

# PCM 마이크로캡슐을 이용한 열조절 섬유소재 개발 - 열조절 섬유소재의 착용효과 -

신윤숙 · 정영옥\* · 전향란\*\* · 손경희 · 김성희

전남대학교 의류학과, \*동신대학교 의류학과, \*\*호원대학교 의류학과

## Development of Thermoregulating Textile Materials with Microencapsulated Phase Change Materials(PCM) -Wearing comfort of the developed thermoregulating textile materials-

Youn-sook Shin · Young-ok Jeong\* · Hyang-ran Jeon\*\* · Kyoung-hee Son · Sung-hee Kim

Dept. of Clothing &Textiles, Chonnam National University

\*Dept. of Clothing &Textiles, Dongshin University

\*\*Dept. of Apparel Design, Howon University

(2003. 10. 20. 접수)

### Abstract

In order to evaluate physiological responses and comfort sensation of the developed thermoregulating textile material, polyester knit fabric was treated with phase change material (PCM) microcapsules by printing. Ten male subjects wearing an experimental best with and without PCMs were seated for 20 minutes, then exercised for 20 minutes, and then seated for 30 minutes in the chamber which was controlled under the temperatures of  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $50\pm 5\%\text{R.H}$ . The subject's skin temperature, microclimate inside garment and comfort sensation of two experimental bests were compared one another. As a result, the rectal temperature, skin temperature and mean skin temperature were similar in the two groups, and the subjects were not able to perceive the differences in comfort of the two experimental bests. However, the effect of PCM microcapsule could be seen from microclimate temperature and humidity. The microclimate temperature of the PCM garment at chest was significantly higher during exercise. The microclimate humidity of the PCM garment at chest was significantly lower during exercise and rest.

**Key words:** Phase change material(PCM), Skin temperature, Microclimate, Comfort sensation; 피씨엠, 피부온, 의복내 기후, 쾌적감

### I. 서 론

상전이물질(Phase Change Material, 이하 PCM)은 온도가 상승하면 녹으면서 열을 흡수하고, 온도가 낮아지면 결정화하면서 열을 방출하는 축열·방열성을

반복적으로 나타내는 에너지 물질이다. 최근 들어 이러한 성질의 PCM을 직물에 적용시켜 직물이 축열·방열성을 갖게 하는 자동온도조절 직물이 개발되어 속옷, 양말, 장갑, 신발 및 스키웨어, 방화복에 이르기 까지 응용되어지고 있다(Covid and Bryant, 1998; Endrusick et al., 2000). Colvin and Bryant(1998)는 PCM 마이크로캡슐 직물을 이용하여 새로운 보호복을 개발하였는데 뜨겁거나 추운 기후 모두에서 보호

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-0-31800-004-3) 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

복으로 매우 우수한 성능을 나타내어 소방복, 스킨스쿠버 보호복, 스키복 등으로 매우 효과적일 수 있다고 하였다. Endrusick et al.(2000)은 춥고 습한 환경에 노출되는 군인들의 발을 보호하기 위해 3종류의 서로 다른 PCM마이크로캡슐 직물을 안감으로 사용하여 3종류의 부츠를 제작하고 이의 효과를 일반군화와 비교 실험한 결과 Frisby Technologies ComforTemp™의 PCM마이크로캡슐 직물을 안감으로 사용한 부츠가 보다 오랜 시간 추위에 노출되어 있을 때 발을 보호하고 쾌적감을 증대시킬 수 있다고 하였다. Shim and McCullough(2000)는 16명의 남자를 대상으로 마이크로캡슐 처리의 스키복과 미처리 스키복을 착용시켜 두 스키복 착용시의 온열생리반응의 차를 관찰했다. 따뜻한 환경조건에서 추운환경조건으로 옮겨졌을 때 마이크로캡슐 처리의 스키복을 착용시가 마이크로캡슐의 응고로 인하여 미처리의 스키복 착용보다 하퇴온이 유의하게 높았고, 가슴, 전완, 손가락의 피부온에 있어서는 차가 나타나지 않았다. 그러나, 그외의 가벼운 운동, 휴식의 반복되는 단계별 조건에서 가슴, 전완, 손가락, 하퇴의 피부온은 마이크로캡슐 처리의 스키복 착용시와 미처리의 스키복 착용시 간에 유의한 차가 나타나지 않았다고 보고하였다. 이에 상반하여, 라켓볼 운동과 휴식을 반복하는 3명 여자의 평균 피부온은 마이크로캡슐 처리의 조끼 착용시와 미처리 조끼 착용시 간에 유의한 차가 나타났으며, 마이크로캡슐 처리시가 미처리시 보다 온도변화가 적었다는

연구결과가 보고되었다(김정혜, 2001). 그러나, 종래의 연구는 주로 써멀 마네킹을 이용한 연구로, 인체의 생리적 반응이나 착용감을 관찰한 연구는 많지 않다. 그러므로 본 연구에서는 PCM함유 마이크로캡슐처리 직물이 의복기후 및 인체의 온열생리반응에 미치는 영향을 확인하기 위해, 동일한 의복형태로 소재를 마이크로캡슐을 처리한 직물과 마이크로캡슐을 처리하지 않은 직물로 각각 제작하여 피험자가 착용했을 때의 의복기후 및 인체의 온열생리반응을 관찰하였다.

## II. 실험

### 1. 실험의복

#### 1) 시료

파라핀류 PCM중 옥타데칸을 심물질로 사용하여 In-situ법으로 제조한 마이크로캡슐을 폴리우레탄 바인더를 사용하여 폴리에스테르 니트에 날염법으로 처리하였다. DSC 분석결과 처리직물의 흡열온도는 25.8°C, 방열온도는 22.9°C, 총열용량은 34.45 J/g으로 나타났다.

#### 2) 의복제작

실험의복은 마이크로캡슐을 처리한 폴리에스테르와 마이크로캡슐을 처리하지 않은 폴리에스테르 두 종을 <Fig. 1>과 같이 조끼 형태로 제작하였다.

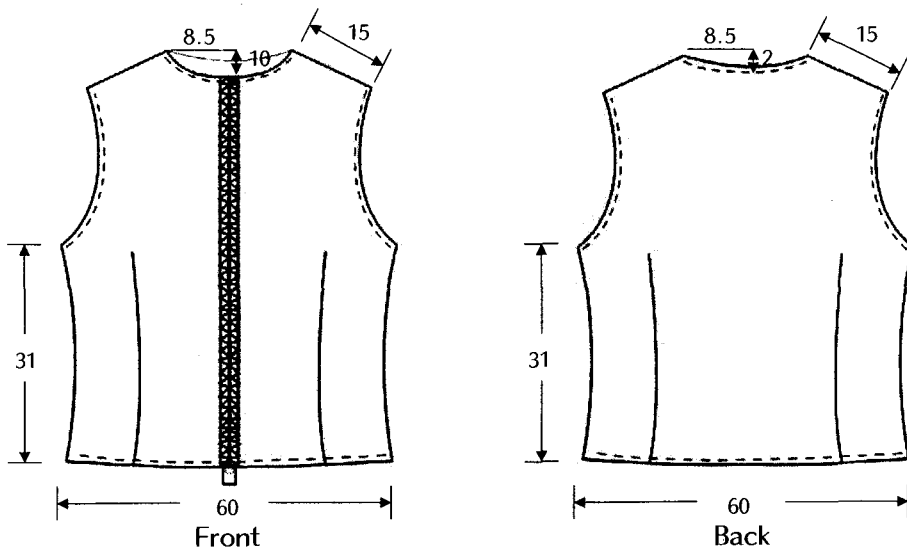


Fig. 1. Dimensions of experimental clothing.

2. 인체착용실험

1) 피험자

피험자는 전남대학교에 재학 중인 건강한 남학생 14명으로 피험자의 연령 및 신체적 특성을 <Table 1>에 제시하였다. 피험자의 평균체중은 69.29kg, 평균신장은 175.00cm로 평균 체표면적이 1.79m<sup>2</sup>이었다. 실험에 앞서 피험자에게는 실험의 목적과 진행상황 등에 관해 설명했고 실험참가의 동의를 얻었다.

2) 실험조건

실험은 2002년 12월~1월에 전남대학교 인공기후실에서 행해졌다. 실험은 피험자마다 2번 반복하여 행해졌고 실험의 시작시간을 오전10시, 오후2시, 오

후4시로 하여 피험자에 따라 동일하게 조절하였다.

실험중의 착의조건은 면100%의 팬티와 반팔 내의 및 양말, 긴 소매·긴 바지의 운동복, 운동화를 기본으로 하여, 마이크로캡슐을 처리한 폴리에스테르의 조끼(착의조건TR)와 마이크로캡슐을 처리하지 않은 폴리에스테르의 조끼(착의조건uTR)를 하루씩 번갈아 착용하게 하였다. 선행연구(Shim et al., 2000, 2001)의 써멀마네징을 이용한 PCM 처리직물 실험에서 마이크로캡슐 처리를 한겉보다는 두겉이, 안겉보다는 바깥겉에 하는 편이 축열·방열효과가 좋다는 결과가 얻어졌다. 이를 참고하여 본 실험의 착의조건은 반팔 내의를 착용한 후 마이크로캡슐 처리직물의 조끼를 착용하는 것으로 하여 피험자의 총 착의량은 1.1 clo이었다.

실험의 진행순서는 <Fig. 2>와 같다. 실험실의 온

Table 1. Physical characteristics of the subject

	age (yrs)	weight (kg)	height (cm)	BSA (m <sup>2</sup> )	BMI
S 1	23.1	67	183	1.82	20.01
S 2	23.5	56	170	1.60	19.38
S 3	23	62.5	173	1.70	20.88
S 4	24	64	181	1.77	19.54
S 5	26.1	77	168	1.83	27.28
S 6	24.6	80	178	1.93	25.25
S 7	25.2	71	175	1.81	23.18
S 8	25.1	64	168	1.68	22.68
S 9	26.9	83	176	1.95	26.79
S10	25.7	74	175	1.84	24.16
S11	23.2	68	176	1.78	21.95
S12	24.1	69.5	169	1.75	24.33
S13	21.6	66	181	1.79	20.15
S14	19.2	68	177	1.79	21.71
AVG	23.95	69.29	175.00	1.79	22.66
S.D.	1.89	7.00	4.74	0.09	2.52

BSA; Body Surface Area=Weight<sup>0.425</sup>×Height<sup>0.725</sup>×72.46×10000

BMI; Body Mass Index=Weight/Height<sup>2</sup>×10000

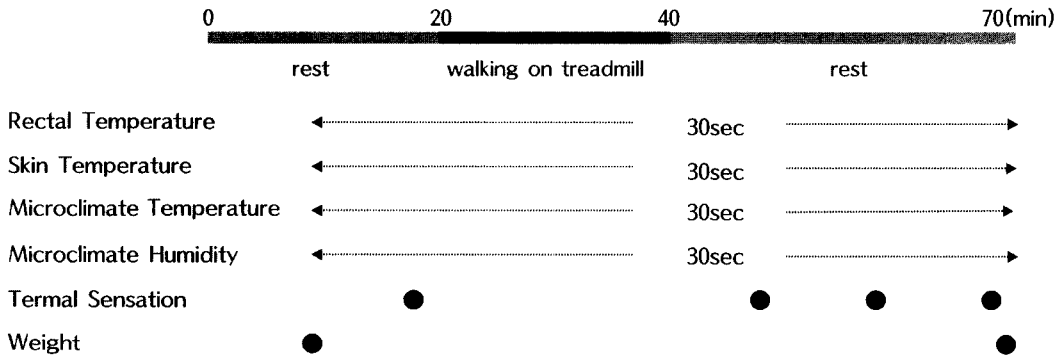


Fig. 2. Procedure of the experiment.

도는 시료의 DSC분석결과 처리직물의 흡열온도와 방열온도를 고려하여  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였으며, 상대 습도  $50\pm 5\%$ 로 조절하였다. 피험자는 20분간 의자에 앉아 안정한 후 20분간 treadmill(C&Tel FITNESS社, HP-4500)에 의한 보행(90m/min), 그리고 30분간 의자에 앉아 휴식을 하도록 하였다.

### 3) 측정항목 및 측정방법

체온은 GRAM社 Logger LT-8 series를 이용하여, 직장은 센서를 항문으로부터 12cm위치까지 삽입하여 30초 간격으로 측정하였다.

피부온은 이마, 복부, 등, 전완, 손등, 대퇴, 하퇴, 발등의 7부위를 GRAM社 Logger LT-8 series의 피부온 센서를 이용하여 30초 간격으로 측정하여, Hardy and Dubois(1938)에 의해 고안된 7점법식에 의해 다음과 같이 평균피부온을 구했다.

$$\begin{aligned} \text{평균피부온} = & 0.07\text{이마온} + 0.35\text{가슴온} + 0.14\text{전완온} + \\ & 0.05\text{손등온} + 0.19\text{대퇴온} + 0.13\text{하퇴온} + \\ & 0.07\text{발등온} \end{aligned}$$

의복 내 온·습도는 GRAM社 Logger LT-8 series의 온·습도센서를 이용하여, 가슴과 등부위의 조끼표면에 센서를 고정시켜 조끼와 운동복사이의 온도와 습도를 측정했다.

그리고 총발한량을 얻기 위해 CAS weight scale을 이용하여 실험 전, 후 피험자의 체중을 측정했고 그 차이를 총발한량으로 하였다.

또, 온열감·습윤감·쾌적감의 주관적 감각평가를 보행전과 후 10분 간격으로 행했다.

### 4) 통계분석

PCM마이크로캡슐 처리 직물의 조끼 착용시와 미처리직물 조끼 착용시 피험자의 생리적·감각적인 차를 t-test 및 일원배치에 의한 분산분석으로 분석했다.

## 3. 씨털 마네킹 실험

### 1) 씨털 마네킹

대구 한국섬유개발연구원 연구실의 씨털 마네킹을 이용하였다. 이 씨털 마네킹은 전체 표면적이  $1.78\text{m}^2$  이고, 15부위로 나누어져 있어 각 부위별로 전력이 공급되어 각각 독립적으로 온도 제어가 가능하다.

### 2) 실험조건

실험은 환경온도  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ , 상대습도  $50\pm 5\%$ 의 환경 조건에서 씨털 마네킹의 평균 피부온  $33.72^{\circ}\text{C}$ 로 하여, 씨털 마네킹에 면100% 메리야스와 PCM마이크로캡슐을 처리한 폴리에스테르의 조끼 또는 마이크로캡슐을 처리하지 않은 폴리에스테르의 조끼를 착용시켰다. 실험은 30분간 각각 3번 반복하여 행해졌고, 3번의 열 공급량을 평균했다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 직장온

피험자14명의 직장온을 PCM 마이크로캡슐 처리 직물의 조끼 착용시(착의조건TR)와 미처리 직물의 조끼 착용시(착의조건uTR) 각각 평균하여 보행전의 안정상태를 기준으로 변화량을 <Fig. 3>에 나타내었다. 착의조건TR과 uTR 모두 직장온은 보행시작 7~8분경과 후부터 서서히 상승하였다. 보행이 끝난 후에도 직장온은 3~4분 상승을 지속했고 이후 서서히 하강하였는데, 착의조건TR에서 uTR에 비해 직장온 상승정도가 조금 작은 것으로 나타났고, 최고 상승점에 도달한 시점이 조금 빨랐으며 하강정도에 있어서도 TR이 uTR에 비해 더욱 완만한 것으로 보이나 유의한 차이는 없었다.

직장온의 상승과 하강이 보행의 시작과 끝과 일치하지 않고 5~10분 정도 늦게 나타나는 것은 보행으로 인한 체열 생산이 심부온 상승에 영향을 미치는 데까지 걸리는 시간, 즉 잠복기로 볼 수 있는데, 두 착의조건 간에 유의차는 없었다.

### 2. 피부온

이마의 피부온은 안정시에  $32\sim 32.5^{\circ}\text{C}$ 를 유지하다가 보행과 함께 급상승했으나 보행 후반부부터 보행 종료 이후까지 계속 하강하여 안정시보다 더 낮은  $31.5^{\circ}\text{C}$  정도까지 하강한 후 점차 다시 상승하였는데 피부온이 이렇게 하강한 것은 보행 중반기에 발한이 일어났으며 이의 증발로 인해 피부온이 보행시에도 하강한 것으로 볼 수 있다. 이는 두 착의조건 TR과 uTR 모두 같은 경향이였다.

복부의 피부온은 보행전 안정시부터 상승하여 보행 중반기부터 하강하기 시작해 보행전 안정시보다

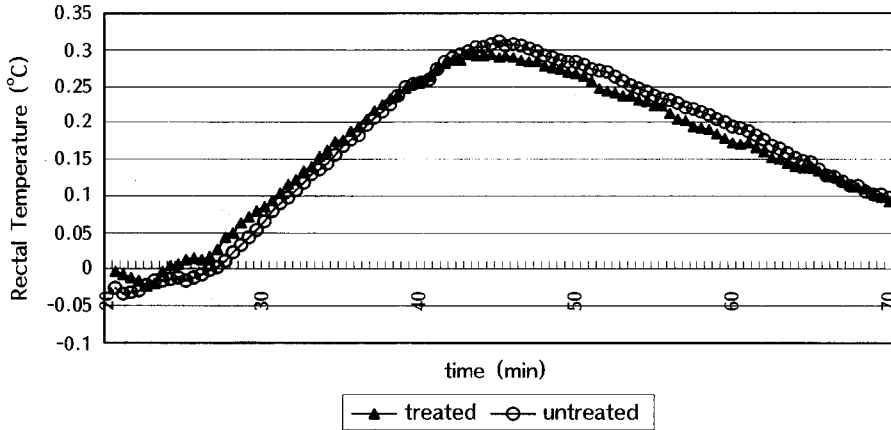


Fig. 3. Changes in the rectal temperature with lapsed time

더 하강한 후 다시 상승하는 경향을 보여 보행전 안정시 상승을 제외하고는 이마 피부온과 비슷한 경향을 보였으며 따라서 보행으로 인해 복부에도 발한이 일어난 것으로 볼 수 있겠다. 복부 피부온 변화도 두 착의조건 TR과 uTR 모두 같은 경향이었다.

전완의 피부온은 보행과 함께 하강하였고 보행후 안정시에 약간 상승하여 평형상태를 유지하였다. 실험내내 TR조건에서보다 uTR조건에서 약 0.5°C 높게 유지되었다. 전완부위는 긴소매 운동복 차림으로 인해 의복으로 덮여 있으나 보행시의 팔동작으로 인해 의복내 대류가 생겼을 것으로 보이며 대류로 인해 차가운 외기가 유입되어 보행후 안정시에도 피부온이 낮았을 것으로 보인다.

손등의 피부온은 보행과 함께 하강하다가 보행후 반부에서 계속 상승하였고 보행후 안정시에도 높게 유지되었다. 이외에도 보행중에 피부온이 상승한 부위는 하퇴부위와 발등부위에서 나타났는데 보행 후에는 하퇴부위에 비해 발등부위의 피부온 강하가 더 적었다.

대퇴의 피부온은 안정시보다 보행시에 저하되었고, 보행후 안정시에 다시 상승하여 하퇴·발등부위 피부온 변화와 대조를 보였다. 하지부의 3부위 피부온 즉 대퇴, 하퇴, 발등의 피부온에 있어서 대퇴보다 하퇴의 피부온이 높고, 하퇴보다 발등의 피부온이 더 높게 유지되었다. 이는 발등이 양팔과 운동화로 이중 피복되었기 때문으로 보이며 혈렁한 운동복 바지 차림으로 보행시 하지부에도 상대적으로 온도가 낮은 외부공기가 유입되는 대류가 형성되었기 때문으로 생각된다.

선행연구(Nakayama et al., 1977; 1981)에 의하면

운동초기에 여러부위의 피부온이 저하되는 것을 관찰할 수 있으며 이는 운동강도에 비례한다고 했는데, 이는 피부로부터의 증발열손실에 의한 것이라기보다 운동하는 근육으로부터의 비열적(非熱的) 자극에 의한 척추신경의 반사로 혈관이 수축하기 때문이라고 하였다. 본 연구에서도 운동초기에 손등의 피부온, 운동중 하퇴의 피부온, 전완의 피부온이 하강한 것은 이같은 요인도 작용했으리라 보여진다.

실험중 각 부위별 피부온은 착의조건TR과 착의조건uTR간에 유의한 차를 나타내지 않고 비슷한 경향을 나타내었다.

피험자 14명의 평균피부온을 평균하여 보행전의 안정상태를 기준으로 보행시작부터의 변화량을 <Fig. 4>에 제시했다. 두집단의 평균피부온은 보행으로 인하여 초기에는 0.3°C까지 상승하다가 땀의 분비로 인하여 저하했고, 휴식이 끝날 즈음에는 보행 전 안정상태시의 평균피부온으로 돌아오려 했다. 두집단의 평균피부온은 비슷한 경향으로 착의조건TR의 평균피부온이 착의조건uTR보다 변화량이 적지만 유의한 차는 나타나지 않았다.

선행연구 결과와 본 연구의 결과를 비교 고찰해 볼 때, PCM 마이크로캡슐처리 직물의 축열·방열 효과가 인체의 피부온에 영향을 미치는 조건이 되기 위해서는 환경조건이 급격히 변화하고 인체의 발열조건도 급격히 상승했다가 저하되는 조건에서 주로 확인되는 것으로 보여진다. 본 연구에서의 실험은 환경조건이 20°C이고 treadmill위를 걷는 운동으로 설정하여 운동 중 거의 땀이 나지 않을 정도의 운동 강도가 부과되었으므로 이 정도의 조건에서 직물에 처리

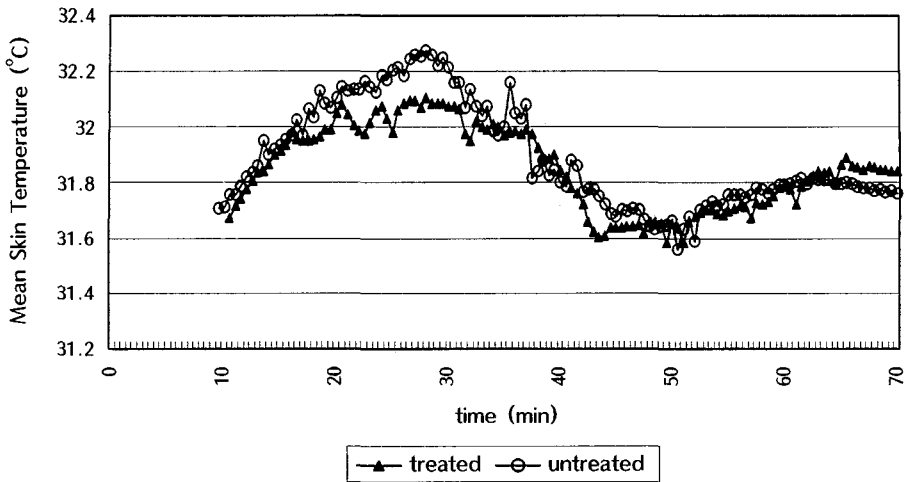


Fig. 4. Changes in the mean skin temperature with lapsed time

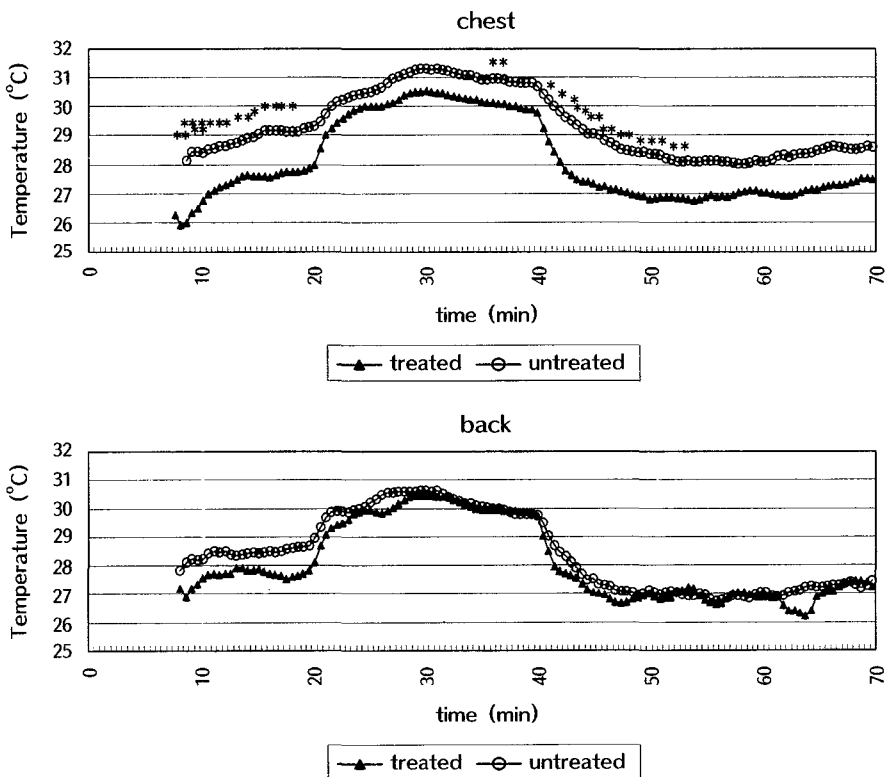


Fig. 5. Changes in the microclimate temperature of chest and back with lapsed time

된 마이크로캡슐내 PCM이 용융되었으리라고 보여 지나 환경조건이 저온으로 변화되지 못했기 때문에 이것이 다시 결정화되는 단계는 볼 수 없었던 것으로 추정된다. 이 같은 추정은 <Fig. 5>에서 보는 바와 같

이 가슴부위 의복내 온도가 착의조건TR보다 uTR에서 더 높게 나타났고 의복내 온도 변화량이 착의조건 TR에서보다 uTR에서 더 작게 나타난 것을 설명해 준다고 할 수 있다.

### 3. 의복내 환경

<그림 5>에 가슴부위와 등 부위에 대한 피험자 14명의 의복내 온도를 평균하여 보행전의 안정상태를 기준으로 보행시작부터의 변화량을 나타냈다. 가슴과 등 부위에서 착의조건TR과 uTR 모두에서 보행시 상승했고, 휴식시에 보행 전 안정상태의 의복내 온도로 돌아오는 비슷한 경향을 나타내었다. 가슴부위 의복내 온도는 착의조건TR보다 uTR에서 전반적으로 높게 나타났다. 또한 실험중 의복내 온도 변화량이 착의조건TR보다 uTR에서 더 작게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 선행연구(Pause, 2000)에서 나타난 마이크로캡슐 처리 스키복 착용시가 미처리 스키복 착용시보다 의복내 온도 변화가 작아 비교적 쾌적한 범위내에 있다는 결과와 상치했는데 이 연구는  $-5^{\circ}\text{C}$ 에서 스키를 탈 때를 조건으로 하여 실험한 것으로 인체착용실험을 실내온  $20^{\circ}\text{C}$ 로 한 본 연구와는 실험조건이 달랐다. 따라서 이같은 상이한 연구결과의 해석은 여러조건에서 실험한 결과를 종합 고찰해야 가능

할 것으로 보이나 본 연구에서 사용한 PCM 마이크로캡슐이  $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 에서 열용량이 큰 것을 감안할 때 PCM이 액화된 상태로 지속되고 다시 응고되면서 열을 방산하는 환경조건에까지 이르지 못했을 것으로 사료된다. 즉 선행연구의 test model에 의한 실험에서는 발열로 인해 PCM이 액화하면서 흡수한 열을 환경조건  $-5^{\circ}\text{C}$ , 내지는  $11^{\circ}\text{C}$ 로 급격히 낮게 하여 액화된 PCM이 응고되면서 열을 방산하고 이 열이 의복기후에 영향을 미치도록 설계되었으나 본 연구에서의 실험은 환경온이  $20^{\circ}\text{C}$ 였기 때문에 의복내 온도가 PCM이 응고되는 되는 온도  $22.9^{\circ}\text{C}$ 에 이르지 못하여 PCM이 응고되는 상태에 이르지 못했고 따라서 PCM 응고로 인한 발열효과를 보지 못했다고 생각한다.

<Fig. 6>에 가슴부위와 등 부위에 대한 피험자 14명의 의복내 습도를 평균하여 보행전의 안정상태를 기준으로 보행시작부터의 변화량을 나타냈다. 가슴과 등 부위에서 두집단이 보행시 상승했고, 휴식시에 보행 전 안정상태시의 의복내 습도로 돌아오려 하는 비슷한 경향을 나타내었다. 특히 가슴부위는 마이크로캡슐

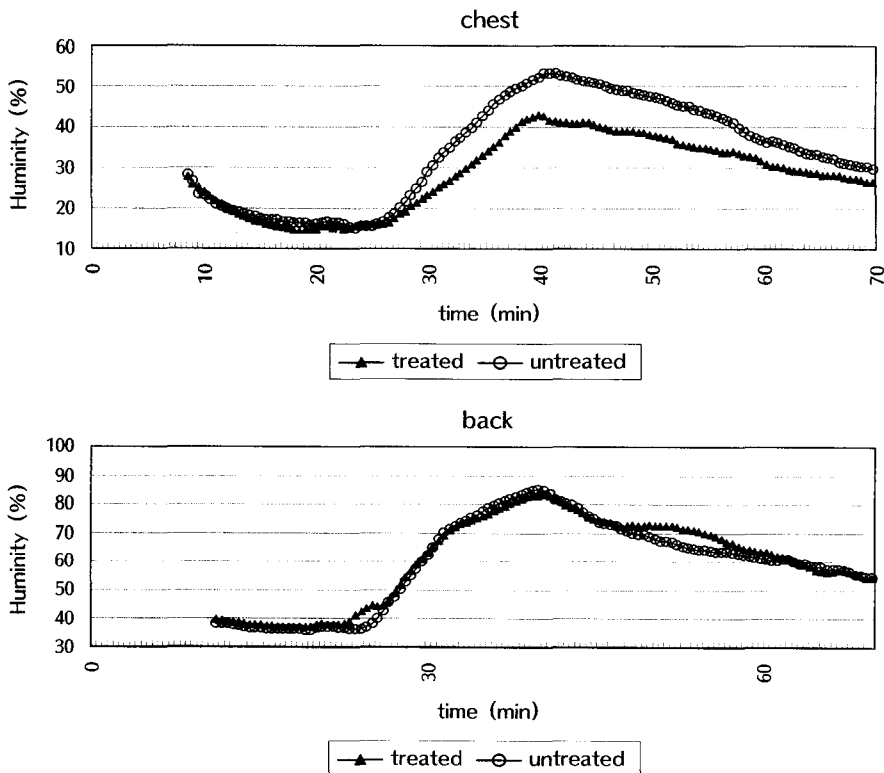


Fig. 6. Changes in the microclimate humidity of chest and back with lapsed time.

을 처리하지 않은 조끼착용자의 의복내 습도가 마이크로캡슐을 처리한 조끼착용자의 그것보다 높았고, 이것을 분산분석 한 결과 0.01% 유의하게 나타났다. 그러나 등 부위에서는 유의한 차가 나타나지 않았다.

마이크로 캡슐부착 직물이 미부착 직물보다 투습성이 낮다. 그러므로, 마이크로 캡슐부착의복 착용시가 미부착의복 착용시보다 의복내 습도가 높다(김정혜, 2001). 그러나, 본 연구에서는 특히 가슴부위는 마이크로캡슐을 처리하지 않은 조끼착용자의 의복내 습도가 마이크로캡슐을 처리한 조끼착용자의 그것보다 높았다. 이러한 결과는 마이크로캡슐을 처리한 조끼는 마이크로캡슐이 축열·방열의 효과를 나타내어 보행 중과 휴식 중 마이크로캡슐 미처리 조끼 착용자보다 땀분비가 적어 가슴부위의 의복내 습도가 마이크로캡슐 처리 조끼 착용자가 마이크로캡슐 미처리 조끼 착용자보다 낮았던 것으로 추측된다.

#### 4. 주관적 감각평가

마이크로캡슐을 처리한 조끼착용자의 주관적 감각과 마이크로캡슐을 처리하지 않은 조끼착용자의 주관적 감각에 유의한 차는 없었다. 그러나 보행직후의 온열·습윤·쾌적감은 마이크로캡슐을 처리한 조끼착용자가 마이크로캡슐을 처리하지 않은 조끼착용자보다 덜 덥고, 덜 습하고, 더 쾌적했다.

#### 5. 실험에 의한 열공급량

조끼가 접하게 되는 부위인 가슴부위의 열공급량

을 <Fig. 7>에 제시했다. 마이크로캡슐 처리시가 실험시작의 10분간 마이크로캡슐 미처리시보다 열공급량이 많았지만 유의한 차는 없었다. 그리고, 10분 이후부터의 마이크로캡슐 처리시의 열공급량은 미처리시에 비교하여 거의 변화하지 않았다.

써멀 마네킹 실험에서, 실험시작의 10분간 마이크로캡슐 처리시가 마이크로캡슐 미처리시보다 열공급량이 많은 것은 마이크로캡슐 처리시는 마네킹의 34.2°C의 가슴온의 영향으로 마이크로캡슐이 용화하기 시작하였고, 마이크로캡슐이 용화하기 위한 에너지만큼 마이크로캡슐 미처리시에 비교하여 열공급을 많이 받았기 때문이다. 선행연구(Shim et al., 2001)에서 써멀 마네킹을 따뜻한 환경에서 추운 환경으로 옮겨 약10분까지 마이크로캡슐 미처리의복 착용시가 처리의복 착용시보다 열공급을 많이 필요로 했고, 반대로 써멀 마네킹을 추운 환경에서 따뜻한 환경으로 옮겼을 때는 마이크로캡슐 처리의복 착용시가 미처리의복 착용시보다 열공급을 많이 필요로 했다.

이상과 같은 마이크로캡슐을 처리한 의복을 이용한 연구는 피험자, 환경조건, 마이크로캡슐의 피복(被覆)면적, 마이크로캡슐의 밀도, 소재, 운동의 강도 등에 따라서 마이크로캡슐의 효과가 다르다는 연구결과가 있지만 이를 좀더 객관화하기 위해서는 좀더 많은, 세밀한 조건의 연구가 이루어져야 한다. 그리고, 다각적으로 변화하는 현대사회에서는 마이크로캡슐의 축열·방열성을 이용한 더욱 더 다양한 자동온도조절 직물의 개발과 의복 및 생활제품에의 응용에 관한 더욱 더 많은 연구가 필요하다.

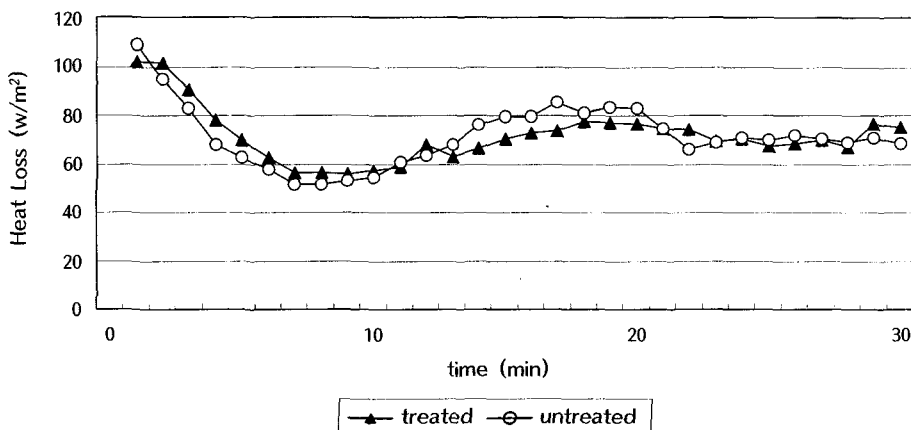


Fig. 7. Average heat loss from the manikin wearing experimental best with PCM and no-PCM



#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 PCM 함유 마이크로캡슐처리 직물이 의복기후 및 인체의 온열생리반응에 미치는 영향을 살펴보기 위해 동일한 의복 형태로 소재로 PCM 마이크로캡슐처리 직물과 처리하지 않은 직물로 각각 제작하여 피험자에게 착용시킨 다음 20°C, 50% R.H.의 인공기후실에서 20분간 보행 후 휴식하도록 하고 이때의 직장은, 피부온, 의복내 온도, 쾌적감 등을 측정하였고 PCM 처리직물 착용시(착의조건TR)와 미처리직물 착용시(착의조건uTR) 측정항목에 차이가 있는지 검토하였다. 또한 같은 실험의복을 써멀 마네킹에 입혀 열공급량을 측정하여 두 실험의복간의 차이를 검토하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

1. 피험자의 직장은온은 두 착의조건에서 모두 보행 시작 후 잠복기를 거쳐 서서히 상승하였고 보행 후 휴식시에 서서히 하강하였는데 두 착의조건간 유의차는 없었다.

2. 각 부위별 피부온은 두 착의조건에서 유의한 차를 나타내지 않고 비슷한 경향을 나타내었다. 평균피부온도 보행으로 인하여 초기에는 상승하다가 땀의 분비로 인하여 저하했고, 휴식이 끝날 즈음에는 보행 전 안정상태시의 평균피부온으로 돌아오려는 비슷한 경향을 보였으며 착의조건TR이 착의조건uTR보다 변화량이 적지만 유의한 차는 나타나지 않았다.

3. 가슴과 등 부위의 의복내 온·습도는 두집단이 보행시 상승했고, 휴식시에 보행 전 안정상태시의 의복내 온·습도로 돌아오려 하는 비슷한 경향을 나타내었다. 그러나, 가슴부위의 의복내 온도는 보행초기에 마이크로캡슐의 액화로 착의조건TR이 착의조건uTR보다 유의하게 높았고, 가슴부위의 의복내 습도는 착의조건TR이 마이크로캡슐의 효과로 보행 중과 휴식 중 땀분비가 적어 착의조건uTR보다 유의하게 낮았다.

4. 착의조건TR과 착의조건uTR간의 주관적 감각에 유의한 차는 없었다.

5. 써멀 마네킹을 이용한 실험에서 마이크로캡슐 처리시가 실험시작의 10분간 마이크로캡슐 미처리시보다 열공급량이 많았지만 유의한 차는 없었다.

이상의 결론을 종합하면, PCM함유 마이크로캡슐

의 처리로 인하여 축열·방열성과 착용 성능이 향상될 수 있는 가능성을 볼 수 있었다. 그러나 이를 좀더 객관화하기 위해서는 환경조건, 마이크로캡슐의 피복(被覆)면적에 있어서 좀더 세밀한 조건의 연구가 필요함을 알 수 있었다.

앞으로의 연구과제는 다각적으로 변화하는 현대사회에 대응하여 PCM 마이크로캡슐 자동온도조절 직물을 이용한 의복 및 생활제품의 개발로 집약 할 수 있다.

#### 참고문헌

- 김정혜. (2001). 옥타데칸 함유 마이크로캡슐의 축열·방열성을 이용한 자동온도조절 직물의 개발. 연세대학교 석사학위 논문.
- 신윤숙, 손경희, 조은경. (2002). PCM마이크로캡슐을 이용한 열조절 섬유소재 개발 (I). *한국섬유공학회지*, 39, 224-232.
- Covid, D. P., & Bryant, Y. B. (1998). Protective clothing containing encapsulated phase change materials, *Advances in bioheat and mass transfer. ASME HTD-Vol. 362*, 123-132.
- Endrusick, T. L., Santee, W. R., Gonzalez, R. R., Brennick, J. R., & Smith, C. A. (2000). Effect of wearing footwear insulated with phase change materials during moderate cold exposure. *The 9th international conference on environmental ergonomics*, 319-322.
- McCullough, E. A. (2001). Phase change and protective possibilities. *Industrial Fabric Protective Possibilities.*, 78(1), 64-67.
- Nakayama, T., Ohnuki, Y., & Kanosue, K. (1981). Fall in skin temperature during exercise observed by thermograph. *Jap. J. Physiol.*, 31, 757-763
- Nakayama, T., Ohnuki, Y., & Niwa, K. (1977). Fall in skin temperature during exercise. *Jap. J. Physiol.*, 27, 423-437.
- Pause, B. (2000). Tailored to the purpose: Computer-optimized development of thermoregulated activewear. *International avantex-symposium, Lecture No. 333*, 1-8.
- Shim, H., & McCullough, E. A. (2000). The effectiveness of phase change materials in outdoor clothing. *Proceedings of the international conference on safety and protective fabrics-Industrial fabrics association international.* 26-28.
- Shim, H., McCullough, E. A., & Jones, B. W. (2001). Using phase change materials in clothing. *Textile Res. J.*, 71(6), 495-502.