

생활폐기물 소각장 작업복의 중금속 분석

박 순 자
서울대학교 생활과학연구소

Analysis of Heavy Metal Concentration on Working Clothes for Waste Incinerating Workers

Park, Soon Ja

Researcher, Institute of Human Ecology Seoul National University, Seoul, Korea

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the characteristics of an experimental protective clothing material with regard to comfort and isolation from the hazardous heavy metals produced in municipal waste incineration. An analysis was conducted on the total concentrations of heavy metals in some parts such as surface, middle layer, and interior for the treated fabric, and the untreated one, and working clothes. We conclude that the processed fabric with charcoal for working clothes showed the least exposure to heavy metals of the three. Working clothes worn by workers during waste incineration were much more contaminated than the untreated and treated materials. The material of working clothes could be chosen according to the function with regard to its original chemical characteristics, which are the proper results of the dyeing process. The processed fabric material has high degrees of moisture regain, thermal insulation, water vapor penetration, and antibacterial function; consequently, it is much more comfortable to wear. The fabric material proposed in this research contributed much more to blocking heavy metal concentrations (such as Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, Mn) than did the fabric of working clothes at present. Consequently, we strongly suggest that the material of working clothes be upgraded by adopting the above-mentioned charcoal-processed fabric. Materials of working clothes must be improved to increase comfort and prevent harmful gas, flying dust, and heavy metals from permeating the fabrics.

Key words: non-woven fabric processed by charcoal powder, working clothes for waste incinerating worker, heavy metal, waste incineration, patch test

접수일: 2007년 2월 6일 채택일: 2007년 2월 15일

Corresponding Author: Park, Soon Ja Tel: 82-2-535-5434, FAX: 82-2-535-5434
E-mail: park2000sj@hanmail.net

I. 서론

폐기물 소각시설은 대기오염 원인 시설로서 다양한 유해물질을 함유하고 있고 배기가스를 대기로 배출하고 있다. 이러한 대기오염을 유발하는 물질에는 매연, 먼지, 가스 및 악취 등이 있다. 소각시설에서 배출되는 대기오염물질에는 이산화탄소, 염화수소, 입자상 물질, 독성유기물질 등이 있는데, 이중 입자상 물질에는 독성 또는 발암성 유해중금속도 포함되어 있다. 이들은 입자의 크기에 따라 환경위해성에 있어 차이가 있는데, 5 micron 이상의 입자는 호흡 시 상위순환계통(코, 입 등 기도 이상)에서 제거되지만 0.5-5 micron 입자는 호흡 시에 기관지에 침착되며, 0.5 micron 이하의 입자는 폐포까지 들어가 배출되지 않고 잔류함으로써 암을 유발시키거나 인체에 다른 악영향을 준다. 이러한 미세입자들은 중금속 등의 다른 유해물질을 상당량 포함하고 있기 때문에 보건학적으로 크게 유해한 것으로 알려져 있다(Anthony et al. 1993).

생활폐기물 소각장에서 배출될 수 있는 중금속류로는 납(Pb), 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 아연(Zn), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 망간(Mn) 등이 있고, 불완전 연소산물인 PAHs, 클로로벤젠, 클로로페놀 등이 미량으로 함유되어 있다(환경관리공단 2001). 소각장에서 배출되는 중금속에 의한 환경오염은 대부분 소각 후 발생하는 소각재에 의해 커다란 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 비산재에는 Cd, Pb, Zn 등이 고농도로 존재하고 있어 문제가 되고 있다(Carlson 1986; Brunner 1994; Tillman 1994; 심영주 2001).

중금속들 중에서 가장 유해한 것으로는 납과 카드뮴으로 알려져 있다(조선일보 2003. 7. 2). 산업의학의 疫學조사보고에 의하면 화학물질에 대한 직업적 노출의 예로 덴마크의 노동자의 불임과 염료, 납, 수은, 카드뮴 등의 노출과의 관련을 조사한 症狀例 대조연구가 있으며 이 연구에서는 불임과 복수의 화학물질에 대한 노출과의 인과관계가 있을 가능성을 제시하고 있다. 카드뮴은 精巢出血 등 정자형성에도 영향을 미치기 때문에 내분비 교란 화학물질 중에 포함되어 있다. 또

납중독이 아이들에게 지능저하와 학습장애를 가져온다는 것은 알려진 사실이나 비행청소년이 될 위험성이 높다는 연구보고도 있다(중앙일보 2003. 1. 8). 또한 육아용품 중 종이기저귀 사용이 보편화되면서 그 제품의 가공에 의한 피부병의 발생과 가공제에 포함된 유해물질에 의해 암을 일으키는 경우도 있다. 유아의 경우에는 미량으로도 치명적인 장해를 일으킬 수 있으므로 한국, 일본, 미국제품의 종이기저귀를 대상으로 유해중금속을 측정, 조사한 연구도 진행 중에 있다(신정화 등 2004; 신정화 등 2003). 본 연구자 등도 앞서 생활폐기물 소각장 작업복 개선을 위한 조사 및 실험연구를 행한 바 있다(박순자 등 2004; 박순자 등 2005).

이러한 유해물질이 피부를 통하여 인체에 흡수될 가능성도 보고되어 있으므로(Jörg Klasmeier & McLachlan 1998; Jörg Klasmeier et al. 1999) 본 연구에서는 피부를 통해 흡입될 수 있는 유해물질의 차단을 위하여, 소각장에서도 중금속에 노출 가능성이 큰 소각재처리 작업자의 1회용 작업복에 대한 중금속 분석을 통하여, 작업복 소재와 착용감에 있어서 개선방안을 모색하고자 하였다. 이를 위해 먼저 시료를 개발하고, 개발한 시료를 물성 테스트를 통하여 쾌적성을 파악한 후 패치 테스트에 의한 중금속 분석으로 기존 작업복과 개발 작업복 시료의 인체 유해물질 차단 정도를 비교, 분석하였다.

II. 이론적 배경

우리나라에서 본격적으로 환경문제가 대두되기 시작한 것은 제3공화국 정부가 경제개발 5개년 계획을 수립하여 공업화를 추진하기 시작한 1960년대에 들어서이다. 1963년에 제정된 공해방지법이 1990년 이후에는 환경정책기본법(1999.12.31)과 대기환경보전법(2000. 2. 3)으로 분리되어 시행되고 있다. 또한 독물 및 극물에 관한 법(1963. 12.31)이 90년 이후에는 유해화학물질 관리법(2000. 2. 3)으로 변천하였으며 합성수지 폐기물 처리 사업법(1979.12.28)이 한국자원재생공사법(1997. 12.13)으로 변천하여 현재에 이르고 있다.

공기오염도는 공기가 오염된 정도를 측정하는 것으로서 보통 공기 중의 아황산가스(SO₂)의 양으로 표시한다. 사람에게 안전한(환경기준) 아황산가스의 양은 연평균 0.05ppm 이하이다. 우리나라의 1999년도 대기오염물질 배출가스로는 염화수소(HCL), 먼지(TSP), 미세먼지(PM-10), 아황산가스(SO₂), 질소화합물(NOx), 다이옥신 등으로 측정항목을 지정해 놓고 있다.

대기환경보전법에는 대기오염물질을 가스상 물질과 입자상 물질로 구분하고 있다. 이 중 입자상 물질은 먼지와 먼지내에 포함되어 있는 중금속으로서 주요 발생원은 발전소, 산업시설, 난방시설 및 소각시설 등의 연소시설인 고정배출원과 자동차, 선박, 비행기 등의 이동 배출원으로 구분한다. 현재 우리나라에서는 대기환경기준으로 입자상 물질의 배출에 대해서는 중금속 6종(카드뮴, 납, 크롬, 구리, 니켈, 아연)을 규제하고 있다(환경부 2002).

소각장에서 많이 발생하는 중금속 중 납의 유해성은 전술한 바와 같이 이미 보고되어 있다. 미국산업위생전문가회의(ACGIH)에서는 납의 허용농도를 1996년 이래 0.05mg/m³로 정하였는데 이 수치는 현행 미국노동성 노동안전보건국에서 채택한 수치와 일치하는 것이다. 또한 생물학적 노출지표를 혈중 납 30 μ g/100ml로 개정하였는데, 이들의 개정 근거의 기본은 혈중 납 농도와 생체 영향과의 관계를 고려한 것이다. 즉 납 노출 여성작업자에 대한 태아의 건강보호를 목적으로 기준을 낮춘 것이다. ACGIH의 납에 대한 허용기준 제시 문서(Background Document)는 혈중 납이 40 μ g/dl 이하이면 성인에 있어 유해한 건강영향을 최소한으로 할 수 있다고 밝혔다. 그러나 임신기간 중의 모친의 혈액 또는 태아의 탯줄혈액 중의 납 수준은 20 μ g/dl~30 μ g/dl의 범위에 있을 때 소아의 IQ발달에 장애가 된다는 증거도 있다고 기술하고 있다.

일본산업위생학 허용농도위원회에서는 1994년 생물학적 허용치로서 혈액 납 40 μ g/100ml가 제안되어 현재에 이르고 있다. 또한 노동기준법에 임신부 및 임신·출산에 관련된 기능에 유해한 업

무에 대해서 취업을 금지하고, 일반 여성에는 이것을 準用하고 있다. 또한 「여자노동기준규칙」에 정해놓은 24종의 여성취업 제한업무 중 유해물 관계만이 그 적용을 예외적으로 임부 이외의 일반여성에게까지 확대하고 있다. 이는 납 등의 중금속이 일반성인보다 임산부와 태아에게 더 위험하다는 것을 보여주는 것이다. 또한 크롬의 허용치는 0.012mg/m³로 정해놓고 있다(堀口俊一 1997).

화학물질(대기오염물질)은 다음의 3가지로 분류되고 있다. 첫째, 고농도로 단기간 노출로 인체에 영향을 미치는 급성중독을 나타내는 오염화학물질로서 일산화탄소, 질소화합물, 이산화탄소, 이산화황 등이 있다. 둘째, 저농도, 장기간 노출에 의해 건강에 영향을 미치는 화학물질로서 포름알데히드, 파라디클로로벤젠, 클로로포름, 벤젠, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌 등 많은 휘발성 화학물질이 포함된다. 셋째, 독성발현이 사람에게 의해 「용량-반응평가」를 내기 어려운 것으로서, 주로 면역학적 독성을 나타내는 것으로 알레르기 과민증 질환이 포함되어 「용량-반응평가」가 명확한 것과 구별되는 것으로 분류된다(安藤正典 1998).

화학물질에 노출되어 일단 과민성이 나타나면 그 후 극히 미량의 화학물질로 여러 가지 임상증상이 출현한다. 소량의 물질에 대해 과민하게 반응하는 점에서는 알레르기성 질환에 유사하고, 신체가 견딜 수 있는 한계를 넘었을 때 발병하는 점에서는 만성중독과 유사하다. 그 원인물질로는 포름알데히드, 유기용제, 방향제, 세제, 식품첨가물, 담배연기, 화장품 등 일상에서 접할 수 있는 것들이 많이 있다(宮田幹夫·難波龍人 1998).

다이옥신류에 의한 독성은 만성독성에 의해 발병된다고 사료된다(齊藤滿里子, 2001). 다이옥신의 만성독성은 발암성, 체중감소, 면역억제, 조혈기능저하, 단백질 합성과 지질대사기능저하, 간장장해, 생식기능장해, 호르몬 교란장해 등을 일으키는 것으로 동물실험에 의해 밝혀졌다. 최근 사람에게 나타나는 주목되는 증상으로는 생식독성, 생식기능 장애 등이 있다.

III. 연구방법

1. 시료

원포는 일본 크라레(주)에서 개발한 백색의 부직포로 그 조성은 폴리프로필렌 50%와 레이온 50%로 되어 있으며, 가공포는 원포에 숯 10%의 농도로 날염을 한 흑색의 부직포이다. 이 2종류의 시료를 표면, 중간층, 그 밑의 작업복과, 현재 우리나라 소각장에서 착용하고 있는 작업복을 시료로 작업 전후 모두 10종을 사용하였다.

2. 물리·화학적 성질 실험 방법

다음의 측정항목은 작업복의 유해성 차단과 쾌적성을 향상시키는 관점에서 필요하다고 판단되는 항목만을 채택한 것이다.

1) 중량과 두께

중량은 JIS L 1085에 의거, Metter AE 200-S(新英商會 株)로 6회 반복 측정하여 평균하였다. 두께는 JIS L 1085-1992에 의거, OZAKI MFG Co, LTD Peacock로 10개소를 측정하여 평균하였다.

2) 흡습성과 함수율

흡습성과 함수율은 KS K 0220에 준하여 Forced Convection Oven (Model J-400M, (주) 제일과학산업)을 사용하여 측정하였고 2회 측정치의 평균값을 사용하였다.

3) 공기투과도

KS K 0570에 준하여 Textest FX 3300 Air Permeability Tester를 사용하여 100Pa의 조건에서 각 시료의 공기 투과도를 5회 측정하여 평균값을 측정하였다.

4) 투습성

항온항습실에서 JIS Z 0208에 의거, Metter SAG 105(新英商會 株)로 증류수 20ml에 시험포를 덮지 않았을 때와 시험포를 덮었을 때 증발량에 따라 중량이 변화하는 양을 10분 간격으로 2시간 동안 측정하여 다음 식에 의해 투습율을 g/m^2 로 계산하였다.

$$\text{투습율} = (W_0 - W/W_0) \times 100$$

W_0 = 시료를 덮지 않고 일정시간 방치

했을 때의 감소한 중량

W = 시료를 덮고 일정시간 방치했을 때의 감소한 중량

5) 보온성

항온법(JIS L 1096 A)에 의해 발열체의 표면 온도를 $36 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지하는데 필요한 소비전력량(Watt/h)을 측정하여 다음 식으로부터 보온율을 구하였다.

$$\text{보온율}(\%) = [(a-b)/a] \times 100(\%)$$

a = 발열체에 시험포를 덮지 않았을 때의 2시간 내의 소비전력량(W/h)

b = 발열체에 시험포를 덮었을 때의 2시간 내의 소비전력량(W/h)

6) 항균성

KS K 0693에 준하여 시험균주는 그람양성 공시 균인 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus* ATCC 6538)과 그람음성 공시균인 폐렴균(*Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352)을 사용하였다. 섬유에 균액을 접종하여 각각 0, 18시간 후 shaker에서 진탕처리 하여 균액을 추출하여 배양한 다음 집락 계산기로 균수를 계산하였다.

3. patch test에 의한 샘플 채취

진술한 원포와 숯 가공포의 시료를 생활폐기물 소각장에서 소각재를 처리하는 작업자의 작업복에 15cm×15cm크기로 상의의 앞단 하부와 소매부리 안쪽에 부착시켰다. 이 부위는 앞서 실시한 설문조사에서 잘 오염되는 부위로 조사된 곳이다. 작업복의 한 쪽에는 원포, 다른 한쪽에는 숯 가공포를 2매씩 겹쳐 숯 가공한 면이 인체 쪽을 향하도록 부착하여 착용한 후 작업하도록 하였다. 착용시간은 1일 동안으로 오전 8시부터 오후 4시까지이며 피험자는 3인의 소각재처리 작업자로 패치를 부착한 작업복을 착용하여 작업함으로써 소각장 작업환경에 노출시킨 후 피복에 흡착된 중금속을 채취하였다.

4. 중금속 분석

위의 시료를 Perkin Elmer Optima 3300DV로

분석하여 Pb, Cu, Cd, Cr, Zn, Mn 등 6개의 중금속 함량을 사용 전과 사용 후의 흰 원포와 숯 가공포 및 작업복에서 3회 반복 측정하여 평균과 표준편차를 계산하였다.

직포로 그 조성은 폴리프로필렌 50%, 레이온 50%로 되어 있으며, 시료의 중량과 두께를 측정 한 결과는 Figure. 1과 Figure. 2에 제시하였다. 중량은 원포가 66.51g/m², 가공포가 76.52g/m², 두께는 원포가 0.258mm, 가공포가 0.288mm로, 가공포의 중량과 두께가 증가하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 시료의 물성

1) 중량과 두께

원포는 일본 크라레(주)에서 개발한 백색의 부

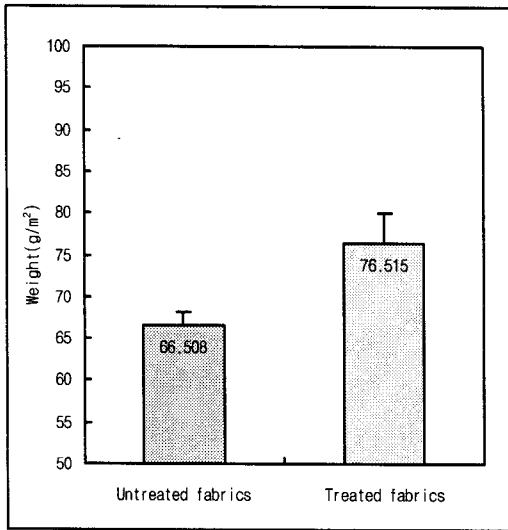


Fig. 1. Weights of untreated and treated fabrics

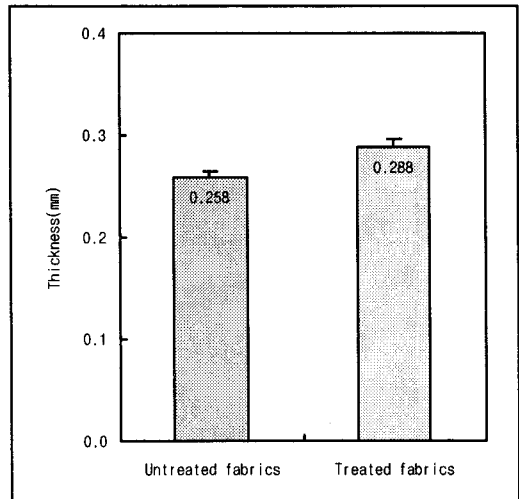


Fig. 2. Thickness of untreated and treated fabrics

2) 흡습성 및 함수율

수분율(흡습성)과 함수율의 변화를 측정 한 결과는 Table 1에 제시하였다. 수분율의 경우 숯 날염을 하기 전 폴리프로필렌 50%/레이온 50%의 부

Table 1. Moisture regains and moisture contents of untreated and printed non-woven fabrics by charcoal powder

| Concentration (%) | Moisture regain (%) | Moisture content (%) |
|-------------------|---------------------|----------------------|
| | polypropylene/rayon | polypropylene/rayon |
| 0 | 3.06 | 3.06 |
| 10 | 4.19 | 4.04 |

Table 2. Air permeability by concentration on the non-woven fabric by charcoal printed finishing (cm³/cm²/s)

| Concentration (%) | Air permeability | |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| | 45-52 μ m | 53-65 μ m |
| | polypropylene/rayon | polypropylene/rayon |
| 0 | 2.7 | 2.7 |
| 10 | 1.5 | 1.6 |

직포는 3.06%이고, 10% 숯 날염포는 4.19%로 수분율이 증가했음을 알 수 있다. 함수율에 있어서도 원포는 3.06%, 숯 가공포는 4.04%로 증가하였다.

3) 공기투과도

공기투과도는 Table 2에 제시한 바와 같이, 숯 날염하기 전에는 폴리프로필렌 50%/레이온 50% 부직포가 2.7cm³/cm²/s였으나, 10%의 숯날염을 했을 경우는 1.5-1.6cm³/cm²/s로 오히려 감소하였고 숯 입자크기에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

4) 투습성

JIS Z 0208 투습성의 두 번째 실험방법으로 일

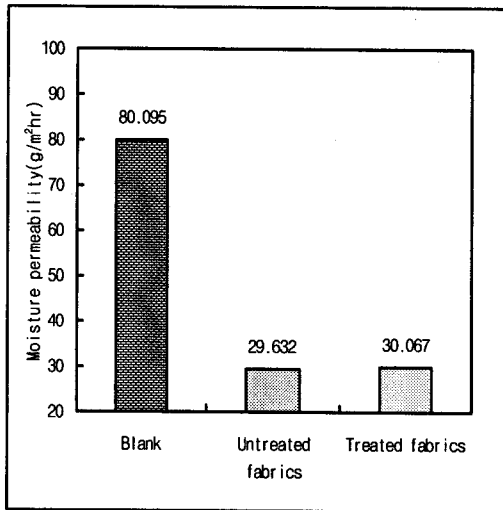


Fig. 3. Moisture permeability of untreated and treated fabrics

정 비이커에 일정량의 물을 넣어(비이커 상단으로부터 1cm떨까지 물을 넣음) 24시간 방치한 후 측정하여 환산한 결과는, Figure 3에 제시하였듯이 원포는 29.632g/m²hr, 가공포는 30.067g/m²hr로 가공포가 조금 증가하였다.

5) 보온성

3회 반복 측정하여 평균한 보온율은 Figure 4와 같이, 원포가 20.05%, 가공포가 26.80%로 가공 후 보온성이 증가하였다.

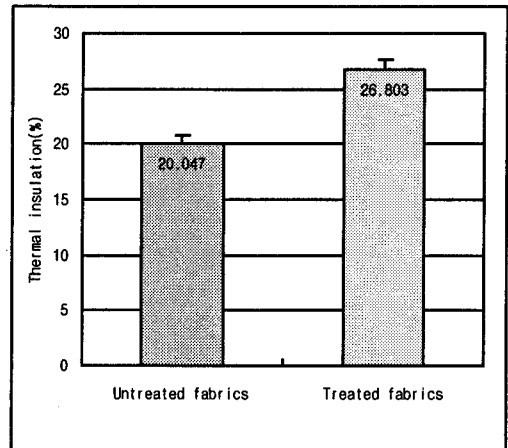


Fig. 4. Thermal insulation of untreated and treated fabrics

6) 항균성

그람양성균과 그람음성균을 사용하여 원포와 10% 농도로 숯 날염한 폴리프로필렌 50%/레이온 50% 부직포의 항균성을 측정된 결과는 Table 3과 같다. 원포에서는 두 시험균주에 대한 항균성이

Table 3. Antibacterial activity by charcoal concentration(%)

| Concentration (%) | Antibacterial activity | |
|-------------------|------------------------|-------|
| | 45-52µm | |
| | polypropylene | rayon |
| | S | K |
| 0 | 63.3 | 64.0 |
| 10 | 99.9 | 99.9 |

S: Staphylococcus aureus ATCC 6538

K: Klebsiella pneumoniae ATCC 4352

모두 60% 범위였는데 10%로 솟 날염을 한 경우에는 모두 99.9%를 보여 항균성이 우수함을 알 수 있었다.

2. 중금속 함량

현재 착용하고 있는 작업복, 솟 가공포의 표면, 중간층, 그 밑 작업복과, 흰 원포의 표면, 중

간층, 그 밑 작업복에 대하여, 작업 전과 작업 후에 작업복에 부착한 패치에서 6종의 중금속을 채취하여 그 양을 비교 분석하였다. Table 4는 1회 측정 시 중금속의 함량을 나타내고, Table 5는 2회 측정 시의 중금속의 함량, Table 6은 3회 측정 시 중금속의 함량을 나타낸다. 여기에 3회 측정치를 모두 제시한 이유는 매회 측정치가 얼마나

Table 4. Measured contents of heavy metals in the first test

| | | (mg/kg) | | | | | |
|-----------|---|---------|-------|-------|------|------|--------|
| | | Cd | Pb | Cu | Cr | Mn | Zn |
| Pre-work | untreated fabric | <1 | <1 | <1 | <1 | 1.0 | 7.7 |
| | treated fabric by charcoal | <1 | <1 | <1 | <1 | 33.0 | 10.6 |
| | working clothes | <1 | <1 | 84.4 | <1 | <1 | 2.8 |
| Post-work | working clothes | 52.5 | 878.0 | 203.0 | 56.5 | 76.4 | 1950.0 |
| | surface of treated fabric by charcoal | 27.7 | 533.0 | 61.9 | 15.8 | 45.8 | 964.0 |
| | middle layer of treated fabric | <1 | 6.3 | <1 | <1 | 33.9 | 16.5 |
| | working clothes of inside(under) treated fabric | 2.3 | 45.8 | 87.1 | <1 | 2.3 | 98.9 |
| | surface of untreated fabric | 27.1 | 430.0 | 57.1 | 11.5 | 21.1 | 916.0 |
| | middle layer of untreated fabric | <1 | <1 | <1 | <1 | 1.2 | 19.0 |
| | working clothes of inside(under) untreated fabric | 3.5 | 46.0 | 86.3 | 2.3 | 6.0 | 151.0 |

Table 5. Measured contents of heavy metals in the second test

| | | (mg/kg) | | | | | |
|-----------|---|---------|-------|-------|------|------|--------|
| | | Cd | Pb | Cu | Cr | Mn | Zn |
| Pre-work | untreated fabric | <1 | <1 | <1 | <1 | 1.0 | 10.8 |
| | treated fabric by charcoal | <1 | <1 | <1 | <1 | 35.4 | 11.3 |
| | working clothes | <1 | <1 | 88.2 | <1 | <1 | 2.1 |
| Post-work | working clothes | 44.7 | 253.0 | 171.0 | 36.3 | 51.3 | 1590.0 |
| | surface of treated fabric by charcoal | 52.5 | 334.0 | 119.0 | 36.3 | 61.8 | 1750.0 |
| | middle layer of treated fabric | <1 | 10.4 | 1.9 | <1 | 35.4 | 12.3 |
| | working clothes of inside(under) treated fabric | <1 | 17.5 | 84.4 | 4.7 | 1.8 | 31.5 |
| | surface of untreated fabric | 41.2 | 353.0 | 90.5 | 26.8 | 27.5 | 1340.0 |
| | middle layer of untreated fabric | <1 | <1 | 4.3 | <1 | 1.0 | 11.6 |
| | working clothes of inside(under) untreated fabric | <1 | <1 | 93.4 | 4.2 | 1.8 | 34.0 |

Table 6. Measured contents of heavy metals in the third test

| | | (mg/kg) | | | | | |
|-----------|---|---------|-------|-------|------|-------|--------|
| | | Cd | Pb | Cu | Cr | Mn | Zn |
| Pre-work | untreated fabric | <1 | <1 | <1 | <1 | 1.0 | 10.4 |
| | treated fabric by charcoal | <1 | <1 | <1 | <1 | 34.8 | 11.2 |
| | working clothes | <1 | <1 | 90.5 | <1 | <1 | 9.2 |
| Post-work | working clothes | 82.5 | 632.0 | 307.0 | 96.6 | 127.0 | 3700.0 |
| | surface of treated fabric by charcoal | 10.8 | 299.0 | 23.5 | 5.5 | 38.2 | 324.0 |
| | middle layer of treated fabric | <1 | 4.6 | <1 | <1 | 36.2 | 12.6 |
| | working clothes of inside(under) treated fabric | <1 | 8.5 | 87 | 1.1 | 1.1 | 13.6 |
| | surface of untreated fabric | 24.6 | 617.0 | 71.2 | 17.6 | 15.6 | 976.0 |
| | middle layer of untreated fabric | <1 | <1 | 3.4 | <1 | <1 | 10.9 |
| | working clothes of inside(under) untreated fabric | <1 | 12.6 | 92.2 | 1.8 | 1.0 | 20.8 |

차이가 나는지, 실험의 재현성 즉 신뢰도를 보여 주기 위하여 필요하다 생각되었기 때문이다.

현재 착용하고 있는 작업복의 작업 전 상태에서 세 번을 측정 한 결과 매회의 중금속의 양은 구리가 84.4, 88.2, 90.5ppm(mg/kg)이 검출되어, 구리는 원래 작업복에 그만큼 포함되어 있는 것으로 나타났다. 이 수치는 환경(토양오염)기준치가 50-500ppm의 범위에 있으므로 문제가 되지는 않는 양이다. 아연도 적은 양이나 작업 전 작업복에서 3회 측정 시 각각 2.8, 2.1, 9.2ppm이 검출되었으나 환경기준치와 비교해 보았을 때 무해하다고 판단된다.

숫 가공포에서도 사용 전에 망간이 매회 33.0, 35.4, 34.8ppm이 검출되었고, 아연도 10.6, 11.3, 11.2ppm이 검출되었다. 사용전의 흰 원포에서는 아연이 매회 7.7, 10.8, 10.4ppm이 검출되어 사용 전에 부직포에서 중금속이 검출되기는 하나 이들 중금속의 양은 인체에 유해한 정도가 아님을 알 수 있다.

Table 7에서 보는 바와 같이 사용 전의 흰 작업복에서는 3회 측정 평균치로서 구리 87.7ppm, 아연 4.7ppm이 검출되었고 나머지 4종은 1ppm 미만이 검출되었다. 사용 후의 작업복에서는 6종의 중금속이 다량 검출되었는데, 그 양은 아연이 가장

많아 2413.3ppm, 다음으로 납이 587.7ppm, 구리가 227.0ppm이 검출되어, 사용 전보다 모든 중금속이 다량 검출된 것으로 보아 소각재를 처리하는 환경에는 많은 양의 중금속이 포함되어 있음을 알 수 있었다. 그 외 망간이 84.9ppm, 크롬이 63.1ppm, 카드뮴이 59.9ppm으로 조사되었다. 아연, 크롬, 카드뮴의 검출량은 환경기준치를 초과한 수치이다.

사용 후의 작업복, 숫 가공포 표면, 흰 원포 표면에서 채취한 중금속의 양을 3회의 평균치로 중금속 종류별로 비교해 보면, 표면층에서 카드뮴의 검출량은 현재 착용하고 있는 작업복이 59.9ppm으로 가장 많았고 숫 가공포 표면은 30.3ppm, 흰 원포는 31.0ppm으로 나타났다. 이 결과는, Table 8b의 기준치와 비교했을 때 개발한 소재의 함량은 기준치와 거의 동량이나 작업복의 함량은 기준치를 초과하고 있다.

납은 작업복이 587.7ppm, 숫 가공포는 388.7ppm, 흰 원포는 466.7ppm으로 검출되어 숫 가공 표면이 가장 적은 것으로 나타났다. 또한 납의 흰 작업복 표면에서 검출된 양은 건설기술정보(1999)가 보고한 우리나라 3개소의 소각장의 바닥재에서 용출된 수치인 69.06ppm, 10.06ppm, 8.24ppm에 비교해도 매우 많은 양이다. 그러나 패치 1매

아래층인 중간층의 측정치는 후술한 바와 같이 훨씬 소량으로 나타나 개발소재의 차단성이 우수함이 입증되어, 본 연구에서 개발한 소재는 유해 환경하 작업복 소재로서 유용한 것으로 판단된다.

구리는 작업복이 227.0ppm, 숯 가공포가 68.1ppm, 흰 원포가 72.9ppm으로 나타나 숯 가공포 표면이 가장 적게 나타났다. 크롬은 작업복이 63.1ppm, 숯 가공포가 19.2ppm, 흰 원포가 18.6ppm으로 흰 원포가 가장 적었으나 숯가공포와의 차는 미미했다. 망간은 작업복이 84.9ppm, 숯 가공포가 48.6ppm, 흰 원포가 21.4ppm으로 흰 원포가 가장 적은 것으로 나타났다. 아연은 세 경우에 공통적으로 가장 많은 양이 검출되었는데 작업복이 2413.3ppm, 숯 가공포가 1012.7ppm, 흰 원포가 1077.3ppm으로 나타나 숯 가공포가 가장 적게 검출되었다. 어느 경우도 현재 착용하고 있는 작업복이 가장

많은 양을 나타내었다. 아연의 환경(토양오염) 기준치는 400ppm으로 규정되어 있어(베를린 Handbuch Bodenschutz 8790. 8 Lfg VI/1991), 측정량은 이 기준치를 초과하였다. 망간(분진 및 화합물)의 기준치도 2006년 노동부 보도자료에 의하면 노출기준이 대폭 강화되어 5mg/m³에서 0.5mg/m³으로 개정되었다. 그렇지만 측정치를 이 기준치와 비교했을 때, 망간의 함량은 유해하지 않음을 알 수 있다.

그러나 표면 아래층인 중간층의 숯 날염포에서는 망간 35.2ppm, 아연 13.8ppm이 검출되었고, 납은 7.1ppm, 구리는 1.9ppm으로 미량만이 검출되었다. 숯 염색을 하지 않은 원포에서도 아연은 동량, 구리는 3.8ppm, 카드뮴, 망간, 납은 1ppm 미만으로 나타나 특히 납과 망간의 차단성은 원포가 더 좋은 것으로 나타났으며, 구리는 숯 가공포가 차단성이 더 좋은 것으로 나타났다. 이

Table 7. Mean values and standard deviations of measured contents of heavy metals in the above three tests (mg/kg)

| | Cd | Pb | Cu | Cr | Mn | Zn |
|---|--------|---------|--------|--------|--------|----------|
| | <1 | <1 | <1 | <1 | 1.0 | 9.6 |
| untreated(control) fabric | | | | | (0.0) | (1.7) |
| Pre-work | | | | | | |
| treated fabric by charcoal | <1 | <1 | <1 | <1 | 34.4 | 11.0 |
| | | | | | (1.2) | (0.4) |
| working clothes | <1 | <1 | 87.7 | <1 | <1 | 4.7 |
| | | | (3.1) | | | (3.9) |
| working clothes | 59.9 | 587.7 | 227.0 | 63.1 | 84.9 | 2413.3 |
| | (20.0) | (314.8) | (71.1) | (30.7) | (38.6) | (1128.7) |
| surface of treated fabric by charcoal | 30.3 | 388.7 | 68.1 | 19.2 | 48.6 | 1012.7 |
| | (21.0) | (126.2) | (48.1) | (15.7) | (12.0) | (714.2) |
| middle layer of treated fabric | <1 | 7.1 | 1.9 | <1 | 35.2 | 13.8 |
| | | (3.0) | (1.1) | | (1.2) | (2.3) |
| Post-work | | | | | | |
| working clothes of inside(under) treated fabric | 2.3 | 23.9 | 86.2 | 2.9 | 1.7 | 48.0 |
| | (1.3) | (19.5) | (1.5) | (2.5) | (0.6) | (45.0) |
| surface of control fabric | 31.0 | 466.7 | 72.9 | 18.6 | 21.4 | 1077.3 |
| | (9.0) | (135.8) | (16.8) | (7.7) | (6.0) | (229.4) |
| middle layer of control fabric | <1 | <1 | 3.8 | <1 | 1.1 | 13.8 |
| | | | (0.7) | | (0.1) | (4.5) |
| working clothes of inside (under) control | 3.5 | 29.3 | 90.6 | 2.8 | 2.9 | 68.6 |
| | (2.0) | (23.6) | (3.8) | (1.3) | (2.7) | (71.7) |

Table 8a. Standard values in soil environment

(ppm)

| Metals | Standard values of soil pollution | | Critical point of standard values of soil pollution | |
|---------------|-----------------------------------|-----|---|------|
| | A | B | A | B |
| As(arsenic) | 6 | 20 | 15 | 50 |
| Pb(lead) | 100 | 400 | 300 | 1000 |
| Cd(cadmium) | 1.5 | 12 | 4 | 30 |
| Cr(6)(chrome) | 4 | 12 | 10 | 30 |
| Cu(copper) | 50 | 200 | 125 | 500 |
| Ni(nickel) | 40 | 160 | 100 | 400 |
| Hg(mercury) | 4 | 16 | 10 | 40 |

A: field, orchard, pasture, forest, school land, park, play ground, pleasure park, religion land and historic spot(a law of land register, 51-1)

B: factory site, road, rail land and ect.(a law of land register, 51-1)

(source: Soil Environment Conservation Act, 1999)

Table 8b. Standard values in soil environment

| | 1a | 1b | 2 | 3 |
|----|-----|-----|-----|------|
| Zn | 100 | 400 | 300 | 1000 |

1a: preservation waters 1b: a flat country

2: water area 3: a hilly area

(source: Berlin Handbuch Bodenschutz 8790. 8 Lfg VI/1991)

결과는 환경기준치에 못 미치는 양으로, 본 연구에서 주문 제작해 사용한 소재는 중금속 차단성이 우수하다는 것을 나타내었다.

패치 밀의 작업복의 중금속 함량은 카드뮴이 숯가공포 밀 2.3, 원포 밀 3.5ppm, 납은 숯가공포 밀 23.9, 원포 밀 29.3ppm, 구리는 숯가공포 밀 86.2, 원포 밀 90.6ppm, 망간은 숯가공포 밀 1.7, 원포 밀 2.9ppm, 아연은 숯가공포 밀 48.0, 원포 밀 68.6ppm으로 5종의 중금속은 숯가공포 밀 샘플에서가 원포 밀 샘플에서보다 적게 나타났고, 크롬만이 숯가공포 밀 2.9, 원포 밀 2.8ppm으로 거의 동량으로 나타나 숯가공포가 중금속 차단성이 가장 좋다는 것이 입증되었다. Table 7에서 작업 후 가장 아래층인 최내층의 중금속 함량이 중간층보다 다량으로 나타났는데, 이 수치들은 문제시되는 양은 아니나, 구리의 경우는 작업 전에도 거의 동량이 포함되어 있기도 하고, 측정 시 오차에 의한 것인지, 다른 요인에 기인하는 것인지 그 이유를 밝히는 데는 추가적인 연구가 필요

하다.

각 금속들의 환경기준치로서 토양오염기준은 Table 8a, b, 작업장의 대기환경 기준치는 Table 8c와 같다. 그러나 Pb는 화학물질 노출기준 88종 중에 포함되어 있지 않아 기준치가 제시되어 있지 않다.

Table 8c. Standard values of metals in the atmospheric environment

| Metals | mg/m ³ |
|--------------------------------------|-------------------|
| Cd(cadmium) | 0.03 |
| Cr(6)(chrome) | 0.01 |
| Cu(copper: dust & mist) | 1.00-2.00 |
| Ni(nickel: metal) | 0.50 |
| Mn(Manganese: dust & compound, fume) | 0.50 |
| Zn(zinc oxide: dust & fume) | 2.00 |

source: 2006, Report Data of Chemicals in Ministry of Labor

그러나 위의 결과로부터, 현재 착용하고 있는 일회용 작업복에서는 새로 개발한 소재에서보다 본 연구에서 조사한 6개의 모든 원소가 가장 많

이 검출되어 중금속 차단에 있어서도 작업복 소재의 개선이 필요하다는 것을 알 수 있다. 다음의 그림은 개발한 시료의 중금속 차단성을 비교

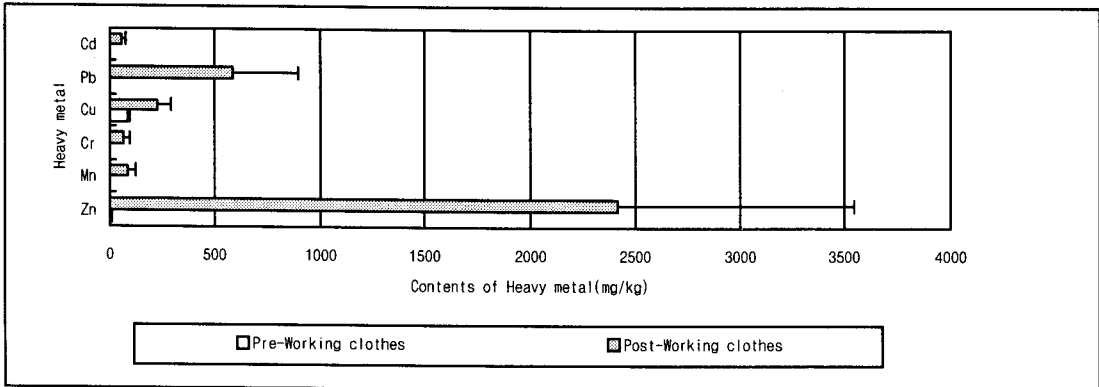


Fig. 5. Heavy metal contents of working clothes in pre and post-work

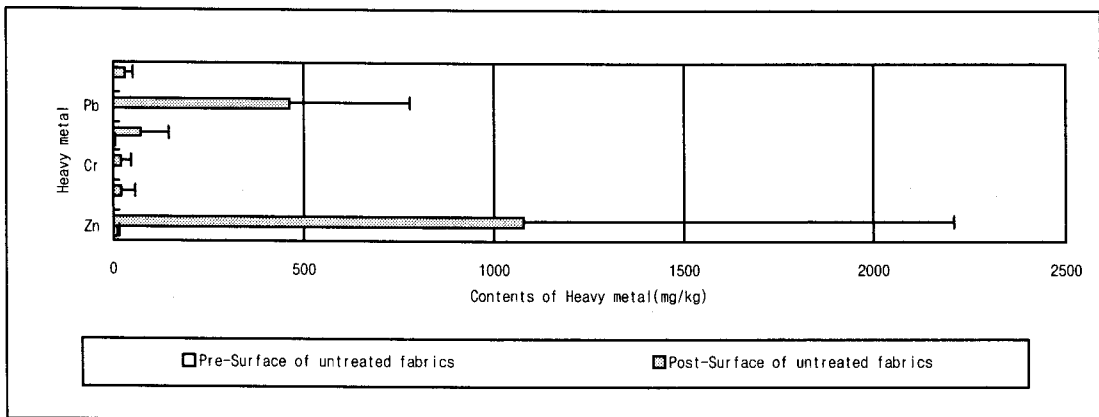


Fig. 6. Heavy metal contents of untreated fabrics in pre and post-work

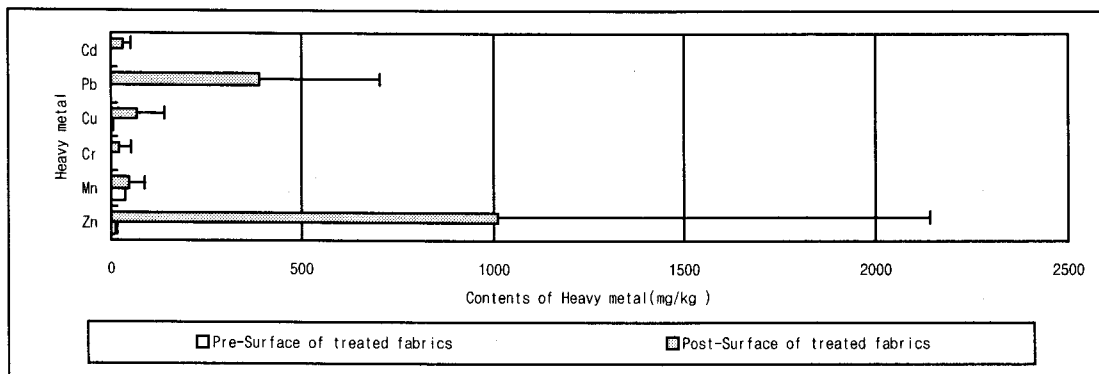


Fig. 7. Heavy metal contents of treated fabrics in pre and post-work

하기 위하여 작업 전후의 시료간의 차와 차단성을 제시한 것이다. Figure. 5, Figure. 6, Figure. 7은 사용 전과 후의 3종 시료의 중금속 함량을 비교한 것이다. Figure. 5는 현재 소각장에서 착용하는 작업복의 사용 전과 후의 중금속 함량을 나타낸 것으로 전술했듯이 사용 전에 구리가 소량 검출되었고, 사용 후에는 아연>납>구리 순으로 크게 증가하였음을 알 수 있다. Figure. 6은 흰 원포의 사용 전과 후의 시료 표면의 중금속 함량을 나타낸 것인데, 사용 전에도 소량의 아연이 검출되었으며, 사용 후에는 6원소의 함량이 모두 증가하였다. Figure. 7은 숯 가공포 표면의 사용 전과 후의 중금속 함량을 나타내고 있다. 사용 전

에도 망간과 아연은 소량 검출되었으며 사용 후에는 모든 중금속 검출량이 아연>납>구리>망간>카드뮴>크롬 순으로 증가함을 보여주고 있다.

Figure. 8, Figure. 9, Figure. 10은 사용 후의 3종 시료의 중금속 함량을 2종씩 비교한 것이다. Figure. 8은 사용 후 작업복과 숯 가공포 표면의 중금속 함량을 비교한 것인데, 모든 중금속 함량이 현재 사용하는 작업복에서 숯 가공포에서보다 다량이 검출되어 숯 가공포에서 6종의 중금속 검출량이 감소하였음을 보여주고 있다. Figure. 9는 사용 후 작업복과 흰 원포 표면의 중금속 함량을 비교한 것이다. 여기서도 조사한 6종의 모든 중금속이 사용 후 흰 원포보다 작업복에서 많은 양

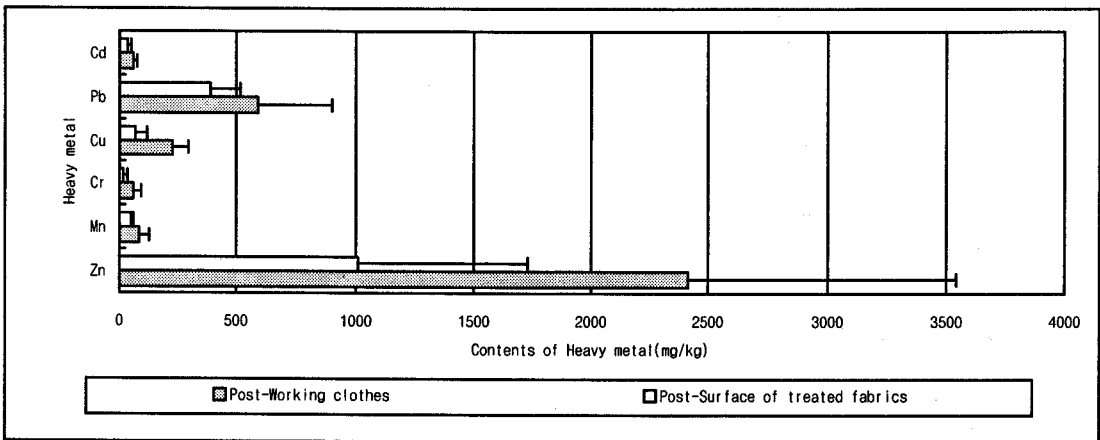


Fig. 8. Heavy metal contents between working clothes and treated fabrics on surface area in post-work

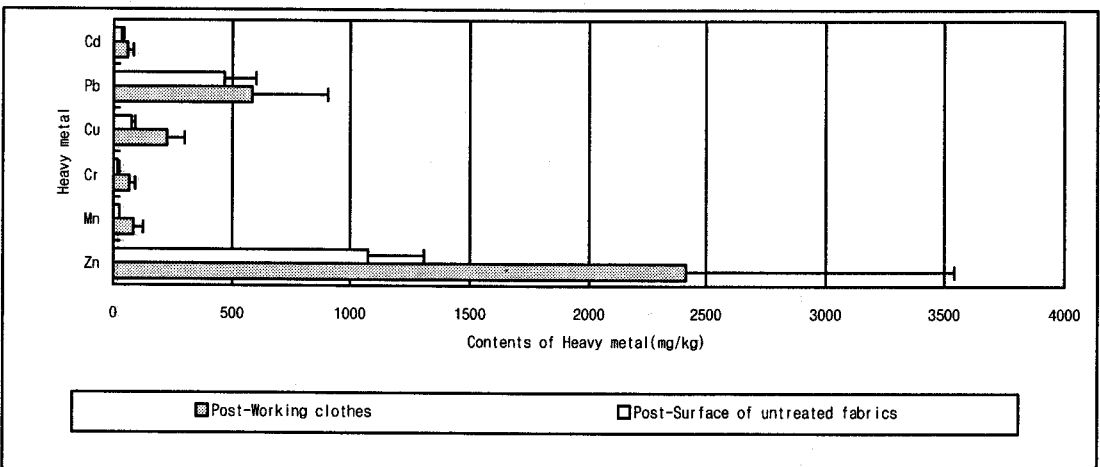


Fig. 9. Heavy metal contents between working clothes and untreated fabrics on surface area in post-work

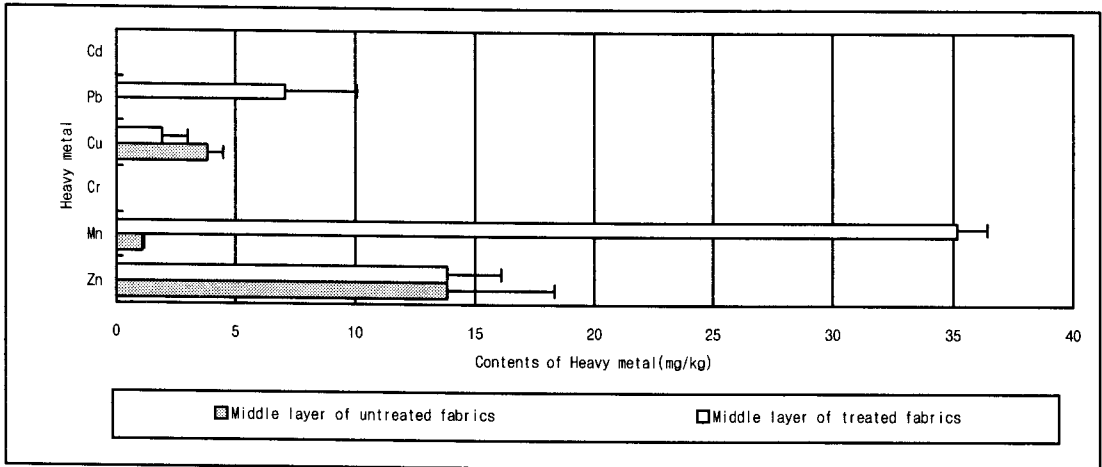


Fig. 10. Heavy metal contents between untreated and treated fabrics of the middle layers in post-work

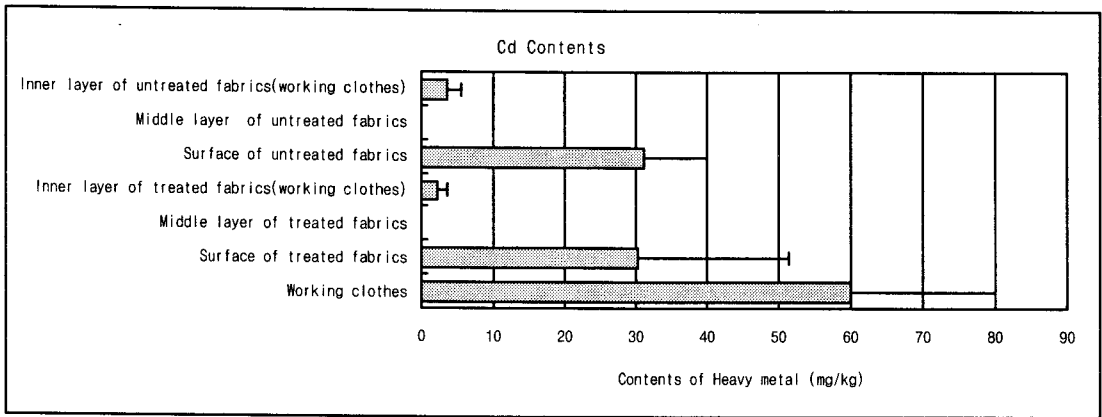


Fig. 11. Cd contents among those fabrics in post-work

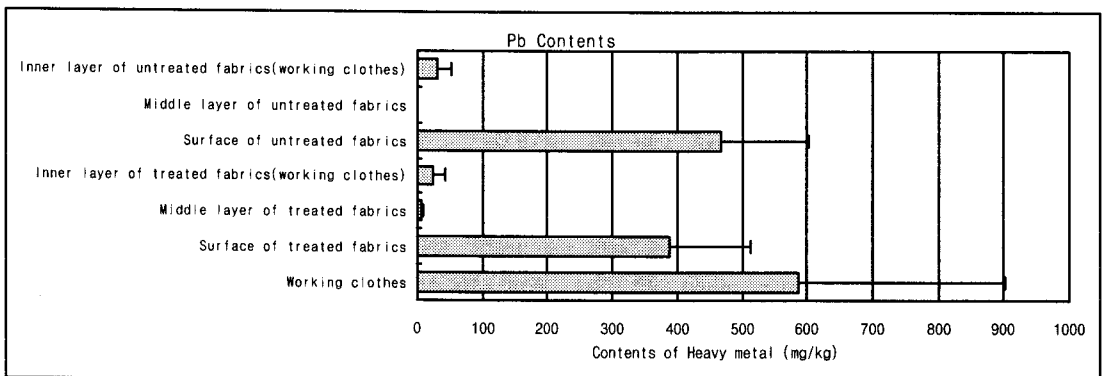


Fig. 12. Pb contents among those fabrics in post-work

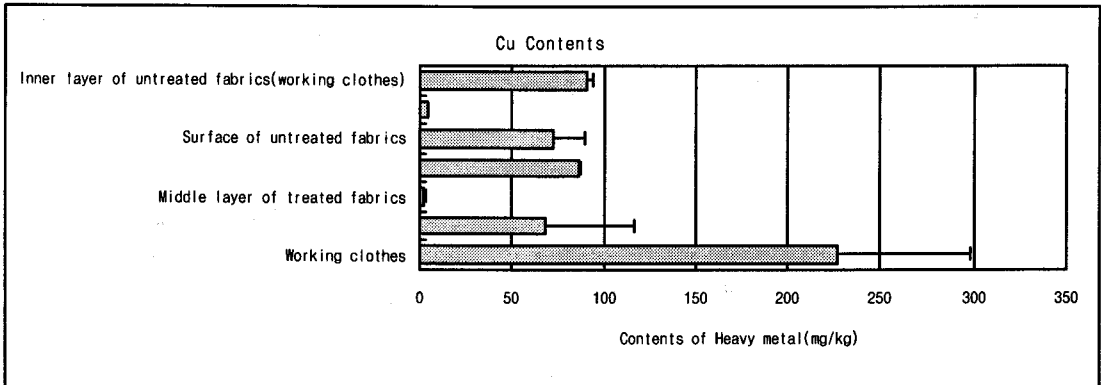


Fig. 13. Cu contents among those fabrics in post-work

이 검출되었다. Figure. 10은 사용 후 흰 원포와 숯 가공포 중간층의 중금속 함량을 비교한 것이다. 여기서는 납과 망간이 숯 가공포에서 더 많이 검출되었고, 구리는 흰 원포에서 더 많은 양이 검출되었다. 숯 가공포에서는 유해성이 큰 납이 7.1ppm이 검출되어 납 차단성이 원포보다 낮게 나왔고, 흰 원포에서는 구리가 3.8ppm이 검출되었다. 그러나 이 수치는 환경기준치에 못 미치는 것으로 크게 문제시되지는 않겠으나 앞으로 연구가 더 필요하다는 것을 시사한다.

Figure. 11, Figure. 12, Figure. 13은 인체에 유해한 대표적인 중금속의 함량을 중금속별로 소재간 비교한 것이다. 조사한 6종의 중금속 중에서 카드뮴과 납과 구리를 대표로 제시하였다.

어느 금속에서든 흰 원포 표면, 숯 가공포 표면과 비교해 보았을 때, 현재 착용하고 있는 작업복에서의 함량이 가장 많은 것을 알 수 있어, 유해성 중금속의 인체 피부로부터 유입을 차단하기 위해 작업복 소재의 개선의 시급함을 입증하고 있다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 중금속이 많이 배출되는 유해환경인 생활폐기물 소각장 작업자의 작업복 개선을 위하여 소재를 폴리프로필렌 50%, 레이온 50%로 조성된 부직포를 주문, 제작한 후, 농도 10%의 숯 날염 가공을 하여 개발하였다. 이 새로운 소재와 현재 착용하고 있는 1회용 부직포 작업복의

폐적성과 중금속 차단성의 차이를 분석하기 위하여 다음과 같은 조사를 하였다. 첫째, 개발한 소재의 숯 날염가공에 따른 물리·화학적 특성의 차이를 폐적성 면에서 조사하였다. 둘째, 새로운 소재로 15cm×15cm 크기의 패치를 만들어 2장씩 겹쳐 현재 착용하는 작업복 상의의 앞단 하부와 소매부리 안쪽에 부착한 후 소각재처리 작업자에게 착용시켜 1일 근무시간 동안 작업하도록 한 후 중금속 함량을 분석하였다.

작업복 소재는 숯 날염 가공에 따라 물리·화학적 성질 면에서 차이가 있었다. 원포와 숯 가공포를 비교했을 때, 가공포의 중량과 두께는 원포보다 증가하였다. 수분율과 흡수율 및 투습성에서도 가공포가 증가하여 폐적성 면에서 원포보다 향상됨을 알 수 있었다. 또한 가공포의 보온성도 증가하였는데, 이는 원적외선의 발생에 의한 것으로 사료된다. 그러나 공기투과도는 가공포가 감소하여 화학약품 등의 침투가 더 어려워졌음을 시사한다. 항균성에서도 가공포가 증가하였는데 이것은 작업으로 인하여 발한 등으로 의복내 기후가 나빠질 경우, 세균 번식에 대한 저항성이 있음을 보여주는 것으로 숯 가공포가 위생적임을 알 수 있다.

중금속 차단에 있어서는 카드뮴, 납, 구리, 크롬, 아연, 망간 6종의 중금속 차단성이 현재 소각장에서 착용하고 있는 일회용 작업복 소재보다, 본 연구에서 개발한 소재에서 크게 향상되었다. 구체적으로는 작업 후 작업복, 원포 표면, 숯 가공포 표면에서 채취한 중금속의 양을 3회 측정,

평균한 결과, 카드뮴 검출량이 작업복 59.9>원포 표면 31.0>숯 가공포 표면 30.3ppm 순으로 나타났고, 납은 작업복 587.7> 원포 466.7>숯 가공포 388.7ppm 순으로 나타났다. 구리는 작업복 227.0> 원포 72.9> 숯 가공포 68.1ppm으로 나타났고, 크롬은 작업복 63.1>숯 가공포 19.2>원포 18.6ppm으로 나타났으나 가공포와 원포의 차는 미량이었다. 망간은 작업복 84.9>숯 가공포 48.6>원포 21.4ppm 순으로 나타나 원포가 숯 가공포보다 적게 나타났다. 아연은 3종 소재 모두에서 가장 많은 양이 검출되었는데, 작업복 2413.3>원포 1077.3>숯 가공포 1012.7ppm 순으로 나타났다.

패치 밀의 작업복의 중금속 함량은 5종의 중금속이 숯 가공포 밀 샘플이 원포 밀 샘플보다 적게 나타났고, 크롬만이 거의 동량으로 나타나 숯 가공포가 중금속 차단성이 가장 좋다는 것이 입증되었다. 그러므로 현재 착용하고 있는 1회용 작업복 소재의 개선이 이루어져야 할 것이며, 본 소재는 중금속 차단성이 우수하여 소각재 작업자용으로 바람직하다. 그러므로 본 소재로 試作服을 제작하여 인체착용 실험한 결과를 2006년 한국의류학회지에 발표하여, 인체착용시의 생리반응과 착용감 등의 효과를 제시하였다.

근년 소각장의 다이옥신 배출량의 저감방법과 유효한 중금속 회수를 위한 기술 방법이 연구되고 있다. 현재 우리나라에서는 쓰레기를 소각로 시설을 이용하여 고온에서 태우는 방법을 사용하고 있으나 근년 선진국에서는 소각찌꺼기를 약 1200℃ 이상의 고온에서 가열처리하여 溶融固化하는 기술을 도입하고 있다. 이 경우 이점에서는 다이옥신 총배출량을 저감할 수 있고, 용융슬러지를 유효하게 이용함으로써 최종처리장의 수명을 연장시킬 수 있다는 것이다. 이 방법을 택할 경우, 해결해야 할 과제 중의 하나는 용융슬러지 중의 중금속류 함량의 감소에 관한 검토가 필요하다. 중금속이 농축되어 있는 비산재에서 유효한 금속을 회수함과 동시에 비산재를 안전화하기 위한 기술이 있는데, 즉 비산재에서 주로 아연, 납, 구리를 회수하기 위한 정련기술이다. 앞으로는 환경 JIS의 제정의 영향으로 용융슬러지와 에코시멘트(eco-cement)를 중심으로 한 처리

자원화가 주체가 될 것으로 예측된다.

참고문헌

- 건설기술정보 Internet Edition(1999) 현장탐방-고양시 생활폐기물 소각장을 가다.
- 노동부 보도자료(2006, 7. 19) 화학물질 노출 기준 대폭 강화된다-틀루엔, 망간 등 88종 화학물질 노출기준 개정 추진-
- 박순자·정명희·신정숙·田村照子·小柴朋子(2004) 생활폐기물 소각장 작업복의 중금속 분석. 2004년도 추계한국의류학회 학술대회 발표집.
- 박순자·정명희·신정숙·田村照子·小柴朋子(2005) 화학물질 차단을 위한 방호복의 기능성 및 쾌적성에 관한 연구. 한국학술진흥재단 협동연구보고서 (KRF-2003-042-C20123).
- 신정화·윤혜은·박미애·안윤경(2004) 유아용 일회용 기저귀의 유해성 평가. 한국의류학회지 28(1), 165-171.
- 申正和·安允瓊·洪宗基(2003). 第27回人間-生活環境系シンポジウム報告集, 43-46.
- 심영주(2001) 소각 비산재의 중금속 흡착특성에 관한 연구. 강원대학교 대학원 박사학위논문.
- 정명희·박순자·신정숙·小柴朋子·田村照子(2006) 숯 날염가공한 방호복의 인체생리반응 및 쾌적성 평가. 한국의류학회지 30(6), 981-991.
- 정명희·박순자·신정숙·小柴朋子·田村照子(2006) 유해물질 차단을 위한 방호복의 착용실험에 관한 연구. 한국의류학회지 30(11), 1626-1635.
- 조선일보(2003. 7. 2) 중금속 흡착하는 식물 만들었어요.
- 중앙일보(2003. 1. 8) 납중독 아동 非行가능성 커.
- 환경관리공단(2001) 소각시설 배출 다이옥신 등 유해물질 분석에 관한 조사연구.
- 환경부(2002) 대기환경보전법.
- 堀口俊一(1997) 環境中の鉛と生體影響-最近研究動向-. 労働科學研究所出版部.
- 宮田幹夫·難波龍人(1998) 化學物質過敏症-その症狀と對策-. 労働の科學 53(4).
- 安藤正典(1998) 室內空氣環境の化學物質と衛生的課題. 労働の科學 53(4).
- 齊藤滿里子(2001) 環境ホルモン研究現狀-ダイオキシン類による環境汚染問題の現狀-. 文化女子大學紀要-服裝學·造形學研究 32, 123-132.
- 베르린 Handbuch(1991) Bodenschutz 8790. 8LFG. V1.
- Anthony et al.(1993) Indoor Air Quality Control, Chap. 5 Heavy Metals, PTR PRENTICE-Hall, Inc.
- Jörg K·Michael SM(1998) PCDD/Fs in textile-Part I: A Screening method for detection of octachlorodibenzo-p-dioxin and octachloro-dibenzofuran. Chemosphere 36(7), 1627-1635.
- Jörg K·Anneke M·Michael SM(1999) PCDD /Fs in textile-Part II: Transfer from clothing to human skin. Chemosphere 38(1), 97-108.

