

철도 차량 정비 작업자를 위한 일회용 부직포 작업복의 온열적 성능 평가

최정화 · 이주영 · 김소영
서울대학교 생활과학대학 의류학과

Evaluation of the Thermal Properties of Disposable Coveralls for Railroad Carriage Maintenance Workers

Jeong-Wha Choi · Joo-Young Lee · So-Young Kim

Dept. of Clothing & Textiles, College of Human Ecology, Seoul National University
(2004. 4. 28. 접수)

Abstract

This study evaluated thermo-physiological and subjective properties of improved disposable coveralls for railroad carriage maintenance through climatic chamber trials and a field study. Subjects wore five kinds of disposable coveralls (Type A: a disposable coverall on the market, Type B: a coverall with an improved hood and size-adjustable design, Type C: a coverall with a portable hood, Type D: a coverall with small holes for ventilation, Type E: a sleeveless coverall, Type F: a separated type of coverall with half sleeves). The air temperature in the climatic chamber was set in 9°C and 30°C. For each condition, subjects simulated the railroad work for 120 min. and rectal temperature, skin temperatures, clothing microclimate and subjective sensations were measured. The results of chamber trials showed rectal temperature and clothing microclimate did not display significant differences by clothing type. In 30°C air temperature, mean skin temperature was higher in Type E and Type F than in Type A ($p < 0.05$) but between the improved coveralls (B-F), we could not find any significant difference. In the case of thermal comfort, the most preferred types were Type B and Type C in 9°C and Type F in 30°C. All subjects felt more comfortable in the improved coveralls than in coveralls of the market (Type A). In field study, workers preferred Type B, Type C and Type F to Type A but the most favorite type differed by the specific type of work. Especially, workers were dissatisfied that Type D tore easily due to lots of small holes around the armpits and Type E did not protect workers' shoulder and arms from oil contamination. According to the climatic chamber trials and field study, the most effective coveralls were Type B and Type C for winter and Type F for summer.

Key words: Disposable coveralls, Protective clothing, Thermoregulation, Thermal comfort; 일회용 부직포 작업복, 보호의복, 체온조절, 온열 쾌적감

I. 서 론

작업 중 유해 요인은 물리적 요인, 화학적 요인, 생물학적 요인, 인간공학적 요인으로 구분할 수 있다. 물리적 유해 요인으로는 추위와 더위, 방사선, 소음, 진동, 이상 기압 등이 있으며, 화학적 요인으로는 각종 독성 화학물질들, 생물학적 요인으로는 바이러스, 리케차, 세균 등, 인간공학적 요인으로는 부적절한 작업 방법, 작업 자세, 작업 시간 등을 들 수 있다(박종안 외, 2000). 본 연구의 대상인 철도 차량 정비작업이란 열차의 동력원인 기관차, 차체의 공기 배관 설비, 출입문, 창문, 엔진, 의자, 소화 설비, 냉난방 설비, 기차의 하부인 차축, 차륜 등을 정비하는 것으로 철도 차량 작업 시 유해 요인으로 작용할 수 있는 것은 분진, 미세 먼지, 기름, 더위 등이다(최정화 외, 2003). 이렇듯 다양한 유해 요인으로부터 작업자를 보호하는 방법 중의 하나가 적절한 개인 보호구를 착용하는 것으로, Environmental Protection Agency(EPA)에서는 작업자의 개인 보호구를 보호 수준에 따라 Level A, B, C, D로 나누고 있다(OSHA, 2002). Level A에 해당하는 보호 장비는 액체나 고체 상태의 화학 물질 뿐만 아니라 기체 상태의 화학 물질로부터도 전신을 보호하기 위해 제작되는 보호구이며, Level B는 Level A와 유사하나 가스나 증기 상태의 화학 물질에 대한 피부 보호력은 다소 떨어지는 보호구이고, Level C는 Level B와 비슷하나 Level B보다 호흡기 보호 기능이 다소 떨어지는 보호구이며, Level D는 호흡기를 보호할 필요 없이 최소한의 피부 보호만 요구될 때 착용하는 보호구이다. 특히, Level D를 입는 작업 환경 조건은 대기 중에 기체 상태의 위험 성분이 포함되어 있지 않고, 작업 도중 위험한 액체 상태의 화학 물질을 다루지 않으며, 대기 중 산소 농도가 19.5% 이상인 곳이다(OSHA, 2002).

철도 차량 정비 작업자들은 독성 화학 물질이나 극한 물리적 요인 등에 노출되는 경우는 거의 없으며 대부분 오염으로부터 피부 보호를 위해 일회용 부직포 작업복을 착용한다(최정화 외, 2003). 따라서 이상의 EPA 기준에 의하면 철도 차량 정비작업자에게 적절한 작업복은 Level D이다. Level D는 다양한 개인 보호복 중 보호 수준이 가장 낮은 단계의 보호구를 말한다. 보호 수준이 가장 낮기 때문에 그 작업복을 연구할 필요성은 보다 위험한 수준에 노출된 작업을 위한 작업복보다 적다고 생각할 수도 있겠으나, 이는

다른 각도에서 생각해 보면, 유해 요인 노출 방어를 위한 부담이 적기 때문에 착용자의 온열 쾌적감을 좀 더 고려해 줄 수 있는 보호 의복을 만들 수 있다는 장점이 될 수도 있다. 즉, Level A, B 등에 해당하는 개인 보호구는 무엇보다 착용자를 유해 물질로부터 차단시키는 것이 최우선 목적이므로 보호 성능 향상을 위해 착용자의 온열 쾌적감은 종종 무시된다. 이러한 이유 때문에 OSHA, NIOSH, ASTM 등에서는 보호 의복 착용 자체가 작업자에게 열 스트레스, 시야 및 동작 방해, 의사 소통 방해 등과 관련된 육체적, 정신적 스트레스와 같은 위험을 초래할 수도 있다고 말하고 있다(OSHA, 2002). 개인 보호의복의 개발 및 제작에 있어 현재 해결해야 할 문제 중의 하나가 보호 기능과 온열 쾌적성을 동시에 충족시키는 것이나, Level D의 경우 이 문제의 해법에 보다 근접할 수 있다.

본 연구진은 철도 차량 정비 작업자를 위한 일회용 부직포 작업복 개발의 첫 번째 단계로 현장 착용 실태 설문 조사를 실시하여 착용 현황과 요구 사항 등을 파악하였는데(최정화 외, 2003), 조사 결과 철도 차량 작업자들은 먼지, 기름 등의 오염으로부터 신체 및 옷을 보호하기 위해 일괄적으로 지급되는 일회용 부직포 작업복을 착용하고 있었으나, 가장 큰 불만 사항으로 ‘덥다’, ‘입고 벗기 불편하다’, ‘모자 때문에 시야가 가려진다’는 점 등을 들었다. 본 연구의 목적은 이러한 불만 사항을 줄일 수 있는 일회용 부직포 작업복을 개발하고 그 온열적 성능을 평가하는 것으로, 이를 위해 첫째, 설문 조사 결과를 토대로 5종의 부직포 작업복을 제작하였고, 둘째, 철도 차량 정비 작업을 모의 재현한 인공 기후실 실험을 통해 착용자의 체온조절 및 주관적 감각에 미치는 영향을 살펴 보았으며, 셋째, 실제 철도 차량 정비작업 중 착용 평가를 통해 각 의복에 대한 선호도 및 불만 사항을 조사하였다.

II. 연구 방법

1. 일회용 부직포 작업복의 디자인 개선

서울 시내 철도 차량 사무소 작업자 100 명을 대상으로 한 설문 조사 결과(최정화 외, 2003)를 토대로 기존 형태에서 디자인을 개선한 부직포 작업복 다섯 가지를 제작하였다(Fig. 1).

① B형: 모자, 소매, 다리 부위에 수평 방향 고무







Type A	Type B	Type C	Type D	Type E	Type F
					
실제 착용중인 부직포 작업복 (220g)	고무줄 첨가형 부직포 작업복 (236g)	차이나 칼라형 부직포 작업복 (230g)	통기구멍 첨가형 (213g) 부직포 작업복	민소매형 부직포 작업복 (217g)	반 팔 상의 상하분리형 부직포 작업복 (264g)

Fig. 1. Schematics of experimental wears

줄을 첨가한 형태이다(총무게 236g). 실태 조사 결과 모자에 의해 시야가 방해된다는 점이 문제점으로 지적되었으므로 이를 해결하기 위해 머리둘레 및 정중선 방향으로 고무줄을 넣어 모자가 시야를 가리지 않도록 하였으며, 모자를 착용했을 때 뒤 목이 당기는 불편을 줄이고자 뒤 목 부위를 기존형보다 10cm 길게 제작했다. 소매와 다리 부위의 사이즈 조절을 위해 기존 사이즈 체계에서 소매와 다리 부위를 10cm 길게 제작한 후 팔꿈치와 무릎 부위에 수평 둘레 방향의 고무줄을 넣었다.

② C형: 모자를 분리시킨 작업복(230g)으로, 작업복 뒤에 매달린 모자가 작업 시 거주장스럽다는 불만을 줄이기 위해 모자를 휴대할 수 있도록 분리시켰으며 동시에 노출되는 목 부위를 오염으로부터 보호하기 위해 차이나 칼라형으로 제작하였다.

③ D형: 통기 구멍을 추가한 작업복(213g)으로, 여름철 더위로 인한 불쾌감을 줄이기 위해 양 겨드랑 및 다리 사이 부위에 직경 0.5cm의 구멍을 방사형으로 양 겨드랑 부위에는 각 16개씩, 가랑이 사이에는 20개, 총 52개를 뚫어 놓은 형태이며 나머지는 기존복과 동일하다.

④ E형: 민 소매형 작업복(185g, 팔토시 32g)으로,

여름철 더위로 인한 불쾌감을 줄이기 위해 소매를 없앴으며, 팔 부위 오염 방지를 위해 긴 팔 토시를 추가하였다. 모자는 B형과 동일한 형태이다.

⑤ F형: 반 소매에 상하의 분리된 작업복(232g, 팔토시 32g)으로, 여름철 더위로 인한 불쾌감을 줄이기 위해 상의는 반 소매로 제작하였으며, 여름철 필요에 따라 상하의 분리하여 착용할 수 있도록 상하의를 분리시켰다. 팔 부위 오염 방지를 위해 긴 팔 토시를 첨가하였다. 모자는 B형과 동일한 형태이다.

2. 인공 기후실에서의 작업복 평가

인공 기후실 실험 시 사용된 실험 의복은, 실태 조사 결과 실제 착용하고 있는 부직포 작업복(A형, 224g)을 포함하여 총 여섯 가지였다. 피험자는 임의 선발된 건강한 한국인 20대 남자 세 명으로 평균 나이 22.3(±1.5)세, 키 173(±4)cm, 몸무게 67.3(±4.8)kg, 체표면적 1.82(±0.08)m², BMI 22.5(±0.6)였다. 특정 질환을 앓고 있거나 장기간 약물 복용, 장기간 운동 훈련 등을 해온 자는 피험자 선정 시 제외하였으며, 피험자들에게는 실험의 목적과 내용을 정확히 고지하여 자발적 동의 하에 실험에 참여하도록 하였다.

인공 기후실험실 환경은 철도 차량 정비 작업 실태 조사 결과(최정화 외, 2003)를 토대로 겨울철 작업 시 실외 온도인 9°C와 여름철 실외 온도인 30°C로 설정 하였으며, 습도는 40%RH, 기류 0.1m/s 이하로 유지 하였다(Fig. 2). 9°C 환경에서는 A, B, C, D 형을 착용한 경우만, 30°C 환경에서는 A, B, C, D, E, F 형을 착용한 경우에 대해 실험하였다. 부직포 작업복 안에 착용한 의복은 면담 조사 결과를 토대로 실제 여름과 겨울철 작업 시 철도 정비 작업자들이 일반적으로 착용하는 조건으로 정하여, 여름철에는 반 소매 셔츠, 긴 면 바지, 팬티, 양말, 운동화, 겨울철에는 다운 점퍼(철도사무소 유니폼 점퍼), 긴 소매 셔츠, 긴 면 바지, 팬티, 양말, 운동화를 착용하게 하였다.

피험자는 실험 의복으로 갈아 입고 인공 기후실에 들어가 안정을 취한 후 실험 환경에 120 분간 노출되었다. 120 분 노출동안 실제 철도 정비 작업을 모의 수행하여 작업과 휴식을 반복하였다(Fig. 3). 생리적 측정 항목은 직장 온도(T_{re}), 피부 온도(T_{sk}), 의복내 온도(T_{cl}), 의복내 습도(H_{cl}), 심박수(HR) 등이며 주관적 감각 항목은 전신 한서 감각과 온열 쾌적감이다. 모든 생리적 측정 항목들은 1 분 간격으로 자동 기록하였으며, 주관적 감각은 실험 시작부터 10 분 간격으로 설문지에 스스로 기록하게 하였다. T_{sk} 는 휴대용 피부 온도 측정기(LT 8A, Gram Corp., Japan)를 이용하여 인체 일곱 부위 T_{sk} 를 측정 한 후, DuBois의 7 부위식 <식 1>을 이용하여 평균 피부 온도(\bar{T}_{sk})를 계산하였으며, T_{re} 는 동 기계의 직장은 전용 센서를 13cm 삽입

한 후 측정하였다. T_{cl} 와 H_{cl} 은 휴대용 의복 기후 측정기(Thermo Recorder TR-72S, T&D Corp., Japan)를 이용하여 가슴과 넓적다리, 뒷목 부위에서 측정하였고, HR은 휴대용 심박수 측정기(Polar, Polar Electro INC.,USA)를 이용하여 측정하였다.

$$\bar{T}_{sk} = 0.07 \times T_{forehead} + 0.35 \times T_{trunk} + 0.14 \times T_{arm} + 0.05 \times T_{hand} + 0.19 \times T_{thigh} + 0.13 \times T_{calf} + 0.07 \times T_{foot} \quad (식 1)$$

두 가지 환경 온도 조건(9°C와 30°C)에 대해 각각 네 종, 여섯 종의 의복 조건(총 열 가지 조건)에 노출 되었으므로 개인이 참여한 실험 횟수는 총 10 회였다. 식사에 의한 영향을 배제하기 위해 식사 두 시간 이후에 측정을 시작하였고, 일주기 리듬을 고려하여 매일 동일한 시간에 실험을 실시하였으며, 계절에 따른 생리적 반응의 변이에 의한 혼란을 줄이기 위해 실험은 한 달 이내에 종료하였다.

모든 생리적 반응 값에 대해서는 120 분간 노출하는 동안의 평균과 표준편차를 제시하였으며, 주관적 반응에 대한 응답은 평균 및 총 응답수에 대한 비율(%)로 표시하였다. 기온과 의복 형태에 따른 유의차를 검증하기 위해 각 측정 항목에 대해 SPSS 통계 패키지를 이용하여 ANOVA를 수행한 후 유의한 항목에 대해 Duncan의 사후 검정을 실시하였고, 주관적 반응 값에 대해서는 평균과 빈도에 대해 비모수 기법(카이제곱 분석)을 이용하여 유의차를 검정하였다. $p < .05$ 를 유의한 차이로 인정하였다.

3. 철도 차량 사무소 현장 착용 평가

현장 착용 평가는 서울 용산 철도 차량 사무소 정비 작업자 열네 명을 대상으로 하였다. 전원 성인 남자로 신장은 평균 170.8(±4.0)cm, 몸무게는 평균 68.7(±7.4)kg 이었다. 작업 내용별로 볼 때 대차 정비 작업 여섯 명, 전기 작업 세 명, 차체 정비 작업 두 명, 기관 정비 작업 두 명, 윤활유 주입 작업 한 명이였다. 각 작업의 특성상 작업 시간 및 시간대가 일치하지 않았고 작업 도중 일 단 착용한 작업복을 도중에 갈아 입기 힘든 경우도 있

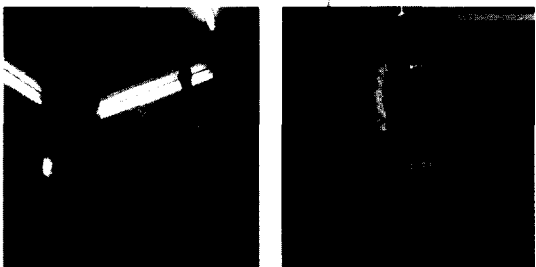


Fig. 2. Scenes of experiments in the climatic chamber and at the field

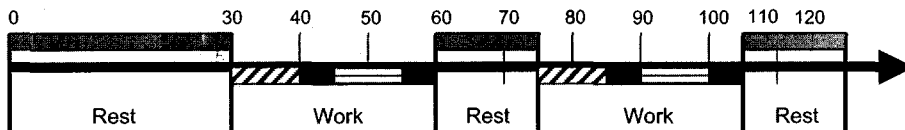


Fig. 3. Schematics of experimental procedure (▨ Working at standing; ▤ Walking; ■ Working at squatting)

어 열 네 명이 개발 작업복을 착용하고 일한 시간은 일치하지 않는다. 열 네 명이 여섯 가지 일회용 부직포 작업복을 착용하고 일한 시간은 2~8 시간이며, 착용 후 각 작업복에 대한 만족도 및 불만 사항을 개인 별로 인터뷰하였다. 착용 평가는 2003년 5월 초에 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 인공 기후실 조건에서의 작업복 평가

1) 직장온도

직장온도는 30°C보다 9°C에 노출된 경우 유의하게 낮았으나($p=.09$), 일회용 부직포 작업복 종류에 따른 유의한 차이는 관찰할 수 없었다(Table 1, Fig. 4). 즉, 일회용 작업복의 세부적인 디자인 개선이 직장온도에 유의한 영향을 줄 정도의 강력한 자극은 되지 않았다. 많은 선행 연구들도 일상적인 범위 내에서 의복의 형태 및 소재 차이가 직장온도에 큰 영향을 주

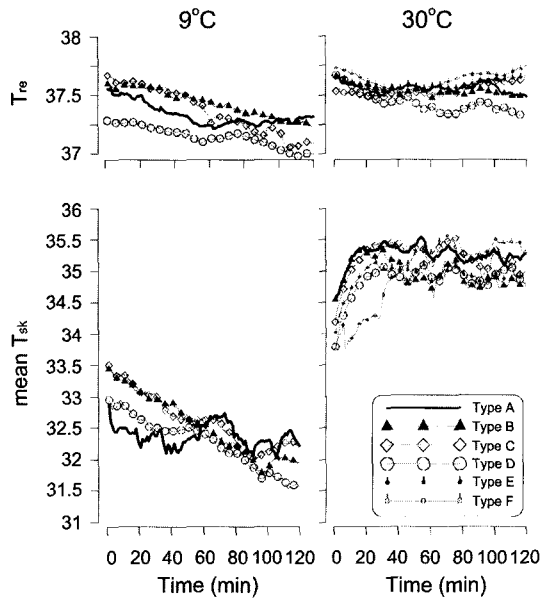


Fig. 4. Rectal and mean skin temperature during 120 min. at 9°C and 30°C air temperature

Table 1. Physiological and subjective responses during the 120 min.

(°C, %RH)

Air Temp.	Measurement	Type A	Type B	Type C	Type D	Type E	Type F
9°C	T _{re}	37.3(0.3)	37.4(0.0)	37.4(0.3)	37.2(0.3)		
	T _{sk}	32.4(0.3)	32.5(0.3)	32.6(0.4)	32.3(0.3)		
	T _{abdomen}	34.4(0.9)	34.9(0.4)	35.0(0.2)	34.7(0.4)		
	T _{thigh}	32.0(0.6)	31.5(0.5)	31.5(1.2)	31.7(0.4)		
	T _{cl, chest}	33.6(0.7)	33.0(0.4)	33.7(0.6)	33.5(0.4)		
	T _{cl, back neck}	32.0(0.3)	31.8(0.5)	29.9(2.3)	32.1(1.7)		
	T _{cl, thigh}	30.1(0.6)	30.7(2.2)	28.9(0.2)	29.4(0.4)		
	H _{cl,chest}	20.2(10.1)	21.4(3.3)	19.6(9.8)	19.3(8.2)		
	H _{cl,back neck}	27.0(12.1)	21.7(11.9)	16.5(2.7)	24.0(11.2)		
	H _{cl,thigh}	19.1(9.2)	15.7(6.6)	13.7(2.6)	14.5(5.7)		
	Thermal Sensation	-2.3(0.9)	-1.2(0.9)	-1.4(0.9)	-1.9(0.9)		
	Thermal Comfort	-0.3(0.7)	0.1(0.6)	-0.0(0.8)	-0.3(0.9)		
	30°C	T _{re}	37.6(0.1)	37.5(0.1)	37.5(0.1)	37.4(0.1)	37.6(0.4)
T _{sk}		35.4(0.2)	35.0(0.3)	35.2(0.1)	34.9(0.3)	34.9(0.6)	35.0(0.8)
T _{abdomen}		35.5(0.3)	35.2(0.6)	35.5(0.2)	35.0(0.1)	34.9(0.8)	34.8(1.1)
T _{thigh}		35.3(0.4)	35.1(0.6)	35.0(0.2)	34.7(0.8)	34.5(0.6)	35.2(0.8)
T _{cl, chest}		35.0(0.6)	35.0(0.9)	35.1(0.2)	34.5(0.6)	34.3(0.4)	34.9(0.8)
T _{cl, back neck}		34.4(0.5)	33.7(0.6)	34.1(0.2)	34.3(0.8)	34.5(0.5)	35.0(0.4)
T _{cl, thigh}		34.7(0.0)	34.2(0.8)	34.5(0.2)	33.3(1.7)	34.3(0.6)	34.7(0.9)
H _{cl, chest}		58.6(25.4)	71.0(24.1)	55.0(37.0)	70.3(25.7)	67.7(22.8)	61.0(30.7)
H _{cl, back neck}		55.6(17.3)	73.3(2.4)	60.9(20.2)	75.5(5.1)	69.0(18.9)	65.9(12.3)
H _{cl, thigh}		54.5(8.8)	74.1(11.1)	63.9(19.8)	70.3(14.4)	69.6(23.6)	55.9(18.7)
Thermal Sensation		2.0(1.0)	2.5(0.8)	2.3(0.8)	2.9(0.3)	2.3(0.8)	2.3(0.8)
Thermal Comfort		-0.9(0.8)	-1.4(0.8)	-1.2(0.7)	-2.0(0.7)	-1.3(1.3)	-0.8(0.8)

지는 않았다고 보고하고 있다. 남상남(1994), 이윤정의(2002), 최정화 외(2003), 홍성애(2000)도 의복의 형태나 소재에 따른 직장온도의 차이는 관찰할 수 없었다고 보고하였다. 김광희, 박기호(1999)도 직장온도는 25°C, 30°C, 35°C의 환경 온도 변화에 대해서는 유의한 차이를 나타냈지만, 반소매(+반바지), 긴소매(+반바지)라는 운동복의 형태에 의해서는 유의한 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 그러나, 이미경, 류숙희(1997)는 세 가지 에어로빅복의 형태에 따라 직장온도에 유의한 차이를 보였다고 하였는데, 이는 에어로빅 실험 의복 간의 보온력 및 피복 면적의 차이(긴 팔 상의와 긴 바지에 점퍼 착용, 긴 팔 상의와 긴 바지, 반 팔 상의와 반 바지)가 컸기 때문이다. 즉, 의복 착용 실험에서 작업 환경이 극한이나 극서일 경우, 작업 강도가 큰 경우, 또는 의복의 보온력 차이가 클 경우 등을 제외하면 의복이 직장온도에 미치는 영향은 통계적으로 유의한 정도는 아닐 것이라 해석된다.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA)에서는 보호 의복을 착용하고 작업하는 경우 구강 온도는 38.1°C를 넘어서는 안 되며, 37.6°C를 초과하면 다음 작업은 적어도 3분의 1은 단축되어야 한다고 명시하고 있으며(OSHA, 2002), 작업 생리학의 관점에서는 더운 환경에서 작업할 경우 심부온도 38°C 이하를 유지할 수 있는 작업 조건 조성을 권장한다. 본 연구의 열 가지 조건 모두 직장온도 평균은 37.2~37.6°C 사이로 일회용 부직포 작업복을 입고 모의 재현한 철도 작업이 심부온도에 부담을 줄 정도의 작업 조건은 아니었음을 알 수 있다.

2) 피부 온도

평균피부온도는 모든 작업복에서 9°C보다 30°C 기온에 노출된 경우 유의하게 높았으며($p=.000$), 시간에 따른 변화 양상은 모든 작업복에서 9°C에 노출된 경우에는 점점 감소하였고, 30°C에 노출된 경우에는 점점 상승하는 상반된 경향을 보여 주었다(Table 1, Fig. 4). 부직포 작업복 종류에 따른 평균피부온도의 차이를 보면, 9°C에서는 A, B, C, D형 작업복 간에 유의한 차이를 발견할 수 없었으나, 30°C에서는 기존형인 A형보다 개발형 중 민소매 형태 및 반소매 형태인 E, F형을 입은 경우에 더 낮은 온도를 보여 주었다($p=.02$, $p=.019$), (Table 1, Fig. 4). Holmer et al. (1992)은 고어텍스, 폴리프로필렌, 타이백 세 가지 소

재로 된 보호 의복을 25°C와 36°C로 조정된 인공 기후실에서 네 명의 피험자가 입고 자전거 운동을 하게 한 결과, 25°C에서 생리적 반응은 거의 비슷했으나, 36°C에서는 다른 두 가지 옷보다 타이백 작업복을 착용한 경우 유의하게 높은 온열 생리적 부담을 유발했다고 보고하면서 의복간의 차이는 중등 정도의 실내 온도에서는 그다지 중요하지 않으나, 활동 수준이 증가하거나 기온이 상승하게 되면 옷의 차이는 중요하게 된다고 결론지었다. 본 연구에서 디자인을 개선한 다섯 가지 작업복의 소재는 기존 부직포 작업복에 사용되는 소재와 동일하게 하기 위해 스펀본디드 부직포로 하였고 형태만 다르게 제작하였다. 따라서 작업복에 사용되는 세 가지 다른 소재의 영향을 관찰한 Holmer et al.(1992)의 연구와 직접 비교할 수는 없으나, 앞으로 개발되는 다양한 성능의 부직포를 일회용 작업복에 활용한다면 여름철 작업복의 큰 형태 변화 없이도 착용자의 서열 부담을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

한편, 김광희, 박기호(1999)는, 환경 기온 변화에 의해 평균피부온도에서 통계적인 유의차를 관찰했지만, 운동복의 형태 변화에 의해서는 유의한 차이를 관찰할 수 없었다고 보고하였다. 본 연구에서도 모자를 분리시키거나 양 겨드랑이와 가랑이 사이 부분에 통기 구멍을 뚫는 등의 세부적인 형태 변화에 의한 유의한 영향을 관찰할 수는 없었다. 개구면적과 개구부의 위치는 의복 환기에 큰 영향을 미치고, 한 쪽 개구보다 양 쪽 개구가 더 큰 영향을 준다고 알려져 있다(추미선, 1998). 또한 Turpin-Legendre and Meyer (2003)는 실제 석면 제거 작업 현장에서 일회용 타이백과 환기되는 커버를 착용 시 생리적 반응을 비교한 결과 환기되는 커버를 착용 시 열 부담이 유의하게 경감되었다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서 통기 구멍에 의해 유의한 영향이 초래되지는 않았는데, 그 이유는 개구의 총면적이 10.2cm²로 넓지 않았고, 소매부리와 바짓부리, 목 부위 등이 고무줄로 조여 있어 상하, 좌우 의복내 환기가 방해되었기 때문일 것이다. 평균피부온도는 휴식과 작업에 의해서도 유의한 차이를 보이지 않았는데, 이것도 작업복이 아래 위 환기가 되지 않는 형태였기 때문일 것이다. 하지만 작업의 특성상 오염이 신체에 묻지 않게 하기 위해 소매부리 및 바짓부리의 개구를 막아야 하므로, 의복 환기를 위한 개구는 소매나 바짓부리 이외의 다른 부위에 만들거나, 휴식 시간동안 소매나 바짓부리

를 통한 환기가 가능하도록 소매 부리 및 바지 부리를 쉽게 조절 가능한 형태로 제작해야 할 것이다.

3) 의복내 온도 및 습도

의복내 온도도 9°C보다는 30°C에 노출된 경우에 유의하게 높았다($p=.000$). 일반적으로 표준 의복 기후란 체간부 최내층 의복내 온도가 $32\pm1^\circ\text{C}$, 습도 $50\pm 10\%RH$, 기류 $25\pm 15\text{cm/sec}$ 일 때를 의미하는데(이순원 외, 2002), 본 연구 결과, 가슴 부위 의복내 온도는 의복 종류 간 유의한 차이 없이 9°C 환경에서 평균 $33.0\sim 33.7^\circ\text{C}$ 로 표준의복기후에 근접했으나, 30°C 환경에서는 평균 $34.3\sim 35.0^\circ\text{C}$ 사이로 표준의복기후보다 높았다.

뒤 목 부위 의복내 온도 및 습도는 9°C 환경에서 모자 분리형인 C형을 착용한 경우 가장 낮았으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었고, 30°C의 경우에는 작업복 간 큰 차이없이 비슷하였다(Table 1, Fig. 5). 즉, 온열 쾌적 성능을 높이기 위해 모자를 반드시 분리형으로 만들 필요는 없다. 일회용 부직포 작업복의 모자를 분리형으로 만든다면, 그 이유는 온열 쾌적성 증가보다는, 작업 시 시야 방해를 줄이기 위해, 혹은 목 뒤에 매달린 모자가 기계 등에 걸리는 위험을 줄이기 위해, 혹은 모자에 의해 뒤 목이 당기는 피로감을 줄이는데 보다 더 효과적일 것이다. 대퇴 부위 의복내 온도는 가랑이 부위에 통기 구멍을 뚫은 D형의 경우 다른 조건보다 낮았으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다.

의복내 습도는 기온에 따라 유의하게 달랐으나($p=.000$), 부직포 작업복의 종류에 따른 유의한 차이는 없었다(Table 1). 또한, D형의 겨드랑이와 가랑이 부위 통기 구멍이 의복내 습도에 영향을 미칠 것으로 기대했으나 유의한 영향 없이 비슷한 효과를 보여 주었다. 총발한량도 의복내 습도와 마찬가지로 기온에 따른 차이는 유의했으나($p=.000$), 작업복의 종류에 따른 유의한 차이는 없었다(Table 1). 김광희, 박기호(1999)도 발한량은 25°C, 30°C, 35°C의 환경 온도 변화에 대해서는 유의한 차이를 나타냈지만, 반 소매와 긴 소매라는 운동복의 형태 차이에 의해서는 유의한 영향을 관찰할 수 없었다고 보고하였고, 염희경, 최정화(1992)도, 44°C 환경에서 한 시간 동안 안정 시 총발한량이나 부위별 발한량은 긴 소매 상의와 긴 바지의 의복 조건과 반 소매 상의와 반바지 의복 조건에 따른 유의한 차이를 보이지는 않았다고 하였다. 그러나 권

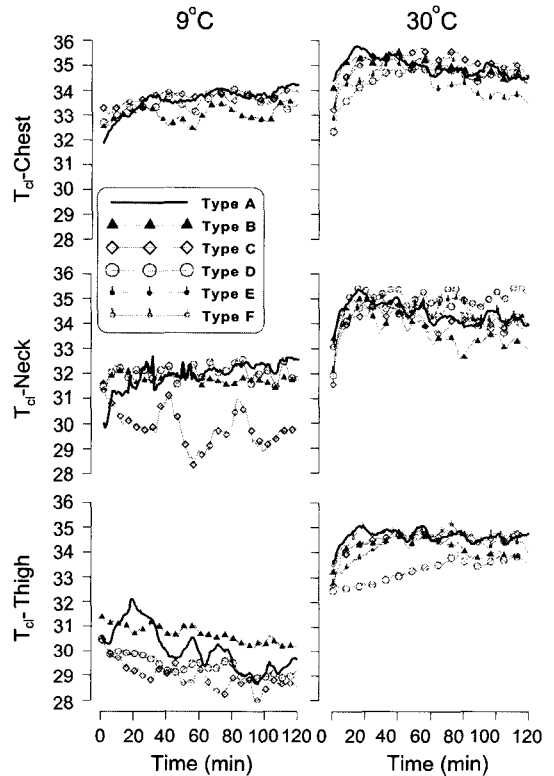


Fig. 5. Clothing microclimate temperatures (T_{cl}) during 120 min. at 9°C and 30°C air temperature

오경, 김태규(1995)는 기온 15°C와 21°C에서는 소매 길이와 바지 길이를 다르게 한 네 가지 종류의 의복 조합에 따른 발한량의 차이는 없었으나, 27°C, 33°C에서는 의복 조합에 따라 차이가 크다고 보고하였다. 본 연구의 실험 의복은 오염 방지를 위해 목, 소매부리 바지 부리 등을 막은 형태의 작업복이므로 작업이나 휴식 시 Bellow's 환기나 굴뚝 효과를 기대하기 어려웠다.

4) 주관적 감각

한서 감각에서, 각 의복 조건의 평균값으로 비교했을 때, 의복 조건 간에 유의한 차이를 찾을 수 없었으나, 응답의 빈도수로 분석했을 때 부직포 작업복 종류에 의한 차이는 통계적으로 유의했다. 9°C에서는 B형을 가장 온열적 증성으로 느꼈고, C형을 가장 추운 작업복으로 인지한 반면($p=.000$), 30°C에서는 B형을 가장 덥게 느꼈고, A형을 가장 온열적 증성으로 인지

Table 2. Subjective responses during 120 min. at 9°C and 30°C (%)

		9°C				30°C					
		A	B	C	D	A	B	C	D	E	F
Thermal sensation	Hot	0	0	0	0	41.0	64.1	51.3	87.2	51.3	51.3
	Warm	0	0	0	0	17.9	25.6	30.8	12.8	30.8	35.8
	Slightly warm	0	0	0	0	33.3	7.69	17.9	0	15.4	10.3
	Neutral	2.56	25.6	15.4	5.13	7.69	2.56	0	0	2.56	2.56
	Slightly cool	17.9	35.9	38.5	33.3	0	0	0	0	0	0
	Cool	28.2	33.3	33.3	33.3	0	0	0	0	0	0
	Cold	51.3	5.13	12.8	28.2	0	0	0	0	0	0
χ^2		28.153 ($p=.000$)				25.450 ($p=.000$)					
Thermal comfort	Comfortable	10.3	23.1	23.1	17.9	2.6	0	0	0	10.3	15.4
	Neutral	48.7	64.1	56.4	43.6	25.6	10.3	17.9	0	25.6	56.4
	A little uncomfortable	41.0	12.8	15.4	28.2	51.3	46.2	46.2	23.1	28.2	15.4
	Uncomfortable	0	0	5.13	10.3	20.5	35.9	35.9	56.4	15.4	12.8
	Very uncomfortable	0	0	0	0	0	7.69	0	20.5	20.5	0
	χ^2		9.352 ($p=.025$)				42.456 ($p=.000$)				

했다($p=.025$). 온열 쾌적감의 경우, '쾌적하다'와 '쾌적하지도 불쾌하지도 않다'라는 응답을 '온열 환경에 대한 만족'으로 간주하고, 주어진 환경에 대해 80% 이상이 만족을 표현할 경우를 '수용할만한 온열 환경'으로 평가할 경우(ASHRAE, 2001), 전체 열 가지 조건 중 9°C에서 B 형을 입을 경우만 수용할만한 온열 환경이었다(Table 2). 30°C에서 온열적으로 쾌적하다는 응답이 가장 높았던 것은 E 형이었으나 총 응답의 80% 이상은 아니었다. 간단한 고무줄 첨가를 통해 보다 9°C 환경에서 쾌적한 의복 기후 형성에 성공했으므로, 겨울철 환경에서 일회용 부직포의 착용이 온열적 문제를 야기할 가능성은 거의 없는 듯하다. 그러나 온열적으로 문제되는 환경은 여름철이다. 여름철 부직포 작업복의 착용은 발한에 의한 열손실을 감소시켜 증발 냉각을 방해하므로 여름철 실외에서 전신 커버 형태의 작업복을 착용하면서 온열적으로 만족스런 의복내 환경을 조성하는 것은 쉽지 않다.

5) 생리 반응과 주관적 반응간의 상관

생리 반응과 주관적 감각 간에 피어슨의 상관계수를 구하였다(Table 3). 30°C 환경에서 한서 감각과 온열 쾌적감 모두 직장온도나, 피부온도, 의복내 온도보다 의복내 습도가 더 높은 상관을 보였다. 즉, 이는 30°C 환경에서 일회용 부직포 작업복 착용자가 덥고

Table 3. Pearson's correlation coefficients between physiological responses and subjective sensations

	Thermal sensation		Thermal comfort	
	9°C	30°C	9°C	30°C
T_{re}	0.080	-0.211**	0.284**	0.482**
\bar{T}_{sk}	0.150	0.129	0.233**	-0.021
T_{cl} , chest	-0.282**	0.098	0.007	-0.086
T_{cl} , back neck	0.000	0.060	0.017	-0.016
T_{cl} , thigh	0.218**	0.012	0.079	0.091
H_{cl} , chest	0.204*	0.381**	0.080	-0.383**
H_{cl} , back neck	-0.063	0.563**	-0.330**	-0.541**
H_{cl} , thigh	0.058	0.505**	-0.099	-0.564**

** $p<.01$, * $p<.1$

불쾌하게 느끼는 것은 심부 온도가 높거나, 피부 온도가 높은 것보다 의복내 습도가 높은 것과 더 관련이 큼을 의미한다.

여름철 작업자의 의복내 습도 저하는 일회용 부직포 작업복의 세부적 디자인 개선 만으로는 어렵다. 일반적으로 인간공학적 관점에서 공학적 조절 지침으로 작업장에 냉방 시설을 갖추던가 팬 설비를 함으로써 실내 습도를 낮추는 방법이 있으나 철도 차량 정비 작업장은 실외이므로 작업장 전체에 냉방 설비

Table 4. The ranking of preference among work wears in the field study and rankings of percentage of thermal comfort in the climatic chamber

Type	^a Ranking of preference in the field study (persons)	^b Ranking of percentage of thermal comfort in the climatic chamber -9°C	^c Rankings of percentage of thermal comfort in the climatic chamber -30°C	Ranking of preference= $a \times 0.5 + b \times 0.25 + c \times 0.25$
A	5 (0)	4	3	4.25
B	2 (4)	1	6	2.75
C	2 (4)	2	4	2.5
D	5 (0)	3	5	4.5
E	4 (1)		2	
F	1 (5)		1	

를 하는 것은 어렵고, 팬 설비를 갖추는 것도 많은 분진 때문에 적절하지 않다. 또한 저렴한 가격을 유지해야 하는 일회용 부직포 안에 특수 제습 장치를 갖추는 것도 현실적으로 적당하지 않다. 여러 작업 안전 관련 기관에서는 실외 작업자의 서열 부담을 줄이기 위한 방법으로는 음료 및 전해질 보충, 열과 빛을 피할 수 있는 쉼터, 작업 스케줄 조정, 냉각 장비의 사용, 적응, 열 스트레스 모니터링, 노동자 교육 등을 든다(CRA, 2001). 이는 일반적인 권고 방법이며 철도 차량 정비 작업자를 위한 가장 좋은 대안으로는 다음 세 가지를 생각해 볼 수 있다. 첫째, 일회용 부직포 작업복의 소재 개선이다. 본 연구에서 세부적인 디자인 개선 만으로 30°C에서 온열 쾌적감을 향상시키는 것은 쉽지 않음을 확인했다. 따라서 개발되고 있는 다양한 고기능성 부직포 소재 중 작업복의 총 피복 면적 감소 없이 온열 쾌적감을 향상시킬 수 있는 소재를 찾아 활용할 수 있도록 연구를 지속해야 할 것이다. 둘째, 작업복 내에 개인 보조 냉각 장비를 활용하는 방법이 있다. 간단한 복 냉각 장비나 냉각 조끼 등을 일회용 작업복 내부에 착용하여 온열 쾌적감을 향상시킬 수 있으며, 이는 이미 선진국에서 널리 활용되고 있는 가장 실제적인 대안이기도 하다. 따라서 저렴하면서 반영구적인 보조 냉각 장비를 개발하는 것이 중요하다. 셋째, 다른 조절 프로그램과의 연계이다. National Institute of Justice(2002)는 모든 위해로부터 작업자를 보호해 줄 수 있는 단일 보호 의복은 없으므로 개인 보호 의복 착용 프로그램은 언제나 다른 보호 방법들과 함께 연계되어야 한다고 강조한다. 즉, 오염을 막아줄 수 있는 적절한 디자인 및 소재의 일회용 부직포 작업복 착용과 함께 공학적(engineering), 관리적(administrative) 조절 등이 함께

취해져야 한다. 공학적 조절 방법으로는 작업장의 냉방 설비를 조정하는 방법이 있는데 전술했듯이 철도 차량 정비 작업장은 실외이므로 작업장 전체를 냉방하기는 어려우므로 휴식 공간의 온열 환경을 쾌적하게 유지하는 것이다. Ohnaka et al.(1993)은 석면 제거 작업 현장에서 흔히 입혀지는 일회용 부직포 작업복을 입고 다음 세 가지 조건(더운 환경: 35°C, 서늘한 환경: 20°C, 더위/추위 조건: 35°C에서 일하고 20°C에서 쉬는 조건)에서 생리 반응을 측정 한 결과, 서늘한 환경에 노출된 경우 직장 온도와 심박수는 시간에 따라 증가하지는 않았으며, 더위/추위 조건에 노출된 경우 직장 온도는 증가했으나 증가 정도는 더위 조건에서의 반이었다고 보고했다. 또한 많은 선행 연구 들(Constable et al., 1994; Horic et al., 2002)이 휴식 시 냉각이나 서늘한 환경 노출이 서열 부담 경감에 미치는 긍정적 영향을 보고하고 있다.

2. 현장착용평가

철도 차량 정비 작업하는 노동자 14 명을 대상으로, 실제 작업 현장에서 6 종의 작업복을 모두 입어 보도록 설계된 착용 평가를 실시한 결과 가장 선호하는 작업복은 F 형(5명)이었고, 다음으로 B 형(4명), C 형(4명), E 형(1명) 순이었으며, A 형과 D 형을 선호한 사람은 한 명도 없었다(Table 4). 작업자들이 D 형을 선호하지 않은 가장 큰 이유는 작업 중 겨드랑 부위와 겨드랑이 부위의 통기 구멍이 쉽게 찢어져 옷이 오염되기 쉽고 찢어진 부위가 기계 등에 걸릴 위험이 있기 때문이라고 응답했다. E 형에 대한 선호도가 낮았던 이유는 소매가 없어 시원하긴 하지만 팔 토시로도 보호되지 못하는 어깨 부위가 오염되고, 또한 작

업복의 어깨 끝 단 부위가 작업 중 기계에 걸릴 위험이 있기 때문이라고 응답하였다. 즉, 인공 기후실 실험의 주관적 반응에서 부정적인 결과를 얻지 않았던 D 형과 E 형에 대해, 실제 현장에서 착용 시 작업자들의 선호도가 낮았던 이유는 온열적인 이유라기 보다 작업 안전 및 오염의 측면에서 불만족스러웠기 때문이었다.

OSHA(2002)에서는 화학적 개인 보호 의복을 고르는 요인으로 의복의 디자인(작업복의 외형, 구성, 사이즈, 입고 벗기 편리함, 쾌적함, 동작 적합성 등), 소재의 화학적 보호 성능, 소재의 물리적 성능(강도, 찢김, 구멍 뚫림, 잘림, 마찰, 세탁 등 물리적 힘에 대한 저항, 극한 환경 조건에서의 내구성, 유연성, 방염성 등), 오염 제거 용이성(옷에 묻은 오염 제거의 어려움 정도에 따라 일회용 작업복을 사용할 것인지 직물 작업복을 사용할 것인지, 아니면 이 둘을 조합할 것인지 결정), 비용 등을 들고 있다. 특히, 본 연구에서 다룬 스펀본디드 폴리에틸렌 부직포 작업복은 심한 오염으로부터 인체 및 의복을 보호하기 위해 착용하는 일회용 작업복이고, 또한 이는 개인이 개별적으로 구입하는 것이 아니라 철도청, 제철소, 자동차 도장, 타이어 제작 등과 같이 오염이 심한 작업 환경을 갖는 회사에서 대규모로 구입한 후 정기적으로 지급하므로 비용이 중요한 요인으로 작용한다. 철도 차량 사무소의 작업자들은 단지 일회용으로 만들어진 작업복을 오염이 되었음에도 불구하고 여러 번 더 입고 버린다(최정화 외, 2003). 따라서 일회용 작업복의 실제 보급율을 높이기 위해선 디자인 개선 시 작업자의 안전 및 온열 쾌적성 향상과 함께 개선된 디자인 적용이 현재 지급되는 작업복 가격을 크게 벗어나지 않는 범위에서 가능한 것인지를 반드시 고려해야 할 것이다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 철도 차량 정비 노동자의 부직포 작업복 개발 연구의 일환으로, 실제 철도 노동자들이 정비 작업 시 입는 부직포 작업복(A 형)과 설문 조사 결과를 토대로 디자인을 개선시킨 부직포 작업복(B 형-모자 개선 및 사이즈 조절 기능, C 형-모자 분리형, D 형-통기 구멍 첨가형, E 형-민 소매형, F 형-반팔 및 상하의 분리형)을 제작한 후 이의 온열 생리학적 성능 및 주관적 감각을 인공 기후실과 실제 현장 착용을 통해 평가하였다. 인공 기후실 실험에는 건강하

20대 남자 대학생 세 명이 피험자로 참여했으며, 현장 착용평가에는 열 네 명의 실제 철도 차량 정비 작업자가 평가자로 참여했다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 인공 기후실 실험에서 기존형과 개선된 부직포 작업복 형태에 따른 체온 조절 반응의 차이가 현저하지는 않았으나, 온열 쾌적감의 차이는 유의하여, 9°C에서는 B 형, 30°C에서는 F 형에 대해 가장 만족해 했다.

둘째, 인공 기후실 실험 결과, 30°C와 9°C라는 21°C 기온차에 의한 직장은, 평균피부온도, 의복내온습도, 총발한량, 한서감각, 온열 쾌적감의 차이는 명확했다.

셋째, 현장 착용 평가 결과, 응답자 전원 기존 부직포 작업복보다 개선된 부직포 작업복을 선호했으나, 선호하는 작업복의 종류는 구체적인 작업 내용에 따라 달랐다. 특히, 통기 구멍을 첨가한 부직포 작업복(D 형)과 기존 부직포 작업복(A 형)을 선호한 사람은 전혀 없었다.

넷째, 현장 착용 평가 결과, 인공 기후실 실험에서 발견할 수 없었던 D 형과 E 형에 대한 불만 이유를 발견할 수 있었다. 작업자들이 D 형을 선호하지 않은 이유는 작업 중 겨드랑 부위와 겨드랑 부위의 통기 구멍이 쉽게 찢어져 옷이 오염되고 찢어진 부위가 기계 등에 걸릴 위험이 있기 때문이었으며, E 형을 선호하지 않은 이유는 노출된 어깨 부위의 오염 및 어깨 부위가 기계에 걸릴 위험이 있기 때문이었다.

결론적으로, 안전 및 작업 효율 향상의 관점에서 디자인을 세부적으로 개선한 작업복 착용이 9°C와 30°C로 조정된 인공 기후실 내에서 정상 범위 내의 체온 조절 반응을 보여 주었고, 주관적 반응에서는 긍정적인 결과를 보여 주었으며, 현장 착용감 평가에서는 기존 부직포 작업복보다 보다 우수한 평가를 받았으므로, 모자, 소매, 바지 길이 등의 사이즈 조절형 및 모자 분리형, 상하의 분리형, 민 소매 형 등 다양한 형태의 작업복을 착용자의 요구, 계절, 작업 조건 등을 고려하여 보급한다면, 작업 능력 향상 및 안전에 기여할 수 있을 것이다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 셔벗 마네킨 착용을 통한 객관적 성능 평가를 하지 못했다는 점, 둘째, 인공 기후실의 인체 실험에서 피험자 수가 충분하지 않았다는 점, 이는 편차를 높여 결과 해석 시 유의한 차이를 보지 못하게 할 수도 있다. 셋째, 실제 현장 착

용 평가에서 주관적 평가만 수행하고 생리 반응을 모니터링하지 못했다는 점, 넷째, 실제 보급되는 일회용 작업복의 가격이 디자인 개선 시 제약으로 작용했다는 점 등을 들 수 있다. 가격의 제한이 없었다면 보다 적극적인 개선도 가능했을 것이다. 앞으로 작업복을 개발하고 평가하는 연구를 수행할 때 설문지 및 면접 등을 통한 현장 실태 조사, 소재 평가, 작업복 제작, 셔벌 마네킨 착용 평가, 인공 기후실에서의 인체 착용 평가, 현장 착용 평가와 같은 일련의 단계를 밟는다면 보다 적절한 작업복을 개발하는 데 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

권오경, 김태규. (1995). 의복착용시스템이 인체의 생리적 반응 및 열적 쾌적성에 미치는 영향. *한국온열환경학회지*, 2(3), 165-178.

김광희, 박기호. (1999). 기온 변화와 운동복 형태가 운동 중 인체에 미치는 영향. *한국생활환경학회지*, 6(2), 52-57.

남상남. (1994). 60% VO₂ max 수준 운동 시 스포츠웨어 재질에 따른 심박수와 직장온도 변화. *한국생활환경학회지*, 1(1), 23-29.

박종안, 차상은, 김현영, 이영세, 원정일, 박정균, 이병수, 박상래, 반정열, 박노춘, 최상구, 이순자, 서재국, 김동수. (2000). *작업환경관리*. 동화기술.

염희경, 최정화. (1992). 시판 에어로빅복의 재료 특성에 따른 쾌적 성능에 관한 연구. *한국의류학회지*, 16(4), 405-416.

이미경, 류숙희. (1997). 에어로빅복의 의복 형태에 따른 착용감. *한국생활환경학회지*, 4(4), 57-68.

이순원, 조성교, 최정화. (2002). *의복과 환경*. 서울: 한국방송통신대학교 출판부.

이윤경, 정찬주, 정재은. (2002). 고청정 작업 환경에서 방진복 디자인이 인체 생리 반응에 미치는 영향. *한국의류학회지*, 26(6), 811-820.

최정화, 황경숙. (2001). 더운 환경에서의 냉각조끼의 착용 효과에 관한 연구. *한국의류학회지*, 25(1), 83-90.

최정화, 김소영, 이주영. (2003). 부직포 작업복 착용자의 작업복 관리와 착용 실태. *2003년도 한국의류학회 추계학술대회 proceeding*, p. 48.

최정화, 이주영, 김소영. (2003). 실험 가운 종류와 실내 기온에 따른 인체의 생리 반응 및 주관적 반응. *2003년도*

한국의류학회 추계학술대회 proceeding, p. 49.

추미선. (1998). 등은 환경 하에서 개구부를 통한 의복의 환기 효율. *복식문화연구*, 6(4), 229-237.

홍성애. (2000). 특수복 착용으로 인한 Heat Stress. *한국생활환경학회지*, 7(1), 37-46.

ASHRAE. (2001). ASHRAE Standard 55-1992-Thermal environment conditions for human occupancy. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, INC.*

Baker, S. J., Grice, J., Roby, L. & Matthews, C. (2000). Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter clothing in a temperate environment. *Ergonomics*, 43(9), 1350-1358.

Conestoga-Rovers & Associates, CRA. (2001). *Appendix C. Heat stress and cold stress procedures*. CRA.

Constable, S.H., Bishop, P.A., Nunneley, S.A. & Chen, T. (1994). Intermittent microclimate cooling during rest increase work capacity and reduces heat stress. *Ergonomics*, 37(2), 277-285.

Holmer, I., Nilsson, H., Rissanen, S., Hirata, K. & Smolander, J. (1992). Quantification of heat balance during work in three types of asbestos-protective clothing. *Int Arch Occup Environ Health*, 64(4), 243-249.

Horie, S., Tsutsui, T., Sakata, S., Monji, K. & Sogabe, Y. (2002). Optimum room temperature during rest periods provide between repetitive exercise under heat stress. *Proceedings of the 10th international Conference on Environmental Ergonomics*. Fukuoka, Japan, 81-84

NIJ Guide V. (2002). *Guide for the selection of personal protective equipment for emergency first responders*. National Institute of Justice Law enforcement and corrections standards and testing program, U.S. Department of Justice.

Occupational Safety and Health Administration. (2002). *Technical Manual, Section, Personal Protective Equipment, Chapter 1: Chemical protective clothing*. OSHA.

Ohnaka, T., Tochihara, Y. & Muramatsu, T. (1993). Physiological strains in hot-humid conditions while wearing disposable protective clothing commonly used by the asbestos removal industry. *Ergonomics*, 36(10), 1241-1250.

Turpin-Legendre, E. & Meyer, J. P. (2003). Comparison of physiological and subjective strain in workers wearing two different protective coveralls for asbestos abatement tasks. *Applied Ergonomics*, 34(6), 551-556.