNING L: LENGHT W: WIDTH BW: BEFORE WASH AW: AFTER WA

TTI INDUSTRIES PUBLIC CO., LTD.

Copyright by Mahidol University

TEST REPORT OF PHYSICAL AND COLOUR FASTNESS

TEST. REQUESTED BY ..... DATE ..... NO .....

CONTRACT/LOT NO ..... QUALITY TC (70/30) INSPECTOR

COLOUR		ORIGINAL									TEST. METHO
Area / Test Item											
Washing (class)	C			3-4		3		3-4		3	
	S										
Dry Cleaning (class)	C										
	S										
Water at 37 °C (class)	C										
	S										
Perspiration (class)	C	acid	alka	acid	alka	acid	alka	acid	alka	acid	alka
	S										
Rubbing (class)	DRY										
	WET										
Sublimation (class)	C										
	S										
Light (class)	C										
Shrinkage Wash (%)	L										
	W										
Shrinkage Press (%)	L										
	W										
Tensile Strength (kg)	L	50.05		49.63		86.53		46.58		82.07	
	W	61.15		48.25		69.13		76.80		71.77	
Febric Slippage (mm) (kg)	BW										
	AW										
Tear Strength (g)											
Piling (class)											

C: CHANGE OF SHADE S: STAINNING L: LENGHT W: WIDTH BW: BEFORE WASH AW: AFTER WA

TTI INDUSTRIES PUBLIC CO. LTD.

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ง

ผลการเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึง ของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 7ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก กับค่าเดิมก่อนการทดลองซัก ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าก่อนซัก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยผงซักฟอก (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
1.ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	100.38	0.012	100.12	0.116	90.88	0.011	91.28	0.012	1,304.93*	169.50*
2.ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	100.07	0.063	85.70	0.071	87.73	0.011	83.80	0.007	431.46*	59.55*
3.ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	72.33	0.024	54.37	0.007	50.60	0.007	46.75	0.007	1,943.59*	1,721.18*

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 7ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าก่อนซัก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยผงซักฟอก (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
4.ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	93.30	0.012	42.02	0.012	86.20	0.012	35.98	0.012	935.51*	795.84*
5.ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	90.08	0.011	67.75	0.012	86.83	0.009	49.13	0.012	511.32*	2,453.4*

* $P < 0.01$

หมายเหตุ ผ้าสีทดสอบในกรณี Color Change ภายหลังการซักเพื่อตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของสีเท่านั้น

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 8ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก กับค่าเดิมก่อนการทดลองซัก ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าก่อนซัก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยผงซักฟอก (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
1.ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	100.38	0.012	100.12	0.116	60.08	0.016	55.03	0.007	4,505.68*	867.60*
2.ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	100.07	0.063	85.70	0.071	71.90	0.012	39.37	0.007	982.18*	1,452.07*
3.ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	72.33	0.024	54.37	0.007	43.73	0.011	27.10	0.012	2,422.34*	4,389.26*

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 8ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าก่อนซัก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยผงซักฟอก (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	*S.D.*	$\overline{X}$	*S.D.*	$\overline{X}$	*S.D.*	$\overline{X}$	*S.D.*	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
4.ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	93.30	0.012	42.02	0.012	41.50	0.007	22.63	0.012	8,337.51*	2,554.86*
5.ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	90.08	0.011	67.75	0.012	49.63	0.007	48.25	0.012	6,937.12*	2,569.35*

*P < 0.01

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 9ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก ด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับค่าเดิมก่อนการทดลองซัก ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าก่อนซัก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยคลื่นเสียง (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
1.ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	100.38	0.012	100.12	0.116	77.02	0.007	67.36	0.012	3,759.93*	628.14*
2.ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	100.07	0.063	85.70	0.071	83.78	0.005	80.35	0.009	576.37*	167.15*
3.ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	72.33	0.024	54.37	0.007	57.05	0.007	38.40	0.012	1,366.68*	2,570.46*

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 9ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าก่อนซัก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยคลื่นเสียง (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
4.ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	93.30	0.012	42.02	0.012	73.70	0.012	34.62	0.007	2,582.53*	1,191.07*
5.ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	90.08	0.011	67.75	0.012	82.07	0.012	41.77	0.009	1,100.26*	3,872.87*

*P < 0.01

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 10ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก ด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับค่าเดิมก่อนการทดลองซัก ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าก่อนซัก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยคลื่นเสียง (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	*S.D.*	$\overline{X}$	*S.D.*	$\overline{X}$	*S.D.*	$\overline{X}$	*S.D.*	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
1.ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	100.38	0.012	100.12	0.116	100.25	0.037	90.63	0.008	7.473*	182.50*
2.ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	100.07	0.063	85.70	0.071	83.63	0.007	80.70	0.012	579.94*	155.27*
3.ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	72.33	0.024	54.37	0.007	67.79	0.014	48.10	0.007	365.37*	1,416.25*

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 10ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าก่อนซัก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยคลื่นเสียง (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
4.ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	93.30	0.012	42.02	0.012	83.45	0.012	41.03	0.007	1,297.85*	159.35*
5.ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	90.08	0.011	67.75	0.012	86.58	0.007	46.80	0.009	600.25*	3,123.04*

*P < 0.01

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 11ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยคลื่นเสียง (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
1.ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	60.08	0.016	55.03	0.007	100.25	0.037	90.63	0.008	-2,228.2*	-7,488.52
2.ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	71.90	0.012	39.37	0.007	86.63	0.007	80.70	0.012	-2,370.9*	-6,652.3*
3.ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	43.73	0.011	27.10	0.012	67.79	0.014	48.10	0.007	-3,021.7*	-3,380.1*

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 11ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยคลื่นเสียง (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
4.ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	41.50	0.007	22.63	0.012	83.45	0.012	41.03	0.007	-6,752.1*	- 2,961.58*
5.ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	49.63	0.007	46.80	0.012	86.58	0.007	48.25	0.009	-8,346.2*	-216.15*

*P < 0.01

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 12ผ การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงของเส้นใยผ้าที่ทำการทดลองซัก ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยคลื่นเสียง (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
1.ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	90.88	0.011	91.28	0.012	77.02	0.007	67.36	0.012	2,376.97*	3,151.74*
2.ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	87.73	0.011	83.80	0.007	83.78	0.005	80.35	0.009	730.98*	676.60*
3.ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	50.60	0.007	46.75	0.007	57.05	0.007	38.40	0.012	-1,456.9*	1,343.98*

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 12ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก (kg)				ค่าความต้านแรงดึงของใยผ้าหลังการซักด้วยคลื่นเสียง (kg)				t	
	ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง		ด้ายยืน		ด้ายพุ่ง			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
4.ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	86.20	0.012	35.98	0.012	73.70	0.012	34.62	0.007	1,647.02*	218.90*
5.ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	86.83	0.009	49.13	0.012	82.07	0.012	41.77	0.009	709.58*	1,097.16*

*P < 0.01

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก จ

ผลการเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงขนาดที่กำหนดบนผ้าตัวอย่างภายหลังจากการซัก

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 13ผ การเปรียบความเปลี่ยนแปลงขนาดที่กำหนดบนผ้าตัวอย่าง ภายหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก ทั้งกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคลและฝุ่นละออง

ชนิดของผ้า	ขนาดที่กำหนดบนผ้าก่อนซัก			ขนาดที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก					เปอร์เซ็นต์การหดตัว
	ตามแนวขวาง (มม.)	ตามแนวยาว (มม.)	พื้นที่ (มม.^{2})	ตามแนวขวาง (มม.)		ตามแนวยาว(มม.)		พื้นที่ (มม.^{2})	
				$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1.ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	100	100	1,000	97.98	0.11	97.80	0.14	9,582.44	แนวขวาง 0.020 แนวยาว 0.022 ตามพื้นที่ 0.042
2.ผ้าใยผสมT/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	100	100	1,000	98.01	0.11	97.70	0.12	9,575.58	แนวขวาง 0.020 แนวยาว 0.023 ตามพื้นที่ 0.042

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 13ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ขนาดที่กำหนดบนผ้าก่อนซัก			ขนาดที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก					เปอร์เซ็นต์การหดตัว
	ตามแนวขวาง (มม.)	ตามแนวยาว (มม.)	พื้นที่ (มม.^{2})	ตามแนวขวาง (มม.)		ตามแนวยาว(มม.)		พื้นที่ (มม.^{2})	
				$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
3.ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	100	100	1,000	97.80	0.14	98.00	0.14	9,584.40	แนวขวาง 0.022 แนวยาว 0.020 ตามพื้นที่ 0.042
4.ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	100	100	1,000	97.95	0.11	97.97	0.12	9,596.16	แนวขวาง 0.021 แนวยาว 0.020 ตามพื้นที่ 0.040
5.ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	100	100	1,000	97.95	0.11	97.97	0.12	9,596.16	แนวขวาง 0.021 แนวยาว 0.020 ตามพื้นที่ 0.040

Copyright by Mahidol University

สำนักหอสมุด

ตารางที่ 14ผ การเปรียบความเปลี่ยนแปลงขนาดที่กำหนดบนผ้าตัวอย่าง ภายหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ทั้งกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคลและฝุ่นละออง

ชนิดของผ้า	ขนาดที่กำหนดบนผ้าก่อนซัก			ขนาดที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง					เปอร์เซ็นต์การหดตัว
	ตามแนวขวาง (มม.)	ตามแนวยาว (มม.)	พื้นที่ (มม.^{2})	ตามแนวขวาง (มม.)		ตามแนวยาว(มม.)		พื้นที่ (มม.^{2})	
				$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
1.ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	100	100	1,000	98.00	0.14	97.90	0.12	9,594.20	แนวขวาง 0.020 แนวยาว 0.021 ตามพื้นที่ 0.040
2.ผ้าใยผสมT/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	100	100	1,000	97.95	0.11	97.80	0.14	9,579.51	แนวขวาง 0.021 แนวยาว 0.022 ตามพื้นที่ 0.042
3.ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	100	100	1,000	97.90	0.12	97.95	0.11	9,589.31	แนวขวาง 0.021 แนวยาว 0.021 ตามพื้นที่ 0.041

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 14ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ขนาดที่กำหนดบนผ้าก่อนซัก			ขนาดที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง					เปอร์เซ็นต์การหดตัว
	ตามแนวขวาง (มม.)	ตามแนวยาว (มม.)	พื้นที่ (มม.^{2})	ตามแนวขวาง (มม.)		ตามแนวยาว(มม.)		พื้นที่ (มม.^{2})	
				$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
4.ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	100	100	1,000	97.80	0.14	98.00	0.14	9,584.4	แนวขวาง 0.022 แนวยาว 0.020 ตามพื้นที่ 0.042
5.ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	100	100	1,000	97.90	0.12	97.89	0.12	9,583.43	แนวขวาง 0.021 แนวยาว 0.021 ตามพื้นที่ 0.042

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 15ผ การเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงขนาดที่กำหนดบนผ้าตัวอย่างภายหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก และคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ทั้งกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคลและฝุ่นละออง

ชนิดของผ้า	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก				ขนาดที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง				t	
	ตามแนวขวาง		ตามแนวยาว		ตามแนวขวาง		ตามแนวยาว		ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1.ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	97.98	0.11	97.80	0.14	98.00	0.14	97.90	0.12	-0.36	-1.71
2.ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	98.01	0.11	97.70	0.12	97.95	0.11	97.80	0.14	1.22	-1.71
3.ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	97.80	0.14	98.00	0.14	97.90	0.12	97.95	0.11	-1.71	0.89
4.ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	97.95	0.11	97.97	0.12	97.80	0.14	98.00	0.14	2.66	-0.51

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 15ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ขนาดที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก				ขนาดที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการซักด้วยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง				t	
	ตามแนวขวาง		ตามแนวยาว		ตามแนวขวาง		ตามแนวยาว		ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
5.ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	97.87	0.11	98.00	0.14	97.90	0.12	97.89	0.12	-0.58	1.89

$P < 0.01$

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดสอบคุณภาพของน้ำทิ้ง ภายหลังจากการซัก

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 16ผ ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำทิ้งภายหลังจากการซัก ด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก

ชนิดของผ้า	ชนิดของรอยเปื้อน	น้ำที่ปล่อยเข้าเมื่อเริ่มทำการซัก			น้ำที่ปล่อยออกหลังจากการซัก		
		อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์
1. ผ้าใยผสมT/R/L (T=70%, R+L=30%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=140mg/l COD=2,207 mg/l P_{total}=86mg/l pH=9.96 Hardness=67 mg/l ($CaCO_3$) TDS=3,736.40 mg/l

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 16ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ชนิดของรอยเปื้อน	น้ำที่ปล่อยเข้าเมื่อเริ่มทำการซัก			น้ำที่ปล่อยออกหลังจากการซัก		
		อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5% A=17.5%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=140mg/l COD=2,207 mg/l P_{total}=86mg/l pH=9.96 Hardness=67 mg/l ($CaCO_3$) TDS=3,736.40 mg/l
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=140mg/l COD=2,207 mg/l P_{total}=86mg/l pH=9.96 Hardness=67 mg/l ($CaCO_3$) TDS=3,736.40 mg/l

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 16ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ชนิดของรอยเปื้อน	น้ำที่ปล่อยเข้าเมื่อเริ่มทำการซัก			น้ำที่ปล่อยออกหลังจากการซัก		
		อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=140mg/l COD=2,207 mg/l P_{total}=86mg/l pH=9.96 Hardness=67 mg/l ($CaCO_3$) TDS=3,736.40 mg/l
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=140mg/l COD=2,207 mg/l P_{total}=86mg/l pH=9.96 Hardness=67 mg/l ($CaCO_3$) TDS=3,736.40 mg/l

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 16ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ชนิดของรอยเปื้อน	น้ำที่ปล่อยเข้าเมื่อเริ่มทำการซัก			น้ำที่ปล่อยออกหลังจากการซัก		
		อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=140mg/l COD=2,207 mg/l P_{total}=86mg/l pH=9.96 Hardness=67 mg/l ($CaCO_3$) TDS=3,736.40 mg/l

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 17ผ ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำทิ้งภายหลังจากการซัก ด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

ชนิดของผ้า	ชนิดของรอยเปื้อน	น้ำที่ปล่อยเข้าเมื่อเริ่มทำการซัก			น้ำที่ปล่อยออกหลังจากการซัก		
		อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์
1. ผ้าใยผสมT/R/L (T=70%, R+L=30%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=233mg/l COD=439 mg/l P_{total}=0.37mg/l pH=6.95 Hardness=152 mg/l ($CaCO_3$) TDS=651.20 mg/l
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5% A=17.5%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=233mg/l COD=439 mg/l P_{total}=0.37mg/l pH=6.95 Hardness=152 mg/l ($CaCO_3$) TDS=651.20 mg/l

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 17ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ชนิดของรอยเปื้อน	น้ำที่ปล่อยเข้าเมื่อเริ่มทำการซัก			น้ำที่ปล่อยออกหลังจากการซัก		
		อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=233mg/l COD=439 mg/l P_{total}=0.37mg/l pH=6.95 Hardness=152 mg/l ($CaCO_3$) TDS=651.20 mg/l
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=233mg/l COD=439 mg/l P_{total}=0.37mg/l pH=6.95 Hardness=152 mg/l ($CaCO_3$) TDS=651.20 mg/l

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 17ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ชนิดของรอยเปื้อน	น้ำที่ปล่อยเข้าเมื่อเริ่มทำการซัก			น้ำที่ปล่อยออกหลังจากการซัก		
		อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณ (ลิตร)	ผลการวิเคราะห์
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=233mg/l COD=439 mg/l P_{total}=0.37mg/l pH=6.95 Hardness=152 mg/l($CaCO_3$) TDS=651.20 mg/l
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	ฝุ่นละอองและเหงื่อไคล	34	20	BOD=0.72mg/l COD=2mg/l P_{total}=0.01mg/l pH=7.17 Hardness=83 mg/l ($CaCO_3$) TDS=122mg/l	35	20	BOD=233mg/l COD=439 mg/l P_{total}=0.37mg/l pH=6.95 Hardness=152 mg/l ($CaCO_3$) TDS=651.20 mg/l

Copyright by Mahidol University

K. กรพงษ์

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
พุทธมณฑลสาย 4 ต. ศาลายา อ.อ. พุทธมณฑล จ. นครปฐม 73170
โทร. 4419507, 441-0211-15 ต่อ 23C Fax : 441-9510

โครงการใช้บริการตรวจวัดและวิเคราะห์ทางด้านสิ่งแวดล้อม
ใบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ
ผู้ส่งตัวอย่างน้ำ คุณวรพงษ์ บุนธินทร์
ชนิดตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างน้ำ จำนวน 3 ตัวอย่าง
วันที่รับตัวอย่าง 9 มีนาคม พ.ศ. 2542
วันที่ส่งรายงาน 18 มีนาคม พ.ศ. 2542

Parameter	น้ำผิวดิน	น้ำทิ้ง ซักล้วยแขวนซักไขมัน	น้ำทิ้ง ซักล้วยแขวนตีนเหลือง
pH	7.17	9.96	6.95
BOD (mg/l)	0.72	140	233
COD (mg/l)	2	2,297	439
TDS (mg/l)	122.00	3,796.40	681.20
Total Phosphate (mg/l)	0.01	86.0	0.37
Hardness (mg/l $CaCO_3$)	33	67	152

(นางสุรีนทร บุลทองน้อย)
ผู้วิเคราะห์และส่งรายงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลือพล ปุณณกันต์)
หัวหน้าโครงการฯ

(รองศาสตราจารย์รุ่งอรวิน ทุตะเมธิญ)
คณบดี
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

หมายเหตุ ผลการทดลองครั้งนี้ใช้ได้กับตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบเท่านั้น และผลการรายงานครั้งนี้ใช้ไม่ได้กับตัวอย่างอื่นๆ แม้จะมาจากบริษัทเดียวกัน

Copyright by Mahidol University

TOTAL P.01

ภาคผนวก ช

ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการซักผ้า

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 18ผ ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการซักผ้าหนาและบาง ระหว่างการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

ชนิดของผ้า	ลักษณะผ้า	ความสามารถในการซัก						t
		ใช้ผงซักฟอก			ใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง			
		$\overline{X}$	S.D.	ระดับ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับ	
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%,R+L=30%)	บาง	4.530	0.507	มากที่สุด	4.500	0.509	มากที่สุด	0.44
	หนา	4.420	0.728	มาก	4.390	0.563	มาก	0.21
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5% A=17.5%)	บาง	4.418	0.504	มาก	4.480	0.509	มาก	-1.00
	หนา	4.560	0.479	มากที่สุด	4.546	0.504	มากที่สุด	0.83
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	บาง	4.425	0.504	มาก	4.420	0.498	มาก	0.37
	หนา	4.509	0.507	มากที่สุด	4.427	0.504	มาก	1.00
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	บาง	4.400	0.498	มาก	4.400	0.498	มาก	0.00
	หนา	4.305	0.479	มาก	4.410	0.504	มาก	-1.00
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	บาง	4.462	0.507	มาก	4.405	0.498	มาก	0.63
	หนา	4.453	0.507	มาก	4.560	0.504	มากที่สุด	-1.36
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	บาง	4.410	0.498	มาก	4.486	0.507	มาก	-0.81
	หนา	4.323	0.479	มาก	4.250	0.430	มาก	1.36

$P < 0.01$

มาตรฐานของ JIS L 0844 และ JIS L 0848 ได้กำหนดระดับ Gray scale ดังนี้

0.000 – 2.499 = น้อย, 2.500 – 3.499 = ปานกลาง, 3.500 – 4.499 = มาก

และ 4.500 – 5.000 = มากที่สุด

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 19ผ อัตราค่าใช้จ่ายในการซักกรณีที่ใช้ผงซักฟอก

ชนิดของผ้า	ชนิดของรอยเปื้อน	น้ำหนักผ้า (กรัม)	ค่าใช้จ่ายสำหรับผงซักฟอก		ค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำซัก		ค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องซักผ้า (บาท)	รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)
			ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	ราคา (บาท)	ปริมาณที่ใช้ ($ม.^3$)	ราคา (บาท)		
1. ใยผสม T/R/L T=70% R+L=30%	ฝุ่นละออง	5	1.5	0.11	0.08	0.24	0.53	0.88
	เหงื่อไคล	5	1.5	0.11	0.08	0.24	0.53	0.88
2. ใยผสม T/R/A R=17.5% A=17.5%	ฝุ่นละออง	5	1.5	0.11	0.08	0.24	0.53	0.88
	เหงื่อไคล	5	1.5	0.11	0.08	0.24	0.53	0.88
3. ใยผสม T/W T=60% W=40%	ฝุ่นละออง	5	1.5	0.11	0.08	0.24	0.53	0.88
	เหงื่อไคล	5	1.5	0.11	0.02	0.24	0.53	0.88

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 19ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ชนิดของรอยเปื้อน	น้ำหนักผ้า (กรัม)	ค่าใช้จ่ายสำหรับผงซักฟอก		ค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำซัก		ค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องซักผ้า (บาท)	รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)
			ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	ราคา (บาท)	ปริมาณที่ใช้ ($ม.^3$)	ราคา (บาท)		
4. ใยผสม T/C T=61% C=39%	ฝุ่นละออง	5	1.5	0.11	0.08	0.24	0.53	0.88
	เหงื่อไคล	5	1.5	0.11	0.08	0.24	0.53	0.88
5. ใยผสม T/C T=70% C=30%	ฝุ่นละออง	5	1.5	0.11	0.08	0.24	0.53	0.88
	เหงื่อไคล	5	1.5	0.11	0.08	0.24	0.53	0.88
6. ผ้าสี T/C T=70% C=30%	ฝุ่นละออง	5	1.5	0.11	0.08	0.24	0.53	0.88
	เหงื่อไคล	5	1.5	0.11	0.08	0.24	0.53	0.88

หมายเหตุ คิดอัตราค่าใช้น้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ 3 บาท ราคาผงซักฟอก 1 กรัม เท่ากับ 0.07 บาท (โดยประมาณ) ซักน้ำหลังจากการซักด้วยผงซักฟอก อีก 3 ครั้ง รวมใช้น้ำทั้งหมด 4 ครั้ง

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 20ผ อัตราค่าใช้จ่ายในการซักกรณีที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูง

ชนิดของผ้า	ชนิดของรอยเปื้อน	น้ำหนักผ้า (กรัม)	ค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำซัก		ค่าใช้จ่ายสำหรับไฟฟ้า		รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)
			ปริมาณที่ใช้ ($ม.^3$)	ราคา (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ราคา (บาท)	
1. ใยผสม T/R/L T=70% R+L=30%	ฝุ่นละออง	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52
	เหงื่อไคล	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52
2. ใยผสม T/R/A R=17.5% A=17.5%	ฝุ่นละออง	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52
	เหงื่อไคล	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52
3. ใยผสม T/W T=60% W=40%	ฝุ่นละออง	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52
	เหงื่อไคล	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52
4. ใยผสม T/C T=61% C=39%	ฝุ่นละออง	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52
	เหงื่อไคล	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 20ผ (ต่อ)

ชนิดของผ้า	ชนิดของรอยเปื้อน	น้ำหนักผ้า (กรัม)	ค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำซัก		ค่าใช้จ่ายสำหรับไฟฟ้า		รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)
			ปริมาณที่ใช้ ($ม.^3$)	ราคา (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ราคา (บาท)	
5. ใยผสม T/C T=70% C=30%	ฝุ่นละออง	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52
	เหงื่อไคล	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52
6. ผ้าสี T/C T=70% C=30%	ฝุ่นละออง	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52
	เหงื่อไคล	5	0.04	0.12	0.20	0.40	0.52

หมายเหตุ อัตราการคิดค่าไฟฟ้า คิดตามประเภท11 (ติดตั้งมิเตอร์เกินกว่า 5 แอมป์) ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % โดยที่ 1 kwh = 2.02 บาท

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 21ผ ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการซักผ้าหนาและบาง ระหว่างการซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก และวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

ชนิดของผ้า	ลักษณะผ้า	ระยะเวลาในการซัก (นาที)	
		ใช้ผงซักฟอก	ใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%,R+L=30%)	บาง	42	30
	หนา	90	50
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5% A=17.5%)	บาง	42	30
	หนา	90	50
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%, W=40%)	บาง	42	30
	หนา	90	50
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	บาง	42	30
	หนา	90	50
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	บาง	42	30
	หนา	90	50
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	บาง	42	30
	หนา	90	50

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ซ

ประสิทธิภาพในการซักผ้าชนิดต่าง ๆ

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 22ผ ประสิทธิภาพในการซักผ้าชนิดต่าง ๆ ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล เมื่อซักด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง (η_S)

ชนิดของผ้า	ระดับความสะอาด		ประสิทธิภาพในการซัก (η_S)
	ผ้าก่อนทำการซัก	ซักด้วยคลื่นเสียง	
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	4.600	4.600	100.00%
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	4.600	4.600	100.00%
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	4.600	4.000	86.96%
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	4.600	4.600	100.00%
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	4.600	3.000	65.22%
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	4.600	4.570	99.34%

มาตรฐานของ JIS L 0844 และ JIS L 0848 ได้กำหนดระดับ Gray scale ดังนี้

0.000 – 2.499 = น้อย, 2.500 – 3.499 = ปานกลาง, 3.500 – 4.499 = มาก

และ 4.500 – 5.000 = มากที่สุด

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 23ผ ประสิทธิภาพในการซักผ้าชนิดต่าง ๆ ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล เมื่อซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก (η_D)

ชนิดของผ้า	ระดับความสะอาด		ประสิทธิภาพในการซัก (η_D)
	ผ้าก่อนทำการซัก	ซักด้วยผงซักฟอก	
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	4.600	4.000	86.96%
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	4.600	4.000	86.96%
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	4.600	4.000	86.96%
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	4.600	3.600	78.26%
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	4.600	3.000	65.22%
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	4.600	4.000	86.96%

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 24ผ ประสิทธิภาพในการซักผ้าชนิดต่าง ๆ ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง เมื่อซักด้วยวิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง

ชนิดของผ้า	ระดับความสะอาด		ประสิทธิภาพในการซัก (η_S)
	ผ้าก่อนทำการซัก	ซักด้วยคลื่นเสียง	
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	4.600	4.400	95.65%
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	4.600	4.400	95.65%
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	4.600	4.000	86.96%
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	4.600	4.400	95.65%
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	4.600	3.400	73.91%
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	4.600	4.570	99.35%

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 25ผ ประสิทธิภาพในการซักผ้าชนิดต่าง ๆ ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง เมื่อซักด้วยวิธีการใช้ผงซักฟอก

ชนิดของผ้า	ระดับความสะอาด		ประสิทธิภาพในการซัก (η_D)
	ผ้าก่อนทำการซัก	ซักด้วยผงซักฟอก	
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	4.600	4.000	87.00%
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	4.600	4.400	95.65%
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	4.600	4.400	95.65%
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	4.600	4.000	87.00%
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	4.600	3.400	73.91%
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	4.600	4.000	87.00%

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 26ผ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผ้าที่ทำการซัก ในกรณีที่เปื้อนเหงื่อไคล ระหว่างการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับวิธีใช้ผงซักฟอก

ชนิดของผ้า	ประสิทธิภาพในการซัก		ผลการเปรียบเทียบ
	ซักด้วยคลื่นเสียง η_S	ซักด้วยผงซักฟอก η_D	
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	100.00%	86.96%	$\eta_S > \eta_D$
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	100.00%	86.96%	$\eta_S > \eta_D$
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	86.96%	86.96%	$\eta_S = \eta_D$
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	100.00%	78.26%	$\eta_S > \eta_D$
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	65.22%	65.22%	$\eta_S = \eta_D$
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	99.34%	86.96%	$\eta_S > \eta_D$

Copyright by Mahidol University

<u>ตารางที่ 27ผ</u> การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผ้าที่ทำการซัก ในกรณีที่เปื้อนฝุ่นละออง ระหว่างการซักด้วยวิธีใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง กับวิธีใช้ผงซักฟอก

ชนิดของผ้า	ประสิทธิภาพในการซัก		ผลการเปรียบเทียบ
	ซักด้วยคลื่นเสียง η_S	ซักด้วยผงซักฟอก η_D	
1. ผ้าใยผสม T/R/L (T=70%, R+L=30%)	95.65%	87.00%	$\eta_S > \eta_D$
2. ผ้าใยผสม T/R/A (T=65%, R=17.5%, A=17.5%)	95.65%	95.65%	$\eta_S = \eta_D$
3. ผ้าใยผสม T/W (T=60%,W=40%)	86.96%	95.65%	$\eta_S < \eta_D$
4. ผ้าใยผสม T/C (T=61%, C=39%)	95.65%	87.00%	$\eta_S > \eta_D$
5. ผ้าใยผสม T/C (T=70%, C=30%)	73.91%	73.91%	$\eta_S = \eta_D$
6. ผ้าสี T/C (T=70%, C=30%)	99.35%	87.00%	$\eta_S > \eta_D$

Copyright by Mahidol University

ประวัติผู้วิจัย

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยมหิดล

ชื่อ นายวรพงษ์ ขุนอินทร์

วัน เดือน ปีเกิด 25 พฤศจิกายน 2494

สถานที่เกิด จังหวัดนครสวรรค์ ประเทศไทย

ประวัติการศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พ.ศ. 2518-2520
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (สาขาวิศวกรรมเครื่องกล)

มหาวิทยาลัยมหิดล, พ.ศ. 2539-2542
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)

ทุนวิจัย

ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์บางส่วน
ประจำปีงบประมาณ 2541 จากกรมอาชีวศึกษา
กระทรวงศึกษาธิการ

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

พ.ศ. 2524 – ปัจจุบัน
วิทยาลัยเทคนิคนครสวรรค์
กองวิทยาลัยเทคนิค กรมอาชีวศึกษา
กระทรวงศึกษาธิการ
ตำแหน่ง: อาจารย์ 2 ระดับ 7

Copyright by Mahidol University