

# 전자파 고노출 직업군의 근무환경 조사 및 시판 전자기파 차폐소재를 이용한 철도 근무복의 차폐성능 연구

정 희 정\* · 최 혜 선<sup>+</sup> · 김 은 경\*\*

이화여자대학교 의류학과 석사\* · 이화여자대학교 의류학과 교수<sup>+</sup> ·  
서울디지털대학교 디지털패션전공 조교수\*\*

## A Comparative Study of the Shielding Performance of Uniforms using Electromagnetic Wave Shielding Materials Currently on the Market for Workers at Korea Railroad Corporation

Hee-Jung Jung\* · Hei-Sun Choi<sup>+</sup> · Eun-Kyong Kim\*\*

Master, Dept. of Clothing & Textiles, Ewha Womans University\*

Professor, Dept. of Clothing & Textiles, Ewha Womans University<sup>+</sup>

Assistant Professor, Dept. of Digital Fashion, Seoul Digital University\*\*

(투고일: 2010. 2. 16, 심사(수정)일: 2010. 4. 26, 게재확정일: 2010. 5. 7)

### ABSTRACT

This study set out to develop clothes made of electromagnetic wave shielding materials. Among the various worker groups exposed to electromagnetic waves for long hours, railroad workers were chosen for the study. After selecting the locations they worked, the investigator measured electromagnetic wave on the field. To examine the effects of electromagnetic wave shielding materials, I applied a lining made of electromagnetic wave shielding materials to the existing work clothes. The first experimental clothes had the silver fabric for the lining in the current working clothes, the second experimental clothes had the copper- and nickel-plate polyester placed between the outer and the lining to prevent the corrosive material from contacting the skin, and the third experimental clothes had the silver fabric for the lining and the copper- and nickel-plate polyester between the outer and the lining. The results indicate that even if a fabric is evaluated to shield electromagnetic waves after tests, it cannot completely shield electromagnetic waves emitting from everyday appliances of 60Hz. Therefore, there should be ongoing development and research efforts on fabrics that can shield electromagnetic waves to a certain degree in order to develop working clothes to alleviate fatigue for those who are constantly exposed to electromagnetic waves, relieve their anxiety, offer them psychological stability and thus help them increase job efficiency.

Key words: electromagnetic waves(전자파), electromagnetic wave shielding material  
(전자파 차폐 소재), railroad worker's uniform(철도공사 근무복)

## I. 서론

디지털생활 환경에 익숙한 우리 사회는 산업화, 정보화로 인해 일상생활을 영위해 가는데 있어 각종 전자 제품들과 전자 기기, 통신장비들에 둘러 싸여 살아가고 있고, 이것들이 없이 생활하는 것이 거의 불가능 할 정도이다. 그런데 다양한 전자 제품들이 중요한 생활필수품이 되면서 이들로부터 발생되는 전자기파는 산업기기에 오작동을 일으켜 산업재해를 유발할 뿐만 아니라 인체에 방사되어 장기간 노출되면 인체에 여러 가지 질병을 유발시킬 수 있는 인체 장해 가능성 및 환경오염 등을 일으킬 수 있어 관심이 집중되고 있다. 전자파란 진동에너지를 가지고 공기를 매질로 하여 공간영역에서 이동하는 유도전류의 일종이며, 전계(Electric Field: EF)와 자계(Magnetic Field: MF)라고 하는 서로 다른 두 가지 물질적 성질을 동시에 지닌 파동이다. 또 발생원으로부터 구모양으로 퍼져나가 일정한 영역을 형성함으로써 전자기(EMF: Electric Magnetic Field)라고도 한다.<sup>1)2)</sup>

최근에는 이들의 전자기파 노출로 인한 피해에 대한 사례들이 자주 보고되면서 인체에 미치는 영향에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다. 최근 논란이 되고 있는 전자파 유해 논쟁은 극저주파(주로 60Hz)나 초저주파의 미약한 전자파에 인체가 장기간 노출될 경우 건강의 유해성에 관한 것이었다. 강한 전자파의 경우는 과학적으로 유해성이 검증되었으며 각국에서는 인체 보호를 위하여 최대 노출 한계를 규정하고 있고 우리나라에서도 전파법의 인체보호권고안의 규정이 있다.<sup>3)4)</sup>

전자파가 인체에 미치는 영향은 다양하며 300MHz 이상의 고주파는 체내심부에서 열을 발생시켜 백내장, 생식유전의 이상, 내분비계, 신경계에 대한 영향 등 급성적 피해를 나타내어 오래전부터 연구대상이 되어왔다.<sup>5)</sup> 특히, 30-300Hz의 극저주파는 급성적인 영향보다는 만성적인 영향을 나타내는데 최근의 연구에 의하면 극저주파에 장기적으로 노출되면 백혈병, 뇌종양, 유방암 등의 발생률이 증가한다고 보고 되었다.<sup>6)</sup> 또, 인체가 저주파의 전자파에서 장기간 노

출되면 인체 내에 유도전류가 생성되어 세포막 내에 존재하는 Na, K, Cl 등의 각종 이온의 불균형을 초래하여 호르몬 분비 및 면역 세포에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

그러나 전자파는 세기, 주파수, 노출시간, 파형 등 매우 복잡하여 암이나 다른 질병의 발병에 관한 유해성 여부는 아직 논란의 대상이 되며, 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 여러 측면의 연구가 계속 수행되고 있는 실정이다.<sup>7)</sup> 서구에서는 오랜 역학조사와 연구를 수행하는 반면 국내에서는 우리가 일상생활에서 사용하는 가전제품 및 사무용 전자기기에의 노출 및 전자기파 방사환경과 관련한 직업성 노출에 의한 건강영향이나 암 발병 위험에 대한 과학적인 연구는 부족한 실정이다. 그러나 최근에는 전자기파의 유해성에 관한 신문이나 방송의 보도에서 전자기파의 방출수준이나 유해성 논란으로 인하여, 실제 생활 속에서 전자기파의 방출 수준과 개인 노출정도에 많은 관심을 갖고 있고 전자기파 차폐용품이나 의복 개발과 착용이 필요한 시점이다.<sup>8)9)10)</sup>

본 연구에서는 전자기파에 노출되기 쉬운 직업군 중에서 일상적인 업무에서 전자기파에 장시간 노출이 되는 철도관련 근로자들을 대상으로 정하고, 그들의 근무 환경 즉, 각 작업장 별로 전자파의 세기를 측정하여 인체에 유해성이 우려되는지 여부를 파악하고자 하며, 근로자들의 인체 보호 및 심리적인 안정을 위한 작업복 개선에 적용하고자 한다. 이를 위해 전자기파 차폐 성능이 있는 소재들을 사용하여, 근로자들의 건강증진과 근무 능률을 향상시킬 수 있는 의복을 개발하고자 한다. 나아가 우리의 일상생활에서의 인체의 노출을 최대한 줄이고, 전자기파로 인한 피로감 및 인체의 유해 요소로부터 방어하기 위한 전자기파 차폐성능 의복 개발 확대를 위한 기초 자료로 삼고자 한다.

## II. 연구 방법 및 절차

본 연구에서는 전자기파로 인해 피로감을 호소하고 전자기파 차폐의복의 필요성을 요구한 한국철도공사의 노조 안전국의 협조를 얻어 서울 및 수도권 근

교의 철도공사의 근로자들을 본 연구의 직접 대상으로 선정하였다. 근무지를 직접 방문하여 직접 관찰과 전문가와의 전자기파 노출의 정도를 측정하고 전자기파 차폐원단의 기능이 있음을 현장에서 파악하여, 이를 토대로 한국철도공사의 동복 근무복에 기존의 안감부분을 대신하여 기능성이 밝혀진 두 가지 차폐원단을 적용시킨 실험복을 각각 개발하였다. 제작된 실험복은 기존복 및 세 가지 실험복으로 제작하여 근무현장에서의 직접측정을 통해 차폐효과를 비교하는 착의 실험을 실시하여 차폐 성능을 비교 평가하였다.

## 1. 전자파 고노출 직업군의 근무환경 실태조사

### 1) 조사목적 및 대상

본 연구에서는 일상생활에서 노출되는 60Hz대역 내 25,000V고압선 아래 8시간이상 근무하여 전자기파 노출이 우려되는 한국철도공사의 근로자를 연구 대상으로 선정하였다. 한국철도공사의 노조 안전국의 협조를 얻어 전기설로 작업자들과 전동차 기관사들을 우선 대상으로 하여 그들이 근무하는 곳의 노출환경 조사를 위해서 근무지별로 전자파의 세기를 측정하였으며, 이때 차폐원단의 성능 유무를 판단하는 측정도 함께 실시하여, 전자기파 차폐의복의 필요성을 파악하는 것을 목적으로 하였다.

### 2) 철도공사 근로자들의 근무환경 실태조사(전기설로 작업자와 기관사 대상)

한국철도공사의 철도 기관차 승무원 및 선로 시설 작업근로자들의 전자기파 노출 환경 조사를 위하여 본 측정을 실시하였다. 측정은 2008년 9월 1-3일(3일간) 각각 다른 근무지에서 실시하였고, 객관성을 기하기 위하여 전자기파 측정 전문용역 업체에 의뢰하

여 전국철도노조 안전국장과 본 연구자 외 연구원 4명이 입회한 가운데 측정이 진행되었다. 전자기파는 사물의 집지 상태나 기상에 따라서도 유동적으로 수치가 변하는 경우가 많은데 측정 시 기상상태는 맑은 날씨 속에서 실시되었다.

측정 장소는 철도노조 측과 협의하여 전자기파에 자주 노출된다고 추측되는 네 곳의 근무지에서 측정하였다. 우선 국철과 지하철을 운행하는 전동차 차장이 노출되는 전자기파의 세기를 측정하였고 둘째, 철도 선로 작업자들의 노출 실태를 조사하기 위해 서울역 부근의 선로 위 근무현장에서 실시하였고 셋째, 전지기관차 내부에서 운전석 및 차량 내부의 전자기파 노출 정도를 측정하였고 넷째, 수색역의 전동차 검수고에서 차량 시설을 정비하는 근무자들이 노출되는 환경에서의 전자기파 세기를 측정하였다.

측정방법은 전자파(자기장)은 원형과장 및 굴곡을 그리며 나아가는 성질 때문에 전자파 발생원으로부터 직선지점(X축), 좌측 90도(Y축), 우측 90도(Z축)에 각각 측정기를 놓고 각 지점의 값을 측정한 후 평균치를 산출하였다.

측정 장비는 전자기파 측정기기인 HI-3604 ELF/Power Frequency Survey Meter를 사용하여 측정하였다. 측정기기의 사양은 <표 1>과 같다.

## 2. 전자파 차폐원단의 성능과 물성 평가

철도 공사 근로자들의 근무환경실태조사 시에 2개(시료1:은사함유 폴리에스테르, 시료2:구리/니켈 코팅 폴리에스테르)의 차폐 원단을 선정하여 실제 성능을 측정하였다. 선정된 시료 1, 2 모두 현장에서 차폐성능을 나타내어 이를 실험복 제작에 사용하기로 하였다. 시료 1(은사 함유 폴리에스테르)과 시료 2(구리/니켈 코팅 폴리에스테르)의 물리적 특성의

<표 1> 전자파 측정기 사양

측정장비	HI-3604 ELF/Power Frequency Survey Meter
제작	미국 Holaday.co.
전자기파 측정 주파수 범위	30Hz~2kHz
측정범위(자기장)	0.2mG~20G(nT 또는 uT)
측정범위(전기장)	1V/m~200kV/m

평가는 한국의류생산시험연구소에 의뢰하여 실시하였고, 전자파 차폐성능은 전자파연구소에 의뢰하여 평가하였다.

1) 전자파 차폐성능 시험방법

시료의 양쪽 면은 굴곡이 없이 매끄럽고 미세하게 제작한 평면재료에 한하고, 측정 가능한 두께는 5mm 정도까지이다. ASTM(American Society for Testing and Materials: 미국시험재료협회) D 4935-99에 의한 평면파 차폐 시험규격에 따라 20x20cm 시료를 걸고 주파수 30MHz-1GHz에서 측정한다.

2) 전자파 차폐성능 측정장비

- (가) 스펙트럼분석기(ESMI: 20Hz-26.5GHz)
- (나) 신호발생기(SMP01: 9kHz-1.04GHz)
- (다) POWER METER(NRVD)
- (라) POWER SENSER(URV 5-Z2)
- (마) Coaxial Transmission-Line Holder
- (바) 관련규격(ASTM D 4935): Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials

3) 전자파 차폐성능 결과표시

차폐 성능의 효과: 시험결과를 주파수별 dB로 표시한다.

- 10-30 dB: 최소한의 차폐 효과가 있음
- 30-60 dB: 차폐효과가 있음
- 60-90 dB: 차폐효과가 큼
- 90 dB 이상: 최고수준의 차폐효과가 있음

3. 실험복 설계

한국철도공사 근로자의 작업환경을 조사하고 일반

작업복의 착용실태를 면담 및 관찰하여 장시간 노출될 수밖에 없는 환경에서 근무하는 사람들의 전자기파 축적을 줄이고 완전 차폐가 이루어지지 않는다 하더라도 심리적인 안정을 부여하는 전자기파 차폐 의복의 개발의 필요성을 파악한 것을 토대로 하여, 현재의 동복 근무복의 디자인과 패턴을 유지한 상태에서 차폐성능만을 보완하기 위하여 전자기파 차폐 원단을 안감으로 사용한 실험복을 설계하였다. 원단은 2가지 종류를 사용하여 각각의 실험복 안감을 대체하여 적용시켰고, 또 이 두 가지를 동시에 사용한 실험복을 제작하여 두 가지 원단을 동시에 사용하였을 때의 차폐효과를 측정하였다. <표 2>는 실험복 구성을 나타낸다.

4. 실험복의 차폐성능 평가

기존복과 두 가지 시료를 사용하여 제작된 세 종류의 실험복의 차폐성능을 알아보기 위해서 1차 지하철역 구내와 2차 용산역 선로 주변에서 각각 착용하게 하고 열차가 통과할 때에 차폐 정도를 측정하였다. 동절기 외부 작업 시 착용하는 방한 점퍼도 위와 같은 방법으로 각 세 가지로 제작하여 두 가지를 동시에 착용했을 경우도 3회 반복 측정하였다.

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

1. 전자파 고노출 직업군의 근무환경 실태조사

본 연구에서는 일상생활 주파수인 60Hz대역에서 약 25000V의 전류가 흐르고 있어 전자기파에 장시간 노출되는 한국철도공사 근로자들의 전자기파 노출 작업환경을 조사하였다. 서울 지하철 1호선 기관차 및 원주-청량리 구간의 전기기관차 승무원, 철도선로 위 작업자, 수색역 검수고 기관차 주변 작업자들의 전자파 노출정도를 측정하였다.

<표 2> 차폐소재를 적용한 실험 비교복

비교복	기존복	기존복
	실험복 1	기존복 겹감 + 은사함유 폴리에스테르 안감(시료1)
실험복 2	기존복 겹감 + 구리/니켈 코팅 소재(시료2) + 기존복 안감	
실험복 3	기존복 겹감 + 구리/니켈 코팅소재(시료2) + 은사함유 폴리에스테르 안감(시료1)	

측정방법은 먼저 서울지하철 1호선 국철의 기관사 운전석에 함께 탑승하여 성북-구로 구간을 3회 반복하여 그 결과를 종합하였고, 두 번째는 서울역 부근의 철도선로 위에서의 측정은 KTX와 지하철 전동차를 중심으로 상, 하행선으로 구분하여 열차가 근접시와 통과 시의 전자기파 노출치를 파악하였다. 세 번째는 수색역 기관차 검수고에서 측정을 실시하였는데 기관차를 점검하고 수리하는 작업자들에게 미칠 수 있는 전자파를 확인하기 위해 기관차의 4면에 최대한 접근하여 측정하였고, 마지막으로 전기기관차(무궁화호) 승무원들의 전자기파 노출 실태를 파악하기 위해서 청량리-원주 구간을 왕복운행하며 기관사 조정실내에서 전자기파 방출량을 측정했다.

측정 결과 전반적으로 철도주변과 기관차 내부에서는 고압의 전기사용에 따른 환경적 특성상 전자파의 영향을 완전히 벗어나기는 어려워 보였다. 그럼에

도 불구하고 이번 측정 결과에 기초한다면 일부 작업장에서 상당량의 전자기파가 강력하게 검출되고 있음이 확인되었고, 장시간 혹은 단시간의 노출이 지속되면 인체에 축적되어 유해한 영향을 끼칠 수 있기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다고 사료되며, 철도업무 근로자들의 안전하고 쾌적한 업무 환경을 위해 보다 광범위한 작업장에 대한 면밀한 전자기파 노출 실태를 위한 측정과 관리, 차폐를 위한 수단개발이 필요하다고 할 수 있다.

### 1) 측정결과 1 (지하철1호선 성북-구로 구간)

국철 지하철의 전동차 뒤쪽에서 일하는 전동차 차장들이 운전석 주변에서 노출되는 전자기파 수준을 조사하였다. 지하철 1호선의 성북에서 구로 구간을 운행하는 전동차의 앞 뒤 조정석에 동승하여 3회 반복하여 각 역에 진입할 때와 출발할 때, 그리고 주행

<표 3> 지하철 전동차 성북-구로 구간 전자파 세기 측정표

No	정차역	자기장(mG)		
		진입시	출발시	주행중
1	성북	-	35	8
2	석계	11	12	22
3	신이문	8	15	20
4	외대앞	3	13	14
5	회기	3	3	20
6	청량리	1	1	2
7	제기동	1	1	1
8	신설동	1	1	1
9	종묘	2	1	1
10	동대문	1.5	2	1
11	종로5가	1	2	1
12	종로3가	1	2	1.5
13	종각	1	2	1
14	시청	1	1	2
15	서울역	2	5	6
16	남영	5	7	5
17	용산	30	40	15
18	노량진	10	30	6
19	대방	9	15	10
20	신길	6	20	17
21	영등포	25	20	50
22	신도림	20	30	45
23	구로	25	-	-
평균		7.6	11.7	11.3

※ 실험결과는 각 3회 반복 실험의 평균치임

중에 전자기파에 노출되는 정도를 각각 측정하여 평균치를 측정했다.

측정결과는 <표 3>에 각 역별로 측정된 과정이 각각 나와 있는데, 각역마다의 수치는 순간적으로 주변의 상황에 따라 변화의 폭이 커서 각 운행 및 정차하는 역에서 얻은 측정량으로 결과를 분석하였다. 처음 전동차가 출발 시에 자기장의 수치가 높아짐을 알 수 있었고 지하철 구간이 아닌 국철 구간의 자기장 세기가 지하로 운행되는 구간보다 높게 나타났다. 특히 용산이나 영등포역 부근에서 수치가 높게 나타나는 것을 알 수 있는데 이는 지상으로 지나가는 국철구간의 경우 고압전류가 흐르는 전선에 보다 가까이 근접하는 환경의 영향과 전기를 에너지로 운행되는 다른 기차들이 함께 복선으로 통과 하는 구간이 주변에 많아서 자기장의 수치가 순간적으로 높게 나타나는 것으로 사료된다. 지하로 운행하는 구간은 자기장 측정 수치가 1-2mG 정도로 인체의 유해성이 크게 우려되는 정도는 아니지만, 국철 구간인 외부 정차역에서 방출되는 자기장의 수치는 전파법상 인체 보호기준치(833mG) 이하지만 국제적 기준(2-4mG)으로 보면 오랜 시간 노출되면 건강에 영향을 끼칠만한 수준인 것이다.

**2) 측정결과 2 (서울역 부근 선로 위-서울역 기점 1.2km)**

서울역 인근 선로 위에서 작업하는 근로자들이 노

출되는 전자파수준을 파악하기 위해 서울역 주변의 선로 주변에서 KTX와 다른 전기 전동차가 지나가는 지점에서 일정 거리에 서서 측정 조사하였다. 측정된 결과는 아래의 <표 4>와 같다. 즉 열차가 통과하지 않을 때(철로외부)는 8-13mG의 자기장이 평소에도 방출되고 있었으며 열차 진입 시에 자기장의 세기가 극에 달하고 지나가는 시점부터 점차 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 근무자들은 KTX가 지나갈 때는 일상생활에서는 결코 경험 할 수 없는 강한 자기장에 노출되게 되고, 선로 위에서 근무하는 경우는 장시간을 고압전류가 흐르고 기차가 지나갈 때마다 전자기파에 강하게 노출되므로 지속적 노출에 대비할 수 있는 차폐 의복이 착용이 필요하다고 사료된다.

**3) 측정결과 3(청량리-원주 구간 전기 기관차)**

KTX외에 전기 기관차 내부 운전석의 근무환경을 조사하기 위해 측정자와 연구자가 청량리에서 원주까지 구간을 함께 탑승하여 중간에 정차하는 역에 진입할 때와 출발할 때 그리고 주행 시에 방출되는 내부의 전자기파의 세기를 측정하였다. 왕복 구간의 측정 결과는 다음 <표 5>와 같다. 경춘선의 다섯 개 역을 지나는 동안 각각 측정된 것으로 먼저 열차가 진입할 때는 3-8mG, 다시 열차가 출발할 때는 3-5mG, 주행중에는 5-10mG 정도의 전자기파가 방출되는 것으로 나타났는데, 이는 인체 보호 기준에 비추어 비교적 안전한 근무 환경인 것으로 조사되었다.

<표 4> 서울역 부근 선로 위에 열차가 통과 시 측정량

(서울역 기점 1.2km 측정표)

시간	열차차종	자기장(mG)
11:11	KTX1	100
11:22	KTX2	55
10:43	KTX3	30
11:02	KTX4	50
11:00	전동차1	36
11:06	전동차2	5
11:08	전동차3	3
11:18	전동차4	5
평균		35.5

※실험결과는 각 3회 반복 실험의 평균치임

〈표 5〉 청량리-원주 구간 전기 기관차내부 전자파 측정표

NO	정차역	자기장(mG)		
		진입시	출발시	주행중
1	청량리	5	3	10
2	양평	3	5	5
3	용문	8	5	7
4	양동	5	4	6
5	원주	3	5	8
평균		4.8	4.4	7.2

※실험결과는 각 3회 반복 실험의 평균치임

〈표 6〉 수색역 전기기관차 검수고의 전자파수준 측정

NO	측정 Point	자기장(mG)	
		변압기 작동시	변압기 비작동시
1	전면부	1	0.2
2	우측면 앞쪽	6	0.5
3	우측면 변압기	190	0.5
4	우측면 변압기 1m 이격시	30	0.1
5	우측면 뒤쪽	5	0.5
6	좌측면 앞쪽	25	0.5
7	좌측면 변압기	700	0.5
8	좌측면 변압기 1m 이격시	50	0.1
9	좌측면 뒤쪽	5	0.5
10	후면부	3	0.2
평균		101.5	0.4

※실험결과는 각 3회 반복 실험의 평균치임

따라서 KTX 내부의 전자기파 방출 세기보다는 매우 약한 수준의 전자기파만이 방출되어 철도관련 근무자나 승객에게 모두 전자기파에 대해서는 보다 안전한 것으로 나타났다.

#### 4) 측정결과 4(수색역 기관차 검수고)

기관차를 수리하고 점검하는 작업을 주로 수행하는 근무자들이 전자기파에 노출되는 정도를 조사하기 위해 수색역의 기관차 검수고를 방문하여 수리 중인 기관차의 바로 옆에서 기관차의 부하를 시험할 때와 부하를 시험하지 않고 전원을 끈 상태에서 각각 세기를 순간 측정하였다. 검수 중인 기관차의 여러 곳의 측정결과는 〈표 6〉과 같다. 전면이나 후면 등 모터와 거리가 먼 곳은 자기장이 미미하게 방출되고 있었으나, 우측면과 좌측면의 변압기에 가까운

곳에서 매우 센 전자기파가 순간적으로 방출되고 있었고 약 1m 반경 까지도 상당히 센 전자기파가 방출되어 장시간 자주 노출될 경우 인체에 악영향을 줄 수 있으므로 경각심을 갖고 주의를 기울여야 할 것이다. 실제로 변압기와 철도의 옆에서 작업하는 근무자들은 무방비 상태로 매우 시끄러운 소음과 전자기파에 노출되고 있었다. 따라서 장시간 전기 기관차 옆에서 근무하게 되는 근무자들을 위한 안전한 작업 의복이 반드시 필요하다고 사료된다.

## 2. 전자파 차폐 원단의 성능과 물성 평가

### 1) 근로 현장에서 원단 차폐율 측정 결과

시판 전자파 차폐 시료 2가지(시료1: 은사 함유 폴리에스테르, 시료2: 구리/니켈 코팅 폴리에스테르)의 차폐성능을 현장에서 측정한 결과 차폐성능이 있

<표 7> 차폐원단 적용 시 자기장 감소 측정 결과

NO	측정지점	자기장(mG)			자기장(mG)		
		변압기 작동시	시료1원단 적용시	감소량 (%)	변압기 작동시	시료2원단 적용시	감소량 (%)
1	전면부	1	1	0(0)	1	0.9-1	0-0.1(0-10)
2	우측면의 앞쪽	6	5.5-5.7	0.5-0.3(5-8)	6	5-5.5	0.5-1(8-17)
3	우측면 변압기 앞	190	170-175	15-20(8-11)	190	165-175	15-25(8-13)
4	우측면 변압기 1m이격시	30	29	1(3)	30	27	3(10)
5	우측면 뒤쪽	5	5	0(0)	5	4-5	1(10)
6	좌측면 앞쪽	25	22-24	1-3(4-12)	25	22	3(12)
7	좌측면 변압기	700	680	20(3)	700	630-640	60-70(9-10)
8	좌측면 변압기 1m이격시	50	46	4(8)	50	43-45	7-8(10-14)
9	좌측면 뒤쪽	5	4.6	0.4(8)	5	4-4.5	0.5-1(10-20)
10	후면부	3	2.5	0.5(17)	3	2-2.5	0.5-1(17-33)

\*실험결과는 각 3회 반복 실험의 평균치임

음이 밝혀졌고, 이중 시료 2의 차폐 효과가 시료 1보다 조금 우수한 것으로 나타났다.<표 7 참고> 시료 1은 은을 코팅한 원사를 1mm 간격으로 직조한 소재이며, 시료 2는 무전해 도금법에 의해 생산된 제품으로 도금의 밀착성을 강화하기 위해 전도성 물질인 니켈을 먼저 도금한 후 구리 도금하고 그 위에 다시 니켈 도금을 처리한 원단이기 때문으로 나타난 결과이다. <표 7>의 결과를 종합하면, 시료1과 2의 자기장 차폐효과는 전반적으로 낮아 실험복의 시료로 선택하기에는 차폐성능이 높지 않은 것으로 나타났다. 이는 근로 현장의 전자파가 시시각각 유동적으로 변화하여 정확한 측정 수행이 불가능하며 일상생활 영역대의 전자파의 경우 차폐성능 평가에 차이를 거의 보이지 않는다는 문제점을 안고 있기 때문이다. 그러나 이러한 미비한 전자파 차폐성능 일지라도 장시간 전자파 노출이 지속되는 근무환경에서 발생하는 문제점을 예방하는 데는 도움이 될 것으로 보여 진다.

2) 실험복 소재 차폐원단의 성능 및 물성 분석 결과

(1) 차폐원단의 물리적 특성 검사

철도 근로자의 전자기와 노출 실태조사에서 소재들의 차폐 성능을 평가한 결과 시료 1(은사 함유 폴리에스테르)과 시료2(구리/니켈 코팅 소재)만이 생활 가전 주파수인 60Hz에서의 노출 시에 차폐 효과

를 보여서 이 두 소재의 물리적 특성을 평가를 한국 의류생산시험연구소에 의뢰하여 실시하였다.

두 가지 원단에 대한 <표 8>의 물리적 특성 비교와 <표 9>중금속 함유량 비교는 다음과 같다.

두 가지 직물 모두 원단의 혼용률은 폴리에스터 100%였으며, 단위면적당 무게(g/m<sup>2</sup>)는 시료1이 81.6 시료2가 86.9로 시료2가 좀 더 조밀하고 상대적으로 더 무거웠다. 밀도는 원단의 단위 간격 당 경사와 위사의 올 수를 측정하는 시험으로 통상 1 Inch나 5cm 간격 사이의 수를 표시하여 나타내는데 숫자가 클수록 우세한 것으로, 시료2의 밀도가 더 조밀한 것으로 나타났다.

인장강도는 시료2가 659N으로 시료1의 567N 보다 높게 나타났으나, 실제 옷감의 수명과 관련되는 인열강도는 시료 1이 경사24.6N 위사 20.6N으로 시료2(경사14.6N, 위사11.7N) 보다 높아서 직물이 찢어지는 등의 파손에는 더 강한 것으로 나타났다. 파열강도는 시료 2가 약간 더 우수한 것으로 평가되었고, 옷감이 마찰에 견디는 능력을 측정한 마모강도는 일정한 횟수의 마찰 후 옷감의 강도저하나 두께나 무게 감소 등을 나타낸 것으로 두 가지 모두 2000 회 이상의 마찰을 견딜 수 있는 것으로 나타났다. 또 작업복의 특성상 수분(땀)을 방출시키기 위해 적당한 통기성이 필요하고, 직물의 공간분포는 보온성, 방습성, 방수성, 여과성, 공기저항 등에 영향을 준다. 원단의 공간 즉 구멍으로 공기가 투과하는 정도를 말



<표 8> 실험복 안감으로 사용하는 원단의 물리적 특성 비교

시험항목		상의(점퍼와 외투)		시험방법
		시료1	시료2	
혼용률(%)		폴리에스터 100	폴리에스터 100	KS K 0210: 2002
무게(g/m <sup>2</sup> )		81.6	86.9	KS K 0514: 2006
밀도(올/5.0cm)	경사	225.2	246.4	KS K 0511: 2004 C법
	위사	169.4	174.4	
인장강도(N)	경사	567	659	KS K 0520: 2004그래브법 C.R.E TYPE
	위사	464	491	
인열강도(N)	경사	24.6	14.6	KS K 0535: 2004 팬들럼법
	위사	20.6	11.7	
파열강도(N)		665	672	KS K 0350: 2006 불버스팅법
마모강도(회)		2000 이상	2000 이상	KS K 0604: 2006마르틴데일법
공기투과도(cm <sup>2</sup> /분/cm <sup>2</sup> )		783	2130	KS K 0570: 2006
세탁견뢰도(급)	변퇴색	4	3	KS K ISO 105-C01: 2002
	오염(폴리에스터)	4-5	4-5	
	오염(면)	4-5	4-5	
마찰견뢰도(급)	건조	4	3-4	KS K 0650: 2006크로크미터법
	습윤	4-5	3-4	
복합(땀+일광)견뢰도(급)	산성	4	4-5	KS K 0701: 2004 B 법
	알칼리성	4	4-5	

<표 9> 실험복 안감으로 사용할 원단의 중금속함유량 비교

시험항목		상의(점퍼와 외투)		시험방법
		시료1	시료2	
은함량(mg/kg)	Ag(은)	35927	-	유도결합플라즈마 분광광도계(ICP/AES)
구리(Cu)함량(mg/kg)	Cu	-	200737	유도결합플라즈마 분광광도계(ICP/AES)
니켈함량(mg/kg)	Ni	-	57642	ASTM E350준용

하는 공기투과도(cm<sup>2</sup>/분/cm<sup>2</sup>)를 측정된 결과 시료 1은 783, 시료2는 2130으로 시료2가 더 우수한 결과를 얻었다. 염색가공시 불완전한 염착으로 염색물을 세탁했을 때 색상이 변하는 정도와 다른 섬유로 염료가 이염되는 정도를 알아보는 세탁견뢰도를 평가한 결과 변퇴색은 시료 1이 더 우수했으며 오염 정도는 두 가지 모두 동일하게 4-5 등급으로 나타나 매우 우수한 것으로 나타났다. 또 염색물을 마찰시켜 이염되는 정도를 알아보는 마찰견뢰도는 건조 상태와 습윤 상태 모두 시료 1이 약간 더 높은 것으로 나타났다. 염색된 섬유제품의 일광 및 땀의 복합작용에 대한 염색견뢰도를 평가하는 일광 및 땀 복합견뢰도 평가에서는 산성과 알칼리성으로 나누어 실험한 결

과 시료2가 약간 더 우수한 결과를 얻었는데 두 가지 다 4등급 이상의 결과를 얻어 작업복의 안감에 사용하기에 무리가 없는 것으로 나타났다.

그리고, 두 가지 시료 모두 전자기파가 흐르는 전도성 섬유로서 폴리에스터 직물에 금속성 물질이 함유되어 있는데 이 두 가지 시료의 중금속 함유량과 그 종류를 파악하기 위한 시험을 실시했다. 섬유 속의 크롬육가 함량을 mg/kg의 단위로 표시하여 나타내었다. 시료1은 은의 함량이 35927로 측정되었고, 시료2는 구리의 함량이 200737, 니켈이 57642 정도 함유되어 있는 것으로 나타났다.

(2) 전자기파 차폐 원단의 차폐성능 측정결과

전도성 물질 중 전도성이 가장 높은 금속은 은이고, 이외에 다른 금속인 금이나 구리 니켈 등이 있다. 실험복 제작을 위한 원단 2개 가운데 시료 1은 은을 코팅한 원사를 1mm 간격으로 직조한 소재이며, 시료 2는 무전해 도금법에 의해 생산된 제품으로 도금의 밀착성을 강화하기 위해 전도성 물질인 니켈을 먼저 도금한 후 구리 도금하고 그 위에 다시 니켈 도금을 처리한 원단이다. 은사를 직조한 시료1은 피부에 직접 접촉이 가능한 안감으로 이용하기 적당한 두께와 안전성을 가진 반면 전자기파의 차폐성능은 니켈과 구리로 도금한 시료2보다는 낮은 치수를 보였다. 두께나 밀도 면에서 좀 더 코팅 효과가 확실하고 두께가 두꺼운 직물이 전자기파가 통과하는 것을 차단하는 데에는 좀 더 효과적인 것으로 보인다. 단, 본 차폐성능의 평가는 ASTM D 4935-99에 의한 평가로 주파수 30MHz-1GHz에서 측정한 결과로 실험복 설계 시 노출된 환경과 주파수 영역에서 많은 차이가 있어 확대 해석에는 문제가 있는 것으로 보여진다.

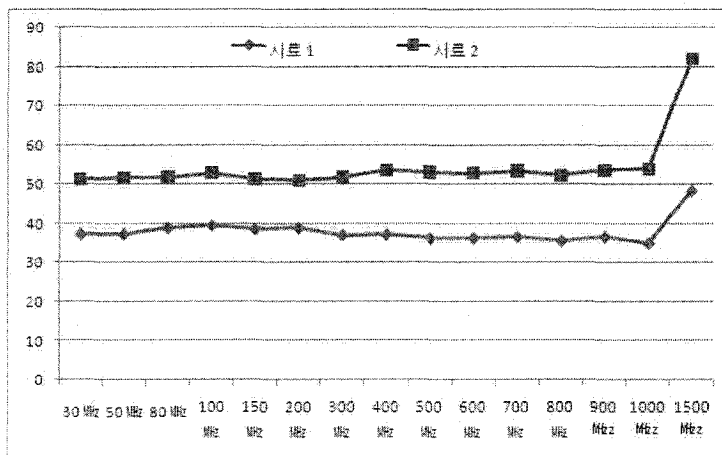
다음 <그림 1>은 시료1과 시료2의 전자기파 주파수 세기별로 차폐정도를 실험한 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

3. 실험복 설계

1) 실험복의 설계 및 외관

실험복은 일반적인 상황에서 60Hz 대역인 국철 신도림역과 용산역 주변의 지하철 구내와, 선로에서 기차가 지나갈 때와 지나가지 않을 때의 전자기파의 세기에 따른 전자파 차폐 측정을 위해 용산역 선로 주변에서 전기기관차와 KTX가 지나갈 때 전자기파 차폐 소재를 적용한 실험복의 차폐효과를 측정하였다.

실험비교복은 현재 철도 공사에서 착용하고 있는 외관 디자인을 그대로 두고, 디자인의 변화 없이 안감의 소재만을 바꾸어 각각의 다른 실험복을 3가지로 제안하여 실험 측정하였다. 현재의 작업복인 <기준복>, 현재 작업복의 걸감을 그대로 유지하고 시료 1(은섬유 폴리에스터)을 안감으로 만든 <실험복 1>, 현재 작업복의 걸감과 안감 사이에 시료 2(구리와 니켈을 도금한 전도성 섬유)를 넣은 <실험복 2>, 그리고 현재 작업복 걸감에 두 가지 시료를 모두 안감으로 적용한 <실험복 3>의 네 종류의 실험복을 비교 평가하였다. 그리고 상의의 겹에 동절기에 함께 착용하는 방한 점퍼도 같은 방법으로 각각 3벌의 실험복을 만들어 상의만 입었을 때와 두 가지를 함께 입었을 때의 차폐율을 모두 측정하여 여러 겹일 때의 차폐율도 비교해 보았다.



<그림 1> 시료1과 시료2의 전자기파 차폐효과 비교

2) 실험복 도식화

실험복 제작을 위해 사용한 현재 철도공사에서 근무 시 착용하는 근무복의 외관을 나타낸 도식화는 <그림 2>의 작업복 상의와 <그림 3>의 방한점퍼이다.

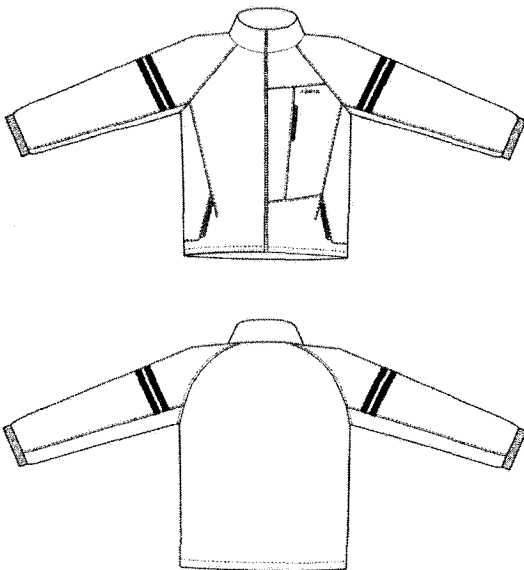
4. 실험복 차폐성능 평가 결과

실험복은 기존복 외에 두 가지 시료를 사용하여 세 종류로 제작하였다.

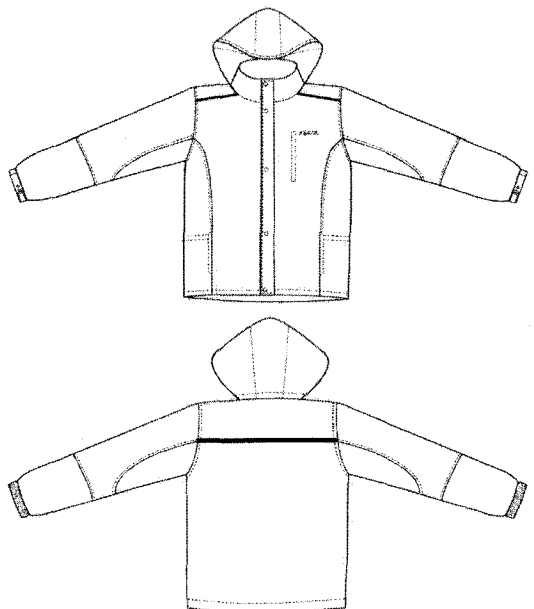
먼저 기존 근무복에 시료 1(은사를 함유한 전도성 섬유)을 안감으로 적용시킨 것을 실험복 1, 시료 2(구리와 니켈 도금의 전도성 섬유)를 안감에 넣은 실험복을 실험복 2, 시료 1과 시료 2를 모두 적용해 안감에 시료 1(은사섬유)를 쓰고 겉감과 안감 사이에 시료 2(구리와 니켈로 도금한 섬유)를 넣은 것을 실험복 3으로 하였고, 동절기에 걸에 걸쳐 입는 방한 점퍼도 세 가지를 각각 동일한 원단을 사용하여 같은 방법으로 제작하여 평가하였다. 실험복의 차폐 성능을 평가한 장소는 1차는 지하철 역 구내에서 실험복을 착용했을 때와 착용하지 않았을 때를 각각 실험복 1, 2, 3을 각각 입게 하여 측정하였다. 2차 측정

은 용산역의 외부 철도가 지나가는 선로 근처에서 실시하여 외부 작업 시 착용하는 방한점퍼도 같은 방법으로 세 가지를 제작해 함께 착용한 경우도 측정하였다. 차폐성능 평가의 결과는 다음의 <표 10>, <표 11>과 같다. 각각 3회 측정된 것을 평균을 낸 값이며, 전자기파의 수치의 유동성이 있을 수 있다. 특히 각 실험복 미착용 시의 값에 큰 차이를 보이는 것은 전자기파의 경우 같은 상황에서 측정이 되었다 하더라도 다양한 주변 요인으로 인하여 매 번 측정 시 다른 값을 보이기 때문으로 동일한 측정 값을 얻는데 큰 어려움이 있었다. 또한 측정 장소는 전기로 움직이는 전동차와 국철, KTX가 지나가는 선로 등으로 다양했지만 순간 노출치만을 반복 측정한 것이다. 따라서 장시간 노출의 인체 유해성이 우려되는 장시간 일하는 근로자들의 전자기파 누적치를 따로 측정하지 않아 이후의 연구에서는 이러한 부분을 함께 수행하여 반영할 필요가 있다고 생각된다.

실험 결과 우선 전도성 섬유가 아닌 일반 섬유로 만들어진 현재의 근무복은 전자기파의 차폐 효과가 전혀 없었다. 대체로 기차가 들어올 때와 다시 출발할 때에 근처의 자기장의 세기가 높아지다가 점차



<그림 2> 실험복의 상의 앞 뒤 도식화



<그림 3> 실험복 방한점퍼의 앞 뒤 도식화

<표 10> 지하철역내에서 실험복의 차폐효과

(측정단위 mG)

측정장소	실험복 1			실험복 2			실험복 3		
	미착용시	착용시	감소량(%)	미착용시	착용시	감소량(%)	미착용시	착용시	감소량(%)
용산역	25	22	3(12)	16	14	2(13)	28	24	4(14)
신도림역	57	52	5(9)	78	73	5(6)	100	80	20(20)
선릉역	4.5	3	1.5(33)	8	6	2(25)	6	4	2(33)

※실험결과는 각 3회 반복 실험의 평균치임

<표 11> 실험복과 방한점퍼 실험복을 함께 착용 시 자기장 차폐효과

- 용산역 주변선로에서 측정함 - (측정단위 mG)

	미착용 시	착용 시	감소량(%)
실험복1	44	36	8(33)
실험복2	46	34	8(18)
실험복3	57	33	24(17)
실험복 1+방한점퍼 1	55	44	11(42)
실험복 1+방한점퍼 2	88	76	12(20)
실험복 1+방한점퍼 3	44	34	10(14)
실험복 2+방한점퍼 1	56	41	15(23)
실험복 2+방한점퍼 2	108	97	11(27)
실험복 2+방한점퍼 3	41	27	14(10)
실험복 3+방한점퍼 1	48	35	13(34)
실험복 3+방한점퍼 2	53	43	10(27)
실험복 3+방한점퍼 3	84	65	19(23)
평균	60.3	47	13.3(22)

※실험결과는 각 3회 반복 실험의 평균치임

감소하는 것으로 현장조사 때와 같이 파악되었다. 그리고 차폐여부는 전자기파가 강하게 방출되는 수치에서는 감소량을 나타냈지만, 전자기파 방출수치가 낮은 경우에는 약간의 차폐가 되거나 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. 시료 1과 시료 2가 전자기파 차폐 기능이 있는 도전성 섬유로서 각각의 금속 성분이 전자기파를 차폐시킬 수 있다고 알려져 있지만, 원단의 밀도나 금속 성분, 즉 전자기파 차폐 성능의 주파수 대역이 우리의 일상생활에 맞춰서 측정되었다기보다는 산업용 기기의 오작동이나 산업 기반 시설 등의 고주파를 대상으로 성능이 평가되어 저주파에 속하는 60Hz 대역의 일상생활 속의 전자기파를 차폐하기 위한 일반인들의 의복 개발을 위한 목적으로 쓰이기에 부족함이 있었다. 본 연구에서 은사로 제작한 섬유를 안감으로 사용한 실험복 1이 구리와

니켈을 도금하여 걸감과 안감 사이에 넣은 실험복 2의 차폐 효과보다 감소비율이 높게 나타나 차폐효과가 좋은 것으로 나타났다. 그리고 이 두 가지 시료를 모두 사용한 실험복의 차폐 효과가 가장 좋아서 두 겹일 때의 차폐 효과가 높은 것을 알 수 있었다. 시료 상태에서의 차폐성 검사에서 실험복 2에 사용된 시료 2의 차폐성능이 더 우수하게 평가된 것과는 조금 다른 결과이다. 금속성 물질인 은의 성질이 구리나 니켈 보다 원래 전도성이 훨씬 좋지만 시료의 차폐효율 검사에서 효율이 떨어졌던 것은 구리와 니켈을 도금한 시료가 더 두껍고 촘촘해서 전자기파가 투과될 수 있는 경로를 방해함으로써 차폐효과를 향상시킨 것으로 보인다. 그러나 실제 현장에서의 실험복 평가는 은사로 제작한 시료 1을 안감으로 넣은 실험복의 차폐율이 용산역을 빼고 신도림과 선릉역

에서는 더 높게 나타나 전자파의 세기는 시시각각 변화하여 정확한 차폐율을 감지하는 데는 무리가 있는 것으로 보여 진다.

본 연구에서는 은을 차폐제로 사용한 것과 구리와 니켈을 사용한 원단을 각각 사용하였는데 은을 사용한 것은 착용감이나 변색, 인체 유해성의 문제는 없었지만 겉감으로 사용하기에는 두께나 밀도 색상의 변화 등이 무리가 있었다. 또 60Hz대의 일반 생활에서의 전자기파를 완벽하게 차폐할 수 있는 원단이 없어서 다양한 의복 개발을 하지 못해 아쉬움이 있었다. 따라서 이러한 문제점을 개선한 전자기파 차폐 성능을 가진 섬유소재의 개발이 인체의 안전성을 위한 전자기파 차폐 의복의 개발을 위해 반드시 필요하다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 직업적으로 장시간 강도 높은 전자기파에 노출되는 직업인을 위하여 전자기파 차폐 성능이 있는 소재를 이용한 의복의 개발을 목적으로 하였다. 전자기파에 장시간 노출되는 직업군중 한국 철도공사 근로자들을 대상으로 선정하여 각 업무 장소에서의 전자기파 노출 실태를 현장에서 측정 조사 하였다. 또한 전자기파에 장시간 노출될 수밖에 없어 전자기파의 누적 위험이 있는 근로환경에서의 인체를 보호하고 작업의 능률을 높이며 심리적인 안정감을 주기 위하여 기존의 근무복에 차폐 원단을 안감으로 적용한 실험복을 개발하였다.

##### 1. 한국 철도공사 근로자의 근무환경 조사

강한 전자기파에 장시간 노출되어 인체에 위험이 있을 수 있는 직업군 중에서 본 연구의 차폐 의복 개발의 대상으로 60Hz 생활 가전 주파수대의 전력 25000V 이상 흐르는 근무환경에 8시간 이상 노출되는 한국철도공사 근로자들을 정하고, 철도공사 근로자들의 근무현장 4곳을 방문하여 전자기파의 노출 실태를 측정조사 하였다.

작업환경 측정결과 전동차의 기관사 실 내부와 운전반 근처를 제외하고는 인체에 유해할 정도로 아주

강한 전자기파가 방출되지 않았으나, 고압전선 가까이 즉, 고속열차와 여러 가지 국철이나 전동차가 통과하는 전기 선로나 검수고 등의 작업현장에서는 매우 강한 전자기파가 방출되는 것으로 조사되었다. 이때 2개의 전자기파 차폐 원단의 차폐기능 실험을 함께 실시하여 차폐성능이 인정되었으며 이에 따라 현재의 근무복의 안감 시료로 적용시켜 차폐 기능이 있는 실험복을 제작하였다.

##### 2. 차폐소재를 이용한 실험복 제작

차폐 소재는 전도성 섬유인 은을 원사 코팅하여 제작한 것과 구리와 니켈을 도금한 폴리에스터 원단 2가지를 사용하였다. 첫 번째로는 은사섬유를 근무복의 안감으로 사용하였고, 두 번째는 구리와 니켈 도금한 원단은 부식의 위험이 있어 인체에 직접 닿지 않도록 하기위해 겉감과 안감의 사이에 넣어서 제작한 것이며 세 번째는 두 가지 시료를 모두 적용하여 겉감은 그대로 사용하고 안감을 은섬유로 하고 사이에 구리와 니켈 도금한 섬유를 끼워 넣는 방식으로 만들었다. 근무복 상의와 방한 점퍼에 각각 적용시켜서 총 6벌의 실험복을 제작하였다. 그리고 원단이 한 겹일 때와 두 겹일 때의 차폐 성능도 의복 착용으로 함께 측정하여 비교하기 위한 목적이었다. 실험복의 외관과 부피, 무게 등은 동복에 적용해서 무게나 두께에 대한 문제는 없는 것으로 파악되었다.

##### 3. 차폐효과 비교

지하철과 국철이 다니는 선로 주변의 지하철역 구내, 그리고 KTX와 전기 전동차와 국철 등이 모두 통과하는 용산역 선로에서 전자기파 차폐 성능을 측정한 결과, 근무 환경 조사 때와 비슷한 자기장이 측정되었고 차폐효과는 전자기파가 강하게 방출되는 경우에는 10-25% 정도의 차폐율을 보였지만 자기장 검출이 낮은 곳에서는 수치상 가시적인 변화를 볼 수 없었다. 즉 전자기파 차폐 성능 평가를 받은 섬유 제품이라 하더라도 60Hz주파수의 일상생활 가전에서 나오는 전자파를 완전히 차단하지는 못한다는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구의 제한점 및 제언은 다음과 같다.

첫째, 실험복 제작을 위해 전자기와 차폐 원단을 조사한 결과 금속을 이용한 전자파 차폐 소재는 대부분이 저단가의 구리나 니켈을 차폐제로 사용하고 있으며 이러한 전자파 차폐 소재를 의복으로 제작 시 부식이나 변색이 발생할 수 있기 때문에 의류의 결감보다는 안감용으로 많이 사용하고 있다. 본 연구에서는 은을 차폐제로 사용한 것과 구리와 니켈을 사용한 원단을 각각 사용하였는데 은을 사용한 것은 착용감이나 변색, 인체 유해성의 문제는 없었지만 결감으로 사용하기에는 두께나 밀도 색상 등이 무리가 있었고 구리와 니켈을 이용한 원단은 신체에 직접 닿도록 하지 않기 위해 결감과 안감 사이에 넣어 사용하는 방법으로 실험복을 제작했는데 이러한 착용감과 변색, 부식 등의 문제점을 개선한 섬유소재의 개발이 필요하다고 생각한다.

둘째, 본 연구에서는 전자기와 차폐원단 2개를 시료로 선정하여 작업복의 안감으로 설계하여 3가지의 실험복을 제작하여 차폐 효과를 현장에서 평가해보았다. 이는 2가지 원단을 각각의 안감으로 사용한 것과 두 가지 모두를 사용하여 제작한 것이었다. 측정된 결과 전자기파가 강하게 방출될 때에는 15-25%의 차폐율을 보이기도 했으나 실험의 공간이 다른 환경의 영향을 많이 받는 곳이고 전자기파의 방출량도 항시 유동적이라 본연구의 평가방법은 객관적인 수치를 구하기에는 어려움이 있었다. 측정 장소는 전기로 움직이는 전동차와 국철, KTX가 지나가는 선로 등으로 다양했지만 순간 노출치만을 반복 측정하는 것이다. 즉 선행연구에서 밝혀진 장시간 노출의 인체 유해성이 우려되는 장시간 일하는 근로자들의 전자기와 누적치를 따로 측정하지 않아 이후의 연구에서는 이러한 부분을 함께 수행하여 차폐의복의 디자인과 성능에 반영할 필요가 있다고 생각된다. 또, 전자기파로 인한 인체 유해성 등이 아직 확실하게 검증된 바가 없고 일반인들의 심리적인 소견이 더 많은 상태에서 차폐 의복의 필요성의 근거를 제시하는 데에도 어려움이 있었다. 그리고 전자기와 차폐 성능의 평가가 여러 주파수 중 우리가 일상생활에서 항상 접하고 노출되어 측정되고 있는 60Hz 영역대에

서의 차폐 성능 평가가 아직 확실하게 이루어지지 않아 근로 현장에서의 측정치에만 의존해서 연구를 수행함에 있어 어려움이 있었다. 그러나 전자기파로 인한 피로감과 불안을 느끼는 근로자들이 많아 완전한 차폐 효과가 있는 것은 아니라도 인체의 유해한 전자파를 조금이라도 차단할 수 있고 심리적인 안정감을 주어 작업의 효율을 높일 수 있는 작업복 개발에 도움이 되길 바란다.

## 참고문헌

- 1) 기술사랑연구회 (2007). *기술 가정 용어사전*. 신원문화사, p. 10.
- 2) 김덕원 (1996). *전자파공해*. 수문사, pp. 1-250.
- 3) 류창용, 김덕원 (1996). 각종 전기기기 및 생활 주변에서의 60Hz 전자기파. *전자공학회지 공학기술*, 3(2), p. 23.
- 4) 오학태 (2000). *국내 전자파 인체보호기준 관련고시, 전자파 강도 측정기준 분석*. 전파연구소, p. 33.
- 5) Paul A. Demers (1991). Occupational Exposure to Electromagnetic Field and Breast Cancer in Men. *Am J Epidemiol*, 134(4), pp. 120-135.
- 6) Vena John E. et al. (1991). Risk of premenopausal breast cancer and use of electric blankets. *Am J Epidemiol*, 134, pp. 180-185.
- 7) 이수정, 이태일 (2004). 전자파가 인체에 미치는 영향-전자파 차폐소재와 청각 자극에 나타난 뇌파전위의 변화-. *한국의류산업학회지*, 6(4), pp. 503-510.
- 8) 한지희 (2008. 11. 14). 컴퓨터 없이 못 살아? 근거리 전성시대 편리함의 이면에 도사리고 있는 VDT증후군. 조인스헬스케어. 자료검색일 2008. 10. 10, 자료출처 www.joins.com
- 9) 김범규 (2008. 3. 22). 헤어드라이어, 스타일과 함께 쏟아내는 전자파. 메디컬투데이. 자료검색일 2008. 10. 10.
- 10) 최우규 (2006. 5. 3). 휴대전화 사용 중 머리가 '멍'... 혹시 전자파?. 경향신문. 자료검색일 2008. 10. 10.
- 11) Myers-McDevitt, P. J. (2004). *Size Specification and Technical Design*. New York, Fairchild Publication Inc. p. 110.