

# 의복의 여유분에 따른 단열력의 변화와 Thermogram을 활용한 의복 표면 온도 특성 분석

## The Change of Clothing Insulation and Surface Temperature Measured by Thermography with the Ease of Pattern

이병철 · 홍경희 · 이예진\*

충남대학교 의류학과

Lee, Byungcheol · Hong, Kyunghi · Lee, Yejin\*

Dept. of Clothing & Textiles, Chungnam National University

### Abstract

Effects of the ease of pattern on the thermal conditions of clothing were investigated through the measurement of clothing surface temperatures using infrared thermography. Four vests with different pattern ease were worn by five male subjects. Surface temperature distribution on the clothing were then examined using a thermogram to view thermo-regulating characteristics affected by the ease of pattern. Representative surface temperatures were calculated based on the percentage of the surface area within a certain temperature range and the midpoint value of the corresponding area. Representative surface temperatures matches well to the thermal insulation value measured by thermal manikin. Results indicated that representative surface temperature could be a useful quantitative value if some simple calculations were to be used alongside accurate image processing.

**Keywords:** infrared camera, surface temperature, thermal insulation, ease of pattern, thermogram

## I. 서론

### 1. 연구 배경 및 목적

쾌적한 의복 기후를 형성하기 위해서는 의복 재료인 섬유와 직물의 선택이 중요하다. 그러나 같은 재료를 이용해도 의복의 형태나 구조, 인체의 특징, 착용 방법에 따라 인체와 의복 사이의 상호작용이 현저하게 달라지기 때문에 의복의 기능성 연구에 있어서는 의복 재료에 대한 연구와 함께 의복 패턴 설계와 인체의 상호작용도 매우 중요한 요소로 다루어져야 한다. 일반적으로 의복 재료인

섬유와 직물은 자체의 열전도율이나 함기율, 통기성으로 의복기후 형성에 영향을 미치나, 인체와 의복 사이의 공기층은 의복 제작자의 설계 방법에 의해 의복기후 형성에 영향을 줄 수 있다. 의복 기후는 의복내 공기층의 두께와 밀접한 관련성이 있으며 이는 의복 설계시 여유분의 크기 설정으로 조정할 수 있다. 지금까지의 연구들에 의하면 일정 수준까지 공기층의 두께가 증가하면 의복의 공기층의 총부피도 증가하며, 이에 따라 의복의 단열력이 증가한다고 보고되고 있다(전병익, 송민규, 1997; 송민규, 권명숙, 2008). 그러나 어느 한계 이상으로 증가하게 되면 공기층내의 대류현상에 의해 단열력이 감소하고, 주위의

\* Corresponding author: Lee, Yejin  
Tel: 042-821-6824, Fax: 042-821-8887  
E-mail: yejin@cnu.ac.kr

환경조건(온도, 풍속, 습도)에 의해서도 영향 받는다고 알려져 있다(송민규, 전병익, 1996; 홍성애, 1997).

현재 공기층의 두께와 단열력과 관련된성에 대한 연구들은 주로 피부모형이나 썬털 마네킨을 이용해 수행되어 왔다(Choi & Ko, 2007; Havenith *et al.*, 1990; McCullough & Hong, 1994). 이러한 기존 방법 중 썬털 마네킨을 이용한 방법은 총체적인 열손실에 관한 자료를 제공하고, 부위별 피부온 및 평균 피부온을 제공하는 장점이 있으나, 의복 외부의 표면온도는 제공하지 않기 때문에 소재나 의복의 성능을 보다 가시적으로 평가하는 데에는 한계가 있다. 현실적인 측면에서도 썬털 마네킨을 이용한 연구는 환경조건을 제어할 수 있는 인공기후실이 필요하며, 가격 또한 높아서 활용하기가 어려운 실정이다. 반면 가격이 비교적 저렴하여 많이 보급되어 있는 적외선 열화상 카메라는 체온을 유지하고 땀을 발산하는 인체가 착용한 의복 표면의 온도 분포를 가시적으로 쉽게 보여주기 때문에 단열력 연구에 활용 가능성이 높아지고 있다. 적외선 열화상 카메라는 피사체의 표면으로부터 복사되는 전자파의 일종인 적외선 파장 형태의 에너지를 검출, 피사체 표면 복사열의 강도를 측정하여 강도의 양에 따라 실시간으로 각각의 다른 색상으로 표현하여 주는 카메라로(이해동, 2007), 연소로 등 고온 영역을 측정할 수 있는 모델과 상온에서 수백도 사이의 저온 영역을 측정할 수 있는 모델로 구분할 수 있다. 이 장비의 장점은 비접촉 방식으로 온도 분포를 측정하여 온도 경향 분석이 가능하기 때문에 현재 주로 설비들의 결함을 찾아내는 재료의 열적 특성 평가, 보일러 내 열분포 특성 분석, 공정 관리, 건축물 단열 평가(김동욱 외, 2009; 남상진, 2009)등에 사용되고 있다. 그동안 주로 구조물, 건축물 또는 공정 기기 등의 비파괴 검사 용도로 많이 사용되어 왔던 열화상 카메라는 최근 인체를 대상으로 한 체열 측정에 활발히 사용되고 있으며 유방암 검진, 관절 부위의 근육 이상 검진, 특정 조건하에서의 인체의 반응 등 의료용으로 그 범위가 점점 넓어지고 있다(Ng, 2009; Jen-Hong & Ng, 2009; Caroline *et al.*, 2010; M. Özgün & Muhsin, 2009). 정덕운 외(2009) 등은 원통과 같이 측정부위가 곡면인 경우 2차원 평면과 달리 적외선 파장의 발산에 의한 검출 정도가 달라짐에 따라 발생할 수 있는 온도 오차에 대한 연구를 발표한 바도 있다.

그러나 현재 의복의 평가에서 적외선 열화상 카메라를 통한 영상이 의복 표면 온도 분포를 가시적으로 쉽게 보여주기 때문에 많이 활용되고 있기는 하나, 이를 좀 더

적극적으로, 정량적으로 활용하기 위한 노력은 상대적으로 미진하다. 이에 본 연구에서는 선행연구(이예진 외, 2002; Lee *et al.*, 2007)에서 사용된 조끼 형태의 의복을 대상으로 패턴 변화에 따른 의복의 부피를 변화시키면서 적외선 열화상 이미지를 촬영하여 실제 착의 상태에서의 의복표면 온도 분포에 어떤 현상이 일어나고 있는지를 정량적으로 분석하고, 이를 썬털 마네킨으로 실험한 단열력과 비교하였다.

기존의 썬모그래피 이미지는 원하는 점이나 사각형의 ROI(range of interest) 범위 안에서의 표면 온도 값이나 분포도만을 알 수 있을 뿐이기 때문에 본 연구에서는 외부의 환경온도를 배제하고 의복 자체 안에서 관심 있는 영역을 다양하게 추출하여 의복 자체 변인만을 정량적으로 분석해 보고자 하였다. 이를 통하여, 썬모그래피 이미지를 관련 연구에 보다 적극적으로 활용 가능한 가를 검토하는 동시에 의복 평가용 썬모그래피 이미지 프로세싱이나 소프트웨어 개발을 위한 기초 자료를 제공하는 데에 목적이 있다.

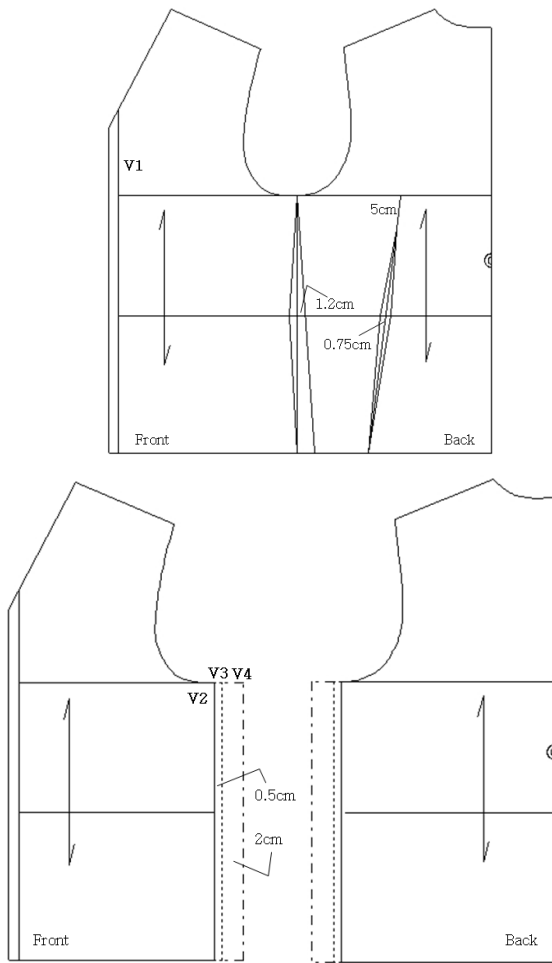
## II. 연구 방법

### 1. 실험 의복

실험 의복은 인체에 피트 되는 정도에 따른 단열력과 의복 표면 온도의 변화를 알아보기 위하여 여유분이 다르게 설계하여 제작하였다. 직물은 광목(무게: 303g/m<sup>2</sup>)을 사용하였으며 조끼 형태로 설계하였다.

남성 기본 패턴의 조끼(V2)를 기준으로 기본 패턴에서 옆선으로 2.4cm 줄이면서 뒤 중심에 1.5cm 다트를 준 조끼(V1), 기본 패턴에서 옆선 방향으로 0.5cm 여유분을 준 조끼(V3), 기본 패턴에서 옆선 방향으로 2cm 여유분을 준 조끼(V4)로 구성 하였으며, 여밈은 앞으로 하여 벨크로를 이용하였다.

이때 실험 의복의 여유분을 0.5cm에서 2cm로 변화시킨 이유는 의복내 공기층의 양이 어느 한계 이상으로 증가하게 되면 공기층내의 대류현상에 의해 단열력이 감소한다는 선행연구에 근거하여 이를 검증해 보고자 여유분 변인을 설정하였다. 패턴 설계시 사용된 치수는 가슴둘레 98cm, 엉덩이 둘레 95cm 이었고, [그림 1]에 여유분의 변화에 따른 조끼의 패턴 구성을 나타내었다.



[Fig. 1] 2D pattern Development of Experimental Clothing

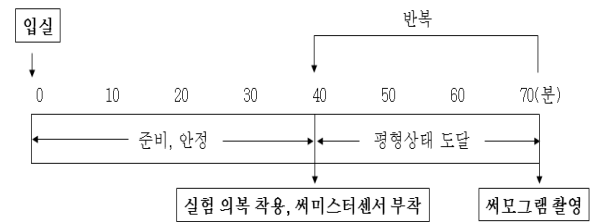
2. 써모그램 영상 촬영

실험 의복의 써모그램 영상을 얻기 위해 TVS-2000MK2 Series(Nippon Avionice Co., Ltd.)를 사용하였다. 피험자는 5명으로 20-26세의 남성이었고, 피험자들의 신체 사이즈는 <표 1>과 같다.

<Table 1> Bust, Waist, and Hip Girth Measurements of Five Subjects

	가슴둘레(cm)	허리둘레(cm)	엉덩이둘레(cm)
피험자 1	97	81	94
피험자 2	98	80	95
피험자 3	96	82	94
피험자 4	97	79	96
피험자 5	98	80	95
평균	97	80	95

실험은 [그림 2]와 같이 먼저 피험자를 20℃, 65%RH로 조절된 인공 기후실에 입실시키고, 40분 동안 안정시켰다. 그리고 무작위로 선택된 의복을 착용시킨 후 써미스터 센서를 상체 4점(왼쪽 가슴, 오른쪽 배, 오른쪽 견갑 하각, 왼쪽 허리 뒤)에 해당하는 의복 표면 부위에 부착한 후 30분 동안 피험자가 평형 상태에 도달하도록 하였다. 최종적으로 피험자의 앞과 뒤에서 열화상 카메라를 이용하여 써모그램 영상을 촬영하였다.



[Fig. 2] Protocol Procedure of Experimental Test

3. 의복의 단열력 측정

단열력 측정은 써멀 마네킨(한국섬유개발연구원)을 사용하였다. 이 마네킨은 ASTM F 1291-90에 의거하여 만들어진 것으로 15부분으로 나누어져 있고, 각 부위별로 전력이 공급되며 독립적으로 온도가 제어 가능하다. 실험은 써모그램 촬영 환경과 동일한 인공 기후실에서 김명주, 최정화(1997)가 제시한 한국 남성 평균 피부온을 써멀 마네킨 내부에 설정하고 피부온이 일정하게 유지되도록 전력을 공급시킨 후, 실험하고자 하는 의복을 입히고 1분 간격으로 30분간 마네킨의 피부온, 기온, 소비된 전력량 등을 기록하였다.

4. 써미스터 센서를 이용한 의복의 표면온도 측정

본 연구를 통해 도출한 써모그램의 분석 결과를 검증하기 위하여 의복 표면에 써미스터 센서(Thermo Metrics., Inc.)를 부착하고 의복 표면 온도를 측정하였다. 써미스터 센서는 의복 표면 중 4 부위에 부착하였고 (식 1)를 이용해 의복표면 온도의 대표값을 구하였다.

(식 1)

$$T_{cl} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n t_{cl,i} (n=4)$$

$T_{cl}$  : 써미스터를 이용한 의복표면온도의 대표값

$t_{cl,i}$  : 써미스터를 이용한  $i$ 위치에서의 의복표면온도

$i=1$  : 왼쪽 앞가슴(left upper chest)

$i=2$  : 오른쪽 배(right abdomen)

$i=3$  : 오른쪽 견갑 하각(right scapula)

$i=4$  : 왼쪽 허리 뒤(left paravertebral) (단위 : °C)

4 부위를 선정하여 평균 의복 표면 온도를 산출한 이유는 의복들 간의 차이를 좀 더 정확하게 비교하기 위해서였다.

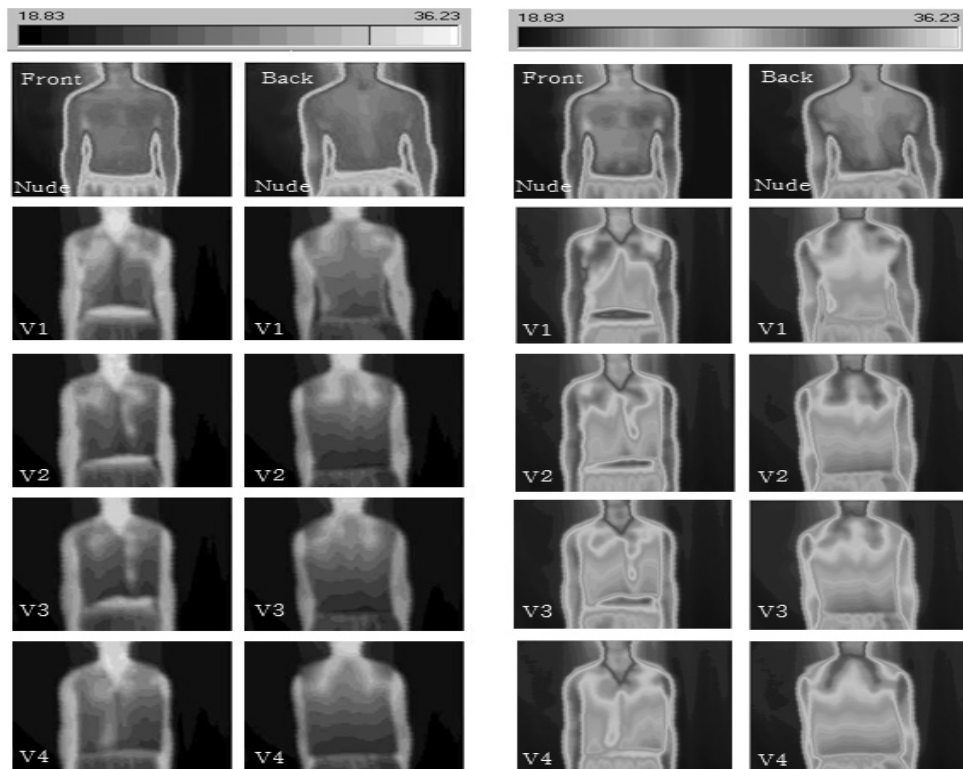
보통 남성의 경우 토르소는 앞과 뒤의 면적이 유사하고, 피부온 분포도도 비교적 균일하기 때문에 분할하지 않고 한 부위로 가정하고 실험하는 경우가 대부분이다.

그러나 본 실험에서는 여유분이 다른 실험 의복을 인체에 착용시켰을 때 실험 의복에 따라 인체에 밀착되는 정도가 상·하·좌·우로 달라졌기 때문에 이를 반영하기 위해 앞에서는 왼쪽 가슴과 오른쪽 배 부위, 뒤에서는 오른쪽 견갑과 왼쪽 허리 부위, 총 4부위를 선정하여 평균 의복 표면 온도 산출식에 이용하였다.

### Ⅲ. 결과 및 해석

#### 1. 써모그램 분석

[그림 3]은 실험에 참여한 한 명의 피험자의 실험 의복 착의전과 서로 다른 여유분을 가지는 조끼를 착용하였을 때 의복 표면 온도 분포를 측정된 결과를 나타낸 그림이다. 다른 4명의 피험자들도 같은 양상을 나타내었다. 그림에서 보면 조끼의 종류에 따라 온도 분포가 다르게 나타나는 형상이 관찰 가능하다. 특히 의복을 지지하는 어깨 부위에서 의복과 인체가 밀착되어 체온이 외부로 쉽게 방산되는 것을 알아 볼 수 있다. 가슴 상부를 관찰해 보면, V1의 고온부분 면적이 가장 크다. 즉, 표면 온도가 높다는 것은 V1을 착용한 인체로부터 열이 많이 빼앗기고 있는 결과로 단열력이 낮은 것이다. V2, V3로 변환에 따라 고온 부위의 면적이 감소하다가 V4에서는 다시 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 앞과 뒤의 영상을 비교해 보면 조끼 앞면의 경우 의복 종류에 따라 온도 분포 형상이 크게 달라지나 뒷면에서는 몸에 꼭 맞는 V1을 제외하고 V2, V3, V4간 큰 차이가 없는 현상을 관찰 할 수 있다.



[Fig. 3] Thermogram Image of a Male Subject

즉 [그림 1]의 패턴에서 인체의 앞·뒤에 같은 여유량을 주어도 착용하였을 때는 앞·뒤의 여유량의 분포가 변화하여 이로 인해 단열력이 달라짐을 알 수 있다. 그러나 써모그램을 활용할 때의 단점은 국소부위의 온도 값은 마우스를 이용하면 알 수 있지만, 전체적인 표면의 대표값은 제공되지 않는다는 점이다.

이에 본 연구에서는 얻어진 영상을 IR Image Analyzing Software를 통해 그레이스케일로 전환하는 이미지 프로세싱 작업을 거쳐 Inspector 2.2(Matrox Electronic System, Ltd.)를 이용해 분석하였다. [그림 4]는 실험을 통해 측정된 써모그램의 영상과 이미지 해석을 위한 그레이스케일 전환, 조끼 부분 추출 및 분석의 전 과정을 도시한 것이다. 조끼 부분을 추출한 것은 써모그램에서의 온도 분석 프로그램이 일반적으로 환경 온도를 포함하고 있거나 ROI(range of interest)를 설정하여도 사각형으로 조절하게 되어 있어서 어깨부분과 같이 복잡한 형상을 포함하고 있는 의복의 경우 의복 자체만의 성능을 온전히 비교하는데 방해가 되기 때문이었다. 이에 따라 조끼와 환경의 경계면에서도 외부 환경 부분을 배제한 조끼 내부 픽셀만을 선택하여 분석하였다.

분석 영역은 써모그램상의 의복의 최고 표면온도와 최저 표면 온도(20~31℃) 사이였으며 이 영역 안에서 1℃ 간격으로 빈도수를 구하여 전체 누적빈도에 대한 영역별 상대값을 추출하였다. 이 개념은 평균 피부온 측정시 전신에 분포하는 무수한 점들을 모두 측정하는 것은 불가능하기 때문에 전신을 몇몇의 구분으로 분할하고 각 구분마다의 대표되는 온도를 측정하여 구분된 체표면적의 전체표면적에 대한 비율을 곱한 후 이 모든 값을 더해서 평균 피부온을 산출하는(田村照子, 1993/1996) 방법을 다음과 같이 도입한 것이다.

(식 2)

온도	20	21	22	...	30	31
픽셀 수	a	b	...			k

$$M = a + b + \dots + k$$

$$a/M \times 100 = A$$

$$b/M \times 100 = B$$

$$\vdots$$

$$k/M \times 100 = K$$

A, B, ... K : 영역별 상대값 (%)

(식 2)의 개념을 바탕으로 본 연구에서는 다음의 (식 3)를 도출하였다. 이는 써모그램에서 구한 각각의 온도의 중앙값에 상대적 빈도값을 곱하여 각각의 실험 의복의 대표값을 구하는 방법이다.

(식 3)

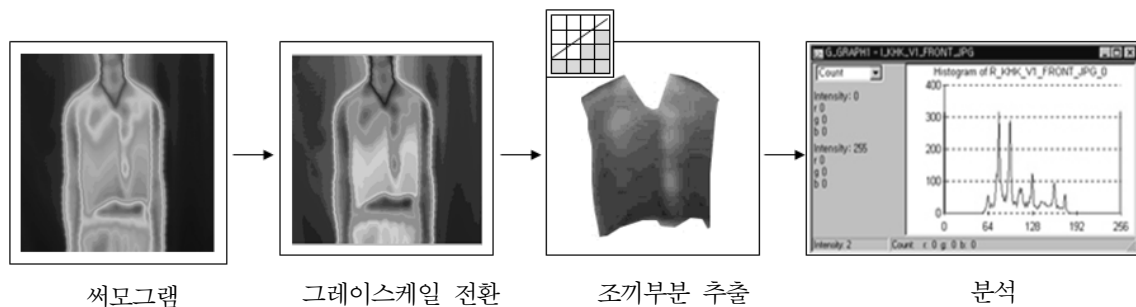
$$T_{tg} = \frac{1}{100} \sum_{i=0}^n x_i y_i$$

$T_{tg}$  : 써모그램을 이용한 의복표면온도의 대표값(℃)

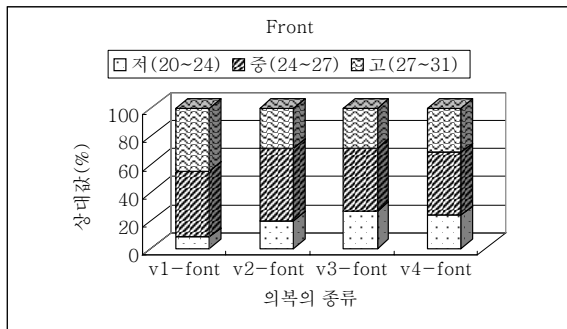
$x_i$  : 온도 영역별 중앙값(℃)

$y_i$  : 전체 온도영역 누적 빈도에 대한 해당 온도 영역의 빈도수 비율(%)

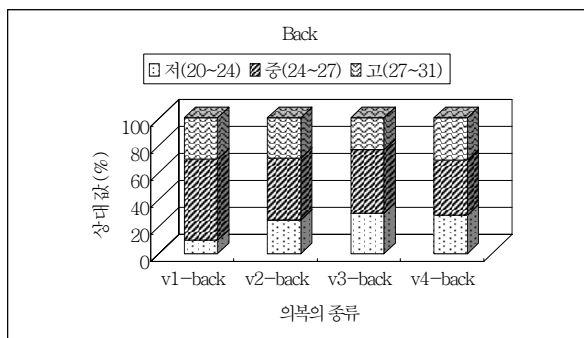
(식 3)를 사용하여 5명의 피험자의 열상도를 저온(20~24℃), 중온(24~27℃), 고온(27~31℃)으로 나누어 픽셀 값의 평균 누적치로 비교하였고, 그 결과를 [그림 5]에 나타내었다. 그림을 살펴보면 의복의 표면온도 중 고온부분이 V1에서 가장 크고, V2, V3는 작아지다가 V4에서 다시 커지고 있음을 알 수 있다. 반면에 저온부분은 V1에서 가장 작고, V2, V3까지는 점점 커지다가 V4에서 감소하는 것을 알 수 있다.



[Fig. 4] Image Processing Process for Calculating Clothing Temperature



[Fig. 5] Temperature Distribution of Thermogram Image(Front)



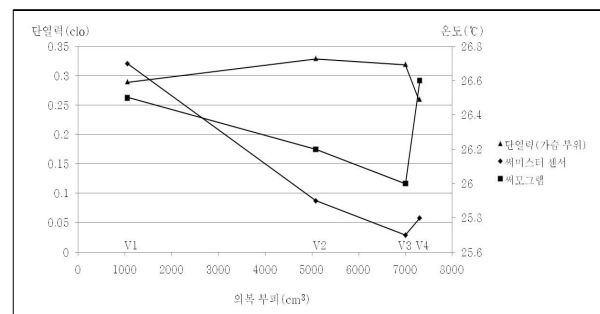
[Fig. 6] Temperature Distribution of Thermogram Image(Back)

[그림 6]은 의복의 뒷면의 온도분포를 앞면과 마찬가지로의 방법으로 세 영역으로 나누어 도시한 것인데 의복의 뒷면에서도 앞면과 비슷한 경향을 관찰 할 수 있으나 앞면의 표면온도 분포에 비해 그 차이가 뚜렷하지 않음을 알 수 있다. 이는 실험 의복이 기본 패턴의 옆선에서 1.2cm 줄이거나, 0.5cm, 2cm 늘려서 설계하였으나, 이를 제작해서 인체에 착용시켰을 때 의복의 무게가 뒤에 실리기 때문에 뒤에는 여유분이 작아지고 앞에서 좀 더 여유분이 생겼기 때문이다. 즉, 2차원 패턴의 앞과 뒤에서 모두 같게 변화가 되도록 설계를 하였으나 3차원 인체에 입혀졌을 때는 앞면에서 더 많은 공간상의 변화가 발생했기 때문이다.

## 2. 의복 표면 온도 분포와 의복 단열력의 비교

[그림 7]은 [그림 4]의 써모그램 영상에서 (식 2)를 이용하여 구한 의복 표면 온도의 대표값( $T_{lg}$ )과 써미스터 센서를 이용하여 측정된 의복 표면 온도 대표값( $T_c$ ), 그리

고 써멀 마네킨을 이용해 측정된 단열력 값을 실험 의복 각각의 종류에 대하여 도시한 것이다. 먼저 두 가지 방법(써모그램, 써미스터 센서)에 의해 측정된 의복 표면 온도 값은 실험 의복이 V1에서 V4로 변함에 따라 작아졌다가 다시 커지는 경향을 보이고 있다. 반면 써멀 마네킨을 이용해 측정된 단열력의 결과는 실험 의복의 여유분이 커짐에 따라 의복의 단열력이 증가하다가 여유분이 너무 많아지면 오히려 단열력이 저하되는 결과를 보여준다. 여기서 제시된 보온성 값은  $I_t$ (total insulation)에서  $I_a$ (air layer insulation; 0.260 clo)를 뺀  $I_{cle}$ (effective insulation)이다.



[Fig. 7] Representative Temperature Obtained by Thermogram Image Compared with Thermo-related Values Measured by Thermistor Sensor and Thermal Manikin

좀 더 상세히 표면 온도 분포와 단열력의 관계를 비교해 보면 써미스터 센서를 이용하여 측정된 의복 표면 온도 값은 V1에서 V3로 갈수록 값이 작아지다가 V4에서 약간 증가하는데 반해 써모그램 영상으로부터 계산한 의복 표면 온도 값은 V1에서 V3로 갈수록 값이 작아지다가 V4에서 다시 V1값보다 더 증가한다. 그리고 써멀 마네킨으로부터 측정된 단열력 값은 V1에서 V3로 갈수록 커지다가 V4에서 V1보다 더 작아지는 결과를 보인다. 그러므로 의복 표면 온도를 4부위에서 측정하여 4등분하여 평균값을 낸 값보다 전체 열상도를 평균 피부온도를 산출하는 방법으로 의복의 표면 온도를 산출한 방법이 써멀 마네킨을 활용한 단열력의 결과와 더욱 일치하는 것을 알 수 있었다.

또한 패턴에 여유분을 계속 증가시켜 의복 부피가 커지면, 단열력이 계속 커지는 것이 아니고 단열력의 변화에 최대치가 있어 단열 효과가 높은 최적 공기층이 존재함을 써멀 마네킨 실험은 물론 인체 실험에서도 알 수 있었다.

IV. 요약 및 결론

참 고 문 헌

본 연구에서는 의복의 여유분 변화가 의복의 단열력에 미치는 영향을 써멀 마네킨을 이용한 단열력 측정과 착의 상태의 인체에 대한 적외선 열화상 카메라를 이용한 의복 표면 온도 분석을 통하여 둘 사이의 관계를 파악하였다. 두 가지 실험에서 모두 패턴의 여유분을 달리하여 의복의 부피를 점차 증가시킨 4개의 조끼를 대상으로 하였다. 여유분의 변화에 따른 의복내 공기층 변화가 써모그램의 온도 분포에 미치는 영향을 보다 정확하면서도 실용적으로 측정하기 위해 3D 이미징 기법과 평균피부온 산출개념을 적용하여 의복 자체의 대표 표면 온도를 산출하였고, 이를 써미스터 센서를 통한 직접 온도 측정 및 써멀 마네킨을 통한 단열력 측정 값과 비교하였다.

그 결과 써모그램 이미지를 이용한 의복의 평균 표면 온도는 써미스터 센서를 활용한 4부위의 단순 평균 온도 값보다 패턴의 여유량이 커짐에 따라 대류현상이 일어나고 의복의 단열력이 떨어지는 현상을 더 정확히 반영하였고, 이것은 써멀 마네킨을 활용한 총체적인 단열력의 변화와도 잘 부합하였다. 또한 써모그램은 인체 실험이 가능하고, 세부적인 의복의 방열 분포를 알 수 있어 의복내에서의 열손실 현상 관찰이 용이하며, 인체와 의복의 접촉부위, 양에 대한 분포를 가시적으로 확인할 수 있는 장점이 있었다.

특히, 의복 시스템의 단열력을 써멀마네킨을 통해 'clo' 값으로 대변하는 점을 고려해 볼 때 의복의 표면온도들을 논리적으로 하나의 대표온도로 산출하는 방법을 고안함으로써 의복의 보온성 평가를 정량적으로 비교하는 것이 가능해졌고 써모그램을 이용한 의복의 평가도 간단하게 정량화시킬 수 있었다.

또한 표면 대표온도는 의복과 환경간의 열전달 계산 및 모델링 시 필수적인 값으로 의복 자체의 성능 평가시 보다 유용한 요소인데 본 연구를 통해 이도 가능해졌다. 이를 통하여 지속적으로 발전하고 있는 써모그래피를 의복에 적극 활용하기 위하여 대상 의복을 배경에서 분리해 낸 후 대표 표면 온도를 측정하거나 온도 분포도를 분석할 수 있는 프로그램 개발이 필요한 것을 알 수 있었다.

**주제어:** 열적외선 카메라, 의복표면온도, 보온성, 패턴 여유분, 써모그램

김동욱, 임대준, 박현식, 김종문. (2009). 정산 성인의 음낭에 시행한 적외선 체열촬영. **대한체열학회지**, 9(1), 27-31.

김명주, 최정화. (1997). 성별·연령별로 본 한국인의 월별 피부온. **한국의류학회지**, 21(2), 314-324.

남상건. (2009). 관심 영역의 평균치 비교를 위한 통계적 고려사항. **대한체열학회지**, 9(1), 5-9.

송민규, 권명숙. (2008). 풍속 존재시 쾌적보온성 의복의 온열특성에 관한 연구. **복식**, 58(9), 29-37.

송민규, 전병익. (1996). 풍속변화에 따른 순모의류의 온열특성. **한국의류학회지**, 22(5), 565-574.

이예진, 홍경희, 김명수, 이희란. (2002). 3차원 측정 기술을 이용한 의복내 공기층 분석. **한국의류산업학회 추계학술대회 자료집**, 122-125.

이해동. (2007). 적외선 열화상 카메라를 이용한 열 측정 이론. **소음·진동**, 17(3), 31-34.

전병익, 송민규. (1997). 인공기후실을 이용한 의류직물의 온열쾌적성에 관한 연구. 한국섬유개발원 연구 보고서.

정덕운, 김경석, 정현철, 김동수, 양성모. (2009). 열화상 카메라를 이용한 원통형 물체의 온도측정. **한국정밀공학회 춘계학술대회**, 525-526.

홍성애. (1997). 동적인 상태에서 실내복의 단열력에 영향을 미치는 직물 특성들. **한국생활환경학회지**, 4(2), 45-65.

田村照子. (1993). 김은애, 박순자, 율김. (1996). **기초피복위생학**. 경춘사.

Choi, J., & Ko, E. (2007). Relationship between thermal insulation and the combinations of korean women clothing by season using a thermal manikin. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 31(6), 966-973.

Carolyn, H., Christian, R., & Kurt, A. (2010). An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in austria. *Sensors*, 10, 4700-4715.

Ng, E. Y. K. (2009). A review of thermography as promising non-intrusive detection modality for breast tumor. *International Journal of Thermal*

- Science*, 48(5), 849-859.
- Havenith, G., Heus, R., & Lotens, W. A. (1990). Clothing ventilation vapour resistance and permeability index: change due to posture, movement, and wind. *Ergonomics*, 33(8), 989-1005.
- Jen-Hong, T., & Ng, E. Y. K. (2009). Infrared thermography on ocular surface temperature: A review. *Infrared Physics & Technology*, 52, 97-108.
- Lee, Y., Hong, K., & Hong, S. A. (2007). 3D quantification of microclimate volume in layered clothing for the prediction of clothing insulation. *Applied Ergonomics*, 38(3), 349-355.
- McCullough, E. A., & Hong, S. (1994). Database for determining the decrease in clothing insulation due to body motion. *ASHRAE Transaction*, 100(1), 765-775.
- M, Özgün, K., & Muhsin, K. (2009). The usage of IR thermography for the temperature measurements inside an automobile cabin. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(8), 872-877.

접 수 일 : 2010. 08. 20.  
수정완료일 : 2010. 11. 23.  
게재확정일 : 2010. 11. 26.