

새로운 기능성 시험법에 대하여

- 온도 조절 섬유의 시험 방법 -

1. 서 언

최근 일본 섬유 산업을 견인하는 키워드 중의 하나였던 기능성도, 이전처럼 일대 선풍을 불러일으키는 토픽이 줄어드는 것 같은 인상을 받는다. 그러나 각종 신문이나 TV 등에서는 아직 많은 기능성 소재·가공제가 발표되어 있고, 많은 기능성이 일반화·정변화되어 그 성능의 개량, 향상이나 복합화에 주력해 왔기 때문에 이목을 끄는 토픽이 되기 어려운 것이 아닐까? 실제, 대만과 한국을 비롯하여 아시아 각국의 섬유 산업에서는 기능성에 대한 적극적인 활동이 눈에 띄며, 구미에서는 스마트 섬유(smart textile)에 대한 관심이 높아지고 있다. 더욱이 일본에서도 워밍 비즈(warm biz), 쿨 비즈(cool biz) 등 환경 적합성이 중요시 되어 기능성 소재의 역할이 감소된다고는 생각할 수 없다. 지금까지는 기능성의 새로운 점이 선행해 가기 어려웠지만 향후에는 각종 기능성 표시의 근거가 되는 객관적인 데이터를 요구하는 움직임이 점점 활발해질 것이라고 생각된다.

일본화학섬유검사협회(이하 가켄)에서는 오래 전부터 기능성 시험의 필요성에 착안하여 섬유업계, 학계 전문가와 함께 제휴하여 섬유 검사 업계에서 선구적으로 흡수 속건성 시험, 흡습시 발열 특성 시험, 광열 변환 축열성 시험을 비롯하여 각종 기능성 시험 방법을 개발하여 제안 해 왔다. 이번에는 가켄의 최근 연구 과제로 ‘온도 조절 섬유의 시험 방법’에 대하여 소개하고자 한다.

2. 온도 조절 섬유의 시험법 검토

2.1 개발 배경

새로운 기능성 소재로서 피부 온도와 유사한 융점을 갖는 상변이 물질 (phase change material, 이하 PCM)을 이용한 온도 조절 섬유 제품이 개발·판매되고 있다. 이 소재는 PCM수지 또는 PCM을 봉입한 마이크로캡슐을 섬유에 혼입하거나 원단 표면에 부착시키는 방법으로 PCM이 용해·응고될 때의 잠열을 이용하여 환경의 급격한 온도 변화를 완화시켜 의복 내를 적당한 온도로 유지시키는 것이 목적이다.

열 이동을 동반하는 섬유 제품의 성능 시험으로 JIS L 1096에 규정된 보온성 시험 등이 자주 이용되고 있지만 항온 조건에서 정상 상태에 있어서의 열 저항을 측정하는 것이 많다. 그러나 이번의 PCM을 함유하는 온도 조절 섬유는 온도 변화의 과도 상태에서 효과를 발휘하므로 정상 상태 시험에서는 그 특성을 검출할 수가 없다.

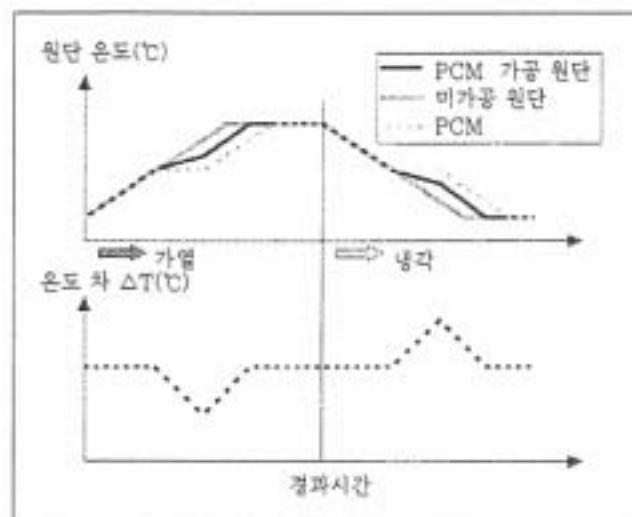
잠열의 검출에는 DSC, DTA로 대표되는 열 분석법이 유효하지만, 이러한 열 분석 장치는 측정하는 시료량이 매우 미량이기 때문에 함유하고 있는 PCM의 정성은 가능하지만 코팅이나 직·편조직 등에서 구조적으로 PCM이 편재되는 원단의 특성을 확실하게 나타내지 못하는 경우가 있다. 따라서 이번에는 PCM 가공제나 PCM 함유사 자체만이 아니라 원단 상태의 시료를 대상으로 하는 시험 장치 및 시험 방법을 개발하였다.

2.2 PCM을 이용한 온도 조절 섬유 제품에 대하여

현재, 판매되고 있는 온도 조절 섬유 제품은 첫째 직물과 니트에 후가공으로 PCM을 부착시킨 후가공품과 둘째 제사 단계에서 실에 PCM을 함유시킨 PCM 함유사 사용품으로 분류된다. 후가공품에는 수지 가공에 의해 피부에

접촉하는 측에 PCM을 부착시킨 것이 많고, PCM 함유사 사용품에는 피부측에 PCM 함유사가 편재하도록 직·편 조직을 고안한 것이 많다.

<그림 1>은 PCM 가공 원단, 미가공 원단, PCM을 가열·냉각시켰을 때 거동 이미지이다. PCM은 그 용점(응고점)부근에서 상변화를 일으켜, 가열·냉각해도 온도가 변하기 힘든 영역이 생긴다. PCM 가공 원단은 PCM 정도로 눈에 띄는 효과는 없지만 함유하는 PCM의 용점 부근에서 온도 변화 속도가 완만하게 되는 영역이 생긴다고 생각할 수 있다.



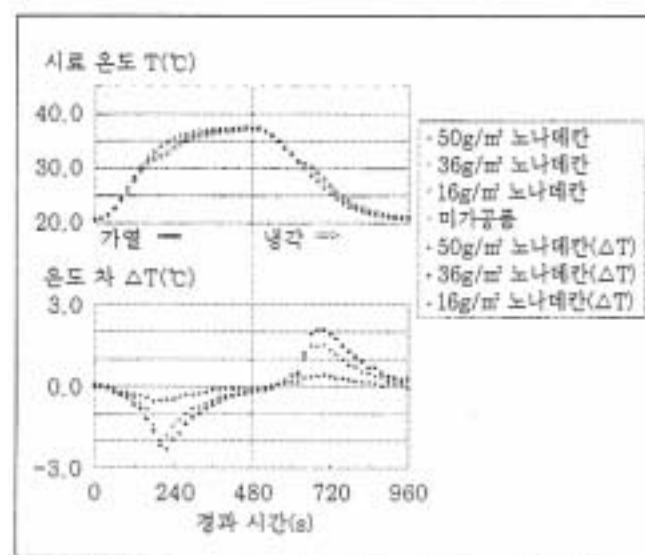
<그림 1> PCM 가공 원단의 거동 이미지

2.3 시험 방법 개요

PCM 가공 원단의 특성을 근거로 PCM 가공 원단 및 미가공 원단에 대해 동시에 온도 변화를 주어 원단의 온도 차로부터 PCM의 용점 부근에서 잠열 효과를 검출하는 방법을 채택하였다. 측정 모델은 DTA와 비슷한 방법이지만 본 장치는 DTA와 다르게 원단 구조를 전혀 파괴하지 않고 측정하기 때문에 코팅이나 직·편 조직에 의해 PCM이 편재되어 있는 시료도 평가 가능하다.

온도 차(ΔT) = PCM 가공품 온도 - 미가공품 온도

로써, 가공품과 미가공품의 온도 차를 계산하면 가열시는 PCM의 용점 온도 부근에서 가공품의 온도가 상승하기 어려워 ΔT 가 마이너스로 되고, 냉각시는 PCM의 응고점 온도 부근에서 가공품의 온도가 내려가기 어려워 ΔT 가 플러스로 되는 현상을 볼 수 있을 것이다. 표준 시료로 대표적인 PCM인 노나데칸(용점 32°C)을 중량 190g/m²의 면 100% 니트 원단에 0~50g/m² 함침시킨 것을 준비하여 그 효과를 측정한 결과를 <그림 2>에 나타내었다. 온도 변화 그래프와 온도 차 ΔT 의 그래프를 비교하면 노나데칸의 용점부근에서부터 가공원단의 온도 기울기가 완만해져 ΔT 의 극대치가 검출된다. 또한 노나데칸의 첨가량이 많을수록 ΔT 가 커지고, 장시간 유지되며, 그 효과가 현저하다는 사실을 알 수 있다.



<그림 2> PCM 첨가량 기지 시료의 측정 결과

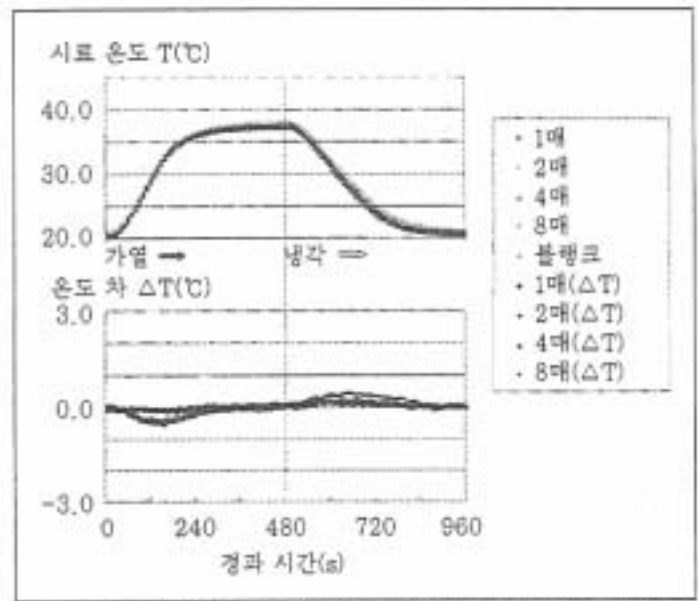
2.4 시료 중량 차의 영향에 대하여

물질의 열 용량은 그 질량에 비례하여 질량이 클수록 따뜻하게 되기 어렵

고 또, 차게 되기 어렵다. 그 때문에 중량차가 있는 시료 간 비교 시험을 하면 PCM의 잠열과 생지의 열 용량 차를 합쳐 검출해 버릴 가능성이 있다. 거기서, 시료의 중량 차에 기인하는 열 용량 차가 결과에 어느 정도 영향을 주는가를 검증하기 위해 <표 1>처럼 PCM을 포함하지 않은 셀룰로스가 부직포를 쌓아 시료 중량을 약 15~110g/m²로 변환시켰을 때의 온도 변화를 측정하였다. 또한 온도차 ΔT 는 ‘시료 온도 - 블랭크(시료가 없을 때) 온도’로 계산하였다.

<표 1> 셀룰로스가 부직포의 적층 매수와 중량

적층 매수	중량(g/m ²)
1	15.6
2	27.6
3	54.8
4	108.3



<그림 3> 셀룰로스가 부직포 적층시의 측정 결과

그 결과를 <그림 3>에 표시하였다. 쌓아둔 매수가 많을수록 가열시에 따뜻해지기 어렵고, 냉각시에는 차게 되기 어려운 경향을 볼 수 있어, 블랭크에 대한 최대 온도 차는 적층 매수 3매(중량 차 54.8g/m^2)에서 0.4°C , 적층 매수 4매(중량 차 108.3g/m^2)에서 0.6°C 에 도달한다.

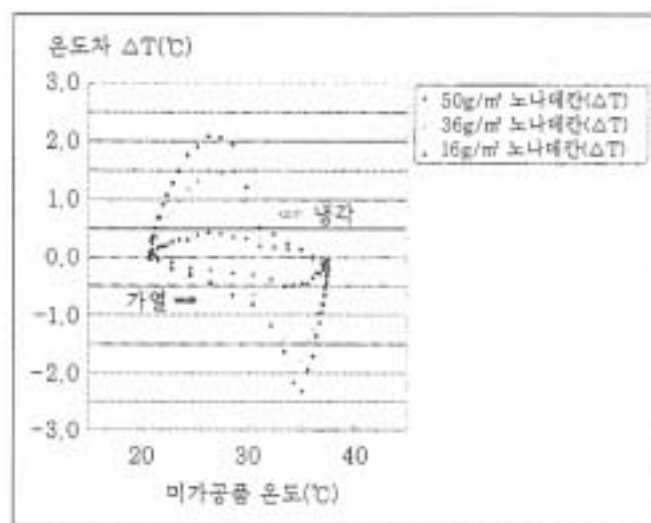
2.5 고 찰

온도 조절 섬유는 PCM의 상변화에 따른 잠열을 이용하여 특정한 온도 구역(PCM의 융점 부근)에서 급격한 온도 변화를 완화하는 소재다. 따라서 가로축에 경과 시간, 세로축에 가공품·미가공품의 온도 차를 플롯하여 그 순간적인 최대 온도차를 파악하는 것만으로는 불충분하다고 생각된다. 또, 시료에 따라 온도 변화의 속도가 다르기 때문에 경과 시간을 가로축에 위치한 그래프에서는 비교하기 어렵다. 거기서, 가로축에 미가공품 온도, 세로축에 온도차 ΔT 를 플롯하여 PCM의 온도 조절 효과를 검출하는 방법에 대하여 검토하였다.

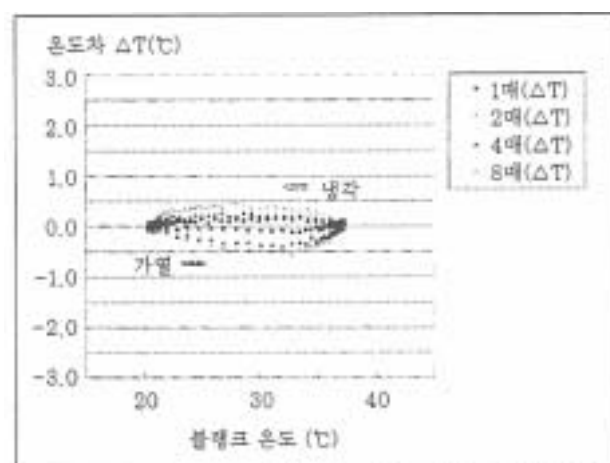
2.3절 및 2.4절에서 표시한 데이터를 다시 플롯시킨 결과를 <그림 4> 및 <그림 5>에 표시하였다. PCM 첨가량 기지 시료의 결과는 사용한 노나데칸의 융점(32°C)부근에서 급격한 온도 차가 생기는 것에 반해 PCM을 포함하지 않는 부직포 적층의 결과는 특정한 온도 구역이 아니고 온도를 변화시킨 전 구역에서 완만하게 온도차가 생기고 있다. 이상에 의해 가로축에 미가공품 온도를 플롯하는 것으로 PCM을 이용한 온도 조절 섬유 특유의 거동이 보다 명확하게 생기는 것을 알았다.

아울러, 플롯으로 둘러싸인 면적(이하, 플롯 면적)을 계산하여 가로축에 PCM 첨가량 또는 시료 중량, 세로축에 플롯 면적을 넣은 그래프를 <그림 6>에 표시하였다. PCM 첨가량 또는 시료 중량이 늘어날수록 플롯 면적은 크

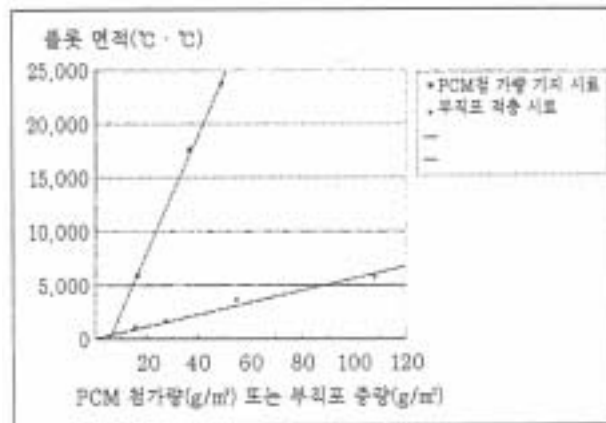
게 되는 경향을 볼 수 있고, 그 관계는 양쪽 모두 회귀직선으로 근사된다. 또, 같은 질량으로 비교해 보면, PCM 첨가 시료의 플롯은 셀룰로스로 부직포 적층의 중량 플롯에 비해 플롯의 면적이 크고, 단순히 시료 중량을 증가시켜 열 용량을 크게 하는 것 보다 PCM을 가한 방법이 온도 변화를 완화하는 효과가 큰 것을 알았다.



<그림 4> PCM 첨가량 기지 시료의 측정결과



<그림 5> 셀룰로스로 부직포 적층시의 측정결과

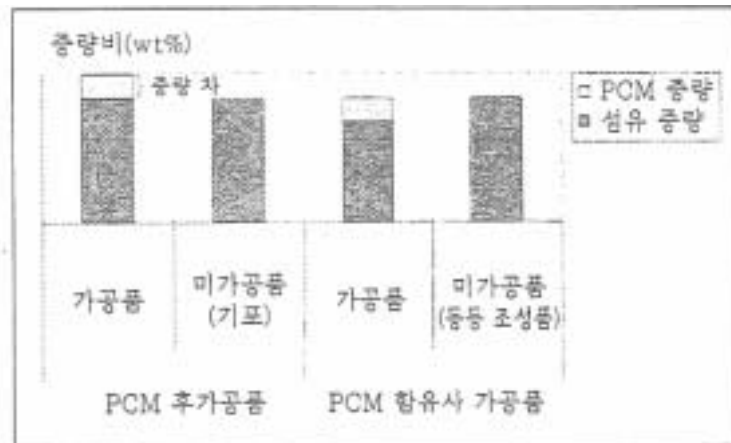


<그림 6> PCM 첨가량 또는 시료 중량과 플롯 면적의 관계

3. 결 언

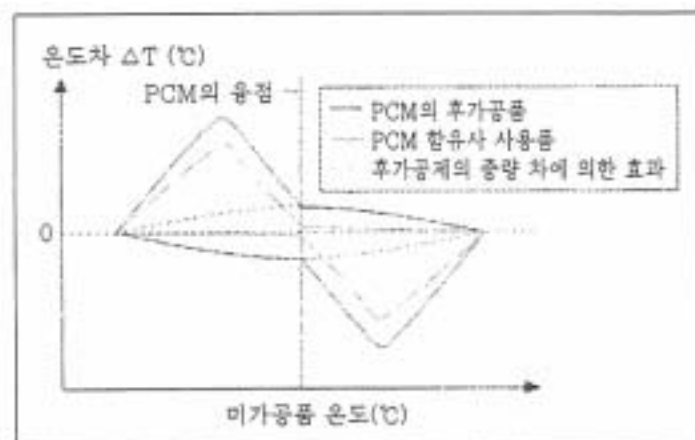
같은 질량으로 비교한 경우 PCM이 상변이할 때 흡수·방출하는 열량은 섬유 소재의 열 용량에 비하여 대단히 크다. 그렇지만 원단에 포함되어있는 PCM은 질량비로 미량인 것이 많고, 미가공품과의 비교 시험에서 PCM의 효과를 보다 정밀하게 검출하기 위해서는 가공품·미가공품에 대한 중량 차의 영향을 최대한 줄일 필요가 있다.

또, 현재 개발되고 있는 PCM을 이용한 온도 조절 섬유에는 수지 코팅 등으로 PCM을 후가공한 것과 제사 단계에서 실에 PCM을 함침시킨 것이 있다. 그 때문에 PCM을 함유하지 않은 미가공품과의 비교 시험으로 평가를 할 경우 PCM 가공제의 중량 차이가 발생한다. 즉, <그림 7>에 표시한 것처럼 후가공품의 경우는 기포 위에 PCM을 함유하는 수지가 가장 높기 때문에 가공품과 미가공품(기포) 사이의 중량 차이가 존재하는 상태로 시험을 실시하는 것에 비해 PCM함유사 사용품의 경우는 PCM을 함유하지 않은 같은 조성의 미가공 대응품을 별도로 준비해야 되므로 가공품과 미가공품의 중량 차이가 없는 상태로 시험을 실시해야 할 것이다.



<그림 7> 후가공품과 함유사 사용품의 비교조건

따라서 절대량에서는 같은 중량의 PCM이 첨가되어 있어, 같은 온도 변화 완화 효과가 기대됨에도 불구하고 시료의 제작 조건이 다르기 때문에 <그림 8>처럼 겉보기에는 PCM 가공제의 중량 증가분만 후가공품의 방법이 효과가 높을 것 같은 결과를 얻을 가능성이 있다. 그렇지만 미지의 제공 시료에 포함되는 PCM 함유량을 정확히 측정할 수 없고, 현실적으로 조달 가능한 미가공품은 제한되어 어떤 이유로든 이 차이를 고려하여 동등한 시험 조건을 설정하는 것은 대단히 어렵다.



<그림 8> 후가공품과 함유사 사용품의 결과 이미지

이상에 의해 PCM의 상변화에 따른 잠열을 이용한 온도 조절 섬유제품의 열 특성을 검출하는 시험 장치 및 방법은 개발되었지만 그 운용에 있어서는 새로운 과제도 있다는 것을 알았다.