

특수방화복 소재 경량화를 위한 공기층의 열방호 성능

홍승태*, 김해형, 김영수¹, 박평규¹, 김형섭², 유승준²
 한국소방산업기술원, ¹㈜산청, ²서남대학교
 (blue5to7@hanmail.net*)

Thermal Protective Performance of Air Layer as a Lightening Material to Reduce Weight of Firefighter's Protective Clothing

Seung-Tae Hong*, Hae-Hyoung Kim¹, Young-Soo Kim¹, Pyoung-Kyu Park¹,
 Hyung-Seob Kim², Seung-Joon Yoo²
 Korea Fire Institute, ¹SanCheong, ²Seonam University
 (blue5to7@hanmail.net*)

서론

화재 현장에 출동하여 신속하게 화재를 진압해야 하는 소방관들은 화상 위험으로부터 몸을 보호하기 위하여 특수방화복을 착용한다. 특수방화복은 일반적으로 겉감, 중간층, 안감 3개의 층으로 구성되어 있으며, 각 층마다 고유의 기능이 있다. 겉감의 주기능은 외부의 열 및 화염으로부터 내부를 보호해주는 것이다. 중간층은 외부로부터의 물을 차단하고 내부의 증기(땀)를 배출하는 기능을 가지고 있다. 안감은 외부로부터 침투한 열로부터 피부를 보호할 뿐 아니라 착용감을 향상시키는 기능을 한다. 이러한 특수방화복을 착용함에도 불구하고 소방관들의 화상 피해는 매년 발생하고 있다. 특히 불꽃 등의 직접적인 요인에 의한 피해보다는 복사열에 의한 피해가 더 크다고 알려져 있다[1].

소방관들의 화상 피해를 줄이기 위해서는 특수방화복의 기능을 강화해야 하는데, 기능을 강화하려면 특수방화복의 두께와 무게가 커질 수밖에 없다. 소방관들은 특수방화복 외에도 헬멧, 장갑, 공기통 및 호흡장비 등을 착용하고 활동해야 하는데, 이러한 개인보호장비의 무게 증가는 활동에 지장을 주거나 작업능률을 저하시킨다[2].

특수방화복 소재 경량화 기술 개발은 소방관들의 활동성 강화 및 피해를 저감하기 위해서 중요하다. 따라서, 이번 연구에서는 특수방화복의 기능을 강화시키면서 소재를 경량화할 수 있는 기술을 개발하기 위해 공기층을 적용하여 열방호성능을 테스트하였다.

실험

기존 A사의 3겹으로 된 특수방화복 제품에 공기층을 적용하여 열방호성능(Thermal Protective Performance)시험을 수행하였다. A사의 특수방화복은 겉감이 아라미드, 중간층은 아라미드와 PTFE(Polytetrafluoroethylen) 필름 그리고 안감(펠트 포함)이 아라미드 재질로 구성되어 있다. 경량화를 위해 중간층과 안감의 펠트층을 제거하고 공기층으로 대체하였다. 공기층의 두께 변화에 대한 열방호성능을 측정하기 위해 별도의 시험체 홀더를 제작하였다. 열방호성능시험은 한국소방산업기술원의 「소방용 특수방화복의 KFI 인정기준」에서 정한 시험 방법에 따라 수행하였다[3, 4]. 시험장치는 Fig.1과 같다. 각각의 시험체는 $84 \pm 4.1 \text{ kJ/m}^2/\text{sec}$ ($8.3 \pm 0.2 \text{ W/cm}^2$)의 열원에 노출시켰으며, 열방호성능은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{열방호성능값} = F \times T$$

여기서 F = 노출열 이동원(J/m²/sec), T = 노출시간(sec)

KFI 인정기준에서는 열방호성능값이 평균 $30 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{sec}$ 이상이고 용융 및 적하(Drop)가 없을 경우 적합 판정을 내린다. 여기서 30이라는 수치는 인체의 피부가 2도 화상을 입는 수준을 의미하며 30보다 클수록 열방호성능이 우수한 것이다[4].

결과 및 토론

공기는 열전도율이 섬유의 약 10분의 1 수준이며 무게가 거의 없기 때문에 특수방화복의 경량화 소재로서 검토해볼만하다. 3겹으로 된 A사의 특수방화복에서 중간층과 안감의 펠트층을 공기층으로 대체하여 열방호시험을 수행하였고, 그 결과를 Fig.2에 나타내었다. 사전에 측정된 A사 특수방화복의 열방호성능값은 $38.3 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{sec}$ 로써 KFI 인정기준에 적합하였다. Fig. 2에서 그래프 A는 중간층과 안감의 펠트층을 제거했을 때의 공기층 두께 변화에 대한 열방호성능값이며, 그래프 B는 안감의 펠트층만 제거했을 때의 공기층 두께 변화에 대한 열방호성능값이다. Fig.3에 열방호성능시험시 공기층을 적용한 특수방화복의 구성을 나타내었다.

Fig.2에서 중간층과 안감의 펠트층을 제거했을 경우 공기층의 두께가 10 mm가 되어도 열방호성능값이 기술기준 하한치인 $30 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{sec}$ 에 도달하지 못하였다. 공기층의 두께가 약 36 mm 이상일 경우 기술기준 하한치를 넘게 되었지만, 공기층의 두께가 너무 두꺼우면 활동성에 제약이 있기 때문에 의미가 없다. 겉감과 중간층은 그대로 두고 안감의 펠트층만 제거하였을 경우에는 공기층 두께가 2 mm일 때 하한치를 넘어섰다. 따라서 겉감과 중간층이 아라미드 재질이고 중간층에 PTFE 필름을 사용할 경우 기존의 펠트층 대신 공기층을 적용할 수가 있으며, 공기층의 두께는 최소 2 mm 이상이어야 한다.

그러나 중간층과 안감 사이에 공기층을 일정한 두께로 유지하는 방법이 문제가 될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 박 등[5]은 소방복에 이방향 형상기억합금을 적용하는 방법을 제안하였다. 이방향 형상기억합금이란 주변환경의 온도에 따라 스프링의 수축과 팽창이 능동적으로 조절되는 금속으로 높은 온도에서는 팽창하여 공기층을 형성하고 평상시에는 수축상태를 유지하는 원리이다. 형상기억합금을 적용한 특수방화복은 반복 세탁에도 형상기억합금의 부착과 성능이 유지된다면 검토해볼만한 기술이라고 사료된다.

또한 형상기억합금 외에 Fig. 4에서 보는 바와 같이 3차원 샌드위치(Spacer) 구조를 갖는 경편성물로 안감의 펠트층을 대체하는 방법도 대안이 될 수 있다. 공기층보다는 무겁지만 최대한의 공기층을 확보할 수 있는 경편성물을 적용한다면 특수방화복의 무게를 줄일 수 있다.

References

1. Lee, J. K. and Kwon, J. S., "Effect of Fire Fighter's Turnout Gear Materials Air Gap on Thermal Protective Performance", *Fire Sci. Eng.*, 28(4), 97-103(2014).
2. Kim, E. K. and Lee, M. S., "A Study on the Actual Condition of Korean Firefighter's Protective Clothing", *J. Kor. Soc. Cloth. & Text.*, 21(1), 93-103(1997).
3. KFI Standard for Firefighter's Clothing, Korea Fire Institute, 165(2014).
4. Standard Test Method for Thermal Protective Performance of Materials for Clothing by Open-Flame Method, American Society for Testing Materials D4108-87(2003)
5. Park, M. K., Lee, J. Y. and Kim, E. A., "Attachment of Two-way Shape Memory Alloy onto Fabric for Mass Production of Firefighter's Turnout Gear", *J. Kor. Soc. Cloth. & Text.*, 36(4), 382-390(2012).

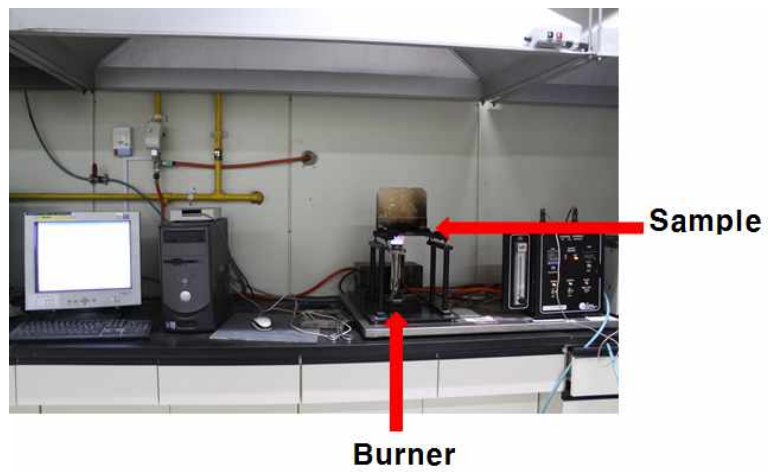


Fig. 1. Experimental apparatus for thermal protective performance test.

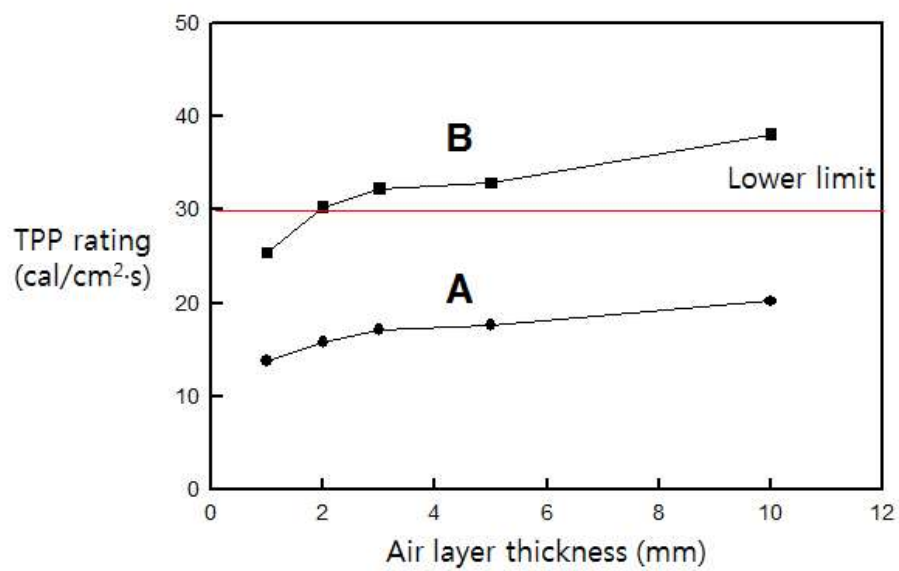


Fig. 2. Effect of air layer thickness on the TPP rating.
(A : no mid-layer and no felt, B : no Felt)

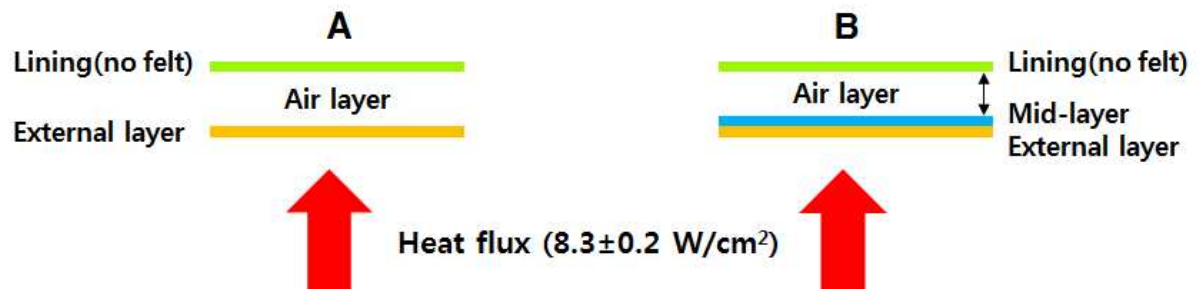


Fig. 3. Location of air layer in firefighter's protective clothing.



Fig. 4. 3D spacer fabrication.