

전자파 차단 보호복의 온열쾌적성 평가

최정화·김명주·박준희*·김도희**

서울대학교 의류학과/생활과학연구소

경희대학교 의상학과*

농촌진흥청**

Thermal Comfort Evaluation of Protective Clothing for Shielding Electromagnetic Waves

Choi, Jeong Wha · Kim, Myung Ju · Park, Joon Hee* · Kim, Do Hee**

Dept. of Clothing & Textiles / Research Institute of Human Ecology, Seoul National University, Seoul, Korea

Dept. of Clothing & Textiles, Kyung Hee University, Seoul, Korea*

Rural Development Administration, Suwon, Korea**

ABSTRACT

The present study was performed on humans to investigate the physiological strain of wearing protective clothing for shielding electromagnetic waves and to compare control clothing that are currently on the market and new clothing that are developed for improving thermal comfort and material weight. Experiments were conducted in a climatic chamber of $28.8 \pm 0.6^\circ\text{C}$, $37 \pm 5\% \text{RH}$ under three differed experimental clothing conditions: None, Control, New. The results were as follows. Mean skin temperature and rectal temperature in New were significantly lower than that in None and Control ($p < .05$). The temperature and humidity inside clothing were lower in None ($p < .05$). Total weight loss was lower in New. Thermal sensation and thermal comfort were less hot and more comfortable in New than those in Control. It was concluded that wearing the protective clothing for shielding electromagnetic waves affects physiological responses such as distribution of body temperature, sweat rate, etc.

Key words: thermal comfort, electromagnetic shielding, skin temperature, rectal temperature, sweat rate

I. 서론

디지털 기술 발전이 급격한 오늘날에는 각종 전기·전자 제품의 개발과 증가로 인해 전자파가 생성되고 이것이 인체에 영향을 미쳐 장애를 일으키는 등의 사회 문제를 유발하고 있다(김윤신 등 1997; 이수정·이태일 2004). 전자파에 의해 유발 가능한 증상으로는 나른함, 불면증, 신경 예민, 두통, 숙면에 관여하는 멜라토닌 호르몬의 감소, 맥박의 감소 등이 있으며, 질병으로는 백혈병, 임파암, 뇌암, 중추신경계암, 유방암, 치매, 유산 및 기형아 출산 등이 있다(김덕원 1996). 전자파는 보이지 않는 유해 인자라는 점에서 간과되기 쉽고, 노약자, 어린이, 임신부 등 다양한 사람들이 비선택적으로 노출된다는 문제점이 있으므로 전자파의 유해성에 대해 주의를 기울여야 한다. 특히 최근의 첨단 산업의 발전 속도와 방향을 감안할 때, 인간이 각종 전자제품 및 설비에 둘러싸여 하루 24시간의 대부분을 전자파에 노출된 상태로 생활한다고 해도 과언이 아니므로 이에 대한 관심과 대책이 필요하다.

전자파의 전계는 전압의 세기에, 자계는 전류의 크기에 비례하여 발생하며, 전계는 전도성이 높은 물체에 의해 상당히 차단되나 자계는 자성이 매우 강한 특수 합금에 의해서만 차단되어 자계 차단은 쉽지 않다고 알려져 있다(김덕원 1996). 전자파의 인체에의 유해성은 크게 열적 효과(thermal effect)와 비열적 효과(non thermal effect)의 두 가지 기전에 의해서 설명된다. 열적효과란 전자파가 체내에 흡수되는 경우 인체 조직의 온도를 상승시켜서 조직 손상을 일으키는 경우로, 이러한 열적 효과는 동물 실험에서 자궁내 태아손상, 신경계, 고환, 내분비계, 수정체에 영향을 준다고 알려져 있다(Demers et al. 1991; Merritt et al. 1992; Wertheimer et al. 1995). 비열적효과는 장기간에 지속적으로 노출된 전자파가 세포에 영향을 미치는 것을 말한다(Vena et al. 1994).

전자파 관련 연구로는 작업 환경별 전자파 노출량 조사 및 전자파가 인체생리반응에 미치는 영향에 대한 조사 등의 산업보건이나 의학적 연구(김윤신 등 1997; 김윤신·조용성 1998; 김진

광·공성훈 2004; 황종운 등 2006; Demers et al. 1991; Feychting & Forssen 2007; Legros & Beuter 2006; Wertheimer et al. 1995) 및 전자파 차폐 물질이나 소재와 관련한 공학적 연구(김수미·송화순 2005; 한은경 등 1998) 등이 주를 이루고 있고, 의복이라는 완제품을 대상으로 전자파 차단에 관해 조사한 연구는 부족한 실정이다. 남성복상의 포켓의 전자파 차단에 관한 연구(차은희·송명전 2003)와 전자파 차폐 제품이 뇌파 및 기타 인체생리반응에 미치는 영향을 조사한 연구(이수정·이태일 2004; Adair et al. 2005) 등이 있을 따름이다. 최근 전자파 유발에 따른 문제점 해결책의 하나로, 전자파를 차단 혹은 감소시킬 수 있는 컴퓨터 전자파 차단보안기, 전자파 차단 섬유, 전자파 차단 앞치마, 핸드폰에서 방출되는 전자파를 차폐하는 제품 등이 개발되어 시판되고 있으나, 전기 담요에 대한 평가(Abel et al. 2007; Vena et al. 1994; Verreault et al. 1990)를 제외하고서는 실제 전자파 차단 효과에 대한 객관적인 자료는 부족한 실정이다(손기철 등 2000). 특히 온열쾌적성 측면에서 전자파 차단 보호복을 조사한 연구는 거의 없다.

한편, 전자파 고노출 직업군에는 발전소 및 변전소 근무자, 전기 선로공, 전자레인저 공장 근로자, 레이더 기지 근무자, 통신병, 컴퓨터를 장시간 사용하는 사무직 종사자 등이 있다(김덕원 1996). 선행연구(Kim·Cho 2001)에서는 컴퓨터 사용이 많은 대학원생과 사무직 근로자들의 자기장 노출량을 조사한 결과, 전기기술자, 지하철 운전기사의 노출량보다는 적은 값이지만, 무시할 수 없는 양이며 인체에의 영향을 고려해보아야 한다고 보고한 바 있다. 뿐만 아니라 컴퓨터 단말기 화면 작업을 오래하는 사람의 경우, 시력 저하와 망막 손상 등의 VDT 증후군 뿐만 아니라 임신부들은 임신율이 떨어지거나 기형아 출산이 높고, 전자파에의 노출 수준 및 강도가 클 경우 백혈병이나 암까지 발생하기도 한다고 하였다(이 기준 1996). 이와 같이, 직업의 특성상 컴퓨터 작업이 필수적인 이유로, 전자파에의 노출이 불가피한 사무실 작업 환경에서도 전자파 차단 보호복의 착용이 요구되나, 착용의 필요성을 인지하

지 못하거나, 착용에 따른 동작기능성의 저하 및 더위 유발과 같은 온열 쾌적성 측면에서의 불편함 등을 이유로 앞치마, 속옷 등의 일부 시판 제품이 널리 사용되지 못하고 있는 실정이다. 즉, 전자파에의 노출에 대한 염려는 높지만, 실제 전자파에의 노출 방지를 위한 노력은 부족하다.

우수한 보호복이란 외부의 유해 위협으로부터의 보호 기능과 동시에 온열 생리적으로 쾌적성을 부여할 수 있는 기능을 갖춘 의복이다. 그러므로 전자파 차단을 위한 보호복은 전자파 차단 효과뿐만 아니라 착용 시의 온열 쾌적성 문제를 동시에 고려하여 제작되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 전자파 차단 효과 및 온열 쾌적감 향상을 위한 전자파 차단 의복을 개발하고, 기존 제품과의 비교를 통해서 전자파 차단 의복의 착용이 인체 생리반응에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 전자파 차단 보호복 개발

1) 보호복에 적용할 전자파 차단용 소재 선정
일반적으로 전자파 차폐제는 은, 구리, 니켈, 기타 금속 등의 전도성 소실제와 전파흡수제 및 스테인레스 강섬유와 같은 자성손실 전파흡수제로 분류된다(김수미·송화순 2005). 실제, 이러한 금속 물질이 전자파 차단 효과가 가장 우수한 것으로 알려져 있으나, 의복에 직접 활용된 예는 드물다. 이는 중량, 유연성, 세탁 문제, 착용감 등과 같은, 금속 물질을 의복에 적용할 때 발생하는 여러 문제점 때문으로 생각된다. 그러나 시판되고 있는 우수한 성능의 전자파 차단 의류 또한 앞치마 형태의 직물로 이루어진 단일 레이어에 별도의 전자파 차단용 레이어를 부착하도록 구성되어 있어 무게 측면에서는 문제가 되고 있는 것이 현실이다. 이에 본 연구에서는 중량 문제를 해결하면서 동시에 최적의 전자파 차단 효과를 얻고자 금속 물질을 의류에 직접 적용하여 그 효과를 살펴보고자 하였다.

다양한 금속 물질 중 알루미늄은 납, 구리 등에 비해 차단 성능은 떨어지지만, 경량의 특성으로 착용 시 우수하다는 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 예비실험을 통해서 알루미늄 판(60×40cm)을 두께별(0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1mm)로 차단 성능을 평가한 후, 비교적 가벼우면서도 차단 성능이 우수한 0.3mm 두께의 알루미늄 판을 선정하였다. 0.3mm 두께의 알루미늄 판과 시판 중인 전자파 차단 의류의 전자파 차단 성능을 평가한 결과 유사한 차단 성능을 나타내었다.

2) 전자파 차단 보호복의 디자인 및 구성 방식

개발한 전자파 차단 보호복은 인체의 구간부 전면을 가릴 수 있고, 넙다리 부위까지 가려지는 길이로 제작하였다. 이는 전자파 노출이 가장 치명적인 것으로 알려진 생식기 부위와 구간부를 차폐하기 위한 목적이었다. 또한 작업능률을 저하시킬 수 있는 어깨부위의 홀러내림을 방지하고자 뒷면의 여밈 부분은 고무밴드 및 여밈 장치를 이용하여 제작하였다(Fig. 1). 금속 물질을 활용함에 있어 착용감 및 유연성 향상을 목적으로 알루미늄 조각판(2×4cm)을 이용하였다. 즉 재단된 2겹의 망사천을 일정 간격을 두고 동시에 박음질하여 수납공간을 형성하였고, 이 공간에 알루미늄 조각판을 각각 삽입하는 형태로 이루어졌다. 망사천을 이용한 이유는 통기성 향상을 통해 온열 쾌적감을 향상시키기 위해서였다. 완제품 상태에서의 전자파 차단 효과를 비교한 결과, 개발 의복이 기존 제품에 비해 전기장의 경우 70%, 자기장은 50%의 차단율을 나타내어 전자파 차단

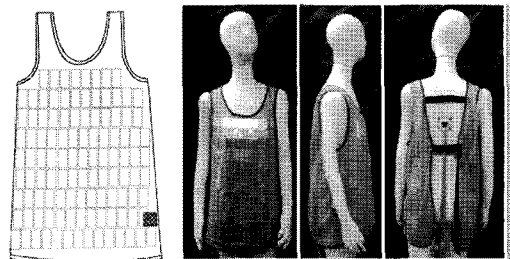


Fig. 1. Pictures of developing clothing for shielding electromagnetic waves

Table 1. Physiological responses according to the experimental conditions

	None	Control	New
Forehead	35.95±0.4 ^a	35.93±0.3 ^a	35.76±0.2 ^b
Abdomen	35.21±0.6 ^b	35.36±0.6 ^a	35.18±0.5 ^b
Arm	34.75±0.7 ^b	34.80±0.9 ^{ab}	34.90±0.8 ^a
Hand	35.23±0.6 ^a	35.09±1.2 ^{ab}	35.02±1.1 ^b
Thigh	33.85±0.4 ^a	33.52±0.6 ^b	33.20±0.9 ^c
Leg	32.85±0.7 ^a	32.68±0.5 ^b	32.49±0.7 ^c
Foot	35.50±1.1 ^a	35.02±1.2 ^b	34.64±1.8 ^c
T _{sk}	32.17±0.3 ^a	32.13±0.4 ^a	31.99±0.4 ^b
T _r	37.16±0.4 ^a	37.10±0.3 ^b	37.02±0.4 ^c
T _b	36.17±0.3 ^a	36.11±0.3 ^b	36.01±0.4 ^c

Mean±S.D., p<0.05, Superscripts means group divided by ANOVA and Duncan's post hoc test (a>b>c).

T_{sk} : Mean skin temperature

T_r : Rectal temperature

T_b : Mean body temperature

성능은 다소 감소한 것으로 나타났다. 의복 중량의 경우 개발 제품의 경우 325g, 기존 제품의 경우 475g으로 약 150g의 차이가 있었으며, 개발 제품이 더 가벼웠다.

2. 인공기후실에서의 착용 평가

1) 실험조건

실험 조건은 미착용(None), 기존 제품(Control, 475g), 개발 의복(New, 325g)의 3가지였다. 기존 제품의 경우 예비실험을 통해, 형태 및 성능에서 차이가 있는 3종의 시판 제품 중 전기장 및 자기장 차단이 가장 우수한 제품 1종을 선정하여 이용하였다. 기존제품은 전자계 차폐 밴드(특허: 제 0395515호)가 부착된 앞치마 형태로, 예비실험을 통해 시판되는 차폐 의류 중에서 전기장 및 자기장 차단 정도가 가장 우수한 W사의 제품으로 선정하였다. 개발 제품의 경우, 현재 실용신안(20-2007-0019082) 및 디자인(30-2007-49156) 등록이 되어 있다.

2) 피험자와 실험 착장 형태

피험자는 신체 건강한 성인 남자 3명(나이 24.3±2.4세, 키 1.74±0.0cm, 몸무게 60.7±3.8kg, BSA 1.73±0.1m²)을 대상으로 하였다. 선행연구에 따르면 자기장(magnetic field)의 경우, 여성보다 남성이 더 민감하다고 보고된 바(김윤신 등 1997), 전자파 차단 보호복의 효과를 명확히 살펴보고자 본 연구에서는 남성 피험자로 한정하였다. 피험자들은 서면 동의를 거쳐서 자발적인 실험 참가의사를 밝혔다. 또한 체온의 일내 변동(circadian rhythm)을 고려하여 동일 시간대에 실험하였고 각 실험 조건당 2회씩 반복 참여하였다.

기본적인 실험의복으로 면 100%의 반소매터 셔츠, 반바지, 팬티, 양말을 동일하게 착용하게 하였다.

3) 실험환경 및 실험과정

본 연구는 전자파 차폐 의복의 착용이 온열쾌적성에 미치는 영향을 파악하고자 한 것으로, 인체착용평가는 28.8±0.6°C, 37±5%RH의 인공기후실에서 이루어졌다. 피험자들은 기본 실험의복을 착용한 후, 실험기기를 부착하고 준비실에서 30분간 안정하였고, Control 및 New의 실험조건의 경우 인공기후실에 입실 직전 전자파 차단 보호복을 착용하였다. 피험자는 인공기후실에 입실 후, 의자에 앉은 자세로 60분간(5분 휴식→50분간 워드 타이핑 작업→5분 휴식) 컴퓨터 작업자의 작업을 모의 재현하였다.

인위적인 전자파 조성에는 어려움이 있어 예비조사결과 위의 환경조건으로 설정된 인공기후실 내에서의 컴퓨터 사용 시의 전자파 양을 측정하여 컴퓨터 작업 시 전자파 발생 유무를 확인하였고, 실제 실험 시 조성된 환경에의 노출 동안 전자파를 측정하였다. 또한 실내공간에서 컴퓨터 모니터가 방출하는 전자파는 거리가 멀어질수록 노출 정도가 급격히 낮아진다는 선행연구(김진광·공성훈 2004)를 바탕으로, 모의 작업 재현 시 모니터와 피험자 사이의 간격(약 30cm)을 일정하게 유지하는 등 바른 자세를 취하도록 하였다.

실험 환경에의 노출 동안, 앉은 자세의 피험자의 가슴 위치에서 전자파 측정기(Trifield TM,

Alphalab Inc., USA)를 이용하여 10분 간격으로 측정된 전자파의 평균 값은 전기장 $14.3 \pm 6.0V/m$, 자기장 $2.13 \pm 0.3mG$ 였다. 스웨덴 노동자기구(TCO) 규정에 의하면, 모니터 정면에서 30cm 거리에서 측정된 전자파 허용 한계치는 전계 $10V/m$, 자계 $2mG$ 로 제시되어(김덕원 1996) 본 연구에서의 전자파는 허용 한계치보다 약간 높게 나타났다.

3) 측정 항목

피부온은 인체 7부위(이마, 배, 아래팔, 손등, 넓다리, 종아리, 발등)에서 측정하였고, 평균피부온(T_{sk})은 Hardy와 Dubois(1937)의 7점법을 이용하여 계산하였다. 직장온(T_r)은 직장온 전용 센서를 직장 내 약 15cm 깊이에 삽입하여 측정하였다. 피부온과 직장온은 휴대용 써미스터(LT, Gram Corp., Japan)를 이용하여 측정하였고, 평균체온(T_b)은 평균피부온과 직장온을 이용하여 서열 환경 노출 시의 산출식을 이용하여 계산하였다. 의복기후는 가슴, 등, 넓다리의 3 부위에서 측정하였다(TR-72S, T&D Corp., Japan). 이상의 항목들은 모두 1분 간격으로 측정하였다. 총발한량은 인체 천평(F150S, Sartorius Corp., Germany)을 이용하여 실험 전후의 체중감소량으로 계산하였다.

주관적 감각으로 한서감(ISO 10551의 9점 척도), 습윤감(ASHRAE의 7점 척도), 쾌적감(일본공기조화위생학회의 4점 척도), 주관적 힘들기(Borg의 7점 척도)를 측정하였고, 각 항목은 10분 간격으로 피험자가 직접 기록하게 하였고 각 척도는 숫자가 커질수록 덥고, 습하며, 불쾌하고 힘든 상태를 의미한다.

4) 통계 분석

실험조건 간 인체생리반응의 차이를 규명하기 위해 SPSS 12.0을 이용하여, 일원배치 분산분석을 실시하였다. 유의차가 나타난 항목에 대해서는 Duncan의 다중비교를 이용하여 사후검정을 하였다($p < .05$).

III. 결과 및 고찰

1. 피부온과 직장온

평균피부온은 개발 의복($31.99^\circ C$) 착용 시가 미착용($32.17^\circ C$) 및 기존제품($32.13^\circ C$) 착용 시보다 유의하게 낮았다($p < .05$). 직장온은 개발의복($37.02^\circ C$) < 기존제품($37.10^\circ C$) < 미착용($37.16^\circ C$)의 순이었다($p < .05$).

실험 노출 시간 동안의 평균피부온 및 직장온의 변화도는 Fig. 2에 제시하였다. 직장온 변화도에서는 개발 의복의 변화도가 가장 적게 나타났으며, 개발 의복과 기존 제품은 모두 30분경까지 하강하다가 이후 약간 상승하는 경향을 보이는 반면, 미착용의 경우 40분 경과 후 심부체온인 직장온이 급격히 상승하는 경향을 보였다. 이는 전자파가 인체에 미치는 영향 중 하나인 심층부의 체온을 상승시키는 열 작용으로 조직이 가열되어 체온이 상승한 결과로 사료되며(강영훈 등 2000; 김진석·최익권 1993), 장시간 작업 시에는

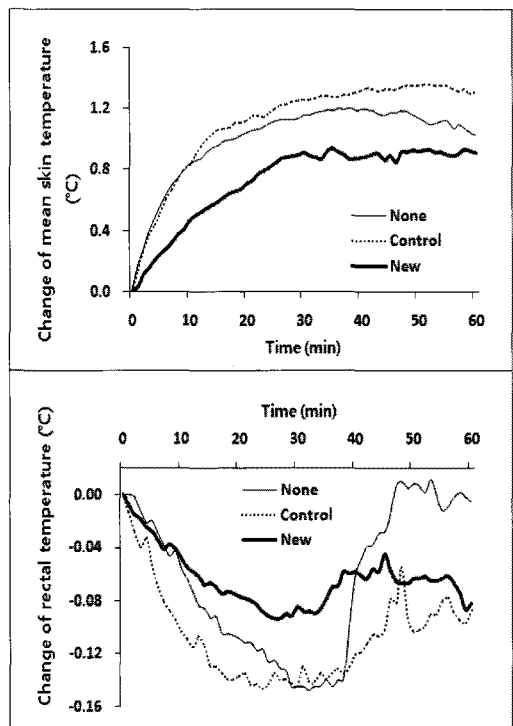


Fig. 2. Change of mean skin temperature and rectal temperature

전자파 차단 보호복의 착용이 더욱 절실함을 시사한다. 기존 제품 및 개발 의복의 경우 전자파의 차단으로 인해 심부온 상승이 적었으나, 미착용 시에는 전자파를 그대로 흡수함으로써 심부온 상승도가 높아진 것으로 볼 수 있다. 뿐만 아니라 미착용 시의 경우 하체 부위 피부온을 포함한 대부분의 피부온에서 가장 높은 값을 나타내어 컴퓨터 작업 시 발생하는 전자파가 인체의 체온 변화에 미치는 영향력을 파악할 수 있었다. 이와 같이 전자파가 인체에 미치는 열 작용(전신 및 국소 가열)이 확인되므로 일상생활에서 전자파에의 노출을 자각하지 못할지라도 전자파 차단을 위한 보호복 착용은 필요할 것으로 생각된다.

또한 기존 제품을 착용한 경우에는 개발 제품을 착용한 경우보다 심부온, 평균체온, 평균피부온 및 평균 피부온의 변화도 등에서 높은 값을 나타내어 생리적으로도 불편함을 느끼는 것으로

평가할 수 있다. 기존 제품의 경우 전자파 차단에는 효과적일 수 있지만, 중량이 무겁고 통기성이 낮은 직물을 사용하는 등의 이유로 온열 생리적으로 인체에 부담을 주게 되는 것이다. 이는 기존 제품의 착용이 서열 스트레스를 유발함을 시사한다.

2. 의복기후

가슴, 등, 넓다리 부위를 평균하여 산출한 평균 의복내온도는 미착용(33.53°C)에서 가장 낮았고, 개발의복(33.76°C), 기존제품(34.03°C)의 순서였다($p<.05$). 평균 의복내습도는 통계적 유의차는 없었으나 미착용(41.9%RH)에서 가장 낮았고 개발의복(43.0%RH), 기존제품(43.4%RH)의 순서였다(Fig. 3).

의복내온도의 경우, 의복 총착용매수가 적은 미착용의 경우에 가장 낮은 것으로 나타나, 전자파 차단을 위한 보호복의 착용이 인체-환경간의 장벽 역할을 하여 의복내온도의 상승에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 한편, 의복내온도는 인체 부위별로 실험조건에 따라 다른 경향을 나타내었는데, 미착용 시의 경우에는 넓다리<가슴<등 부위의 순이었고, 기존 제품 착용 시에는 넓다리<등<가슴의 순서, 개발 의복 착용 시에는 넓다리<가슴<등의 순으로 나타났다.

의복내습도는 미착용 및 기존제품 착용 시의 경우에는 등 부위에서 가장 높았고, 개발 제품 착용 시의 경우에는 가슴 부위에서 높게 나타났다(Table 2).

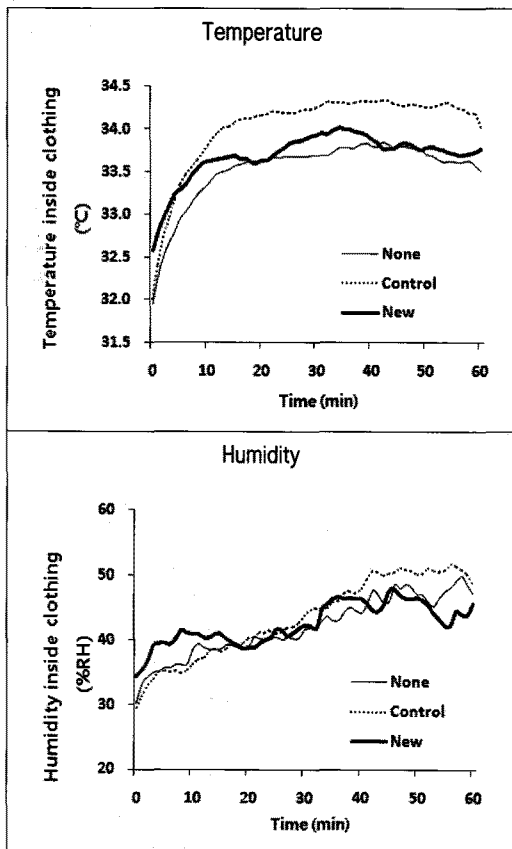


Fig. 3. Mean microclimates

Table 2. Clothing microclimates

		None	Control	New
Temperature inside clothing(°C)	chest	33.76±0.8 ^a	34.76±0.8 ^a	34.14±0.7 ^b
	back	34.15±0.7 ^b	34.13±0.6 ^b	34.26±0.7 ^a
	thigh	32.67±1.4 ^c	33.21±1.3 ^c	32.88±0.7 ^b
Humidity inside clothing(%RH)	chest	41±12 ^b	45±16 ^a	46±13 ^a
	back	46±16	47±16	45±13
	thigh	39±8 ^a	38±8 ^a	37±5 ^b

Mean±S.D., $p<.05$, Superscripts means group divided by ANOVA and Duncan's post hoc test (a>b>c).

3. 총발한량

총발한량은 개발의복 착용 시에 52g/m²/hr로 가장 낮았고, 기존제품(71g/m²/hr), 미착용(72g/m²/hr)의 순서였다(Fig. 4).

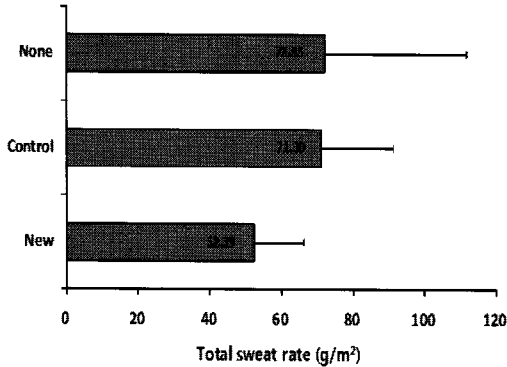


Fig. 4. Total sweat rate

더운 환경에서의 체열 평형은 증발(evaporative heat loss)의 영향력이 커지게 되므로(Liu & Holmer 1995), 피부온을 변화시키는 것만으로 방열의 조절이 충분하지 않는 환경에서는 발한이 체온조절에서 가장 중요한 역할을 담당하게 된다. 따라서 발한은 서열 스트레스에 가장 민감하게 대응하는 요소로 볼 수 있으며(Newburgh 1968), 우수한 방열 수단의 하나이다. 선행 연구에 따르면 심부온, 피부온은 발한량에 영향을 주는 요소로, 평균피부온이 동일한 경우에는 심부온이 높을수록 발한량이 크며 발한의 증가속도도 커진다고 하였다(Mitchell et al. 1976). 또한 정덕조(1994)의 연구에서도 인체 발한량과 피부온의 상관성은 아주 높은 것으로 나타난 바 있다. 본 연구에서는 개발의복 착용 시에 평균피부온도가 가장 낮게 나타나, 총발한량의 결과와 일치되는 결과를 보였다.

한편, 선행연구(Adair et al. 2005)에 따르면 환경 온도가 높을수록, 노출되는 전자파의 강도가 클수록 발한량이 더 많고, 전자파 노출을 직접적으로 받는 인체 부위에서 국소 발한량이 더 많은 것으로 조사되었다. 즉 등 부위에서 전자파를 노출한 경우에 가슴 부위보다 등 부위에서의 국소 발한량이 더 많다고 밝힌 바 있다. 또한 컴퓨터

를 주로 사용하는 사무실 근무자를 대상으로 전자파 노출 정도를 조사한 선행연구(Cutler et al. 1999)에서는 머리 부위보다 구간부(가슴, 허리)에서의 노출량이 많다고 보고하였다. 이상의 결과들을 종합하여 본 연구에 적용하면, 인체의 앞면(가슴)이 머리나 인체의 뒷면(등)보다 발한량이 더 많았을 것으로 예측할 수 있다. 또한 본 실험 결과에서 미착용 시에 발한량이 오히려 많은 것으로 나타났는데, 이는 기존제품 또는 개발 의복 착용 시, 즉 의복을 한 겹 더 착용하는 것이 발한에 미치는 영향보다 인체에 전달되는 전자파의 양 및 수준이 발한에 미치는 영향력이 더 크기 때문으로 생각된다.

4. 주관적 감각

전자파 차단 보호복의 착용이 주관적 감각에 미치는 영향은 Table 3에 나타내었다. 한서감과 쾌적감의 경우, 통계적 유의성은 나타나지 않았으나 개발 의복에서 각각 0.55±0.6, 0.00±0.2로 가장 낮은 값을 보여 기존제품에 비해 덜 덥고 더 쾌적한 것으로 조사되었다. 기존 제품의 경우 개발 의복에 비해 의복시스템의 구성상 중량이 무겁고, 통기성이 작아서 온열적으로 불쾌한 것으로 볼 수 있으며, 이는 나아가 서열 스트레스를 유발할 수 있을 것으로 생각된다.

Table 3. Thermal sensations

	None	Control	New
Thermal sensation	0.83±0.7	0.79±0.7	0.55±0.6
Thermal comfort	0.17±0.4	0.07±0.5	0.00±0.2
Wet sensation	-0.21±0.4 ^b	-0.12±0.3 ^{ab}	0.00±0.0 ^a
Subjective workload	2.81±1.0	2.60±0.8	2.50±0.8

Mean±S.D., p<.05, Superscripts means group divided by ANOVA and Duncan's post hoc test (a>b>c).

한편, 더운 환경에서 인지되는 주관적 불쾌감은 땀량의 증가와 가장 관련있는 것으로 보고된다(Gagge et al. 1967). 실제 본 연구에서 미착용 시에 한서감과 불쾌감이 가장 높게 나타났고, 앞서 언급한 총발한량에서도 가장 높은 값을 나타

내어 인체의 주관적 반응과 생리적 반응의 결과가 일치함을 보여주었다.

습윤감의 경우, 미착용(None) 시에 가장 습한 것으로 응답하였다($p<.05$). 주관적 힘들기의 경우, 통계적 유의성은 나타나지 않았으나 미착용(None) 시에 가장 높았고, 기존제품(Control), 개발 의복(New)의 순서였다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 전자파 차단 보호복의 착용이 인체 생리반응에 미치는 영향을 조사하고, 시판 제품과 개발 제품을 착용 평가하는 것을 목적으로 하였다. 전자파 차단 효과가 우수한 알루미늄을 이용하여, 전자파에의 노출 부위를 고려한 최적의 형태로 디자인하여 중량은 최소화하면서 전자파 차단 효과는 우수한 의복을 제작하였다. 기온 $28.8\pm 0.6^{\circ}\text{C}$, 습도 $37\pm 5\%\text{RH}$, 전기장 $14.3\pm 6.0\text{mV}$, 자기장 $2.13\pm 0.3\text{mG}$ 의 인공기후실에서 전자파 차단 의류 미착용, 기존제품 및 개발 의복의 착용의 3조건에 대한 인체의 생리적, 주관적 반응을 평가하였다. 결과는 다음과 같다.

1) 평균피부온은 개발의복(31.99°C)<기존제품(32.13°C)<미착용(32.17°C)의 순으로 나타났다($p<.05$).

2) 직장온은 개발의복(37.02°C)<기존제품(37.10°C)<미착용(37.16°C)의 순으로 나타났다($p<.05$).

3) 평균의복내온도는 미착용(33.53°C)<개발의복(33.76°C)<기존제품(34.03°C)의 순서였고($p<.05$), 평균의복내 습도는 통계적 유의차는 없었으나 미착용($41.9\%\text{RH}$)<개발의복($43.0\%\text{RH}$)<기존제품($43.4\%\text{RH}$)의 순이었다.

4) 총발한량은 개발의복($52\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$)<기존제품($71\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$)<미착용($72\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$) 순이었고, 한서감과 쾌적감은 개발 의복이 기존제품에 비해 덜 덥고 더 쾌적한 것으로 조사되었다.

이상의 결과를 통해 전자파에의 직접적인 노출이 인체생리반응에 영향을 미침을 확인하였고, 알루미늄 조각편을 이용하여 가벼우면서도 전자파 차단 성능이 우수한 제품의 착용이 착용자의 온열적 쾌적성에 도움을 주는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 전자파가 노출되는 환경에서는 전자파 차단을 위한 보호 의류를 착용해야 하는 것과 동시에 인체 착용 시에는 전자파의 차단 성능 뿐만 아니라 온열적 쾌적 성능 또한 중요하게 고려되어야 함을 시사한다. 본 연구의 결과가 적은 피험자를 대상으로 사무직 종사자의 작업에 국한하여 조사되었다는 제한점이 있으므로 추후 다수의 피험자를 대상으로 검토해 볼 필요성 및 육체 활동을 주로 하는 전기기구 및 설비 업종의 작업자를 위한 온열쾌적성 등을 고려한 전자파 차단용 기능성 의복에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다. 전 세계적으로 전자파 노출에 대한 염려는 높아지고 있지만, 실제 전자파에의 노출 방지에 관한 연구 보고는 적다. 전자파 차단 보호복의 착용이 인체생리반응에 미치는 영향에 관한 기초 데이터를 제시한 본 연구가 전자파 차단 보호복 착용에 대한 인식 재고에 도움이 되기를 기대한다.

참고문헌

- 강영훈·김철영·최일규(2000) B747-400 항공기 조종실내 전자파 노출에 관한 연구. 한국항공운항학회지 8, 7-21.
- 김덕원(1996) 유해전자파. 공학교육 3(2), 144-147.
- 김수미·송화순(2005) 무전해 도금법에 의한 전자파 차단 의류소재의 제조. 한국외류학회지 29(1), 149-156.
- 김윤신·김수연·박지연·최원욱(1997) 극저주파 영역에서의 전자파 노출에 관한 조사 연구. 한국환경위생학회지 23(1), 55-61.
- 김윤신·조용성(1998) 전자파의 직업성 노출 평가 및 멜라토닌 분비량에 관한 연구. 한국산업위생학회지 8(2), 264-271.
- 김진광·공성훈(2004) 대학 연구실에서 17" CRT 컴퓨터 모니터의 전자파 방출 분포에 관한 예비적 실험 연구. 한국생활환경학회지 11(1), 60-64.
- 김진석·최익권(1993) 전자파의 인체 위해 조사연구. 전자파 기술 4(1), 84-100.
- 손기철·류명화·박용규(2000) 실내식물이 컴퓨터 모니터 발생 전자파 차단에 미치는 영향. 한국원예학회지 41(4), 423-428.
- 이기준(1996) 전자파의 공포. 서울:대학출판사. 17-19, 89-123.
- 이수정·이태일(2004) 나노 은을 이용한 전자파 차폐 직물이 뇌파에 미치는 영향. 한국외류산업학회지 6(6), 810-814.

- 정덕조(1994) 최대하 운동시 온습도 변화에 따른 피부 온도와 발한량의 변화. 한국인간온열환경학회지 1(1), 49-54.
- 차은희 · 송명건(2003) 휴대폰 전자파 차단에 관한 연구 -남성복 상의 안 Pocket을 중심으로-. 한국지역사회생활과학회지 14(2), 213-216.
- 한은경 · 김은애 · 오경화(1998) 전자파 차단 의류소재 및 방호복 개발(I) -전도성 코팅법과 무전해도금법의 비교-. 한국섬유공학회지 35(8), 515-524.
- 황종윤 · 이희제 · 황희용(2006) 자궁 내에서 핸드폰 전자파(1.765GHz 마이크로파)에 노출된 생쥐의 공간 인지력 비교. 대한산부회지 49(11), 2283-2290.
- Abel EL, Hendrix SL, McNeeley GS, O'Leary ES, Mossavar-Rahmani Y, Johnson SR, Kruger M (2007) Use of electric blankets and association with prevalence of endometrial cancer. European Journal of Cancer Prevention 16(3), 243-250.
- Adair ER, Blick DW, Allen SJ, Mylacraine KS, Zirix JM, Scholl DM(2005) Thermophysiological responses of human volunteers to whole body RF exposure at 220 MHz. Bioelectromagnetics 26, 448-461.
- Cutler TL, Breyse PN, Schiffman A, Kanchanaraksa S, Rooney BC(1999) Comparison of Personal Exposure Meter Placement for the Determination of Office Worker ELF Magnetic Field Exposures. American Industrial Hygiene Association Journal 60(5), 647-650.
- Demers PA, Thomas DB, Rosenblatt KA, Jimenez LM, McTieman A, Stalsberg H, Stemhagen A, Thompson WD, Cumen MGM, Satariano W, Austin DF, Isacson P, Greenberg RS, Key C, Kolonel LN, West DW(1991) Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in men. Am J Epidemiol 133, 340-347.
- Feychting M, Forssen U(2007) Electromagnetic fields and female breast cancer. Cancer Causes and Control 17(4), 553-558.
- Gagge AP, Stolwijk JAJ, Hardy JD(1967) Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. Environmental Research 1(1), 1-20.
- Hardy JD, DuBois EF(1937) The technic of measuring radiation and convection. The Journal of Nutrition 15(5), 461-475.
- Kim YS, Cho YS(2001) Exposure of workers to extremely low frequency magnetic fields and electric appliances. J Occup Health 43, 141-149.
- Legros A, Beuter A(2006) Individual subject sensitivity to extremely low frequency magnetic field. Neuro Toxicology 27, 534-546.
- Liu X, Holmer I(1995) Evaporative heat transfer characteristics of industrial safety helmets. Applied Ergonomics 26(2), 135-140.
- Merritt CR, Kremkau FW, Hobbins JC(1992) Diagnostic ultrasound: bioeffects and safety. Ultrasound Obstet Gynecol 2, 366-384.
- Mitchell D, Senay LC, Wyndham CH, van Rensburg AJ, Rogers GG, Strydomm NB (1976) Acclimatization in a hot, humid environment: energy exchange, body temperature, and sweating. Journal of Applied Physiology 40, 768-778.
- Newburgh LH(1968) Physiology of heat regulation and the science of clothing. New York and London: Hafner publishing. 193-231.
- Vena JE, Freudenheim JL, Marshall JR, Laughlin R, Swanson M, Graham S(1994) Risk of premenopausal breast cancer and use of electric blankets. Am J Epidemiol 140, 974-979.
- Verreault R, Weiss NS, Hollenbach KA, Strader CH, Daling JR(1990) Use of electric blankets and risk of testicular cancer. Am J Epidemiol 131, 759-762.
- Wertheimer N, Savitz DA, Leeper E(1995) Childhood cancer in relation to indicators of magnetic fields from ground current sources. Bioelectromagnetics 16, 86-96.