

발열의류로 인한 화재위험성 및 저온화상에 대한 분석 연구

A Study of the analysis on the risk of ignition and low-temperature burns caused by the use of electrically heated clothes

이정일^{a,*}

Jeong-Il Lee^{a,*}

^a National Fire Agency 119 Situation Control Center, 216ho 17dong, Jungbu-2 cheongsa-ro 13, Sejong-city, 30128, Republic of Korea

ABSTRACT

Purpose : This study aims to seek out the risk of low-temperature burns and fire.
Method : Hot vests are connected by higher voltage than walking voltage.
Results : Accordingly, the possibility of low-temperature burns and fire was proved high. It was also shown that hot vests with relatively lower resistance on heat rays reached a higher temperature as the same voltage was applied.
Conclusion : There are some problems with hot vests because they do not have any safety devices like a thermostat or a timer to prevent temperature increasing rapidly. For the purpose of reducing the risk of low-temperature burns and fire, setting the standard of the minimum resistance temperature and regulating the use of heat rays with lower resistance are necessary.

KEYWORDS

Electrically heated jacket,
Hot wire,
Ignition hazard
Reproduction experiment,
Minimum resistance temperature

연구목적 : 본 연구는 최근 많이 이용하고 있는 발열조끼에 의한 저온화상과 화재위험성 도출을 목적으로 한다.

연구방법 : 사용전압보다 더 높은 전압에 발열조끼를 연결하는 실험을 실시하였다.

연구결과 : 재현실험한 결과 높은 저온화상과 발화위험성을 알 수 있었다. 또한 같은 전압을 인가했을 때 상대적으로 열선의 저항값이 더 낮은 발열조끼 제품이 더 높은 온도에 도달한다는 것도 알 수 있었다.

결론 : 발열조끼는 온도조절장치나 타이머가 존재하지 않아 온도가 급격히 올라갈 경우 안전장치가 없다는 문제점이 있다. 따라서 화재나 저온화상의 위험성을 줄이기 위해서는 열선의 최소저항값 기준을 설정하고, 낮은 저항값을 가지는 열선 사용의 규제가 필요하다.

발열조끼,
열선,
발화위험성,
재현실험,
최소저항값

© 2018 Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-04-205-1119. Fax. 82-04-205-8877.
Email. gydhhh@korea.kr

ARTICLE HISTORY

Received Feb. 20, 2018
Revised Feb. 20, 2018
Accepted May. 16, 2018

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 레저 활동 인구 증가로 기능성 의류가 증가하고 있다. 그중에서도 겨울철 자체에서 열을 내는 발열의류가 큰 인기를 끌고 있다. 하지만, 편리한 기능 외 반대급부로 발열체 이상 등에 의한 사고로 화상환자가 늘고 있어 안전성에 대한 문제가 계속 제기되고 있는 실정이다.

발열의류에는 발열장갑, 발열조끼, 발열갈창 등 여러 가지 종류가 있다. 본고에서는 그중 대표적인 발열조끼에 대해 발열메카니즘 및 화재위험성 등에 대해 재현실험을 통해 알아보려고 한다. 발열조끼는 배터리 충전의 용이함과 착용의 간편함, 그리고 짧은 시간 내에 높은 온도까지 올라가는 기능을 바탕으로 선풍적인 인기를 끌고 있다. 보일러 난방 대신 발열조끼를 이용하는 일부 실생활 이용자들 외에 특히 캠핑이나 등산 같은 야외 레저 활동을 즐기는 사람들, 그리고 겨울철 오토바이나 화물차 등을 이용하여 운송업에 종사하는 사람 등이 많이 사용하고 있다. 발열조끼 제품에는 12V, 14V, 20V 등을 사용하는 것이 많고 DIY(Do It Yourself) 제품도 많이 유통되고 있다. 물론 이 경우 자체적으로 개조한 배터리를 이용해 아무런 안전장치 없이 사용하는 것도 상당수 있는 것으로 보인다.

현재 유통하고 있는 발열조끼는 아직까지 안전성에 대한 제대로 된 안전규정이 존재하지 않고 있는 반면, 국가화재통계상 피해사례는 2016년에 139건, 2017년 158건으로 적지 않게 발생하고 있다. 이러한 사례를 중심으로 자주 사고를 일으키는 형태의 발열조끼 2종을 대상으로 발화 위험성을 분석하였다. 정격전압보다 높은 전압에서의 발화현상, 저온화상의 위험성, 전선의 전기적 요인에 의한 단락 및 트래킹에 대한 실험을 재현해 보았다. 이를 통해 발열조끼가 저온화상 및 화재 발생 위험성을 살펴보고, 더 나아가 발열조끼에 대한 안전기준의 필요성을 제시하고자 하였다.

2. 본론

2.1 제품 및 작동원리 설명

발열조끼에는 일반적으로 열선을 이용한 기술과 면상발열체를 이용한 기술이 사용된다. 이번 연구에서는 열선방식에 대해 알아보았다. 현재 발열의류 기술 중에서 가장 보편적으로 사용되고 있기 때문이다. 발열조끼의 전원공급 장치는 주로 보조배터리가 사용되는데, 보조배터리는 크게 리튬폴리머 전지와 리튬이온전지로 나뉜다. 대부분의 발열조끼 제품에서는 충전의 간편함과 상대적으로 저렴한 비용 덕분에 리튬이온전지가 주로 사용된다. 하지만 리튬이온전지는 외부의 물리적 충격에 의한 내부 단락이나 스웰링 현상 등으로 인해 폭발의 위험성이 존재한다. (QY Research Group, 2017).

먼저 본 실험에서 사용되는 제품은 2종류인데, 첫 번째 제품은 'M** 발열조끼'로서, 오토바이 및 차량 시가잭 전원 공급장치를 발열조끼에 직접 꽂는 방식으로 작동되는 제품이다. 이 제품은 Fig. 1과 같이 열선이 옷 전체가 아닌 목 뒤편에만 깔려있다.



Fig. 1. M** hybrid electrically heated jacket for 12V cigar jack.

다른 하나는 'H** 발열조끼' 제품으로, 5V 보조배터리에 잭을 꽂아 발열조끼와 연결하는 방식으로 작동된다. 이 제품 같은 경우에는 Fig. 2와 같이 등판과 좌우 주머니, 총 세 곳에 열선이 깔려있다.



Fig. 2. H** electrically heated jacket for 5V batteries use.

2.2 연구의 범위와 방법

본 연구에서는, 현재 유통되고 있는 발열조끼의 경우 연결되는 전압이 제품마다 다르기에 사용자가 부주의로 인해 정격전압보다 높은 전압에 제품을 연결할 수도 있다는 점과 제품의 특성상 세탁이나 등산, 운전 등 여러 활동을 통해 발열조끼 내부의 열선 및 전선이 손상을 입을 가능성이 있다는 점을 전제조건으로 삼았다.

연구 방법은 첫째, 사용자가 부주의로 인해 원래 연결해야 하는 전압보다 더 높은 전압에 발열조끼를 연결했을 때, 시간에 따라 변화하는 발열조끼 자체의 온도를 분석하고 그로부터 화재의 개연성을 파악하였다. 둘째로, 재현실험을 통해 발열조끼의 잘못된 사용으로 실제 화재가 발생할 수 있는지를 확인하였다. 연구 방법에 따라 다음과 같은 실험장비들을 이용하여 여러 변수들을 측정하였다.

Table 1. Materials and Tools

Experiment \ CLS	Major Tools	Minor Tools
Experiment 1	Power supply, Clamp meter, Infrared thermo-graphic camera	Protect coat, Stop watch, Digital thermo-hygrometer, Laptop, Video camera, Protective glove, Tools set, DSLR camera, Electric reel, Washing machine
Experiment 2	Non-destructive testing device	
Experiment 3	Non-destructive testing device, Stereoscopic microscope, Clamp meter	
Experiment 4	Power Supply, Thermal couple, Infrared thermo-graphic camera	

2.3 실험개요 및 결과

2.3.1. 전압별 열 발생 실험

(1) 12V용 발열조끼를 이용한 고전압 실험

첫 번째 실험에서는 12V용 발열조끼에 Power supply를 이용하여 12V와 16V 전압을 15분, 20V와 24V 전압을 각각 5분씩 연결하였고, 이에 따른 온도변화를 열화상카메라를 이용하여 관찰하였다. 한편 실험 당시 실험실의 실내온도는 17°C, 마네킹의 온도가 실제 사람의 체온보다는 상당히 낮다는 점을 추가로 고려하였다. Power supply를 이용하였을 때 전압과 전류, 그리고 전력값의 수치는 Table 2와 같다.

Table 2. Figure of Voltage, Current and Electricity Power

Category	Voltage	Current	Electric Power
Condition (1)	12V	1.472A	18W
Condition (2)	16V	1.963A	31W
Condition (3)	20V	2.455A	49W
Condition (4)	24V	2.945A	71W



Connecting to 24V Infrared thermo-graph image Trace of a burning of the hot wire

Fig. 3. Connecting 12V M** hybrid electrically heated jacket to 24V.

(2) 5V용 발열조끼를 이용한 고전압 실험

5V용 발열조끼에 Power supply를 이용하여 5V 전압을 15분, 9V와 12V 전압을 각각 5분씩 연결하였고, 이에 따른 온도변화를 열화상카메라를 이용하여 관찰하였다. 실험 당시 실험실의 실내온도는 16.9℃, 마네킹의 온도가 실제 사람의 체온보다는 상당히 낮다는 점을 추가적으로 고려하였다. Power supply를 이용하였을 때 전압과 전류, 그리고 전력값의 수치는 Table 3와 같다.

Table 3. Figure of Voltage, Current and Electricity Power

Category	Voltage	Current	Electric Power
Condition (1)	5V	1.173A	6W
Condition (2)	9V	2.051A	18W
Condition (3)	12V	2.629A	31W



Preparation Connecting to 12V Infrared thermo-graphic image

Fig. 4. Connecting 5V H** electrically heated jacket to 12V.

(3) 두 발열조끼 열선의 저항값 측정

전압의 변화에 따른 발열조끼 온도 측정이 끝난 후에는 발열조끼에서 열선을 각각 분리하였고, 클램프 미터를 이용하여 열선의 저항값을 각각 측정하였다. 12V용 발열조끼의 저항값은 8Ω으로 측정되었고, 5V용 발열조끼의 저항값은 4.2Ω으로 측정되었다. 시간과 전압의 상승에 따른 두 발열조끼의 열선 온도변화를 살펴보면(Table 4, Table 5), 12V발열조끼는 24V 전압에 4분후 200℃에 도달하였고, 5V발열조끼는 12V 전압에 4분 후 112℃에 도달하였다.

Table 4. Highest Temperature of the 12V Electrically Heated Jacket

Voltage \ Category	Category	Time to get to the highest temperature	Highest temperature
	12V	12 minute	58.5℃
	16V	7 minute	83.3℃
	20V	5 minute	109.8℃
	24V	4 minute	200℃

Table 5. Highest Temperature of 5V Electrically Heated Jacket

Voltage \ Category	Category	Time to get to the highest temperature	Highest temperature
	5V	9 minute	38.5℃
	9V	5 minute	72.4℃
	12V	4 minute	112℃

(5) 고전압 실험의 결과 분석

전압별 열발생 실험을 통해 사용자의 부주의로 인해 정격전압보다 높은 전압에 발열조끼 전원을 연결하였을 경우, 두 발열조끼 모두 온도가 급격하게 상승한다는 실험결과를 얻을 수 있었다. 또한 이러한 실험 결과를 통해 40-50℃의 열을 내는 제품에 한 시간 이상 피부를 직접 접촉할 경우 저온화상 가능성 역시 도출해낼 수 있었다. 특히 시간 예약기능이 존재하기에 저온화상을 어느 정도 방지할 수 있는 전기장판과 달리, 발열조끼의 경우 온도의 급격한 상승을 방지할 수 있는 내부적인 메커니즘이 존재하지 않기에 사용자가 인지하지 못하는 사이에 저온화상이 발생할 수 있는 위험성이 존재함을 알 수 있었다.

한편 정격전압이 다른 두 발열조끼 제품에 Power supply를 통해 12V라는 동일한 전압을 주었을 때, 두 제품에 사용되는 고유열선의 저항값의 차이에 따라 최고온도가 얼마나 차이 나는지 분석하였다. 식 (1)에서 V는 전압, I는 전류, R은 저항을 뜻한다. 식 (2)에서 P는 발열량, V는 전압, I는 전류를 뜻한다. 앞서 말한 바와 같이 이번 실험에서 전압은 12V로 고정되어 있기에, 두 식에서 독립변수는 바로 R이다.

$$V = I \times R \dots\dots\dots (1) \quad P = V \times I = \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots (2)$$

Table 6. Comparison of Resistance Value and Temperature Change at 12V

Category	Resistance Value	Electric Power	Highest temperature
12V jacket	8Ω	18W	58.5℃
5V jacket	4.2Ω	31W	112℃

위의 두 식과 고전압 실험의 결과를 분석해 보면 저항값과 발열량은 반비례하며, 발열량과 온도는 어느 정도의 상관관계를 가진다는 것을 파악할 수 있다. 따라서 상대적으로 열선의 저항값이 더 낮은 발열조끼 제품이 같은 전압에서 비교했을 때 더 높은 온도에 도달하는 것이다. 화재의 위험성을 줄이기 위해서는 제도적인 차원에서 발열조끼에 사용되는 열선의 최소저항값 기준을 설정하고, 그 기준보다 낮은 저항값을 가진 열선을 발열조끼 제품에 사용하는 것을 규제할 필요가 있다.

2.3.2 재현실험

(1) 실험배경

2회에 걸쳐 실험한 결과, 사용자의 부주의로 정격전압보다 높은 전압을 연결했을 때의 온도변화를 측정할 첫 번째 전압별 열발생 실험이 화재의 위험성이 가장 높은 것으로 파악되어 재현실험의 대상으로 선정되었다.

(2) 실험장소의 특징

재현실험은 야외실험장에서 마네킹을 이용하여 전압별 열발생 실험으로 진행하였다. 당시 실험장의 외부온도는 11.8℃, 습도는 41%였다. 최대한 실제 상황과 비슷한 환경을 만들기 위하여 마네킹에 전기매트를 둘러 사람체온과 비슷한 30℃ 이상을 계속 유지하도록 했고, 그 위에 발열조끼와 각각 다른 재질의 옷을 입혀 총 2회의 실험을 진행하였다.

(3) 실험장비 및 측정방법

재현실험에는 Power supply, 열전대 측정장치, 열화상 카메라 등의 장비가 사용하였다. 우선 열전대는 비교의 편의를 위하여 발열조끼 안쪽에 3개, 발열조끼 바깥쪽에 3개, 그리고 실험실 바닥에 1개, 총 7개를 부착했다. 또한 Power supply를 통해 12V용 발열조끼에 24V의 전압을 균일하게 공급하여 시간에 따른 발열조끼의 온도변화를 열화상카메라와 열전대 장치를 이용하여 측정하고자 하였다.

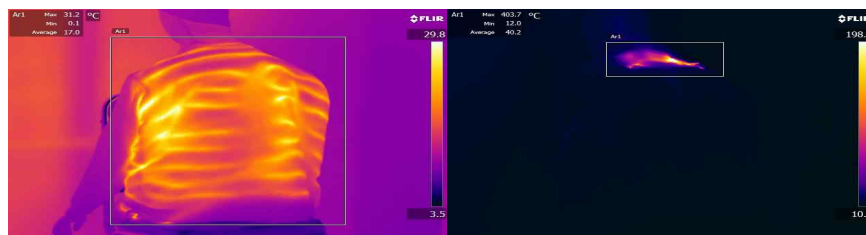
(4) 폴리에스테르 재질의 외투를 이용한 연소실험

실험 시작 후 15분 정도 지나자 연기가 눈에 떨 정도로 다량 발생하기 시작하였으나, 약 30여 분 동안 진행된 실험 내내 불꽃은 보이지 않았다. 하지만 실험에 사용된 옷에서는 그을음의 흔적이 발견되었다. 또한 Fig. 9에서처럼 열화상 카메라를 분석한 결과 내부에서는 순간적으로 최고온도 403.7℃를 기록했다는 사실을 발견할 수 있었다.

이와 같은 결과는 옷 내부에서 혼소상태가 진행되다가 순간적으로 불꽃이 발생했다는 것을 의미한다. 여기서 우리는 가연물인 폴리에스테르 섬유 특성상 옷 안쪽으로는 공기의 유입이 어려웠고, 섬유 자체의 발화점도 비교적 높기 때문에 실제 발화로 이어지지 않고 혼소에 그쳤다고 판단된다.



Fig. 5. Combustion experiment of 12V electrically heated jacket with polyester coat.



Similar with body temperature before the experiment : 31.2℃ Maximum temperature measured during the experiment : 403.7℃

Fig. 6. Infrared thermo-graphic image

Table 7. Highest Temperature of the 12V Jacket with Polyester Coat

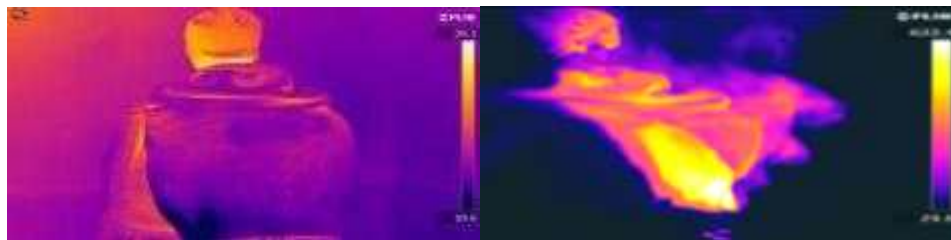
Thermal couple number \ Category	Time to get to the highest temperature	Highest temperature
Number 1	16 minutes	225.2℃
Number 2	20 minutes	218.8℃

(5) 울, 나일론, 면 재질의 스웨터를 이용한 연소실험

울, 나일론, 면 재질의 스웨터를 이용한 연소실험에서는 앞선 첫 번째 재현실험과는 달리 실험 시작 후 6분 정도 경과한 후에 스파크가 발생하였고, 30초 만에 옷 전체로 발화하여 확대되었다. 또한 열화상 카메라를 분석한 결과 Fig. 8에서 처럼 내부에서는 순간적으로 최고온도 622.4℃도를 기록했다는 사실을 발견할 수 있었다.



Fig. 7. Combustion experiment of 12V electrically heated jacket with wool and nylon sweater.



Similar with body temperature before the experiment : 20.1℃

Maximum temperature measured during the experiment : 622.4℃

Fig. 8. Infrared thermo-graphic image.

Table 8. Highest Temperature of the 12V Jacket with Nylon, Wool and Cotton Sweater

Thermal couple number \ Category	Time to get to the highest temperature	Highest temperature
Number 1	8 minutes	354.4℃
Number 2	8 minutes	414.5℃

(6) 재현실험의 결과분석

우선 첫 번째 실험에 사용된 외투는 겉감과 안감 모두 100% 폴리에스테르 섬유였다. Table 9에서 볼 수 있듯이 폴리에스테르의 발화온도는 600℃를 상회하기에, 첫 번째 실험에서 완전한 발화는 이루어지지 못했던 것이다.

두 번째 실험에는 울90%+나일론10% 재질의 니트와, 100% 순면스웨터가 사용되었다. 특히 울과 면의 경우는 발화온도가 300℃이하로 상당히 낮기 때문에, 비교적 빠른 시간에 발화가 된 것으로 추정할 수 있다.

이처럼 각각의 섬유별로 인화온도와 발화온도가 다르기 때문에 이러한 재현실험의 결과가 발생한 것으로 생각된다.

Table 9. Comparison of Ignition Point of Fibers

Materials	Category	Flashing Temperature	Ignition Temperature
	Polyester	475-500℃	623-645℃
	Wool	200℃	220-230℃
	Nylon	421℃	424℃
	Cotton	230-266℃	264℃

3. 결론

본 연구에서는 발열조끼에 의한 저온화상과 화재위험성을 도출하기 위해 사용자의 부주의로 인해 원래 사용 전압보다 더 높은 전압에 발열조끼가 연결됐을 때의 상황을 가정하여 실험을 진행하였다. 그 결과 사용자 부주의로 인해 정격전압보다 높은 전압에 발열조끼 전원을 연결을 가정한 첫 번째 실험에서 가장 높은 저온화상과 발화위험성을 도출해 내었다.

같은 전압을 인가했을 때 상대적으로 열선의 저항값이 더 낮은 발열조끼 제품이 더 높은 온도에 도달한다는 실험결과를 얻을 수 있었으며, 특히 발열조끼는 제품의 고유 특성상 온도조절장치나 타이머가 존재하지 않기에, 온도가 급격히 올라갈 경우 이를 제어할 수 있는 안전장치가 없다는 것이 문제점으로 도출되었다. 따라서 화재나 저온화상의 위험성을 줄이기 위해서는 제도적인 차원에서 발열조끼에 사용되는 열선의 최소저항값 기준을 설정하고, 그 기준보다 낮은 저항값을 가지는 열선이 발열조끼 제품에 사용되는 것을 규제해야 한다고 판단된다.

References

- [1] Hakjoong, Kim. (2014), An experimental study on the fire hazard of Sheath Heater, The Korean Society of Disaster Information, Vol10, No4, pp.511-517.
- [2] Hyun Young Lee· Yeonhee Jeong. (2010). Journal of the Korean Life Science Society, Vol19, No4, pp.667-668,
- [3] KOTRA. (2015). Canada Fever Clothing Market
- [4] Lee Seon Hong. (2015). An accident analysis of a lithium secondary battery exploded / exploded by an external shock, Korean Institute of Scientific Investigation Vol10, No1, pp.57-58,
- [5] Lee Ho-Sung·Kim Si-guk. (2016). Experimental Study on the Explosion and Fire Risks of Mobile Phone Batteries, Fire Science and Engineering, Vol30, No4, pp.117-118..
- [6] National Fire Agency. (2017), "National Fire Statistics", National Fire Agency
- [7] QY Research Group. (2017). Global heated clothing market research report,
- [8] Wangjing Chemical. (1988). The Theory of Flame Retardant and Flame Retarding.
- [9] Yu Jin Hee. (2016). Middle East News, Northeast Asia Center, pp.144-145.