

토양 특성이 CCA 처리재로부터 방부제 성분의 용탈에 미치는 영향*1

정 용 기*2 · 김 규 혁*3†

Effect of Soil Properties on Leaching of Preservative Components from CCA-treated Wood*1

Yong Gi Jeong*2 · Gyu-Hyeok Kim*3†

요 약

본 연구는 지접부용 처리목재의 지하부에서 발생하는 방부제 유효성분의 용탈에 관한 연구로 토양의 물리 및 화학적 특성이 방부제 유효성분의 용탈에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수행하였다. CCA 처리 라디에타소나무 시편을 국내의 대표적인 네 가지 토양(미사질양토, 양토, 사질양토, 사토)에 매립하여 12주간의 용탈기간 동안 토양이 항상 물로 포화된 상태가 유지되도록 토양 용탈시험을 실시하였으며, 토양 용탈시험 결과와 비교할 목적으로 물 용탈시험을 병행하여 실시하였다. 토양 종류에 따른 처리목재로부터 방부제 유효성분의 용탈율 차이가 관찰되었으나 토양 용탈은 물 용탈보다 유효성분의 용탈율이 낮았다. CCA 처리목재로부터 크롬, 구리, 비소 용탈율은 각각 사질양토, 양토, 사토에서 가장 높았으며, 모든 유효성분의 용탈율이 미사질양토에서 가장 낮았다. 토양의 물리 및 화학적 특성과 용탈율 간의 관계를 살펴본 결과, 방부제 유효성분의 용탈율이 토양 특성에 의해 매우 상이하게 영향을 받음을 알 수 있었다. CCA 처리목재로부터 구리 용탈은 토양내 치환성 마그네슘 및 염기총량의 영향을 받았다. CCA 처리목재로부터 크롬 용탈은 토양내 치환성 마그네슘(Mg^{2+}) 함량의 영향을 받았으며, 비소 용탈은 토양내 치환성 칼륨(K^+), 중금속인 니켈(Ni), 망간(Mn), 철(Fe), 크롬(Cr), 구리(Cu) 함량의 영향을 받았다. 본 연구 결과와 기존 연구 결과들 간에, 그리고 기존 연구결과들 간에도 토양 특성과 방부제 유효성분 용탈율 간의 관계가 서로 상이하게 보고되고 있다. 따라서 앞으로 이에 대한 보다 심도 있는 연구가 필요하리라 판단된다. 또한 실험실 규모의 용탈시험을 통해 얻은 본 연구의 결과를 입증하기 위해서 수분 조건과 토양 미생물의 종류와 분포가 상이한 실제 야외 지접부 환경에서의 연구가 반드시 필요하다.

* 1 접수 2005년 6월 28일, 채택 2005년 9월 22일

* 2 국립산림과학원, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

* 3 고려대학교 생명환경과학대학, College of Life and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136-713, Korea.

† 주저자(corresponding author) : 김규혁(e-mail: lovewood@korea.ac.kr)

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effect of soil types and soil properties on wood preservative leaching. Radiata pine (*Pinus radiata* Don.) sapwood stakes, which had been treated with 2.0%(w/v) CCA, were leached for 12 weeks by a common laboratory method in four different soils and for 14 days by the AWWPA standard leaching method in water. The physical and chemical properties of the four soils were determined, and the percent leaching of the individual component of CCA was correlated with the various soil properties. The data show that leaching of preservative chemicals from treated wood exposed to soil is influenced by the type of soil. The preservative leaching was greater when wood was exposed to water than when the wood was in contact with water-saturated soil. The greatest chromium, copper and arsenic leaching from CCA-treated stakes were observed in the sandy loam, loam, and sand, respectively, and the least amount of leaching of CCA components occurred in the silty loam. The leaching of preservative components from treated wood is extremely complex and appears to be influenced differently by the soil properties. The extent of copper leaching from CCA treated wood appears to be related to exchangeable Mg and sum of bases. There is a reasonably good relationship between chromium leaching and exchangeable Mg, and between arsenic leaching and exchangeable K, soil Ni, Mn, Fe, Cr, or Cu content. Since this study was conducted based on laboratory leaching method using small cross-sectional dimensions; thus, data obtained from this experiment should not be used to predict leaching characteristics from commercial-size wood used in real situation. Accordingly, further studies are necessary using outdoor ground-contact leaching.

Keywords: CCA, radiata pine, leaching, soil types, soil properties

1. 서 론

크롬·구리·비소화합물계 방부제(chromated copper arsenate: CCA)의 유효성분은 처리목재에 대한 적절한 양생이 이루어지면 상당한 용탈 저항성을 유지한다. 그러나 10여 년 전부터 비록 그 양이 소량일지라도 사용중인 처리목재로부터 용탈되는 독성 유효성분에 의한 처리목재 접촉자의 건강위해 문제와 처리목재 시설 장소의 환경오염 문제에 대한 일반 대중의 불신이 크게 증폭되고 있는 것이 사실이다. 또한 방부제 유효성분의 용탈 문제는 처리목재의 장기 방부효능, 즉 내구성 저하 측면도 매우 중요하다. 따라서 처리목재로부터 유효성분의 용탈과 용탈 성분에 의해 발생 가능한 제반 문제점에 대한 심도있는 연구가 국내외에서 지속적으로 수행되어 오고 있다.

처리목재로부터 유효성분의 용탈 정도는 용탈매체의 종류와 특성 등에 의해 영향을 받는다. 강우에 의

한 유효성분 용탈에 관한 연구는 그 동안 비교적 연구 결과가 많이 축적된 관계로 실제 야외 사용환경에서 비지점부용(사용환경 범주 H3) 처리목재나 지점부용(사용환경 범주 H4) 처리목재의 지상부로부터 용탈되는 유효성분의 양을 예측하는 것은 어려운 일이 아니다. 그러나 토양과 직접 접촉되어 사용되는 지점부용 처리목재의 지하부에서 발생하는 용탈에 대한 연구는 그리 많지 않은 관계로 제반 토양 특성들이 유효성분의 용탈을 어떻게 영향하는지에 대해서는 아직도 정보가 극히 부족한 상태이다.

매우 복잡한 물질전달(mass transfer) 현상과 화학반응(chemical reaction) 과정을 통해 토양 내에서 발생하는 방부제 유효성분의 용탈은 토양의 물리 및 화학적 특성에 의해 크게 좌우된다(Archer and Jin 1994; Crawford *et al.*, 2002; Schultz *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 1998). 또한 토양 특성에 의해 크게 좌우되는 토양미생물의 종류와 분포도 방부제 유효성분

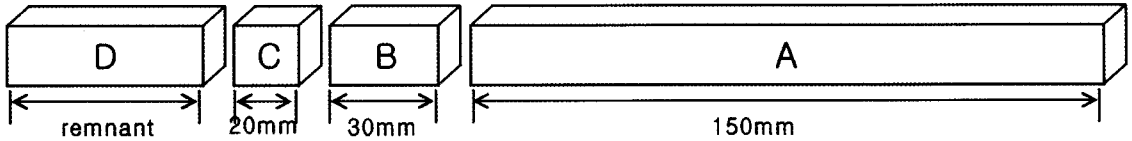


Fig. 1. Preparation of samples for (A) soil leaching tests, (B) original retention measurements, and (C) water leaching tests.

의 용탈을 크게 영향할 것이라 사료된다. 더욱이, 동일 토양에서도 방부제 흡수량이 같은 동일 수종의 처리목재 간에도 용탈량 차이가 관찰되기도 한다 (Schultz *et al.*, 2002). 이처럼 토양 내에서 발생 가능한 방부제 유효성분의 용탈은 변이가 매우 심하여 용탈을 영향하는 토양 특성을 결정하고, 처리목제로부터 용탈되는 방부제 유효성분의 양을 예측하는 것은 결코 용이한 일은 아니다.

본 연구는 지집부용 처리목재의 지하부에서 발생하는 방부제 유효성분의 용탈에 관한 연구로 국내의 대표적인 네 가지 토양(미사질양토, 양토, 사질양토, 사토)을 대상으로 토양의 물리 및 화학적 특성이 CCA 처리 라디에타소나무(*Pinus radiata* Don.) 목재로부터 방부제 유효성분인 크롬, 구리, 비소 용탈에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 목재 시험편 준비

라디에타소나무 변재부 판재로부터 횡단면 치수가 15×15 mm이고 길이가 250 mm인 시험편 100개를 준비하여 함수율이 15% 선이 될 때까지 실내에서 건조시켰다. 시험편의 방부처리는 충세포법(full-cell process)으로 실시되었는데, 760 mmHg의 진공하에서 30분간 전매기를 실시한 후 2%(w/v) CCA-3호 수용액을 주약관 내로 유입하고 14 kg/cm²의 압력으로 1시간동안 가압하였다. 방부처리 후 모든 처리 시험편들을 60°C에서 48시간 동안 비건조양생 후 실내에서 충분한 기간 동안 재건조시켰다. 모든 방부처리 시험편의 한쪽 끝에서 150 mm 길이의 토양 용탈시험용

시험편을 잘라낸 다음, 차례로 길이 30 mm의 방부제 원 흡수량(original retention) 측정용 시험편과 길이 20 mm의 물 용탈시험용 시험편을 채취하였다(Fig. 1).

2.2. 토양 준비 및 분석

사전 기초토양조사에 의거하여 토성(soil texture)이 상이할 것으로 예상된 4개 지역(강원 화천, 경기 양평, 충북 청원, 서울 홍릉)에서 표층으로부터 30 cm 깊이의 토양을 필요량 채취하여 자갈, 식물체 뿌리 등을 제거하였다.

토양 용탈시험에 사용될 토양의 물리 및 화학적 특성을 조사하기 위하여 토양을 실내에서 충분히 건조한 후 2.0 mm 체를 통과시켜 준비하였다. 토성은 비중계법, pH는 pH meter법, 유기물은 Tyurin법, 전질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법, 양이온 치환용량은 Brown법, 치환성 양이온중 K⁺, Na⁺는 flame photometer법, Ca²⁺, Mg²⁺는 EDTA 적정법, 토양내 중금속은 X-ray fluorescence 분석법을 이용하여 측정하였다(농업과학기술원 2000).

토양 용탈시험에 사용된 토양의 물리 및 화학적 특성은 Table 1, Table 2, Table 3에 보여준다. 토성분석 결과, 네 지역의 토양은 서로 다른 네 종류의 입도 분포를 갖는 토성, 즉 미사질양토(silty loam; SiL), 양토(loam; L), 사질양토(sandy loam; SL), 사토(sand; S)로 나타났다. pH는 5.09~5.42 정도로 일반적인 우리나라 산림토양의 pH 범위(4.0~6.0) 내에 있었다. 유기물, 전질소 및 유효인산 함량은 각각 1.54~6.97%, 0.068~0.302%, 5.05~32.72 mg/kg으로 넓은 변이를 보여 본 연구에서 선정된 공시토양은 토양 특성이 방부제 유효성분의 용탈에 미치는 영향을 구명하기에 적절할 것으로 판단되었다. 양이온치

Table 1. Characteristics of the soils used in soil leaching tests

| Sampling location | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | Soil texture | pH (H ₂ O) | Organic matter (%) | Total nitrogen (%) | P ₂ O ₅ (mg/kg) |
|-------------------|----------|----------|----------|--------------|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Cheongwon | 21.8 | 58.3 | 19.9 | SiL | 5.11 | 2.36 | 0.141 | 8.87 |
| Yangpyeong | 51.0 | 41.9 | 7.1 | L | 5.09 | 3.60 | 0.193 | 5.05 |
| Hwacheon | 55.6 | 37.6 | 6.8 | SL | 5.32 | 6.97 | 0.302 | 3.39 |
| Hongreung | 89.7 | 7.1 | 3.2 | S | 5.42 | 1.54 | 0.068 | 32.72 |

Table 2. Cation exchange capacity (CEC), exchangeable cations and base saturation of the soils used in soil leaching tests

| Sampling location | CEC (cmol ⁺ /kg) | Exchangeable cations (cmol ⁺ /kg) | | | | | Base saturation (%) |
|-------------------|-----------------------------|--|-----------------|------------------|------------------|--------------|---------------------|
| | | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Sum of bases | |
| Cheongwon | 13.20 | 0.55 | 0.11 | 2.14 | 1.28 | 4.08 | 30.91 |
| Yangpyeong | 13.64 | 0.40 | 0.09 | 0.73 | 0.37 | 1.59 | 11.66 |
| Hwacheon | 16.83 | 0.50 | 0.09 | 2.37 | 0.70 | 3.66 | 21.75 |
| Hongreung | 4.84 | 0.28 | 0.09 | 2.25 | 0.79 | 3.41 | 70.45 |

Table 3. Heavy metal contents of the soils used in soil leaching tests

| Sampling location | Fe | Mn | Zn | As | Cd | Cr | Ni | Pb | Cu |
|-------------------|-------------------|-------|-----|----|----|-----|----|----|----|
| | ----- (ppm) ----- | | | | | | | | |
| Cheongwon | 42,730 | 576 | 100 | 11 | 6 | 144 | 42 | 10 | 23 |
| Yangpyeong | 48,530 | 587 | 101 | 14 | 2 | 187 | 83 | 22 | 33 |
| Hwacheon | 37,980 | 627 | 86 | 15 | 1 | 100 | 33 | 36 | 11 |
| Hongreung | 25,450 | 1,671 | 88 | 13 | 4 | 27 | 12 | 28 | 7 |

환능력(cation exchange capacity: CEC)은 홍릉 토양의 4.84 cmol⁺/kg을 제외하고 나머지 세 지역 토양의 경우는 유사하였다. 치환성 양이온 함량은 이온의 종류에 관계없이 비슷한 경향을 보였으나 CEC와 염기총량에 의한 염기포화도의 값은 11.66~70.45%의 넓은 변이를 보였다.

2.3. 토양 용탈시험

직경이 150 mm이고 깊이가 155 mm인 원통형 플라스틱 용기 20개(4개 토양 × 5 반복)를 준비하여 바닥 중앙에 20 mm 직경의 구멍을 뚫었다. 용기 내부 바닥에 플라스틱 메쉬(mesh)를 위치시키고 용기 높

이의 2/3까지 토양을 채운 다음 토양 용탈시험용 시편을 수직으로 토양 중에 끼워 넣었다. 용기당 시편 5개를 배열하였는데, 용기 중앙에 1개, 나머지 4개는 용기 중앙을 중심으로 네 방향에 위치시킨 후 시편의 끝이 토양 표면과 일치되도록 나머지 토양을 용기에 채웠다.

토양 용탈시험은 Crawford 등(2002)이 사용하였던 방법을 참조하여 다음과 같이 실시하였다. 테이프를 사용하여 용기 바닥의 구멍을 막고 시편이 배열된 용기내로 토양 표층에 물이 고이기 직전까지 증류수를 첨가하였다. 이 상태로 24시간을 유지시킨 후, 용기 하부의 테이프를 떼어내어 토양내 과잉 수분을 제거하였다. 용기 윗면을 비닐 커버로 씌워 토양으로부터

수분의 손실을 최대한 예방하면서 25°C 전후의 온도가 유지되는 실내에서 12주간 토양 용탈을 실시하였다. 토양내 높은 함수율을 계속 유지시키기 위하여 일주일에 1회씩 일정량의 증류수를 토양에 첨가하였다.

12주간의 토양용탈이 종료된 후, 처리 시편을 토양에서 뽑아내어 표면에 묻은 흙을 털어내었다. 다음으로 시편 표면을 증류수로 가볍게 씻어내고, 종이 타올로 표면을 닦아준 다음 실내에서 일정 기간 기건하고 최종적으로 50°C 건조기에서 항량에 도달할 때까지 건조하였다.

토양 용탈시험 결과와 비교할 목적으로 CCA 처리 시편에서 채취된 물 용탈시험용 시편 20개씩을 임의로 선정하여 물 용탈시험을 미국 목재보존협회(American Wood-Preservers' Association: AWP) 표준규격 AWP E11-97 (AWPA 2002)에 의거하여 실시하였다.

2.4. 방부제 분석

CCA 처리 시편의 원 흡수량, 12주간 토양 용탈이 종료된 시편내 방부제 유효성분 잔류량, 14일간의 물 용탈이 종료된 시편내 방부제 유효성분 잔류량을 X-ray fluorescence analyzer를 이용하여 정량하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 4에서 볼 수 있듯이 용탈매체로 사용된 토양 종류에 따라 처리목재(CCA 평균 흡수량=8.83 kg/m³)로부터 방부제 유효성분의 용탈을 차이가 관찰되었다. CCA 처리목재로부터 크롬, 구리, 비소 용탈율은 각각 사질양토(SL), 양토(L), 사토(S)에서 가장 높았으며, 모든 유효성분의 용탈율이 미사질양토(SiL)에서 가장 낮았다. 사질양토에서의 크롬 용탈율은 양토와 사토에서의 용탈율과는 통계학적으로 유의성($\alpha=0.05$)이 있는 차이가 존재하지 않았으나 미사질양토에서의 용탈율은 유의성이 있는 차이가 존재하였다. 또한 양토와 사질양토 및 사토간의 구리 용탈율 차이는 유의성이 인정되지 않았으나 양토, 사질양토 및 사토와 미사질양토 간에는 통계학적으로 유의성이 인정되는

Table 4. Average percent preservative components leached from CCA-treated stakes after exposure to four different soils and water*¹

| Leaching medium | Soil texture | Preservative component (%) | | |
|-----------------|--------------|----------------------------|-------------------|--------------------|
| | | CCA-Cr | CCA-Cu | CCA-As |
| Soil | SiL | 5.47 C (4.19) | 5.95 B (3.47) | 7.71 B (6.41) |
| | L | 8.63 B (5.72) | 10.77 A (5.99) | 10.15 B (8.27) |
| | SL | 8.80 B (6.02) | 9.20 A (6.09) | 9.11 B (6.21) |
| | S | 6.74 BC (3.64) | 10.11 A (5.04) | 10.85 B (6.87) |
| Water | | 12.87 A (6.12) | 12.27 A (5.73) | 34.18 A (14.46) |

*¹Numbers in parenthesis represent one standard deviation from the mean. Values followed by the same letter for a given preservative ingredient do not differ significantly at $\alpha < 0.05$.

용탈을 차이가 관찰되었다. 비소 용탈율의 경우는 토양 종류간에 유의성이 인정되지 않았다. 토양 종류에 따른 처리목재로부터 방부제 유효성분의 용탈을 차이를 토양 종류별 수분 보유력 차이로도 볼 수 있지만, 본 연구에서 사용된 토양 용탈방법(12주간의 용탈기간 중 토양이 항상 물로 포화된 상태)을 고려할 때 용탈율 차이를 토양의 수분 보유력 차이로 설명할 수는 없었다. 참고로 미국의 다섯 지역(Georgia, Michigan, Mississippi, New York, Wisconsin) 토양을 용탈 매체로 사용한 CCA 처리목재로부터 유효성분 용탈에 관한 연구에서도 Crawford 등(2002)은 구리와 비소 용탈율이 토성, 즉 토양내 모래(sand), 미사(silt), 점토(clay)의 구성비율과는 관계가 없다고 하였다. 따라서 토양 종류에 따른 방부제 유효성분의 용탈을 차이가 토양 특성 차이에 기인한다고 판단하여 토양의 물리 및 화학적 특성이 방부제 유효성분의 용탈을 어떻게 영향하는지를 조사하였다.

CEC가 높은 토양은 금속 이온에 대한 강한 결합력을 보유하기 때문에 CEC가 높은 토양일수록 처리목재로부터 유효성분인 구리, 크롬, 비소의 용탈을 가속시킬 수 있을 것이다. 그러나 본 연구의 결과에 의하

면 토양 CEC와 방부제 유효성분인 금속 이온 용탈을 간에는 어떠한 관계도 성립되지 않았다. Archer와 Jin (1994), 그리고 Wang 등(1998)도 토양 CEC와 CCA 처리목재로부터 구리와 비소의 용탈율과는 관계가 없다고 보고한 바 있다.

용탈매체인 물의 산도가 CCA 처리목재로부터 유효성분의 용탈을 영향한다는 보고(Cooper 1991; Cooper and Ung 1992; Kim and Kim, 1993)와 토양의 산도가 방부제 유효성분의 용탈을 영향한다는 보고(Crawford *et al.*, 2002; Edlund and Nilsson 1999; Lebow 1996)가 있는데, 본 연구의 결과에서는 토양 산도에 따른 방부제 유효성분의 용탈을 차이가 관찰되지 않았다. 이는 본 연구에 사용된 공시토양의 산도가 pH 5.09~5.42로 매우 좁은 범위 때문인 것으로 사료된다. 따라서 토양 산도가 방부제 유효성분의 용탈에 미치는 영향을 확인하려면 앞으로 보다 넓은 범위의 pH를 갖는 토양을 사용하여야 할 것이다. Wang 등(1998)도 본 연구의 결과와 동일한 보고를 하면서 그 이유를 사용된 토양의 산도 범위(pH 3.38~5.34)가 좁은데 있다고 하였다. 참고로 넓은 산도 범위(pH 4.34~7.59)의 토양을 사용하여 CCA 처리목재로부터 구리의 용탈을 조사한 Crawford 등(2002)은 pH가 낮아지면서 구리 용탈율이 증가하다가 pH 5.5에서 최대 용탈율을 보인 후 그 이후의 pH 감소는 더 이상의 구리 용탈율을 크게 영향하지 않음을 보고하였다.

따라서 토양 종류에 따른 방부제 유효성분의 용탈을 차이를 다른 토양 특성들에 의해 설명할 수 있다고 판단하여 CEC와 토양 산도를 제외한 다른 토양 특성과 방부제 유효성분의 용탈을 간의 관계를 조사하였다. Table 5는 비교적 양호한 상관을 보이는 토양 특성과 유효성분 용탈을 간의 회귀식 및 결정계수(coefficient of determination: R^2)를 보여준다.

치환성 마그네슘(Mg^{2+}) 함량과 CCA 처리목재로부터 유효성분 용탈을 간의 관계는 반비례 관계로 토양 내 Mg^{2+} 함량이 증가할수록 유효성분의 용탈율은 감소하였다. 토양 내 Mg^{2+} 함량과 크롬 및 구리 용탈을 간의 관계는 결정계수 0.80 전후로 양호하였으나 비소 용탈율과의 관계는 결정계수가 0.52로 크롬 및 구리 용탈율과의 관계에 비해서는 양호하지 못하였다. 현재로서 Mg^{2+} 함량이 어떤 이치로 CCA 처리목재로부터 유효성분의 용탈을 영향하는지에 대해서는 불분명하다.

CCA 처리목재로부터 구리 용탈이 토양 내 염기총량에 의해 영향을 받는 것으로 밝혀졌는데, 염기총량이 증가할수록 다음 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 구리 용탈율이 급격하게 감소됨을 알 수 있었다. Crawford 등(2002)은 토양 내 염기포화도, 크롬 및 구리 함량이 CCA 처리목재로부터 구리 용탈율과 관계가 있다고 보고하였는데, 본 연구에서는 이들 간의 관계가 관찰되지 않았다.

Table 5. Regression equations between soil property and percent leached of preservative component

| Percent leached of preservative component (Y) | Soil property (X) | Regression equations | R^2 |
|---|-------------------|--------------------------------|-------|
| CCA-Cr | Mg^{2+} | $Y = -3.7411X + 10347$ | 0.78 |
| CCA-Cu | Mg^{2+} | $Y = -5.3139X + 13.179$ | 0.87 |
| | Sum of bases | $Exp(Y) = -18,032 + 78,043$ | 0.93 |
| CCA-As | K+ | $Y = 3.4210(1/\ln X) + 13.725$ | 0.96 |
| | Mg^{2+} | $Y = -2.6287X + 11.519$ | 0.52 |
| | Ni | $Y = -0.0414X + 11.220$ | 0.81 |
| | Mn | $Y = -0.0015X + 11.214$ | 0.69 |
| | Fe | $Y = -1.1278X + 13.817$ | 0.66 |
| | Cr | $Y = -0.0159X + 11.276$ | 0.64 |
| | Cu | $Y = -0.0856X + 11.045$ | 0.56 |

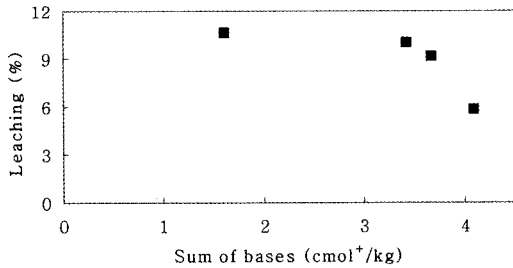


Fig. 2. The relationship between sum of bases and percent copper leached from CCA-treated stakes.

토양내 치환성 칼륨(K⁺), 중금속인 니켈(Ni), 망간(Mn), 철(Fe), 크롬(Cr), 구리(Cu) 함량과 CCA 처리목재로부터 비소 용탈율간의 관계는 반비례 관계로 K⁺ 함량과 상기 중금속 함량이 증가할수록 비소 용탈율은 감소하였다. 토양내 K⁺ 함량과 비소 용탈율간의 관계는 Crawford 등(2002)의 보고와 일치하며, 토양내 구리 함량과 비소 용탈율간의 관계는 Wang 등(1998)과 Crawford 등(2002)의 보고와 일치한다.

Crawford 등(2002)은 토양내 유기물 및 비소 함량이 CCA 처리목재로부터 비소 용탈율을 영향한다고 보고하였는데, 본 연구에서는 이들의 영향은 관찰되지 않았다. Schultz 등(2002)이 실시한 실제 야외폭로 시험에서도 토양내 구리 및 비소 함량이 CCA 처리 말목(stake)으로부터 구리와 비소 용탈과는 전혀 관계가 없었다. 토양 내에서 비소는 철과 강하게 결합되기 때문에(Petry and Switzer 2001) 토양내 철 함량이 높을수록 처리목재로부터 비소 용탈이 증가할 수 있는데, 본 연구의 결과에 의하면 토양내 철 함량이 증가할수록 비소 용탈은 감소하였다. 이러한 결과로부터 처리목재로부터 유효성분의 용탈 현상은 하나의 특정 토양인자 보다는 토양인자들의 복합적인 영향에 의해 좌우된다고 할 수 있다.

지금까지 토양 특성과 용탈율 간의 관계를 살펴본 결과, 방부제 유효성분의 용탈율이 토양 특성에 의해 매우 상이하게 영향을 받음을 알 수 있었다. 또한 본 연구 결과와 기존 연구 결과들 간에, 그리고 기존 연구결과들 간에도 토양 특성과 유효성분 용탈율 간의 관계가 서로 상이하게 보고되고 있었다. 따라서 앞으

로 이에 대한 보다 심도 있는 연구가 필요하리라 판단되며, 또한 실험실 규모의 용탈시험을 통해 얻은 본 연구의 결과를 입증하기 위해서 실제 야외 지점부 환경에서의 연구가 더욱 절실히 필요하다. 참고로 Crawford 등(2002)은 토양내 구리와 비소 함량이 CCA 처리목재로부터 유효성분의 용탈에 중요한 역할을 한다고 하였으나 Schultz 등(2002)이 실시한 야외 폭로시험 결과, 토양내 구리 및 비소 함량이 CCA 유효성분의 용탈율을 영향하지는 못하였다. 이는 실험실 용탈조건과 야외 조건이 상이함을 의미하는데, 본 연구에서는 용탈매체로 사용된 토양이 물로 완전히 포화된 혐기상태(anaerobic conditions)였으나 실제 야외 폭로 시험시 토양은 일정 깊이까지는 혐기상태가 아니다. 이러한 토양중 산소의 존재가 토양 미생물의 종류와 분포를 영향하여 결과적으로 방부처리목재로부터 유효성분의 용탈율을 영향하게 된다고 본다.

그리고 CCA 처리목재가 토양에 노출되었을 때보다는 물에 노출되었을 때 모든 방부제 유효성분 용탈율이 높았는데, 특히 비소의 경우에는 3배 이상 용탈율이 높았다. Wang 등(1998)과 Crawford 등(2002)의 보고에 의하면 구리 용탈은 물보다 토양에서 심하였으나 비소의 경우에는 경향이 일정치 않아 토양의 종류에 따라 물 용탈이 심한 경우도 있었다. 물 용탈시험시 특이한 점은 다량의 비소 성분이 용탈된다는 것이다. Chen과 Walters (1979)가 모의강우(simulated rain)를 이용한 미국 남부송(southern yellow pine) 처리 시편의 용탈시험 결과, 비소가 30% 정도 용탈된다고 보고한 바는 있지만 이는 그동안 수행된 대부분의 연구에서는 CCA 유효성분중 비소가 가장 용탈 저항성이 우수하다는 보고(Lebow 1996)와는 상반된다.

4. 결 론

국내의 대표적인 네 가지 토양(미사질양토, 양토, 사질양토, 사토)을 대상으로 토양의 물리 및 화학적 특성이 CCA 처리 라디에타소나무 목재로부터 방부제 유효성분의 용탈에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수행된 본 연구의 결과로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

물보다는 토양에 노출되었을 때 모든 방부제 유효성분의 용탈율이 낮았으나 토양 종류에 따른 방부제 유효성분의 용탈율 차이가 관찰되었다. 크롬 및 구리 용탈율은 사질양토, 양토, 사토 간에는 유의성 있는 차이가 관찰되지 않았으나 미사질양토에서는 통계학적으로 유의성이 인정되는 용탈율 차이가 관찰되었다. 비소 용탈율은 토양 종류간 유의성이 인정되지 않았다. 토양의 물리 및 화학적 특성과 용탈율 간의 관계를 살펴본 결과, 방부제 유효성분의 용탈율이 토양 특성에 의해 매우 상이하게 영향을 받음을 알 수 있었다. 크롬, 구리, 비소 용탈율은 토양내 치환성 마그네슘(Mg^{2+}) 함량에 의해 영향을 받는데, 치환성 마그네슘 함량이 증가할수록 용탈율이 감소하였다. 또한 구리 용탈율은 토양내 염기총량이 증가할수록 용탈율이 급격하게 감소함을 보였다. 토양내 치환성 칼륨(K^+), 중금속인 니켈(Ni), 망간(Mn), 철(Fe), 크롬(Cr), 구리(Cu) 함량과 비소 용탈율간에는 반비례 관계가 성립하였다.

참 고 문 헌

1. 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법. p. 34~131.
2. American Wood-Preservers' Association. 2002 Standard method of determining the leachability of wood preservatives. AWWPA standard E11-97. Selma, AL, U. S. A.
3. Archer, K. and L. Jin. 1994. An investigation into the influence of soil cation exchange capacity on preservative component depletion. Document No. IRG/WP/94-20050. International Research Group on Wood Preservation. Stockholm, Sweden.
4. Chen, S. C. and C. S. Walters. 1979. The fate of arsenic in pressure treated southern pine plywood exposed to artificial rainfall. *In: Proceedings of American Wood-Preservers' Association* 75: 188~233.
5. Cooper, P. A. 1991. Leaching of CCA from treated wood: pH effects. *Forest Products Journal* 41(1): 30~32.
6. Cooper, P. A. and Y. T. Ung. 1992. Leaching of CCA-C from jack pine sapwood in compost. *Forest Products Journal* 42(9): 57~59.
7. Crawford, D., R. Fox, P. Kamdem, S. Lebow, D. Nicholas, D. Pettry, T. Schultz, L. Sites, and R. Ziobro. 2002. Laboratory studies of CCA-leaching: Influence of wood and soil properties on extent of arsenic and copper depletion. Document No. IRG/WP/02-50186. International Research Group on Wood Preservation. Stockholm, Sweden.
8. Edlund, M.-L. and T. Nilsson. 1999. Performance of copper and non-copper based wood preservatives in terrestrial microcosms. *Holzforschung* 53: 369~375.
9. Kim, J.-J. and G.-H. Kim. 1993. Leaching of CCA components from treated wood under acidic conditions. No. IRG/WP/93-50004. International Research Group on Wood Preservation. Stockholm, Sweden.
10. Lebow, S. 1996. Leaching of wood preservative components and their mobility in the environment. General Technical Report FPL-GTR-93. Forest Products Laboratory, Madison, WI, U. S. A.
11. Pettry, D. E. and R. E. Switzer. 2001. Arsenic concentrations in selected soils and parent materials in Mississippi. MAFES Bulletin 1004, Mississippi State University, Starkville, MS, U. S. A.
12. Schultz, T. P., D. D. Nicholas, and D. E. Pettry. 2002. Depletion of CCA-C from ground-contact wood: Results from two field sites with significantly different soils. *Holzforschung* 56(2): 125~129.
13. Wang, J.-H., D. D. Nicholas, L. S. Sites, and D. E. Pettry. 1998. Effect of soil chemistry and physical properties on wood preservative leaching. No. IRG/WP/98-50111. International Research Group on Wood Preservation. Stockholm, Sweden.