การนำเศษเส้นใยธรรมชาติกลับมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน

REUSE OF DISPOSED NATURAL FIBERS AS HEAT INSULATOR

ธัญลักษณ์ จงมี

THANYALAK JONGMEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสิ่งทอ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2553

การนำเศษเส้นใยธรรมชาติกลับมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน

ธัญลักษณ์ จงมี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสิ่งทอ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2553

REUSE OF DISPOSED NATURAL FIBERS AS HEAT INSULATOR

THANYALAK JONGMEE

A THESIS SUMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR

THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

IN TEXTILE ENGINEERING DEPARTMENT OF TEXTILE ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2010

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นางสาว ธัญลักษณ์ จงมี

COPYRIGHT © 2010 ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2553
FACULTY OF ENGINEERING คณะวิศวกรรมศาสตร์
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำเศษเส้นใยธรรมชาติกลับมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน
ชื่อนักศึกษา	ธัญลักษณ์ จงมี
รหัสประจำตัว	115170450102-2
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สิ่งทอ
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.ปลื้มจิตต์ เตชธรรมรักษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติของเศษเส้นใยจากขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม สมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า สมบัติการนำความร้อนของเศษเส้นใยทั้งสามชนิดที่ได้จากเศษขนสัตว์จากการทำพรม เศษเส้นใยฝ้ายจากเครื่องสาง และเศษใยไหมที่เหลือติดรังไหมในส่วนที่ไม่สามารถสาวได้แล้ว ดำเนินการทดสอบภาคตัดตามขวาง ภาคตัดตามยาวของเศษเส้นใยผ่านกล้องจุลทรรศน์ วัดความยาวเส้นใย จัดทำชิ้นทดสอบโดยการตัดผ้าป่านขนาด 10×10 ตารางเซนติเมตร เย็บเว้นระยะห่างช่องละ 1 เซนติเมตร จำนวน 10 ช่อง บรรจุเส้นใยให้ครบทุกช่อง ชั่งน้ำหนัก ทดสอบภาคตัดตามขวาง และภาคตัดตามยาวของชิ้นทดสอบ ทดสอบสมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า และสมบัติการนำความร้อน

จากผลการทดสอบพบว่า ภาคตัดตามขวางและภาคตัดตามยาวของเส้นใยมีลักษณะดังนี้ เศษเส้นใยขนสัตว์ มีลักษณะกลม มีช่องว่างกระจายรอบๆ เส้นใยมีความหยิกงอและซ้อนกันเป็นชั้น เส้นใยฝ้ายมีลักษณะคล้ายเมล็ดถั่ว มีช่องว่างกลางเส้นใย เส้นใยบิดเป็นเกลียวคล้ายริบบิ้น เส้นใยไหมมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมมีช่องว่างรอบๆเส้นใยเช่นกัน ความยาวของเศษเส้นใยขนสัตว์และเศษเส้นใยฝ้ายพบว่าเศษเส้นใยขนสัตว์มีความยาวเฉลี่ย 0.5 เซนติเมตร เส้นใยฝ้ายมีความยาวเฉลี่ย 1.6 เซนติเมตร เศษเส้นใยขนสัตว์สั้นและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยใหญ่กว่าเศษเส้นใยฝ้าย และจากผลการทดสอบภาคตัดตามขวางและภาคตัดตามยาวของชิ้นทดสอบ พบว่าเส้นใยที่บรรจุในชิ้นทดสอบมีการเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ และจากผลการทดสอบการไหลผ่านของอากาศของเศษเส้นใย พบว่าความหนาแน่นมีผลต่อการยอมให้อากาศไหลผ่านในขณะที่ชิ้นทดสอบจากเศษรังไหมมีการนำความร้อนดีที่สุด รองลงมาคือชิ้นทดสอบจากเศษเส้นใยฝ้าย และเศษเส้นใยขนสัตว์

เมื่อแปลงค่าการนำความร้อนเป็นค่าการต้านทานความร้อน พบว่าชิ้นทดลองมีสมบัติในการต้านทานความร้อนดีที่สุด คือ ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์ รองลงมาคือชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้าย และรังไหมตามลำดับ

คำสำคัญ : การนำความร้อน, การต้านทานความร้อน, สมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า

Thesis Title :	REUSE OF DISPOSED NATURAL FIBERS AS HEAT INSULATOR
Student Name :	Thanyalak Jongmee
Student ID :	115170450102-2
Degree Award :	Master of Engineering
Study Program :	Textile Engineering
Academic Year :	2010
Thesis Advisor :	Dr. Pluemchit Techathammarak

ABSTRACT

The research aims to study the property of three wasted fibers, namely, wasted cotton from carding machine; silk cocoon which is the waste from spinning process; and wasted wool from carpeting process. Each fiber was packed in an individual cotton bag like a small padding in order to test for its air permeability and thermal conductivity properties.

Using microscope, the cross sectional and longitudinal appearance including the diameter of the three fibers were observed. Then, the fiber length of wasted cotton and wasted wool were measured. Test specimens were prepared by sewing a cotton bag having the dimensions of 10 x 10 square centimeters. Nine parallel stitch lines having one centimeter apart were sewn to divide the bag into ten slots. The sample fiber was filled in the slots of the bag so that the fibers were held in place. The test specimen was weighted and trimmed at the sides to check the distribution of the fibers in the specimen. The test specimen of each fiber was tested for their air permeability and thermal conductivity properties.

It was found that wool fiber has a circular cross sectional shape, cotton has a kidney shape and lumen inside, silk has a triangular shape. The average fiber length of wool and cotton are 0.5 and 1.6 centimeters, respectively. Fiber diameter of wool is larger than cotton. Silk is the finest fiber. The fiber distribution in the test specimen is randomly. The space between fibers in test specimens having wool and cotton is tiny compare to the space between silk cocoons in the silk specimen. The test specimen having low packing density gives good air permeability. The higher the packing density will result on worst air permeability. Test specimen having silk cocoon gives the highest air permeability because of the larger pore inside the test specimen. Test specimen

having silk cocoon fiber presents the highest thermal conductivity, following with the test specimen having cotton fibers and wool fibers.

The thermal conductivity was, then, conversed into thermal resistance. The thermal resistance of the test specimens having wool fibers presents the highest thermal resistance, following with the test specimen having cotton fibers and silk cocoon fibers.

Keywords : Thermal conductivity, Thermal resistance, Air permeability

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้โดยได้รับความร่วมมือและความอนุเคราะห์จากบุคคลและหน่วยงานต่าง ๆ หลายฝ่ายด้วยกัน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.ปลื้มจิตต์ เตชธรรมรักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ชี้แจงจุดบกพร่องต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ อุปกรณ์เครื่องมือและคำแนะนำต่างๆ ในการทำการวิจัยในครั้งนี้ด้วย

ขอขอบคุณคณาจารย์คณะออกแบบสิ่งทอและแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และอาจารย์พิชิตพล เจริญทรัพยานันท์ ที่อำนวยความสะดวกในการทดสอบการไหลผ่านของอากาศในผ้า และการทดสอบสมบัติของเส้นใยผ่านกล้องจุลทรรศน์

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้ความสนับสนุนการทดสอบการนำความร้อน และขอขอบคุณ คุณวินัย แก้วมณี วิศวกรฝ่ายขายอวุโส บริษัท มหาจักรดีเวลอปเมนท์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ชี้แนะความรู้เรื่องการนำความร้อนและให้ความร่วมมือในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งมีส่วนผลักดันให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกจาก รุ่นพี่ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง สืบค้นข้อมูลและช่วยในการจัดทำเอกสารต่างๆ ในการนำมาประกอบการศึกษาวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอมอบคุณความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แด่ บิดา มารดา ที่ได้อบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจให้อย่างดี ตลอดจนครูอาจารย์ที่ตั้งใจประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้ ขอขอบคุณผู้เขียนหนังสือ บทความ และเอกสารที่นำมาใช้ในการอ้างอิงในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบคุณหน่วยงานและบุคคลอีกหลายๆท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ธัญลักษณ์ จงมี

27 กันยายน 2553

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐาน	2
1.4 ขอบเขต	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 หลักการถ่ายเทความร้อนของฉนวนความร้อน	4
2.3 สมบัติการนำความร้อน	7
2.4 การถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน	7
2.5 ความสมดุลความร้อนของร่างกาย	11
2.6 สมบัติการนำความร้อนของเส้นใย	15
2.7 ระดับการต้านทานความร้อน (Tog value)	15
2.8 เส้นใย	17
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	24
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	24
3.2 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของเศษเส้นใยและชิ้นทดสอบ	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 การทดสอบการไหลผ่านของอากาศในผ้า 30

3.4 การทดสอบการนำความร้อนของชิ้นทดสอบ 31

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 33

4.1 ผลการทดสอบ 33

4.2 การทดสอบเบื้องต้นของเส้นใยและชิ้นทดสอบ 33

4.3 การตรวจสอบการไหล่ผ่านของอากาศของชิ้นทดสอบ 41

4.4 การทดสอบการนำความร้อนของชิ้นทดสอบ 42

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 54

5.1 สรุปผลการทดลอง 54

5.2 ข้อเสนอแนะ 55

เอกสารอ้างอิง 56

ภาคผนวก

ก. การคัดเลือกเส้นใย 58

ข. ประเภทของเครื่องทดสอบการำความร้อน 61

ค. ผลการทดสอบการนำความร้อน (ทดสอบ 1ชั้น) 66

ง. ผลการทดสอบการนำความร้อน (ทดสอบ 2ชั้น) 69

จ. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ 75

ประวัติผู้เขียน 83

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 พลังงานที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม	11
2.2 ค่าการนำความร้อนของขนสัตว์	16
2.3 ค่าฉนวนความร้อนของวัสดุ	17
4.1 ความยาวเศษเส้นใยขนสัตว์	35
4.2 ความยาวเศษเส้นใยฝ้าย	36
4.3 น้ำหนักต่อพื้นที่ของชิ้นทดสอบ	37
4.4 ความหนาของชิ้นทดสอบ 1 ชั้น	37
4.5 ความหนาของชิ้นทดสอบที่เย็บซ้อนกัน 2 ชั้น	38
4.6 ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบและสัดส่วนที่เป็นช่องว่างของชิ้นทดสอบ	39
4.7 สมบัติการไหลผ่านของอากาศในชิ้นทดสอบ	41
4.8 สมบัติการไหลผ่านของอากาศในชิ้นทดสอบต่อพื้นที่	41
4.9 การนำความร้อนของชิ้นทดสอบ	42
4.10 การต้านทานความร้อนของชิ้นทดสอบ	43
4.11 ระดับการต้านทานความร้อน (Tog) ของชิ้นทดสอบ	44
4.12 สมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้าของชิ้นทดสอบ 2 ชั้น	46
4.13 สมบัติการนำความร้อนของชิ้นทดสอบ 2 ชั้น	47
4.14 การต้านทานความร้อนของชิ้นทดสอบ 2 ชั้น	48
4.15 ระดับการต้านทานความร้อน (Tog) ของชิ้นทดสอบ 2 ชั้น	49
4.16 สรุปผลการทดสอบเศษเส้นใยขนสัตว์ 3 ความหนาแน่น	50
4.17 สรุปผลการทดสอบเศษเส้นใยฝ้าย 3 ความหนาแน่น	51
4.18 สรุปผลการทดสอบเศษรังไหม	52

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะการนำความร้อนของแท่งโลหะ	4
2.2 ลักษณะการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์สู่โลก	6
2.3 การไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน	8
2.4 ผลกระทบของความหนาแน่นต่อสภาพการนำความร้อนปรากฏของฉนวนน้ำหนักเบา	9
2.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนผิวสะท้อนรังสี	10
2.6 การสูญเสียความร้อนของร่างกายมนุษย์	12
2.7 การพาและการแผ่รังสีความร้อน	13
2.8 การต้านทานความร้อนและการถ่ายเทความร้อน	14
2.9 สัณฐานวิทยาของเส้นใยขนสัตว์	18
2.10 ภาคตัดตามขวางและภาคตามยาวของเส้นใยขนสัตว์	18
2.11 สัณฐานวิทยาของเส้นใยฝ้าย	19
2.12 ภาคตัดตามขวางและภาคตามยาวของเส้นใยฝ้าย	20
2.13 ภาคตัดตามขวางและภาคตามยาวของเส้นใยไหม	21
3.1 กล้องจุลทรรศน์ บริษัทผู้ผลิต Nikon Instech Co.,Ltd รุ่น SMZ1500	25
3.2 การวัดความยาวของเส้นใย	26
3.3 ชิ้นทดสอบเย็บเป็นช่องห่างกัน 1 เซนติเมตร	27
3.4 (ก) (ข) การบรรจุเศษเส้นใยในชิ้นทดสอบ	27
3.5 เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa 205A superbal-series	28
3.6 เครื่องทดสอบความหนาบางของชิ้นทดสอบยี่ห้อ Peacock รุ่น 207	29
3.7 กล้องดิจิตอล บริษัทผู้ผลิต Sony รุ่น DSC-T7	30
3.8 เครื่องทดสอบการไหลผ่านของอากาศในผ้า (Air Permeability Test)	31
3.9 เครื่องทดสอบการนำความร้อน (Hot disk TCA)	32
4.1 ลักษณะภาคตัดของรังไหม	33
4.2 (ก) (ข) (ค) ลักษณะภาคตัดขวางและภาคตัดตามยาวของเศษเส้นใย	34
4.3 (ก) (ข) (ค) ลักษณะภาคตัดขวางและภาคตัดตามยาวของชิ้นทดสอบ	40
4.4 ลักษณะการรั่วไหลของความร้อน	45
4.5 ลักษณะการไหลผ่านของความร้อนของชิ้นทดสอบ 2 ชั้น	45

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	พื้นที่
k	ค่าการนำความร้อน
r	ค่าการต้านทานความร้อน
tog	ระดับการต้านความร้อนของเสื้อผ้าได้รับการรองจาก British Standards BS5335
w	วัตต์

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันการผลิตสิ่งทอทั้งในภาคหัตถกรรมและอุตสาหกรรมสิ่งทอมีเศษเส้นใยธรรมชาติซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากโดยเฉพาะในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การผลิตพรมขนสัตว์ซึ่งในขั้นตอนการตัดขน (หลังการย้อมสี) เพื่อให้พรมมีความยาวระดับเดียวกันทำให้มีเศษเส้นใยขนสัตว์เหลือทิ้ง ในการผลิตเส้นด้ายจากการปั่นเส้นใยฝ้ายซึ่งมีหลายขั้นตอนด้วยกัน ในแต่ละขั้นตอนมีลักษณะของเศษเส้นใยที่แตกต่างกันออกไป เศษเส้นใยที่ตกใต้เครื่องสางใยมีลักษณะเป็นเศษเส้นใยฝ้ายเล็กๆและมีเศษเปลือกดอกฝ้ายปะปนอยู่เล็กน้อยสามารถจะนำมาใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้การปั่นเส้นใยไหมในการสาวไหมทำให้มีเศษรังไหมที่ไม่สามารถสางเส้นใยได้อีก แต่ยังคงมีเส้นใยติดอยู่ บริเวณรังไหมถูกทิ้งไปจำนวนมากทำให้มีปริมาณขยะเพิ่มขึ้นในแต่ละปี เศษเส้นใยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมทางอากาศที่เกิดจากละอองปุยของเส้นใย เมื่อนำไปเผาทิ้งจะเกิดมลพิษจากการเผาไหม้ทำให้เกิดภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง ดังที่ทราบกันว่าการที่อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของภาวะเรือนกระจกหรือที่เรารู้จักกันดีในชื่อว่า Greenhouse Effect ซึ่งมีต้นเหตุจากการที่มนุษย์ได้เพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้สิ่งต่างๆทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming)

วัสดุสิ่งทอถือเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เนื่องจากเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ที่เป็นเสมือนผิวหนังชั้นที่สองของมนุษย์ ดังนั้นการสวมใส่เสื้อผ้าให้เหมาะกับสภาพอากาศเพื่อรักษาสมดุลของร่างกาย ซึ่งปกติร่างกายของมนุษย์จะสามารถเก็บรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายประมาณ 33-37°C และการที่อุณหภูมิร่างกายจะเปลี่ยนแปลงนั้นขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ทำ ซึ่งโดยธรรมชาติความร้อนจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำเสมอ

ดังนั้นเมื่อสภาพอากาศหนาวที่อุณหภูมิประมาณ 10°C ในขณะที่อุณหภูมิภายในร่างกาย 37°C อุณหภูมิของร่างกายสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกจะทำให้ความร้อนจากร่างกายเคลื่อนที่สู่อากาศภายนอกซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้มนุษย์รู้สึกหนาวนั้นเอง ในทางกลับกันเมื่อสภาพอากาศร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 45°C ในขณะที่อุณหภูมิภายในร่างกายประมาณ 37°C เมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงกว่าอุณหภูมิร่างกายจะทำให้อุณหภูมิความร้อนภายนอกเคลื่อนที่สู่ร่างกายมนุษย์ซึ่งทำให้มนุษย์รู้สึกร้อนเช่นกัน ดั้งนั้นวัสดุสิ่งทอจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่ช่วยรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้สมดุลกับสภาพอากาศ สาเหตุที่ทำให้วัสดุสิ่งทอสามารถเก็บรักษาอุณหภูมิภายในร่างกาย โดยยอมให้ถ่ายเทสู่อากาศภายนอกน้อยที่สุดเนื่องจากวัสดุสิ่งทอเป็นวัสดุจำพวกอโลหะไม่นำความร้อนหรือนำความร้อนต่ำ และการที่วัสดุ

สิ่งทอเป็นวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเส้นใยและส่วนที่มีช่องว่างสามารถอุ้มอากาศทำให้สามารถลดการถ่ายเทความร้อนของร่างกายไปสู่ภายนอกได้

ด้วยเหตุผลข้างต้น จึงทำให้เกิดความสนใจในการนำเศษเส้นใยธรรมชาติจากขนสัตว์ ฝ้ายและรังไหม กลับมาใช้เป็นแผ่นฉนวนความร้อน โดยจะศึกษาผลของสมบัติทางกายภาพ สมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า และสมบัติการนำความร้อน เพื่อเป็นแนวทางในการนำเศษเส้นใยดังกล่าวไปใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆทางสิ่งทอต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติของเศษเส้นใยจากขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม

1.2.2 เพื่อศึกษาการไหลผ่านของอากาศในชิ้นทดสอบที่บรรจุด้วยเศษเส้นใยทั้งสามชนิด

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติการนำความร้อนในชิ้นทดสอบที่บรรจุด้วยเศษเส้นใยทั้งสามชนิด

1.3 สมมุติฐาน

โดยธรรมชาติเส้นใยขนสัตว์ ไหมและฝ้ายเป็นเส้นใยฉนวนความร้อน กล่าวคือเส้นใยฝ้ายเป็นเส้นใยที่มาจากพืชมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก เส้นใยไหมและขนสัตว์เป็นเส้นใยที่มาจากสัตว์มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักมีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีช่องว่างเล็กๆภายในเส้นใยทำให้ความร้อนถูกสะสมไว้โดยถ่ายเทสู่อากาศภายนอกได้น้อย ดังภาคตัดตามขวางและตามยาวของเส้นใยขนสัตว์มีลักษณะวงกลมมีรูตรงกลางผิวแตกเป็นเกล็ด ความหยิกงอของเส้นใย ภาคตัดตามขวางของเส้นใยฝ้ายซึ่งมีลักษณะคล้ายเมล็ดถั่วมีมีช่องอากาศบริเวณตรงกลางเช่นกัน และจากภาคตัดขวางของเส้นใยไหมมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยม การที่เส้นใยมีช่องอากาศเล็กๆ ในเส้นใยทำให้การส่งผ่านความร้อนเป็นไปได้ไม่ดี ดังนั้นจึงคาดว่าน่าจะนำสมบัติดังกล่าวมาใช้ประโยชน์เป็นฉนวนความร้อนได้

1.4 ขอบเขต

ศึกษาสมบัติของเศษเส้นใยทั้ง 3 ชนิดคือ ขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม โดยทดสอบสมบัติของเส้นใยทางด้านภาคตัดตามขวาง ภาคตัดตามยาว และความยาวของเส้นใย ศึกษาลักษณะของชิ้นทดสอบทางด้านภาคตัดตามขวาง ภาคตัดตามยาว และน้ำหนักของชิ้นทดสอบ ทดสอบสมบัติการไหลผ่านของอากาศ ทดสอบสมบัติการนำความร้อน และแปลงค่าการนำความร้อนเป็นฉนวนความร้อน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สร้างคุณค่าให้แก่เศษเส้นใยเหลือทิ้ง

1.5.2 ลดปริมาณขยะและมลพิษทางอากาศ เป็นหนทางหนึ่งในการลดภาวะโลกร้อน

1.5.3 เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.5.4 สร้างฉนวนกันความร้อนจากเศษเส้นใยขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของวัสดุสิ่งทอ โดยเน้นศึกษาวัสดุธรรมชาติเหลือใช้จากกระบวนการผลิตสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มต่างๆ เช่น เศษเส้นใยขนสัตว์ เศษเส้นใยฝ้าย เศษรังไหม และการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของวัสดุสิ่งทอ

การศึกษาความเป็นฉนวนความร้อนของเศษเส้นใยธรรมชาติมีเนื้อหาเกี่ยวกับเรื่องการถ่ายเทความร้อนของวัสดุสิ่งทอ อันได้แก่การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยมีจุดเน้นอยู่ที่การนำความร้อนและการพาความร้อน ซึ่งต่างจากสมบัติของวัสดุสิ่งทอด้านอื่นตรงที่มีการแลกเปลี่ยนถ่ายเทพลังงานระหว่างอุณหภูมิร่างกายของมนุษย์กับวัสดุสิ่งทอและอุณหภูมิของอากาศภายนอก โดยใช้ทฤษฎีหลักคือการถ่ายเทความร้อน (heat transfer)

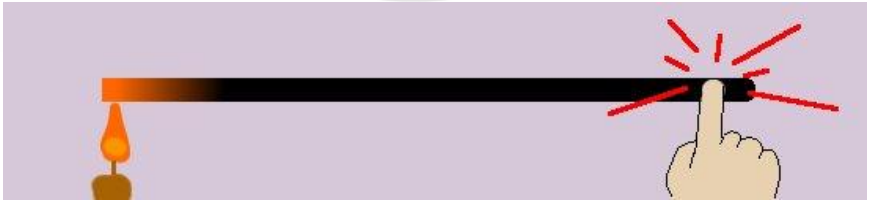
2.2 หลักการถ่ายเทความร้อนของฉนวนความร้อน [1,2]

การถ่ายเทความร้อน โดยธรรมชาติจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับน้ำที่ไหลจากที่สูงไปยังที่ต่ำ วิธีการถ่ายเทความร้อน แบ่งออกเป็น 3 วิธีหลักๆ คือ การนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation)

2.2.1 การนำความร้อน

การนำความร้อนเป็นวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกันหรือระหว่างตัวกลางต่างชนิดที่อยู่ติดกัน ซึ่งการถ่ายโอนความร้อนเกิดจากผลของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในตัวกลาง

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านมวลของวัสดุ ยกตัวอย่างเช่นเมื่อเผาปลายด้านหนึ่งของแท่งโลหะซึ่งเป็นของแข็งเมื่อเวลาผ่านไปจะพบว่าปลายอีกด้านหนึ่งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น นั่นเป็นเพราะความร้อนส่งผ่านมวลของแท่งโลหะไปยังอีกด้านหนึ่งซึ่งเป็นด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า



รูปที่ 2.1 ลักษณะการนำความร้อนของแท่งโลหะ [3]

สมการการนำความร้อนมีดังนี้

$$Q_{cond} = -kA\frac{dT}{dx} \tag{2.1}$$

Q_{cond} = อัตราการนำความร้อนมีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

k = ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity, W/ (m.°K))

A = พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อนมีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

dT = ความแตกต่างของอุณหภูมิมีหน่วยเป็นเคลวิน (°K)

dx = ระยะทางในการเคลื่อนที่ของความร้อนมีหน่วยเป็นเมตร (m.)

เนื่องจากความร้อนจะเกิดการถ่ายโอนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะทำให้ $\frac{dT}{dx}$ มีเครื่องหมายเป็นลบ ดังนั้นเพื่อทำให้อัตราการนำความร้อนในระยะทาง x มีค่าเป็นบวกจึงมีการเติมเครื่องหมายลบไว้ด้านขวามือในสมการการนำความร้อน

2.2.2 การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนระหว่างผิวของของแข็งกับของไหลที่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการพาความร้อนเกิดขึ้นจากผลของการนำความร้อนรวมกับการเคลื่อนที่ของของไหล การพาความร้อนแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ

ก. การพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่า เช่น การใช้พัดลมเป่าอากาศให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านถ้วยกาแฟร้อน

ข. การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) เกิดขึ้นเมื่อของไหลเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงลอยตัว (buoyancy force) และแรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นอันเป็นผลจากความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหล โดยความร้อนจากถ้วยกาแฟจะทำให้อากาศมีความหนาแน่นต่ำลง (เบา) จึงเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนขณะเดียวกันอากาศที่เย็นกว่า (มีความหนาแน่นสูงกว่าหรือหนักกว่าจะเคลื่อนที่มาแทนที่) สมการสำหรับหาอัตราการพาความร้อนอยู่ในรูปกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) เป็นดังนี้

$$Q_{conv} = -hA(T_s - T_f) \tag{2.2}$$

เมื่อ h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convection heat transfer coefficient) บริเวณผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับวัตถุ ($W/m^{2\circ}K$)

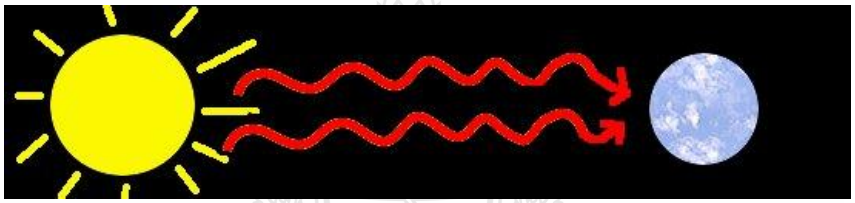
A = พื้นที่ผิวของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2)

T_s = อุณหภูมิของผิววัตถุ (°K)

T_f = อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากผิวหรืออุณหภูมิส่วนต้นของของไหล (°K)

2.2.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (radiation heat transfer)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยไม่ต้องมีตัวกลางจะเคลื่อนไหวในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเกิดได้ดีในบริเวณที่เป็นสุญญากาศ เช่นการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์มาสู่โลก



รูปที่ 2.2 ลักษณะการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์สู่โลก [3]

การแผ่รังสีความร้อนจะเกิดได้ดีในบริเวณที่เป็นสุญญากาศ อัตราการแผ่รังสีความร้อนจากผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิสมบรูณ์เท่ากับ Ts เป็นไปตามกฎดังนี้

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon\sigma A(T_s^4 - T_{surr}^4) \tag{2.3}$$

โดยที่ σ = ค่าคงที่สตีฟาน-โบลทซ์มันน์ มีค่าเท่ากับ 5.67×10^{-8} $W/(m^2 . K^4)$

ε = ค่าการแผ่รังสี (emissivity)

A = พื้นที่ผิวของวัตถุที่แผ่รังสีความร้อน (m^2)

Tsurr = อุณหภูมิโดยรอบๆ (°K)

T_s = อุณหภูมิสมบรูณ์ของวัตถุแผ่รังสีความร้อน (°K)

2.3 สมบัติการนำความร้อน [1, 2]

สมบัติการนำความร้อนหรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ค่า k (thermal conductivity, k-value) คือการเคลื่อนที่ของพลังงานโดยการสั่นของโมเลกุล หากวัตถุชนิดใดยอมให้พลังงานความร้อนผ่านได้ง่ายวัตถุนั้นก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากหมายถึงนำความร้อนดี และวัตถุชนิดใดยอมให้พลังงานความร้อนผ่านได้ยากวัตถุนั้นก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำหมายถึงนำความร้อนน้อยนั้นเองสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับสถานะของมวลสารของวัตถุซึ่งแบ่งออกได้ 3 สถานะคือ ของแข็ง ของเหลวและก๊าซ สารชนิดใดมีการนำความร้อนสูงเรียกว่าตัวนำ เช่นสารจำพวกโลหะจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง และสารใดมีความสามารถในการนำความร้อนที่ต่ำ เช่น สารจำพวกอโลหะจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำจึงเรียกสารเหล่านี้ว่า ฉนวน (insulator)

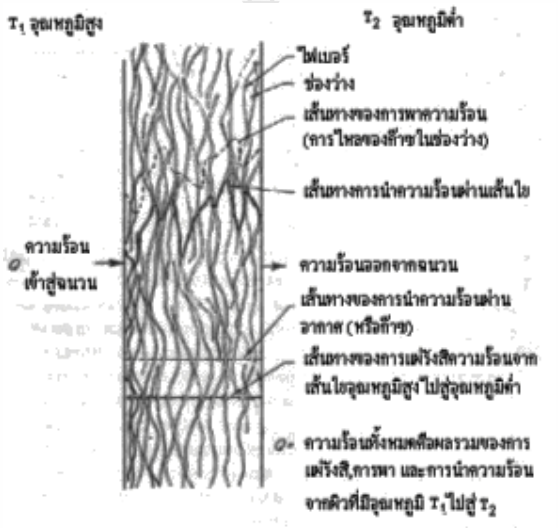
สำหรับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเป็นสมบัติที่ได้จากการทดลอง ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีหลายอย่าง เช่น รูปร่างของวัตถุ ลักษณะการไหลของของไหล และสมบัติของของไหล เป็นต้น

2.4 การถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน [1]

จุดมุ่งหมายในการติดตั้งฉนวนความร้อน คือ ต้องการเก็บรักษาพลังงานไม่ให้มีการถ่ายเทออกไป หรือเข้ามาภายในบริเวณที่ต้องการ นั่นคือฉนวนความร้อนต้องยับยั้งหรือขัดขวางการถ่ายเทความร้อนให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนสามารถเกิดขึ้นทั้งสามรูปแบบ แม้ว่าโดยปกติมักจะพิจารณาว่าฉนวนโดยส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างเป็นของแข็ง และคาดว่าฉนวนจะถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน การกำหนดคุณสมบัติของฉนวนด้วยสภาพนำความร้อน ซึ่งในความเป็นจริงกลไกการถ่ายเทความร้อนในฉนวนไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะการนำความร้อนเท่านั้น การพาความร้อนและการแผ่รังสีก็เกิดขึ้นด้วย ฉะนั้นจึงมักใช้คำว่า “สภาพนำความร้อนปรากฏ” (apparent conductivity) แทน

หากพิจารณาพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสภาพแวดล้อมอันหนึ่ง ถูกนำมาวางไว้กลางแจ้ง การสูญเสียพลังงานจะเกิดขึ้นทั้งสามรูปแบบของการถ่ายเทความร้อน แต่ถ้านำแผ่นกั้นชนิดหนึ่งมาวางใกล้ๆ กับพื้นผิวที่ร้อน เราสามารถลดการแผ่รังสีความร้อนลงได้ นอกจากนี้ เรายังทราบว่าในสภาวะที่อากาศมีปริมาตรเพียงเล็กน้อย การพาความร้อนจะถูกจำกัดลง ดังนั้นถ้าเราวางแผ่นกั้นจำนวนมากชั้นใกล้กับพื้นผิวร้อน แผ่นกั้นเหล่านี้จะทำให้เกิดเป็นช่องเล็กๆ ขึ้น ซึ่งจะทำให้ทั้งการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนถูกขัดขวาง ฉะนั้นหากจัดกระจายแผ่นกั้นอย่างเหมาะสม การสูญเสียความร้อนจากพื้นผิวร้อนจะลดลงถึงจุดซึ่งมีผลเกือบจะเท่ากับการนำความร้อนสุทธิผ่านช่องอากาศนิ่งอย่างสมบูรณ์ (อากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว หรือเป็นฉนวนที่ดี) ซึ่งทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยลงกว่าเดิมมาก และจากสภาพการนิ่งจะทำให้การพาความร้อนไม่เกิดขึ้นด้วย

พิจารณากลไกการถ่ายเทความร้อนภายในฉนวนตามรูปที่ 2.3 จากรูปผิวทางด้านซ้ายมือของฉนวนมีอุณหภูมิสูงกว่า ทางด้านขวามือ ฉะนั้นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีความร้อนไหลจากผิวทางขวามือไปทางซ้าย ซึ่งความร้อนที่ไหลผ่านฉนวนที่บรรจุเต็มไปด้วยช่องอากาศหรือก๊าซจากการฟอร์มตัวขึ้นตามสภาพเส้นใย หรือเซลล์ของวัสดุฉนวนจะมีอัตราการไหลที่ช้าลง โดยช่องอากาศหรือก๊าซเหล่านี้หากมีขนาดที่เล็กอย่างพอเหมาะจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนด้วย

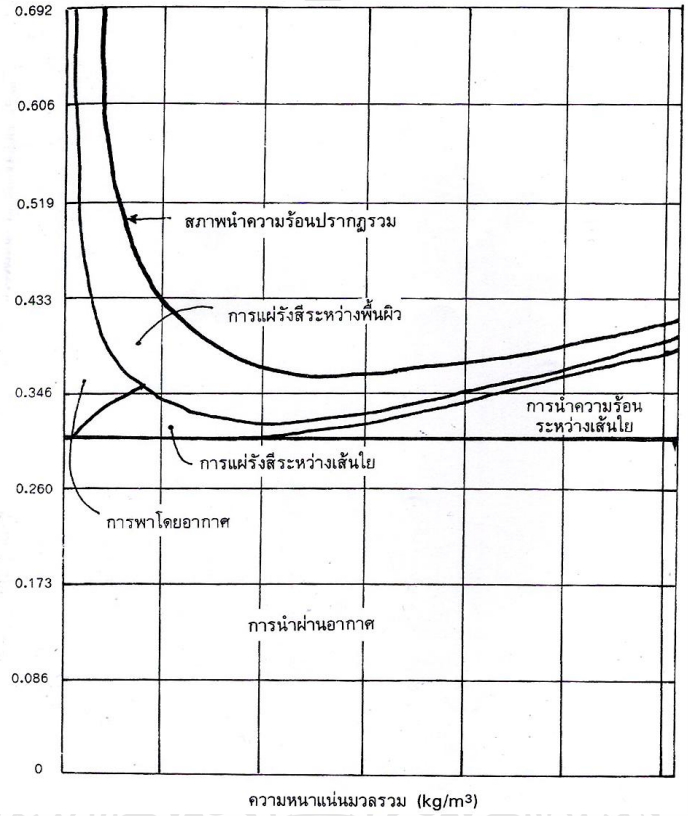


รูปที่ 2.3 การไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน [1]

การพาจากด้านหนึ่งของเซลล์สู่อีกด้านหนึ่งมีปริมาณน้อยลง และทำให้เส้นทางการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำผ่านส่วนที่เป็นของแข็งต้องเป็นเส้นทางที่ยาวและคดเคี้ยวเพื่อจำกัดการนำความร้อน และวัสดุส่วนที่เป็นของแข็งควรต้องเป็นวัสดุทึบอย่างเพียงพอ (หรือมีผิวสะท้อนรังสี) เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี

รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุฉนวนที่เป็นเส้นใย มีความหนา 25.4 มิลลิเมตร ในรูปแสดงให้เห็นถึงผลของสภาพนำความร้อนปรากฏที่เปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของฉนวน จะเห็นว่าในสภาพที่ไม่มีฉนวนหุ้ม (ที่จุดศูนย์) สภาพนำความร้อนปรากฏรวม ตามแนวแกนตั้งจะมีค่ามาก และเมื่อหุ้มฉนวนที่มีความหนาแน่นน้อยๆ สภาพนำความร้อนปรากฏรวมก็ยังคงมีค่ามากอยู่ จนกระทั่งถึงจุดที่ความหนาแน่นค่าหนึ่ง ประมาณ 7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) สภาพนำความร้อนปรากฏรวมจะเริ่มลดลง สาเหตุหลักที่สภาพนำความร้อนปรากฏลดลงก็เนื่องจากการพาความร้อนของอากาศภายในฉนวนลดลงจากการชิดกันเข้ามาของเส้นใยหรือเซลล์ของฉนวน ถึงแม้ว่าจะมีบางส่วนถูกแทนที่ด้วยการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยแต่ละเส้นภายในตัวฉนวนเอง การแผ่รังสีระหว่างเส้นใยคู่เส้นใยฉนวน เกิดขึ้นเนื่องจากเส้นใยแต่ละเส้นอันก่อนหน้าตามทิศทางการไหลของความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเส้นใยเส้นถัดมาเล็กน้อย แต่เมื่อเส้นใยชิดกันเข้ามา

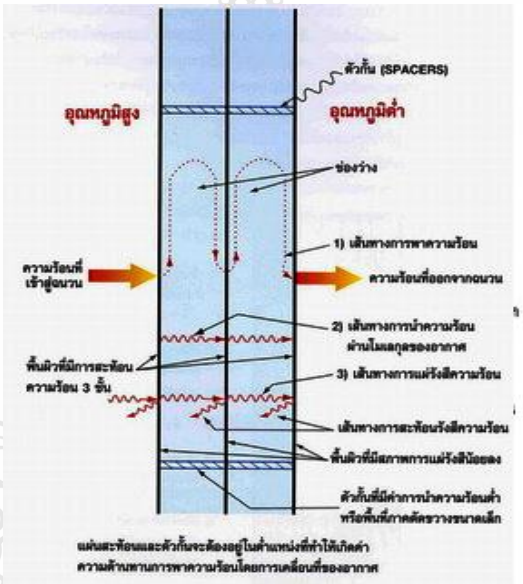
(ความหนาแน่นฉนวนมากขึ้น) การแผ่รังสีในลักษณะนี้จะลดลงจากผลที่อุณหภูมิของเส้นใยที่ติดกันมีค่าใกล้เคียง กลับมาพิจารณาการพาความร้อนของอากาศจะเห็นว่าที่ความหนาแน่นของฉนวนประมาณ 12.8 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) การพาความร้อนจะไม่เกิดขึ้น เมื่อเส้นใยของฉนวนชิดกันจนอากาศภายในแนวนั้นหยุดการเคลื่อนที่ คงเหลือไว้แต่การนำความร้อนของอากาศในฉนวนเท่านั้น



รูปที่ 2.4 ผลกระทบของความหนาแน่นต่อสภาพการนำความร้อนปรากฏของฉนวนน้ำหนักเบา [1]
(อุณหภูมิด้านความร้อน 38 ºC ด้านเย็น 10 ºC เป็นฉนวนใยแก้วหนา 2.54 cm)

เมื่อความหนาแน่นของฉนวนยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การแผ่รังสีระหว่างเส้นใยคู่เส้นใย และการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวลดลง จึงทำให้สภาพนำความร้อนปรากฏลดลงด้วย จนกระทั่งเมื่อเส้นใยของฉนวนต่อเชื่อมกัน การนำความร้อนภายในฉนวนเริ่มปรากฏ และเมื่อถึงจุดที่การแผ่รังสีที่ลดลงมีค่าน้อยกว่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น ผลจากความชิดกันของเส้นใยมากขึ้น สภาพนำความร้อนปรากฏรวมจะมีค่าน้อยที่สุด ลักษณะการถ่ายเทความร้อนดังกล่าวนี้เป็นลักษณะที่เกิดขึ้นในฉนวนโดยมาก ที่เรียกว่าฉนวนแบบมวล (mass insulation) ซึ่งฉนวนที่ดีควรเป็นฉนวนที่มีสภาพนำความร้อนรวมมีค่าน้อยที่สุด

ในการออกแบบวัสดุฉนวน เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแผ่รังสีแบบพื้นผิวสู่พื้นผิว จะออกแบบฉนวนในลักษณะฉนวนผิวสะท้อนรังสี (reflective insulation) ซึ่งเป็นฉนวนที่ต้านทานการถ่ายเทความร้อน ด้วยวัสดุแผ่นที่มีค่าสภาพแผ่รังสีและดูดกลืนรังสีต่ำเป็นหลัก ตัวแผ่นกั้นเหล่านี้ต้องจัดวางและจัดช่องให้มีการพาความร้อนต่ำที่สุด และต้องออกแบบการค้ำยันแผ่นกั้นให้มีการนำความร้อนน้อยที่สุดด้วย ฉนวนผิวสะท้อนรังสีจะประกอบเป็นระบบของวัสดุมากกว่าจะเป็นวัสดุเนื้อเดียว อย่างไรก็ตามเส้นทางของความร้อนที่ไหลผ่านระบบผิวสะท้อนรังสีจะผิดไปจากระบบมวลที่กล่าวมาแล้วบ้าง โดยรูปแบบของการถ่ายเทความร้อนเป็นลักษณะผสมกันจากพื้นผิวอุณหภูมิสูงสู่พื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า รูปแบบการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนผิวสะท้อนรังสีดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนผิวสะท้อนรังสี [1]

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าทั้งการนำความร้อนและการพาความร้อนต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ฉะนั้นหากทำให้ฉนวนแบบมวล และฉนวนผิวสะท้อนรังสี กลายเป็นฉนวนสุญญากาศด้วยการนำฉนวนชนิดใดชนิดหนึ่งมาจัดวางในช่องที่กะทัดรัดและแข็งแรงที่อากาศในช่องสามารถถูกดูดออกได้โดยวิธีนี้การถ่ายเทความร้อน ซึ่งโดยปกติการถ่ายเทผ่านอากาศจะลดลงเป็นอย่างมากจากสภาพนำความร้อนเกือบจะเข้าใกล้ศูนย์

อย่างไรก็ตาม โครงสร้างในการรักษาสภาพสุญญากาศให้คงอยู่จะต้องแข็งแรงมาก เพื่อที่จะลดน้ำหนักของโครงสร้างของแผ่นที่จะคงอยู่ได้ภายใต้แรงกดของอากาศภายนอกในการรักษาสภาวะสุญญากาศ ได้มีการพัฒนาแนวทางด้วยการแทนที่อากาศในช่องด้วยก๊าซที่มีสภาพนำความร้อนต่ำกว่า

อากาศ โดยทั่วไปก๊าซที่ใช้จะเป็นก๊าซจำพวกเฉื่อย และอยู่ในสภาวะแห้งปราศจากไอน้ำ เพื่อทำให้ฉนวนภายในแห้งและควบคุมสนิมของแผ่นเหล็กกล้าที่ใช้เป็นสร้างของระบบ

2.5 ความสมดุลความร้อนของร่างกายมนุษย์ [4, 5]

ธรรมชาติมนุษย์พยายามเก็บรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายประมาณ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งส่วนสำคัญของอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศภายนอกและนั่นคือที่มาของการเก็บรักษาอุณหภูมิที่แตกต่าง มนุษย์ได้รับพลังงานจากระบบเผาพลาญอาหารของร่างกายซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นทำให้กล้ามเนื้อและส่วนต่างๆมีพลังงานหมุนเวียนภายในร่างกาย อย่างไรก็ตามโดยธรรมชาติมนุษย์มักเก็บรักษาความร้อนให้สมดุลกับร่างกายเสมอ การที่มนุษย์จะดำรงชีวิตอย่างมีประสิทธิภาพในแต่ละวันมนุษย์ได้รับพลังงานจากอาหารและถูกนำไปใช้ประโยชน์เพียงร้อยละ 15-30 เท่านั้น อีกร้อยละ 70-85ได้สูญเสียพลังงานไปกับกิจกรรมซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นเพื่อเก็บรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายให้สมดุลอยู่เสมอ และในแต่ละกิจกรรมของมนุษย์ย่อมมีการใช้พลังงานดังตารางที่ 2.1

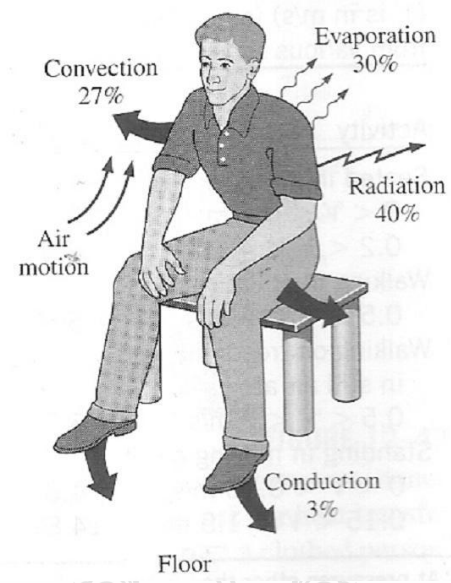
ตารางที่ 2.1 พลังงานที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม

กิจกรรม	พลังงานที่ใช้ (วัตต์)
นอนหลับ	70
พักผ่อน	90
เดิน 1.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	140-175
เดิน 4.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	280-350
ขี่จักรยาน	420-490
ทำงานหนัก	445-545
วิ่ง 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	700-770
วิ่ง	1400-1500

2.5.1 การถ่ายเทความร้อนจากร่างกายมนุษย์

การเผาผลาญอาหารก่อให้เกิดการสร้างพลังงานความร้อนในร่างกาย และร่างกายของเราได้สูญเสียพลังงานไปยังสิ่งแวดล้อม โดยการพาความร้อน และการแผ่ความร้อน ผ่านทางผิวหนัง และปอด เป็นความร้อนที่เรียกว่า “ความร้อนสัมผัส” (sensible heat) การสูญเสียพลังงานในการระเหยของไอน้ำจากการหายใจ และจากผิวหนัง เป็นความร้อนที่เรียกว่า “ความร้อนแฝง” (latent heat) โดยอัตราการสูญเสียความร้อนรวมของร่างกายสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q_{body,total} = Q_{skin} + Q_{lungs} \tag{2.4}$$
$$= (Q_{sensible} + Q_{latent})_{skin} + (Q_{sensible} + Q_{latent})_{lungs}$$
$$= (Q_{convection} + Q_{radiation} + Q_{latent})_{skin} + (Q_{convection} + Q_{latent})_{lungs}$$



รูปที่ 2.6 การสูญเสียความร้อนของร่างกายมนุษย์ [4]

ดังนั้น การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนจากร่างกายของมนุษย์จึงทำได้ยากเมื่อมีเสื้อผ้าไปเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนของร่างกาย จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ (steady condition) ค่าการถ่ายเทความร้อนจากร่างกายรวมทั้งหมดจะเท่ากับค่าความร้อนที่ร่างกายสร้างขึ้นจากการเผาผลาญพลังงาน โดยทั่วไปจะอยู่ประมาณ 100 วัตต์ สำหรับการทำงานในสำนักงานทั่วไป จนถึง 1,000 วัตต์ สำหรับงานที่ต้องใช้พลังงานสูง

2.5.2 การสูญเสียความร้อนสัมผัส (sensible heat loss)

เมื่อเราสวมใส่เสื้อผ้าความร้อนสัมผัส (sensible heat) จากผิวหนังของมนุษย์จะถ่ายเทไปยังเสื้อผ้า และจากนั้นความร้อนสัมผัสก็จะถ่ายเทผ่านเสื้อผ้าผ่านไปยังสภาพแวดล้อม โดยกระบวนการการพาความร้อน และการแผ่ความร้อน แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q_{conv} = h_{conv} A_{clothing} (T_{clothing} - T_{ambient}) \tag{2.5}$$
$$Q_{rad} = h_{rad} A_{clothing} (T_{clothing} - T_{surr})$$

เมื่อ

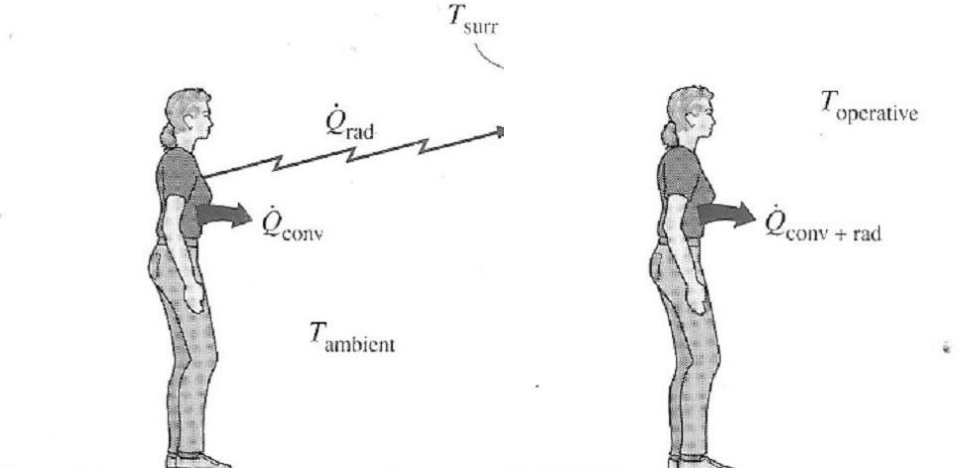
H_{conv}	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 . ^\circ C$)
h_{rad}	คือ	สัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อน, $4.7W/m^2 . ^\circ C$ สำหรับสภาวะอากาศภายในทั่วไป
$A_{clothing}$	คือ	พื้นที่ผิวภายนอกของเสื้อผ้า (m2)
$T_{clothing}$	คือ	อุณหภูมิเฉลี่ยของผิว และเสื้อผ้า ($^\circ C$)
T_{surr}	คือ	อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ($^\circ C$)

ผลรวมของการสูญเสียความร้อนสัมผัส (sensible heat loss) เราสามารถนำมาเขียนเป็นสมการใหม่ โดยการรวมสมการของการพา ความร้อน และการแผ่ความร้อนได้ดังนี้

$$Q_{conv+rad} = h_{combined} A_{clothing} (T_{clothing} - T_{operative}) \tag{2.6}$$
$$= (h_{conv} + h_{rad})\ A_{clothing} (T_{clothing} - T_{ambient})$$

เมื่ออุณหภูมิทำงาน $T_{operative}$ คือค่าเฉลี่ยน้ำหนักของอุณหภูมิการแผ่ความร้อน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมของการพาความร้อน แสดงเป็นค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

$$T_{operative} = \frac{h_{conv} T_{ambient} + h_{rad} T_{surr}}{h_{conv} + h_{rad}} \cong \frac{T_{ambient} + T_{surr}}{2} \tag{2.7}$$



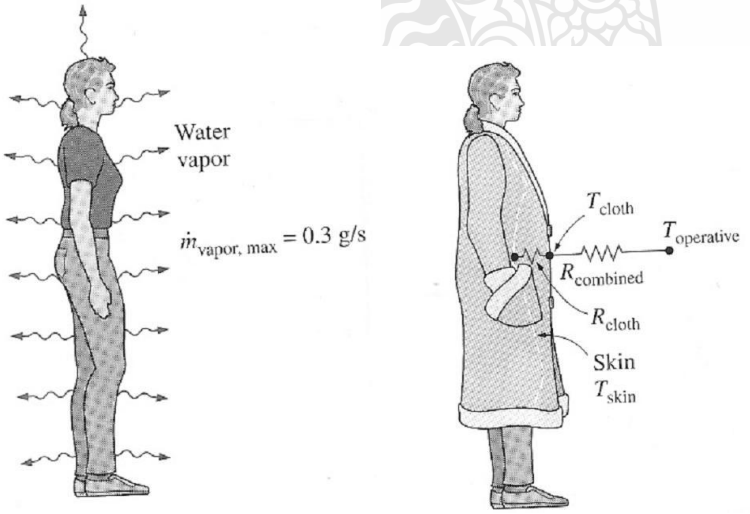
รูปที่ 2.7 การพาและการแผ่รังสีความร้อน [4]

ผลที่ได้จะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิโดยรอบของพื้นผิว เมื่อการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนถ่ายเทในอัตราเท่ากัน บ่งชี้ว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสบาย ซึ่งรวมไปถึงผลของอุณหภูมิ และ ความชื้น ทั้งสองอย่างจะทำให้เกิดการตอบสนองต่อความร้อนของคนเหมือนกัน

การถ่ายเทความร้อนผ่าน “เสื้อผ้า” สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q_{conv+rad} = \frac{A_{clothing}(T_{skin} - T_{clothing})}{R_{clothing}} \tag{2.8}$$

เมื่อ $R_{clothing}$ คือ ค่าหน่วยของค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าหน่วยเป็นตารางเมตรองศาเซลเซียส/วัตต์ ($m^2\,^\circ C$ /W) ที่เกี่ยวกับผลรวมของการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่ความร้อน ระหว่างผิวหนังและพื้นผิวภายนอกของเสื้อผ้า ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า ซึ่งโดยปกติแล้ว จะแทนค่าด้วย clo โดย 1 clo = 0.155 หน่วยเป็นตารางเมตรองศาเซลเซียส/วัตต์ ($m^{2\,\circ}$ C /W) = 0.880 ft2 $^\circ$F H/Btu ค่าความต้านทานความร้อนของกางเกงขายาว เสื้อเชิ้ตแขนยาว เสื้อกันหนาวแขนยาว และเสื้อยืดคอกลมคือ 1.0 clo $^\circ$C/W ส่วนเสื้อผ้าในฤดูร้อนได้แก่ กางเกงขายาวเนื้อผ้าบางเบาและเสื้อเชิ้ตแขนสั้นคือ 0.5 clo ในขณะที่เสื้อผ้าในฤดูหนาวได้แก่ กางเกงขายาวเนื้อผ้าหนา เสื้อเชิ้ตแขนยาว และเสื้อกันหนาวคือ 0.9 clo



รูปที่ 2.8 การต้านทานความร้อนและการถ่ายเทความร้อน [4]

2.6 สมบัติการนำความร้อนของเส้นใย [6, 7]

การนำความร้อนของเส้นใย เนื่องจากเส้นใยเป็นวัสดุพิเศษกว่าวัสดุชนิดอื่นคือ มีเนื้อของวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันไม่ว่าจะผ่านกระบวนการใดก็ตาม กล่าวคือเส้นใยเส้นด้ายหรือผืนผ้าก็เป็นวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีช่องว่างให้อากาศไหลผ่านได้เสมอเส้นใยนับเป็นสารที่เป็นของแข็งจำพวกอโลหะคือไม่นำความร้อนจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-value) ที่ต่ำกว่าวัสดุจำพวกโลหะ ดังนั้นจึงสามารถเก็บรักษาพลังงานให้ถ่ายเทสู่อากาศภายนอกน้อยที่สุด

เส้นใยธรรมชาติ เป็นเส้นใยฉนวนความร้อนโดยธรรมชาติ เนื่องจากมีเส้นใยเซลลูโลสและเส้นใยโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งไม่นำความร้อน และมีช่องว่างเล็กๆ ภายในเส้นใยซึ่งช่องว่างทำหน้าที่เก็บอากาศไว้มีสภาพคล้ายเป็นฉนวนกันความร้อน (เนื่องจากความร้อนส่งผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศได้น้อย)

2.7 ระดับการต้านทานความร้อน (Tog value) [8, 9]

เมื่อกล่าวถึงค่าท็อค หลายคนอาจยังไม่ทราบนัก ค่าท็อคก็คือค่าการนำความร้อนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเราจะพบได้จากผลิตภัณฑ์ประเภทผ้าห่ม ถุงนอน เสื้อผ้าเด็กในต่างประเทศ ซึ่งมีชื่อเรียกอย่างเป็นสากลที่ยอมรับกันทั่วโลกว่า “Tog” ยกตัวอย่างเช่นหากต้องการผ้าห่มที่ประเทศอังกฤษในฤดูร้อนควรใช้ผ้าห่มในระดับ 4-5 ท็อค ฤดูอบอุ่นควรใช้ผ้าห่มในระดับ 9-11 ท็อค และในฤดูหนาวควรใช้ผ้าห่มในระดับ 12 ท็อค ค่าท็อคเป็นค่าที่จะบอกได้ว่าผ้าห่มชนิดใดเหมาะกับสภาพอากาศใด ซึ่งค่า Tog ได้การรับรองจาก British Standards BS5335 (1984)

ความเป็นฉนวนความร้อนของเครื่องนุ่งห่ม ผ้าห่ม ถุงนอน มีชื่อเรียกสากลว่า “Tog” ซึ่ง Tog เป็นหน่วยที่ยอมรับกันทั่วโลกเช่น ผ้าที่ใช้ทำชุดผู้ชายมีค่าฉนวนร้อนประมาณ 0.1 ตารางเมตรเคลวิน/วัตต์ (m^2K/W) ดังนั้นเพื่อให้สะดวกต่อการเรียก 0.1 ตารางเมตรเคลวิน/วัตต์ (m^2K/W) = 1 Tog นั้นเองโดย Tog เริ่มใช้ในปี ค.ศ.1940 ณ Shirley Institute หลายคนอาจยังไม่ทราบว่าค่า Tog ใช้ในการวัดฉนวนร้อนของเสื้อผ้าด้วยไม่ใช่เฉพาะผ้าห่มเท่านั้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่ผ้าห่มในประเทศอังกฤษจะมีค่า Tog ขั้นต่ำประมาณ 4 และขั้นสูงประมาณ 15 Tog เช่น ในฤดูร้อนผ้าห่มจะมีค่าประมาณ 4 หรือ 5 Tog ฤดูอบอุ่นปานกลางประมาณ 9-11 Tog และในฤดูหนาวประมาณ 12 Tog ขึ้นไปโดยค่า Tog นี้ผ่านการทดสอบและได้การรับรองจาก British Standards BS5335 (1984)

จากการศึกษาของ Ruut Peuhkuri, Carsten Rode และ Kurt Kielsgaard Hansen มหาวิทยาลัยเทคนิคเดนมาร์คได้ศึกษาความชื้นของวัสดุและได้ทดสอบฉนวนความร้อน ผลการวิจัยพบว่าขนสัตว์มีค่าการนำความร้อนน้อย ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าการนำความร้อนของขนสัตว์

Material	Dry density ρ_o $[kg/m^3]$	Thermal conductivity λ $[W/m{\cdot}K]$	Thickness of the sample d $[mm]$	Isothermal water vapour permeability δ_p $[\cdot 10^{-9}\ kg/(Pa{\cdot}m{\cdot}s)]$
Cellulose (granulate)	65	0.040	100	0.110 ± 0.002
Wool	25	0.039	100	0.190 ± 0.052
Flax	30	0.040	90	0.150 ± 0.059
Rock wool	30	0.039	100	0.183 ± 0.03
Glass wool	70	0.039	100	0.170 ± 0.01
Cellular concrete	450	0.11	100	0.024 ± 0.0004
Perlite (granulate)	100	0.050	100/140	0.103 ± 0.015

สภาพการนำความร้อน, K เป็นตัวคงที่ขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิด และอุณหภูมิ หากอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากนักสามารถใช้ค่าที่สมมุติว่าค่า k คงที่ตลอดช่วงอุณหภูมิได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าฉนวนความร้อนของวัสดุ

MATERIAL	CLASS	THERMAL CONDUCTIVITY (W/m-K)	DENSITY kg/m³	VOLUMETRIC HEAT CAPACITY 10^6J/m³K	THERMAL DIFFUSIVITY 10^{-6} m²/s
Aerogel	Insulation	0.012	120	0.125	12
Air	Insulation	0.025	1	0.001	1938
Cotton	Insulation	0.030	--	0.001	--
Plastic insulation materials	Insulation	0.030	50	0.100	30
Mineral insulation materials	Insulation	0.040	100	0.090	44
Foam glass	Insulation	0.045	120	0.092	49
Cork	Insulation	0.070	200	0.047	150
Silicone oil	Fluid	0.100	760	1.370	7
Leather	Structural material	0.140	--	0.001	59
Gasoline	Fluid	0.150	720	2.100	7
PVC	Structural material	0.160	1300	1.950	8
Olive oil	Fluid	0.170	920	1.650	10
Alcohol	Fluid	0.170	800	2.430	7
Glass pearls (dry)	Insulation	0.180	1800	1.140	16
Methanol	Fluid	0.210	790	2.500	8
PTFE	Structural material	0.250	2200	2.200	11
Nylon 6	Structural material	0.250	1140	1.938	13
Glycerol	Fluid	0.290	1260	3.073	9
Sand (dry)	Insulation material	0.350	1600	1.270	28
Wood	Structural material	0.400	780	0.187	214
Water	Fluid	0.600	1000	4.180	14
Glass pearls (saturated)	Structural material	0.760	2100	2.710	28
Glass	Structural material	0.930	2600	2.184	43
Pyrex 7740	Structural material	1.005	2230	1.681	60
Corian (ceramic filled)	Structural material	1.06	1800	2.307	46
Concrete	Structural material	1.28	2200	1.94	66
Ice	Structural material	2.1	917	2.017	104
Sand (saturated)	Structural material	2.7	2100	2.64	102
Quartz	Structural material	3	2600	2.13	141
Marble	Structural material	3	2700	2.376	126
Stainless Steel	Structural material	16	7900	3.95	405
Aluminium Oxide	Structural material	30	3900	3.413	879
Aluminium	Structural material	237	2700	2.376	9975
Copper	Structural material	390	8960	3.494	11161

จากตารางที่ 2.2 และ 2.3 พบว่าขนสัตว์และฝ้ายมีค่าการนำความร้อนต่ำ ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นฉนวนกันความร้อน

2.8 เส้นใย [10]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเรื่องการนำเศษเส้นใยธรรมชาติกลับมาใช้เป็นฉนวนความร้อน เพื่อช่วยลดปริมาณขยะ ลดภาวะโลกร้อน และเพิ่มคุณค่าแก่วัสดุ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นใยแต่ละชนิดที่นำมาใช้ดังนี้

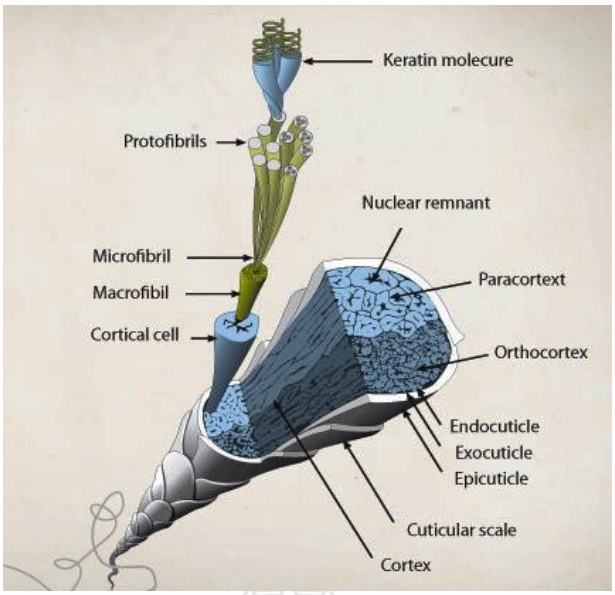
2.8.1 เส้นใยขนสัตว์

ขนสัตว์เป็นเส้นใยธรรมชาติ มีความหนาแน่น 1.3 กรัมต่อตารางเซนติเมตร (g/cm^3) เส้นใยมีทั้งประเภทเส้นใยหยาบถึงเส้นใยละเอียด เส้นใยขนสัตว์ทั่วไปจะค่อนข้างหยิก เส้นใยละเอียดจะมีความหยิกมากกว่าเส้นใยหยาบ จะสังเกตว่า ยิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยเพิ่มขึ้นความหยิกจะลดลง จำนวนความหยิกต่อระยะความยาว จัดเป็นตัวบ่งชี้ถึงความละเอียดของเส้นใยได้ เส้นใยที่ละเอียดจะมีจำนวนหยิกได้มากถึง 10 รอยหยักต่อ 1 เซนติเมตร ขณะที่เส้นใยที่หยาบจะมีจำนวนหยิกน้อยกว่า 4 รอยหยักต่อ 10 เซนติเมตร

ลักษณะเส้นใยขนสัตว์ที่หยิกนี้ ทำให้เส้นใยไม่เรียงแนบชิดติดกันเมื่อนำเส้นใยมาวางต่อๆ กัน เพื่อปั่นเป็นเส้นด้าย จึงเป็นเหตุให้สิ่งทอที่มาจากขนสัตว์ มีความอุ่นเมื่อสวมใส่ เนื่องจากมีอากาศขังอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเส้นใย นอกจากนี้ รอยหยิกของเส้นใยยังมีผลต่อสมบัติด้านการคืนตัวกลับของเส้นใยด้วย สภาพคล้ายมีสปริงคืนกลับมาที่ตำแหน่งเดิม ทำให้เส้นใยนี้ไม่ยับง่าย

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นผิวของขนสัตว์เป็นเกล็ดซ้อนๆ กัน เซลล์ที่ผิวนี้คือ Epithelial หรือที่เรียกทั่วไปว่า “Scales” ซึ่งมีปลายชี้ไปทางหัวของเส้นใย ปลายแหลมที่เห็นนี้อาจหายไปได้เนื่องจากสภาพอากาศ กล่าวได้ว่า ขนจากลูกแกะจะเห็นปลายแหลมของ Scales ชัดเจน แต่ถ้าเป็นขนมาจากแกะที่โตเต็มวัย ปลายของ Scales จะทู่กว่า ภาพตัดขวางของขนสัตว์จะเห็นเป็นวงรี ชั้นนอก คือ Cuticle ส่วนชั้นในคือ Cortex ที่ประกอบด้วย Cortical cells

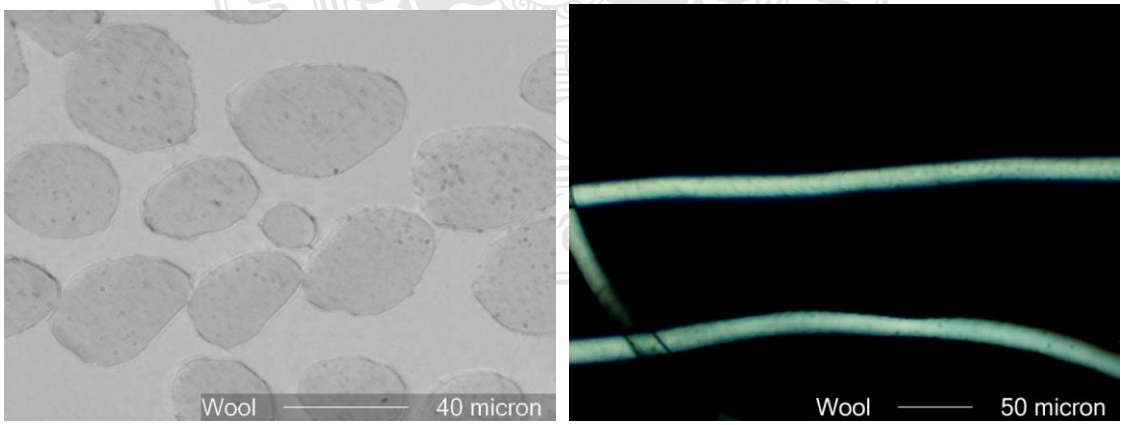
โครงสร้างเส้นใยขนสัตว์เป็นเส้นใยที่ซับซ้อน โดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วน คือ Cuticle, Cortex และ Fibrils ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ผิวชั้นนอกหรือ Cuticle ประกอบด้วย Epicuticle, Executable และ Endocuticle ส่วนชั้น Cortex เป็นชั้นกว้างตรงกลางคิดเป็น 90% ของปริมาตรทั้งหมด ประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างเป็นเกลียว หัวกว้างปลายแคบ เรียกว่า Cortical cells มีความยาวประมาณ 100-200 ไมครอน ความหนาประมาณ 2-5 ไมครอน เส้นใยที่ละเอียดจะมีเซลล์นี้อยู่ประมาณ 20 เซลล์ ส่วนเส้นใยที่หยาบจะมีเซลล์ลักษณะนี้ประมาณ 50 เซลล์



รูปที่ 2.9 สัณฐานวิทยาของเส้นใยขนสัตว์ [11]

ชั้น Cortex นี้แบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ Ortho-cortex และ Para-cortex การจะแยกส่วนนี้ทำได้โดยย้อมสีเส้นใย แล้วนำมาส่องดูภาคตัดขวาง จะพบว่า ส่วน Ortho-cortex มีสีเข้มกว่า Para-cortex ทั้งนี้เนื่องมาจาก ความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมี ส่วน Para-cortex มีปริมาณ Cystine มากกว่าส่วน Ortho-cortex คำว่า Cystine หมายถึงซัลเฟอร์ที่ติดอยู่กับกรดอะมิโนและสามารถเกิด disulphide cross-links ดังนั้นในส่วน Para-cortex จึงมีการเชื่อมขวางมากกว่า ทำให้สีย้อมแทรกเข้าไปได้น้อย จึงติดสีน้อยกว่า

ทั้งส่วน Ortho-cortex และ Para-cortex จะพันเป็นเกลียวซึ่งกันและกันตลอดความยาวของเส้นใย ส่วน Para-cortex จะอยู่ชั้นนอกของเกลียว ซึ่งส่วนนี้มีสมบัติยืดหยุ่นกว่า

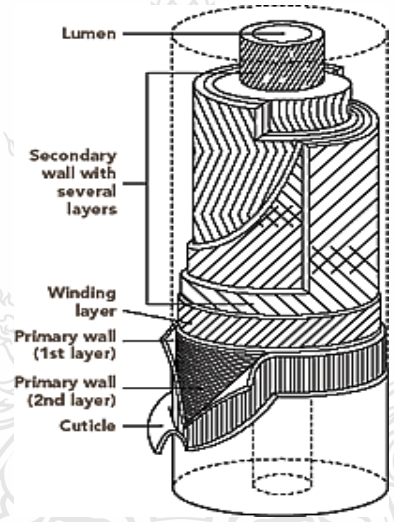


รูปที่ 2.10 ภาคตัดตามขวางและภาคตัดตามยาวของเส้นใยขนสัตว์ [12]

ชั้น Cortical cells ของเส้นใยขนสัตว์ประกอบด้วย Macrofibrils จำนวนมาก แต่ละอันกว้างประมาณ 100 – 200 นาโนเมตร มีความยาวไม่แน่ชัด ภายในยังประกอบด้วย Microfibrils ขนาดประมาณ 5 นาโนเมตร ยาว 500 นาโนเมตร Protofibrils จะอยู่พันเป็นเกลียวซึ่งกันและกัน และแต่ละ Protofibril ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของขนสัตว์จำนวน 3 เส้น ที่พันเป็นเกลียวซึ่งกันและกัน

2.8.2 เส้นใยฝ้าย

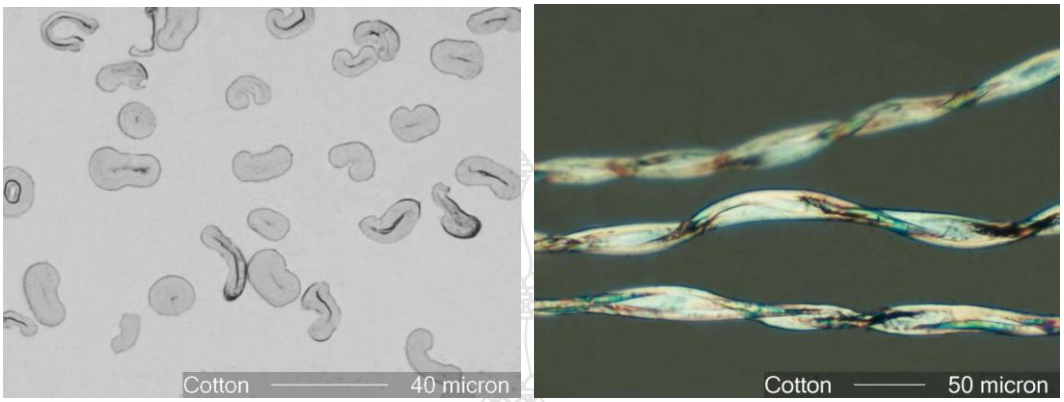
โครงสร้างของเส้นใยฝ้ายมีความซับซ้อนอย่างน่าอัศจรรย์ ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต เส้นใยฝ้ายจะเริ่มจากการสร้างผนังชั้นนอก (primary wall) จากนั้นมีการพัฒนาโครงสร้างภายในให้หนาขึ้นเป็นผนังชั้นที่ 2 (secondary wall) โดยส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส ซึ่งใช้เวลาระยะหนึ่ง เส้นใยจึงจะโตเต็มที่ จากนั้นดอกฝ้ายจะแตกออกเห็นเป็นปุยฝ้าย เส้นใยจะมีรูตรงกลางภายในเรียกว่า ลูเมน (lumen) ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 สัณฐานวิทยาของเส้นใยฝ้าย [13]

ผนังชั้นนอกของเส้นใยฝ้าย ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสที่เคลือบด้วยผนังชั้นนอกสุดที่เพคติน โปรตีน แร่ธาตุและไขมัน ผนังชั้นที่ 2 เป็นชั้นที่สมบูรณ์ของเส้นใยฝ้าย ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสเล็กๆ (fibrils) เรียงตัวกันแบบเป็นเกลียวรอบแกนเส้นใยทิศทางของเกลียวจะหมุนคนละทางในแต่ละชั้นเหมือน S กับ Z โดยมุมของเกลียวเส้นใยแต่ละชั้นประมาณ 20 ถึง 35 องศา ในแต่ละเส้นเซลลูโลสเล็กๆ นี้ยังประกอบด้วย เส้นใยระดับไมโคร (micro fibrils) มัดรวมตัวกันอยู่มากมาย ดังนั้น จะเห็นว่า โครงสร้างเหล่านี้มีผลในการที่เส้นใยฝ้ายจะดูดซับน้ำ สีย้อม หรือทำปฏิกิริยากับสารเคมีขึ้นอยู่กับระดับการเข้าถึงของสสาร ว่าอยู่ที่ใด อยู่ที่ผิวชั้นนอก ผิวชั้นใน หรือในระดับไมโคร เส้นใยฝ้ายจะมีลักษณะคล้ายริบบิ้นแบนๆ กว้างประมาณ 12 ถึง 20 ไมโครเมตรและบิดเป็นเกลียว ซึ่งเกิดจาก ท่อตรงกลางเสียรูปเมื่อฝ้ายแห้งตัว โครงสร้างทางกายภาพนี้ สามารถเห็นได้ชัดเจนด้วยกล้อง

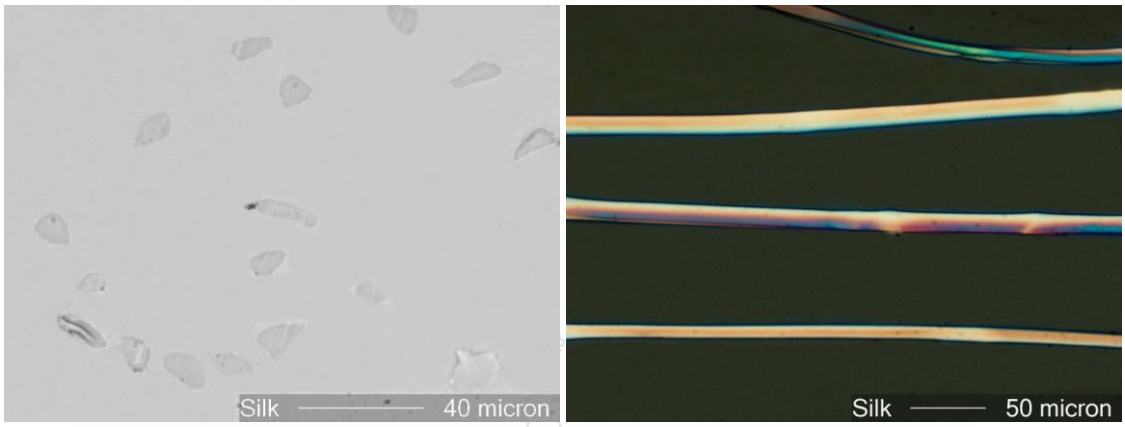
จุลทรรศน์ ลักษณะภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้ายที่คล้ายถั่วนี้ บางทีเรียกว่า Bilateral structure ซึ่งบ่งบอกว่า ระดับการเกาะตัวของเส้นใยเซลลูโลสภายในเส้นใยฝ้าย



รูปที่ 2.12 ภาคตัดตามขวางและภาคตัดตามยาวของเส้นใยฝ้าย [12]

2.8.3 เส้นใยไหม

เส้นใยไหมมาจากรังไหม (silk cocoon) ของหนอนลอกคราบประมาณ 4 ครั้งแล้ว (ประมาณ 20-30 วัน) ก็จะกลายเป็นช่วงที่สมบรูณ์ มีความยาวประมาณ 9 มิลลิเมตร และเริ่มสร้างเส้นใยรอบตัวเอง ตัวหนอนมีต่อมผลิตเส้นใยโปรตีน 2 ต่อมโดยเส้นใยจะออกมาจากรูใกล้ปากของตัวหนอน เรียกว่า Spinneret เส้นใยทั้งสองเส้นจะถูกเชื่อมติดกันด้วยสารคล้ายกาว (silk gum) และเส้นใยจะพันรอบตัวหนอนจนมีลักษณะคล้ายรูปกลมรีเรียกว่ารังไหม โดยใช้เวลาประมาณ 3 วัน ถ้าไม่มีสิ่งใดรบกวน ตัวหนอนจะพัฒนากลายเป็นแมลงภายใน 2 สัปดาห์ และแมลงจะเจาะรังไหมออกมาด้วยสารละลายที่มีสภาพเป็นเบสซึ่งละลายเส้นใยได้ ถ้ารังไหมถูกเจาะก็จะได้เส้นใยที่ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นก่อนที่จะถึงขั้นนี้ จึงต้องนำรังไหมไปต้มให้แมลงตาย และสาวรังไหมออกมา เส้นไหมดิบมีความหนาประมาณ 24-30 ไมครอน เส้นไม่สม่ำเสมอเพราะมีกาวติดอยู่รอบเส้นใย ในรังไหม 1 รังจะได้เส้นใยประมาณ 2-3 กิโลกรัม เส้นใยไหมประกอบด้วย เส้นใยโปรตีนเรียกว่า Fibroin ติดกัน 2 เส้น คิดเป็น 65 % โดยน้ำหนักและสารคล้ายกาวเรียกว่า Sericin ประมาณ 25 % ที่เหลือเป็นน้ำ แร่ธาตุ และแว็กซ์ สาร Sericin ละลายได้ในสารละลายเบสอ่อน เมื่อถูกเอาออกก็จะไหมเส้นไหม 2 เส้น เรียกว่า Degummed silk เส้นใยมีความเรียบตรงและมีภาคตัดขวางคล้ายรูปสามเหลี่ยม ขั้นตอนการดึงเส้นใยออกจากรังไหมเรียกว่า การสาวไหม (reeling) เส้นไหมเส้นเดียวมีความบางมาก ดังนั้นในการใช้งานจะรวมเส้นไหม 3-10 เส้นเข้าด้วยกันโดยทำในขั้นตอนนี้ ซึ่งต้องใช้ทักษะในการทำงานสูง เส้นไหมที่ได้จะเรียกว่า Reeled silk จากนั้นจะนำไปผ่านกระบวนการ Throwing คือการบิดรวมเส้นไหมหลายๆ เส้นอีกครั้ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับเส้นด้ายที่ใช้ในการทอต่อไป



รูปที่ 2.13 ภาคตัดตามขวางและภาคตัดตามยาวของเส้นใยไหม [12]

จากทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบว่า เส้นใยขนสัตว์ ไหมและฝ้าย เป็นเส้นใยฉนวนความร้อนโดยธรรมชาติเนื่องจาก มีเส้นใยเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งไม่นำความร้อน มีช่องว่างเล็กๆภายในเส้นใย ทำให้ความร้อนถูกสะสมไว้โดยถ่ายเทสู่อากาศภายนอกได้น้อย จากภาพตัดตามขวางของเส้นใยขนสัตว์รูปที่ 2.11 มีลักษณะวงกลมมีรูตรงกลางเกล็ดผิว ความหยิกงอของเส้นใย และจากภาพตัดตามขวางของเส้นใยฝ้ายรูปที่ 2.12 ซึ่งมีลักษณะคล้ายเมล็ดถั่ว มีช่องว่างตรงกลางเช่นกัน ซึ่งช่องว่างทำหน้าที่เก็บอากาศไว้มีสภาพคล้ายเป็นฉนวนกันความร้อน (เนื่องจากความร้อนส่งผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศได้น้อย) ดังนั้นคาดว่าน่าใช้สมบัติดังกล่าวมาใช้ประโยชน์เป็นฉนวนความร้อน

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2000 สชาเชอร์และคณะ [14] ได้ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างผ้าที่มีผลต่อสมบัติการนำความร้อนของประเภททั่วไปและประเภทไมโครพอลิเอสเตอร์ ความรู้สึกอบอุ่นเมื่อใช้ ซึ่งผ้าไมโครไฟเบอร์นำความร้อนต่ำจึงให้ความรู้สึกอบอุ่นกว่าผ้าพอลิเอสเตอร์ทั่วไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความดันซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของเส้นใยผ้าและพื้นผิวสัมผัสกับผิวมนุษย์

ในปี ค.ศ. 2002 ซังและคณะ[15] ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติการนำความร้อนของเส้นใยไหม การเก็บรักษาความร้อนโดยวิเคราะห์ความร้อน โดยการดูดซึมอินฟราเรดและการสแกนอิเล็กตรอน สีขนาดและรูปร่างของรังไหม พบว่ารังไหมเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน ซึ่งอาจเกิดจากความแตกแยกของโซ่หลักและสลายตัวพร้อมกับเส้นใยไหม

ในปี ค.ศ.2003 ซูกิการ่าและคณะ [16] ซึ่งเป็นชาวญี่ปุ่นได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำเศษเส้นใย เส้นด้ายเหลือใช้จากกระบวนการผลิตเสื้อกันหนาวประเภทผ้าถักมาทดสอบสมบัติด้านความหนาแน่นความร้อนและความต้านทานของอากาศเปรียบเทียบกับขนสัตว์บริสุทธิ์ การที่เศษเส้นใย

เหลือใช้เป็นเส้นใยขนาดเล็กทำให้มีความหนาแน่นมาก ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีประสิทธิภาพและมีความต้านทานของอากาศสูง

ในปี ค.ศ. 2003 ลีและซู [17] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและความชื้นควบคู่กันกับการดูดซับความชื้นของวัสดุสิ่งทอได้นำเสนอในรูปแบบของการถ่ายเทความร้อนเมื่อของเหลวซึมผ่านผ้าและคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ปริมาณน้ำ และวัดอุณหภูมิของผ้า

ในปี ค.ศ. 2003 ฮอมและคณะ[18] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนผ่านเสื้อผ้า ความสะดวกสบายเมื่อสวมใส่โดยความร้อนในเชิงวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการออกแบบใช้งานเสื้อผ้า ความร้อนทั้งหมดที่ส่งผ่านเสื้อผ้าทั่วไปถือว่าเป็นผลรวมของการถ่ายเทความร้อนแห้งและการถ่ายเทความร้อนระเหย เสื้อผ้าเป็นฉนวนกันความร้อนที่วัดในความร้อนแห้งโดยใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนแห้งเมื่อร่างกายมีเหงื่อออกมาก ผลของเหงื่อบนเสื้อผ้าเป็นฉนวนกันความร้อนที่เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนแห้ง แม้ว่าจะคาดการณ์ว่าเหงื่อลดความเป็นฉนวนความร้อน เสื้อผ้าเป็นฉนวนความร้อนด้วยเหงื่อต่ำมาก เสื้อผ้าลดฉนวนความร้อนระหว่างเหงื่อและปริมาณลดลงแตกต่างกัน 2-8% ที่เกี่ยวข้องกับการสะสมน้ำในเสื้อผ้าการดูดซับความร้อนจากการคายและการระเหยของน้ำภายในเสื้อผ้า แต่เสื้อผ้ายังฉนวนลดความร้อน

ในปี ค.ศ. 2004 ลีและคณะ[19]ได้ขยายผลออกไปในเรื่องการวิเคราะห์เชิงตัวเลขทางคณิตศาสตร์ประเมินผลการทำงานของระบบการถ่ายเทความร้อนในการออกแบบทางวิศวกรรมของผลิตภัณฑ์สิ่งทอสู่ระบบคอมพิวเตอร์ พัฒนาประสิทธิภาพการสวมใส่เสื้อผ้าของมนุษย์ให้ความรู้สึกสบายเหมาะสมตามสภาพสิ่งแวดล้อม

ในปี ค.ศ. 2006 อิดิคูล่าและคณะ [20] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำความร้อน การแพร่กระจายและความร้อนจำเพาะของพอลิเอสเตอร์กับเส้นใยธรรมชาติ การควบคุมระดับความเข้มข้นของสารตัวเติมและรักษาผิวเส้นใยของเส้นใยใบสับปะรด พอลิเอสเตอร์พบว่าสารเคมีของเส้นใยจะลดความต้านทานติดต่อการเสริมแรง โดยการนำความร้อนที่วัดได้ในแนวระนาบซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปแบบการคำนวณ

ในปี ค.ศ. 2006 ยีและคณะ [21] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการต้านทานความร้อนของฉนวนขนสัตว์และใยกัญชงผสม ทั้งในรูปแบบของ ฉนวนที่ใช้สอบเทียบรักษาความร้อน ความหนาแน่น ขนสัตว์และผสมกัญชง วัดตัวอย่างใช้การปรับเทียบรักษาความร้อนโดยประมาณในการวัดความต้านทานเป็น การนำความร้อนของตัวอย่างที่มาจากการวัดความต้านทานความร้อนบนพื้นฐานของความหนาที่วัดได้เป็นอย่างดีมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นแม้ว่ารูปแบบที่มีความหนาแน่นที่ใหญ่กว่า การนำของกลุ่มตัวอย่างใยกัญชง ไม่แตกต่างจากที่ของกลุ่มตัวอย่างที่ความหนาแน่นขนสัตว์เดียวกัน

ในปี ค.ศ. 2006 หวังและคณะ [22] ได้การศึกษาเกี่ยวกับวิธีการปรับปรุงการนำความร้อนของผ้าขนสัตว์ การวัดการนำความร้อนอิทธิพลของตัวแปรการสังเคราะห์ในการนำความร้อนของพอลิไพโรล เคลือบผ้าขนสัตว์และความสัมพันธ์การนำความร้อนของเคลือบผ้าขนสัตว์ได้แสดง การ

ปรับปรุงในการนำความร้อนพบว่าเมื่อผ้าถูกเคลือบการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้นกับการเพิ่มความเข้มข้น เข้มข้นและสังเคราะห์เฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้นที่มีผลต่อการนำความร้อนของผ้าเคลือบ

ในปี ค.ศ. 2009 ซานโตสและคณะ[23] ได้การศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลของการรักษา ประสิทธิภาพการนำความร้อนของผ้าไม่ทอซีเมนต์ใช้เป็นวัสดุฉนวนกันความร้อน ในธรรมชาติถูก นำมาใช้เป็นฉนวนความร้อนโดยความต้านทาน

แม้ว่าจะมีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติการนำความร้อนของเส้นใยมามาก แต่การศึกษาในลักษณะ ของการนำเศษเส้นใยธรรมชาติกลับมาใช้ค่อนข้างน้อย มนุษย์มักให้ความสนใจต่อการพัฒนาสิ่งใหม่ แต่อาจละเลยเศษของเหลือใช้ จึงทำให้เกิดแนวคิดของวิทยานิพนธ์นี้ที่จะทำการศึกษาสมบัติการนำ ความร้อนของเศษเส้นใยและนำเศษเส้นใยมาใช้ประโยชน์

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ปัญหาเศษเส้นใยเหลือใช้ในกระบวนการผลิตสิ่งทอ การผลิตพรมขนสัตว์ซึ่งในขั้นตอนการตัดขน (หลังการยอมสี) เพื่อให้พรมมีระดับเดียวกันทำให้มีเศษเส้นใยขนสัตว์ ในการผลิตเส้นด้ายจากการปั่นเส้นใยฝ้ายซึ่งมีหลายขั้นตอนด้วยกัน ในแต่ละขั้นตอนมีลักษณะของเศษเส้นใยที่แตกต่างกันออกไปแต่เศษเส้นใยที่ตกใต้เครื่องสางใยมีลักษณะเป็นเศษเส้นใยฝ้ายเล็กๆและมีเศษเปลือกดอกฝ้ายปะปนอยู่เล็กน้อยสามารถจะนำมาใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้การปั่นเส้นใยไหมในการสาวไหมทำให้มีเศษรังไหมที่ไม่สามารถสางเส้นใยได้อีก แต่ยังคงมีเส้นใยติดอยู่บริเวณรังไหมถูกทิ้งไปจำนวนมาก ทำให้มีปริมาณขยะเพิ่มขึ้นในแต่ละปีซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่อาจส่งผลกระทบต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมด้านมลพิษทางอากาศอันเนื่องมาจาก เศษละอองปุย การเผาไหม้ และการเพิ่มปริมาณขยะ ส่งผลอย่างต่อเนื่องสู่ปัญหาภาวะโลกร้อน (Global Warming) เป็นปัญหาที่มนุษย์ให้ความสนใจเป็นอย่างมากและต่างพยายามเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยลดปัญหาดังกล่าว

วิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาการนำเศษเส้นใยธรรมชาติเหลือใช้กลับมาใช้เป็นฉนวนความร้อน โดยออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล ดังนี้

1) การทดสอบสมบัติของเศษเส้นใยและชิ้นทดสอบ
   - ภาคตัดตามขวางของเศษเส้นใย
   - ภาคตัดตามยาวของเศษเส้นใย
   - ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย
   - ความยาวของเศษเส้นใย
   - น้ำหนักต่อพื้นที่ของชิ้นทดสอบ
   - ความหนาของชิ้นทดสอบ
   - ภาคตัดตามขวางของชิ้นทดสอบ
   - ภาคตัดตามยาวของชิ้นทดสอบ
2) การทดสอบสมบัติการไหลผ่านของอากาศ (Air Permeability) ของชิ้นทดสอบ
3) การทดสอบสมบัติการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของชิ้นทดสอบ

3.2 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของเศษเส้นใย และชิ้นทดสอบ

3.2.1 การทดสอบภาคตัดตามขวางและตามยาวของเศษเส้นใย

1) วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบลักษณะของเส้นใยทั้งภาคตัดตามขวางและภาคตัดตามยาว และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้วยกล้องจุลทรรศน์

2) วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

เศษเส้นใยขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม

3) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบภาคตัดขวางและตามยาว บริษัทผู้ผลิต Nikon Instech Co.,Ltd รุ่น SMZ1500

รูปที่ 3.1 กล้องจุลทรรศน์ บริษัทผู้ผลิต Nikon Instech Co.,Ltd รุ่น SMZ1500

4) ขั้นตอนการทดลอง

- เตรียมชิ้นทดสอบเศษเส้นใยบนกระจกสไลด์
- นำไปส่องกล้องจุลทรรศน์ซึ่งเชื่อมต่อกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- ปรับกำลังขยายจนสามารถเห็นภาพที่ชัดเจน
- ถ่ายภาพที่เห็นผ่านโปรมแกรมคอมพิวเตอร์ ACT
- ปรับภาพบนคอมพิวเตอร์โดยใส่สเกลเพื่อวัดขนาดเส้นใยลงบนภาพที่ถ่ายไว้

3.2.2 การวัดความยาวเส้นใย

1) วัตถุประสงค์

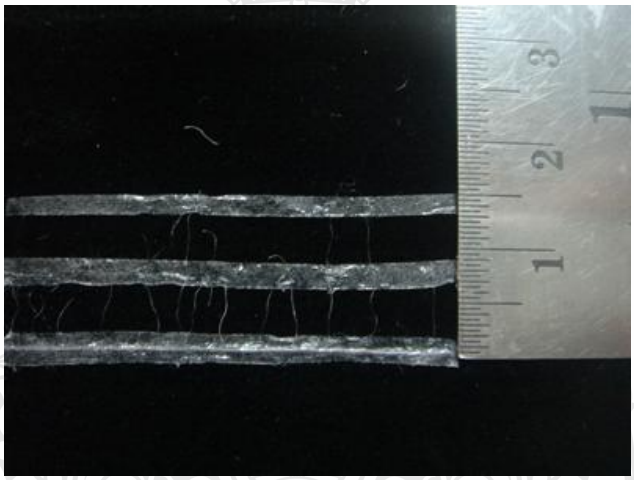
เพื่อตรวจสอบความยาวของเส้นใย

2) วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

เศษเส้นใยขนสัตว์ และฝ้าย

3) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ผ้ากำมะหยี่สีดำ
- ไม้บรรทัด
- กระดาษขาวสองหน้า
- เส้นด้ายสีขาว
- ปากคีบ



รูปที่ 3.2 การวัดความยาวของเส้นใย

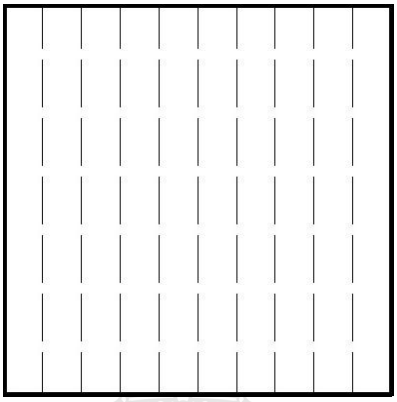
4) ขั้นตอนการทดสอบ

- ขึงผ้ากำมะหยี่ด้วยกระดาษแข็งเพื่อใช้รองรับเส้นใย
- ขึงเส้นด้ายสีขาวบนผ้ากำมะหยี่เพื่อใช้เป็นแนวสำหรับเรียงเส้นใย
- ติดกระดาษกาวสองหน้าชิดกับเส้นด้ายให้เป็นที่ยึดเส้นด้ายให้ตรง
- ใช้ปากคีบเส้นใยทีละเส้นวางบนผ้ากำมะหยี่ให้ชิดเส้นด้าย
- วัดความยาวด้วยไม้บรรทัด
- บันทึกข้อมูล และทำการทดลองจนครบ 100 เส้นใย

การทำถุงบรรจุเศษเส้นใยของชิ้นทดสอบ

1. ตัดผ้าป่านขนาด 10X10 เซนติเมตร (ขนาดชิ้นทดสอบที่เหมาะกับเครื่องทดสอบการนำความร้อน)

2. เย็บเป็นช่องห่างกัน 1 เซนติเมตรเป็นริ้วยาวตามความยาวชิ้นทดสอบจำนวน 10 ช่อง



รูปที่ 3.3 ชิ้นทดสอบเย็บเป็นช่องห่างกัน 1 เซนติเมตร

3. บรรจุเส้นใยที่ละช่องโดยนำเส้นใยใส่หลอดกาแฟและอัดเส้นใยลงในชิ้นทดสอบ หลอดกาแฟ และขนาดช่องไฟ 1 เซนติเมตร เป็นส่วนหนึ่งในการควบคุมปริมาณเส้นใยทำให้เส้นใยจะเคลื่อนตัวน้อยที่สุด

(ก) การบรรจุชิ้นทดสอบ (ข)ชิ้นทดสอบสำเร็จ

รูปที่ 3.4 (ก) (ข) การบรรจุเศษเส้นใยในชิ้นทดสอบ

3.2.3 การทดสอบน้ำหนักต่อพื้นที่ของชิ้นทดสอบ

1) วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบน้ำหนักต่อพื้นที่ของชิ้นทดสอบ

2) วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ชิ้นทดสอบชนิดเศษเส้นใยขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม

3) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องชั่งยี่ห้อ Precisa 205A superbal-series

รูปที่ 3.5 เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Precisa 205A superbal-series

4) ขั้นตอนการทดสอบ

- เปิดสวิทซ์เครื่องชั่งทิ้งไว้ 15 นาทีเพื่อให้กระแสไฟฟ้าคงที่
- เปิดประตูและวางชิ้นทดสอบลงบนจานเครื่องชั่ง
- ปิดประตูเครื่องชั่ง
- รอจนกว่าตัวเลขน้ำหนักคงที่
- จดบันทึกข้อมูล
- ทำการทดลองซ้ำจนครบ 3 ชนิด

3.2.4 การทดสอบความหนาของชิ้นทดสอบ

1) วัตถุประสงค์

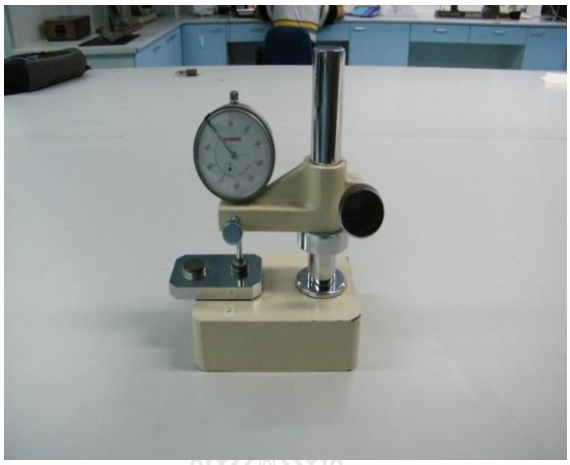
เพื่อวัดค่าความหนาบางของชิ้นทดสอบ ตามมาตรฐานที่ใช้ ASTM D1777-96

2) วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ชิ้นทดสอบบรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม

3) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องทดสอบความหนาบางของชิ้นทดสอบ ยี่ห้อ PEACOCK รุ่น 207
- นาฬิกาจับเวลายี่ห้อ JUNSO รุ่น JS-508



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความหนาบางของชิ้นทดสอบ ยี่ห้อ PEACOCK รุ่น 207

4) ขั้นตอนการทดลอง

- ทำความสะอาดแป้นวัดความหนาและตรวจสอบดูว่าเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระหรือไม่
- ทำความสะอาดฐานเครื่องทดสอบความหนาบางของชิ้นทดสอบ
- ปรับเกจให้อยู่ที่ตรงเลขศูนย์
- วางชิ้นทดสอบบนฐานเครื่องทดสอบ โดยจะต้องให้บริเวณที่จะทำการทดสอบเรียบมากที่สุด เพราะถ้ามีรอยยับจะทำให้ได้ค่าที่ผิดพลาด
- ค่อยๆกดแป้นวัดความหนาให้มากดทับชิ้นทดสอบใช้เวลา 6 วินาที โดยเข็มของเกจจะต้องอยู่คงที่ตลอดจึงจะถือว่าค่าที่วัดได้เป็นค่าที่ถูกต้องบันทึกผลไว้
- ทำการวัดความหนาของชิ้นทดสอบทั้งหมด 5 จุด โดยไม่ให้ซ้ำที่เดิม
- บันทึกผลการทดลอง
- คำนวณความหนาแน่นด้วยสูตร $\text{Porosity} = \left(1 - \frac{\text{Fabric density}}{\text{Fiber density}}\right) \times 100$

3.2.5 การทดสอบภาคตัดขวางและภาคตัดตามยาวของชิ้นทดสอบ

1) วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบลักษณะของชิ้นทดสอบทั้งภาคตัดตามขวางและภาคตัดตามยาวด้วยกล้องดิจิตอล

2) วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

เศษเส้นใยขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม

3) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

กล้องถ่ายภาพระบบดิจิตอล บริษัทผู้ผลิต Sony Co.,Ltd รุ่น DSC-T7

รูปที่ 3.7 กล้องดิจิตอล บริษัทผู้ผลิต Sony รุ่น DSC-T7

4) ขั้นตอนการทดลอง

- เตรียมชิ้นทดสอบโดยตัดชิ้นทดสอบตามหน้าตัดตามตามขวาง
- ใช้คลิปดำหนีบชิ้นทดสอบเพื่อประคองชิ้นทดสอบให้ตั้งขึ้น
- วางชิ้นทดสอบบนโต๊ะให้อยู่ในลักษณะคงที่
- เปิดหน้ากล้อง
- บันทึกภาพ

3.3 การทดสอบสมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า

1) วัตถุประสงค์

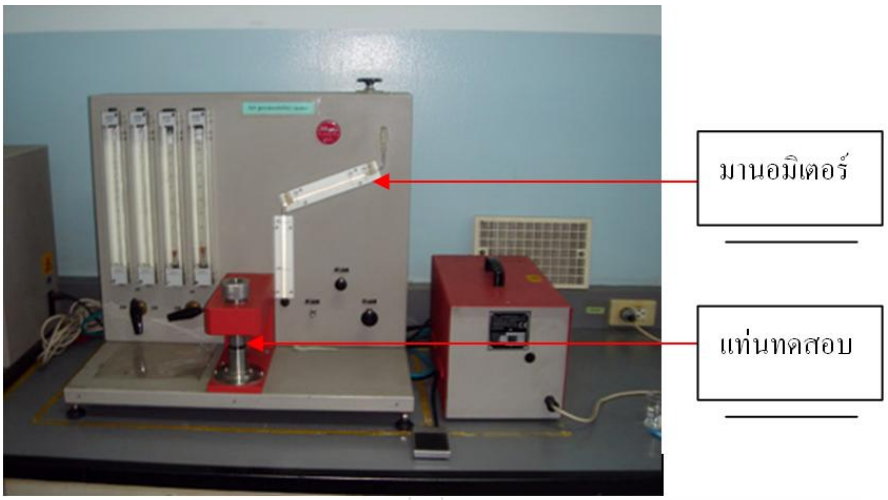
เพื่อตรวจสอบความสามารถในการไหลผ่านของอากาศของชิ้นทดสอบ

2) วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ชิ้นทดสอบชนิดเศษเส้นใยขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม

3) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องทดสอบการไหลผ่านของอากาศ (Air Permeability Test)



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบการไหลผ่านของอากาศในผ้า (Air Permeability Test)

4) **ขั้นตอนการทดสอบ**

- เปิดเครื่องทดสอบ
- วางชิ้นทดสอบบนแท่นทดสอบ
- หมุนเกลียวให้แน่นเพื่อป้องกันอากาศรั่ว
- ปรับระดับน้ำในหลอดมานอมิเตอร์ให้ได้ความดันที่ต้องการในการทดสอบชิ้นทดสอบทั้งสามชนิดใช้ระดับความดัน 100 ปาสคาล (Pascal)
- เหยียบสวิทซ์เท้าเพื่อปั้มลมผ่านชิ้นทดสอบ
- อ่านค่าอัตราการไหลของอากาศจากหลอดวัดอัตราการไหลผ่านของอากาศ (Flow Meter)
- บันทึกผลการทดสอบ

3.4 การทดสอบสมบัติการนำความร้อนของชิ้นทดสอบ

1) วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบสมบัติการนำความร้อนของชิ้นทดสอบ

2) วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ชิ้นทดสอบชนิดเศษเส้นใยขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม

3) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องทดสอบการนำความร้อน (Hot Disk TCA)

รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบการนำความร้อน (Hot disk TCA)

4) ขั้นตอนการทดสอบ

- เปิดเครื่องทดสอบ TCA และเปิดโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- นำชิ้นทดสอบจำนวน 2 ชิ้นวางไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยยึดชิ้นทดสอบไว้กับอุปกรณ์ยึดตัวอย่าง (sample holder) โดยมีตัวตรวจจับ (sensor) อยู่ตรงกลางระหว่างชิ้นทดสอบทั้งสอง
- ระบุข้อมูลชื่อตัวอย่าง และขนาดของตัวอย่างในคอมพิวเตอร์
- ระบุปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม
- ระบุจำนวนเวลาที่จะทดสอบ
- กดปุ่มทดสอบ
- บันทึกผลค่าการนำความร้อน

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการทดสอบ

ในการศึกษาเรื่อง “การศึกษาการนำเศษเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นฉนวนความร้อน ได้วางแผนการทดลองเป็น 3 กลุ่ม คือ การทดสอบสมบัติของเส้นใย การทดสอบสมบัติการไหลผ่านของอากาศ (Air Permeability Test) การทดสอบสมบัติการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของชิ้นทดสอบ ตามที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ซึ่งในบทนี้จะได้นำเสนอ ผลการทดลอง พร้อมทั้งการวิเคราะห์

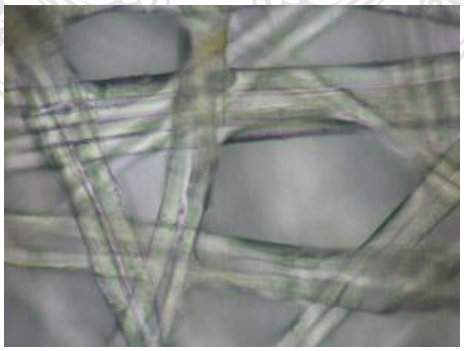
4.2 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของเศษเส้นใย และชิ้นทดสอบ

การทดสอบความยาวของเส้นใย ภาคตัดตามขวาง ภาคตัดตามยาว มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบลักษณะของเส้นใย ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

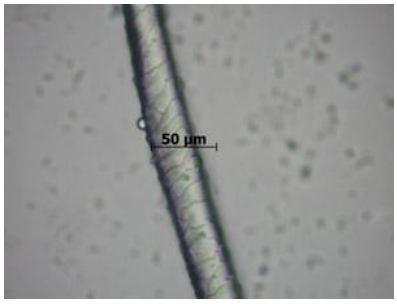
4.2.1 ตรวจสอบลักษณะของเส้นใยต่างๆ ที่ใช้ทำเป็นฉนวนในการเปรียบเทียบลักษณะของภาคตัดขวางของเศษเส้นใยที่นำมาทดสอบ

1) ภาคตัดตามขวางและภาคตัดตามยาว

ภาคตัดตามขวางของเส้นใยขนสัตว์ มีลักษณะคล้ายรูปวงกลม มีช่องว่างเล็กๆ กระจายทั่วบริเวณเส้นใย ภาคตัดตามขวางของเส้นใยฝ้ายมีลักษณะคล้ายเมล็ดถั่ว มีช่องว่างบริเวณกลางเส้นใยและภาคตัดตามขวางของเส้นใยไหมมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมมีช่องว่างเล็กๆกระจายบริเวณเส้นใยภาคตัดตามยาวของเส้นใยขนสัตว์ มีลักษณะผิวของขนสัตว์เป็นเกล็ดซ้อนๆ กันมีความหยิกงอของเส้นใยภาคตัดตามยาวของเส้นใยฝ้าย มีลักษณะคล้ายริบบิ้นแบนๆบิดเกลียวตลอดเส้นใย และภาคตัดตามยาวของเส้นใยไหม มีลักษณะกลมเรียบตลอดเส้นใย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

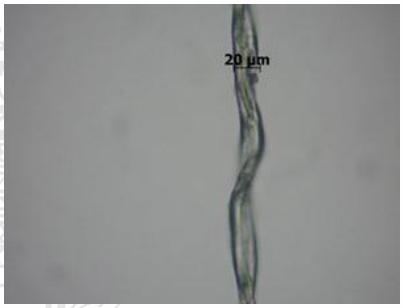


รูปที่ 4.1 ลักษณะภาคตัดของรังไหม



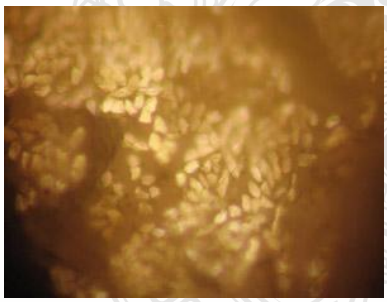
ภาคตัดตามขวาง ภาคตัดตามยาว

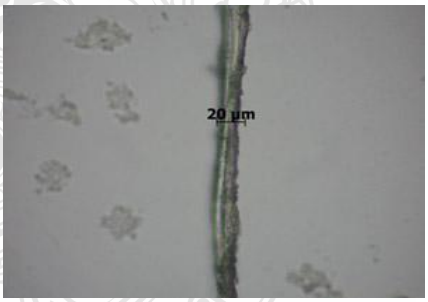
(ก) เศษเส้นใยขนสัตว์



ภาคตัดตามขวาง ภาคตัดตามยาว

(ข) เศษเส้นใยฝ้าย





ภาคตัดตามขวาง ภาคตัดตามยาว

(ค) เส้นใยไหม

รูปที่ 4.2 (ก) (ข) (ค) ลักษณะภาคตัดขวางและภาคตัดตามยาวของเศษเส้นใย

4.2.2 วัดความยาวเส้นใย

ผลการทดสอบความยาวของเศษเส้นใยขนสัตว์และเศษเส้นใยฝ้าย โดยการสุ่มเส้นใยจำนวน100 เส้นใย วัดความยาวดังแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ความยาวเศษเส้นใยขนสัตว์

เส้นที่	ความยาว (ซม.)	เส้นที่	ความยาว (ซม.)	เส้นที่	ความยาว (ซม.)	เส้นที่	ความยาว (ซม.)	เส้นที่	ความยาว (ซม.)
1	0.5	21	0.5	41	0.4	61	0.2	81	0.3
2	0.4	22	0.6	42	0.5	62	0.3	82	0.3
3	0.4	23	0.5	43	0.5	63	0.3	83	0.2
4	1	24	0.4	44	0.7	64	0.3	84	0.3
5	1	25	0.4	45	0.5	65	0.4	85	0.3
6	1.5	26	0.5	46	0.5	66	0.5	86	0.3
7	1.2	27	0.5	47	0.3	67	0.3	87	0.3
8	1	28	0.3	48	0.3	68	0.4	88	0.2
9	0.8	29	0.3	49	0.4	69	0.2	89	0.3
10	1.5	30	0.8	50	0.5	70	0.3	90	0.3
11	1.7	31	0.5	51	0.7	71	0.3	91	0.2
12	0.7	32	0.8	52	0.3	72	0.2	92	0.4
13	0.4	33	0.8	53	0.2	73	0.4	93	0.3
14	1.1	34	0.5	54	0.5	74	0.5	94	0.3
15	1.6	35	0.3	55	0.3	75	0.3	95	0.4
16	1.3	36	0.3	56	0.3	76	0.3	96	0.2
17	0.4	37	0.4	57	0.2	77	0.4	97	0.3
18	0.7	38	0.5	58	0.2	78	0.3	98	0.3
19	0.9	39	0.5	59	0.3	79	0.4	99	0.2
20	0.5	40	0.5	60	0.4	80	0.5	100	0.3
ความยาวเฉลี่ยของเส้นใยขนสัตว์ = 0.5 เซนติเมตร									

ตารางที่ 4.2 ความยาวเศษเส้นใยฝ้าย

เส้นที่	ความยาว (ซม.)	เส้นที่	ความยาว (ซม.)	เส้นที่	ความยาว (ซม.)	เส้นที่	ความยาว (ซม.)	เส้นที่	ความยาว (ซม.)
1	2	21	1.3	41	1.5	61	1.5	81	1.5
2	2	22	2	42	2.2	62	1.5	82	1.8
3	1.8	23	1.5	43	2.5	63	1.5	83	1
4	2	24	1.5	44	1.8	64	2	84	1.8
5	1.3	25	1.7	45	1.3	65	1.5	85	1.8
6	1.3	26	1.5	46	1.7	66	1.8	86	2
7	2	27	1.2	47	1	67	1.7	87	1.5
8	2	28	1.8	48	1	68	1	88	1
9	1.8	29	2	49	1.5	69	1	89	2
10	1	30	2.1	50	1.2	70	2	90	2.2
11	2	31	2.2	51	1	71	2.2	91	1.5
12	1.8	32	2.1	52	2	72	1.2	92	1.8
13	1	33	1.5	53	2	73	0.8	93	1.5
14	2	34	1.8	54	1.8	74	1.8	94	1
15	1	35	1.5	55	1.7	75	1.8	95	1.5
16	1.5	36	1.5	56	1.5	76	2	96	1.8
17	2	37	1.7	57	2	77	1.7	97	1.5
18	1.5	38	1.5	58	1	78	2.2	98	2
19	2.3	39	2	59	1.5	79	2	99	2
20	2.2	40	1.8	60	1	80	2.2	100	1.5
ความยาวค่าเฉลี่ยของเส้นใยฝ้าย = 1.6 เซนติเมตร									

จากตารางที่ 4.1 พบว่าความยาวของเศษเส้นใยขนสัตว์มีความยาว 0.5 เซนติเมตร และจากตารางที่ 4.2 พบว่าความยาวของเศษเส้นใยฝ้ายมีความยาว 1.6 เซนติเมตร ความยาวของเส้นใยมีส่วนต่อการไหลผ่านของอากาศในชิ้นทดสอบ เมื่อบรรจุเส้นใยไว้ในชิ้นทดสอบ เส้นใยที่สั้นจะมีช่องว่างให้อากาศแทรกซึมได้ดีกว่าเส้นใยที่มีความยาว

4.2.3 ผลการทดสอบน้ำหนักต่อพื้นที่ของชิ้นทดสอบ

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักต่อพื้นที่ของชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบที่บรรจุ	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ของชิ้นทดสอบ (ตร.ซม.)	ความหนา (ซม.)	น้ำหนักต่อพื้นที่ (กรัม/ตร.ม.)
เศษเส้นใยขนสัตว์	10.371	100	0.5	1,037.1
เศษเส้นใยฝ้าย	9.8528	100	0.5	985.28
รังไหม	9.1365	100	0.5	913.65

4.2.4 ผลการทดสอบความหนาของชิ้นทดสอบ

จากการวัดค่าความหนาบางของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความหนาบางของชิ้นทดสอบ ยี่ห้อ PEACOCK รุ่น 207 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความหนาของชิ้นทดสอบ 1 ชั้น

ชิ้นทดสอบ 1 ชั้น	ขนสัตว์ (ซม.)	ฝ้าย (ซม.)	รังไหม (ซม.)
1	0.5	0.5	0.5
2	0.5	0.5	0.5
3	0.5	0.5	0.5
4	0.5	0.5	0.5
5	0.5	0.5	0.5

จากตารางที่ 4.4 พบว่าการทดสอบความหนาของชิ้นทดสอบขนาด 10 x 10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 1 ชั้น ของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด มีความหนาเท่ากันคือ 0.5 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.5 ความหนาของชิ้นทดสอบที่เย็บซ้อนกัน 2 ชั้น

ความหนาของชิ้นทดสอบประเภท A (ซม.)			
ชิ้นทดสอบ 2 ชั้น	ขนสัตว์	ฝ้าย	รังไหม
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
ความหนาของชิ้นทดสอบประเภท B (ซม.)			
ชิ้นทดสอบ 2 ชั้น	ขนสัตว์	ฝ้าย	รังไหม
1	0.9	0.9	0.9
2	0.9	0.9	0.9
3	0.9	0.9	0.9
4	0.9	0.9	0.9
5	0.9	0.9	0.9
ความหนาของชิ้นทดสอบประเภท C (ซม.)			
ชิ้นทดสอบ 2 ชั้น	ขนสัตว์	ฝ้าย	รังไหม
1	0.8	0.8	0.8
2	0.8	0.8	0.8
3	0.8	0.8	0.8
4	0.8	0.8	0.9
5	0.8	0.8	0.9

จากตารางที่ 4.5 พบว่าการทดสอบความหนาของชิ้นทดสอบขนาด 10 x 10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 2 ชั้น ที่วางซ้อนทับกับสลับฟันปลาของเส้นใยทั้ง 3 ชนิด มีความหนาดังนี้ ชิ้นทดสอบประเภท A มีความหนาของชิ้นทดสอบ 1 เซนติเมตร ประเภท B มีความหนาของชิ้นทดสอบ 0.9 เซนติเมตร ประเภท C มีความหนาของชิ้นทดสอบ 0.8 เซนติเมตร

4.2.5 ผลการทดสอบความหนาแน่น และสัดส่วนที่เป็นช่องว่างของชิ้นทดสอบ

ตารางที่ 4.6 ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบและสัดส่วนที่เป็นช่องว่างของชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบที่บรรจุ	น้ำหนัก ชิ้นทดสอบ (กรัม)	ความหนาแน่นของเส้นใย (กรัม/ลบ.ซม.)	ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ (กรัม/ลบ.ซม.)	สัดส่วนที่เป็นช่องว่าง (%)
เศษเส้นใยขนสัตว์	10.371	1.34	0.21	84.52
เศษเส้นใยฝ้าย	9.8528	1.55	0.20	87.29
รังไหม	9.1365	1.30	0.18	85.94

ตัวอย่างการคำนวณ

(1) ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ

โดยที่ชิ้นทดสอบมีขนาด 10x10x0.5 = 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบบรรจุเศษใยฝ้าย

$$= \frac{9.8528}{50} = 0.20 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร } (g/cm^3)$$

(2) ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ

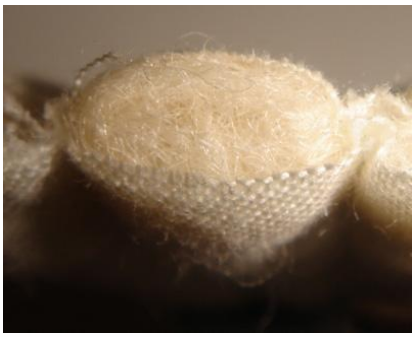
สัดส่วนที่เป็นช่องว่างของชิ้นทดสอบ (Porosity) คำนวณจาก

$$\text{Porosity} = \left(1 - \frac{\text{Fabric density}}{\text{Fiber density}}\right) \times 100$$

Porosity ของชิ้นทดสอบบรรจุเศษใยฝ้าย $= \left(1 - \frac{0.20}{1.55}\right) \times 100 = 87.29\%$

4.2.6 ผลการตรวจสอบภาคตัดขวางและภาคตัดตามยาวของชิ้นทดสอบ

การทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบสมบัติการไหลผ่านของอากาศในชิ้นทดสอบ และความหนาแน่นต่อพื้นที่ของชิ้นทดสอบ ได้ผลการทดลองดังนี้



ภาคตัดตามขวาง

ภาคตัดตามยาว

(ก) เศษเส้นใยขนสัตว์

ภาคตัดตามขวาง

ภาคตัดตามยาว

(ข) เศษเส้นใยฝ้าย

ภาคตัดตามขวาง

ภาคตัดตามยาว

(ค) เศษรังไหม

รูปที่ 4.3 (ก) (ข) (ค) ลักษณะภาคตัดขวางและภาคตัดตามยาวของชิ้นทดสอบ

4.3 การตรวจสอบ การไหลผ่านของอากาศของชิ้นทดสอบ

ตารางที่ 4.7 สมบัติการไหลผ่านของอากาศในชิ้นทดสอบ

การไหลผ่านของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที)			
	เศษเส้นใยขนสัตว์	เศษเส้นใยฝ้าย	รังไหม
ชิ้นทดสอบ	1ชั้น	1ชั้น	2 ชั้น
1	220	190	230
2	250	149	270
3	230	149	250
4	250	200	250
ค่าเฉลี่ย 2 ชั้น			250
ค่าเฉลี่ย 1 ชั้น	238	172	125
Standard deviation	15.00	26.87	16.33
CV (%)	6.30	15.62	13.06

ตารางที่ 4.8 สมบัติการไหลผ่านของอากาศในชิ้นทดสอบต่อพื้นที่

สมบัติการไหลผ่านของอากาศต่อพื้นที่ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/ตารางเซนติเมตร ($cm^3/sec/cm^2$)			
ชิ้นทดสอบที่บรรจุ	เศษเส้นใยขนสัตว์	เศษเส้นใยฝ้าย	รังไหม
1	10.85	10.85	11.34
2	12.33	12.33	13.32
3	11.34	11.34	12.33
4	12.33	12.33	12.33
Average	8.70	11.68	11.98
Standard deviation	1.25	0.64	1.05
CV (%)	14.33	5.51	8.78

หมายเหตุ : ชิ้นทดสอบไหมทำการทดสอบโดยวางชิ้นทดสอบไหมจำนวน 2 ชั้น เนื่องจากการทดสอบชั้นเดียวเมื่อทดสอบแล้วอากาศผ่านได้ง่ายมากไม่สามารถอ่านค่าผลการทดสอบได้จึงจำเป็นต้องทดสอบ 2 ชั้น

จากการทดสอบพบว่า อากาศสามารถไหลผ่านชิ้นทดสอบที่เตรียมจากเศษรังไหมได้มากที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลจากช่องว่างระหว่างเส้นใยไหมอยู่ห่างกันมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยอีกสองชนิด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการเรียงตัวของเส้นใยไหมมีการเรียงตัวตามธรรมชาติของรังไหม และเมื่อพับเศษรังไหมเป็นชิ้นเล็กๆ ทำให้อยู่ในลักษณะชิ้นบางๆเล็กๆ เมื่ออัดเข้าไปในแผ่นทดสอบจึงไม่สามารถกำหนดการเรียงตัวของเศษชิ้นรังไหมนี้ได้ จึงเป็นไปได้ว่า การเรียงตัวของชิ้นรังไหมอาจจะไม่อยู่ในลักษณะขวางทางเดินของลม ทำให้การผ่านของอากาศเป็นไปได้ง่าย ค่าการผ่านของอากาศจึงมีค่าสูง ในขณะที่เศษเส้นใยขนสัตว์ และเศษเส้นใยฝ้ายที่นำมาทดลองอยู่ในลักษณะเป็นใยเดี่ยวอิสระจากกัน เมื่อนำมาอัดในแผ่นเส้นใยจึงมีการกระจายตัวที่ดีกว่า มีโอกาสที่การอัดตัวของเส้นใยจะไปขวางทางเดินของอากาศได้มากกว่า

4.4 การทดสอบสมบัติการนำความร้อนของชิ้นทดสอบ

การทดสอบสมบัติการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของชิ้นทดสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบลักษณะการถ่ายเทความร้อน ได้ผลการทดลองดังนี้

ในการทดสอบสมบัติด้านความร้อนของชิ้นทดสอบได้ทำการทดสอบโดยวัดเป็นว่าการนำความร้อนด้วยเครื่อง Hot Disk TPS 2500 จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาคำนวณเป็นค่า Tog เพื่อให้ง่ายแก่การเปรียบเทียบกับค่าความเป็นฉนวนความร้อนของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ โดยใช้สมการดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 2

ตารางที่ 4.9 การนำความร้อนของชิ้นทดสอบ

การนำความร้อน วัตต์/เมตร องศาเคลวิล (W/m.°K)			
ชิ้นทดสอบที่บรรจุ	เศษเส้นใย ขนสัตว์	เศษเส้นใย ฝ้าย	รังไหม
ทดสอบครั้งที่ 1	0.1004	0.0812	0.0901
ทดสอบครั้งที่ 2	0.0997	0.0801	0.0901
ทดสอบครั้งที่ 3	0.0999	0.0794	0.0903
Average	0.1	0.0802	0.0901
Standard deviation	0.0003	0.0009	0.0001
CV (%)	0.3606	1.1309	0.1281

ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดแปรเป็นส่วนกลับของการนำความร้อน ดังนั้น

$$r = \frac{1}{k}$$

ที่ความหนาของวัสดุ x เมตร $r = \frac{x}{k}$

พิจารณาหน่วยของค่าความต้านทานความร้อน

$$r = \frac{x}{k} \times \frac{(m)}{\left[\frac{(W)}{m.^0K}\right]}$$

$$= \frac{x}{k} \times \frac{(m) \times (m.^0K)}{W}$$

$$= \frac{x}{k} \times \frac{m^2.^0K}{W}$$

เมื่อ x เท่ากับความหนาของวัสดุ (m) เพราะฉะนั้นหน่วยความต้านทานความร้อนจึงเป็น $m^2.°K/W$

ตารางที่ 4.10 การต้านทานความร้อนของชิ้นทดสอบ

การต้านทานความร้อน ($m^{2\,0}$.K/W)			
ชิ้นทดสอบที่บรรจุ	เศษเส้นใยขนสัตว์	เศษเส้นใยฝ้าย	รังไหม
ทดสอบครั้งที่ 1	0.0498	0.0555	0.0616
ทดสอบครั้งที่ 2	0.0502	0.0555	0.0624
ทดสอบครั้งที่ 3	0.0501	0.0554	0.0630
Average	0.05	0.06	0.06
Standard deviation	0.00	0.00	0.00
CV (%)	0.36	0.13	1.13

จากการทดสอบพบว่า แผ่นทดสอบที่บรรจุเส้นใยฝ้าย ที่มีสมบัติการผ่านของอากาศน้อยที่สุด มีสมบัติการนำความร้อนดีที่สุด รองลงมาคือ แผ่นทดสอบที่บรรจุเส้นใยขนสัตว์ ในขณะที่แผ่นทดสอบที่บรรจุเส้นใยจากเศษรังไหมมีการนำความร้อนต่ำสุดชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใย ขนสัตว์มีน้ำหนักสูงกว่า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า มีความหนาแน่นของชิ้นทดสอบที่สูงกว่า แต่เมื่อพิจารณาว่าเส้นใยขนสัตว์เป็นเส้นใยที่มีความหนาแน่นของเส้นใยสูงกว่าเส้นใยอีกสองชนิดและรังไหมมีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบซ้อนกัน

ระดับค่าต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มได้ถูกระบุไว้ในป้ายสิ้นค้าเพื่อให้ทราบถึงความเหมาะสมต่อการสวมใส่ตามสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมโดยมีชื่อเรียกว่าท็อค (Tog) โดยเทียบเป็นค่าความต้านทานความร้อน (r) ได้ดังนี้

1 ท็อคมีค่าต้านทานความร้อน (r) เท่ากับ 0.1 m².°K /W ดังนั้น จะมีค่า k เทียบเท่ากับค่าการคำนวณดังนี้

จาก $r = \frac{x}{k}$

$\frac{1}{r} = \frac{k}{x}$

$\frac{1}{0.1} = \frac{k}{x}$

$k = \frac{x}{0.1}$

$\therefore$ 1 ท็อค มีค่า $k = \frac{x}{0.1}$ W/m.°K

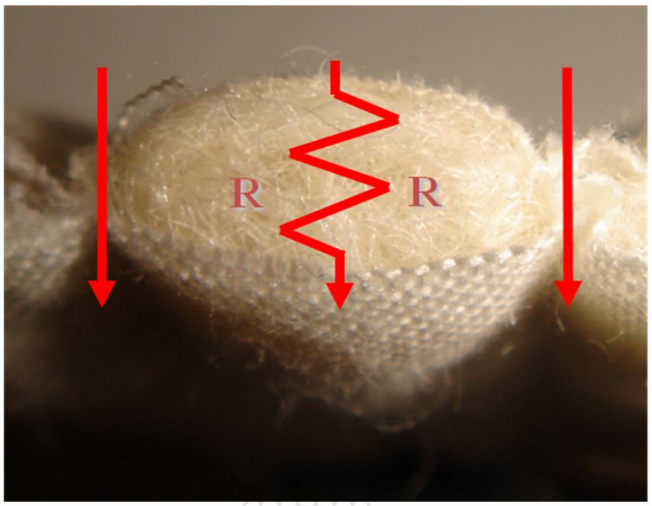
*** เมื่อ x คือความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็น เมตร

ตารางที่ 4.11 ระดับการต้านทานความร้อน **(Tog)** ของชิ้นทดสอบ

Tog			
ชิ้นทดสอบที่บรรจุ	เศษเส้นใยขนสัตว์	เศษเส้นใยฝ้าย	รังไหม
ทดสอบครั้งที่ 1	0.4980	0.5549	0.6158
ทดสอบครั้งที่ 2	0.5015	0.5549	0.6242
ทดสอบครั้งที่ 3	0.5005	0.5537	0.6297
Average	0.50	0.55	0.62
Standard deviation	0.00	0.00	0.01
CV (%)	0.36	0.13	1.13

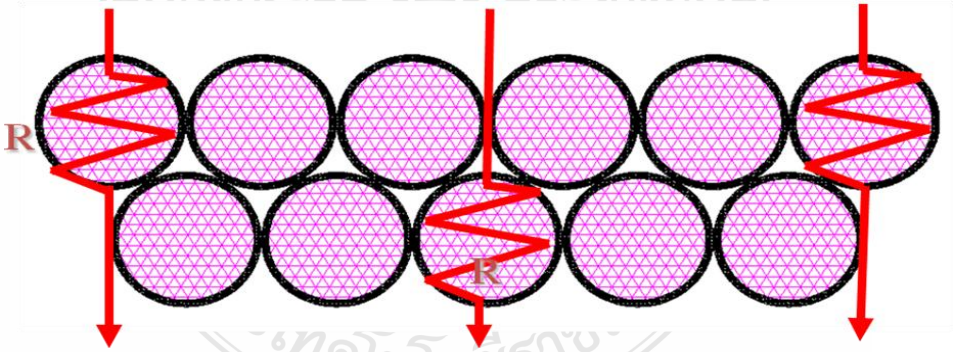
เมื่อแปลงค่าการนำความร้อนเป็นค่า ฉนวนความร้อนโดยการคำนวณ พบว่า ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมขึ้นจากเศษเส้นใยทั้งสามชนิด มีค่าการเป็นฉนวนความร้อนที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ซึ่งกำหนดว่า ผ้าห่มในฤดูร้อน (light weight summer duvet) ควรมีค่าประมาณ 4.5 Tog ผ้าห่มในฤดูใบไม้ร่วง (autumn weight summer duvet) ควรมีค่าประมาณ 9.0 – 10.5 Tog และผ้าห่มในฤดูหนาว (winter weight summer duvet) ควรมีค่าประมาณ 12.0.- 13.5 Tog

เมื่อนำตัวอย่างทดสอบมาวิเคราะห์ก็พบข้อสังเกตคือ บริเวณรอยเย็บขั้นระหว่างช่องที่ไม่มีเศษวัสดุที่เป็นฉนวนความร้อน ส่งผลให้ความร้อนรั่วไหลผ่านบริเวณดังกล่าวได้ ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนคลาดเคลื่อนไป



รูปที่ 4.4 ลักษณะการรั่วไหลของความร้อน

วิธีแก้ไข คือการนำชิ้นทดสอบที่มีลักษณะเบื้องต้นมาซ้อนกัน 2 ชั้น โดยทำการสลับฟันปลาเพื่อเป็นการปิดช่องว่างที่ไม่มีเศษวัสดุที่เป็นฉนวนความร้อน ส่งผลให้ความร้อนไหลผ่านวัสดุทดสอบโดยผ่านเศษวัสดุที่เป็นฉนวนความร้อนทั่วทั้งแผ่นชิ้นงาน



รูปที่ 4.5 ลักษณะการไหลผ่านของความร้อนของชิ้นทดสอบ 2 ชั้น

ตารางที่ 4.12 สมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้าของชิ้นทดสอบ 2 ชั้น

สมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที (cm^3/sec)							
ครั้งที่ทดสอบ	ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์			ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้าย			ชิ้นทดสอบที่บรรจุรังไหม
	ความหนาแน่น (A)	ความหนาแน่น (B)	ความหนาแน่น (C)	ความหนาแน่น (A)	ความหนาแน่น (B)	ความหนาแน่น (C)	ความหนาแน่น (A)
	(กรัม / ลบ.ซม.)						
1	130	160	165	43	60	60	250
2	150	160	155	44	50	56	250
3	150	150	185	43	55	50	260
4	160	165	165	42	50	100	350
5	170	185	185	45	60	60	340
Average	152	164	171	43.4	55	65.2	290
Standard deviation	14.83	12.94	13.42	1.14	5.00	19.88	50.50
CV (%)	976%	789%	785%	263%	909%	3049%	1741%

ตารางที่ 4.13 สมบัติการนำความร้อนของชิ้นทดสอบ 2 ชั้น

สมบัติการนำความร้อน (k value) วัตต์/เมตร องศาเคลวิล (W/m.°K)							
ครั้งที่ทดสอบ	ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์			ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้าย			ชิ้นทดสอบที่บรรจุรังไหม
	k value (A)	k value (B)	k value (C)	k value (A)	k value (B)	k value (C)	k value (A)
	(W / m . ° K)						
1	0.1093	0.1007	0.1039	0.1237	0.1004	0.1133	0.1222
2	0.1101	0.1013	0.1042	0.1242	0.1007	0.1135	0.1239
3	0.1103	0.1011	0.1041	0.1242	0.1008	0.1197	0.1240
Average	0.1099	0.1010	0.1041	0.1240	0.1006	0.1155	0.1234
Standard deviation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CV (%)	48%	30%	15%	23%	21%	315%	82%

ตารางที่ 4.14 การต้านทานความร้อนของชิ้นทดสอบ 2 ชั้น

สมบัติการต้านทานความร้อน (r value)							
ครั้งที่ทดสอบ	ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์			ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้าย			ชิ้นทดสอบที่บรรจุรังไหม
	r value (A)	r value (B)	r value (C)	r value (A)	r value (B)	r value (C)	r value (A)
	($m^2 . {}^{\circ}K$ / W)						
1	0.0915	0.0993	0.0962	0.0808	0.0996	0.0883	0.0818
2	0.0908	0.0987	0.0960	0.0805	0.0993	0.0881	0.0807
3	0.0907	0.0989	0.0961	0.0805	0.0992	0.0835	0.0806
Average	0.0910	0.0990	0.0961	0.0806	0.0994	0.0866	0.0811
Standard deviation	0.0004	0.0003	0.0001	0.0002	0.0002	0.0027	0.0007
CV (%)	48%	0.3027	0.1469	0.2331	0.2070	3.0943	0.8239

ตารางที่ 4.15 ระดับการต้านทานความร้อน **(Tog)** ของชิ้นทดสอบ 2 ชั้น

Tog							
ครั้งที่ทดสอบ	ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์			ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้าย			ชิ้นทดสอบที่บรรจุรังไหม
	Tog value (A)	Tog value (B)	Tog value (C)	Tog value (A)	Tog value (B)	Tog value (C)	Tog value (A)
1	0.915	0.993	0.962	0.808	0.996	0.883	0.818
2	0.908	0.987	0.960	0.805	0.993	0.881	0.807
3	0.907	0.989	0.961	0.805	0.992	0.835	0.806
Average	0.910	0.990	0.961	0.806	0.994	0.866	0.811
Standard deviation	0.004	0.003	0.001	0.002	0.002	0.027	0.007
CV (%)	0.483	0.303	0.147	0.233	0.207	3.094	0.824

ตารางที่ 4.16 สรุปผลการทดสอบเศษเส้นใยขนสัตว์ 3 ความหนาแน่น

ชิ้นทดสอบ	น้ำหนัก (g)	พื้นที่ (cm^2)	ความหนา (cm)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ช่องว่างระหว่างเส้นใย (%)	สมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า ($cm^3/sec/cm^2$)	เวลาในการวัด (sec)	ค่าการนำความร้อน (W/m.°K)	ค่าการต้านทานความร้อน (m^2.°K / W)	Tog
A	21	100	1	0.21	84.33	7.50	10	0.1090	0.0917	0.92
B	18	100	0.9	0.2	85.07	7.84	10	0.1010	0.0891	0.89
C	14	100	0.8	0.175	86.94	8.68	10	0.1040	0.0769	0.77
							ค่าเฉลี่ย	0.1047	0.0859	0.86

ตารางที่ 4.17 สรุปผลการทดสอบเศษเส้นใยฝ้าย 3 ความหนาแน่น

ชิ้นทดสอบ	น้ำหนัก (g)	พื้นที่ (cm^2)	ความหนา (cm)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ช่องว่างระหว่างเส้นใย (%)	สมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า ($cm^3/sec/cm^2$)	เวลาในการวัด (sec)	ค่าการนำความร้อน (W/m.°K)	ค่าการต้านทานความร้อน (m^2.°K / W)	Tog
A	21	100	1	0.21	86.45	2.12	10	0.1240	0.0806	0.81
B	18	100	0.9	0.2	87.10	2.81	10	0.1006	0.0895	0.89
C	14	100	0.8	0.175	88.71	3.03	10	0.1155	0.0693	0.69
							ค่าเฉลี่ย	0.1134	0.0798	0.80

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตารางที่ 4.18 สรุปผลการทดสอบเศษรังไหม

ชิ้นทดสอบ	น้ำหนัก (g)	พื้นที่ (cm^2)	ความหนา (cm)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ช่องว่างระหว่างเส้นใย (%)	สมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า ($cm^3/sec/cm^2$)	เวลาในการวัด (sec)	ค่าการนำความร้อน (W/m.°K)	ค่าการต้านทานความร้อน (m^2.°K / W)	Tog
A	21	100	1	0.21	83.85	14.3	10	0.1234	0.0810	0.81

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

จากข้อมูลในตารางข้างต้นสามารถสรุปได้ดังนี้

จากตารางสมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า พบว่า การไหลผ่านของอากาศในผ้า จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความหนาแน่นของวัสดุลดลง และเมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบที่เท่ากัน ค่าการไหลผ่านของอากาศในชิ้นทดสอบบรรจุรังไหมจะมีค่า สูงกว่าชิ้นทดสอบบรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์และฝ้าย ค่าการนำความร้อน ของผ้า จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความหนาแน่นของวัสดุลดลง และเมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบที่เท่ากัน ค่าการนำความร้อนของชิ้นทดสอบบรรจุบรรจุ รังไหมจะมีค่า สูงกว่าชิ้นทดสอบบรรจุเศษเส้นใยฝ้าย และขนสัตว์ ดังนั้นจากผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าฉนวนความร้อนที่บรรจุเส้นใยเศษขนสัตว์มีความเหมาะสมในการใช้ในเครื่องนุ่งห่มมากที่สุด เนื่องจาก มีสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน และยอมให้อากาศไหลผ่านได้ ทำให้ผู้สวมใส่ไม่รู้สึกอึดอัด

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 สมบัติของเส้นใย

ภาคตัดตามขวางของเส้นใยขนสัตว์ มีลักษณะคล้ายรูปวงกลม มีช่องว่างเล็กๆกระจายทั่วบริเวณเส้นใย ภาคตัดตามขวางของเส้นใยฝ้ายมีลักษณะคล้ายเมล็ดถั่ว มีช่องว่างบริเวณกลางเส้นใย ส่วนภาคตัดตามขวางของเส้นใยไหมมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมมีช่องว่างเล็กๆกระจายทั่วเส้นใย

ภาคตัดตามยาวของเส้นใยขนสัตว์ มีลักษณะผิวของขนสัตว์เป็นเกล็ดซ้อนๆ กันมีความหยิกงอของเส้นใย ภาคตัดตามยาวของเส้นใยฝ้าย มีลักษณะคล้ายริบบิ้นแบนๆบิดเกลียวตลอดเส้นใย ส่วนภาคตัดตามยาวของเส้นใยไหม มีลักษณะกลมเรียบตลอดเส้นใย

5.1.2 การไหลผ่านของอากาศ

ชิ้นทดสอบที่บรรจุรังไหมมีค่าสมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้ามากที่สุด รองลงมาคือชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์ และชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้ายตามลำดับ จากการทดลองยังพบอีกว่า ความหนาแน่นของวัสดุในชิ้นทดสอบจะมีค่าแปรผกผันกับค่าสมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า โดยเมื่อพิจารณาจากการทดลองค่าสมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้าของชิ้นทดสอบที่ต่างความหนาแน่น คือชิ้นทดสอบที่มีความหนาแน่นของวัสดุในชิ้นทดสอบสูงที่สุด จะมีค่าสมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้าน้อยที่สุด

5.1.3 การนำความร้อน

1) การทดสอบชิ้นทดสอบชั้นเดียว

ในการทดสอบหาค่าการนำความร้อนในครั้งแรก โดยชิ้นทดสอบเป็นแบบชั้นเดียว ความหนาแน่นเดียว ในสภาวะความหนาของชิ้นทดสอบเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร และตรวจวัดค่าในเวลา 5 วินาที ผลการทดสอบพบว่าชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์มีค่าการนำความร้อนได้ดีที่สุด คือ 0.1000 W/m.°K รองลงมาคือชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้าย คือ 0.0902 W/m.°K และชิ้นทดสอบที่บรรจุรังไหม คือ 0.0802 W/m.°K

ในทางกลับกันชิ้นทดสอบที่บรรจุรังไหมมีค่าการต้านทานความร้อนได้ดีที่สุด คือ 0.0623 m2.°K/W (0.62 Tog) รองลงมาเป็นชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้าย คือ 0.0555 m2.°K/W (0.55 Tog) และชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์ คือ 0.0500 m2.°K/W (0.50 Tog)

2) การทดสอบชิ้นทดสอบสองชั้น

จากที่พบว่า ความร้อนอาจไหลผ่านตำแหน่งตะเข็บ ทำให้ปรับปรุงการทดสอบหาค่าการนำความร้อนสองชั้น โดยซ้อนชิ้นทดสอบเป็นแบบ 2 ชั้นสลับฟันปลา 3 ความหนาแน่น ใน

สภาวะความหนาของชิ้นทดสอบเท่ากับ 1 , 0.9 , 0.8 เซนติเมตร และตรวจวัดค่าการนำความร้อนในเวลา 10 วินาที ผลการทดสอบพบว่าชิ้นทดสอบที่บรรจุรังไหม มีเฉลี่ยค่าการนำความร้อนได้ดีที่สุด คือ 0.1234 W/m.°K รองลงมาคือชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้าย คือ 0.1134 W/m.°K และชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์ คือ 0.1047 W/m.°K ในทางกลับกันชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยขนสัตว์มีค่าเฉลี่ยการต้านทานความร้อนได้ดีที่สุด คือ 0.0859 m2.°K/W (0.86 Tog) รองลงมาเป็นชิ้นทดสอบที่บรรจุรังไหม คือ 0.0810 m2.°K/W (0.81 Tog) และชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้าย คือ 0.0798 m2.°K/W (0.79 Tog)

จากการทดสอบทั้งสองครั้ง พบว่าค่าความหนา และความหนาแน่นของชิ้นทดสอบน่าจะมีผลกระทบต่อค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุ เนื่องจากการทดสอบครั้งที่สองมีการเพิ่มของเวลาในการวัดค่าจากครั้งแรก 5 วินาที มาเป็น 10 วินาที จึงอาจสรุปได้ว่าหากเราต้องการเพิ่มค่าสมบัติการต้านทานความร้อนให้กับวัสดุ เราอาจต้องเพิ่มความหนา และความหนาแน่นให้กับวัสดุ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากที่ได้ทำการศึกษาเรื่อง การศึกษาการนำเศษเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นฉนวนความร้อนทำให้พบว่ายังมีอีกหลายประเด็นที่น่าสนใจ และควรที่จะทำการศึกษาในโอกาสต่อไป ดังนี้

5.2.1 เมื่อพิจารณาจากการทดสอบทั้งสองครั้ง แล้วเศษเส้นใยขนสัตว์น่าจะมีความต้านทานความร้อนดีที่สุด จึงน่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ เช่นการนำไปทำฉนวนความร้อนที่ใช้ในเครื่องนุ่งห่ม หรือการนำไปผลิตฉนวนความร้อนจากวัสดุที่เหลือใช้จากธรรมชาติ โดยอาจออกแบบให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุ และผลิตภัณฑ์

5.2.2 เศษเส้นใยฝ้าย และเศษรังไหมมีความต้านทานความร้อนรองลงมาจากเศษขนสัตว์เพียงเล็กน้อยก็น่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เช่นกัน

5.2.3 ลักษณะการทำชิ้นทดสอบ การบรรจุ มีผลต่อการไหลผ่านของอากาศและการนำความร้อน

5.2.4 ผลการทดสอบการนำความร้อนทั้งสองครั้งผลยังไม่เสถียร ปัญหาน่าจะเกิดจากวิธีการทดสอบ (เครื่องทดสอบตามมาตรฐานสิ่งทอ ไม่มีในประเทศไทย ทำให้มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องที่ MTEC ผลที่ได้จึงอาจไม่สอดคล้องกับงานด้านสิ่งทอ)

5.2.5 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องผลกระทบของความหนา และความหนาแน่นต่อค่าการนำความร้อน

เอกสารอ้างอิง

[1] ตระการ ก้าวกสิกรรม, **คู่มือฉนวนความร้อน**. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี, 2537. หน้า 5-29

[2] ยูนัส เอ เซนเก, **เทอร์โมไดนามิกส์**. กรุงเทพฯ: แมคกรอ-ฮิล, 2543.หน้า 25- 75

[3] Aos.wisc., **Heat Transfer** (Online), 2009. Available: http://www.aos.wisc.edu/~aalopez/aos101/wk5.html (03 December 2009)

[4] Yunus A.Cengel, **Heat transfer**. Boston : McGraw-hill, 1998. pp 649-653

[5] Saville, **Physical testing of textiles**. Cambride : Woodhead, 1999. pp 209-227

[6] J.E.Booth, **Principles of textile testing**. London : Newness-Butterworths, 1976, pp 276

[7] W.E. Morton, **Physical Properties of Textile Fibres**, Boca Raton : The Textile Institute and

[8] Trevor Mendham, **Duvet Tog Ratings**. (Online), Available : http://www.here-be-dreams.com/bedroom/tog

[9] Wikipedia,**Tog.** (Online), Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Tog_(unit)

[10] วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน,**เทคโนโลยีสิ่งทอเบื้องต้น**.กรุงเทพฯ : คราฟ แมนเพรส, 2551.หน้า 35-38

[11] Rei, How to Choose Wool Clothing (Online),2008. Available http://www.rei.com/expertadvice articles/wool+clothing.html

[12] Microlabgallery**,Clothing Fiber,** (Online), Available : http://www.microlabgallery.com/ClothingFiberFile.aspx

[13] Nic, **Fiber Files: Cotton**,(Online), Available : http://lizzcorner.wordpress.com/2009/06/11/fiber-files-cotton/

[14] L. Schacher et al. “Comparison between thermal insulation and thermal properties of classical and microfibres polyester fabrics**” International Journal of Clothing Science and Technology**, Vol. 12 Iss: 2, pp.84 - 95

[15] Han Zhang et al. “Thermal properties of *Bombyx mori* silk fibers” **Journal of Applied Polymer Science,** Volume 86, Issue 8, pages 1817–1820

[16] Sukigara S.,Yokura H.and Fujimoto T.,“Compression and Thermal Properties of Recycled Fiber Assemblies Made from Industrial Waste of Sweater Products”, **Textile Research Journal**, Vol. 73, No. 4, 2003, pp 310-315

[17] Yi Li and Qingyong Zhu, “Simultaneous heat and moisture transfer with moisture sorption condensation and capillary liquid diffusion in porous textiles”,**Textile Research Journal**, 2003,Vol.73, No.6, pp.515-524

[18] Hom et al. “Clothing Thermal Insulation During Sweating” Textile Research Journal, 2003, Vol. 73 No. 2,pp.152-157

[19] Li et al., “The Numeral Analysis Method in Engineering Design of Thermal Functional Textile Products,” **Journal of Information & Computational Science**, 2004, Vol.1, pp.63-68

[20] Idicula et al.“Thermophysical properties of natural fibre reinforced polyester composites” **Composites Science and Technology,**2006, Vol.66 pp. 2719- 2725

[21] Ye et al. “Thermal conductivity of wool and wool–hemp insulation” **International Journal of Energy Research,**2006**,** Vol.30 pp. 37–49

[22] Wang et al. “Thermal conductivity studies on wool fabrics with conductive coatings” **Journal of the textile institute**, 2006**,** Vol.97 pp. 265-269

[23] Santos et al. “Nonwoven Sisal Fiber as Thermal Insulator Material”**Journal of Natural Fibers**, 2009**,** Vol.6 pp. 115-126

ภาคผนวก ก
การคัดเลือกเส้นใย

การคัดเลือกเศษเส้นใย

1 เศษเส้นใยฝ้าย

กระบวนการปั่นด้ายของโรงงานอุตสาหกรรมประกอบด้วยหลายขั้นตอน เช่น เศษเส้นใยจากเครื่องสางใย เศษเส้นใยจากห้องผสม ในงานวิจัยนี้เลือกเศษเส้นใยจากที่ตกใต้เครื่องสางใย เนื่องจากลักษณะของเศษเส้นใยยังคงความเป็นเส้นใยสั้น

รูปที่ ก.1 ลักษณะเศษเส้นใยฝ้าย

2. เศษเส้นใยขนสัตว์

ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตพรมขนสัตว์จากกระบวนการตัดขนสัตว์ก่อนที่จะนำไปฟอกย้อม เศษเส้นใยที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นใย สีขาวครีม

รูปที่ ก.2 ลักษณะเศษเส้นใยขนสัตว์

3.เศษเส้นใยไหม

ในกระบวนการผลิตของหัตกรรมพื้นบ้านจากการสาวไหม ซึ่งในการสาวไหมจะสาวจนกระทั่งไม่สามารถสาวได้จึงมีลักษณะเป็นเศษรังไหมบางๆ แต่ยังมีเศษเส้นใยติดอยู่บริเวณรอบๆ รังไหม

รูปที่ ก.3 ลักษณะเศษรังไหม

ภาคผนวก ข
ประเภทของเครื่องทดสอบการนำความร้อน

ประเภทของเครื่องทดสอบการนำความร้อน

เครื่องทดสอบการนำความร้อน (Thermal Conductivity) มีหลายประเภทแบ่งตามชนิดของวัสดุ ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดมีการนำความร้อนแตกต่างกัน เช่น วัสดุบางชนิดนำความร้อนต่ำแต่หลอมละลายเมื่อพบกับอุณหภูมิความร้อนเกินกว่าที่เนื้อของวัสดุรับได้ เนื่องจากเครื่องทดสอบจะทำการปล่อยความร้อนผ่านวัสดุ โดยควบคุมอุณหภูมิภายในให้คงที่ จากนั้นเครื่องทดสอบจะวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ดังนั้นหากเนื้อของวัสดุกับช่วงอุณหภูมิที่เครื่องสามารถสร้างได้ไม่สัมพันธ์กัน อาจทำให้วัสดุเสียหายได้ ดังนั้นควรเลือกเครื่องทดสอบให้เหมาะกับวัสดุที่ต้องการทดสอบ

หน่วยที่ใช้ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

- ความหนา ความกว้างและความยาวของวัสดุมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)
- การนำความร้อน (Thermal Conductivity) มีหน่วยเป็นวัตต์/เมตร.เคลวิน (W/m·K)
- การต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) มีหน่วยเป็นตารางเมตร.เคลวิน/วัตต์ (m^2·K/W)

การต้านทานความร้อนคือส่วนกลับของการนำความร้อน ดั้งนั้นหากวัสดุใดมีการนำความร้อนต่ำ วัสดุนั้นก็จะมีต้านทานความร้อนสูงและวัสดุใดมีค่าการนำความร้อนสูง วัสดุนั้นก็จะมีสัมประสิทธิ์ต้านทานความร้อนต่ำนั้นเอง

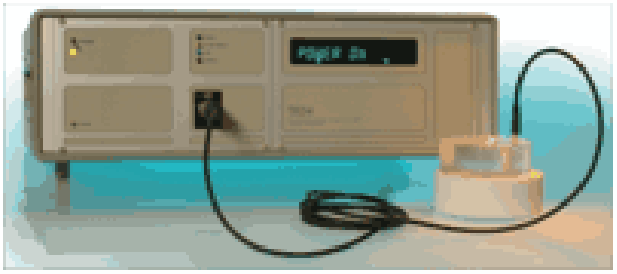
เครื่องทดสอบการนำความร้อนมีอยู่จำนวนมากในปัจจุบัน ในที่นี้ขอกล่าวถึงเครื่องทดสอบเพียงบางเครื่องเท่านั้นเพื่อให้เข้าใจลักษณะการทำงานพอสังเขป

1. เครื่องทดสอบ TK Thermal Conductivity

TK Thermal Conductivity ได้รับมาตรฐานรองรับคือ ASTM D 5930 และ ASTM D 5334 เครื่องทดสอบประเภทนี้เหมาะกับวัสดุที่เป็นของแข็งและกึ่งของแข็ง ผงและวัสดุที่มีความหนืดสูง โดยเครื่องทดสอบจะปล่อยความร้อนผ่านวัสดุ และควบคุมอุณหภูมิภายในให้คงที่ จากนั้นเครื่องทดสอบการนำความร้อน

คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องทดสอบ

- ช่วงของการนำความร้อนอยู่ที่ 0.1 ถึง 10 วัตต์/เมตร.เคลวิน (W/m.K)
- ช่วงอุณหภูมิที่เครื่องสามารถสร้างได้อยู่ที่ 0°C ถึง 45 องศาเซลเซียส (°C)
- ช่วงอุณหภูมิของชิ้นตัวอย่างตามมาตรฐานอยู่ที่ -0 ถึง +70 องศาเซลเซียส และช่วงอุณหภูมิของชิ้น ตัวอย่างที่ยังสามารถรับได้ -20 องศาเซลเซียส ถึง +150 องศาเซลเซียส
- ขนาดของชิ้นทดสอบคือ ไม่จำกัดขนาด
- ความแม่นยำร้อยละ ±2



รูปที่ ข.1 เครื่องทดสอบ TK Thermal conductivity

2. เครื่องทดสอบ DRX-I PB/PC Thermal Conductivity

เครื่องทดสอบ DRX-I PB/PC Thermal Conductivity ได้รับมาตรฐานรองรับคือ ISO/DIS 8301 ASTM C518-2004 และ EN12667เครื่องทดสอบประเภทนี้เหมาะกับวัสดุที่เป็นพลาสติก แก้ว เส้นใย โฟม และวัสดุอื่นที่มีสมบัติใกล้เคียง โดยเครื่องทดสอบจะปล่อยความร้อนผ่านวัสดุ และควบคุมอุณหภูมิภายในให้คงที่ จากนั้นเครื่องทดสอบจะวัดการนำความร้อน

คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องทดสอบ

- ช่วงของค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.015 ถึง 2 วัตต์/เมตร.เคลวิน (W/m.K)
- ช่วงอุณหภูมิที่เครื่องสามารถสร้างได้อยู่ที่ 0 องศาเซลเซียส ถึง 80 องศาเซลเซียส
- ขนาดของชิ้นทดสอบคือ 200 x 200 ตารางมิลลิเมตร หรือ 300 x 300 ตารางมิลลิเมตร
- ความแม่นยำร้อยละ ±2

รูปที่ ข.2 เครื่องทดสอบ DRX-I PB/PC Thermal Conductivity

3. เครื่องทดสอบ Thermal Conductivity Testers (AUTO) HC-074-200

เครื่องทดสอบ Thermal Conductivity Testers (AUTO) HC-074-200 ได้รับมาตรฐานรองรับคือ ASTM C518และ ISO 8301 เครื่องทดสอบประเภทนี้เหมาะกับวัสดุที่เป็นพลาสติก ยาง โดยเครื่องทดสอบจะปล่อยความร้อนผ่านวัสดุ และควบคุมอุณหภูมิภายในให้คงที่ จากนั้นเครื่องทดสอบจะ วัดค่าการนำความร้อน

คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องทดสอบ

- ช่วงของค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.005 5 ถึง 0.8 วัตต์/เมตร.เคลวิน (W/m.K)
- ช่วงอุณหภูมิที่เครื่องสามารถสร้างได้อยู่ที่ -20 องศาเซลเซียส ถึง +75 องศาเซลเซียส
- ขนาดของชิ้นทดสอบคือ 200 x 200 ตารางมิลลิเมตร และมีความหนาประมาณ 5 ถึง 50 ตารางมิลลิเมตร

รูปที่ ข.3 เครื่องทดสอบThermal Conductivity Testers (AUTO) HC-074-200

4. เครื่องทดสอบ Thermal Conductivity Testers

เครื่องทดสอบ Thermal Conductivity Testers ได้รับมาตรฐานรองรับคือ ASTM D1518 เครื่องทดสอบประเภทนี้เหมาะกับวัสดุที่เป็นของแข็งในลักษณะที่เป็นสิ่งทอ ผ้าเป็นต้น โดยเครื่องทดสอบจะปล่อยความร้อนผ่านวัสดุ และควบคุมอุณหภูมิภายในให้คงที่ จากนั้นเครื่องทดสอบจะวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน จากการศึกษาพบว่าเครื่องทดสอบลักษณะนี้ยังไม่มีในประเทศไทย หากต้องการทดสอบกับเครื่องนี้จะต้องส่งไปทดสอบที่ต่างประเทศและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องทดสอบ

- ช่วงของค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.7 ถึง 14 วัตต์/เมตร.เคลวิน (W/m.K)
- ขนาดของชิ้นทดสอบคือ ความหนาไม่เกิน 50 มิลลิเมตร

รูปที่ ข.4 เครื่องทดสอบ Thermal Conductivity Testers ASTM D1518

5. เครื่องทดสอบ Hot Disk TPS 2500

เครื่องทดสอบ Hot Disk TPS 2500 ได้รับมาตรฐานรองรับคือ ISO 22007-2 เครื่องทดสอบประเภทนี้เหมาะกับวัสดุที่เป็นของแข็ง ของเหลว ผง วัสดุเสริมแรง พลาสติก ยาง โฟม ไม้และวัสดุอื่นที่มีสมบัติใกล้เคียงอย่างเช่นวัสดุสิ่งทออีกด้วย โดยเครื่องทดสอบจะปล่อยความร้อนผ่านวัสดุ และควบคุมอุณหภูมิภายในให้คงที่ จากนั้นเครื่องทดสอบจะวัดค่าการนำความร้อน ซึ่งเครื่องทดสอบลักษณะนี้พบว่ามีอยู่ที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติในประเทศไทย

คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องทดสอบ

- ช่วงของค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.005 ถึง 500 วัตต์/เมตร.เคลวิน (W/m.K)
- ช่วงอุณหภูมิที่เครื่องสามารถสร้างได้อยู่ที่ -255 องศาเซลเซียส ถึง +700 องศาเซลเซียส
- ขนาดของชิ้นทดสอบคือ 30 x 30 ตารางมิลลิเมตร ถึง 70 x 70 ตารางมิลลิเมตร และมีความหนาประมาณ 5 ถึง 10 มิลลิเมตร
- ความแม่นยำร้อยละ ±2

รูปที่ ข.5 เครื่องทดสอบ Hot Disk TPS 2500

จากลักษณะและขีดจำกัดของเครื่องทดสอบที่กล่าวข้างต้น ทำให้พบว่าเครื่องทดสอบแต่ละเครื่องมีการส่งผ่านความร้อนที่เหมือนกันคือปล่อยความร้อนผ่านวัสดุ ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยสิ่งที่แตกต่างกันคือช่วงของอุณหภูมิที่เครื่องสามารถสร้างได้ตามชนิดของวัสดุและขีดจำกัดของเครื่องเพื่อรองรับวัสดุนั้นๆ

จากการพิจารณาลักษณะเครื่องทดสอบพบว่า เครื่องที่เหมาะสมจะใช้ทดสอบสมบัติการฉนวนความร้อนของผลิตภัณฑ์สิ่งทอไม่มีในประเทศไทย การทดสอบจะต้องส่งไปทดสอบยังต่างประเทศ โดยบริษัทรับทดสอบ Inscape Labtest ได้ส่งไปทดสอบยังประเทศเกาหลี งานวิจัยนี้จึงพิจารณาเลือกเครื่องทดสอบ Hot Disk TPS 2500 ที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติในประเทศไทย เนื่องจากเครื่องทดสอบลักษณะนี้น่าจะมีความเหมาะสมที่จะใช้ทดสอบสมบัติการนำความร้อนของชิ้นทดสอบได้ ซึ่งเป็นเครื่องที่มีอยู่ในประเทศไทยและประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบ

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบการนำความร้อน (ทดสอบ 1 ชั้น)

HT.0152/53

รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน	:	24 มีนาคม 2553
ตัวอย่างจาก	:	คุณธัญลักษณ์ จงมี ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ทดสอบโดย	:	ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการวิเคราะห์ทดสอบวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
ตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์	:	จำนวน 3 ตัวอย่าง
การชี้บ่งตัวอย่าง	:	ไม่มีข้อมูลระบุจากผู้ส่งตัวอย่าง
จุดประสงค์ในการวิเคราะห์:		หาค่า Thermal Conductivity ของตัวอย่าง
เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ	:	Hot Disk Thermal Constant Analyser TPS2500 (Hot Disk AB)
เทคนิคในการทดสอบ	:	Thermal Constant Analysis (TCA)
สภาวะในการวิเคราะห์	:	Room temperature Disk type: Kapton Insulation (Sensor No. C7577, Radius = 2.001 mm.)

ผลการวิเคราะห์ และการแปลผล:

จากการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างด้วยเทคนิค TCA ได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง

Samples	Condition Used		Thermal Properties	Measurement Results	Average	S.D.
	Out Put of Power (W)	Measuring Time (s)				
1. "Cotton"	0.006	5	**Thermal Conductivity** (W / m K)	0.0901 0.0901 0.0903	**0.0902**	0.0001
			Thermal Diffusivity (mm^2 /s)	0.6554 0.6597 0.6495	**0.6549**	0.0051
			Specific Heat (MJ/m^3 K)	0.1374 0.1365 0.1390	**0.1376**	0.0013

Samples	Condition Used		Thermal Properties	Measurement Results	Average	S.D.
	Out Put of Power (W)	Measuring Time (s)				
2. "Silk"	0.006	5	**Thermal Conductivity (W / m K)**	0.0812 0.0801 0.0794	**0.0802**	0.0009
			Thermal Diffusivity (mm^2/s)	0.5769 0.5915 0.5931	**0.5872**	0.0089
			Specific Heat ($MJ/m^3 K$)	0.1407 0.1354 0.1340	**0.1367**	0.0035
3. "Wool"	0.006	5	**Thermal Conductivity (W / m K)**	0.1004 0.0997 0.0999	**0.1000**	0.0004
			Thermal Diffusivity (mm^2/s)	0.2482 0.2413 0.2429	**0.2441**	0.0036
			Specific Heat ($MJ/m^3 K$)	0.4044 0.4133 0.4113	**0.4097**	0.0047

หมายเหตุ:

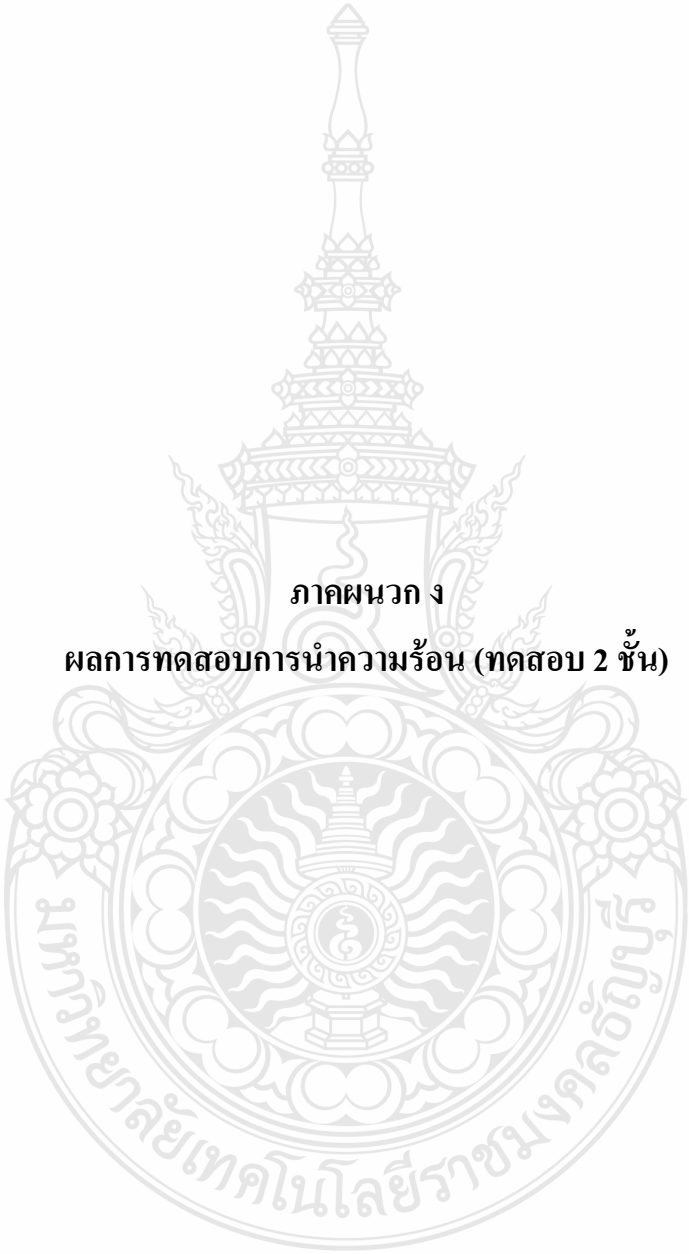
1. Thermal conductivity is a measure of the ability to transmit heat through the material.
2. Thermal diffusivity is a measure of transient heat flow and is defined as the thermal conductivity divided by the product of specific heat times density.
3. Specific heat is the quantity of heat needed to raise the temperature of a unit mass of the substance 1 degree of temperature.
4. Hot Disk Thermal Constant Analyser (Hot Disk AB)

   Reproducibility - Thermal Conductivity ±2%

   - Thermal Diffusivity ±5%

   - Specific Heat ±7%

ภาคผนวก ง
ผลการทดสอบการนำความร้อน (ทดสอบ 2 ชั้น)



MTEC
a member of NSTDA

HT.013/54

รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน	:	15 ตุลาคม 2553
ตัวอย่างจาก	:	คุณธัญลักษณ์ จงมี ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ทดสอบโดย	:	ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการวิเคราะห์ทดสอบวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
ตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์	:	จำนวน 2 ตัวอย่าง
การชี้บ่งตัวอย่าง	:	ไม่มีข้อมูลระบุจากผู้ส่งตัวอย่าง
จุดประสงค์ในการวิเคราะห์	:	หาค่า Thermal Conductivity ของตัวอย่าง
เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ	:	Hot Disk Thermal Constant Analyser TPS2500 (Hot Disk AB)
เทคนิคในการทดสอบ	:	Thermal Constant Analysis (TCA)
สภาวะในการวิเคราะห์	:	Room temperature Disk type: Kapton Insulation (Sensor No. C7577, Radius = 2.001 mm.)

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

National Metal and Materials Technology Center
National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang Pathumthani 12120 Thailand.
Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5 http://www.mtec.or.th

ผลการวิเคราะห์ และการแปลผล:

จากการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างด้วยเทคนิค TCA ได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง

Samples	Condition Used		Thermal Properties	Measurement Results	Average	S.D.
	Out Put of Power (W)	Measuring Time (s)				
1. "Cotton A"	0.006	10	**Thermal Conductivity** (W / m K)	0.1237 0.1242 0.1242	**0.1240**	0.0003
			Thermal Diffusivity (mm^2 /s)	0.3690 0.3575 0.3611	**0.3625**	0.0059
			Specific Heat (MJ/m^3 K)	0.3352 0.3474 0.3438	**0.3421**	0.0063
2. "Cotton B"	0.006	10	**Thermal Conductivity** (W / m K)	0.1004 0.1007 0.1008	**0.1006**	0.0002
			Thermal Diffusivity (mm^2 /s)	0.2951 0.3052 0.2980	**0.2994**	0.0052
			Specific Heat (MJ/m^3 K)	0.3403 0.3301 0.3382	**0.3362**	0.0054

หมายเหตุ:

1. Thermal conductivity is a measure of the ability to transmit heat through the material.
2. Thermal diffusivity is a measure of transient heat flow and is defined as the thermal conductivity divided by the product of specific heat times density.
3. Specific heat is the quantity of heat needed to raise the temperature of a unit mass of the substance 1 degree of temperature.
4. Hot Disk Thermal Constant Analyser (Hot Disk AB)

   Reproducibility - Thermal Conductivity ±2%
   - Thermal Diffusivity ±5%
   - Specific Heat ±7%

HT.014/54

รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน	:	15 ตุลาคม 2553
ตัวอย่างจาก	:	คุณศุภกร พึ่งน้อย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ทดสอบโดย	:	ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการวิเคราะห์ทดสอบวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
ตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์	:	จำนวน 5 ตัวอย่าง
การชี้บ่งตัวอย่าง	:	ไม่มีข้อมูลระบุจากผู้ส่งตัวอย่าง
จุดประสงค์ในการวิเคราะห์:		หาค่า Thermal Conductivity ของตัวอย่าง
เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ	:	Hot Disk Thermal Constant Analyser TPS2500 (Hot Disk AB)
เทคนิคในการทดสอบ	:	Thermal Constant Analysis (TCA)
สภาวะในการวิเคราะห์	:	Room temperature Disk type: Kapton Insulation (Sensor No. C7577, Radius = 2.001 mm.)

ผลการวิเคราะห์ และการแปลผล:

จากการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างด้วยเทคนิค TCA ได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง

Samples	Condition Used		Thermal Properties	Measurement Results	Average	S.D.
	Out Put of Power (W)	Measuring Time (s)				
1. "Cotton C"	0.006	10	Thermal Conductivity (W / m K)	0.1133 0.1135 0.1197	**0.1155**	0.0036
			Thermal Diffusivity (mm^2/s)	0.3170 0.3257 0.3136	**0.3188**	0.0062
			Specific Heat ($MJ/m^3 K$)	0.3574 0.3483 0.3818	**0.3625**	0.0173

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5

National Metal and Materials Technology Center
National Science and Technology Development Agency
114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang Pathumthani 12120 Thailand.
Tel. +66 2564 6500 Fax. +66 2564 6501-5 http://www.mtec.or.th

Samples	Condition Used		Thermal Properties	Measurement Results	Average	S.D.
	Out Put of Power (W)	Measuring Time (s)				
2. "Wool A"	0.006	10	**Thermal Conductivity (W / m K)**	0.1093 0.1101 0.1103	**0.1099**	0.0005
			Thermal Diffusivity (mm^2 /s)	0.2267 0.2336 0.2373	**0.2325**	0.0054
			Specific Heat (MJ/m^3 K)	0.4820 0.4710 0.4650	**0.4727**	0.0086
3. "Wool B"	0.006	10	**Thermal Conductivity (W / m K)**	0.1007 0.1013 0.1011	**0.1010**	0.0003
			Thermal Diffusivity (mm^2 /s)	0.2042 0.2094 0.2035	**0.2057**	0.0032
			Specific Heat (MJ/m^3 K)	0.4930 0.4838 0.4968	**0.4912**	0.0067
4. "Wool C"	0.006	10	**Thermal Conductivity (W / m K)**	0.1039 0.1042 0.1041	**0.1041**	0.0002
			Thermal Diffusivity (mm^2 /s)	0.2143 0.2094 0.2110	**0.2116**	0.0025
			Specific Heat (MJ/m^3 K)	0.4848 0.4976 0.4934	**0.4919**	0.0065

Samples	Condition Used		Thermal Properties	Measurement Results	Average	S.D.
	Out Put of Power (W)	Measuring Time (s)				
5. "Silk A"	0.006	10	**Thermal Conductivity** (W / m K)	0.1222 0.1239 0.1240	**0.1234**	0.0010
			Thermal Diffusivity (mm^2 /s)	0.2413 0.2331 0.2218	**0.2321**	0.0098
			Specific Heat (MJ/m^3 K)	0.5064 0.5316 0.5592	**0.5324**	0.0264

หมายเหตุ:

1. Thermal conductivity is a measure of the ability to transmit heat through the material.
2. Thermal diffusivity is a measure of transient heat flow and is defined as the thermal conductivity divided by the product of specific heat times density.
3. Specific heat is the quantity of heat needed to raise the temperature of a unit mass of the substance 1 degree of temperature.
4. Hot Disk Thermal Constant Analyser (Hot Disk AB)

   Reproducibility - Thermal Conductivity ±2%
   - Thermal Diffusivity ±5%
   - Specific Heat ±7%

ภาคผนวก จ
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี

ที่ วร 113/ 2553

20 กันยายน 2553

เรื่อง ตอบรับตีพิมพ์บทความลงในวารสาร

เรียน นางสาวธัญลักษณ์ จงมี

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง "สมบัติการนำความร้อนของเศษเส้นใยธรรมชาติ" เพื่อขอตีพิมพ์ลงในวารสาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี ทางกองบรรณาธิการ ได้พิจารณาแล้วเห็นควรให้ตีพิมพ์ลงในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน) 2553 ต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชวลิต แสงสวัสดิ์)
หัวหน้ากองบรรณาธิการ
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก (กม.13) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
โทรศัพท์: 0 2549 3493 โทรสาร: 0 2549 3479 e-mail: varasan_rmutt@hotmail.com

การนำความร้อนจากเศษเส้นใยเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตสิ่งทอ

Thermal Conductivity of Waste Fibers from Textile Process

ธัญลักษณ์ จงมี[1] ปลื้มจิตต์ เตชธรรมรักษ์[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติการนำความร้อนของเศษเส้นใยธรรมชาติ 3 ชนิดคือ เศษขนแกะจากการทำพรม เศษเส้นใยฝ้ายที่เหลือใช้จากกระบวนการปั่นด้าย และเศษรังไหมที่ไม่สามารถสาวได้แล้ว ทำการทดลองโดยนำเศษเส้นใยแต่ละชนิดใส่ในถุงผ้าป่านเป็นชิ้นทดสอบขนาด 10 x 10 ตารางเซนติเมตร โดยเย็บเป็นช่องห่างกัน 1 เซนติเมตรเป็นริ้วยาวตามความยาวชิ้นทดสอบจำนวน 9 ริ้ว และบรรจุเส้นใยลงในชิ้นทดสอบ จากนั้นนำไปทดสอบ สมบัติเบื้องต้นของเส้นใย สมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า และสมบัติการนำความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่า ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษขนแกะมีค่าสมบัติการนำความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.1 W/m.°K ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้ายมีค่าสมบัติการนำความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 W/m.°K และชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษรังไหมมีค่าสมบัติการนำความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.08 W/m.°K

คำสำคัญ: การนำความร้อน, การต้านทานความร้อน, สมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้า

Abstract

The research investigates the thermal conductivity of three wasted fibers, namely, wasted wool from carpeting process; wasted cotton from carding machine; and silk cocoon which is the waste from spinning process. Test specimens were prepared using cotton bag having the dimensions of 10 x 10 cm^2. Nine parallel lines having one centimeter apart were sewn to divide the bag into nine stripes. The sample fiber was filled in the slots of the bag so that the fibers were held in place. The test specimens were, then, tested for basic fiber properties, air permeability and thermal conductivity properties. It was found that the average thermal conductivity properties of wasted wool, wasted cotton and silk cocoon are 0.1 W/m.°K , 0.09 W/m.°K and 0.08 W/m.°K, ewspectively.

Keywords: Thermal conductivity, Thermal resistance, Air permeability

1. บทนำ

เศษเส้นใยธรรมชาติซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตสิ่งทอทั้งในภาคอุตสาหกรรมและหัตกรรมพื้นบ้านมีอยู่จำนวนไม่น้อย ส่งผลกระทบต่อสภาวะสิ่งแวดล้อมทางอากาศที่เกิดจากละอองปุยของเส้นใยปริมาณขยะ และมลพิษจากการเผาไหม้ อีกทั้งยังเป็นหนึ่งในสาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นเพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าวและเพิ่มคุณค่าแก่เศษเส้นใยให้เกิดประโยชน์ จึงมีแนวความคิดในการนำเศษเส้นใยธรรมชาติประเภทขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม กลับมาใช้เป็นแผ่นฉนวนความร้อน

สิ่งทอถือเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เนื่องจากเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ที่เป็นเสมือนผิวหนังชั้นที่สองของมนุษย์ ดังนั้นการสวมใส่เสื้อผ้าให้เหมาะกับสภาพอากาศเพื่อรักษาสมดุลของร่างกาย ซึ่งปกติร่างกายของมนุษย์จะสามารถเก็บรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายประมาณ 33-37°C และการที่อุณหภูมิร่างกายจะเปลี่ยนแปลงนั้นขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ทำ ซึ่งโดยธรรมชาติ

---

[1] นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2] อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ความร้อนจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำเสมอ

ดังนั้นในสภาพอากาศหนาวที่อุณหภูมิประมาณ 10°C ขณะที่อุณหภูมิภายในร่างกาย 37°C อุณหภูมิของร่างกายสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกจะทำให้ความร้อนจากร่างกายเคลื่อนที่สู่อากาศภายนอกซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้มนุษย์รู้สึกหนาวนั่นเอง ในทางกลับกันเมื่อสภาพอากาศร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 45°C ในขณะที่อุณหภูมิภายในร่างกายประมาณ 37°C เมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงกว่าอุณหภูมิร่างกายจะทำให้อุณหภูมิความร้อนภายนอกเคลื่อนที่สู่ร่างกายมนุษย์ซึ่งทำให้มนุษย์รู้สึกร้อนเช่นกัน ดั้งนั้นวัสดุสิ่งทอจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่ช่วยรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้สมดุลกับสภาพอากาศ สาเหตุที่ทำให้วัสดุสิ่งทอสามารถเก็บรักษาอุณหภูมิภายในร่างกาย โดยยอมให้ถ่ายเทสู่อากาศภายนอกน้อยที่สุด เนื่องจากวัสดุสิ่งทอเป็นวัสดุจำพวกอโลหะ ไม่นำความร้อนหรือนำความร้อนต่ำ และการที่วัสดุสิ่งทอเป็นวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเส้นใยและส่วนที่มีช่องว่างสามารถอุ้มอากาศทำให้ลดการถ่ายเทความร้อนของร่างกายไปสู่ภายนอกได้ [1,2,3]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเส้นใยธรรมชาติซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใยเซลลูโลสและเส้นใยโปรตีน โดยทำการศึกษากับเศษเส้นใย 3 ชนิดคือเศษขนแกะ เศษเส้นใยฝ้าย และเศษรังไหมส่วนในสุดที่ไม่สามารถสาวได้

ลักษณะของภาคตัดตามขวางและภาคตัดตามยาวของเส้นใยทั้ง 3 ชนิดมีดังนี้

1. เส้นใยขนแกะมีความหยิกงอ มีผิวเกล็ดเป็นชั้นซ้อนๆกัน จากภาคตัดตามขวางของเส้นใยพบว่าเส้นใยมีลักษณะค่อนข้างกลม เกล็ดที่เหมือนรอยแตกเล็กๆ บนผิวเส้นใยทำให้สามารถกักอากาศไว้ได้
2. เส้นใยฝ้ายมีโครงสร้างภายในที่ซับซ้อน ภายในเส้นใยจะมีรูตรงกลางเรียกว่าลูเมน จากภาคตัดตามยาวของเส้นใยฝ้ายมีลักษณะคล้ายริบบิ้นแบนๆและภาคตัดตามขวางของเส้นใยมีลักษณะคล้ายเมล็ดถั่ว
3. เส้นใยไหมมีความเรียบตรงและมีภาคตัดตามขวางคล้ายรูปสามเหลี่ยมและมีช่องว่างระหว่างเส้นใยขนาดเล็ก [4]

การถ่ายเทความร้อนแบ่งออกเป็น 3 วิธีคือ การนำความร้อน (conduction heat transfer) การพาความร้อน (convection heat transfer) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation heat transfer) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสมบัติแรกเนื่องจากเป็นสมบัติที่ส่งผลโดยตรงต่องานวิจัยคือการนำความร้อน (thermal conductivity : k-value) มีหน่วยเป็น W/m.°K เป็นสมบัติที่สำคัญที่มีผลต่อการนำความร้อนของวัสดุแสดงถึงการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุลและสมบัติที่มีผลต่อการต้านทานการส่งผ่านความร้อนของวัสดุ (thermal resistance : r-value) มีหน่วยเป็น $m^2.°K/W$ ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดจะแปรผันกับค่าการนำความร้อน $r=\frac{1}{k}$

ดังนั้นที่ความหนาของวัสดุเท่ากับ x เมตรจะได้ว่า $r=\frac{x}{k}$

เมื่อพิจารณาหน่วยของค่าความต้านทานความร้อนจะได้ว่า

$$r = \frac{x}{k} \cdots\cdots \frac{(m)}{\left[\frac{(W)}{m.^0K}\right]}$$

$$= \frac{x}{k} \cdots\cdots \frac{(m)\times(m.^0K)}{W}$$

$$= \frac{x}{k} \cdots\cdots \frac{m^2.^0K}{W}$$

เมื่อ x เท่ากับความหนาของวัสดุ (m) เพราะฉะนั้นหน่วยความต้านทานความร้อนจึงเป็น $m^2.°K/W$

ระดับความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มได้ถูกระบุไว้ในป้ายสิ้นค้าเพื่อให้ทราบถึงความเหมาะสมต่อการสวมใส่ตามสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม โดยมีชื่อเรียกว่าท็อค (tog) เทียบเป็นระดับความต้านทานความร้อน (r) ได้ เช่น 1 ท็อคเท่ากับ 0.1 $m^2.°K/W$ ดังนั้นเมื่อ r มีค่าเท่ากับ 0.1 $m^2.°K/W$ จะมีค่า k จะมีค่าดังนี้

จาก $r=\frac{x}{k}$

$$\frac{1}{r}=\frac{k}{x}$$

$$\frac{1}{0.1}=\frac{k}{x}$$

$$k=\frac{x}{0.1}$$

$$\therefore \quad k=\frac{x}{0.1} \text{ W/m.°K}$$

*** เมื่อ x คือความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็น เมตร

ตัวอย่างระดับความต้านทานของผ้าห่มที่ประเทศอังกฤษ ในฤดูร้อนผ้าห่มจะมีระดับความต้านทานความร้อนประมาณ 4 หรือ 5 ท็อค ในฤดูอบอุ่นปานกลางจะมีระดับความต้านทานความร้อนประมาณ 9-11 ท็อคและในฤดูหนาวมีระดับความต้านทานความร้อนประมาณ 12 ท็อคขึ้นไป ซึ่งค่าท็อคนี้ผ่านการทดสอบและได้การรับรองจาก British Standards BS5335 (1984) โดยท็อคเริ่มใช้ในปีค.ศ.1940 ณ Shirley Institute [5,6,7] งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติการนำ

ความร้อนของเศษเส้นใยธรรมชาติประเภท ขนแกะ ฝ้าย และรังไหม

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

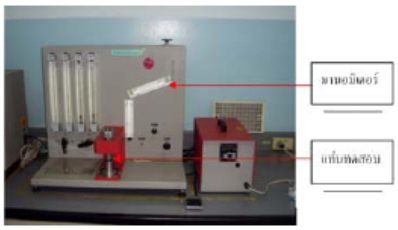
1. คัดเลือกเส้นใย นำเศษเส้นใยมาคัดเอาสิ่งสกปรกออกเช่น เศษฝ้ายเล็กๆ เศษรังไหม เป็นต้น และจัดทำชิ้นทดสอบบรรจุเศษเส้นใยจากผ้าป่านขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดชิ้นทดสอบที่เหมาะกับเครื่องทดสอบการนำความร้อน โดยเย็บเป็นช่องห่างกัน 1 เซนติเมตรเป็นริ้วยาวตามความยาวชิ้นทดสอบจำนวน 9 ริ้ว บรรจุเส้นใยทีละช่องโดยนำเส้นใยใส่หลอดกาแฟและอัดเส้นใยลงในชิ้นทดสอบ ซึ่งหลอดกาแฟ และขนาดช่องไฟ 1 เซนติเมตร เป็นส่วนหนึ่งในการควบคุมปริมาณเส้นใยทำให้เส้นใยจะเคลื่อนตัวน้อยที่สุด ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ลักษณะการเตรียมชิ้นทดสอบ

2. ทดสอบสมบัติของเส้นใยที่นำมาทดลองในลักษณะภาคตัดตามขวางและภาคตัดตามยาวด้วยโดยใช้กล้องจุลทรรศน์รุ่น SMZ1500 ผลิตโดยบริษัท โดยกำลังขยายสูงสุดของกล้องคือ 112.5 เท่า ต่ำสุดที่ 7.5 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 กล้องจุลทรรศน์รุ่น SMZ1500 ผลิตโดยบริษัท Nikon

3. ทดสอบสมบัติการไหลผ่านของอากาศของชิ้นทดสอบ โดยใช้เครื่องทดสอบการไหลผ่านของอากาศ SDL Atlas Air Permeability Tester รุ่น M021S ผลิตโดยบริษัท SDL Atlas Textile Testing Solutions ตามมาตรฐานของ ASTM D737 และ ASTM D7574 ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องทดสอบสมบัติการไหลผ่านของอากาศรุ่น M021S ผลิตโดยบริษัท SDL Atlas Textile Testing

ขั้นตอนการทดสอบการไหลผ่านของอากาศของชิ้นทดสอบ

1. เปิดเครื่องทดสอบ
2. วางชิ้นทดสอบบนแท่นทดสอบ
3. หมุนเกลียวให้แน่นเพื่อป้องกันอากาศรั่ว
4. ปรับระดับน้ำในหลอดมานอมิเตอร์ให้ได้ความดัน 100 ปาสคาล (pascal)
5. เหยียบสวิทช์เท้าเพื่อปั๊มลมผ่านชิ้นทดสอบ
6. สังเกตหลอดวัดอัตราการไหลผ่านของอากาศ (flow meter)
7. บันทึกผลการทดสอบ

4. ทดสอบสมบัติการนำความร้อนของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการนำความร้อน Thermal Conductivity Hot Disk Transient (TCA) รุ่น TPS 2500S ผลิตโดยบริษัท Therm Test Inc.ตามมาตรฐานของ ISO/DIS 22007-2.2 ดังแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 เครื่องทดสอบการนำความร้อน TCA รุ่น TPS 2500S ผลิตโดยบริษัท Therm Test Inc.

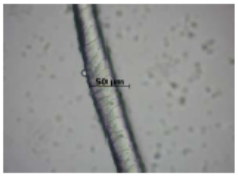
ขั้นตอนการทดสอบการนำความร้อน

1. เปิดเครื่องทดสอบ TCA และเปิดโปรแกรมคอมพิวเตอร์
2. นำชิ้นทดสอบจำนวน 2 ชิ้นวางไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยยึดชิ้นทดสอบไว้กับอุปกรณ์ยึดตัวอย่าง (sample holder) โดยมีตัวตรวจจับ (sensor) อยู่ตรงกลางระหว่างชิ้นทดสอบทั้งสอง
3. ระบุข้อมูลชื่อตัวอย่าง และขนาดของตัวอย่างในคอมพิวเตอร์
4. ระบุปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม
5. ระบุจำนวนเวลาที่จะทดสอบ
6. กดปุ่มทดสอบ
7. บันทึกผลค่าการนำความร้อน

3.ผลการทดลอง

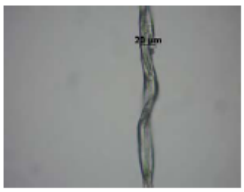
จากการทดสอบสมบัติของเศษเส้นใย ทดสอบสมบัติการผ่านของอากาศในผ้า และทดสอบสมบัติการนำความร้อนของชิ้นทดสอบชิ้นทดสอบทั้ง 3 ชนิด ได้ผลการทดสอบดังนี้

1.ลักษณะของเส้นใยต่างๆที่ใช้ทำเป็นฉนวนในการเปรียบเทียบลักษณะของภาคตัดขวางและภาคตัดตามยาวของเศษเส้นใยที่นำมาทดสอบสามารถดังแสดงในรูปที่ 5



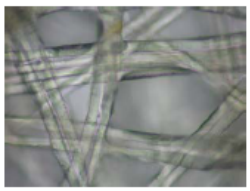
ภาคตัดตามขวาง ภาคตัดตามยาว

(ก) เศษเส้นใยขนแกะ



ภาคตัดตามขวาง ภาคตัดตามยาว

(ข) เศษเส้นใยฝ้าย



(ค) เศษรังไหม

รูปที่ 5 ลักษณะภาคตัดตามขวางและตามยาวของเศษเส้นใย

จากภาคตัดตามขวางและตามยาวของเส้นใยแสดงให้เห็นว่าเส้นใยฝ้ายและเส้นใยขนแกะมีการเกาะกันโดยมีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อย ในขณะที่ช่องว่างระหว่างเส้นใยไหมที่เกาะกันบนเศษรังไหมมีขนาดใหญ่กว่า

2. ผลการทดสอบความหนาแน่นของชิ้นทดสอบที่มีขนาด 10*10*0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีช่องห่างกันประมาณ 1 เซนติเมตรจำนวน 9 ริ้ว เมื่อบรรจุเส้นใยในชิ้นทดสอบที่มีความหนา 0.5 เซนติเมตร สามารถคำนวณความหนาแน่นของชิ้นทดสอบได้ดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ

จำนวน	เส้นใย	น้ำหนักชิ้นทดสอบ (g)	ความหนาแน่นของเส้นใย (g/cm^3)	ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ (g/cm^3)	สัดส่วนที่เป็นช่องว่าง (%)
1	ขนแกะ	10.3706	1.34	0.21	84.52
2	ฝ้าย	9.8528	1.55	0.2	87.29
3	รังไหม	9.1365	1.3	0.18	85.94

แสดงการคำนวณ

(1) ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ

โดยที่ชิ้นทดสอบมีขนาด 10*10*0.5 = 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบบรรจุเศษใยฝ้าย

$$= \frac{9.8528}{50} = 0.20 \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร } (g/cm^3)$$

(2) ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ

สัดส่วนที่เป็นช่องว่างของชิ้นทดสอบ (Porosity) คำนวณจาก

$$\text{Porosity} = \left(1 - \frac{\text{Fabric density}}{\text{Fiber density}}\right) * 100$$

Porosity ของชิ้นทดสอบบรรจุเศษใยฝ้าย

$$= \left(1 - \frac{0.20}{1.55}\right) * 100 = 87.29\,\%$$

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยขนแกะมีน้ำหนักสูงกว่าเส้นใยฝ้ายและไหมหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า มีความหนาแน่นของชิ้นทดสอบที่สูงกว่าพบว่าสัดส่วนของช่องว่างในชิ้นทดสอบ (Porosity) ของตัวอย่างที่ทดสอบมีสัดส่วนของช่องว่างใกล้เคียงกันคือ 84 – 87 เปอร์เซนต์

3. ผลการทดสอบสมบัติการไหลผ่านของอากาศในผ้าของชิ้นทดสอบ เป็นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การไหลผ่านของอากาศในผ้า (Air Permeability)

สมบัติการผ่านของอากาศ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/ตารางเซนติเมตร ($cm^3/sec/cm^2$)			
ชิ้นทดสอบ	ขนแกะ	ฝ้าย	รังไหม
1	10.85	9.37	22.69
2	12.33	7.35	26.63
3	11.34	7.35	24.66
4	12.33	9.86	24.66
Average	11.71	8.48	24.66
Standard deviation	0.74	1.32	1.6
CV (%)	6.32	15.60	6.52

จากการทดสอบพบว่า อากาศสามารถไหลผ่านชิ้นทดสอบที่เตรียมจากเศษรังไหมได้มากที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลจากช่องว่างระหว่างเส้นใยมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 5 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการเรียงตัวของเส้นใยไหมมีการเรียงตัวตามธรรมชาติของรังไหม และเมื่อพับเศษรังไหมเป็นชิ้นเล็กๆ ทำให้อยู่ในลักษณะชิ้นบาง นำมาอัดเข้าไปในแผ่นทดสอบจึงไม่สามารถกำหนดการเรียงตัวของเศษชิ้นรังไหมนี้ได้ จึงเป็นไปได้ว่า การเรียงตัวของชิ้นรังไหมอาจจะไม่อยู่ในลักษณะขวางทางเดินของลม ทำให้การผ่านของอากาศเป็นไปได้ง่าย ค่าการผ่านของอากาศจึงมีค่าสูง ในขณะที่เศษเส้นใยขนแกะและเศษเส้นใยฝ้ายที่นำมาทดลองอยู่ในลักษณะเป็นใยเดี่ยวอิสระจากกัน เมื่อนำมาอัดในแผ่นเส้นใยจึงมีการกระจายตัวที่ดีกว่า มีโอกาสที่การอัดตัวของเส้นใยจะไปขวางทางเดินของอากาศได้มากกว่า

4. ผลการทดสอบสมบัติการนำความร้อนของชิ้นทดสอบซึ่งได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การนำความร้อนของชิ้นทดสอบที่บรรจุเส้นใย

การนำความร้อน วัตต์/เมตร องศาเคลวิล (W/m.°K) @ เวลาในการวัด 5 วินาที			
ชิ้นทดสอบ	ขนแกะ	ฝ้าย	รังไหม
1	0.1004	0.0901	0.0812
2	0.0997	0.0901	0.0801
3	0.0999	0.0903	0.0794
Average	0.1000	0.0901	0.0802
Standard deviation	0.0003	0.0001	0.0009
CV (%)	0.3606	0.1281	1.1309

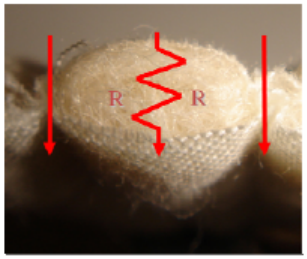
จากการทดสอบพบว่า ชิ้นทดสอบเส้นใยขนแกะมีสมบัติการนำความร้อนมากที่สุด รองลงมาคือ ชิ้นทดสอบเส้นใยฝ้าย ในขณะที่ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษรังไหมมีสมบัตินำความร้อนต่ำสุด

4.วิจารณ์ผลการทดลอง

1. เนื่องจากการทำชิ้นทดสอบเป็นการอัดเส้นใยด้วยมือซึ่งอาจส่งผลต่อการควบคุมปริมาณเส้นใยในแต่ละช่อง

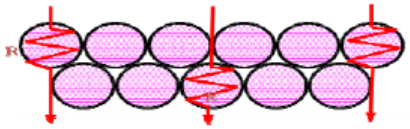
2. เมื่อพิจารณาจากสมบัติการสมบัติการนำความร้อน พบว่า ชิ้นทดสอบที่เตรียมจากเศษรังไหมนั้นมีค่าสมบัติการนำความร้อนต่ำที่สุด จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นฉนวนความร้อนมากที่สุด

3. เมื่อนำชิ้นทดสอบมาวิเคราะห์ก็พบสิ่งที่น่าสังเกตคือบริเวณรอยตะเข็บเย็บคั่นระหว่างช่องเป็นบริเวณที่บางอาจส่งผลให้ความร้อนรั่วไหลผ่านบริเวณดังกล่าวได้ง่ายกว่าบริเวณอื่น ซึ่งส่งผลทำให้ค่าการนำความร้อนของชิ้นทดสอบมีค่ามากกว่าปกติ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะการรั่วไหลของความร้อน

แต่เนื่องจากมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมให้เส้นใยเคลื่อนตัวน้อยที่สุดจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะมีรอยตะเข็บเย็บคั่นระหว่างช่อง แนวทางการแก้ไขเบื้องต้นที่ควรพัฒนา คือการนำชิ้นทดสอบที่มีลักษณะข้างต้นมาซ้อนกัน 2 ชั้น โดยทำการสลับฟันปลาเพื่อเป็นการปิดช่องว่างของตะเข็บระหว่างช่อง ส่งผลให้ความร้อนไหลผ่านวัสดุทดสอบ โดยผ่านเศษวัสดุที่เป็นฉนวนความร้อนทั่วทั้งแผ่นชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ลักษณะการผ่านความร้อนของชิ้นทดสอบ 2 ชั้น

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบที่มีลักษณะและสมบัติแตกต่างกันสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ภาคตัดตามขวางและภาคตัดตามยาวมีลักษณะที่แสดงให้เห็นว่ามีช่องว่างเล็กๆ จำนวนมากระหว่างเส้นใย ทำให้มีความสามารถเก็บกักอากาศภายในตัวเส้นใย จึงช่วยเพิ่มสมบัติความเป็นฉนวนความร้อน

2. ชิ้นทดสอบเศษเส้นใยทั้ง 3 ชนิด มีสัดส่วนที่เป็นช่องว่างใกล้เคียงกัน พบว่าชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษรังไหมจะมีอากาศไหลผ่านได้ง่ายที่สุด ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากผิวเส้นใยที่เรียบกว่า และมีช่องว่างระหว่างวัสดุในชิ้นทดสอบมากกว่า ทำให้อากาศผ่านไปตามผิวเส้นใยได้สะดวกกว่า ในขณะที่เศษเส้นใยขนแกะที่แม้จะมีผิวที่แตกเป็นเกล็ดแต่ก็มีลักษณะ

ค่อนข้างกลม อากาศไหลผ่านผิวเส้นใยได้ง่ายกว่าเส้นใยที่บิดเป็นเกลียวของใยฝ้าย

3. ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษขนแกะมีค่าสมบัติการนำความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุดคือเท่ากับ 0.1 W/m.°K , ชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษเส้นใยฝ้ายมีค่าสมบัติการนำความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.09 W/m.°K และชิ้นทดสอบที่บรรจุเศษรังไหมมีค่าสมบัติการนำความร้อนเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.08 W/m.°K จากผลการทดสอบดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าเศษรังไหมมีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้เป็นฉนวนความร้อน เมื่อเทียบกับเศษขนแกะ และเศษเส้นใยฝ้าย ประกอบกับฉนวนความร้อนจากเศษรังไหมมีสมบัติการไหลผ่านของอากาศที่ดีกว่าฉนวนของเส้นใยอีกสองชนิด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ เพราะได้รับความช่วยเหลือและคำชี้แนะต่างๆ จากคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณาจารย์จากคณะออกแบบสิ่งทอและแฟชั่นมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติในประเทศไทยที่ให้ความสนับสนุนการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] Yunus A.Cengel. Heat transfer: Singapore Singapore,International Edition,2003.pp 649-653

[2] ตระการ ก้าวกสิกรรม,คู่มือฉนวนความร้อน.กรุงเทพฯ: นำอักษร การพิมพ์,2537.หน้า 5-29

[3] สมชัย อัครทิวาและขวัญจิต วงษ์ชาลี,เทอร์โมไดนามิกส์. กรุงเทพฯ: แมคกรอ-ฮิล, 2543.หน้า 25- 75

[4] วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน,เทคโนโลยีสิ่งทอเบื้องต้น. กรุงเทพฯ:คราฟ แมนเพรส,2551.หน้า 35-38

[5] Trevor Mendham, Duvet Tog Ratings (Online), 2003-2009. Available: http://www.here-be-dreams.com/bedroom/tog

[6] Wikipedia,Tog (unit) (Online), 2010. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Tog_(unit)

[7] ชูชัย ต.ศิริ วัฒนา, การทำความเย็นและการปรับอากาศ กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2546. หน้า219

[8] Saville, Physical testing of textiles.Washington,DC: Woodhead publishing, 2000, pp 209-227

[9] Booth,JE, Principles of textile testing,Newness-Butterworths,1976, pp 276

[10] Morton, W.E. and Hearle, J.W.S., Physical Properties of Textile Fibres, The Textile Institute, 1986, pp 15

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวธัญลักษณ์ จงมี

วัน เดือน ปีเกิด 3 มีนาคม 2522

ที่อยู่ 44/41 หมู่บ้านพนาสนธิ์8 ถ.นิมิตใหม่ เขตคลองสามวา จ.กรุงเทพฯ

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับคหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาผ้าและเครื่องแต่งกาย จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ. 2545

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2544 - 2545 ตำแหน่งพนักงานสร้างแบบเสื้อบริษัท ซีแอลแอนด์เอ จำกัด

พ.ศ. 2545 – 2547 ตำแหน่งพนักงานสร้างแบบเสื้อบริษัท วาไทยอุตสาหกรรม จำกัดมหาชน

พ.ศ. 2547 – ปัจจุบัน ตำแหน่งพนักงานสร้างแบบเสื้อบริษัท พอยต์ รูสส์ จำกัด

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

ธัญลักษณ์ จงมี และปลื้มจิตต์ เตชธรรมรักษ์ “การนำความร้อนจากเศษเส้นใยเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตสิ่งทอ”, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 8 ฉบับที่1 (มกราคม-มิถุนายน) 2553