

부직포내 공기함량이 열전달에 미치는 영향

김 희 숙 · 김 은 애

대전전문대학 의상디자인과 · 연세대학교 의생활학과

Effect of Air Content on the Heat Transfer Characteristics of Nonwoven Insulating Materials

Hee Sook Kim · Eun Ae Kim

Dept. of Fashion Design, Hyejeon Junior College · Dept. of Clothing and Textiles, Yonsei University
(1993. 12. 13 접수)

Abstract

The purpose of this study was to analyze conductive convective and radiative heat transfer characteristics of nonwovens. Contribution of the air content to the conductive convective and radiative heat transfer of the nonwovens were studied by measuring thermal conductance at atmospheric and low air pressure.

The results obtained were as follows :

- 1) As thickness of air layer increased, overall heat transfer was decreased by reducing conductive and radiative heat transfer.
- 2) The conductive and convective heat transfer by air were in the ranges of 79~89% of overall heat transfer.
- 3) As thickness of nonwoven increased for a given solidity, overall heat transfer was decreased by increasing total thickness of air layer and by reducing conductive and radiative heat transfer.
- 4) For a given weight, increasing thickness is more effective than increasing solidity.

I. 서 론

보온용 피복재료중 부피가 크고 많은 공극을 갖는 섬유집합체인 부직포는 기존의 보온성 소재들에 비해 가벼우면서도 따듯한 특징때문에 최근 의류용 및 산업용 단열성 소재로서 활용빈도가 점차 증가하고 있다. 부직포는 직물이나 편성물에 비하여 상당히 두껍게 제조될 수 있기 때문에 보온성 소재로 더욱 유리하다.

부직포의 열전달 특성에 관한 지금까지의 연구들은 직물에서의 경우와 같이 함기량¹⁾ 및 섬유의 특성²⁾

기학적 구조³⁾의 영향에 따른 보온성 측정이 대부분으로 부직포를 통한 전체 열전달에 공기요인과 섬유요인의 영향에 관한 분석이 이루어지지 않았다. 최근의 연구들에서는 열전달의 주요 요인은 공기에 의한 전도와 복사로서 복사열전달이 매우 중요한 메카니즘이라는 것이 지적되고있다.^{4) 5) 6) 7)} 그러나 부직포의 여러가지 물리적 및 기하학적 특성의 변화에 따라 전체 열전달에 대한 전도, 대류, 복사의 각열전달 기여도가 어떻게 변화하는지에 대한 연구는 그다지 많지 않다.

본 연구의 목적은 보다 보온성이 우수하며 경제적인

부직포의 개발을 위하여 부직포의 특성에 따른 열전달 특성을 이해하기 위한 것으로 열의 이동상태를 관찰할 수 있는 열전달 측정용 시험장치를 제작하여 부직포의 열전달 특성에 관하여 고찰하는 것이다. 공기의 함량이 지배적인 영향을 미치는 보온용 부직포의 열전달 특성을 이해하기 위하여 대기상태와 공기의 압력을 감소시킨 상태에서의 공기층 및 부직포의 열전달 특성을 비교하여 공기의 전도 및 대류에 의한 열전달을 배제하여 복사에 의한 영향을 예측해 보고 부직포를 통한 열전달에 배제하여 복사에 의한 영향을 예측해 보고 부직포를 통한 열전달에 있어서의 공기의 역할을 알아보고자 한다. 또한, 부직포내 공기함량의 차이에 따른 열전달 특성을 알아보기 위하여 부직포의 종류 및 두께에 따른 열전달 특성을 비교해 보고자 한다.

II. 실험

1. 시판 부직포

한국 바이린 주식회사의 폴리에스테르 100% 보온용 부직포중 Air-Pack 4종류(제품구분: NF 350, NF 450, NF 650, NF 950, 이하 NF 시료)와 Uni-Warm 4종류(UN 4221, UN 4231, UN 4251, UN 6251, 이하 UN 시료)를 사용하였다. 시료의 특성은 <Table 1>과 같다.

2. 부직포의 물성 측정

1) 두께

시료를 25cm×25cm크기로 준비하여 표준상태에서 24

시간 이상 보관 후 시료의 무게가 90g/m²이하인 경우는 4매, 90g/m² 이상인 경우는 2매를 겹친 다음 0.5g/cm²의 무게를 갖는 같은 크기의 알루미늄 판(전체 중량: 312.5g)을 위에 올려 놓고 감도가 10-2g의 저울로 측정하였다. 이때, 시료 1매의 두께는 전체 두께/겹친 시료의 매수가 된다.

2) 충전도(Solidity)

충전도는 직물의 단위 체적당 섬유가 차지하는 비율로서, 시료의 두께, 무게 및 섬유 밀도에 의해 다음과 같이 계산하였다.

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

여기서, A: 시료의 면적(m²)

L: 시료의 두께(m)

W: 시료의 무게(Kg)

ρ: 섬유 밀도(Kg/m³)

이때 100%에서 충전도를 뺀 값이 기공도로서 직물의 단위 체적당 공기가 차지하는 비율이다.

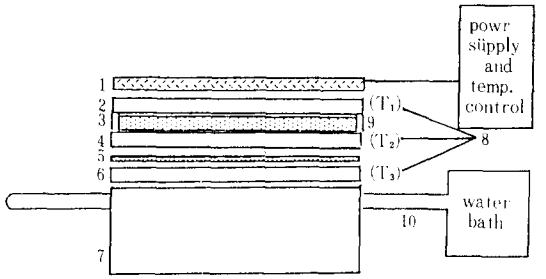
3. 열전달 측정장치의 제작

1) 열전달측정

제작한 측정장치의 구조는 Fig.1에 제시하였다. 본 장치는 항온법에 의한 것으로서 고온부와 저온부의 온도를 일정하게 유지하여 온도구배를 형성하며 열이 고온부에서 시험편을 통해 저온부로 전달될 때 발생하는 온도차를 측정하여 시험편의 열전도도를 계산하는 평판법(disk method)에 의한 측정장치이다. 이때 열전도도를 알고 있는 기준시료를 사용하여 기준시료에 의한 온도차와 시험편에 의한 온도차를 측정하면 시험편의

<Table 1> Characteristics of the Commercial Nonwoven samples

Sample	Fiber	Fiber Fineness (denier)	Thickness (10 ⁻² m)	Weight (10 ⁻² kg/m ²)	Solidity (%)	Porosity (%)
NF 350	polyester	1,2&3	0.6	3.50	0.41	99.59
NF 450	polyester	1,2&3	0.7	4.80	0.49	99.51
NF 650	polyester	1,2&3	1.0	6.00	0.43	99.57
NF 950	polyester	1,2&3	1.6	9.00	0.41	99.59
UN 4221	polyester	1,2&3	0.4	6.00	1.08	98.92
UN 4231	polyester	1,2&3	0.6	9.00	1.08	98.92
UN 4251	polyester	1,2&3	0.8	13.0	1.17	98.83
UN 6251	polyester	1,2&3	1.0	17.0	1.23	98.77



- 1. panel heater
- 2. copper plate
- 3. specimen
- 4. copper plate
- 5. neoprene
- 6. copper plate
- 7. cooling system
- 8. temperature sensors(T1, T2, T3)
- 9. supporter(thickness control)
- 10. solenoid valve

Fig. 1. Schematic diagram of testing apparatus.

일진도도를 구할 수 있다.

본 장치는 발열부, 냉각부, 제어부, 측정부로 구성되어 있다. 발열부는 판넬 히터 및 2장의 구리판(15.0cm×15.0cm×1.0cm), 그리고 기준시료인 네오프렌(15.0cm×15.0cm×0.12)과 시험편으로 구성된다. 판넬 히터에서 발생된 열이 구리판을 통해 시험편과 그 밑의 구리판 및 기준시료, 그리고 그 다음 구리판으로 전달되며 발열부의 온도는 36.5C를 유지하도록 하였다. 이때 시험편이 압축되지않도록 각 시료와 동일한 두께의 지지대를 사용하였다. 냉각부는 15.0cm×15cm×10.0cm 의 구리 냉각수조에 solenoid valve를 장치하고 solenoid valve의 입구를 향온수조에 연결시켜 일정온도(20C)의 물이 유입되어 순환후 출구로 배출되도록 하여 일정하게 서운을 유지하도록 하였다. 제어부는 발열부의 온도를 위상 제어방식에 의해 제어하도록 하였으며 측정부는 3부분의 구리판의 온도(Fig T₁, T₂, T₃)를 측정하기 위하여 각 구리판에 직경 2mm의 백금sensor를 삽입한 후 이를 퍼스널 컴퓨터에 연결하여 측정된 결과를 기록하도록 하였다. 이때 부직포의 양 표면의 온도 측정은 거의 불가능하므로 열전도도가 시료의 10,000배이상 되는 구리판의 온도를 시료표면의 온도로 대신하였으며 구리판 양 표면의 온도차를 측정된 결과 1cm두께의 구리판의 온도차는 거의 없는 것으로 확인되었다.

전체 측정장치는 위기와외의 단열을 위하여 두께 3.0cm의 styrofoam으로 제작된 25.0cm×25.0cm×30.0cm 크기의 상자내에 설치하였고 상자 내부의 공간에는 유리섬유를 채워 넣어 단열이 되도록 하였다.

2) 공기압력 조절

공기의 압력변화에 따른 부직포의 열전달 특성을 측정하기 위하여 열전달 측정장치를 넣을 수 있도록 Fig.2 과 같은 형태의 진공오븐을 제작하였다. 진공오븐의 크기는 60.0cm×60.0cm×70.0cm이며, 단상유도 전동식 진공펌프(신명전기, Model 4204)로 진공도를 조절하였고 진공도는 진공 게이지 및 디지털 마노미터 (digital manometer, Okanowork사, Model 3038)로 확인 하였다. 또 강화 유리를 사용한 뚜껑을 설치하여 개폐 및 내부물 부시할 수 있도록 하였다. 이때, 진공 오븐내부의 공기의 압력이 감소됨에 따라 부직포의 두께는 변화가 없음이 확인되었다. 단 배선이 진공오븐 밖으로 연결되어야 하므로 공기의 압력을 20mmHg이하로는 조절하기 어려운 점이 본 연구의 제한점임을 지적하고자 한다.

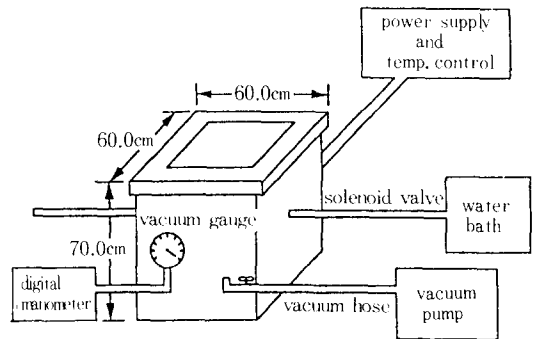


Fig. 2. Schematic representation of vacuum system.

4. 열전달 계수의 계산

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

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

여기서,

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

L : 시험편의 두께(m)

이때 기준시료인 네오프렌의 열전도도(k_r)는 0.114 kcal/m · h · C, 두께(L_r)는 1.23×10⁻²m이다.

II. 결과 및 고찰

1. 대기의 공기층의 두께가 열전달에 미치는 영향

공기의 함량이 지배적인 영향을 미치는 부직포의 열전달 특성을 이해하기 위하여 우선, 대기상태에서 공기층의 두께에 따른 열전달 특성을 분석하였다. Fig.3과 같이 공기 층의 두께가 0.4cm에서 5.0cm까지 8단계로 변화함에 따라 열전달계수(h_a : thermal conductance of air layer)는 $10.55 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 에서 $2.26 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 로 8.29 kcal (81%)가 감소되었다. 이는 공기의 열전도도가 낮으므로 두께가 두꺼워질수록 절연력이 증가하기 때문에 공기의 함량이 많아지면 보온력이 우수해진다고 생각할 수 있다. 이때 공기에 의한 전도와 대류의 영향을 배제하기 위하여 공기의 압력을 본 실험장치에서 최대로 감소시킨 20mmHg에서의 열전달을 측정하였고 이 결과를 760mmHg에서의 값과 비교하여 Fig.3에 제시하였다. 같은 두께에서 760mmHg와 20mmHg의 열전달계수를 비교해볼때, 0.4cm의 경우는 $10.55 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 에서 $3.19 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 로 70%가 감소되었다. 대기상태에서는 공기가 많을수록 열전달계수가 낮았는데 공기가 제거된 상태의 열전달계수가 낮은 것은 760mmHg에서 20mmHg에서 약 97%의 공기가 제거되었으므로 전체 열전달중 공기에 의한 전도와 대류는 거의

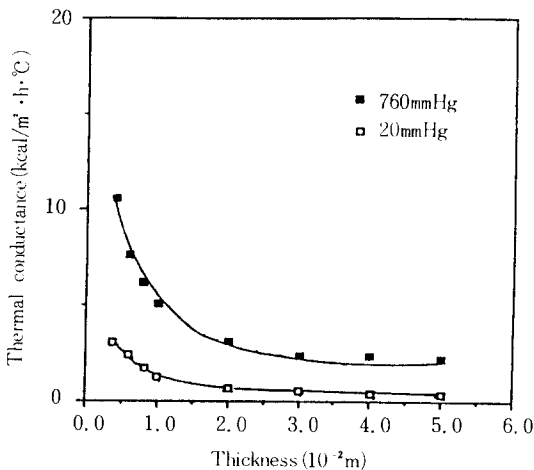


Fig. 3. Effect of thickness of air layer on the thermal conductance at atmospheric pressure and low air pressure.

배제되고 주로 복사열전달양만이 남기 때문으로 생각된다. 즉, 760mmHg와 20mmHg의 열전달계수의 차이가 전도 및 대류열전달이며 20mmHg의 열전달계수는 대부분 복사에 의한 것으로 볼 수 있다. 20mmHg에서의 열전달계수를 살펴보면 두께가 0.4cm에서 5.0cm로 증가하면 열전달계수는 $3.19 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 에서 $0.2 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 로 $2.99 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 가 감소하였다. 따라서 앞에서의 전체 열전달의 감소량 $8.29 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 중에서 $2.99 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ (36%)는 복사열전달의 감소에 의한 것이며 나머지 $5.30 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ (64%)는 공기에 의한 절연력으로 볼 수 있다. 또, 전체 열전달에 대한 복사량의 비율을 계산해보면 두께가 0.4cm일 때에는 30%이나 5.0cm에서는 9%이므로 두께가 증가할수록 복사의 영향은 적어지고 있는데 이는 복사열전달은 두표면간의 거리의 제곱에 반비례하는 특성으로 설명된다. 즉, 공기층의 두께가 두꺼워질수록 전도와 복사에 의한 열전달이 억제되므로 전체열전달이 감소된다고 말할 수 있다.

2. 부직포내 공기함량이 열전달에 미치는 영향

1) 부직포의 종류에 따른 열전달특성

부직포의 열전달에 대한 공기의 영향을 파악하기 위하여 공기의 함량이 다른 NF시료와 UN시료의 열전달계수(h)를 같은 두께의 공기층의 열전달계수(h_a)와 비교하였다. <Table 2>에 나타난 바와 같이 h/h_a 의 값은 0.82~1.00이므로 대부분의 부직포와 같은 두께의 공기층의 열전달량이 거의 비슷하나 공기층보다 부직포의 보온력이 약간 높은 것을 알 수 있다.

대기상태에서의 열전달 메카니즘을 생각해 보면, 부직포가 없는 공기층에서의 열전달은 공기에 의한 전도 및 대류, 섬유에 의한 전도, 그리고 복사이다. 그런데 부직포와 공기층의 열전달이 거의 비슷하므로 부직포의 열전달은 주로 공기의 함량에 의함을 확인할 수 있다. 즉, 부직포의 종류별로 볼 때 섬유의 양에 관계 없이 같은 두께의 공기층에 대한 부직포의 열전달계수의 비는 거의 일정하므로 부직포의 전도도는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 또, 같은 두께의 공기층에 비해 부직포의 열전달이 약간 낮은 이유는 부직포내의 섬유에 의해 대류 및 복사 열전달이 억제되어 전체 열전달이 감소되기 때문으로 생각된다.

공기요인의 영향을 분석하기 위하여 두께가 1.0cm인

<Table 2> Heat Transfer Characteristics of Commercial Nonwovens

Sample	Thickness (10 ⁻² m)	Thermal conductance, h (kcal/m ² · h · C)	h/h _a
NF 350	0.6	7.34	0.96
NF 450	0.7	6.59	0.99
NF 650	1.0	4.76	0.93
NF 950	1.6	3.12	0.98
UN 4221	0.4	10.49	0.99
UN 4231	0.6	7.58	0.99
UN 4251	0.8	6.16	1.00
UN 6251	1.0	4.17	0.82

h_a: Thermal conductance of air layer

NF 650을 시료로 하여 공기의 압력이 760mmHg에서 20mmHg까지 6단계로 감소함에 따른 열전달을 측정할 결과는 Fig4와 같다. 공기의 압력이 760 mmHg에서 20 mmHg까지 계속 낮아짐에 따라 열계수는 4.76kcal/m² · h · C에서 0.86kcal/m² · h · C으로 3.9kcal/m² · h · C으로 3.9kcal/m² · h · C(82%)가 감소하였다.

NF 650에 있어서 공기의 압력이 낮아짐에 따라 열전달계수가 감소한 원인을 생각해 보면 이는 NF 650의 기공도가 99.57%이므로 NF 650에서 약 99.6%를 차지하는 공기의 대부분이 제거되므로 공기에 의한 전도량이

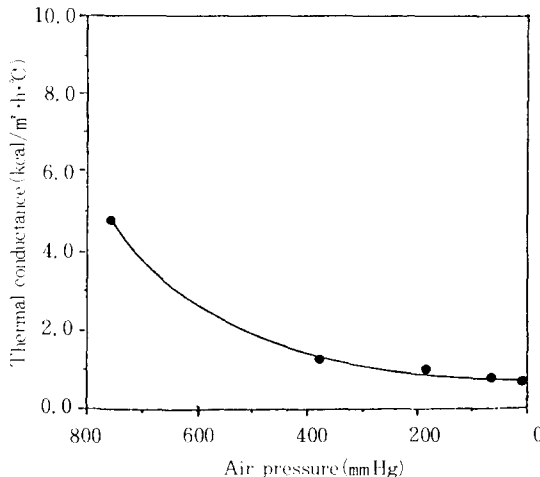


Fig. 4. Effect of air pressure on the thermal conductance of commercial nonwoven (sample : NF 650)

적어지기 때문으로 해석된다. 따라서 전체 열전달 중 공기의 전도 및 대류에 의한 것이 82%이며 나머지 약 18%는 복사와 섬유 전도에 의한 것이라고 볼 수 있다. 이중 섬유의 전도와 복사에 의한 요인을 구분하기 위해서는 섬유 집합체의 "Effective thermal conductivity (ke)"⁶⁾의 개념이 필요하다.

$$k_e = k_{eg} + k_{es} + k_{er} \tag{3}$$

여기서, k_e: 섬유 집합체의 열전달

k_{eg}: 기체(공기)의 열전달

k_{es}: 고체(섬유)의 열전달

k_{er}: 복사에 의한 열전달

이며, 낮은 압력(진공) 상태에서는

$$k_e = k_{es} + k_{er} \tag{4}$$

$$k_{es} = 4k_s \Delta^3 \tag{5}$$

여기서, k_s: 섬유의 열전도도

Δ: 섬유층의 두께

로 시 NF 650을 compressometer로 측정할 결과, 섬유층의 두께(Δ)는 약 0.1mm이며 폴리에스테르 섬유의 열전도도(k_s)는 5.1×10⁻³cal/cm² · sec · C⁶⁾이므로 식(5)에 의해 계산하면 k_{es}는 7.34×10⁻³kcal/m² · h · C로 전체 열전도도 4.76kcal/m² · h · C의 0.0015%에 의하며 불과하므로 18%의 열전달량은 거의 복사에 의한 것이라고 볼 수 있다. Stefan-Boltzman 법칙에 의하면 같은 종류의 시료에서는 emissivity(폴리에스테르 섬유의 ε=0.56~0.65)⁶⁾와 Stefan-Boltzmann 상수는 일정하므로 복사 열전달량이 큰 차이는 없을 것으로 기대되나 시료 별로 두께와 섬유의 구성 비율(충전도)의 차이에 의해 복사열이 전달되는 거리 및 복사 열전달에 대한 저항이 달라질 수 있다고 생각된다. Stuart와 Holcombe⁵⁾에 의하면 복사열전달은 두 표면간의 거리의 제곱에 반비례하며 충전도가 크고 섬유직경이 가늘수록 적어진다고 하였다.

따라서, 섬유요인의 영향을 알아보기 위하여 같은 두께인 1.0cm의 공기층과 NF 650(충전도: 0.43%, 무게: 6.0×10⁻²kg/m²), 그리고 UN 6251(충전도: 1.23%, 무게: 17.0×10⁻²kg/m²)을 Fig5에서 비교해 보면, 760 mmHg에서 공기층의 열전달계수(5.09kcal/m² · h · C)와

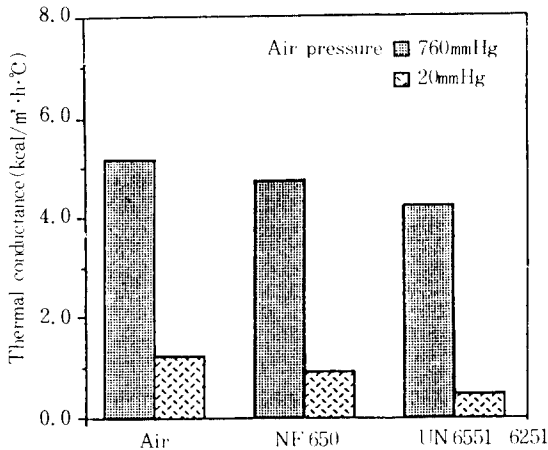


Fig. 5. Effect of air pressure on the thermal conductance of commercial nonwovens (samples : NF, UN).

NF 650의 열전달계수($4.76 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$)의 차이는 $0.33 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 이며 NF 650과 UN 6251의 열전달계수($4.17 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$)의 차이는 $0.59 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 이다. 또, 20mmHg에서의 공기층과 NF 650의 열전달계수의 차이는 $0.37 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 이며 NF 650과 UN 6251의 차이는 $0.39 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 로 나타났다. 따라서, 공기층과 비교할때, 부직포에서의 전체 열전달의 감소의 요인은 거의 복사열에 의한 것으로서 부직포내의 섬유에 의해 복사열전달이 방해받음을 알 수 있다. 또, 충전도가 더 높은 UN 6251의 전체열전달 감소량 중에서 복사열전달의 감소량인 $0.39 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 를 제외하고 남은 $0.2 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 는 대류열전달의 감소에 의한 것으로 생각할 수 있으므로 부직포의 충전도의 증가에 의한 복사열전달 및 대류열전달의 감소를 확인할 수 있다.

2) 부직포의 두께에 따른 열전달특성

부직포의 두께가 열전달에 미치는 영향을 알아보기 위하여 NF와 UN 시료 각각에 대해 대기상태로부터 20 mmHg까지의 두께별 열전달계수의 변화과정을 비교하여 Fig.6와 Fig.7에 제시하였다. 그 결과, NF와 UN 모두 두께가 두꺼운 시료(NF950과 UN6251)가 열전달이 더 적어서 부직포의 두께가 두꺼워질수록 보온력은 증가하고 있다. UN시료의 경우 거의 비슷한 충전도(1.08~1.23%)의 범위내에서 두께가 0.4cm(무게: $6.0 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^2$)에서 1.0cm(무게: $17.0 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^2$)로 두꺼워짐에 따라 전체 열전달은 $10.49 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 에서 $4.17 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 로 $6.32 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ (60%)가 감소하였고 복사

열 전달은 $2.10 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 에서 $0.47 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 로 $1.63 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ (78%)가 감소하였다. 따라서 전체열 전달의 감소량중에서 복사열의 감소 이외에 나머지 $4.69 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 는 공기층의 두께증가에 따른 전도의 감소량으로 볼 수 있다. 또한 전체열전달에 있어서 복사열이 차지하는 비율도 UN 4221(0.4cm)은 21%이나 UN 6251(1.0cm)는 11%이므로 두께증가에 따라 줄어들고

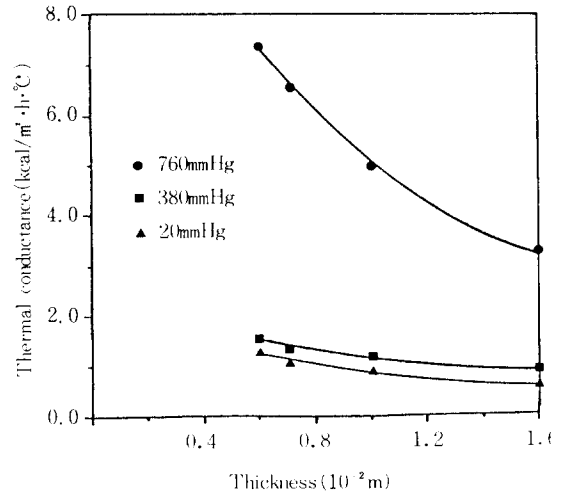


Fig. 6. Effect of thickness of nonwovens on the thermal conductance (samples : NF, solidity : 0.42~0.45%)

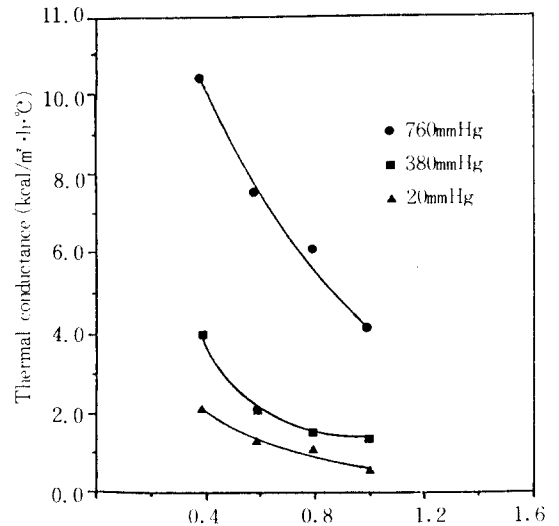


Fig. 7. Effect of thickness of nonwovens on the thermal conductance (samples : UN, solidity : 1.18~1.23%)

있다. 이는 NF시료의 경우에도 마찬가지로 두께가 1.6 cm인 NF 950은 0.6cm인 NF 350에 비해 열전달계수가 대기상태에서는 $4.22\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ (57%)가 감소하였고 20mmHg에서는 $0.69\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ (56%)가 감소하였다.

Fig.6과 Fig.7에서 공기의 압력감소에 따른 UN과 NF의 열전달 특성의 변화를 비교해 볼 때, 공기의 압력이 760 mmHg에서 380mmHg, 그리고 20mmHg로 낮아짐에 따라 UN은 단계적으로 열전달이 감소하고 있는데 비해 NF는 일시에 급격히 감소하는 경향을 보이는데, 이는 충전도가 더 낮은 NF시료에 있어서 공기가 제거됨에 따라 대류열전달의 영향이 배제되기 때문으로 생각된다.

앞에서 살펴 본 내용을 종합하여보면, 동일한 두께에서 열전달이 큰 순서는 대기의 공기층, 대기상태의 부직포, 압력이 낮은 공기, 공기의 압력이 낮은 상태의 부직포이다. 즉, 공기층에 비해 부직포의 열전달이 시료에 따라 약1%~18% 정도 더 적으며, 복사 열전달량도 시료가 없는 경우에 비해 부직포가 30%에서 60%까지 더 적게 나타나고 있는데 이는 부직포 내의 섬유가 복사 및 대류에 의한 열전달을 억제하기 때문이라고 생각된다.

또, 부직포의 열전달에 있어서 부직포의 구성요인 중 섬유의 전도에 의한 요인을 무시하면 공기에 의한 전도 및 대류의 영향이 지배적이어서 이는 시료에 따라 약 79~89%의 비율로 나타났으며, 부직포의 열전달에 대한 공기의 영향으로서 공기층의 두께가 두꺼울수록 전도 및 복사 열전달이 감소되어 보온력이 증가하였으며, 섬유가 존재하는 경우는 대류 및 복사 열전달에 대한 저항요인이 증가하여 전체 열전달이 감소하였다.

또한, 같은 무게에 대하여 충전도를 증가시키는 경우의 두께를 증가시키는 경우의 열전달을 비교해 보면, 같은 두께에서 충전도가 0.43%인 NF 650(무게: $6.0 \times 10^{-3}\text{kg}/\text{m}^2$)에 비해 1.23%인 UN 6251(무게: $17.0 \times 10^{-3}\text{kg}/\text{m}^2$)은 전체열전달이 $0.59\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$, 복사열전달은 $0.39\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 이 감소하였으나 비슷한 충전도에서 두께가 0.4cm인 UN4221(무게: $6.0 \times 10^{-3}\text{kg}/\text{m}^2$)에 비해 1.0cm인 UN6251(무게: $17.0 \times 10^{-3}\text{kg}/\text{m}^2$)은 전체열전달이 $6.32\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 복사열전달이 $1.63\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$ 가 감소하므로 같은 무게에 대해서 충전도를 증가시키는 것보다 두께를 증가시키는 것이 보온력 증가에 훨씬 유리하다고 생각된다.

IV. 결 론

본 연구는 부직포내 공기함량이 열전달에 미치는 영향을 분석하여 부직포의 보온성을 향상시킬 수 있는 제작조건을 알아보기 위한 것으로서 항온법에 의한 평판장치법(disk method)의 열전달 측정장치를 제작하여 대기압과 감압상태에서의 부직포의 열전달 특성을 비교하여 부직포의 전체 열전달중 공기 요인의 영향을 분석하였고 부직포의 종류 및 두께변화에 따른 열전달 특성을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 공기층의 두께가 두꺼울수록 공기에 의한 절연력 증가 및 복사 열전달량이 감소하여 전체 열전달은 감소하였으며, 같은 두께에서 섬유가 존재하는 경우는 섬유가 대류 및 복사 열전달에 대한 저항요인으로 작용하여 전체 열전달이 더욱 감소하였다.

둘째, 부직포를 통한 전체 열전달에서 섬유의 전도에 의한 요인은 무시할 만 하며 공기에 의한 전도 및 대류의 영향이 지배적이어서 이는 시료에 따라 전체 열전달의 약 79~89%로 나타났다.

셋째, 충전도가 일정한 상태에서 부직포의 두께가 두꺼울수록 전체 공기층의 두께증가에 따라 절연력이 증가되고 복사열이 전달되는 거리가 멀어지며 섬유에 의한 열전달 저항이 증가하여 전체 열전달은 감소하였다.

넷째, 같은 무게에 대하여 충전도를 증가시키는 것보다 두께를 증가시키는 방법이 전체열전달 및 복사열전달의 감소에 더욱 효과적인 것으로 나타났다.

* 감사의 글: 본 논문은 한국과학재단의 학술연구 조성비에 의한 연구의 일부로 한국과학재단에 감사드립니다.

(과제번호: 901-1006-017-2)

참 고 문 헌

- 1) ObendorF.S.K. and Smith, J.P., "Heat Transfer Characteristics Of Nonwoown Insulating materials", *Textiles.Res.J.*, 56, pp.691-696 (1986)
- 2) 신현세, 김영석, "부직포의 열적특성과 보온성에 관한 연구(I)", *한국섬유공학회지*, 24, pp.42-48(1987).

- 3) 이경우, 박명수, 신현세, 주장. "부직포의 열적성질과 보온성에 관한 연구(III)", *한국섬유공학회지*, 27, pp.930-937(1990)
- 4) Hager, M.E. and Steere, R.C., "Radiant Heat Transfer in Fibrous Thermal Insulation", *J. of Appl. Physics*, 31, pp. 39-50(1960)
- 5) Stuart, I.M. and Holcombe, B.V., "Heat Transfer through Fiber Beds by Radiation with Shading and Conduction", *Textile Res.J.*, 54, pp.149-157(1984)
- 6) Strong, F.P. and Bovenkerk, H.P., "Flat Panel Vacuum Thermal Insulation", *J. of Appl. Physics*, 31, pp.39-50(1960)
- 7) Nogai, T., "Estimation of Shape Factors for the Radiative Heat Transfer in Undirectionary Oriented Fiber Assembly Placed Between Two Parallel Parallel Plates", *SEN-I GAKKAISHI*, 36, pp.40-45(1980)
- 8) 김성권, *외복재료학* 서울:교문사, p.34(1992)
- 9) Farworth B., Crow R.M. and Dewar M.M., "Measurements and Calculations of the Thermal Resistances of Three Synthetic Fibre Battings", Ottawa, Defence Research Establishment, Environmental Protection Section, Protective Sciences division, *DREO Report*, No.818(1979)