

보온용 부직포의 구조적 특성이 열전달에 미치는 영향:
단층구조와 이층구조 부직포의 비교
The Effect of Geometrical Structure on the Heat Transfer
of Insulating Nonwovens:
A Comparison of Single and Double Layered
Nonwovens

김 희 숙
해전대학 의상디자인과

Kim, Hee Sook
Dept. of Fashion Design, Hyejeon College

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of geometrical structure on the heat transfer of insulating nonwovens. Commercially available single and double layered polyester nonwovens have used. Thermal conductivity, k and thermal conductance, h were measured by using a constant temperature sandwich type device at dry and wet state.

The results obtained were as follows:

1. Double layered nonwovens showed slightly lower thermal conductance and higher warmability than single layered nonwovens.
2. As moisture regain increased, double layered nonwovens showed higher increasing rate of thermal conductivity than single layered nonwovens.

I. 서 론

피복재료의 보온성에 영향을 미치는 요인으로는 두께^{1,2,3)}, 비체적⁴⁾, 기공도⁵⁾, 공기투과도⁴⁾, 용적밀도(bulk density)^{4,6,7)}, 밀도⁸⁾, 공기층의 두께^{4,7,9)} 등의 직물구조가 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다.

보온성 피복재료 중 최근에 많이 사용되는 부직포 충전재는 기존의 충전재에 비해 가벼우면서도 따뜻하고 직물이나 편성물에 비해 두껍게 제조할 수 있다는 것이 장점이다. 이러한 이유에서 보다 보온성이 우수하며 경제적인 부직포의 제작조건에 관한 연구들이 활발

히 이루어져 왔다.

함기량이 많은 다공성 섬유집합체의 보온용 부직포에 있어서 보온성에 가장 영향을 미치는 요인은 두께이며^{10,11)} 같은 두께에서는 충전도가 높을수록^{12,13)}, 섬유 굵기가 가늘수록^{14,15,16)} 열전달이 감소되는 것으로 나타난다. 또, 구조적 특성의 영향으로서 불규칙적 구조(random structure)의 부직포는 공기가 흐르는 통로가 굴곡되어 있고 섬유 표면적이 크기 때문에 공기의 전도 및 대류에 의한 열전달이 적어서 규칙적 구조(carded structure)보다 전체 열전달량이 낮은 것을 알 수 있다^{11,14)}.

본 연구의 목적은 보온용 부직포의 층에 따

른 구조적특성이 열전달에 미치는 영향을 알아보고자 하는 것으로서, 동일한 섬유로서 구조적 특성이 서로 다르게 이루어진 부직포의 열전달특성을 비교해 보기 위하여 폴리에스테르 100%의 섬유를 사용하여 단층구조와 이중구조로 제작된 보온용 부직포에 대하여 첫째, 단층구조와 이중구조 부직포의 열전달특성을 비교해 보고, 둘째, 부직포의 이러한 구조적특성에 따른 수분흡수시의 열전달특성의 변화를 관찰해보고자 한다.

II. 실험

1. 시료

한국바이런 주식회사의 폴리에스테르 100%의 보온용 부직포중 단층구조로서 단위중량당의 체적이 커서 공기의 함량이 되도록 많이 제작한 NF 4종류(제품구분: NF350, NF450, NF650, NF950)와 섬유의 구성비율이 높고 압

축탄성이 좋도록 제작된 UN 4종류(제품구분: UN4221, UN4231, UN4251, UN6251)를 사용하였고, 이중구조로는 KN 3종류(제품구분: KN4230, KN4250, KN6250)를 사용하였다. 시료의 특성은 <Table 1>과 같으며 이중구조 부직포의 각층의 특성은 <Table 2>와 같다.

2. 부직포의 물성 측정

1) 두께

25cm×25cm의 시료를 표준상태에서 24시간 이상 보관 후, 시료의 무게가 90g/m² 이하인 경우는 4매, 90g/m² 이상인 경우는 2매를 겹친 다음 0.5g/cm²의 같은 크기의 알루미늄판(전체 중량; 312.5g)을 위에 올려 놓고 측정하였다. 이때, 시료 1매의 두께는 전체 두께/겹친 시료의 매수가 된다.

2) 충전도(Solidity)

직물의 단위 체적당 섬유가 차지하는 비율

<Table 1> Characteristics of the Commercial Nonwovens.

Sample	Fiber material	Fiber Fineness (denier)	Thick-ness (10 ⁻² m)	Weight (10 ⁻² kg/m ²)	Porosity (%)	Solidity (×10 ⁻²)	Specific volume (10 ⁻² m ³ /kg)	Air permeability (cc/cm ² /sec)
NF 350	polyester	1,2&3	0.6	3.50	99.49	0.51	17.14	1102
NF 450	polyester	1,2&3	0.7	4.80	99.50	0.50	14.58	986
NF 650	polyester	1,2&3	1.0	6.00	99.57	0.43	16.67	846
NF 950	polyester	1,2&3	1.6	9.00	99.59	0.41	17.78	820
UN 4221	polyester	1,2&3	0.4	6.00	98.91	1.09	6.67	957
UN 4231	polyester	1,2&3	0.6	9.00	98.91	1.09	6.67	854
UN 4251	polyester	1,2&3	0.8	13.00	98.82	1.18	6.15	647
UN 6251	polyester	1,2&3	1.0	17.00	98.77	1.23	5.88	635
KN 4230	polyester	1,2&3	0.5	10.00	98.45	1.45	5.00	624
KN 4250	polyester	1,2&3	0.7	14.00	98.45	1.45	5.00	590
KN 6250	polyester	1,2&3	0.9	18.00	98.45	1.45	5.00	392

<Table 2> Characteristics of Double Layered Nonwovens

Sample	Thickness (10 ⁻² m)	Weight (10 ⁻² kg/m ²)	Porosity (%)	Solidity (×10 ⁻²)	Specific volume (10 ⁻² m ³ /kg)
KN 4230(upper layer)	0.25	5.50	98.41	1.59	4.55
(lower layer)	0.25	4.50	98.70	1.30	5.55
KN 4250(upper layer)	0.35	7.50	98.45	1.55	4.67
(lower layer)	0.35	6.50	98.65	1.35	5.38
KN 6250(upper layer)	0.45	9.50	98.47	1.53	4.74
(lower layer)	0.45	8.50	98.63	1.37	5.29

로서, 시료의 두께, 무게 및 섬유 밀도에 의해 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{충전도}(\%) = \left(\frac{W}{\rho AL} \right) \times 100$$

- 단, A: 시료의 면적(m²)
- L: 시료의 두께(m)
- W: 시료의 무게(kg)
- ρ: 섬유 밀도(kg/m³)

이때, 100%에서 충전도를 뺀 값이 기공도(%)로서 직물의 단위 체적당 공기가 차지하는 비율이다.

3) 비체적(Specific volume)

비체적은 직물의 단위중량에 대한 체적을 의미하며, 시료의 두께와 무게에 의해 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{비체적} = \frac{AL}{W}$$

- 단, A: 시료의 면적(m²)
- L: 시료의 두께(m)
- W: 시료의 무게(kg)

4) 공기투과도(Air permeability)

KS K 0570 Frazier법¹⁷⁾(KES-F8 AP1, KATO Tech. Co., Ltd.)에 의하여 측정하였다.

3. 열전달의 측정

전보¹⁰⁾에 보고된 항온법에 준한 평판형의 열전달 측정장치를 제작하였으며, 이를 사용하여 측정하였다. 측정장치의 구조는 <Fig. 1>과 같다.

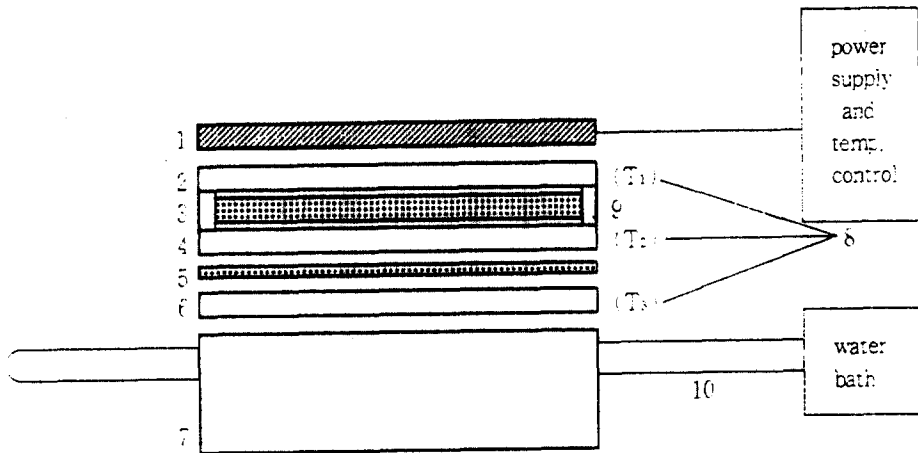
4. 열전달 계수의 계산

Fourier의 법칙에 의하여 열 플럭스(flux)가 같은 정상상태에서 시험편의 열전달계수(h)를 다음과 같이 산출하였다.

$$h(\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}) = \frac{k}{L} \quad (1)$$

$$k(\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}) = \left(\frac{T_3 - T_2}{T_2 - T_1} \right) \left(\frac{L}{L_r} \right) k_r \quad (2)$$

단, k: 시험편의 열전도도(kcal/m · h · °C)



- | | |
|-----------------|---|
| 1. panel heater | 6. copper plate |
| 2. copper plate | 7. cooling system |
| 3. specimen | 8. temperature sensors(T ₁ , T ₂ , T ₃) |
| 4. copper plate | 9. supporter(thickness control) |
| 5. neoprene | 10. solenoid valve |

Fig. 1. Schematic Diagram of Testing Apparatus.

k_f : 기준시료의 열전도도(kcal/m · h · °C)
 L: 시험편의 두께(m)
 L_f : 기준시료의 두께(m)
 (T_2-T_1) : 시험편 양측의 동판의 온도차(°C)
 (T_3-T_2) : 기준시료 양측의 동판의 온도차(°C)
 이며 기준시료인 네오프렌의 열전도도(k_f)는 0.114kcal/m · h · °C, 두께(L_f)는 1.23×10^{-2} m 이다.

5. 보온력 측정

Kawabata가 항온법에 준하여 고안한 Thermo Labo II (KES - F7)를 사용하여 보온력을 측정하였다. 열전달 측정장치를 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 와 $65 \pm 5\%$ R.H.의 항온항습기내에 설치한 후 $8.5 \times 8.5\text{cm}$ 의 시료를 평판 위에 공기층 없이 올려놓고 전력 소비량을 측정하여 다음 식에 의해 보온력을 계산하였다. 이때, T-Box의 온도는 21.0°C , BT-Box의 온도는 31.4°C 였다.

$$\text{보온력}(\%) = \frac{W_1 - W}{W_1} \times 100$$

단, W: 시료를 덮은 상태의 전력소비량(watt)

W_1 : 시료를 덮지 않은 상태의 전력소비량(watt)

III. 결과 및 고찰

1. 부직포의 구조적특성에 따른 건조상태의 열전달

이층구조 및 단층구조 부직포의 열전달 특성으로서 열전도도(thermal conductivity, k)와 열전달계수(thermal conductance, h) 및 보온율을 측정된 결과는 각각 <Table 3>과 <Table 4>와 같다. 이층구조 부직포의 열전달특성을 단층구조 부직포¹⁰⁾와 비교해보면 열전도도는 $4.07 \sim 4.74 \times 10^{-2} \text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 의 범위로서 단층구조인 NF의 $4.40 \sim 4.98 \times 10^{-2} \text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 및 UN의 $4.17 \sim 4.93 \times 10^{-2} \text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 보다 약간 낮게 나타났으며, 부직포의 두께를 고려하여 열전도도를 두께로 나누어준 값인 열전달계수는 $5.27 \sim 8.12 \times 10^{-2} \text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 로서 비슷한 두께의 NF나 UN시료와 거의 같은 수치를 나타내었으므로 이층구조 부직포의 열전도도와 열전달계수는 단층구조 부직포와 같거나 약간 낮음을 알 수 있다. 또, 보온율의 경우, 이층구조 부직포의 보온율은 $55.58 \sim 63.40\%$ 로서 비슷한 두께의 단층구조

<Table 3> Heat Transfer Characteristics of Double Layered Nonwovens

Sample	Thickness (10^{-2}m)	k ($10^{-2}\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	h ($\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	Warmability (%)
KN 4230	0.5	4.06(4.07)*	8.12(8.14)*	55.58
KN 4250	0.7	4.39(4.39)*	6.27(6.27)*	61.00
KN 6250	0.9	4.74(4.70)*	5.27(5.22)*	63.40

(*) Reverse side

<Table 4> Heat Transfer Characteristics of Single Layered Nonwovens

Sample	Thickness (10^{-2}m)	k ($10^{-2}\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	h ($\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)	Warmability (%)
NF 350	0.6	4.40	7.34	53.93
NF 450	0.7	4.62	6.59	52.42
NF 650	1.0	4.76	4.76	61.28
NF 950	1.6	4.98	3.12	60.88
UN 4221	0.4	4.20	10.49	54.64
UN 4231	0.6	4.55	7.58	56.24
UN 4251	0.8	4.93	6.16	63.26
UN 6251	1.0	4.17	4.17	63.04

부직포의 53.93~54.94%에 비해 약간 높게 나타났다. 따라서, 단층구조와 이층구조 부직포의 전체적인 열전달특성을 비교해 볼 때, 열전도도 및 보온율에서 이층구조 부직포가 우수한 특성을 나타내었다. 보온율은 NF가 53.93~60.88%로 가장 낮고, 그 다음이 UN으로 54.64~63.04%, 그리고 KN이 55.58~63.40%의 순서로 높게 나타나는데, 각 시료의 충전도를 살펴보면 NF시료가 0.41~0.51%로 가장 낮고, UN시료가 1.09~1.23 %이며, KN시료가 1.45%로 가장 높으므로 보온율이 높은 순서는 시료의 충전도의 순서와 일치함을 알 수 있다. 이러한 결과는 보온용 부직포의 열전달에 가장 영향을 미치는 요인이 두께이고^{10,11)}, 같은 두께에서는 충전도의 영향을 받기 때문이라는 선행연구^{12,13)} 보고의 결과에 의해 해석할 수 있다. 그러나 본 연구에 사용된 시료는 시판 부직포를 그대로 사용하였으므로 두께변인이 완전히 통제되지는 못하였으므로 비슷한 두께의 시료와 비교하였는데, 이때, 두께변인을 조작하여 제작실험한 선행연구¹²⁾결과에 의하여 두께와 열전도도와와의 비례관계를 고려하여 비교하였다. 즉, 다공성 섬유집합체인 부직포에서 충전도가 증가하게 되면 섬유가 복사열전달에 대한 저항요인이 되며, 특히 공기에 의한 전도 및 대류 열전달을 감소시키므로 전체 열전달량은 줄어들게 된다¹²⁾. 이층구조로 부직포를 제작하는 이유는 함기량과 충전도를 동시에 만족시키기 위한 것으로서 충전도가 낮은 부분과 높은 부분의 두 층으로 구성되어 있으므로 충전도가 높은 부분이 보온성에 영향을 미치게 된다. 따라서, 이층구조 부직포중 충전도가 낮은 부분은 공기의 함유량을 증가시키며, 충전도가 높은 부분은 복사열전달을 막아 증과 동시에 공기에 의한 전도 및 대류열전달을 감소시켜 전체열전달이 적어지는 것으로 생각된다. 그러나 시판 부직포를 시료로 사용하였으므로 충전도가 통제된 상태에서 구조에 의한 차이만을 볼 수 없었던 것은 본 연구의 한계점이라 생각된다.

또, 부직포의 구조의 차이에 따른 공기투과도를 <Table 1>에서 비교해 볼 때, 이층구조로 이루어진 부직포들은 공기투과도가 392~624cc/cm²/sec로 단층구조 부직포의 635~1102cc/cm²/sec에 비해 매우 낮으므로 선행연구^{11,14)}에서처럼 공기가 통과하기 힘든 구조로

이루어진 부직포가 역시 공기의 전도 및 대류 열전달이 적어서 보온성이 높은 것으로 생각된다. 또한, 이층구조 부직포내의 충전도가 서로 다른 두층의 방향성이 열전달에 영향을 미치는지를 관찰하기 위하여 열전달의 측정시 시료중 충전도가 높은층과 낮은 층이 각각 열원을 향했을 때의 열전달을 측정하였는데, 그 결과, <Table 3>에서 볼 수 있듯이 열전도도와 열전달계수에서는 차이가 없었으므로 두층간의 충전도의 차이에 따른 방향성은 관찰되지 않았다. 따라서, 열전달에 대한 구조적특성의 영향을 살펴본 결과, 이층구조 부직포는 단층구조 부직포에 비해 열전도도가 약간 낮으므로 보온성이 우수한 것으로 나타났다.

2. 부직포의 구조적특성에 따른 수분 흡수 시의 열전달의 변화

단열재가 수분을 함유하게 되면 단열치가 낮아지게 된다. 따라서, 부직포 충전재가 수분을 함유하였을 경우의 열전달의 변화에 대한 구조적 특성의 영향을 관찰하기 위하여 수분의 함수율이 150%와 230%인 두가지 경우의 열전달의 변화를 측정하여 <Fig. 2>와 <Fig. 3>에 각각 나타내었다. <Fig. 2>에서 함수율이 150%인 경우의 열전달의 변화를 살펴보면 열전도도의 증가율이 가장 높은 시료는 NF950이 37%가 증가하였고 그 다음으로 KN6250이 36%, UN6251이 35%가 증가하였으며 KN4250이 22%의 순서로 증가하였다. 이러한 순서로 열전도도가 증가한 데에 대한 이유는 첫번째, 부직포의 두께의 영향을 생각해 볼 수 있는데, 열전도도의 증가율이 가장 높았던 NF950은 두께가 1.6cm로서 모든 시료중 두께가 가장 두껍고 두번째의 증가율을 보인 UN6251은 1.0cm로서 두번째로 두꺼운 시료이다. 따라서, 두꺼운 시료일수록 시료내부에 함유할 수 있는 수분의 절대적인 양 자체가 많으므로 수분에 의한 열전달량이 더욱 많아지는 것으로 생각된다.

두번째의 이유로는 충전도의 영향을 생각할 수 있다. 두께가 1.0cm로 같은 UN6251과 NF650을 비교해 볼 때, UN6251의 열전도도의 증가량이 35%로 NF650의 21%에 비해 훨씬 높은 이유는 동일한 두께에서의 충전도의 차이 때문으로 생각할 수 있다. 즉, 함수율은 시

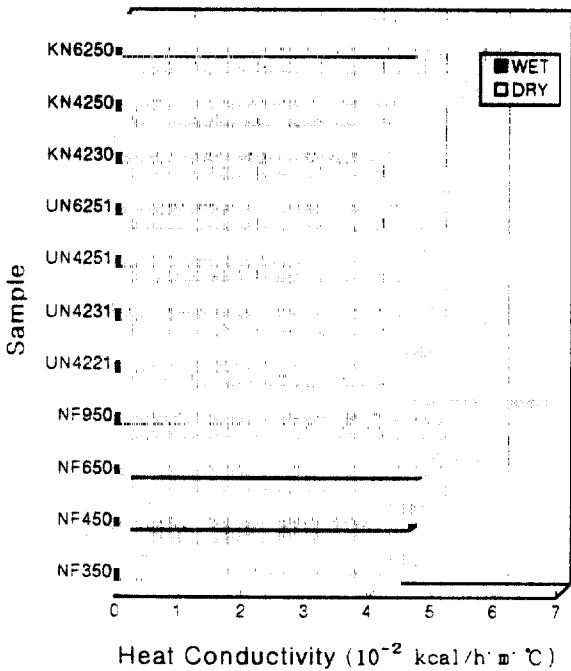


Fig. 2. Effect of Moisture Regain on the Heat Conductivity. (Moisture Regain : 150%)

료의 무게에 대한 비율이므로 충전도가 높은 시료는 동일한 함수율에서 부직포내에 존재하는 절대 수분량이 더 많다는 것을 의미하므로 수분을 통한 열전도량이 더 많아지기 때문이다.¹⁸⁾

다음에, 함수율이 230%인 경우의 열전달의 변화를 <Fig. 3>에서 살펴보면 모든 시료는 함수율이 150%일때보다 열전도도의 증가율이 더욱 컸는데, 열전도도가 증가한 순서는 KN6250이 46%로 가장 많고 NF950이 38%, UN6251과 KN4250이 37%로 나타났다. 따라서 수분의 함량이 많아질수록 이층구조 부직포는 단층구조 부직포에 비해 열전달량의 증가율이 더욱 높아짐을 알 수 있다. 이와 같이 단층구조 부직포에 비해 이층구조 부직포의 열전도도의 증가량이 큰 이유는 충전도가 높은층과 낮은층의 두층으로 이루어져 있는 구조적으로 부직포에 흡수된 수분이 충전도가 높은층에 밀집되므로 이에 의한 열전달의 기여도가 높은 것으로 생각되는데, 이는 충전도가 높아지면 부직포내의 섬유 양이 많아지므로 물분자가 달라붙을 수 있는 섬유표면적

이 증가하기 때문이다¹⁹⁾.

이상에서, 수분 흡수시의 열전달 변화에 대한 구조적특성의 영향을 관찰해 본 결과, 함수율 150%에서는 구조적 특성보다는 두께의 영향이, 함수율 230%에서는 두께보다는 구조적 특성이 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이층구조 부직포는 단층구조 부직포에 비해 수분을 많이 흡수할수록 열전달의 증가율은 더 많아지는 것으로 나타났다.

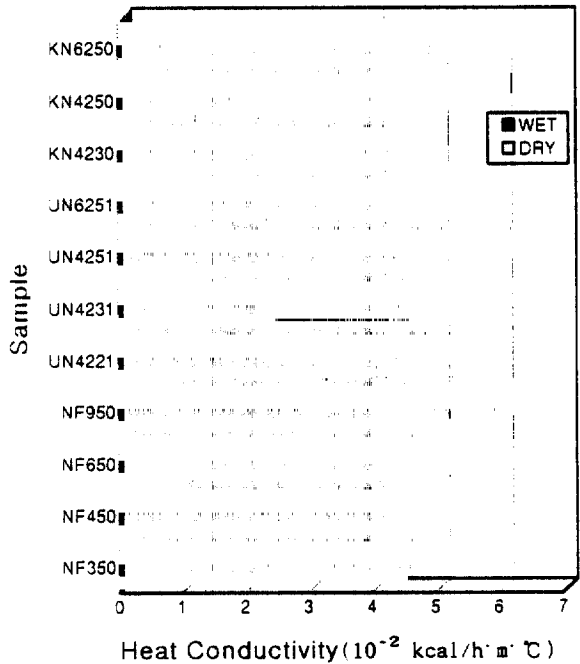


Fig. 3. Effect of Moisture Regain on the Heat Conductivity. (Moisture Regain : 230%)

IV. 결론

보온용 부직포의 구조적특성이 열전달에 미치는 영향을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 열전달에 대한 구조적특성의 영향을 살펴본 결과, 이층구조 부직포는 충전도가 높은 부분이 복사열전달에 대한 저항요인으로 작용하며, 또, 공기가 통과하기 힘든 구조로 이루어져 공기의 전도와 대류에 의한 열손실을 감소시키므로 단층구조 부직포에 비해 열전도도가 약간 낮아 보온성이 더 큰 것으로

나타났다.

둘째, 수분 흡수시의 열전달 변화에 대한 구조적특성의 영향을 관찰해본 결과, 이층구조 부직포는 단층구조 부직포에 비해 충전도가 높아 시료내의 절대 수분량이 많고 함수율이 높아질수록 충전도가 높은 부분에 수분이 밀집되어 열전도가 증가하므로 열전달의 증가량은 더 커지는 것으로 나타났다.

따라서, 이층구조 부직포는 건조시의 보온성은 단층구조 부직포에 비해 우수하나 수분흡수시의 보온성의 감소가 단층구조 부직포에 비해 더욱 심한 것으로 나타났으므로 단열재 중 수분을 집할 기회가 많은 용도에는 적합하지 못한 것으로 생각된다.

또한, 단층구조와 이층구조 부직포의 구조적 특성의 차이에 따라 충전재의 수분전달특성도 달라질 것이라 생각되며 이는 앞으로의 연구 과제로서 매우 흥미있을 것이라 생각된다.

참 고 문 헌

- Morris, G. J. (1953). Thermal properties of textile materials. *J. Text. Inst.*, 44, 449-476.
- Hoge, H. J., & Fonseca, G. B. (1964). The thermal conductivity of a multilayered sample of underwear under a variety of experimental conditions. *Textile Res. J.*, 34, 401-410.
- Schneider, A. M., & Holcombe, B. V. (1991). Properties influencing coolness to the touch of fabrics. *Textile Res. J.*, 61, 488-494.
- 이재곤(1978). 직물의 열전달에 관한 연구. 한국섬유공학회지, 15(1), 12-17.
- Grise, K. S. (1980). Thermal comfort characteristics of textile apparel fabrics. Unpublished Doctorial Dissertation, Univ. of Tennessee.
- 성수광, 권오경(1992). 편성포의 온냉감 및 열이동 특성에 관한 연구(I). 한국섬유공학회지, 29, 13-22.
- 성수광, 권오경(1992). 편성포의 온냉감 및 열이동 특성에 관한 연구(II). 한국섬유공학회지, 29, 23-32.
- Hoffmeyer, F., & Slater, K. (1981). The effect of thickness and density on the thermal resistance of textile materials. *J. Textile Inst.*, 72, 183-186.
- 이지영, 송태욱(1981). 직물간 공기층의 형성방법이 열전달에 미치는 영향. 한국섬유공학회지, 18, 21-28.
- 김희숙, 김은애(1994). 부직포내 공기함량이 열전달에 미치는 영향. 한국의류학회지, 18(2), 244-251.
- Obendorf, S. K., & Smith, J. P. (1986). Heat transfer characteristics of nonwoven insulating materials. *Textile Res. J.*, 56, 691-696.
- 김희숙, 김은애(1994). 보온용 부직포의 두께와 충전도에 따른 전도/대류 및 복사 열전달. 연세대학교 생활과학논집, 제 8집, 1-7.
- Martin, J. R., & Lamb, G. E. R. (1987). Measurement of thermal conductivity of nonwovens using a dynamic method. *Textile Res. J.*, 57, 721-727.
- 김희숙, 김은애(1996). 부직포내 섬유구성요인이 열전달에 미치는 영향. 연세교육과학, 44, 117-135.
- Goldman, R. F. (1985). Heat transport in cold weather clothing. 14th Common Wealth Defence Conference on Operational Clothing and Combat Equipment, Australia.
- Lamb, G. E. R., & Yoneda, M.(1990). Heat loss from a ventilated clothed body. *Textile Res. J.*, 60, 378-383.
- KS K 0570. 직물의 공기투과도 시험방법
- 김희숙, 김은애(1996). 섬유의 종류와 압축 특성 및 수분전달특성이 보온용 부직포의 열전달에 미치는 영향. 한국의류학회지, 20(4), 647-654.
- Kim, J. O. (1987). Surface temperature changes and moisture transfer through fabric and porous film assemblies. Unpublished Doctorial Dissertation, Univ. of Maryland.