

## 방부제 CCA로 처리된 목재를 사용한 계단, 데크 및 방음벽에 인접한 토양에서 크롬, 구리 및 비소의 분포

김희갑<sup>1\*</sup> · 김동진<sup>2</sup> · 박정규<sup>3</sup> · 신용승<sup>3</sup> · 황인영<sup>4</sup> · 김윤관<sup>5</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 환경과학과, <sup>2</sup>국립환경과학원 실내환경과  
<sup>3</sup>한국환경 · 정책평가연구원 정책연구부, <sup>4</sup>인제대학교 환경공학부, <sup>5</sup>이앤위즈

## Distributions of Chromium, Copper, and Arsenic in Soils Adjacent to Stairs, a Deck, and a Sound Barrier Constructed with a Wood Preservative CCA-Treated Timbers

Hekap Kim<sup>1\*</sup> · Dong-Jin Kim<sup>2</sup> · Jeong-Gue Park<sup>3</sup> · Yongseung Shin<sup>3</sup>  
In Young Hwang<sup>4</sup> · Yoon Kwan Kim<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Science, Kangwon National University

<sup>2</sup>National Institute of Environmental Research (NIER)

<sup>3</sup>Policy Research Division, Korea Environment Institute (KEI)

<sup>4</sup>School of Environmental Science and Engineering, Inje University

<sup>5</sup>Environmental & Whole Information System (E&WIS)

### ABSTRACT

Chromated copper arsenate (CCA), a wood preservative, has been widely used to protect wood products from attacks by bacteria, fungi and insects. However, the use of CCA is currently forbidden or limited to some applications in many countries because the toxic elements (Cr, Cu, and As) of CCA are released into the environments during outdoor uses, which may cause adverse health effects on humans and ecological systems. This study was conducted to investigate the distributions of chromium, copper and arsenic in soils adjacent to two CCA-treated wood structures. In a 7 month old pond entry structure, ten surface soil samples (0-2.5 cm) were collected at lateral distances of 0, 0.5, and 1 m from the stairway, and nine surface soil samples were collected beneath the deck. Nine top soil samples were taken from a 2 year old sound barrier structure at lateral distances of 0, 1, and 2 m. Background surface soil samples were also collected from each structure. Samples were analyzed for some physicochemical properties such as pH, electrical conductivity, organic matter content, and soil texture. Following the extraction of the elements with a microwave digestion system, samples were analyzed for Cr, Cu, and As. The concentrations of the three elements in soils adjacent to the structures were significantly elevated compared to the background levels, indicating that the elements have been leached out of the structures. Released elements showed lateral concentration gradients within 1 m. The elevations of the three elements in soils underneath the deck did not seem different (background-corrected concentrations: Cr, 5.01 mg/kg; Cu, 5.50 mg/kg; As, 4.91 mg/kg), while the elements in soils near the sound barrier were elevated in the order of As > Cu > Cr with measured concentrations of 49.7, 44.7 and 52.5 mg/kg, respectively. Background As, Cu, and Cr concentrations near the sound barrier were 9.88, 30.8, and 46.5 mg/kg, respectively. These results showed that CCA constituents are released into the environment and it is suggested that risk assessment need to be conducted to investigate harmful effects of the released elements on humans and ecological systems.

**Key words:** CCA, Chromium, Copper, Arsenic, Soil, Wood preservative

\*Corresponding author : kimh@kangwon.ac.kr

원고접수일 : 2005. 11. 5    게재승인일 : 2005. 12. 23

질의 및 토의 : 2006. 4. 30 까지

## 요 약 문

목재 방부제인 chromated copper arsenate(CCA)는 박테리아, 곰팡이 및 곤충에 의한 공격으로부터 목재 제품을 보호할 목적으로 널리 사용되어 왔다. 그렇지만, CCA의 유해 성분인 크롬, 구리 및 비소가 사용 중에 목재로부터 환경으로 배출되어 인간 및 생태계에 영향을 줄 수 있기 때문에 많은 나라에서 사용을 금지하거나 제한된 용도로만 사용하도록 하고 있다. 이 연구는 두 개의 목재 시설물에 인접한 토양에서 크롬, 구리 및 비소의 분포를 알아보려고 실시하였다. 연못 진입시설물에 대해서는 계단 바로 인접한 지점에서부터 0, 0.5 및 1 m의 수평 거리에서 10개의 표토(0-2.5 cm) 시료를, 그리고 데크 바로 아래 지점에서는 9개의 표토 시료를 채취하였다. 방음벽에서는 시설물로부터 0, 1 및 2 m 거리에서 9개의 표토를 채취하였다. 각 구조물에 대해 배경농도를 측정하기 위한 토양시료도 채취하였다. 토양시료는 pH, 전기전도도, 유기물 함량, 입도 등의 물리화학적 성질에 대해 분석하였다. 시료는 microwave oven을 사용하여 추출한 후에 크롬, 구리 및 비소에 대해 분석하였다. 세 성분 모두 구조물과 인접한 지역에서 배경 지역에 비해 농도가 증가하여 사용 중에 목재로부터 용출되는 것을 알 수 있었다. 용출된 성분은 계단과 방음벽 시설물에서 모두 1 m 이내의 거리까지 수평 이동하였다. 약 7개월 된 데크 시설물에서 세 성분의 용출된 양은 서로 비슷하였으나(배경 보정 농도: 크롬, 5.01 mg/kg; 구리 5.50 mg/kg; 비소 4.19 mg/kg), 방음벽 바로 아래(0 m)에서는 데크에 비해 더 높은 농도로 비소(49.7 mg/kg) > 구리(44.7 mg/kg) > 크롬(52.5 mg/kg)의 순서로 측정되었다. 이때 배경농도는 비소, 구리 및 크롬에 대해 각각 9.88, 30.8 및 46.5 mg/kg이었다. 이 연구 결과를 통해 CCA 구성 성분은 방부목재로부터 환경 중으로 용출되는 것을 알 수 있었으며, 그 성분들이 인간과 생태계에 미칠 악영향을 평가할 필요가 있음을 시사하였다.

**주제어** : CCA, 크롬, 구리, 비소, 토양, 목재 방부제

## 1. 서 론

야외에 사용되는 목재 시설물을 원래의 상태로 오랫동안 유지시키기 위해 목재는 방부제로 처리되고, 그렇게 함으로써 목재의 수명을 최고 20-40년까지 연장 가능한 것으로 알려져 있다(Solo-Gabriele and Townsend, 1999). 현재 세계에서 가장 널리 사용되는 방부제는 1930년대 영국에서 개발된 chromated copper arsenate(CCA)로서, 이는 크롬, 구리 및 비소를 구성 성분으로 하고 있다. 이 중에서 구리와 비소는 살충제 및 살균제로서, 크롬은 두 가지의 성분을 목재의 셀룰로오스 및 기타 나무의 구성 성분에 고착시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Dawson et al., 1991). CCA의 금속 원소들은 보통 산화물(oxide)의 상태로 감압-기압의 주입 과정을 통해 목재에 침투하게 된다. CCA는 산화물의 구성 비율에 따라 크게 CCA-1, 2 및 3호의 세 가지로 구분되는데(외국의 경우에는 CCA-A, B 및 C), 이 중에서 CCA-3호가 가장 널리 사용되며 CrO<sub>3</sub>, CuO와 As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 비율이 47.5, 18.5 및 34.0%이다.

CCA는 한 때 미국에서 전체 방부목재 시장의 약 75%를 차지하였고, 특히 수용성 방부제 시장의 97%를 차지할 정도로 널리 사용되었다(Solo-Gabriele and Townsend, 1999). CCA로 처리된 목재는 데크(deck), 야외용 의자, 다리, 목조 주택, 나무 울타리, 놀이터, 나무 기둥 등의

다양한 용도로 널리 사용되어 왔다(Chirenje et al., 2003). 그렇지만, 2002년 2월에 미국 환경보호청(U.S. EPA)은 가압처리 목재 업체가 소비자 제품에 대해 자발적으로 CCA의 사용을 단계적으로 중지할 것을 공표하였으며, 2004년 1월 이후에는 CCA가 어린이용 놀이터, 데크, 피크닉 테이블, 조경용 목재, 주거지 펜스, 보도 등과 같이 사람이 직접 접촉할 수 있는 시설물에 사용되는 것을 허용하지 않고 있다.

그 이유는 CCA의 구성 성분인 크롬, 구리 및 비소가 사용 중에 뿐만 아니라 조각이나 매립 등의 폐기 과정에서 환경 중으로 용출되어 나와 생태계 및 인간의 건강에 악영향을 미칠 우려가 있기 때문이다. 환경보호청은 세 가지 성분을 모두 우선 오염물질(priority pollutants)로 분류하고 있다(U.S. EPA, 2001). 비소, 특히 3가의 비소[As(III)]는 사람에게 발암성, 돌연변이원성 및 최기형성을 나타내기 때문에 토양이나 물 환경으로 배출된 후에 먹이그물을 통해 다른 생물에 전달되어 영향을 줄 수 있다(Belluck et al., 2003). 크롬은 산화조건 하에서는 6가[Cr(VI)]로 존재하기 때문에 발암성 및 돌연변이원성을 나타낼 수 있으며, 구리는 미량의 영양물질이기는 하지만 고농도에서는 조류와 연체동물 등에 독성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Hingston et al., 2001).

90년대에 접어들면서부터 활발하게 시작된 연구에서 CCA로 처리된 방부목재를 사용한 시설물로부터 유효성

분이 토양 및 물 환경으로 용출된다고 하는 많은 증거들이 확보되었다(Archer and Preston, 1994; Hingston et al., 2001; Stillwell and Graetz, 2001; Schultz et al., 2002; Chirenje et al., 2003; Zagury et al., 2003; Townsend et al., 2003; Robinson et al., in press). 예를 들어, Chirenje et al.(2003)은 데크, 펜스 및 pole에 인접한 토양에서 크롬, 구리 및 비소의 농도가 증가하고, 수평적으로는 약 0.3 m까지 농도에 영향을 준다고 하였다. 또한 구조물의 사용 연한이 토양에서의 농도에 영향을 주어, 2-10년이 경과한 시설물보다는 2년 이내의 시설물 주변의 토양에서 더 높은 수준을 나타냈다. 이는 시간에 따라 구조물로부터 성분들의 용출이 감소하는데다가 토양으로 용출된 크롬, 구리 및 비소가 그 지점에 머무르지 않고 점차 수평 및 수직으로 이동하기 때문인 것으로 해석하였다. Townsend et al.(2003)은 CCA로 방부 처리된 목재로 만든 데크, 보도 및 다리 구조물 지점에서 토양 중 CCA 성분을 분석한 결과, 구조물에 인접한 토양에서 각 성분의 농도가 현저하게 증가하였고, 수직적으로는 약 20 cm까지 이동하는 것을 확인하였다. 구조물의 바로 아래에서 측정된 크롬, 구리 및 비소의 평균 농도는 각각 31.1, 28.5 및 37.2 mg/kg인 반면에, 세 성분의 배경농도는 각각 8.62, 6.05 및 1.34 mg/kg으로 비소가 가장 크게 증가하였고, 크롬과 구리는 서로 유사한 수준으로 증가하였다.

이와 같이 CCA의 구성 성분들이 갖는 독성과 더불어 환경으로의 용출에 관한 연구 결과들이 발표되면서 여러 국가에서는 CCA의 사용을 규제하고 있다. 이미 덴마크, 폴란드, 스위스, 슬로베니아 등에서는 CCA의 사용을 금지하고 있으며, 캐나다, 핀란드, 스웨덴, 그리스, 미국 등에서는 제한된 용도로만 CCA를 사용하도록 하고 있다.

우리나라에는 CCA가 1980년대 초에 도입된 이래 2001년 현재 우리나라에서 방부 목재의 생산량과 CCA의 사용량은 각각 45,596 m<sup>3</sup> 및 170톤에 이르고 있으며, 점차 증가하고 있는 추세에 있다(김식영, 2001). CCA의 구성 성분인 아산화비소(As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)는 유해물질관리법에 의해 취급제한 유독물로 관리하고 있으나(환경부고시 제96-75호), 목재방부제인 CCA 그 자체는 공산품 제조 첨가용으로 해석되어 제조, 수입 및 판매가 허용되고 있다. 그리고 산림청에서는 CCA를 포함한 방부 목재의 사용기준을 고시하여(2003년) 시행하고 있을 뿐, 아직 적극적인 규제는 하지 않고 있다. 그렇지만, CCA 방부 목재의 사용에 따른 환경위해성이 국내외적으로 거론되고, 용도를 제한하거나 사용을 금지하는 국가의 수가 증가함에 따라 CCA

처리 방부 목재의 사용과 처분에 대한 규제 강화의 필요성을 적극적으로 검토해야 할 시점에 이르렀다.

해외에서의 활발한 연구와는 달리, 국내에서의 연구는 목재 방부제의 정착 특성, CCA 성분의 용출 특성, 방부 목재의 폐기 등에 관해 매우 제한적으로만 수행되었으며(김규혁과 김재진, 1993; 나중범과 김규혁, 1995; 이재근과 김길동, 1995; 김동진, 2005; 조남훈, 2005), 아직까지 CCA 처리 목재로부터 유효 성분이 환경 중으로 얼마나 용출되어 거동하며, 생태계 및 인체에 영향을 주는지에 대한 연구가 수행된 적은 없다.

이 연구는 CCA 방부 목재로 설치된 시설물로부터 옥외 사용 중에 세 가지 유효 성분이 용출되어 주변 토양에서의 농도 분포에 미치는 영향을 평가하고자 수행되었다. 크게 두 개의 시설물이 연구 대상으로 선정되었는데, 한 시설물은 데크, 계단 및 난간의 복합시설물이며, 다른 하나는 도로변에 설치된 방음벽이었다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 방부 처리 확인

현장을 방문하여 시료를 채취하기 전에 Chrome Azurol 용액을 구조물의 목재에 분무하여 사용된 목재가 CCA로 방부 처리되었는지를 육안으로 확인하였다. 이 발색시약은 Blassino et al.(2002)의 방법에 따라 다음과 같이 제조하였다. Chrome Azurol S 농축물(고체) 0.3 g과 sodium acetate 2.5 g을 ethanol에 녹여 250 mL의 용액을 만들었다. 이 용액을 CCA로 처리된 목재에 분무하였을 때 약 1분 이내에 진한 청색을 나타내었으며, 처리되지 않은 목재의 경우에는 옅은 분홍색을 나타내어 현장에서 육안으로 방부 처리 여부를 구분할 수 있었다.

### 2.2. 시료의 채취

#### 2.1.1. 연못 진입 시설물

이 시설물은 2004년 8월 강원대학교 내에 설치되었으며, 인도에서 연못(연적지)으로 통하는 경사로를 데크(deck)와 계단으로 이어주고 있다. 이 지역에서는 2005년 3월에, 즉 시설된 후 약 7개월이 경과한 시점에서 데크와 계단지역으로 구분하여 시료를 채취하였다.

계단지역 토양시료는 계단 아래로부터 이격거리 0, 0.5 및 1 m 떨어진 지점에서 각각 3, 4 및 3개씩의 표토시료를 2.5 cm 이내의 깊이에서 채취하였다. 배경시료는 채취 지점으로부터 경사면의 위쪽으로 약 7 m 이상 떨어진 곳에서 아홉 개를 채취하였다.

또한 계단 상부에 설치되어 있는 deck의 바로 밑에서 경사면을 따라 좌측(L-No.), 우측(R-No.) 및 중간(M-No.)으로 나누어 각각 3개씩, 모두 9개의 표층 시료를 채취하였다.

### 2.2.2. 방음벽 시설물

2005년 3월 5일에 방문한 방음벽 시설물은 2002년 12월에 준공되어 약 2년 3개월 전에 강원도 홍천의 국도변에 설치되었고, 높이 0.9 m의 콘크리트 구조물 위에 2 m의 높이로 약 500 m의 구간에 걸쳐 방부 목재를 올려 만든 것이다.

도로 쪽은 방음벽으로부터 0.4 m 정도의 이격거리만큼만 토양으로 되어 있어 콘크리트 구조물이 구리의 용출로 인해 눈에 떨 정도의 초록색을 나타내는 지점의 바로 아래 부분(이격거리 0 m)과 0.4 m 떨어진 지점에서 표층 토양을 채취하였다. 방음벽의 후면부(도로 반대편)에서는 토양의 훼손 흔적이 없는 지점을 선택하여 표토시료를 채취하였다. 방음벽 인접 지점(0 m)과 이격거리 1 및 2 m 지점으로 나누어 각 지점에서 3개씩의 표층의 토양을 채취하였다. 배경시료는 방음벽과 5 m 이상 떨어진 곳에서 9개 채취하였다.

## 2.3. 분석 방법

### 2.3.1 물리화학적 성질

채취한 토양시료는 실험실로 운반하여 통풍이 잘 되는 곳에서 2일 동안 건조하였다. 건조한 토양은 10 mesh(< 2 mm)의 체로 거른 후 pH, 전기전도도, 유기물 함량 및 입도(soil texture)에 대해 분석하였다. 토양의 pH는 50 mL의 비커에 토양 10 g과 증류수 10 mL을 넣고 유리 막대로 잘 혼합한 후에 30분 동안 방치하였다가 시료를 저어주면서 측정하였다. 전기전도도(EC)는 20 g의 토양과 물 20 mL를 50 mL의 비커에 넣고 유리막대로 잘 저어 준 후, 15-20분 동안 방치하였다가 측정하였다. 토양의 유기물 함량은 강열감량법(Loss-on-Ignition, LOI)으로 측정하였는데, 5 g의 토양에 대해 105°C와 400°C 사이의 무게 차이로 측정하였다. 입도(soil texture)는 mechanical analysis 방법 중 Bouyoucos hydrometer method에 따라 분석하였다(Bouyoucos, 1936).

### 2.3.2. CCA 구성 원소 분석

토양시료 중에 함유되어 있는 CCA의 구성 원소인 Cr, Cu 및 As에 대해 분석하기 위해, U.S. EPA Method 3051A(Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments,

Sludges, Soils and Oils)에 따라 시료를 추출하였다. 토양시료 1 g을 TFM Teflon 용기에 넣고 60%의 질산 10 mL를 가한 후에 microwave oven(EnviroPrep Q45, Questron Technologies Corp.)을 이용하여 150°C의 온도에서 20분 동안(30% 10분; 70% 10분) 추출하였다.

용기는 물로 충분히 냉각한 후에, 물로 씻어주면서 필터(Whatman No. 2, > 8 µm)로 여과하고 100 mL로 희석하였다. 이 용액을 다시 syringe filter(0.45 µm, 13 mm, Whatman)로 여과한 후에, U.S. EPA Method 6020A에 따라 ICP-MS(Ultramass 700, Varian)로 Cr, Cu 및 As를 분석하였다.

## 2.4. 정도 관리(QA/QC)

ICP-MS를 사용하여 세 가지 금속에 대해 분석할 때 대상 원소의 원자량이 80 amu 이하이기 때문에 polyatomic effect에 의한 간섭으로 인한 정량분석이 어려워 oxide interference 및 double charge interference를 낮추어 분석하였다. 또한 분석 과정에서 발생할 수 있는 drift 현상을 보정하기 위해 <sup>45</sup>Sc, <sup>89</sup>Y, <sup>115</sup>In 및 <sup>209</sup>Bi를 내부표준물질로 사용하였으며, 분석에 사용된 표준원액과 내부표준물질은 분석인증시료(Inorganic Venture Co.)를 사용하였다. 또한 분석 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 다음과 같은 QA/QC를 병행하여 실시하였다.

재현성은 RPD(relative percent difference)로 계산하였는데, 채취한 시료 중 동일한 시료에 대해 중복하여 분석한 결과 0.27-0.4%의 범위에 있어 좋은 재현성을 보였다. Cr, Cu 및 As에 대한 회수율은 각각 94.9, 90.3 및 98.7%이었으며, 검출한계는 각각 0.31, 12 및 0.08 µg/L이었다.

## 3. 결 과

### 3.1. 연못 진입 시설물

#### 3.1.1. 계단형 구조물

각 토양시료의 물리화학적 성질과 세 가지 CCA 성분의 농도를 Table 1에 나타내었다. 물리화학적 성질을 분석한 결과, 토양의 pH는 5.92-8.23의 비교적 넓은 분포를 나타냈고, 전기전도도는 44.9-140.9 µS/cm의 분포를 나타냈으며, 유기물 함량은 0.5 m<sup>-2</sup> 지점에서 3.0%로 다른 지점에 비해 10배 이상 높은 것을 제외하면 0.17-0.33%로 낮은 편이었다. 그리고 토양의 입도는 모두 sand로 입자가 비교적 큰 분포를 나타내었다.

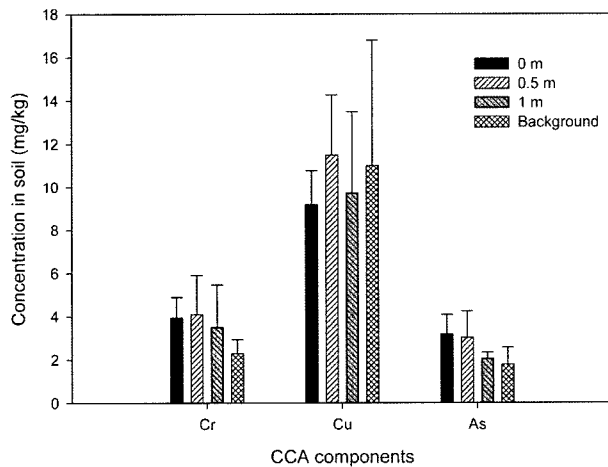
시설물에서부터의 이격거리에 따른 각 금속 성분의 분

**Table 1.** Soil physicochemical properties and the variations of Cr, Cu and As concentrations (mg/kg) in soils with lateral distance from the stairs

Site	pH	EC (mS/cm)	Organic matter content (%)	Soil texture**	Concentration (mg/kg)		
					Cr	Cu	As
0 m-1	7.24	35.9	0.17	S	3.42	8.32	2.74
0 m-2	6.71	33.0	0.27	S	5.04	11.0	4.20
0 m-3	5.92	65.7	0.33	S	3.40	8.18	2.59
<b>0 m Average</b>	<b>6.62</b>	<b>44.9</b>	<b>0.26</b>	<b>S</b>	<b>3.95 ± 0.94</b>	<b>9.17 ± 1.60</b>	<b>3.18 ± 0.89</b>
0.5 m-1	7.77	76.2	0.23	S	6.40	13.7	4.58
0.5 m-2	6.48	47.5	3.0	S	2.68	11.0	1.65
0.5 m-3	8.23	140.9	0.32	S	4.65	13.4	3.22
0.5 m-4	7.04	56.1	0.25	S	2.62	7.74	2.58
<b>0.5 m Average</b>	<b>7.38</b>	<b>80.2</b>	<b>0.95</b>	<b>S</b>	<b>4.09 ± 1.82</b>	<b>11.5 ± 2.77</b>	<b>3.01 ± 1.23</b>
1 m-1	7.45	80.6	*	S	5.70	13.91	2.23
1 m-2	7.21	46.1	0.26	S	1.94	8.68	2.20
1 m-3	7.21	53.8	0.22	S	2.91	6.57	1.73
<b>1 m Average</b>	<b>7.29</b>	<b>60.2</b>	<b>0.24</b>	<b>S</b>	<b>3.52 ± 1.95</b>	<b>9.72 ± 3.78</b>	<b>2.05 ± 0.28</b>
<b>Background (N = 9)</b>	<b>7.36</b>	<b>46.2</b>	<b>0.25</b>	<b>S</b>	<b>2.30 ± 0.63</b>	<b>11.0 ± 5.79</b>	<b>1.77 ± 0.79</b>

\*Not determined.

\*\*S, sand.

**Fig. 1.** Distributions of Cr, Cu, and As with lateral distances from the stairs.

포는 Fig. 1에 그래프로 나타내었다. 크롬과 비소의 농도는 계단 시설물에 인접한 지역에서 증가한 반면에, 구리는 배경농도와 거의 차이를 보이지 않았다. 수평분포를 볼 때 크롬은 0 m와 0.5 m 사이에 농도 차이가 거의 없었고, 1 m에서는 다소 감소하는 경향을 보여(3.95 → 4.09 → 3.52 mg/kg) 배경농도(2.30 mg/kg)보다 더 높은 값을 나타냈다. 반면에, 비소는 0 m에서 0.5 m로 갈수록 농도가 다소 감소하고 1 m에서는 크게 감소하여(3.18 → 3.01 → 2.05 mg/kg) 배경농도(1.77 mg/kg)와 유사한 값을 보였다.

### 3.1.2. 테크 구조물

연못 진입 시설물 중 테크형으로 된 구조물 바로 밑에서 좌측(L), 우측(R), 그리고 중간(M) 부분으로 나누어 총 9개의 표층시료를 채취하여 분석한 결과를 Table 2에 보여주었다. 구조물 아래 토양시료의 평균 pH는 배경농도와 거의 유사한 수준인 반면에(7.27 vs. 7.36), 전기전도도는 108  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 배경시료의 46.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 보다 2.3배 높았다. 유기물의 함량은 테크 아래 지점의 시료와 배경시료간에 차이가 거의 없어 각각 0.32% 및 0.25%로 낮았으며, 토양의 입도는 하나의 시료(M-3)만 loamy sand 이었고 나머지 시료는 모두 sand였다.

CCA의 세 가지 구성 성분의 농도는 테크 바로 아래 지점에서 모두 배경시료에 비해 현저하게 높았다(Fig. 2). As 및 Cr의 농도는 배경농도보다 각각 3.8 및 3.2배 높았으며, Cu는 1.5배 증가하였다. 등분산을 가정하여 테크 아래 지점에서의 농도와 배경시료의 농도를 비교하였을 때 크롬과 비소는 1% 유의수준에서 차이를 보인 반면에( $p < 0.001$ ), 구리는 5%의 유의수준에서 서로간에 통계적인 차이를 나타내지는 않았다. 그렇지만, 세 성분 모두 배경농도에 비해 약 5 mg/kg 높아 방부 목재의 사용으로 인하여 토양에서 세 성분의 농도가 증가하였다는 것을 알 수 있었다.

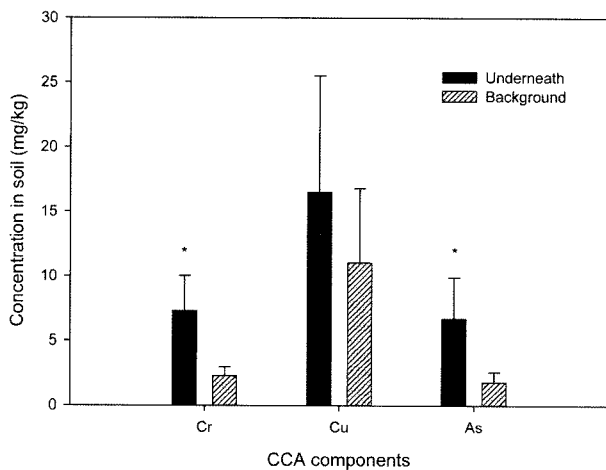
### 3.2. 방음벽

방음벽 지역의 도로 후면부에서 채취한 토양시료의 물

**Table 2.** Soil physicochemical properties and Cr, Cu and As concentrations (mg/kg) in soils underneath the deck

Site	pH	EC (μS/cm)	Organic matter content (%)	Soil texture*	Concentration (mg/kg)		
					Cr	Cu	As
L-1	8.05	156	0.39	S	5.52	11.1	3.81
L-2	7.61	350	0.26	S	4.17	8.79	2.46
L-3	7.62	79.1	0.41	S	8.83	13.0	7.79
R-1	7.14	50.8	0.29	S	8.13	16.6	8.49
R-2	7.59	67.4	0.16	S	3.24	8.74	2.13
R-3	6.39	63.9	0.36	S	7.22	20.5	9.96
M-1	6.95	54.2	0.36	S	11.4	37.0	7.76
M-2	6.75	59.5	0.37	S	10.2	21.6	10.7
M-3	7.31	95.6	0.27	LS	7.12	10.9	7.00
<b>Average</b>	<b>7.27</b>	<b>108</b>	<b>0.32</b>	<b>S</b>	<b>7.31 ± 2.7</b>	<b>16.5 ± 9.0</b>	<b>6.68 ± 3.2</b>
<b>Background (N = 9)</b>	<b>7.36</b>	<b>46.2</b>	<b>0.25</b>	<b>S</b>	<b>2.30 ± 0.63</b>	<b>11.0 ± 5.79</b>	<b>1.77 ± 0.79</b>

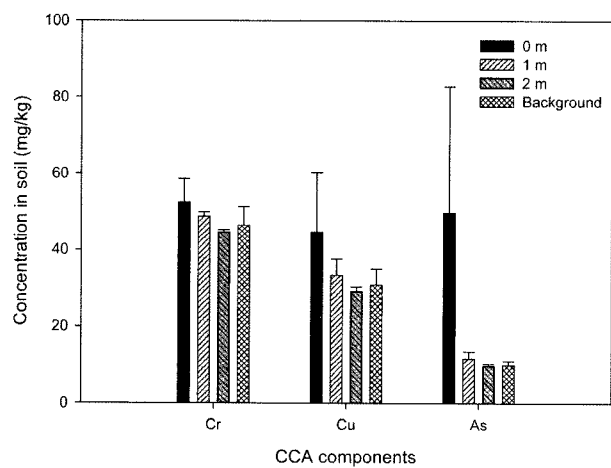
\*S, sand; LS, loamy sand.



**Fig. 2.** Comparison of Cr, Cu and As concentrations between soils underneath the deck and background soils. Asterisks (\*) denote that the concentrations are significantly different each other at a significance level of 0.05.

리화학적 성질과 CCA 성분의 농도는 Table 3에 나타내었다. 방음벽에서부터 0, 1 및 2 m 떨어진 지점에서의 pH는 6.69-7.37의 분포를 나타내 중성의 범위에 있었으며, 배경시료들의 pH는 5.25-6.37로 다소 산성을 나타내었다. 모든 시료에 대해 전기전도도는 114-293 μS/cm의 분포를 보였으며, 유기물 함량은 1% 이내였다. 토양의 입도는 clay, clay loam, loam, sandy clay loam 등으로 시료는 비교적 미세한 입자의 토양으로 구성되었다.

크롬, 구리 및 비소의 농도는 모두 0 m에서 배경농도보다 높아(Fig. 3), 크롬은 배경농도에 비해 평균 6.0, 구



**Fig. 3.** Distributions of Cr, Cu, and As with lateral distances from the sound barrier.

리는 13.9, 그리고 비소는 39.8 mg/kg 더 높은 농도를 나타내었다. 반면에 이격거리 1 m 지점에서는 크롬, 구리 및 비소의 농도가 배경농도에 비해 각각 2.3, 2.6 및 1.8 mg/kg 높은 정도였고, 2 m 이격거리의 지점에서는 배경농도의 수준을 나타냈다.

도로 방향의 콘크리트 구조물에 눈에 떨 정도로 구리 성분의 용출 흔적이 나타난(초록색) 지점에서는 CCA 성분의 용출로 인한 농도 증가가 두드러졌다(Table 4). 벽에 인접한 지점에서 크롬, 구리 및 비소의 농도는 각각 217, 548 및 444 mg/kg으로, 0.4 m 떨어진 지점에서 채취한 시료 중의 농도인 43.6, 30.5 및 9.67 mg/kg에 비해 각각 173, 518 및 434 mg/kg만큼 높았다. 그리고 0.4 m에서 세 성분의 농도는 방음벽 후면부의 배경농도인 46.5,

**Table 3.** Soil physicochemical properties and the variations of Cr, Cu and As concentrations (mg/kg) in soils with lateral distance from the sound barrier

Site	pH	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Organic matter content (%)	Soil texture*	Concentration (mg/kg)		
					Cr	Cu	As
0 m-1	7.36	212	0.73	C	48.4	32.3	18.4
0 m-2	7.37	250	0.62	L	59.5	62.1	84.3
0 m-3	7.33	293	0.83	CL	49.5	39.7	46.4
<b>0 m Average</b>	<b>7.35</b>	<b>252</b>	<b>0.73</b>	<b>L</b>	<b>52.5 <math>\pm</math> 6.1</b>	<b>44.7 <math>\pm</math> 15.5</b>	<b>49.7 <math>\pm</math> 33.1</b>
1 m-1	6.69	132	0.79	C	50.1	30.9	11.8
1 m-2	6.88	169	0.66	CL	48.1	38.1	13.3
1 m-3	6.69	114	0.96	CL	48.4	31.2	9.9
<b>1 m Average</b>	<b>6.75</b>	<b>138</b>	<b>0.80</b>	<b>CL</b>	<b>48.8 <math>\pm</math> 1.1</b>	<b>33.4 <math>\pm</math> 4.1</b>	<b>11.7 <math>\pm</math> 1.7</b>
2 m-1	6.78	205	0.79	SCL	44.2	27.9	9.5
2 m-2	6.84	223	0.67	CL	45.3	30.3	9.3
2 m-3	6.97	262	0.99	CL	44.6	29.0	10.2
<b>2 m Average</b>	<b>6.86</b>	<b>230</b>	<b>0.82</b>	<b>CL</b>	<b>44.7 <math>\pm</math> 0.6</b>	<b>29.1 <math>\pm</math> 1.2</b>	<b>9.68 <math>\pm</math> 0.48</b>
<b>Background (N=9)</b>	<b>5.74</b>	<b>182</b>	<b>0.88</b>	<b>CL</b>	<b>46.5 <math>\pm</math> 4.8</b>	<b>30.8 <math>\pm</math> 4.2</b>	<b>9.88 <math>\pm</math> 1.15</b>

\*C, clay; L, loam, CL, clay loam; SCL, sandy clay loam.

**Table 4.** Soil physicochemical properties and the variations of Cr, Cu and As concentrations (mg/kg) in soils collected from the highly contaminated area of the sound barrier

Site	pH	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Organic matter content (%)	Soil texture*	Concentration (mg/kg)		
					Cr	Cu	As
<b>0 m</b>	<b>6.86</b>	<b>487</b>	<b>1.02</b>	<b>SCL</b>	<b>217</b>	<b>548</b>	<b>444</b>
0.4 m-1	7.03	166	0.94	SCL	42.1	29.4	9.9
0.4 m-2	7.12	127	0.94	SC	45.1	31.7	9.5
<b>0.4 m Average</b>	<b>7.08</b>	<b>147</b>	<b>0.94</b>		<b>43.6 <math>\pm</math> 2.2</b>	<b>30.5 <math>\pm</math> 1.7</b>	<b>9.67 <math>\pm</math> 0.29</b>

\*SCL, sandy clay loam; SC, sandy clay.

30.8 및 9.88 mg/kg과 차이가 없어, 이 지점에서의 세 성분의 수평 이동은 0.4 m 이내의 범위에서 일어났음을 알 수 있었다.

#### 4. 고 찰

이 연구의 결과로부터 방부목재가 실외 환경에서 사용되는 동안에 강우와의 접촉 및 풍화에 의해 CCA의 유효 성분이 환경 중으로 용출되어 토양에서 구리, 크롬 및 비소의 농도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 세 가지의 성분 중에서도 특히 독성이 강한 것으로 알려져 있는 비소의 농도 증가가 두드러지게 나타나 이로 인한 건강 영향을 평가할 필요가 있음을 시사하였다.

연못 진입 시설물에서의 세 성분의 농도는 시설물의 주

변과 배경지역에서 모두 낮게 낮았는데, 이는 한 지점만 loamy sand이고 나머지 모든 시료는 sand여서 토양의 단위 표면적이 작은 데다가 유기물 함량이 낮았기 때문일 것으로 생각된다. 반면에 방음벽에서의 입도는 sandy loam에서부터 clay까지 분포하였으며, 그 중에서도 clay loam이 가장 많은 빈도를 보였다. 또한 유기물의 함량도 연못 진입 시설물(0.3% 내외)에 비해 약 3배 정도 높아 (0.8% 내외) 금속 성분이 목재로부터 용출된 후 인접 지역의 토양에 잘 흡착되어 잔류함으로써 상대적으로 더 높은 농도를 나타낸 원인 중의 하나가 되었을 것으로 보인다.

계단시설물 인접 지점, 데크의 바로 아래 지점, 그리고 방음벽 인접 지점의 농도를 배경농도로 보정한 농도(측정 농도-배경농도)를 Table 5에 나타내었다. 계단과 데크는 설치된 지 단 7개월이 경과하였고 시설 후부터 시료 채취

**Table 5.** Background-corrected concentrations (mg/kg) of Cr, Cu and As in the soils of the three sampling sites

Site	Age	Cr	Cu	As
Stairs	7 months	1.65	*	1.41
Deck	7 months	5.01	5.50	4.91
Sound barrier	2 years	6.00	13.9	39.8

\*Below the background level.

시까지의 강수량은 약 400 mm로 그리 많지 않았다. 또한 이 시설물은 큰 나무들에 의해 덮여 있어 목재는 주로 강우와 간접적으로 접촉하는 환경으로 구성되어 있다. 반면에 설치 후 2년 3개월이 경과된 방음벽은 주변에는 다른 장애물이 없어 방음벽이 강우와 직접적인 접촉을 할 수 있도록 되어 있다.

계단에서의 크롬과 비소의 배경 보정 농도는 1.5 mg/kg였으나, 구리의 경우에는 오히려 배경농도보다 낮아 음의 값을 나타내었다. 반면에 데크 바로 하단부의 표토에서 측정된 농도는 배경농도에 비해 세 성분 모두 5 mg/kg 내외만큼 증가하여 계단 시료보다는 더 높은 증가를 볼 수 있었다. 이와 같은 차이는 구조적으로 볼 때 수평적으로 설치된 데크가 경사 구조의 계단에 비해 강수와 접촉하는 시간이 길뿐만 아니라 접촉 표면적이 넓어 더 많은 양의 성분들이 용출되었기 때문으로 판단된다. 또한 지형적으로 데크는 도로와 연못의 중간에 위치하고 있어 강우시에 데크 아래의 토양으로 많은 양의 강수가 유입되지 않기 때문에 용출된 성분이 빗물과 함께 유실되는 비율이 적을 것으로 예상된 반면에, 계단의 하단부는 연못의 주위 산책로와 맞닿아 있어, 강우시 위 지점에서 내려오는 빗물에 의해 용출된 성분이 손실되기 쉬운 위치에 있다. 방음벽 토양에서는 세 가지 성분의 농도 증가가 뚜렷하게 나타났으며, 특히 비소의 농도 증가가 눈에 띄어 39.8 mg/kg 만큼이나 증가하였고, 구리와 크롬이 각각 13.9 및 6.00 mg/kg 만큼 증가하여 비소>구리>크롬의 경향을 나타내었다.

Chirenje et al.(2003)은 1년부터 12년이 경과한 데크 바로 아래의 토양에 대해 분석한 결과, 세 성분 중 비소의 농도가 가장 많이 증가하였지만 그 증가 폭은 단지 10.5 mg/kg이었으며 구리와 크롬은 더 증가 폭이 작았는데, 이는 데크가 적은 양의 강우와 접촉하였고 데크 아래의 토양에는 식물의 성장이 뚜렷하여 식물에 의해 금속 성분들이 흡수되었기 때문일 것으로 추측되었다. 이와는 반대로 Townsend et al.(2003)은 4-15년이 경과한 데크 하부의 토양에서 CCA 성분의 배경농도 대비 증가 폭은

비소>구리>크롬의 순서로 나타났으며, 비소의 경우 최대 217 mg/kg까지의 높은 농도로 검출되기도 하였다. Chirenje et al.(2003)의 펜스에 대한 연구에서 사용 연한에 따라 농도가 다르게 검출되었는데, 아주 오래된(2-20년) 구조물보다는 비교적 최근(2년 이내)의 구조물에서 더 높은 농도로 검출되었다. 토양에서 세 성분의 농도는 각 지점별로 큰 차이를 보이지 않았지만, 배경농도를 제시하지 않아 토양에서 각 성분의 농도 증가는 직접 비교할 수 없었다. 일반적으로 비소의 배경농도가 다른 두 성분에 비해 낮다는 것을 고려한다면, 비소의 용출이 가장 높았을 것이라는 것을 추정할 수 있다. Stilwell and Graetz(2001)의 연구는 고속도로 주변에 설치된 방음벽을 대상으로 실시하였는데, 방음벽 바로 하단부의 토양에서의 농도는 구리와 비소가 각각 80과 67 mg/kg으로 구리가 높았지만, 배경농도를 고려한 농도의 증가는 비소가 67 mg/kg, 그리고 구리가 60 mg/kg으로 비소가 약간 더 많이 용출되는 것을 보여주었다. 그리고 크롬의 경우에는 23 mg/kg의 농도 증가를 나타내 세 성분 중에서 가장 적게 용출되는 것을 알 수 있었다.

반면에, pole과 같이 목재와 토양의 직접적인 접촉이 있는 경우에는 구리의 용출이 가장 많아 바로 인접한 토양에서 구리의 농도가 가장 많이 증가하였고, 비소와 크롬의 농도는 시설 연한에 따라 다르게 나타났다. Chirenje et al.(2003)의 연구에 따르면, 사용 연한이 2년 이하의 pole에 인접한 토양에서의 농도는 구리 다음으로 비소가 높았던 반면에(구리>비소>크롬), 2년 이상 10년 이하의 시설물에 인접한 토양에서의 농도는 구리>크롬>비소의 순서로 나타났다. 한편 Robinson 등(in press)의 연구에서는 사용 연한이 1-20년의 다양한 pole에 대해 토양에서의 농도를 측정하였는데, 구리가 가장 높았으며 다음으로는 비소의 순서였다. Zagury et al.(2003)의 연구에서는 1.8 m의 깊이에 묻혀 4년 동안 사용된 pole 주변에서 토양 시료를 채취하여 분석하였는데, 구리 > 비소 > 크롬의 순서로 농도가 측정되었다. 또한 지상과 지하의 목재 시료를 채취하여 분석한 결과, 세 성분 모두 지하에서 더 높게 나와 강우와의 접촉에 의한 용출보다는 토양과의 지속적인 접촉에 의한 용출량이 더 높음을 보여주었다(Robinson et al., in press). 세 성분 중에서 토양과의 접촉에 의해 구리의 용출이 증가하는 이유로 토양 중에는 유기물, 특히 부식질이 함유되어 있어 구리가 유기물의 carboxylate나 phenolate 등의 작용기와 착물을 잘 생성하기 때문인 것으로 설명할 수 있다(Prado and Airoidi, 2003).

이와 같은 결과는 실험실에서 실시된 용출 실험에서 잘



**Table 6.** Regulatory criteria for chromium, copper, and arsenic (mg/kg) in soils

Country	Classification	Cr	Cu	As
UK	Residential without plant uptake	200		
	Allotments (residential with plant uptake)	130	*	20
	Commercial/Industrial	5,000	-	20
USA (humans)	Ingestion	390	-	500
	Inhalation fugitive particulate	270	-	0.4
			-	750
USA (ecosystem)	Plants	-		
	Soil invertebrates			
	Avian	21(III)	61	37
	Mammals	360(III)/330(VI)		

\*Currently not available.

뒷받침해 주고 있다. 강우를 모사하기 위해 무기산인 질산( $\text{HNO}_3$ )을 사용하여 60일 동안 용출시켰을 때에는 비소가 가장 높고 구리, 크롬의 순서로 용출된 반면에(조남훈, 2005), 토양이나 물과의 접촉을 모사하기 위해 유기산인 carboxylic acid를 사용하여 pH를 조절하여 100일 동안 용출시켰을 때 2.0과 3.7의 조건에서는 구리>비소>크롬의 순서로 나타난 반면에, pH 5.6의 조건에서는 구리  $\approx$  비소 > 크롬의 순서로 용출되는 경향을 보였다(김동진, 2005).

CCA 성분의 수평이동은 계단에서는 약 0.5 m 내외, 그리고 방음벽에서는 1 m 내로 일어났다. 그렇지만, 이격 거리가 넓어 어느 정도의 거리까지 수평이동을 했는지에 대해서 더 정확히 알기 위해서는 더 좁은 간격으로의 시료 채취가 필요하다. 금속 성분의 수평이동에는 여러 가지의 요인들이 관여하는 것으로 알려져 있다. 일반적인 pH와 산화-환원 전위의 조건에서 구리는 양이온의 화학종으로 존재하기 때문에 음이온의 화학종으로 존재하는 크롬과 비소에 비해 토양에 더 잘 흡착되기 때문에 이동성이 적은 것으로 알려져 있다. 또한 구리는 토양 중에 존재하는 유기물과 강한 착물을 잘 생성하여, 용출된 구리 성분은 다른 두 성분에 비해 멀리 이동하지 않는 성질이 있다(Tyler and McBride, 1982).

방음벽의 경우 도로 방향의 구조물 바로 아래 지점(0 m)의 토양에서 크롬, 구리 및 비소 세 성분이 0.4 m 지점에 비해 각각 5, 18 및 46배 높게 측정되었는데, 이는 시료 채취 지점의 방음벽의 구조적인 특징 때문이라고 할 수 있다. 즉, 강우는 목재방음벽과 부딪힌 후에 면을 타고 흘러내린 후에 바로 토양으로 떨어지는 것이 아니라, 방음벽의 아래 부분에 있는 콘크리트 구조물의 윗부분의 면을 타고 한 쪽으로 흘러 특정 부분에 집중적으로 모이도록 되어 있다. 이렇게 모인 빗물은 콘크리트 구조물의 아

래쪽으로 흘러내려 바로 인접한 토양에서 세 가지의 성분이 고농도로 검출되게 한 것으로 판단된다. 비록 이 연구에서는 0 m에서 하나의 시료(혼합시료임)만을 채취하여 자료의 해석에 있어서 제한이 있기는 하지만, 구조물의 형태에 따라 토양의 특정 지점에 고농도로 구성 성분이 오염될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

우리나라의 토양오염기준(2001)은 크게 토양오염우려기준과 토양오염대책기준으로 구분되어 있는데, 토양오염공정시험법(2002)에서는 0.1 N의 HCl을 사용하여 중금속을 추출하도록 규정되어 있다. 이 연구에서는 microwave oven을 사용한 전함량 분석방법이 시료 분석에 도입되었기 때문에 우리나라의 토양환경기준과 비교할 수는 없다. 2002년 영국에서는 위해도를 근거로 한 지침을 마련하였는데(DEFRA and Environmental Agency, 2002), 이에 따르면 토양의 용도에 따라 크게 식물에 의한 흡수가 없는 거주지역, 식물에 의한 흡수가 있는 지역, 그리고 상업 및 산업지역으로 구분하여 8가지의 금속에 대한 기준치를 설정하였다(Table 6). 또한 미국 EPA에서도 사람과 생태계로 나누어 superfund site와 같은 오염지역에 대한 토양오염기준을 설정하였다(2002, Table 6). 이와 같은 두 기관에서 설정한 기준치에 의해 측정된 토양의 오염도를 평가해 볼 때, 크롬과 구리는 배경지역뿐만 아니라 시설물 인접 토양에서 기준치보다 낮은 수준으로 존재하는 것을 알 수 있다. 반면에, 비소의 경우에는 방음벽 시료의 0 m 지점의 세 시료 중 두 시료의 농도가 거주지역에 대한 기준치(20 mg/kg)를 초과하는 것으로 나타났다. 그렇지만, 인간의 경구섭취를 통한 노출에 대해서는 모든 시료에 대해 기준치(0.4 mg/kg)를 초과하는 것으로 나타났으며, 식물에 대한 독성을 기준(37 mg/kg)으로 볼 때에는 방음벽에 인접한 지점 중 두 시료에서 이 기준치를 초과해 식

물에 피해를 줄 수 있음을 시사하였다.

## 5. 결 론

CCA 방부목재를 사용하여 만든 두 곳의 구조물 현장을 방문하여 토양시료를 채취하여 분석함으로써 얻은 결론은 다음과 같다. 방부제의 구성 성분인 크롬, 구리 및 비소는 사용 중에 목재로부터 강우 및 풍화에 의해 환경으로 용출되어 토양을 오염시킨다. 구조물이 토양과 접촉하지 않고 지상에 설치될 경우에 세 성분 중 비소>구리>크롬의 순으로 용출되어 토양에서의 농도 증가를 가져온다. 용출된 성분들은 측면 이동을 하는데, 이동거리는 토양의 입도, 유기물 함량, 지형적인 요인, 사용 연한 등에 따라 다르게 되지만 대략 1 m 내외까지 이동하는 것으로 추정된다. 또한 구조물의 사용 연한이 길수록 토양에서 농도가 더 증가하며, 용출되는 양은 구조물의 형태별로 접촉면적 및 접촉시간 등에 따라 결정되는 것으로 추정된다. 우리나라에서는 아직 CCA 처리 방부목재에 대한 환경규제가 이루어지고 있지 않지만, 이 연구 결과는 옥외 사용 중 CCA 성분이 목재로부터 환경으로 용출됨에 따라 환경에 미치는 위해성을 평가하고, CCA 처리 목재를 과학적인 방법에 의해 규제할 수 있는 근거를 마련하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 사 사

이 연구는 차세대 핵심환경기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 김규혁, 김재진, 1993, 산성조건하에서 처리제로부터 CCA성분의 용출 및 처리제 내구성의 감소에 관한 연구, 한국목재공학회 학술논문발표요지집, 한국목재공학회, 10-11.
- 김동진, 2005, CCA 방부처리 목재로부터 용출된 중금속과 유류 유출에서 비롯된 유기화합물 의한 토양오염 특성, 강원대학교 이학박사 학위논문.
- 김석영, 2001, 목재 방부처리 업계의 현황, 제4회 목재공학회 산학연 심포지움: 목재의 방부 · 방충 세미나.
- 나중범, 김규혁, 1995, 크롬-구리 화합물계 목재방부제의 정착 및 용탈특성 비교, 목재공학, 23, 66-72.
- 이재근, 김길동, 1995, 목재방부처리에 관한 연구; CCA 및 ZKF를 중심으로, 상명대학교 산업과학연구소, 산업과학연구, 7, 133-123.

조남훈, 2005, 목재방부제 CCA로 처리된 목재로부터 물과의 접촉으로 인한 구리, 크롬 및 비소의 용출에 대한 실험실 평가, 강원대학교 이학석사 학위논문.

환경부, 2001, 토양오염기준.

환경부, 2002, 토양오염공정시험법.

Archer, K. and Preston, A., 1994, Depletion of wood preservatives after four years' marine exposure at Mt Maunganui harbor, NZ (IRG/WP94-50036), Stockholm: The International Research Group on Wood Preservation.

Belluck, D.A., Benjamin, S.L., Baveye, P., Sampson, J., and Johnson, B., 2003, Widespread arsenic contamination of soils in residential areas and public spaces: an emerging regulatory or medical crisis? *Int. J. Toxicol.*, 22, 109-128.

Blassino, M., Solo-Gabriele, H., and Townsend, T., 2002, Pilot scale evaluation of sorting technologies for CCA treated wood waste, *Waste Manage. Res.*, 20, 290-301.

Bouyoucos, G.J., 1936, Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method, *Soil Sci.*, 4, 225-228.

Chirenje, T., Ma, L.Q., Clark, C., and Reeves, M., 2003, Cu, Cr and As distribution in soils adjacent to pressure-treated decks, fences and poles, *Environ. Pollut.*, 124, 407-417.

Dawson, B.S.W., Parker, G.F., Cowan, F.J., and Hong, S.O., 1991, Inter-laboratory determination of copper, chromium, and arsenic in timber treated with wood preservative, *Analyst*, 116, 339-346.

DEFRA and Environmental Agency, 2002, Contaminated Land Exposure Assessment Model (CLEA): Technical basis and algorithms, Report CLR 10, Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK.

Hingston, J.A., Collins, C.D., Murphy, R.J., and Lester, J.N., 2001, Leaching of chromated copper arsenate wood preservatives: a review, *Environ. Pollut.*, 111, 53-66.

Prado, A.G.S. and Airoidi, C., 2003, Humic acid-divalent cation interactions, *Thermochimica Acta*, 405, 287-292.

Robinson, B., Greven, M., Green, S., Sivakumaran, S., Davidson, P., and Clothier, B., 2005, Leaching of copper, chromium and arsenic from treated vineyard posts in Marlborough, New Zealand, *Sci. Total Environ.*, In Press.

Schultz, T.P., Nicholas, D.D., and Pettry, D.E., 2002, Depletion of CCA-C from ground-contact wood: results from two field sites with significantly different soils, *Holzforchung*, 56, 125-129.

Solo-Gabriene, H. and Townsend, T.G., 1999, Disposal practices and management alternatives for CCA-treated wood waste, *Waste Manage. Residential*, 17, 378-389.

Stilwell, D.E. and Graetz, T.J., 2001, Copper, chromium, and arsenic levels in soil near highway traffic sound barriers built using CCA pressure-treated wood, *Bull. Environ. Contam. Tox.*

*icol.*, **67**, 303-308.

Townsend, T., Solo-Gabriele, H., Tolaymat, T., Stook, K., and Hosein, N., 2003, Chromium, copper, and arsenic concentrations in soil underneath CCA-treated wood structure, *Soil Sediment Contam.*, **12**, 779-798.

Tyler, L.D. and McBride, M.B., 1982, Mobility and extractability of cadmium, copper, nickel and zinc inorganic and mineral soil columns, *Soil Sci.*, **134**, 198-205.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2002, Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for

Superfund Sites, Appendix A, USA.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/wqcriteria.html#priority>

Weis, J.S. and Weis, P., 1995, Effects of chromated copper arsenate (CCA) pressure treated wood in the aquatic environment. *Ambio*, **24**, 269-274.

Zagury, G.W., Sampson, R., and Deschenes, L., 2003, Occurrence of metals in soil and groundwater near chromated copper arsenate-treated utility poles, *J. Environ. Qual.*, **32**, 507-514.