

羊毛服地の初期熱流束最大値(q_{max})에 관한研究(I)

— 熱傳導度, 熱通過性, 表面氣孔度와의 相關性を 中心으로 —

崔 錫 哲 · 鄭 珍 順 · 千 泰 一*

釜山大學校 家政大學 衣類學科

*東義大學校 家政大學衣類學科

A Study on the Initial Maximum Value of Heat Flux, q_{max} of Wool Fabrics (Part I)

— The correlation between q_{max} and thermal conductivity, thermal transmittance,
surface air cavity of wool fabrics —

Suk Chul Choi, Jin Soun Jung and Tae il Chun*

Department of Textiles and Clothings, Pusan National University, Pusan 609-714, Korea

*Department of Textiles and Clothings, Dong Eui University, Pusan 614-714, Korea

(1991. 7. 9 접수)

Abstract

In this study, we discussed about the factors effected upon the initial maximum value of heat flux (q_{max}). Thermal conductivity, thermal transmittance and surface air cavity of wool fabrics were examind and their correlation to the q_{max} was studied. The factors were examined which had an effect upon the q_{max} of an objective measure of warm/cool feeling. It was simulated by Thermo-Labo apparatuses. We selected twenty sorts of pure wool woven fabrics for men's fall-winter cloth (all Wool). The conclusions are as follows;

1. There was not a certain correlation between the q_{max} and the thermal conductivity of wool fabric.
2. When the fabrics touched on the copper plates, the thickness of wool fabric had a negative correlation to the q_{max} . The thermal transmittance had a positive correlation. Both of them had a good correlation to the q_{max} .
3. As a major factor, the thickness of fabric effected on the q_{max} .

I. 서 론

의복 착용시 인체 각 부위와의 접촉으로 느껴지는 접촉냉온감은 태와 함께 착용감이나 쾌적성에 크게 영향을

미친다. 川端등^{1,2)}은 접촉 냉온감은 布가 갖는 열적 성능의 하나로서 체온이 布에 흡수되는 열이동 현상과 밀접한 관계가 있으며, 유한 열량을 가진 열원판 접촉시의 q_{max} 값을 냉온감의 척도로 보고한 바 있다. 米田등^{3,4)}은 과도적 열전도 측정장치인 Thermo-Labo에 의해 얻어

지는 초기열유속 최대값(q_{max})에 관해 이론적 해석을 실시하고 q_{max} 값이 냉온감의 예측치로서 타당하다는 것을 증명한 바 있다. 접촉냉온감의 객관적인 척도가 되는 q_{max} 값은 布에로의 순간적인 열흡수량으로 포의 열전도 특성 및 포의 표면상태에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다⁷⁾. 近田등⁵⁾은 포의 표면에 존재하는 毛羽라든지 포의 이랑 등에 의해 포와 접촉 평면 사이에 얇은 공기층이 존재하고 있고 이 공기층이 열통과를 방해하여 결과적으로 냉온감에 영향을 미친다고 보고하였으며, 川端 등⁶⁾은 포는 기공도가 높은 표면층과 포의 실질부로 된 내부층으로 구성된 二層구조로 되어 있으며 접촉 직후의 열류량, 즉 q_{max} 값은 상층부의 열특성에 의존한다고 보고한 바 있다.

위와 같은 사실에 의해 본 실험에서는 국내 시판중인 남성용 추동복지 20여종을 선택하여 접촉냉온감의 척도인 q_{max} 값을 측정하고, 이것에 영향을 미치는 요인으로 포의 열전도 특성과 표면 기공도를 들고, 이들과 q_{max} 와

의 상관관계를 검토하였다. 접촉냉온감으로서 피복재료의 쾌적성과의 관계를 설정하고 이들의 상관관계를 조사함으로써 피복재료의 선택시 도움을 주고자 하였다.

II. 실험

2.1. 시 료

시료는 국내 시판중인 남성용 추동복지(純毛) 20종을 선택하였으며, 그 재료 특성은 Table 1에 나타내었다.

2.2. 측정 방법

2.2.1 q_{max} 의 측정

布의 q_{max} 값 측정은 과도적 열전도 측정장치인 Thermo-Labo를 이용하였으며, Fig. 1에 그 주요부의 block diagram을 나타내었다.

Fig. 1에서 BT-box는 온도를 제어할 열판을 가지고 있고, q_{max} 값을 측정할 때 T-box에 열량을 공급하는 열

Table 1. Specification of wool fabric samples

Sample No.	Fabric Structure	Fabric counts		Yarn No (tex)		Thickness*(mm)	Weight (mg/cm ²)
		warps/cm	wefts/cm	warp	weft		
1	T 2/2	33.1	29.1	32.4	33.0	0.613	22.843
2	T 2/2	29.5	29.5	34.5	30.5	0.660	26.246
3	T 2/2	33.9	28.0	29.8	30.0	0.606	22.604
4	T 2/2	33.9	29.9	32.4	32.6	0.605	24.381
5	T 4/1	38.2	32.3	27.8	27.6	0.583	24.144
6	T 22/25	46.5	28.7	32.9	31.8	0.886	27.742
7	T 2/2	40.9	35.0	32.1	32.7	0.668	26.830
8	T 2/2	33.5	29.1	32.3	29.8	0.473	21.732
9	T 2/2	27.6	22.8	48.1	46.5	0.532	25.856
10	T 2/2	33.9	31.1	29.5	32.5	0.476	22.724
11	T 2/2	44.1	24.4	32.1	32.1	0.610	27.465
12	T 3311/1232	28.3	24.4	49.1	52.0	0.680	27.413
13	T 2/1	35.8	26.0	29.2	33.1	0.418	19.737
14	T 2/1	30.0	25.6	30.3	32.7	0.423	19.646
15	T 3/1	44.1	28.7	32.6	21.7	0.512	24.524
16	T 3/1	34.6	25.6	30.7	35.7	0.473	22.859
17	T 3/1	46.1	26.4	32.4	33.6	0.516	25.728
18	T 311/111	28.0	24.4	32.7	31.4	0.368	18.607
19	T 2/1	33.1	26.4	38.0	37.8	0.663	25.912
20	T 2/2	32.7	28.3	43.2	33.0	0.582	23.269

* Thickness at 12.5 g/cm²

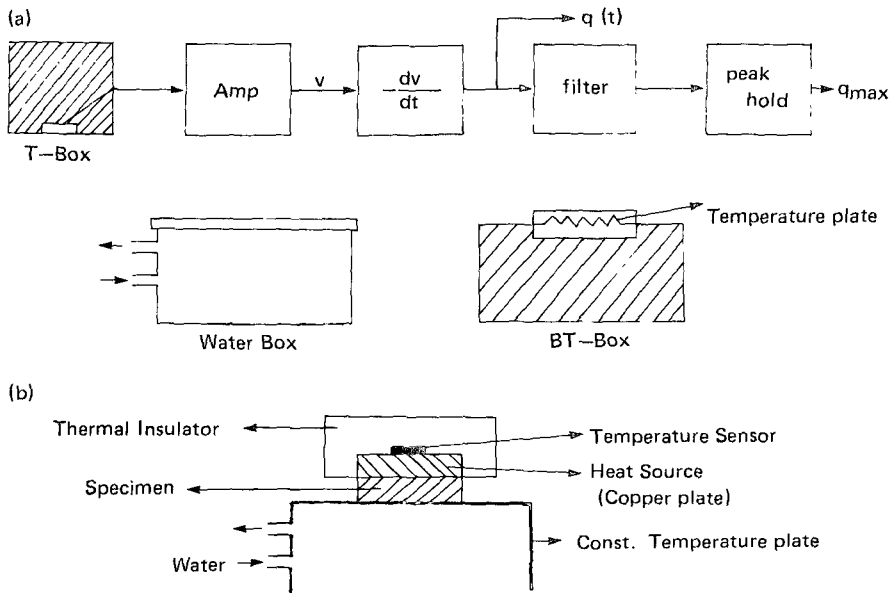


Fig. 1. A device for measuring transient heat conduction.
 a) Block diagram of Thermo-Labo system.
 b) A cross section of measurement parts.

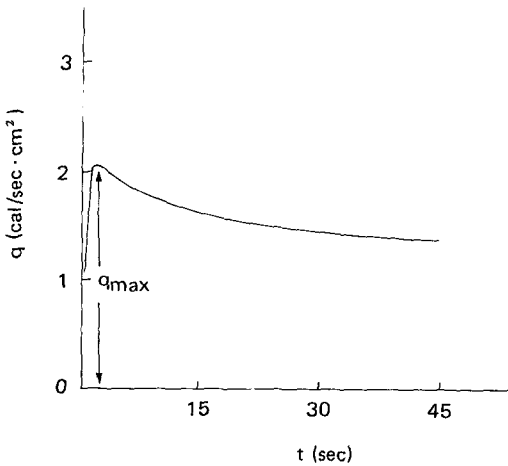


Fig. 2. The value of heat flux change with time.

원으로 사용된다. water box는 定溫 銅板으로 그 내부에 定溫의 물을 흐르게 하여 열용량을 무한대로 하고 있다. 열유속 $q(t)$ 는 온도 T_1 으로 제어한 BT-box의 열판 위에 銅板(열원판)을 얹어 열을 흡수시킨 후 이것을 온도 T_2 ($T_2 < T_1$, $T_1 - T_2 = T$)의 시료 표면에 접촉시켜 그 열원판의 온도강하를 시간 t 로 미분하여 구하였다.

또한 이 열유속 $q(t)$ 를 filter에 통과시키면 $q(t)$ 는 Fig. 2와 같이 최대 peak를 나타내게 되는데 이 peak치를 초기 열유속 최대값 q_{max} 로 정의하고 냉온감에 관계하는 척도로 하였다.

본 실험의 측정에서는 water box속에 실온(20°C)의 물을 순환시켜서 이 위에 놓인 시료 표면의 온도를 실온과 동일하게 유지하도록 하였다. 환경온은 20°C 로 유지하고, 피부온과의 차를 고려하여 열원과 시료의 초기온도차를 10°C 로 하였다. 시료에 대한 열원판의 접촉압은 12.5 g/cm^3 로 일정하게 하였으며, 각 시료에 대해서 q_{max} 값의 측정을 5회 실시하고 그 평균값을 구하였다.

III. 실험결과 및 고찰

3.1. q_{max} 값에 대한 열전도 특성의 영향

본 실험에서 사용한 시료는 純毛 素材로서 섬유열전도율은 거의 동일하다고 생각되지만 직물구조, 실의 형태나 공기등의 영향에 의해 시료의 열전도 특성은 다르므로 전술한 Thermo-Labo 측정장치를 이용하여 시료의 열전도특성 및 초기 열유속 최대값을 측정하고 이들간의 관계를 살펴보았다. 열전도율 λ 와 열통과율 K 는

정상상태에서의 열전도율 측정방법⁸⁾을 이용하여 구하였다.

$$\lambda = Q_s \cdot d / A \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$K = \lambda / d \quad (2)$$

여기에서, λ : 열전도율(W/mK), A: 시료의 면적(5×5 cm²), d: 하중 5 gr/cm²에서의 시료 두께(cm), ΔT : 시료 양면의 온도차(°C), Q_s: 온도차를 일정값 ΔT 로 유지하기 위해 필요한 열량(cal/sec)이다.

Table 2는 시료의 열전도 특성과 q_{max}값을 나타낸 것이고, Table 3은 열전도 특성과 q_{max}값 사이에 상관인

Table 2. Thermal properties of wool fabric samples

Sample No.	Thermal conductivity (W/m·K)	Thermal transmittance (W/m ² ·K)	q _{max} (KW/m ²)
1	0.07528	122.81	1.432
2	0.07366	111.61	1.420
3	0.07248	119.60	1.520
4	0.07139	118.00	1.550
5	0.07636	130.81	1.688
6	0.07726	87.20	1.210
7	0.07535	112.80	1.464
8	0.07454	157.59	1.988
9	0.06597	124.00	1.746
10	0.07844	164.79	2.098
11	0.07393	121.20	1.570
12	0.07262	106.79	1.620
13	0.07039	168.40	2.052
14	0.07248	172.20	2.084
15	0.07660	149.61	1.948
16	0.06906	146.00	1.932
17	0.06502	126.01	1.772
18	0.06506	176.79	2.154
19	0.06975	105.20	1.502
20	0.07194	123.61	1.688

Table 3. Correlation coefficient between q_{max} and thermal properties, thickness of wool fabrics

Property	Correlation coefficient
Thickness at the load 12.5 g/m ²	-0.931
Thermal conductivity	-0.258
Thermal transmittance	0.958

있는지를 알아보기 위해 상관 계수를 나타낸 것이다. Table 3에서 볼 수 있는 바와 같이 시료의 열전도율과 q_{max}값과의 사이에는 거의 상관관계가 없었고, 열원판과 시료가 접촉 했을때의 시료의 두께(하중 12.5 g/cm² 하에서의 두께) 및 열통과율과 q_{max}값과의 사이에는 각각 높은 負, 正의 상관관계를 보였다. 川端등¹⁾에 의하면 열전도율이 대폭 다른 물질간에서는 열전도율과 q_{max}값과의 사이에 극히 높은 관계를 보이지만 機織, 布와 같이 비교적 유사한 열전도율과 q_{max}값과의 상관성은 식(2)에서도 나타나듯이 열통과율이 시료의 두께와 관계하고 있기 때문에 결국 열통과율과 q_{max}값과는 상관 발생이 된다고 보고하였다. 이와 같은 사실에 의하면 본 실험에서 얻어진 열통과율과 q_{max}값 사이의 높은 正 상관은 결과적으로 열원판과 시료가 접촉했을 때의 두께와 q_{max}값과의 높은 負의 상관에 의한 것이라고 할 수 있을 것이다. 이것에 의해 열원판과 시료가 접촉 했을 때의 열통과율은 그 두께가 두꺼울 수록 작아져서 결과적으로 q_{max}값이 작아지는 경향이 인정된다.

3.2 q_{max}값에 대한 표면기공도의 영향

시료 布는 실제 布 두께에 대해 그 양측에 얇은 공기층을 가지고 있다. Fig. 3을 보면 열원판과 시료, 定溫銅板과 시료 사이에 기공(표면 기공)이 존재하고 있다.

이 표면기공의 多小가 q_{max} 값에 영향을 미치는 가에 대해 검토하였다.

기공도는 다음 방법⁹⁾에 의해 구하였다.

$$\text{기공도}(\%) = (1 - W / \rho A L) \times 100 \quad (3)$$

여기서, A: 시료의 면적(cm²), W: 시료의 무게(g), L: 하중 12.5 g/cm²에서의 시료의 두께(cm), ρ : 섬유 의 밀도(g/cm³) 본 실험에서는 양모 섬유의 밀도 1.32 g/cm³를 취하였다.

$$\text{고유기공도}(\%)^{9)} = 1 - \text{cover factor}$$

$$\times \frac{t_1 + t_2}{[(D_1/2)^2 + (D_2/2)^2] \times 10^3} \dots \dots (4)$$

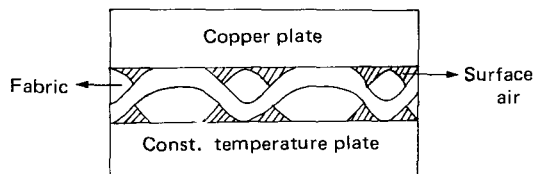


Fig. 3. The surface air cavity between wool fabric and measurement plates.

Table 4. Characteristics of wool fabric samples

Samples No.	Air Cavity (%)	Intrinsic Air Cavity (%)	Surface Air Cavity (%)
1	71.8	49	22.8
2	69.9	50.4	19.5
3	71.7	49.9	21.8
4	69.5	48.6	20.9
5	68.6	47.9	20.7
6	76.3	43.6	32.7
7	69.6	45.7	23.9
8	65.2	49.3	15.9
9	63.2	49.2	14
10	63.8	58.3	5.5
11	69.6	39.6	30
12	69.5	48	21.5
13	64.2	49.5	14.7
14	64.8	52	12.8
15	63.7	44.2	19.5
16	63.4	49.5	13.9
17	62.2	43.6	18.6
18	61.7	53.1	8.6
19	70.4	48.1	22.3
20	69.7	47.3	22.4

Table 5. Correlation coefficient between q_{max} and surface air cavity of wool fabrics

Property	Correlation coefficient
Surface air cavity	-0.851

여기서, 고유기공도는 직물에서 공기가 차지하는 비율을 나타내며, t_1 , t_2 경·위사의 변수(tex), D_1 , D_2 는 경·위사의 겉보기 직경을 나타낸다.

따라서 표면기공도는 아래의 (5)식과 같이 구해진다.

$$\text{표면기공도}(\%) = \text{기공도} - \text{고유기공도} - (5)$$

위의 식에서 구한 기공도, 고유기공도, 표면 기공도를 Table 4에 나타내었으며 Table 5는 표면기공도와 q_{max} 값과의 상관계수를 나타낸 것이다.

Table 5에서 볼 수 있는 바와 같이 표면기공도와 q_{max} 값 사이에는 높은 負의 상관을 나타내었다. 이것에 의해 표면기공도가 클수록 q_{max} 값이 작아지는 경향이 인정되었지만, 이들간의 상관계수는 앞서 서술한 열원판 접촉시의 시료의 두께와 q_{max} 값과의 상관계수보다 낮았다.

따라서 열원판과 시료가 접촉했을 때의 시료의 q_{max} 값은 시료의 표면 기공도의 영향을 받지만 이것보다는 두께에 의한 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 그러므로 q_{max} 값에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 접촉시 시료의 두께인 것으로 인정된다.

IV. 결 론

국내에서 시판되고 있는 남성용 순모 추동복지 20종을 선택하여 과도적 열전도장치인 Thermo-Labo에 의해 초기 열유속 최대값(q_{max})를 얻고 이것에 영향을 미치는 요인으로서 열전도 특성인 열전도율, 열통과율과 표면 기공도와의 관계를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 시료의 열전도율과 q_{max} 값과의 사이에는 거의 상관관계가 없었고, 열원판과 시료가 접촉 했을때의 시료의 두께(하중 12.5 g/cm^2 하에서의 두께) 및 열 통과율과 q_{max} 값과의 사이에는 각각 높은 負, 正의 상관관계를 보였다.

2) 표면기공도가 클수록 q_{max} 값이 작아지는 경향이 인정되었지만, 이들간의 상관계수는 앞서 서술한 열원판 접촉시의 시료의 두께와 q_{max} 값과의 상관계수보다 낮았다. 따라서 열원판과 시료가 접촉했을 때의 시료의 q_{max} 값은 시료의 표면 기공도의 영향을 받지만 이것보다는 접촉시 시료의 두께에 의한 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 그러므로 q_{max} 값에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 접촉시 시료의 두께인 것으로 인정된다.

謝辭: 본 연구에 많은 도움을 주신 (주)코오롱 기술연구소 관계자 여러분과 담당 연구원들께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 川端秀雄, 赤木陽子, 衣服用布の冷温感と熱吸收特性との關係について, 纖維機械學會誌, 30(1), pp. 83-92(1977)
- 2) 川端秀雄, 布の熱水分移動 特性測定装置の試作とその應用, 纖維機械學會誌 37(8), pp. 38-49(1984)
- 3) 米田守宏, 川端秀雄, 過渡的熱傳導の解析とその應用(第2報) 皮膚の過渡的熱傳導と冷温感との關連についての理論的考察 纖維機械學會誌, 34(10), pp. 39-48(1981)

- 4) 米田守宏, 被服材料と冷温感 纖維機械學會誌, **35**(8), pp. 45-50(1982)
- 5) 近田淳雄, 太田建一, 島海浩一郎, 美齊津利正, 布の冷感について一測定装直の試作 及び2, 3 の 考察, 纖維機械學會誌, **33**(9), pp. 103-114(1982)
- 6) 米田守宏, 川端秀雄, 過渡的熱傳導の解析とその應用 (第3報) 二層問題の解析, 纖維機械學會誌, **34**(12), pp. 56-62(1981)
- 7) 小川安朗, 應用被服材料學(東京, 光生館), p. 143(1987)
- 8) 妹尾順子, 米田守宏, 丹羽雅子, 被服材料の熱傳導特性に關する基礎的研究(第1報) 布の有効熱傳導率の測定, 日本家政學會誌, **36**(3), pp. 13-22(1986)
- 9) 白泰旭, 李在坤, 織物の熱傳導度에 關한 研究, 韓國纖維工學會誌, **19**(3), pp. 23-24(1982)