

## 4장. 기능성 시험

### 25. 보온성

#### 1. 개요

##### (1) 시험의 필요성 및 목적

의류의 보온성은 체온유지를 위한 피복용 섬유의 중요한 성질 중 하나이다. 섬유의 보온성은 일차적으로는 섬유 자체의 열전도율에 영향을 받게 된다. 따라서 열전도율이 큰 아마와 같은 섬유가 시원한 섬유이고, 열전도율이 작은 양모와 같은 섬유가 따뜻한 섬유이다. 공기는 열전도율이 낮기 때문에 공기를 많이 함유하는 섬유일수록 보온성이 뛰어나다. 이와 같이 원단의 보온성은 두께, 기공도, 공기 투과도 및 습윤성 등과 관련이 있으며 보온성 특성의 품질 관리를 위해 시험 평가해야 한다.

##### (2) 시험원리

시험체를 통과하는 열량을 측정하고, 그 때의 시험체 온도차를 측정하여 열전도율을 구한다. 즉, 사람의 체온을 기준으로 한 평평한 가열 시험판에 올려놓은 시료를 통과해서 방출되는 방열량을 소비전력량으로 측정하여 보온성을 평가한다.

##### (3) 적용범위

직물과 편성물을 비롯한 2차원 섬유 집합체의 열전달 계수를 측정하는 방법에 대하여 규정한 것으로, 시험편은 1겹 또는 여러 겹을 겹쳐도 좋지만 총 두께가 50 mm를 넘지 않아야 하며, 이의 고유 열전달계수가 0.7~14 W/m<sup>2</sup>·K 의 범위 내에 있는

것에 한한다.

## 2. 인용표준

KS K 0466 직물 또는 편성물의 보온성 시험 방법

ASTM D 1518 섬유의 보온성 시험 방법

KS K 0560 천의 보온율 측정 방법

## 3. 용어

- ① 열전달 (Thermal transmittance) : 전도, 대류 및 복사에 의해서 열이 이동하는 것이다.
- ② 열전달 계수 (Thermal transmittance, Thermal conductance, Heat transfer coefficient) : 나란한 두 평면 사이에 열전달 현상이 정상 상태에 있을 때, 두 평면 사이에 온도차가 나타나면 열전달 현상이 생긴다. 이 경우에 단위 온도차와 단위면적당의 한 방향, 열전달량을 나타내는 상수로서 단위는  $W/m^2 \cdot K$  로 나타낸다
- ③ 열전도율 (Thermal conductivity) : 나란한 두 평면 사이의 열전달 현상이 정상 상태일 때, 두 평면 사이에 단위량의 온도차가 나타나면 열전달 현상이 생긴다. 이 경우에 단위 온도차와 단위 면적당의 한 방향, 열전달을 나타내는 상수를 뜻한다. 그러므로 열전도율은 열전달 계수에 두 평면 사이의 거리를 곱함으로써 구할 수 있기 때문에 단위는  $W/m \cdot K$  로 나타낸다.
- ④ 혼합 열전달 계수 (Combined thermal transmittance) : 공기를 내포하는 시험편이 혼합되었을 때의 혼합 열전달 계수를 뜻하며, 기호로는  $V_1$ 으로 표시한다.
- ⑤ 시험판의 열전달 계수 (Thermal transmittance of bare plate) : 시험기의 시험

판에 시험편을 덮지 않았을 때의 시험판의 열전달 계수를 뜻한다. 기호는  $V_{bp}$ 로 나타낸다.

- ⑥ 시험편의 고유 열전달 계수 (Intrinsic thermal transmittance of the specimen)  
: 혼합 열 전달량에서 시험판의 열 전달량을 뺀 값을 말한다. 기호는  $V_2$ 로 나타낸다.
- ⑦ 열 저항 (Thermal resistance) : 열전달 계수의 역수
- ⑧ 클로 (clo) : 열 저항을 나타내는 단위로서, 바람의 속도가 0.1 m/s 이고, 주위의 온도가 21 °C 인 경우에는 58 W/m<sup>2</sup>의 열을 발산하는, 사람이 안락감을 느낄 수 있는 상태의 보온 상태를 뜻한다(1 clo=0.155m<sup>2</sup>·K/W).
- ⑨ 벌크 밀도 : 열전도율을 계산하는데 사용하며, 시험편의 두께로 단위 면적당 무게를 나눈 몫으로 계산한다. 여러 겹의 시험편을 겹쳤을 때의 단위 부피당 무게를 나타낸다.
- ⑩ 유효 보온 비율(Effective insulation ratio) : 규정된 시험 조건하에서 시험기의 시험판에 시험편을 덮음으로써 시험판이 보온된 비율을 뜻한다.
- ⑪ 평균 온도 : 시험이 진행 되는 동안에 측정된 공기의 온도와 가열된 시험판 온도의 평균값을 나타낸다.

#### 4. 시험 장치

- ① 가열판 : 시험판, 보호판 및 밀판을 총칭하는 것이다. 시험판을 보호판이 둘러싸고 밀판이 시험판과 보호판을 밑에서 받치고 있으며, 이들 셋은 (33~36) °C의 온도를 유지하도록 되어 있다. 이렇게 하면 시험판에서의 열 이동은 평면과 직각 방향으로만 이루어질 수 있다.



〈그림 1〉 보온성 시험기(Warmth Retaining Tester)

- 보온성 시험기 : 보온율(%), 열 관류저항[°C·hr·m<sup>2</sup>/kcal], clo, 열전달 계수(W/m<sup>2</sup>·°C), 소비전력, 시험체 상부의 평균온도, 시험판 평균 온도 등을 연결된 PC를 통해 파악할 수 있음.
- ② 시험판 (Test plate) : 시험판의 Hot plate 면적은 150 mm×150 mm이고, 그 위치는 가열판의 중심에있게 한다. 재질은 구리판 또는 알루미늄판이며, 표면에는 무광의 검은 도금을 칠해서 사람 피부의 열발산도와 시험판의 열발산도가 접근하도록 한다.
  - ③ 보호판 (Protect plate) : 보호판은 시험판을 둘러싸며, 나비는 최소 63.5 mm 이어야 한다. 두께를 비롯한 그 밖의 구조적 조건은 시험판과 같아야 한다. 시험판과 보호판 사이에는 코르크 또는 그 밖의 열 차단용 물질을 3 mm 두께만큼 끼운다. 보호판은 시험판에서 수평 방향으로 열이 이동되지 못하도록 하는 역할을 한다.
  - ④ 밑 판 (Base plate) : 밑판은 두께를 비롯하여 그 밖의 구조적 특성이 시험판 및 보호판과 같고, 또 이들과 나란하며 최소 25 mm, 최대 76 mm 의 거리를 떼어놓아야 한다. 시험판 및 보호판과 밑판을 떼어놓는 데에는 나무틀을 사용하여 공간을 만들고, 이 공간 내에 공기가 채워지도록 한다. 밑판은 시험판과 보

호판에서 열이 아래쪽으로 손실되지 못하도록 하는 역할을 한다.

## 5. 안전 수칙

- ① 접지 상태를 잘 확인하여 감전에 주의한다.
- ② 시료 투입시 머리 부분이 손상되지 않도록 주의한다.

## 6. 시험편 준비 및 장치 보정

### (1) 시험편 준비

- ① 시험편 준비 : 시험편은 한 겹 또는 여러 겹을 겹쳐도 좋으나, 총 두께가 50 mm 를 넘지 않아야 하며, 이의 고유 열전달계수가 (0.7~14) W/m<sup>2</sup>·K의 범위 내에 있는 것이어야 한다. 별도로 규정되어 있지 않는 한, 매 시료당 3개의 시험편을 준비하여 510 mm × 510 mm 크기로 잘라 준비한다.
- ② 시험편의 컨디셔닝 : 전달은 칸막이 안의 공기의 상태와 시험편의 수분 상태가 균형이 된 후에 측정되어야 한다. 시험편의 무게 증가율이 시험편의 재질에 규정된 수분율을 넘지 않으면 공기의 상태와 시험편의 수분 상태가 균형이 된 것으로 한다. 만약 시험편 재질의 규정된 수분율이 불분명할 때는 시험편을 칸막이 안의 공기 내에 2시간 방치한 후, 무게 증가율이 0.1 % 이하이면 시험편과 공기 사이에 수분 평형에 도달한 것으로 한다.

### (2) 장치 보정

- ① 시험판, 보호판 및 밀판의 온도 : 측정이 계속되는 동안의 시험판, 보호판 및 밀판의 온도는 (33~36) °C로 유지되어야 하며, 시험판과 보호판 및 시험판과 밀판 사이의 최대 온도차이는  $\pm 0.3$  °C를 넘어서는 안된다.
- ② 칸막이 내의 공기 온도와 습도 : 평균온도는 (4.5~21.1) °C 이어야 하며, 순간 평균 온도의 최대 변동폭은  $\pm 0.5$  °C 이어야 한다. 또 상대 습도도 (20~80) %를 유지해야 하며  $\pm 5$  %를 벗어나서는 안된다.

## 7. 절차

- ① 시험편의 두께는 KS K 0506 : 2001, ASTM D 1777-1996에 의거해서 측정한다. 이 때 초하중은 0.714 g/(0.07 kPa, 0.01 psi)을 주어서 측정한다.
- ② 별도로 규정되어 있지 않는 한, 가공된 면을 위로 향하도록 하여 시험편을 가열판 위에 펼쳐 놓는다. 시험편은 시험판과 보호판을 충분히 덮을 수 있을 정도의 크기여야 하며, 주름이 없고 시험판과 밀착될 수 있게 해야 한다. 별도로 규정되어 있지 않는 한, 시험편을 어떤 물체로도 눌러서는 안된다.
- ③ 가열판의 온도가 조작 온도(35 °C)에 도달되도록 한 후 시험편과 공기의 수분 상태가 평형이 되도록 하고, 시험판 온도 및 입력된 전력이 상수가 되도록 한다. 이 때의 온도는  $\pm 0.5$  °C 보다 더 많이 변동해서는 안되며, 평균 온도는 30분 동안에  $\pm 0.05$  °C 보다 더 많이 변동해서는 안 된다. 또 측정이 계속되는 동안에 입력되는 전력이 일정량이 되도록 하기 위해서는, 스위치 작동시간 비율이 전체 측정 시간의 (50~60) % 범위 안에 있게 해야 한다.

※ 스위치(switch) : 시험판, 보호판, 밀판내에 있는 서모커플선을 선택적으로 연결할 수 있도록 하는 선별기

- ④ 칸막이 안의 공기의 상태와 시험편의 상태가 평형이 된 후에 시험판의 RESET 스위치를 눌러 계기판이 0이 되도록 한 후, 다시 전력이 공급되기 시작한 순간에 RESET 스위치와 스톱위치를 동시에 눌러 가열기의 소비전력을 측정하기 시작한다. 이 때 3분마다 시험판의 온도, 시험판 소비전력, 공기의 온도, 보호판의 온도 및 밀판의 온도를 기록한다.
- ⑤ 이와 같은 방식으로 혼합 열 전달계수( $V_1$ )의 측정을 30분 동안 계속한다. 이 때도 마찬가지로 30분이 지난 다음에 다시 전력공급이 시작되기 전에 공급된 총 전력 공급시간을 기록해 놓고, 공급이 시작되는 순간에 스톱위치를 눌러 이때까지의 시간 동안에 공급된 소비전력시간으로 앞에 기록한 시간을 사용한다(단, JIS는 2시간 측정).
- ⑥ 위의 ①에서 ⑤의 과정을 나머지 2개의 시험편에 대하여 더 측정한다.
- ⑦ 시험판 위에 시험편을 덮지 않고 ④에서부터 ⑤를 행하여 시험판만의 열 전달계수( $V_{bp}$ )를 측정하고, 다시 한번 더 행하여 그 평균값을 구한다.

## 8. 결과 및 계산

### (1) 적용

시험판에 시험편을 올려놓아 30분 동안 측정하였을 때 전류가 흐른 시간이 평균 250초 이고, 대기의 평균 온도가 21.5 °C 이며, 시험판 자체만을 측정하였을 때 전류가 흐른 시간이 30분 동안에 평균 400초 이며, 대기의 평균 온도가 22 °C 였을 때의 경우 :

1) 혼합 열전달 계수( $V_1$ )

$$V_1 = \frac{P}{A \times (T_p - T_a)} = \frac{(100 \times 0.4 \times 250) / 1800}{0.254 \times 0.254 \times (35 - 21.5)}$$

$$= 6.379 (\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$$

여기서,  
 P : 시험판이 소비한 전력 (W)  
 A : 시험판의 면적 ( $\text{m}^2$ )  
 $T_p$  : 시험판의 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_a$  : 공기의 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )

계산된  $V_1$ 의 값은  $0.005 (\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$ 까지 측정한다.

## ※ 참고

- ① 절대 온도(K) : 물질의 특이성에 의존하지 않는 절대적인 온도로서 이론상 생각할 수 있는 최저 온도를 기준으로 하여 온도 단위를 갖는 온도,  $0^{\circ}\text{C} = 273.15 \text{ K}$ ,  $0 \text{ K} = -273.15^{\circ}\text{C}$
- ② 전류가 하는 일 : 전위차  $V(\text{volt})$ 인 도선의 두 점 사이에  $Q(\text{coulomb})$ 인 전기량이  $t$ 초 사이에 이동할 때 전류가 하는 일의 양  $W(\text{Joule})$ 는  $W = V \cdot Q = V \cdot I \cdot t$  (Joule)이다. 이때 전류가 하는 일의 양을 전력량이라 한다.
- ③ 쿨롱(Q) : 1 A의 전류가 1초 동안에 운반하는 전기량
- ④ 전력(P) : 전류(I)가 1초(t)동안에 하는 일, 즉 전류의 일률을 전력이라 한다.  
 그러므로 전력 (P)

$$P = \left( \frac{W(\text{Joule})}{t} \right) = \left( \frac{VIt}{t} \right) = V \cdot I$$

- ⑤ 전력의 단위 : 전력은 전류의 일률이므로 일률의 단위 watt(W)를 쓴다. 즉, 1초(t)에 1 J(줄)의 전기에너지를 소비할 때의 일률을 1 W라 한다.

$$1\text{W}(\text{watt}) = \frac{1\text{J}}{\text{sec}} = 1\text{V} \times 1\text{A}$$

- ⑥ 줄 (J) : 1 J 은 1 N 의 힘으로 물체를 1 m 움직이는 동안에 하는 일 및 그 일로 환산할 수 있는 양에 해당하며, 1 W 의 전력을 1초간에 소비하는 일의 양과 같다.

$$1\text{J} = 1\text{N} \cdot \text{m} = 10^7 \text{ erg}$$

## 2) 시험판의 열전달 계수 ( $V_{bp}$ )

$$V_{bp} = \frac{P}{A \times (T_p - T_a)} = \frac{(100 \times 0.4 \times 400) / 1800}{0.254 \times 0.254 \times (35 - 22.0)}$$

$$= 10,598 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

## 3) 시험편의 고유 열전달 계수 ( $V_2$ )

$$\frac{1}{V_2} = \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_{bp}} \Rightarrow V_2 = \frac{V_{bp} \times V_1}{V_{bp} - V_1} = \frac{10,598 \times 6,379}{10,598 - 6,379}$$

$$= 16,024 (\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$$

## 4) 시험편의 고유 열전도율 ( $k$ )

$$k = V_2 \times \frac{t_1}{1000}$$

단,  $t_1$ : 0.07 kPa(0.01 psi) 의 압력을 주어서 측정한 시험편의 두께  
만약 시험편의 두께가 2 mm 이면  $k$ 의 값은 0.032(W/m·K) 가 된다.

## 5) 시험편의 고유 열 저항 ( $R$ )

$$R = \left( \frac{1}{V_2} \right) = 0.0624 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

## 6) 클로 (clo)

$$\text{clo} = \frac{R}{0.155\text{m}^2 \cdot \text{K/W}} = \frac{0.0624\text{m}^2 \cdot \text{K/W}}{0.155\text{m}^2 \cdot \text{K/W}} = 0.40$$

$$\text{단, } 1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

7) 유효 보온율 (I<sub>r</sub>)

$$I_r = \frac{V_{bp}}{V_1} = \frac{10.598 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}{6.379 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} = 1.66$$

## 8) 벌크 밀도 (B)

시험편의 단위 면적당 무게가 250 g/m<sup>2</sup>이며, 두께는 2 mm이면,

$$B = \frac{W}{t} = \frac{250\text{g/m}^2}{2 \text{ mm}} = 125 \text{ kg/m}^3$$

여기서

t : 시험편의 두께 (mm),

W : 시험편의 단위 면적당 무게 (g/m<sup>2</sup>),

B : 벌크 밀도 (kg/m<sup>3</sup>).

## (2) 보온율 (KS K 0560 : 1996, JIS L 1096 A法(恒溫法))

$$1) \text{ 보온율}(\%) = \left(1 - \frac{a_2}{a_1}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{6.379}{10.598}\right) \times 100 = 39.8(\%)$$

$$2) \text{ 보온율}(\%) = \left(1 - \frac{(100 \times 0.4 \times 250)/1800}{(100 \times 0.4 \times 400)/1800}\right) \times 100 = 37.5(\%)$$

여기서, a<sub>1</sub>: 발열체에 시험편이 없을 때의 방열량 (cal/cm<sup>2</sup>/초, 또는 W/cm<sup>2</sup>)

a<sub>2</sub>: 발열체에 시험편이 있을 때의 방열량 (cal/cm<sup>2</sup>/초, 또는 W/cm<sup>2</sup>)

9. 시험 보고서

- ① 평균 온도를 표시
- ② 시험판의 열전달 계수(Vbp)값 2개를 평균하여 기록
- ③ 혼합 열전달 계수(V1)값 3개를 평균하여 기록
- ④ 시험편의 고유 열전달 계수(V2)값 3개를 평균하여 기록
- ⑤ 시험편의 두께, 벌크 밀도 및 단위 면적당 무게를 기록
- ⑥ 필요에 따라 열전도율, 열 저항 및 유효 보온율을 기록

10. 국가별 시험법 비교

시험법	KS K 0466 : 2007	ASTM D 1518 : 85(2003)
적용범위	2차원 섬유집합체(직물, 편성물)	2차원 섬유집합체(직물, 편성물)
시료 준비	510 mm×510 mm	
	3개	3개
조작	<p>① 별도로 규정되어 있지 않는 한, 가공된 면을 위로 향하도록 하여 시험편을 가열판 위에 펼쳐 놓는다. 시험편은 시험판과 보호판을 충분히 덮을 수 있을 정도의 크기여야 하며, 주름이 없고 시험판과 밀착될 수 있게 해야 한다. 별도로 규정되어 있지 않는 한, 시험편을 어떤 물체로도 눌러서는 안된다.</p> <p>② 가열판의 온도가 조작 온도(35 ℃)에 도달되도록 한 후 시험편과 공기의 수분상태가 평형이 되도록 하고, 시험판 온도 및 입력된 전력이 상수가 되도록 한다. 이때의 온도는 0.5 ℃보다 더 많이 변동해서는 안되며, 평균 온도는 30분 동안에 0.05 ℃보다 더 많이 변동해서는 안 된다. 또 측정이 계속되는 동안에 입력되는 전력이 일정량이 되도록 하기 위해서는, 스위치 작동시간 비율이 전체 측정 시간의 (50~60) % 범위 안에 있게 해야 한다.</p> <p>③ 칸막이 안의 공기의 상태와 시험편의 상태가 평형이 된 후에 시험판의 RESET 스위치를 눌러 계기판이 0이 되도록 한 후, 다시 전력이 공급되기 시작한 순간에 RESET 스위치와 스톱워치를 동시에 눌러 가열기의 소비전력을 측정하기 시작한다. 이 때 3분마다 시험판의 온도, 시험판 소비전력, 공기의 온도, 보호판의 온도 및 밀판의 온도를 기록한다.</p> <p>④ 이렇게 측정하는 혼합 열전달계수(V)의 측정을 30분 동안 계속한다. 이 때도 마찬가지로 30분이 지난 다음에 다시 전력공급이 시작되기 전에 공급된 총 전력 공급시간을 기록해 놓고, 공급이 시작되는 순간에 스톱워치를 눌러 이때까지의 시간 동안에 공급된 소비전력시간으로 앞에 기록한 시간을 사용한다.</p>	
결과 표시	퍼센트(%)	클로(clo)