방한용 화섬솜의 섬도 측정방법의 표준화에 관한 연구

홍성돈^{*†} · 김병순^{*}

^{*} 국방기술품질원

A Study on the Standardization of Fineness Measurement for the Thermal Insulator of Military Textiles.

Seong-don Hong^{*†} · Byung-soon Kim^{*}

^{*} Defense Agency for Technology and Quality

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to enhance the reliability of quality inspection by standardize the fineness test method of the thermal insulator of military textiles

Methods: We have measured the thermal insulator of military textiles by microscope with three different ways and the effectiveness of their difference were analyzed by one-way layout design.

Results: We have suggest the standardized the fineness test method of the thermal insulator of military textiles through advanced research. As a result we have verified hollow ratio of heat insulating fiber affect fineness test methods. The fineness test method for the thermal insulator applied with different methods following hollow ratio. We have verified that when the hollow ratio over 90%, the fineness of the thermal insulator measured from fiber-length, if it has over 80%, the cross-section length of hollow and if it has less 80%, the cross-section area of hollow is applied, respectively.

Conclusion: This study indicated that the test method of fineness shows high reliability. Heat insulating fibers which have high evenness shows narrow variations(5/% or less, only CV 25%) irrespectively under different testing equipment or institute. Based ons the results, we have suggest the standardization of test methods for fineness by microscope method and produced the registration of Group Standard in Korean Standards Association.

Key Words: Thermal Insulator

● Received 5 August 2015, 1st revised 30 August 2015, accepted 31 August 2015

† Corresponding Author(sdhong@dtq.re.kr)

© 2015, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

군용 섬유제품은 민수용과 달리 기술적인 필요에 의해 물리적 강도, 염색 견뢰도와 위장성 등을 포함하여 다양한 기능성이 요구되고 있다. 또한 아웃도어의 발전에 따라 다양한 기능성의 민수용 기술도 군에 접목되어 지속적으로 개발되고 있다. 이에 대한 대표적으로 예로는 기능성 방한복이나 침낭 등을 들 수 있는데, 두 제품은 동계 작전 시 사용되므로 보온성이 크게 요구되고 있다. 이러한 보온성은 보온재의 종류에 따라 차이가 발생하는데, 아래의 Fig. 1과 같이 다양한 종류가 있다.

Figure 1. The Type of Thermal Insulator

일반적으로 보온성은 다음의 Table 1과 같이 다운류가 가장 우수하지만, 수분에 약한 단점으로 취급이 어려워 군에서는 수분에 강한 화섬솜으로 만들어진 보온재가 주로 사용되고 있다.

Table 1. Quality characteristics between down and other fibers

Division	Insulation rate (%)	Bulky (cc/g)	Recovery rate (%)	Moisture contents(%)
Synthetic Fiber	81.7	90.7	91.9	0~4.5
Cotton	83.9	87.8	89.3	8.5
Down & Feather	89.2	106.5	97.4	13.0

이때 화섬솜은 Fig. 1의 meltblown이나 nonwoven과 같은 형태를 보이는데, 품질은 보온성, 질량, 섬도 등에 좌우된다. 그러나 보온성(KS K 0560, 2007)이나 질량(KS K 0514, 2011)의 측정방법은 한국산업표준(KS)에 제시되어 있지만, 보온재의 섬도 측정을 위한 방법은 표준화된 것이 없는 실정이다. 군수품에서는 이를 측정하기 위해 Table 2의 컬팅원단에 대한 보온재의 품질기준과 같이 “현미경법(microscope method)”으로 측정하도록 명시되어 있다.

Table 2. The example of quality standard for the fineness(Purchase request of Quilting fabric)

Type	Unit	Tolerance	Standard	Test method
Quantitative	%		Polyester	KS K 0210
Fineness	Denier		0.6~3.2	Microscope method (specific gravity 1.38)
Fiber length	mm		36~66	KS K 0327
Weight	g/m ²	be more	100	KS K 0514
Thermo-keeping	%	be more	70	KS K 0560
Formaldehyde	mg/kg	below	20	KS K ISO 14184-1
Length	cm	be more	152	KS K 0505

현미경법은 화섬솜의 밀도를 1.38g/cm³으로 하여 아래의 식 (1)로 계산하는 것인데,

$$\text{섬도} = \text{단면적}(\text{cm}^2) \times \text{밀도}(\text{g}/\text{cm}^3) \div 1\text{g}/9,000\text{m} \quad (1)$$

계산식이외의 시료 수, 절차, 측정부위 등은 정리되어 있지 않아 다음의 Fig. 2와 같이 시험기관별로 측정방법이 상이하였다. 즉 A 기관은 단면적을 직접 측정하였고, B 기관은 측면을 측정하여 단면적을 계산하였다. 또한 측정하기 위한 시료의 수도 정해지지 않아 발생 가능한 오차 범위 등도 제시되지 않았다.

Figure 2. Test method for the fineness of testing institutions

따라서 이에 대한 표준화가 시급한 실정이었다. 이를 해결하기 위해 군수품 보온재의 섬도 측정방법을 개발하고 표준화하여 공인 시험기관에서 동일한 방법으로 진행할 수 있도록 함으로써 측정 결과에 대한 신뢰성을 개선하고자 하였다. 또한 표준화된 시험방법은 한국표준협회의 단체표준으로 등록하여 공신력을 확보하였다.

2. 이론적 배경 및 선행연구

2.1 이론적 배경

2.2.1 화섬솜에 대한 이론

보온성은 혹한상황에서 쾌적 성능을 구현하기 위한 요소 중 하나로 보온성을 증가시키기 위해 다양한 종류의 보온재가 사용되고 있다. 이때 보온성을 확보하는 방법은 크게 두 가지로 구분되는데 소극적인 형태로는 열전도도가 낮은 보온재를 사용하여 인체로부터 열이 손실되는 것을 예방하는 것이며, 적극적인 형태로는 온도를 발생시켜, 보온성을 향상시키는 것이다. 공기는 열전도도가 가장 낮은 물질로 열의 대류 및 전도에 의한 손실을 방지하기 위해 동일 질량의 충전재 내에 포함된 공기의 양을 증가시켜 보온성이 증가되도록 하는데 활용되고 있다. 따라서 보온성을 향상시키기 위해서 극세 섬유나 중공사를 사용하거나, 직물의 표/이면을 기모가공하여 공기의 함량을 높이고 있다.

이러한 보온재는 천연과 인공의 2종류로 구분되는데, 천연 보온재중 단위 부피당 공기함량이 우수한 것은 우모로 방한용 제품의 대부분은 오리털이나 거위털이 사용된다. 한편, 인조 충전재들은 우모의 특성을 모방하는 방향으로 개발이 진행되고 있다. 그러나 최근에는 방사열의 반사 효과를 증가시켜 보온성을 발현시키거나, 단열성능 및 원적외선 효과를 이용하여 보온성을 증가시키는 연구가 추가적으로 진행되고 있다. 이때 전자는 인체로부터 방사되는 열의 손실을 억제하는 방법으로 금속과의 복합화를 통해 주로 발현되는데, 이를 위해 금속 분말을 분산하여 코팅, 라미네이팅 하는 방법 등이 주로 사용되고 있으며, 후자는 단열성이 우수하고 원적외선의 방출이 가능한 물질을 혼입함으로써 보온성을 증가시키는 방법으로, 세라믹 분말을 원사나 코팅제 등에 혼입하여 사용하고 있다. 그러나 원적외선 방사 기능의 실질적인 보온효과는 입증이 아직 미흡한 상태이다. 이외에 태양광을 이용하거나, 자체 발열 성능을 갖도록 함으로써 보온성을 향상시키는 제품도 지속적으로 개발되고 있다.

한편, 화섬솜의 보온성을 증가시키는 방법은 실을 가늘게 만들면서 벌키성을 부여할 수 있도록 하는 것으로 질량에 비해 부피를 확대하여 경량감과 함께 보온성을 증가시키는 방법이 있다. 이러한 기술은 고분자 고유의 밀도로 인해 기술의 한계가 있어 섬유 내부에 공기층을 함유 할 수 있도록 하는 중공섬유의 사용으로 발전되어 왔다. 한국군에서 사용되는 동계용 피복/장구류도 이와 같은 중공사를 다수의 품목에서 사용하고 있다.(최원호, 1990)

2.2.2 화섬솜 섬도 측정의 원리

2.2.2.1 직접법

- KS K ISO 2060 타래법

패키지로부터 채취한 실을 10~200m 까지 채취한 뒤 질량을 측정하는 방법이다. 이를 통해 실의 번수를 측정할 수 있다. 그러나 10~200m까지의 길이를 구성해야 하므로 보온재로 주로 사용되는 단섬유의 섬도 측정에는 적용할 수 없다.

- KS K 0415 천에서 분리한 실의 변수 측정

실의 겉보기 변수를 측정하는 방법으로 50올을 원단으로부터 풀어내어 총 길이를 측정하고 건조 한 뒤 질량 변화가 0.1% 이내일 때의 질량을 측정하는 방법으로 타래법과 같이 10m 이상이 필요하지는 않지만, 실 형태로 구성된 시료에 적합에 적합하기 때문에, 보온재를 이용한 섬도의 측정으로는 사용하기 어렵다.

2.2.2.2 현미경에 의한 방법

보온재로 사용되는 섬유는 대부분 단섬유로 구성되어 있으나, 일부 장섬유로 구성된 것도 기계적 또는 화학적 방법에 의해 다른 섬유와 결합되어 있기 때문에 직접법으로 섬도를 측정하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 섬유의 두께를 측정한 뒤 섬도를 계산해야 하는데, 이때 사용하는 것이 현미경이다.

이때 섬유 단면의 면적은 직접 측정하거나, 단면의 길이(반지름)로부터 계산이 가능하다. 따라서 현미경을 이용한 방법은 섬유 단면 또는 측면의 길이를 측정한 뒤 단면적을 계산하거나, 단면적을 직접 계산한 후 위의 식으로 구하는 방법의 두 가지로 크게 구분 할 수 있다.

2.2.2.3 vibroscopic(진동)에 의한 측정(ASTM D 1577)

섬유진동의 공명진동수에 따른 최대 진폭으로부터 섬유 진동의 고유 주파수가 측정 가능한 것을 이용하여 아래의 식(2)와 식(3)에 의해 섬도를 측정할 수 있다.

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{P}{m}} \left[l + \frac{R^2}{L} \sqrt{\frac{E\pi}{P}} \right] \quad (2)$$

m : 단위길이당섬유중량(g/cm)

P : 장력(dynes)

L : 장력이 주어진 섬유 거리

f : 공명진동수

R : 섬유직경

E : 탄성율 (elasticity modulus)

$$T_t = \frac{F_v \cdot 10^{11}}{4 \cdot f^2 \cdot L^2} \quad (3)$$

T_t : 섬도 (tex)

F_v : 장력(pretension, cN)

f : 공명진동수(Hz)

L : 파지섬유길이(gauge length, mm)

그러나 이 방법은 화섬섬의 제조공정에서 사용된 바인더(접착제)나 저융점 폴리에스터를 분별하기 어렵고, 중공섬유일 경우에는 중공의 크기에 따른 공기층으로 발생하는 오차의 보정이 어려워 화섬섬의 섬도를 측정하기에는 부적합 것으로 판단되었다. 따라서 연구 목적상 화섬섬의 섬도를 측정해야 하므로, 본 연구에서는 적용하지 않는 것으로 하였다.

2.2.3 측정방법의 표준화 이론

군수품의 품질기준인 국방규격이나 구매요구서에는 요구 성능을 대부분 한국산업표준(KS)을 인용하여 제시되어 있다. 그러나 군사용 섬유제품은 일반 민수용과 달리 조직, 강도뿐만 아니라 주/야간 위장성능과 같이 전투원의 생존

에 직결되는 특수 항목의 품질이 중요되고 있으며, 이를 관리하기 위한 기준도 엄격하게 적용되고 있다. 따라서 이러한 항목에 대해서는 한국산업표준(KS)에 명시된 시험법으로만 검사하기에는 한계가 있다. 그러나 특수 성능에 대한 시험법을 표준화 하고 있지 못해 공인시험기관별로 상이하게 진행하는 경우가 종종 있었다. 이를 해결하기 시험법의 표준화가 필요한 실정이다.

한편, 한국산업표준(KS : Korean Industrial Standards)은 산업표준화법에 의거하여 한국산업표준심의회(Korea Industrial Standards Commission)의 심의를 거쳐 기술표준원장이 고시함으로써 확정되는 국가표준으로 산업표준의 제정은 광 공업품 및 산업활동 관련 서비스의 품질 · 생산효율 · 생산기술을 향상시키고 단순화 · 공정화하며, 소비를 합리화함으로써 산업경쟁력을 향상시켜 국가경제를 발전시키는 것을 목적으로 하고 있다. 이때 한국산업표준은 기본부터 정보부문까지 21개 부문으로 구성되며 다음 세 가지로 분류할 수 있다.

- ① 제품표준 : 제품의 향상 · 치수 · 품질 등을 규정한 것
- ② 방법표준 : 시험 · 분석 · 검사 및 측정방법, 작업표준 등을 규정한 것
- ③ 전달표준 : 용어 · 기술 · 단위 · 수열 등을 규정한 것

그러나 최근에는 이러한 KS의 활용을 최소화 하고 각 단체 또는 품목의 특성에 맞게 단체표준을 개발하는 형태로 정책이 변화되고 있다. 이때 단체표준의 일반적인 정의는 “생산자 모임인 협회 · 조합 · 학회 등 각종 단체가 생산업체와 이해관계자의 의견을 수렴하여 자발적으로 제정하는 표준”이다. 산업표준화법에 에서는 “산업표준화와 관련된 단체 중 지식경제부령이 정하는 단체가 소비자를 보호하기 위하여 제정한 표준으로서 한국산업표준회에서 운용하는 한국표준정보망(www.kssn.net)에 등록된 단체표준”으로 정의하고 있다. 따라서 앞서 제기한 시험법의 표준화를 진행하고 단체표준으로 등록을 추진함으로써 시험법의 공신력을 강화하고자 하였다.

2.2 선행연구

2.2.1에서 설명한 바와 같이 보온재는 크게 천연과 인조제품으로 나뉘는데 천연 소재인 우모는 조성함유율, 충전도(Fill Power), 산소가, 냄새, 탁도, 유지분 등의 다양한 품질을 측정하는 방법이 사용되고 있다(김한수, 2014). 그러나 화섬솜은 천연섬유와 공통적으로 사용되는 보온성 이외의 다른 품질 측정방법은 사용되고 있는 않는 것이 현실이다.

한편, 동계용 피복의 보온성에 대한 연구는 다양한 방식으로 진행되고 있는데, 송민규(2008) 등은 의복의 보온성에 미치는 영향을 바람, 다양한 환경하에서 연구하였으며, 박명수(1991) 등은 보온재의 두께, 밀도 등에 의한 영향을 연구하였다. 최근에는 이성지(2012) 등이 피복의 형상을 변화시켜 보온성을 향상시키는 연구를 진행하고 있다.

그러나 앞서 설명한 바와 같이 화섬솜은 보온성 평가방법 이외에 보온재의 품질 특성을 측정하기 위한 보온성(KS K 0560, 2007)이나 질량(KS K 0514, 2011)의 측정방법은 한국산업표준(KS)에 제시되어 있지만, 보온재의 섬도 측정을 위한 방법이 없고, 이에 대한 연구도 없는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 군수품의 품질 측정을 위한 화섬솜의 섬도 측정방법에 대한 표준화를 추진하였다.

3. 연구 설계

3.1. 대상 품목 선정

방한용 피복/장구류를 중심으로 조달이 많이 되는 품목을 우선 검토하였는데, Table 3은 보온재가 사용되는 대표적인 품목과 섬도에 대한 품질기준을 정리한 것이다. 이 품목을 중심으로 시험방법을 개발하여, 공인시험기관별로 비교 후 검증함으로써 시험방법을 표준화 하였다.

Table 3. The samples for the fineness test

Item	Standard	Fineness	Note
Quilting fabric	Purchase request	0.6~3.2D	
Sleeping bag	KDS 8465-1013	non, single, multi-hollowness	
Functional winter clothes	KDS 8415-4002	0.6~3.2D	
Jumpers (Tankiste, army, navy)	KDS 8415-1052	below 4D/5~9D(hollowness)	
Blanket	Purchase request	5D/5~9D(hollowness)/ 5~9D(multi-hollowness)	
Water bottle cover	8305-R0013	5D/5~9D(hollowness)/ 5~9D(multi-hollowness)	

3.2. 측정방법의 결정

섬유의 섬도 측정은 직접법(KS K ISO 2060 타래법, KS K 0415 천에서 분리한 실의 번수 측정), 현미경에 의한 방법, vibroscopic(진동)에 의한 측정(ASTM D 1577) 방법 등이 있다. 그러나 보온재가 단섬유로 구성되어 있고, 바인더 또는 열접착 방식 등에 의해 서로 얹혀 있어 현미경에 의한 방법이 가장 적합한 것으로 판단되었다. 이때 현미경에 의한 방법도 측정 방식에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다.

3.2.1. 섬유 측면의 길이 측정

섬유의 단면이 원형 일 때 취하는 방법인데, 측면의 길이를 측정하여 지름을 산출하고 식 (1)에 의해 섬도를 계산하는 방법이다. 즉, KS K 0210 : 2007의 7.8의 c)에 의거하여 측정하는 것이다. 이 방법은 현미경으로 측정하기 전 시료의 준비가 가장 간단하기 때문에 공인시험기관에서 선호하는 방법이나, 단면의 형태가 이상적인 원형이 아닐 경우 오차가 크게 발생할 수 있다. 따라서 실험 결과로부터 오차를 최소화하기 위해 Table 4와 같이 원형률을 계산하여 90% 이상일 때만 측면의 길이 방법을 적용하였다.

Table 4. The definition of diameter and area for the roundness

Type	be more the roundness 90%	be more the roundness 80%
Diameter	$d = \text{Diameter do side}$	$d' = (\text{maximum diameter} + \text{minimum diameter})/2$
Area	$A = \pi(d/2)^2$	$A = \pi(d'/2)^2$

3.2.2. 단면적 측정(KS K 0210 : 2007 7.8의 c)

섬유 단면적을 직접 측정하는 방법은 결과의 정확도는 높으나, 시료의 준비가 까다롭고 섬유 개개를 모두 측정해야 하므로, 소요 시간이 많은 단점이 있다.

3.2.3. 단면의 길이 측정 후 평균값 적용(ASTM D 629)

측면과 단면적을 측정하는 방법의 중간단계로 섬유 단면에서 가장 긴 부분과 짧은 부분의 길이를 측정한 평균값으로부터 단면적 산출하는 구하는 것이다. 이는 ASTM D 629에서 면섬유의 단면적을 측정하는 방법으로 활용되는 것이며, 일정 수준의 정확도가 보장 될 경우 현미경을 이용한 3가지 중 가장 효율적일 것으로 판단된다.

Figure 3. Test method for the cross-section area of the ASTM D 629

본 연구에서는 3가지 방법을 모두 적용하여 표준 시험법을 개발하되, 각각의 방법을 적용할 수 있는 조건을 제시하였다.

3.3. 시료수

시료의 수는 섬도 측정의 신뢰도 확보를 위해 가장 중요한 항목으로, 시료의 수가 많으면 정확도는 증가하나, 소요 시간이 많이 증가하기 때문에, 적정 신뢰수준을 확보하는 범위에서 시료수를 최소화하는 것이 중요하다. 이에 대한 예는 KS K ISO 137, 양모-섬유의 직경 시험방법-프로젝션 마이크로스포크법의 부속서 B에서 “평균의 신뢰한계와 결과 값의 정확도”를 식 (4)와 같이 정의하고 있다.

$$\pm t \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

이때 s 는 표준편차이고, t 는 계수로써 95% 신뢰수준에 대해 1.96을 갖게 된다. 이로부터 기존에 알고 있는 양모 섬유의 편차를 25%라 가정하고 Table 5의 신뢰한계를 도출하였다.

Table 5. Confidence limit of wool for number of measurement

Confidence limit 95%	Number measurement (n)
± 1	2,500
± 2	625
± 3	278
± 5	100

즉, 측정 횟수가 증가함에 따라서 신뢰 한계가 감소하여 정확도가 증가하는 것으로 설명하고 있다. 따라서 본 연구에서도 적용 가능한 시료수를 공인시험기관과 함께 검토하였으며, 그 결과 KS K 0210 : 2007의 7.8의 c)를 적용하여 섬도 측정을 위한 화섬솜의 시료수를 100개로 결정하였다.

3.4. 중공률의 측정

보온재는 경량성을 위해 Fig. 4와 같은 중공섬유가 많이 사용되는데, 이때 섬도를 계산하기 위해서는 전체 면적에서 중공 부분을 제외하여야 한다. 이를 위해 중공률을 계산하는데, 중공률은 전체와 중공의 면적을 각각 20개씩 측정하여 계산한다. 원칙적으로는 100개를 측정하는 것이 타당하나, 선행 연구결과 100개와 20개를 하였을 때 결과에 미치는 영향이 크지 않아 공인시험기관의 검토를 거쳐 20개 이상으로 하였다.

Figure 4. The short draft of hollowness fiber

3.5. 비중의 결정

보온재의 섬도 측정에는 식 (1)과 같이 밀도가 중요하다. 국방규격 및 구매요구서에서는 폴리에스터의 비중을 1.38g/cm^3 으로 정의하고 있다. 이는 일반적으로 알려진 폴리에스터의 비중으로 화섬솜이 폴리에스터로만 구성되어 있을 때는 큰 무리가 없을 것으로 판단되었다. 그러나 최근 보온재로 PP섬유나 Nylon 등도 지속적으로 개발되고 있어, 추후 다양한 소재의 적용에 따라 발생 가능한 문제를 사전에 예방하고자 소재별로 표준 비중을 제시하고자 하였다.

이를 위해 관련 표준을 확인해본 결과 KS K 0210의 7.9항에서는 폴리에스터의 비중을 JIS L 1013 7.14항을 따르도록 규정하고 있어, 본 연구에서도 폴리에스터 이외의 섬유에 대한 비중은 JIS를 준용하도록 결정하였고, 단체표준안의 부속서에 JIS L 1013 7.14항을 명시하여, 추후 다양한 소재의 적용시에도 섬도 계산 문제를 예방 할 수 있도록 하였다.

Table 6. The specific gravity(JIS L 1013)

Type of fiber	Specific gravity	Type of fiber	Specific gravity
Rayon	1.51	Vinylon	1.28
Polynosic	1.51	Vinylidene	1.70
Cupra	1.51	Polyvinyl chloride	1.39
Acetate	1.32	Polyester	1.38
Polyacetate	1.30	Acryl	1.155
Promix	1.22	Polypropylene	0.91
Nylon	1.14	Polycral	1.32

3.6. 측정 방법에 따른 결과 분석

현미경을 이용한 섬도측정에는 3가지의 방법을 소개하였는데, 측정 부위에 따라 준비 방법에 차이가 있어 각각의 방법을 공인시험기관을 통해 검증하여 Fig. 5와 같이 정리하였으며, 단체표준(SPS DTAQ T 0002)으로 등록 완료되었다.

6 샘플링 및 시험편 제작

시험편을 표준 상태(KS K ISO 139)에서 컨디셔닝시킨다. 단, 폴리에스터와 같이 수분율이 낮아 수분의 영향을 무시할 수 있는 경우에는 생략할 수 있다.

6.1 샘플링

시료를 여러 영역으로 나누고 각 영역에서 조금씩의 섬유를 모두 혼합하여 충분히 섞는다. 이 혼합된 시료에서 1.5 g 정도 되도록 취하여 사용한다. 이때 섬유가 손상되지 않도록 주의해야 한다.

6.2 시험편 제작

6.2.1 단면 측정용 시험편

6.1의 샘플링 절차에 따라 준비된 시료를 섬유 홀더 및 절단 기구를 이용하여 단면 측정용 시험편을 준비한다. 정해진 개수의 섬유를 측정할 수 있도록 여러 개의 시험편을 준비한다. 시험편의 개수는 정해진 섬유의 측정 개수를 측정할 수 있을 만큼 준비한다. 단면 측정용 시험편 제조 방법은 ASTM D 629의 부속서 A.1 등을 참조한다.

6.2.2 측면 측정용 시험편

6.1의 샘플링 절차에 따라 준비된 시료를 섬유 절단 기구를 이용하여 섬유 스니펫을 준비한다. 섬유가 서로 엉키거나 겹쳐지는 것을 방지하고 균일하게 분산될 수 있도록 적당한 길이로 절단한다.

시험편의 개수는 정해진 섬유의 측정 개수를 측정할 수 있을 만큼 준비한다.

Figure 5. Sampling and specimen production presented SPS DTAQ T 0002

3.7. 공인 시험 기관별 결과 분석

표준화된 시험방법은 모든 공인시험기관에서 유사한 결과를 얻어야 하므로, 비중공, 단중공 및 다중공에 대해서 각각 3개 공인시험기관에서 섬도를 측정하였다.

3.8. 통계적 검증

실험으로부터 얻은 결과간의 상관관계를 검증하기 위해 일원배치법을 적용하고자 하였다. 일원배치법(one-way factorial design)은 어떤 관심 있는 특성에 대하여 하나의 인자(factor)의 영향을 조사하기 위해 사용되는 실험계획법이다. 이 방법으로 표본 평균을 이용하여 모집단의 평균에 대한 차이를 검증하였다. 본 연구에서는 변동 요인을 현미경에 의한 측정 방법과 공인시험기관으로 각각 분류하여, 결과 값에 대한 차이를 검정함으로써 시험방법의 유효성을 검토하고자 하였다. 이때 검정의 신뢰구간은 95%로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 필라멘트 섬유를 이용한 오차 검증

현미경을 이용한 시험방법의 정확도를 확인하기 위해 섬도를 알고 있는 필라멘트 섬유를 이용하여 검증을 하였다.

이때 사용되는 필라멘트 섬유는 범용으로 H사의 75d/36f를 사용하였으며, 크림프 등에 의한 영향 등을 최소화하기 위해 범용 폴리에스터를 이용하였다. 이때 이론적인 필라멘트 섬유의 섬도는 2.1de 전후로 판단되지만, 꼬임에 의한 연속률을 등을 고려할 경우 실제 섬도는 다소차이가 발생할 수도 있었으며, 실제 측정결과 2.09~2.31D를 나타내었다.

Table 7. The fineness of PET filament for measurement methods(A testing institution)

Factor	Number	Mean (Fineness)	Variance	p-Value
Length of side	100	2.09	0.0096	1.59×10 ⁻³¹
Length of Cross Section	100	2.27	0.0100	
Area of Cross Section	100	2.31	0.0061	
Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Between Groups	1.66	2	0.83	103.86
Within a Group	1.57	197	0.0079	
Total	3.23	199		

예상 값이 2.1~2.2de 임을 고려할 때 측정 오차는 5% 수준이었고, Table 5의 “측정 회수에 따른 양모 섬유의 신뢰 한계”를 95% 내에서 CV를 25%로 적용하면, 신뢰구간이 평균 2.2de를 중심으로 2.1de~2.3de 이므로 실험의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 또한 B와 C 기관도 2.1de로 분석되어 균제도가 높은 섬유에서는 현미경을 이용한 측정 결과가 신뢰할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

Table 8. The fineness of PET filament for measurement methods(A testing institution)

Factor	Number	Mean (Fineness)	Variance	p-Value
Length of side	100	2.15	0.062	0.8029
Length of Cross Section	100	2.14	0.038	
Area of Cross Section	100	2.14	0.045	
Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Between Groups	0.021	2	0.01	0.219
Within a Group	14.41	297	0.048	
Total	14.44	299		

한편, 광학현미경과 전자현미경간의 차이가 발생하면 공인시험기관 자체적으로 보정할 수 있도록 하였다. 이는 기존의 방법으로 조정하되, 섬도를 알고 있는 시료를 이용하여 최종적으로 보정하도록 한 것이다. 대표적으로 C기관이 전자현미경을 이용하였는데, C기관에서는 광학과 전자현미경간의 편차를 보정 한 뒤 섬도를 측정하여 그 결과를 Table 9에 제시하였다.

Table 9. The fineness of PET filament for optical microscope and scanning electron microscope

Factor	Optical Microscope		Scanning Electron Microscope	
	Mean (Fineness)	Mean (Fineness)	Mean (Fineness)	Mean (Fineness)
Length of side	2.15	2.15	2.14	0.063
Length of Cross Section	2.14	2.14	2.14	0.065
Area of Cross Section	2.14	2.14	2.13	0.021
p-Value	0.803		0.983	

4.2. 품목별 측정결과

4.2.1. 기능성 방한복

기능성 방한복은 2 de 급 전후의 비중공 섬유를 보온재로 사용하고 있으며, 원형단면을 갖는데, 원형률은 약 96% 정도였으며, 이때 3가지 방법에 의한 시험결과를 Table 10에 정리하였다.

(a) side draft

(b) short draft

Figure 6. Microscope images of thermal insulator(Functional winter clothes)**Table 10.** The fineness test result of thermal insulator for measurement methods (Functional winter clothes)

Factor	Number	Mean (Fineness)	Variance	p-Value
Length of side	100	2.14	0.91	0.0009
Length of Cross Section	100	1.92	1.09	
Area of Cross Section	100	2.48	1.30	
Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Between Groups	15.83	2	7.92	7.17
Within a Group	327.44	297	1.10	
Total	343.27	299		

위의 Table 10에서 보면 측면일 때는 2.14de, 단면의 길이를 측정할 때는 1.92de 그리고 단면적을 측정할 경우에는 2.48de로 각각 나타나 다소 차이가 나는 것을 확인 할 수 있었으며, p-Value로 측정방법에 따라서 섬도 값이 달랐다. 이는 기능성 방한복이 Fig. 5와 같이 굵기가 다른 2개의 섬유가 존재하여 샘플링 과정에서 발생한 오차이다. 따라서 서로 다른 굵기의 섬유가 포함될 경우 결과의 정확도를 위해서는 2개의 데이터를 각각 제시하는 것이 타당하였다.

기관간의 결과의 차이가 발생되면 시험법의 신뢰성에 대한 문제가 있을 수 있어 각 시험방법에 따른 기관 간 시험 결과를 비교해 보았는데, 측면에서는 A와 B 기관은 유사하였으나, C 기관은 다소 높은 결과를 나타내었다.

Table 11. The fineness test result according to accredited institute(side draft)

Factor	Number	Mean (Fineness)	Variance	p-Value
A institute	100	2.14	0.911	0.08
B institute	100	2.12	1.164	
C institute	100	2.92	1.081	
Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Between Groups	41.34533	2	20.672	0.00
Within a Group	312.5501	297	1.052	
Total	353.8954	299		

확인결과 A와 B기관은 광학 현미경을 이용하였고, C기관은 전자현미경을 이용하였다. 일반적으로 전자현미경이 광학현미경에 비해 심도가 깊고, 진공 과정에서 수분 증발 및 팽윤 등이 발생할 수 있어 이에 따른 오차로 예상되었다.

(a) A institute

(b) B institute

(c) C institute

Figure 7. Side draft images of thermal insulator(Functional winter clothes)

이러한 현상은 단면적의 측정에서도 동일하였는데, Fig. 8과 9에서 보면 단면적의 측정에서 A기관은 광학현미경을, B와 C 기관은 전자현미경을 사용하여 결과의 유의성에서 B 및 C기관이 2.87de와 2.79de로 유사하게 나타났으며, 단면의 길이 측정도 동일하게 나타났다. 따라서 장비에 따른 오차는 Table 9에서와 같이 반드시 오차를 보정하도록 하였다.

(a) A institute

(b) B institute

(c) C institute

Figure 8. Short draft images of thermal insulator(Functional winter clothes)

(a) A institute

(b) B institute

(c) C institute

Figure 9. Short draft images of thermal insulator(Functional winter clothes)

4.3.2. 수통피

수통피(KDS 8465-1021)에는 음료에 대한 보온, 보냉 등을 위해 화섬솜이 사용되는데, 비중공과 단중공, 그리고 다중공으로 구성되어 있다. 단중공은 5de 이하를 20% 이하로 사용도록 되어있으며, 기타 단중공 및 다중공은 5~9de 급을 사용하되 각각 50% 및 30% 이상 사용하도록 요구하고 있다. 다만, 최근 생산되는 화섬솜은 공정의 편의성을 고려하여 20%이하인 비중공 섬유는 사용하지 않고, 단중공과 다중공 섬유로만 제조하는 경향을 보이고 있다. 원형률 측정 결과 93%로 나타났으며, 중공률은 31.7~36.9%정도로 나타났다.

(a) Measurement of the roundness

(b) Measurement of the side draft length

(c) Measurement of the short draft

(d) Measurement of the short draft length

Figure 10. Test method for the fineness of thermal insulator(Water bottle cover)

Table 12는 섬도 측정결과로 세 가지 시험방법에 대해 다소 상이하였으나, 길이와 단면적을 측정하는 것은 p-Value가 0.188수준으로 비중공과 동일한 경향을 보였다.

Table 12. The fineness test result of thermal insulator for the measurement method of the single-hollowness(Water bottle cover)

Factor	Number	Mean (Fineness)	Variance	p-Value
Length of side	100	10.75	5.13	0.0076
Length of Cross Section	100	10.09	6.50	
Area of Cross Section	100	9.55	10.12	
Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Between Groups	7.73	2	2.53	2.53
Within a Group	454.47	297	1.53	
Total	462.20	299		

이때 중공률이 약 5% 정도의 편차가 발생하였는데, 이는 중공부분이 원형이 아니고 삼각형의 형태를 취하기 때문에 편차가 발생한 것으로 볼 수 있다. 따라서 중공률 결과에 따라 9.56de인 섬도가 10.35de까지 차이가 발생되므로, 중공률의 계산은 단면을 직접 측정하는 방법으로 결정하였다.

한편, 다중공은 6.73de부터 7.24de로 다소 차이를 보였으나, 단면적과 길이 및 단면 길이를 각각 비교하면 p-Value가 0.005316과 0.2759로 단면적과 단면 길이의 결과에서 유의적 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다.

Table 13. The fineness test result of thermal insulator for the measurement method of the multi-hollowness(Water bottle cover)

Factor	Number	Mean (Fineness)	Variance	p-Value
Length of side	100	6.73	1.38	0.0327
Length of Cross Section	100	7.24	1.79	
Area of Cross Section	100	6.94	2.35	
Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Between Groups	12.76	2	6.38	3.46
Within a Group	547.88	297	1.84	
Total	560.64	299		

4.3.3. 육군잠바

육군 근무복 잠바는 KDC 8415-1052-9의 규격을 적용하고 있으며, 4de 이하의 비중공 점유 60%이하 및 5~9de의 중공점유 40% 이상을 적용하도록 되어 있다. 확인결과 아래의 Fig. 11과 같이 단중공으로만 구성되어 있다.

Figure 11. The fineness test images thermal insulator for the short draft(Army jumper)

이때, 측면은 8.86de 정도로 나타났으며, 단면적은 7.88de로 약 1de 정도 차이가 발생하였다. 그러나 단면의 길이는 중간 값인 8.32de로 단면적과는 0.5de 정도만 차이가 발생하였는데, 각각의 시험방법에 대해 p-Value를 확인해 보면 측면의 길이와 단면의 길이는 0.004891을 나타내었으나, 단면과 단면 길이는 0.03328로 유의적 차이는 발생하였다. 따라서 측면 측정방법의 이용엔 제한적이라 판단되어 표 4에서와 같이 90% 이상일 때만 적용하는 것이 타당하였다.

Table 14. The fineness test result of thermal insulator for the measurement method of the single-hollowness(Army jumper)

Factor	Number	Mean (Fineness)	Variance	p-Value
Length of side	100	8.86	2.26	0.000019
Length of Cross Section	100	8.32	1.39	
Area of Cross Section	100	7.88	2.82	
Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Between Groups	48.55	2	24.28	11.25
Within a Group	640.42	297	2.16	
Total	688.97	299		

4.3.4. 침낭(화섬솜)

침낭은 동계용 피복/장구류의 대표적인 예로, 관련 규격은 KDS 8465-1013-11에 포함되어 있으며, 보온재는 폴리에스터 화섬솜이 사용되고 있다. 품질 기준은 5de미만의 비중공사 20% 이하, 5~9de 50% 이상, 5~9de 다중공사 30%이상이나, 실제로는 단중공과 다중공으로만 구성되어 있었다.

Table 15. The fineness test result of thermal insulator for the measurement method of the single-hollowness(Sleeping bag)

Factor	Number	Mean (Fineness)	Variance	p-Value
Length of side	100	8.48	0.87	0.000099
Length of Cross Section	100	9.05	0.59	
Area of Cross Section	100	8.91	1.24	
Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Between Groups	17.14	2	24.28	11.25
Within a Group	267.77	297	2.16	
Total	284.91	299		

위의 결과에서 단면 길이와 단면적을 이용하여 계산된 섬도는 9.05de와 8.91de로 유사한 값을 나타내었다. 이 둘 간의 p-Value는 0.3274를 나타내어 95% 신뢰수준에서 유의적 차이가 없는 것을 확인하였다.

4.3.5. 켤팅원단

켤팅원단은 방한복 상의 내피에 사용되는 보온재로, 중공 및 비중공의 별도 규정 없이 섬도만 제시되어 있다. 원형을 측정된 결과 비중공 섬유는 93.1% 정도였고, 단중공 섬유는 84.4%로 다소 낮게 나타났다. 이에 따른 섬도 측정 결과는 Table 16 및 17과 같다.

Table 16. The fineness test result of thermal insulator for the measurement method of the non-hollowness(Quilting fabric)

Factor	Number	Mean (Fineness)	Variance	p-Value
Length of side	100	3.90	0.01	0.855
Length of Cross Section	100	3.85	0.19	
Area of Cross Section	100	3.88	7.24	
Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Between Groups	0.097	2	0.0482	0.1562
Within a Group	91.84	297	0.3092	
Total	91.937	299		

Table 17. The fineness test result of thermal insulator for the measurement method of the single-hollowness(Quilting fabric)

Factor	Number	Mean (Fineness)	Variance	p-Value
Length of side	100	2.97	0.54	0.000099
Length of Cross Section	100	3.33	0.85	
Area of Cross Section	100	3.35	1.72	
Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Fo
Between Groups	8.99	2	4.49	4.33
Within a Group	307.87	297	1.063	
Total	316.86	299		

표에서 보면 측면 길이의 값이 차이가 발생하여, p-Value가 낮았으나 단중공 섬유는 3.85~3.90de로, p-Value가 0.855 여서 유의적 차이가 없었다. 따라서 원형률이 90% 이상 일 때는 측면을 측정하여도 무관할 것으로 판단되었다.

5. 결 론

보온재의 섬도 측정을 위해 선행연구로 가능한 시험방법을 도출하고, 이에 대한 검증 시험을 진행함으로써 보온재의 섬도 측정에 대한 표준화 된 시험방법을 제시하였다. 이때 최종적인 고려사항은 다음과 같다.

첫째, 섬유의 섬도를 측정하는 방법에는 직접법, 현미경법, 공명주파수를 이용한 방법 등으로 다양하게 있으나, 화섬으로 구성된 보온재는 섬유간의 결합에 의해 직접법으로 섬도를 측정할 수 없었고, 공명주파수를 이용한 방법은 바인더나 LMP(low melting polyester) 등을 구분할 수가 없어 현미경법을 이용한 방법을 적용하였다. 그러나 현미경법은 표준화된 시험방법이 없으므로, 절차, 측정 및 계산 방법 등을 규정하는 것이 필요하였다.

둘째, 현미경법은 섬유가 원형일 때 다양한 방법의 적용이 가능하나 실제로 이상적인 원형의 화섬섬은 없어, 방법 간 유의적 차이를 검증했다. 그 결과시료의 불균일도를 포함하여 LMP 유무, 중공 측정 애로 등의 문제가 있어 원형률이 매우 높은 비중공 이외의 적용은 어려울 것으로 판단되었다. 따라서 원형률이 90% 이상일 경우에는 측면 길이 측정방법의 적용이 가능하며, 원형률이 80% 이상일 경우에는 단면의 길이를 이용한 방법의 적용이 가능한 것으로 확인되었다. 그러나 원형률이 80% 미만일 경우에는 단면적을 이용한 방법만 적용하도록 하였다.

셋째, 기존 양산되는 제품은 섬의 굵기 분포가 다양하여 실험의 정확도가 다소 낮으나 균제도가 높은 시료는 기관이나 장비에 관계없이 5% 내외의 편차(단 CV가 25% 일 때)로 계산되어 신뢰도가 있는 시험방법임을 확인하였다.

이상의 결과를 정리하여 현미경법을 이용한 섬도 측정방법의 표준안을 만들었으며, KS A 0001에 의거 표준화된 양식에 그 내용을 기록하여 한국표준협회에 단체표준으로 등록을 완료하였다.

REFERENCES

2010. JIS L 1013 Testing methods for man-made filament yarns.
 2012. ASTM D 1577:07 Standard test methods for linear density of textile fibers.
 2014. Purchase request of military blanket.
 2014. Purchase request of military quilting fabric.
 2015. ASTM D 629:15 Standard test methods for quantitative analysis of textiles.
 H.S. Kim. 2014. Down and Products of the World. Corea Moonhwa.
 Korea Defense Standard 8305-R0013. Water bottle cover.
 Korea Defense Standard 8415-1052. Jumpers.
 Korea Defense Standard 8415-4002. Functional winter clothes.
 Korea Defense Standard 8465-1013. Sleeping bag.
 KS K 0210. 2007 Test methods for Quantitative analysis of fibre mixtures of textiles.
 KS K 0415 : 2011 Textiles – Woven fabrics – Construction – Methods of analysis – Part 5 : Determination of linear density of yarn removed from fabric.
 KS K 0514 : 2011 Measuring method for weight of cloth : Full width specimen method.
 KS K 0560 : 2011 Measuring method for warmth keeping property of cloth.
 KS K ISO 137 : 2014 Wool – Determination of fibre diameter – Projection microscope method.
 KS K ISO 2060 : 2012 Textiles – Yarn from packages – Determination of linear density (mass per unit length) by the skein method.
 M. S. Park, H.S. Shin, and J. Kang. 1991. "Studies on the Thermal Characteristic and the Warmth Retaining Properties of Non-Woven Fabric." Journal of Korean Fiber Society. 28(5):46-53
 M.K. Song, and M.S. Kwon. 2008. "A Study on the Insulation of Thermal clothing Under Dynamic Air condition." Journal of the Korean Society of Costume:29-37.
 S.J. Lee, W.L. Choi, and Y.J. Nam. 2012 "Development and Evaluation of Air Force Mechanic Parka to Enhance the Functions and Insulation." Journal of Korean Society Cloth Industry:294-303.
 SPS DTAQ T 0002 : 2015 Test method for fineness of thermal insulation consist of synthetic fibers by microscope.
 W.H. Choi. 1990. "Studies on the structure and physical properties of non-woven." Proceeding of Hyecheon University, 713-737.