

PCM 응용 온도감응 섬유 소재

장 승 옥

한국생산기술연구원 섬유소재본부

1. 인체의 온도조절 시스템

1.1. 인체의 온도조절 시스템

날씨가 추워져서 온도가 내려가면 인체는 모세혈관을 수축시키고 내부에서 흐르는 혈액의 양을 제한시켜 피부를 통해 나타날 수 있는 열손실을 막는다. 이와는 반대로 더운 날에는 인체는 모세혈관을 팽창시키고 피부를 통해 흐르는 혈액의 양을 증가시켜 몸으로부터 열을 발산한다. 일반적으로 피부의 쾌적한 온도 평균치는 섭씨 33.3 °C이다. 평균치 온도가 섭씨 30.8 °C로 떨어지면 사람은 추위를 느끼게 된다. 그리고 섭씨 30.0 °C 아래로 떨어지게 되면 근육을 움직여 열에너지를 발산하게 된다. 반대로 사람은 35.5 °C에서 더위를 느낀다.

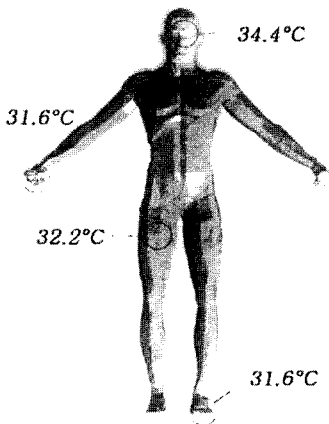


Figure 1. 인체의 부위별 평균온도.

섭씨 35.5 °C를 넘어가게 되면 발한(發汗)이 시작되어 불쾌지수가 높아진다. 그리고 피부온도가 40.0 °C에 도달하게 되면 신체세포에 문제가 발생할 가능성이 크다.

Figure 1은 인체의 부위별 평균온도를 나타낸 것으로 부분별로 온도차이가 있음으로해서 외부의 환경에 따라 피부가 느끼는 감각의 차이가 있고 그로 인해 발한이나 근육 운동의 차이가 있음을 미루어 짐작할 수 있다.

1.2. 보온성 의류

1.2.1. 종래의 보온섬유

종래에는 옷의 보온효과를 높이는 방법으로 내부의 열이 전도, 대류, 복사에 의해 손실되는 것을 억제하기 위하여 두꺼운 원단을 사용하거나 안에 솜을 넣어 보온하거나 금속 증착막을 가진 원단을 이용하였다. 열 대류에 대한 보호대책으로 섬유내부를 중공화시키거나 섬유를 극세화하여 공기를 세분화하였고, 고밀도 직물을 사용하거나 도포시켜 공기투과를 작게하였다. 열 전도에 대한 보호대책으로 직물의 함기량을 크게하여 열 전도율이 작은공기층을 만들거나, 소수성 섬유를 이용했다. 열 방사에 대한 보호대책으로 방사열을 금속증착면에 의해 반사시키고 열 발산을 방지했다.

Gore-tex의 AIRVENTAGE의 경우에는 가장 좋은 전열체인 공기를 이용하여 breathable chamber를 멤브레인 막에 공학적으로 형성시키는 방법으로

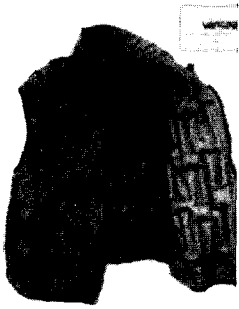


Figure 2. AIRVENTAGE.

1.2.2. PCM 축방열섬유

축방열가공 신소재는 미국 NASA에서 우주복용으로 처음 시도한 바 있는 신소재로 사계절 내내 얇은 옷감하나만 입고 지내도 춥거나 덥지 않으며, 신세대 감각의 디자인을 채택하여 기능성과 감성을 동시에 고려한 제품이다. 특히 사계절이 뚜렷한 우리나라는 여름과 겨울의 온도차이가 매우 크다. 따라서 스킨센서 섬유제품은 외기환경에 따라 피부온도가 올라가면 축열하고, 내려가면 방열하여 항상 피부 쾌적 온도인 32~33 °C로 조절하는 기능이 있다. 이 신소재는 양복, 바지, 점퍼 등 일반 의복을 비롯 군복, 스키복, 등산복, 장갑, 신발, 양말 등 전 제품에 널리 응용될 수 있는 하이테크 첨단소재이다. 예를 들어 스키복의 경우 기존의 두꺼운 소재 대신 얇은 옷으로도 충분히 방한 효과를 낼 수 있으며, 여성용 언더웨어 등에 적용되면 여름에는 시원하고 겨울에는 따뜻해서 패션을 중시하는 신세대에게 강하게 어필될 수 있을 것으로 보인다. 또한 더위나 추위에 약한 노년층을 위한 의류로도 적합하다.

2. PCM 개요

2.1. PCM의 정의 및 종류

지구상에 존재하는 수많은 물질 가운데 결정구조를 갖는 물질은 세 가지 상(相)으로 존재할 수 있

insulation을 부여한다. 이 시스템은 간단하게 자켓이나 suit에 공기를 주입하는 밸브를 사용하여 공기를 주입하여 열을 절연하고 다시 더워지면 공기를 빼내어 착용자가 절연의 양과 열발산량을 개인적으로 조절할 수 있도록 고안되어 더위 및 추위를 조절하는 상품이다.

다. 다시 말해 각각의 물질에 따라 상이 변화되는 온도는 다르지만 특정 온도에서 고체, 액체 또는 기체 상태로 존재한다. 화학적인 정의에 의하면 상전이(phase transition)는 '물질이 다른 상 또는 다른 변태로 상태를 옮기는 협동현상'으로 정의된다.

물질의 상전이 현상은 물질의 고체와 액체상으로 변하는 가운데 나타나는 현상을 이용하게 된다. 일반적으로 고체가 가열되어 액체로 변하는 현상을 용해(melting)라고 하는데 용융, 또는 녹음이라고도 한다. 이러한 성질은 물질의 상변화(phase change) 가운데 하나이며, 물질은 어떤 온도에 이르면 이 변화가 일어난다. 특히 결정질 고체는 일정온도에 도달하면 녹기 시작하고 고체가 전부 녹을 때까지는 온도가 그 이상 올라가지 않게 된다. 이것은 고체를 가열하면 어느 온도 점에서 분자의 열운동에너지가 분자간의 결합에너지를 웃돌고 고체 내의 규칙적인 분자배열이 무너지기 때문이다. 이렇게 분자의 운동에너지가 그 결합에너지를 넘어 현상적으로 일정 부피를 유지하고 있는 고체로부터 유동성을 가지는 액체로 변하기 시작하는 온도를 그 물질의 용해점 또는 녹는점이라 하며, 용해하기 시작한 단위질량의 고체를 액체로 변하게 하는데 필요한 열에너지를 그 물질의 용해열이라 한다.

이와는 반대로 액체에서 고체로 변하는 현상을 응고(solidification)라고 하는데 이것은 용해의 역현상으로, 액체인 물질이 일정 압력에서 냉각되어 응고가 시작되면 끝날 때까지 온도가 일정하게 유지된다. 이 온도가 응고점이다. 응고점은 녹는점과 일치하며, 각 물질마다 특정 값을 가지고 있다. 물을 제외한 대부분의 물질은 응고에 의하여 부피가 작아진다.

이상 위에서 언급한 것 같이 용해 및 응고현상이 나타날 때 공통적으로 나타나는 현상은 그 물질의 온도는 일정하게 유지된다는 것이다. 이때 물질이 온도, 압력의 변화를 보이지 않고 평형을 유지하면서 한 상에서 다른 상으로 전이할 때 흡수 또는 발생하는 열을 잠열(latent heat) 또는 숨은열이라고 한

다. 융해열, 증발열(기화열), 승화열 등이 그 대표적인 예이다. 예를 들어 물을 가열하면 100 °C에서 끓기 시작하는데, 그 이상 아무리 가열해도 완전한 수증기가 될 때까지 100 °C를 넘지 않는다. 또 얼음을 가열해도 완전히 녹을 때까지는 0 °C 이상이 되지 않는다. 이와 같이 비등중인 물이나 융해중인 얼음에 가해진 숨은열은 물(액체)을 수증기(기체)로 바꾸고, 얼음(고체)을 물로 바꾸기 위해서만 소비되며, 온도를 상승시키지는 않는다. 반대로 수증기가 응축하여 물이 되는 경우나 물이 빙결(氷結)할 때는 그 열을 외부로 방출한다.

일반적으로 고체에서 액체로 변할 때 주위로부터 빼앗은 숨은열을 융해열이라 하고, 액체를 기체로 바꾸기 위해 필요한 숨은열을 증발열이라 하며, 각각 1 g의 물질을 바꾸는데 필요한 열량으로 크기를 나타낸다. 그 값은 물질의 종류 및 기화(융해)가 일어나는 온도에 따라 다르다. 앞의 경우를 예로 들면 물의 기화열인 물 1 g을 증발시키는 데 필요한 열량은 539 cal이고, 얼음의 융해열, 즉 1 g의 얼음을 녹이는 데 필요한 열량은 80 cal 이다.

일상생활에서도 물질의 상태변화와 더불어 숨은열의 출입을 이용한 것이 많이 있다. 여름에 땅에 물을 뿌리면 시원하게 느껴지는 것은, 물이 증발할 때 주위에서 숨은열(기화열)을 빼앗기 때문이다. 냉동기는 이 효과를 적극적으로 이용한 것으로, 액화한 기체를 기화기로 기화시켜, 주위로부터 기화열을 빼앗아 냉각한다. 이러한 물질의 특성을 이용하는 시스템은 이미 오래 전부터 건축물에서의 에너지 절감차원에서 연구되고 있었다[1-7]. 낮에 쬐이는 일광에너지를 상전이물질에 저장하여 밤이나 추운 날씨에 사용가능 하도록 하는 것이 이들 연구의 주된 목적이었다. 그러나 의류용으로 개발되어 인체의 온도조절을 가능하게 하는 시스템은 Barbara Pause에 의해 처음 고안되었고[8,9] 미국 NASA에서 이를 이용해 우주복용으로 개발하였다. 인체의 쾌적 온도 범위 내에 융점 및 응고점을 갖는 상전이물질을 이용하여 외부환경이 덥거나 추울 때에

Table 1. -25~20 °C 사이의 온도범위에서 반응하는 PCM

Phase Change Material	Crystallization Temperature Point in °C
Dodecane	-15.5
Tridecane	-8.8
Tetradecane	-0.2
Pentadecane	4.8
Hexadecane	-12.2
Heptadecane	-16.5

Table 2. 25~40 °C 사이의 온도범위에서 반응하는 PCM

Phase Change Material	Crystallization Temperature Point in °C
Octadecane	28.2
Nonadecane	32.1
Eicosane	36.8
Heneicosane	40.5

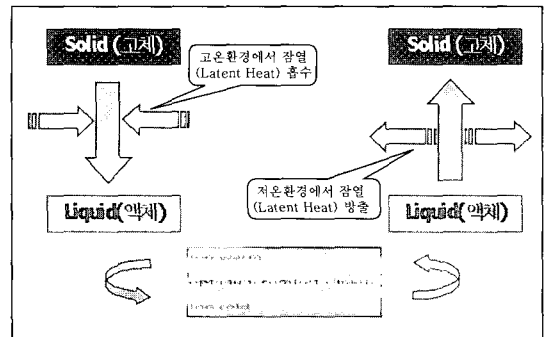


Figure 3. Phase Change Material (PCM) Works.

상관없이 인체의 피부온도 조절에 응용하고자 개발되었다. 즉, 이 제품은 외기환경에 따라 피부온도가 올라가거나 내려가면 외부의 온도변화에 대해 완충작용을 해주게 되고 상전이물질은 축열 또는 방열하여 피부와 의류간에 상호보완작용을 하게 되어 피부 쾌적온도인 32~33 °C를 유지하게 된다. 이상의 상전이물질을 이용한 온도조절 시스템에 대한 설명을 간단하게 표현하면 Figure 3과 같다.

따라서 인체가 춥다고 느꼈을 때 온도인 -25~20 °C 사이에서 반응하는 PCM과 인체가 덥다고 느꼈을 때 온도인 25~40 °C 사이에서 반응하는 PCM 조합으로 인체가 춥다고 느꼈을 때와 덥다고 느꼈을 때 모두 반응할 수 있게 된다.

2.2. 축열성능 분석방법 및 기기

2.2.1. Basic thermal insulation measuring system

basic thermal insulation은 PCM 반응 이전의 보온성 또는 소재자체의 보온성으로 정의 될 수 있으며, dynamic thermal insulation은 PCM 반응순간의 소재자체 보온성 + PCM 발열량으로 정의될 수 있다.

통상적인 제품의 보온성 측정방법에는 절대적 수치인 열전달(thermal transmittance) 저항이나 열전도 저항을 측정하는 방법과, 상대적인 수치인 보온력을 구하는 방법이 있다. 열전달 저항은 일정한 공급열량을 갖는 발열원통에 시험편을 씌우고 정상상태에 달한 후 발열체 표면과 외기온을 측정함으로써 직물의 열에 대한 전달 저항을 측정하는 것이다. 보온력은 향온법 또는 냉각법으로 측정이 가능하다. KS K 0560 방법 중 하나인 향온법은 적당한 성능을 가진 보온성 시험기를 사용하여 시험편에 초하중을 가한 다음, 향온 발열체에 부착한다. 낮은 온도의 바깥 공기로 유출되는 열량이 일정해져 발열체의 표면온도가 일정값을 나타내면서부터 2시간 후의 시험편을 투과하여 방산되는 열손실을 구한다. 이 수치와 시험편이 없는 상태에서의 같은 온도차 및 같은 시간에 방산되는 열 손실을 구하여 이 두 값의 차이로 보온력을 측정한다. 냉각법은 열원체에 시험편을 싸서 낮은 온도 기류에 냉각시켜 일정시간에 냉각되는 열원체의 온도차 또는 일정온도로부터 규정온도까지 냉각시키는데 소요되는 시간을 측정하여 이 수치를 시험편이 없는 경우와 비교하여 보온력을 측정한다.

또 다른 보온력 측정방법으로는 일본에서 개발된 KES(kawabata) system을 이용한 방법으로, 일정한 크기의 시료 아래편에 발열체가 있고 시료 위편에서는 일정 온도, 풍속을 갖는 바람을 불게하여 시료 아래편 발열체가 기계적으로 정해진 온도유지를 위해 필요한 소비전력을 구하고, 발열체에 시료가 없을 때의 소비전력과 비교하여 보온력을 측정한다.

그러나 상기에 기술한 측정법들은 특정온도나 환경에서 그 온도를 유지하기 위한 발열체의 소비전

력이나 특정 환경에서의 열손실을 측정하여 보온성을 평가하므로, 실제적으로 온도의 다양한 변화가 가능한 외부환경에서의 보온, 보냉성능 측정에는 한계가 있다고 할 수 있다.

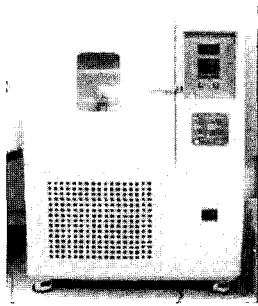
DSC에 의한 열분석은 물질 및 기준물질의 온도를 조절된 프로그램에 따라 변화시키면서 측정물질의 기준물질에 대한 에너지 입력차(ΔH)를 온도의 함수로 측정하는 방법으로 시료에 대한 열적흐름을 측정하는 방법이다. 이 방법은 heat flux는 단위와트(W)나 밀리와트(mW)로 전달되는 열에너지를 분석하는 것으로 시간에 대한 heat flux곡선은 열손실이나 시료의 열량변화를 mJ 단위로 나타낸다. DSC는 일반적으로 승온이나 강온 온도과정으로 온도범위에 따라 분석된다. DSC 분석결과는 비열, 열적효과, 유리전이(glass transition, Tg), 녹는점 거동 등을 알려주는 지표가 되기때문에 열변화에 따른 phase change materials의 열용량을 분석하는데 사용되기도 한다.

2.2.2. Dynamic thermal insulation measuring system

역학적 보온성 측정방법(dynamic thermal insulation measuring system)은 섬유제품이나 기타 판상물질의 보온, 보냉성능을 실시간으로 측정하는 것으로, 인위적인 기후환경 극한 또는 극서에서 온도변화에 따른 제품의 보온, 보냉 성능을 측정하는 시스템이다. 이 측정방법은 인위적인 기후환경, 예를 들어 극한 또는 극서의 환경(-40~90 °C)에 노출되었을 때, 또는 갑작스런 광범위한 온도변화에 대해 제품의 보온, 보냉 성능을 온도의 차이로 측정하는 시스템이다. Figure 4는 한국생산기술연구원에서 개발한 dynamic thermal insulation measuring system을 나타내고 있다.

2.3. 상전이물질의 열분석

상전이물질(phase change material, PCM)은 주위 온도에 따라 자발적으로 열에너지를 축적하거나 방출하는 성질을 갖는 물질이다. 예를 들어 얼음의 경



- ◆ 특허 명칭 : 보온, 보냉성능 측정 시스템
(Dynamic thermal-insulation measuring system)
- ◆ 출원 번호 : 10-2003-54781
- ◆ 출원 일자 : 2003. 08. 07
- ◆ 섬유제품이나 기타 보온, 보냉성능을 갖는 판상물질의 보온, 보냉성능을 실시간으로 측정하는 시스템
- ◆ 온도를 변화시켜 인위적으로 외부환경과 같은 환경을 조성하는 송풍구와 온도센서를 갖는 온도조절챔버와 측정하고자 하는 시료를 고정하여 시료의 표면 온도를 측정하는 시료고정대로 구성
- ◆ 섬유제품이나 기타 판상물질의 보온, 보냉성능을 외부기온과 같이 온도를 다양하게 변화시키면서 시료 내부와 외부의 온도를 실시간으로 측정

Figure 4. Dynamic thermal insulation measuring system.

우 고체상태의 얼음이 녹을 때는 물 1 °C 온도를 올리는데 필요한 에너지의 100배에 가까운 에너지가 필요하며, 완전히 용융이 일어나기 전까지는 열이 공급되어도 얼음자체의 온도 뿐 아니라 주위환경도 온도상승이 일어나지 않는다. 물이 얼음이 되는 결정화 과정도 마찬가지 현상이 일어난다. 상전이물질은 물 이외에도 천연과 합성상태로 500여종 가량이 있는데 물질에 따라 다양한 상전이온도를 나타내고 있으며 온도변화에 의해 용융과 결정화 현상을 일으켜서 스스로 열을 흡수하고 방출하는 기능을 가지고 있다. 이러한 기능성 물질을 마이크로캡슐화시켜 다양한 분야에서 활용하고 있으며, 최근에는 섬유제품을 비롯한 여러 가지 제품에 적용하여 복합적인 기능을 도입하려는 시도가 이루어지고 있다. 이러한 시도는 원하는 온도 범위 내에서 반응을 일으키는 상전이 물질을 선택하여 제품에 적용한다면 주위 온도

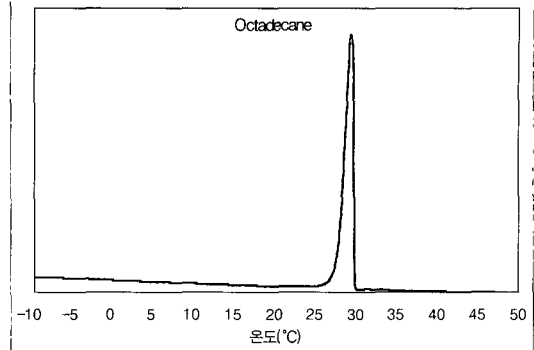


Figure 5. Octadecane의 온도상승 DSC 곡선.

가 변화함에 따라 응고열과 용융열을 방출, 흡수하여 급격한 환경변화에 노출되었을 때 온도 변화에 완충작용을 할 것이라는 기대에서 출발하고 있다. 주로 의복용으로는 인체에 무해하고 축열, 방열량이 크며 탄소수에 따라 상전이를 일으키는 온도가 다양한 파라핀류(heptadecane, octadecane 등)가 사용되고 있으며, 최근 기능성 의복과 잠금, 양말과 같은 저온에서의 보호 장구 등에 점차 응용되고 있다.

PCM의 열절연(thermal insulation) 효과는 PCM이 반응하는 온도와 PCM이 완전히 반응할 때까지의 소요시간에 의해 결정된다. 상전이물질 열분석은 시차 주사열분석기(differential scanning calorimeter, DSC) 분석을 통하여 종류에 따른 축열성을 비교할 수 있다. 분석조건은 10 °C/min의 승온 속도로 가온 범위 -10~50 °C에서 결정화 열로 측정되었다. 용해열은 DSC 곡선에서 형성되는 피크의 면적으로 산출하였다.

Figure 5는 대표적인 파라핀류 상전이물질인 octadecane의 열분석 결과로서 octadecane의 녹는점은 문헌에 의하면 28 °C 근처이고 분석피크에서 나타난 결과는 27.80 °C로 거의 비슷함을 알 수 있다. 흡열피크는 24.41~30.41 °C 범위에서 보였으며 57.23 cal/g의 열량을 나타냈다. Onset으로 표현되는 분석 피크의 초기 기울기와 X축과의 접점은 물질의 녹는점을 나타낸다.

3. PCM 마이크로캡슐

Table 3. 시차주사열분석기에 의한 마이크로캡슐 축열성능평가

시료명	융점 (°C)	흡열피크 (°C)	열량 (cal/g)	열량유지율 (%)
Octadecane	27.58	21.03~42.68	41.71	73

3.1. PCM 마이크로캡슐 제조

상전이물질을 이용한 축방열소재를 제품에 응용하기 위해서는 고체나 액체상태에 구분없이 일정한 형태를 유지해야하므로 밀폐된 용기에 담겨져야 한다. 마이크로캡슐은 이러한 목적에 적합한 방법으로 화학적 또는 물리적인 과정을 통해 외벽을 형성시켜 극히 미세한 크기의 작은 물방울이나 미립자를 감싸는 것이라 할 수 있다.

섬유제품의 여러 기능성 가공에 많이 사용되고 있는 마이크로캡슐은 다양한 제품에 응용되고 있으며, 제품뿐 아니라 제조에 관한 것 역시 많은 특허에서 다루어지고 있다[10-17].

특히 최근 들어서는 상전이물질에 대한 관심이 증대되면서 상전이물질을 마이크로캡슐화하여 이들의 잠열을 이용하려는 시도가 점점 증가하는 추세이다[18-23].

축열복합 마이크로캡슐의 제조방법은 상전이물질을 초기 유화시켜 캡슐 내부층을 형성하는 단계, 상기 캡슐 내부층에 초기 멜라니 축합물을 가하여 둘러싸도록 하여 캡슐 외부층을 형성시키는 단계, 사용된 고분자 물질의 가교제 및 경화제를 투입하여 상기 캡슐 표피층을 경화시키는 단계 및 경화된 마이크로캡슐을 담고 있는 충전용액을 상온에서 건조시켜 반응을 종결시키는 단계로 이루어진다.

국외의 경우 상전이물질을 포함하는 마이크로캡슐을 응용하여 섬유제품을 비롯한 여러 가지 제품의 개발이 이루어져 있으나, 이와 동시에 항균, 치유 기능을 갖는 다기능 제품을 얻고자 하는 경우에는 마이크로캡슐을 적용한 후, 캡슐외부의 고분자 물질에 은 나노입자를 코팅시킴으로써 축열 복합 마이크로캡슐의 외부에 은 나노입자를 고르게 분포시키기도 한다.

이와 같이 캡슐외벽에 분포된 은 나노입자는 축열복합 마이크로캡슐의 고유한 축열 기능 이외에

은 나노입자의 표면처리에 의한 천연의 은 고유의 살균과 면역력 증진의 부가기능이 발휘되게 된다.

3.2. 제조된 PCM 마이크로캡슐 열량평가

3.2.1. 시차주사열분석기에 의한 축열성능 평가

octadecane을 이용하여 제조된 축열 마이크로캡슐의 열분석 결과로, onset으로 표현되는 분석피크의 초기 기울기와 X축과의 접점인 물질의 녹는점은 27.58 °C로 상전이물질 상태에서의 녹는점인 28.2 °C와 거의 비슷함을 알 수 있다. octadecane의 경우 흡열피크는 21.03~42.68 °C 범위에서 보였으며 41.71 cal/g의 열량을 나타내어 상전이물질 상태에서의 비교하여 반응온도 범위는 약간 하강하였고, 열량은 상전이물질 대비 약 73%를 유지하고 있다.

3.2.2. 주사전자현미경에 의한 외관평가

전자현미경 사진분석을 통해 제조된 마이크로캡슐의 크기, 분포도, 구의 형상 등이 분석된다. 주사전자현미경으로 마이크로캡슐 외관을 평가한 사진은 Figure 6과 같다.

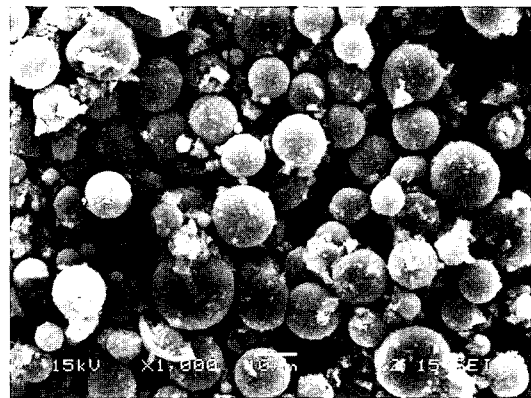


Figure 6. PCM 마이크로캡슐 전자현미경 사진(x1000).

3.2.3. 한국생산기술연구원 축열보냉측정기에 의한 축열성능평가

실험에 사용된 octadecane의 축열성능 실험결과를 나타낸다. 각 시료를 3g씩 채취한 후 5ml 용기에 담아 온도조절이 가능한 챔버에서 인위적인 외부기온의 변화를 주면서 냉각, 가열시의 축열, 방열성능을 평가한 결과는 Figure 7, 8과 같다.

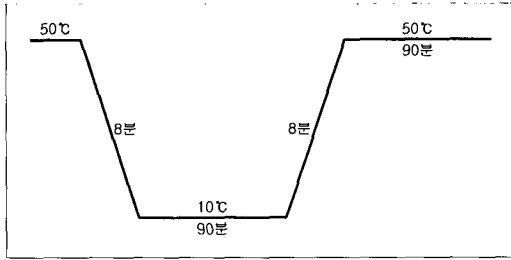


Figure 7. 축열성능 평가곡선.

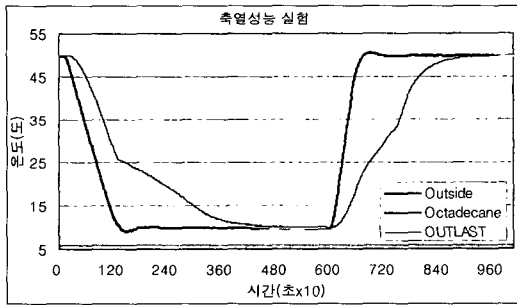


Figure 8. 축열성능 실험.

4. PCM 마이크로캡슐을 사용한 최종제품의 착용성능평가

PCM 마이크로캡슐을 적용한 섬유소재의 개발은 단위 면적당 다량의 PCM 마이크로캡슐을 적용하여야 온도조절의 효과를 얻을 수 있어 경량섬유소재 제품의 개발은 제한적이다. 본 연구실에서는 현재 부직포와 신발의 안창 또는 스쿠버다이빙복 용도로 PCM 마이크로캡슐을 사용한 네오프렌 제품을 개발하고 있다.

PCM 마이크로캡슐을 사용한 네오프렌 신발 안창의 착용성능평가의 예를 들면 다음과 같다.

실험에 사용한 시료는 상전이 반응온도 28 °C를 만들기 위하여 두 종류의 상전이물질을 혼합한 PCM

마이크로캡슐을 제조하여 배합제와 함께 준비된 클로로프렌 고무와 무게대비 10%, 20%, 30% 그리고 40% 농도로 발포하여 네오프렌을 제조하여 두께 3mm로 skiving하여 사용하였다.

4.1. 주사전자 현미경에 의한 외관평가

제조된 네오프렌 고무 단면의 전자현미경 사진으로 첨가량에 따라 약간의 차이는 있지만 육안으로

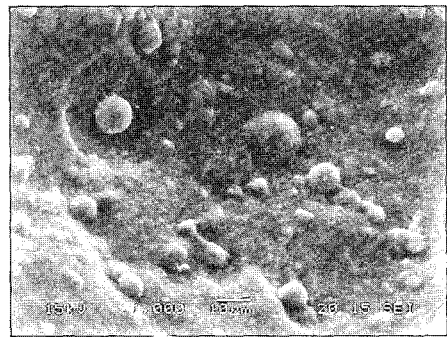


Figure 9. 10% PCM 함유 네오프렌 단면(×1000).

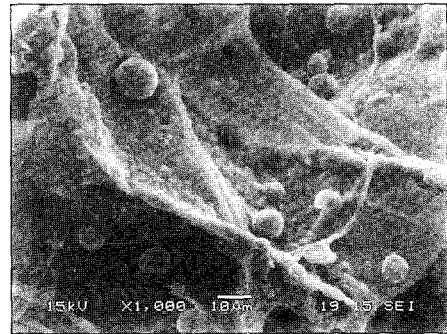


Figure 10. 20% PCM 함유 네오프렌 단면(×1000).

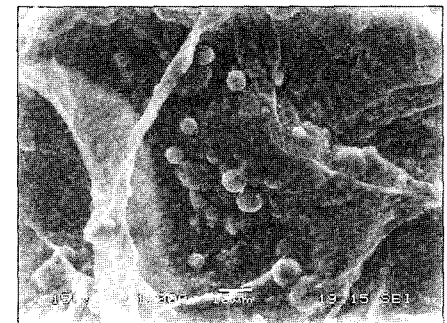


Figure 11. 30% PCM 함유 네오프렌 단면(×1000).

도 뚜렷이 마이크로캡슐의 존재를 확인할 수 있다. 또한 마이크로캡슐이 고무 내부에 고르게 분포되어 있음을 볼 수 있었고 첨가 농도에 따라 나타나는 마이크로캡슐의 분포량도 증가하였다.

4.2. PCM을 이용한 네오프렌 인솔의 착용성능평가 실험

발포 네오프렌에 첨가된 축열 마이크로캡슐의 상전이효과를 고찰하기 위해 동적 보온성을 측정할 수 있도록 상온과 저온을 오가는 동적 실험조건을 설계하여 열성능 및 수분에 대한 반응을 분석하였다.

4.2.1. 실험도구

- ① 일반 네오프렌 / 축열 마이크로캡슐(무게대비 40%)을 첨가한 네오프렌(반응온도 28 °C)
- ② 접촉 온도센서 2개 (thermo recorder TR-71S S/N 007071)
- ③ 비접촉 온·습도센서 (thermo recorder TR-72S

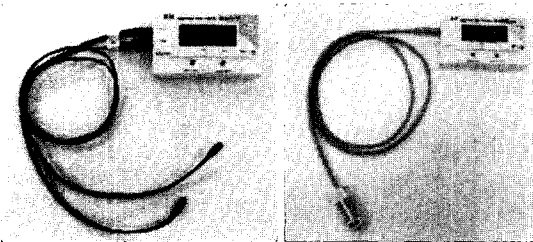


Figure 12. 접촉 온도센서 / 비접촉 온·습도센서.



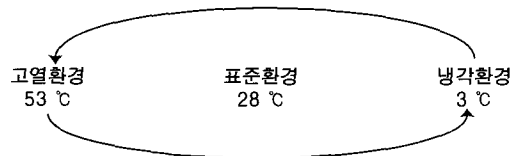
Figure 13. Cotton상의/방수장화/트레이닝복 상·하의.

S/N 009123)

- ④ 정밀저울 / 온수기 / 냉수 / 욕조 / 온도계
- ⑤ cotton상의 / cotton양말 / 방수장화 / 트레이닝복 상·하의

4.2.2. 실험환경 및 실험절차

표준환경인 온도 21.5 °C, 습도 64%의 항온항습실에서 실험을 실시하였다. 실험환경으로 냉각환경은 기준 실험의를 착의한 피험자가 3 °C 냉수에 방수장화를 신고 발을 담그는 방법으로, 고열환경은 53 °C 온수에 방수장화를 신고 발을 담그는 방법으로 실험이 이루어졌다.



- ① 고열환경에서 20분동안 온·습도 변이분석 (컨디셔닝)
- ② 실험전 양말무게 측정
- ③ 냉각환경에서 20분동안 온·습도 변이분석
- ④ 고열환경에서 20분동안 온·습도 변이분석
- ⑤ 냉각환경에서 20분동안 온·습도 변이분석
- ⑥ 고열환경에서 20분동안 온·습도 변이분석
- ⑦ 실험후 양말무게 측정(실험전 양말무게 · 실험후 양말무게 = 발한량 추정)

4.2.3. 실험결과

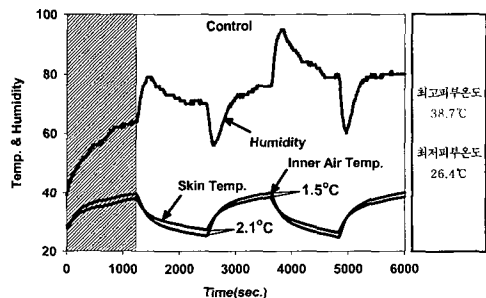


Figure 14. 일반 네오프렌 인솔 착용시의 온습도 변화.

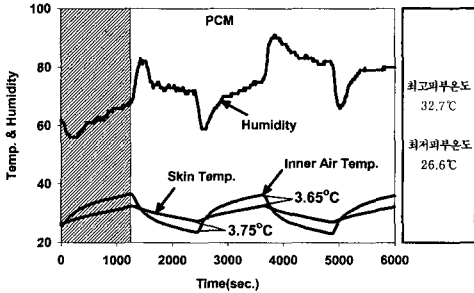


Figure 15. 축열 네오프렌 인솔 착용시의 온·습도 변화.

4.2.4. 결론

한국생산기술연구원에서 고안된 보온, 보냉성 측정기로 온도조절능을 측정하기 위해 제조된 축열 네오프렌의 실제적인 착화실험 결과, 마이크로캡슐을 함유한 인솔의 경우 최고피부온도가 32.7 °C로 그렇지 않은 경우의 38.7 °C보다 낮게 나타나 많게는 6 °C 정도의 온도 차이가 존재하였으며, 축열 마이크로캡슐이 가공된 제품과 가공되지 않은 제품간의 외부환경 변화에 따른 온도 및 습도 변화폭이 적게 나타나는 것으로 분석되어 상전이물질의 축열효과를 통한 동적보온 효과가 있는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. L. Bourdeau, and A. Jaffrin Actual Performance Of A Latent Heat Diode Wall. Proc. Int. Symp. Vol. II, On Solar Energy Fundamentals & Applications, Izmir, Turkey(1979).
2. A. Abhat, Performance studies of a finned heat pipe latent thermal energy storage system. The international solar Energy Society Congress, New Delhi, India(1978).
3. D. Eissenberg, and C. Wyman "What's in store for phase change thermal storage materials for active and passive solar applications." Solar Age (May 1980): pp.12-16(1980).
4. D. Feldman, M. M. Shapiro, et al. "Organic phase change materials for thermal energy storage." Solar Energy Materials 13: pp.1-10(1986).
5. N. A. Mancini, Use Of Paraffins For Thermal Storage. Thermal Storage Of Solar Energy. C. Den Ouden. Holland, Martinus Nijhoff Publishers: pp.99-109(1980).
6. I. O. Salyer and A. K. Sircar. Phase change materials for heating and cooling of residential buildings and other applications. Proceedings of the 25th inter-society energy conversion

engineering: pp.236-243(1990).

7. 박희열, 강용혁, 전명석, 이태규, 이동규, 한귀영, "미세캡슐 잠열제를 사용한 축열장판의 열성능 연구", 공기조화 냉동공학회 '98 하계학술발표회 논문집, pp.978-983(1998).
8. Barbara Pause, "Development of Heat and Cold Insulating Membrane Structures with Phase Change Material", Journal of Coated Fabrics, 25 pp.59-68(1995).
9. Barbara Pause, "Development of New Cold Protective Clothing with Phase Change Material", Proceedings of Int. Conf. on Safety and Protective Fabrics, pp.104-110(1998).
10. 한국 공개특허 2001-0097761.
11. 한국 공개특허 2002-0072600.
12. 한국 공개특허 2002-0029005.
13. 한국 공개특허 2002-0059395.
14. 한국 공개특허 2002-0060522.
15. 한국 공개특허 2002-0059049.
16. 한국 공개특허 2002-0059048.
17. 한국 등록실용신안 20-0282075.
18. 한국 공개특허 1995-0011585.
19. 한국 공개특허 2001-0097022.
20. 한국 공개특허 2001-0006245.
21. 한국 공개특허 2001-0045384.
22. 한국 공개특허 2002-0056785.
23. 한국 공개특허 2002-0078220.

저자 프로필



장 승 옥

1980. 연세대학교 의생활학과 졸업
 1982. 연세대학교 대학원 의생활학과(석사)
 1986. Fachhochschule für Gestaltung in Pforzheim Mode-Design 수료
 1990. Fachhochschule für Technik Sigmaringen에서 의복산업공학과 졸업 (Diplom - Ingenieur)
 1992-현재. 한국생산기술연구원 스마트 섬유팀 수석연구원
 2001-2002. 연세대학교 의류환경학과 겸임교수
 (330-825)충남 천안시 입장면 흥천리 35-3
 전화: 041-5898-583
 e-mail: sngok@kitech.re.kr