

ACQ 방부처리목재로부터 용탈된 구리에 의한 토양오염 평가¹

나 종 범^{2,†}

Evaluation of Soil Contamination by Copper Depleted from ACQ-Treated Wood¹

Jong-Bum Ra^{2,†}

요 약

본 연구는 국내에서 사용되는 ACQ 방부처리목재로부터 토양으로 용탈된 구리에 의해 발생하는 토양오염 정도를 평가하기 위하여 수행되었다. 야외시험장에서 3년 동안 노출된 방부처리목재 주변의 토양을 분석하여 구리의 용탈량 및 용탈된 구리의 이동범위를 산정하였으며, 전남 및 경남에서 ACQ 방부처리목재가 사용된 데크 주변의 토양을 분석하여 구리에 의한 토양오염 정도를 평가하였다. 야외노출시험은 방부처리목재의 횡단면에서 용탈되는 구리의 양이 목재의 측면에서 용탈되는 구리의 양보다 1.5배 이상 높다는 것과 토양 내에서의 구리의 이동이 매우 제한적인 것을 보여주었다. 근린공원에 설치된 데크 기둥 주변의 토양 분석은 방부처리목재로부터 10 cm 이내의 토양 내 구리 함유량이 대부분 2지역 토양오염우려기준인 500 mg/kg을 초과하지 않았다는 것을 보여주었다. 야외노출시험의 경우 깊이 10 cm 이내의 토양에서 구리의 분포범위가 사용 중인 데크 기둥 주변의 토양에서보다 훨씬 넓은 것으로 나타났는데 이는 야외노출시험에 사용된 방부처리목재의 약제보유량이 데크 기둥의 경우보다 두 배 이상 높은 것에서 기인한다고 판단된다.

ABSTRACT

This research was performed to evaluate soil contamination caused by copper depleted from ACQ-treated wood. Three years after the exposure of ACQ-treated wood in the field test sites, soil samples around the treated wood were collected and analyzed for the copper amount and distribution through soil. Soils around the deck posts installed in five different neighborhood parks located in Chonnam and Gyeongnam were investigated for copper contents. The results of the field test showed that the amount of copper leached from the end surface of treated wood buried under soil was more than 1.5 times the copper amount leached from the lateral surfaces, and the mobility of copper was very

¹ Date Received April 15, 2015, Date Accepted May 15, 2015

² 경남과학기술대학교 건설환경공과대학 인테리어재료공학과. Department of Interior Materials Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

[†] 교신저자(corresponding author) : 나종범(email: jb@gntech.ac.kr)

restricted in soil. The copper contents of soil within 10 cm from the treated deck posts installed in the parks showed to be less than 500 mg/kg, which are the limit values of the 2nd region set up by enforcement regulation of soil environment conservation act. The distribution ranges of copper in soil from the treated wood set up in the field test sites seemed to be much wider than those from deck posts, which may explained by the fact that the retentions of the treated samples used in the field test sites were much higher than those of the deck posts.

Keywords : Alkaline Copper Quaternary, copper, soil contamination, field test, deck

1. 서 론

국내 목재보존산업에서 가장 많이 사용되고 있는 목재방부제는 구리화합물계 수용성 목재방부제인 Alkaline Copper Quaternary (ACQ)이다. ACQ의 사용량은 구리화합물계 목재방부제인 Chromated Copper Arsenate (CCA)가 환경부에 의해 제조 및 유통이 금지된 2007년을 기점으로 급격히 증가하였다. 현재 대부분의 방부처리목재가 ACQ로 처리되고 있으며 이러한 경향은 앞으로도 당분간 지속될 것으로 보인다.

ACQ가 다른 목재방부제들과의 경쟁에서 우위를 점할 수 있는 가장 큰 요인은 ACQ의 가격경쟁력을 높게 만드는 국내의 특수한 상황에 기인한다. 국내에서 사용되는 대부분의 ACQ는 국내 목재방부제 제조회사에서 자체적으로 제조되지만, 방부성능 및 효능과 관련된 실험(예; 용탈 및 야외노출 시험 등)은 거의 수행되지 않았다. 이는 방부제 유효성분들의 성분비만 적합하다면 제조된 목재방부제가 국내 시장에서 정상적으로 유통될 수 있기 때문이다. 이와 같은 국내의 목재방부제 유통체계는 영세한 목재방부제 제조업체들에게 실험에 들어가는 비용을 면제해줌으로서 규모가 큰 국제적인 화학회사들과의 경쟁에서 살아남을 수 있게 하는 경쟁력을 부과하였다. 그러나 제조된 제품들의 성능을 비교할 수 있는 객관적인 자료가 없다는 것은 방부처리목재 제조공정에서 큰 단점이 발견되지 않는 이상 목재방부제를 선정하는 기준이 성능이 아닌 가격이 된다는 것을 의미하게 된다. 물론 가격이 저렴하기 때문에 방부효능이나 정착특성이 떨어진다고 단정할 수는 없지만 각 제품들의 성능을 비교할 수 있는 공식적인 자료 및 판단근거가 없다는 것은 방부약제의 효력에 대한 우려를

일으키는 요인이 되기도 한다.

국내에서 ACQ 방부처리목재와 관련된 가장 중요한 현안은 침윤도와 보유량이 달성된 방부처리목재의 유통을 확립하는 것과 방부제 유효성분 중 구리의 용탈에 의한 환경오염을 최소화하는 것이다. 침윤도 및 보유량이 달성되지 않은 불량 방부처리목재의 유통 제한은 품질인증 및 품질표시제도의 시행에 의해 점차 개선되고 있는 것으로 판단된다. 물론 불량 방부처리목재의 유통이 완전히 근절되었다고 보기는 어렵지만 품질표시제도의 시행은 방부처리업체들로 하여금 목재사용환경에 적합한 보유량과 침윤도를 달성한 방부처리목재를 생산하도록 많은 노력을 기울이게 만들고 있다. 그러나 방부처리목재로부터 용탈되는 구리에 의한 환경오염에 대한 우려는 계속 증가하고 있는데 이러한 상황은 ACQ 방부처리목재의 환경 특성을 평가하기 위한 자료의 부족에 의해 더욱 심화되고 있는 것으로 보인다.

국내에서 ACQ 방부처리목재의 성능과 관련된 실험은 대부분 실험실 규모로 진행되었다(Ra *et al.* 2009; Choi *et al.* 2011; Lee and Choi 2014). 방부제 유효성분들의 정착 및 용탈 특성에 대한 실험이 주로 수행되었는데, 이러한 실험들은 정밀하게 통제된 환경에서 진행되기 때문에 실제 환경에서 발생하는 결과와는 상당한 차이가 존재한다. 특히 국내에서 사용되는 ACQ의 종류가 다양할뿐더러 방부처리공정에서의 방부처리 및 양생방법이 실험실에서 수행되는 방식과 상이한 점이 있기 때문에 실험실에서 수행된 실험 결과를 일반적으로 적용시키는 것은 쉽지 않다. 결론적으로 사용 중인 건축 및 조경시설에 설치된 방부처리목재로부터 방부제 유효성분의 용탈 정도를 평가할 수 있는 실질적인 자료가 시급한 실

정이다.

본 연구의 목적은 국내에서 사용되는 ACQ 방부처리목재로부터 토양으로 용탈된 구리에 의해 발생하는 토양오염 정도를 평가하는 것으로 ACQ 방부처리목재가 토양오염에 미치는 영향을 평가하기 위하여 다음 두 가지 단계로 수행되었다. 첫째, 야외시험장에 설치되어 3년 동안 노출된 방부처리목재 주변의 토양을 분석하여 구리의 용탈량 및 용탈된 구리의 이동범위를 산정하였으며, 둘째 실제 사용 중인 조경시설물(테크) 주변의 토양을 분석하여 방부처리목재로부터 용탈된 구리에 의한 토양오염 정도를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 방부처리목재의 야외노출시험

소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.) 판재를 구입한 후 실내에서 함수율이 19% 미만으로 떨어질 때까지 자연건조를 실시하였다. 충분히 건조된 소나무의 변재부로부터 5 × 10 × 40 cm 크기의 무결점 시편을 제조하였다. 제조된 시편은 1% ACQ-2 용액을 이용하여 방부 처리되었는데, 처리조건은 전배기(60 mmHg) 30분, 가압처리(9 kg/cm²) 2시간, 후배기(60 mmHg) 30분을 적용하였다. 실험에 사용된 소나무의 전건비중은 0.56으로 방부처리 후 함수율이 140%에서 150% 사이의 시편을 사용하였으며, 방부처리된 시편들은 함수율이 19% 이하로 될 때까지 자연건조를 실시하였다. 처리된 목재의 방부제 보유량은 6.0 ~ 6.5 kg/m³ 범위로 국내 H4 목재사용환경에 적용되는 보유량을 만족시켰다.

진주에 위치한 방부처리목재 야외시험장에서 선정된 10개의 방부처리시편들을 약 20 cm 정도 토양에 삽입한 후 3년 동안 야외노출시험을 실시하였다. 3년의 야외노출이 종료된 후 시편 주변에서 토양 샘플을 채취하였다(Fig. 1).

야외시험장의 토양은 예전에 과수원으로 사용된 부지로 15년 넘게 방치되어 있었으며 대나무와 관목 등으로 우거져 있던 곳이다. 목재부후지수는 55 정

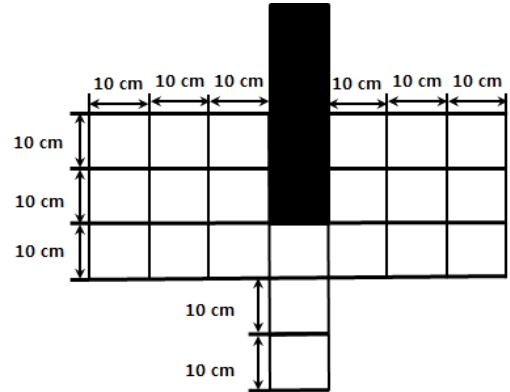


Fig. 1. The method to obtain the soil samples around ACQ-treated woods installed in the field test site.

도로 부후위험이 중간정도인 곳이다(Kim and Ra 2014). 토양은 clay와 sandy soil 사이의 특성을 보이며 언덕에 위치해 있기 때문에 배수가 잘 되지만 토심이 깊기 때문에 토양이 축축한 상태로 유지된다. 토양 pH는 6에서 6.5 정도로 약산성이었으며 구리함유량은 4~6 mg/kg인 것으로 나타났다.

2.2. 조경시설물 주변의 토양샘플 채취

경남 진주, 사천, 산청 및 전남 순천, 광양에 위치한 다섯 곳의 근린공원에 설치된 테크를 대상으로 구리에 의한 토양 오염 정도를 평가하였다. 테크 기둥으로 사용된 방부처리목재로부터 30 cm 이내의 토양을 10 cm 간격(깊이 10 cm)으로 채취한 후 정량 분석을 실시하여 토양에 존재하는 구리의 양을 파악하였다. 각각의 테크로부터 토양과 직접적인 접촉이 되어 있지 않는 다섯 개씩의 테크 기둥을 선정하였다(Fig. 2).

2.3. 토양내 구리 함유량 분석

채취된 토양샘플은 왕수추출법(Aqua regia extracts of soil)을 적용하여 전처리를 실시하였다. 핀셋을 이용하여 자갈 등의 이물질을 제거한 후 동결 건조하였으며, 건조된 시료는 40 mesh로 거른 후 다시 막

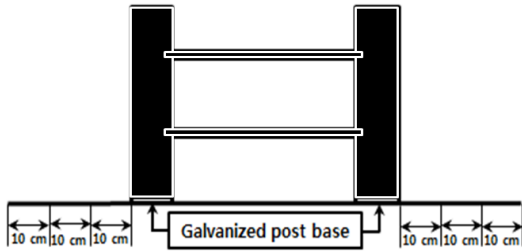


Fig. 2. The method to obtain the soil samples around the deck post.

자사발로 곱게 분쇄하였다. 분쇄된 토양시료에서 0.5 g을 취하여 100 ml 유리튜브에 넣은 후 질산 7 ml과 염산 10 ml을 넣은 다음 2시간 동안 정치하여 양수의 산화분해반응이 이루어지도록 하였다. 2시간 후에 heating block의 온도를 70℃까지 높여 2시간 동안 그 상태를 유지하였다. 용액을 정치시켜 불용성 잔류물이 침전되도록 한 다음 Whatman No. 40 여과지로 50 ml 용량 플라스크에 여과하고 물로 표선까지 채워 분석용 시료로 사용하였다. 추출액에 존재하는 Cu의 농도는 유도결합플라즈마분광광도계(ICP-OES, Perkin Elmer 5300DV)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

구리는 농작물을 재배할 때 살균제로 흔히 사용된다. 이온교환에 의해 균에 흡수된 구리의 농도가 일정 이상이 되었을 때 강력한 살균제로서 역할을 하게 되기 때문이다. 구리의 우수한 살균 특성 및 인간에 대한 낮은 독성으로 인해 구리는 농약 및 목재 방부제의 주요 성분으로 사용되어 왔다(Freeman and McIntyre 2008; Preston *et al.* 2008).

구리가 인간에 미치는 영향이 적다고 하더라도 환경오염을 유발하지 않는 것은 아니다(Owens 1981; Zamuda and Sunda 1982). 국내의 경우 토양환경보전법 시행규칙(환경부 2015)에 토지를 1지역, 2지역, 3지역으로 구분하여 지역별로 다양한 토양오염물질의 토양오염우려기준을 제시하고 있다. 1지역은 주로 주거용도, 학교용지, 농작물 재배지역, 어린이 놀

이시설 등을 말하며, 2지역은 창고용지, 하천, 임야 등을, 그리고 3지역은 공장, 주차장, 주유소, 도로 및 철도용지 등에 사용되는 토지를 말한다. 구리에 의한 토양오염우려기준을 살펴보면 1지역, 2지역, 3지역이 각각 150 mg/kg, 500 mg/kg, 2,000 mg/kg으로 규정되어 있다. 비소의 경우 1지역이 25 mg/kg, 2지역이 50 mg/kg, 3지역이 200 mg/kg이며 6가 크롬이 각각 5 mg/kg, 15 mg/kg, 40 mg/kg인 것을 고려하면 구리는 다른 중금속들에 비해 환경오염을 적게 유발시킨다는 것을 알 수 있다.

Table 1은 야외시험장에 노출된 ACQ 방부처리목재로부터 토양으로 용탈된 구리의 양을 보여준다.

깊이 10 cm 이내의 토양에 구리가 많이 분포되어 있는 것을 알 수 있으며 표층으로부터의 깊이가 깊어질수록 구리의 양이 급속히 줄어드는 것을 볼 수 있다(Fig. 3). 이러한 결과로부터 토양에서의 구리의 이동은 상당히 제한적이라는 것을 알 수 있다. CCA 방부처리목재로 지어진 데크로부터 용탈된 방부제 유효성분의 토양내 분포에 대한 연구에서도 이와 비슷한 결과를 보여주는데 구리의 경우 토양표면 10 cm 이내에 대부분 분포하고 있다고 보고된 바 있다(Townsend 2003).

토양 깊이가 깊어질수록 구리의 농도는 급격히 감소되었지만 토양 표면에서의 구리 농도는 목재로부터 10 cm 이상 떨어진 곳에서도 1지역 기준 값인 150 mg/kg 이상을 보이고 있다. 토양표층에 구리가 다소 넓게 분포하는 것은 방부처리목재의 크기와 관련이 있다. 이론적으로 볼 때 보유량이 같을 경우 단위면적당 강우에 노출되는 방부처리목재의 면적과 용탈되는 방부제 유효성분과는 직접적인 관련이 있는 것으로 보고된 바 있다(OECD 2001). 이는 단위면적당 위치하는 방부처리목재의 양이 많을수록 단위면적당 용탈되는 구리의 양이 많아질 수밖에 없기 때문이다. 또 다른 이유로 토양 표층이 강우 및 바람 등에 의해 자연스럽게 이동하게 되는 것도 구리가 다소 널리 분포하게 되는 이유일 것이라고 사료된다.

횡단면을 통한 구리의 용탈은 목재 측면에서 발생하는 구리의 용탈보다 훨씬 높은 것으로 나타났다. 토양과 접촉해 있는 횡단면에서부터 10 cm 이내의

Table 1. Concentrations of copper depleted from ACQ treated wood installed in the field test site

Soil depths (cm)	Lateral distances from the ACQ-treated wood (cm)			End surface of treated wood buried under soil
	0 - 10	10 - 20	20 - 30	
0 - 10	225.00 (20.36) ^{*1}	176.43 (32.47)	123.37 (10.71)	357.89 (57.54)
10 - 20	29.53 (5.61)	18.38 (12.62)	21.74 (13.24)	50.47 (3.02)
20 - 30	12.84 (1.53)	10.88 (1.48)	13.69 (4.82)	21.14 (7.76)

^{*1} Values in parentheses represent standard deviations.

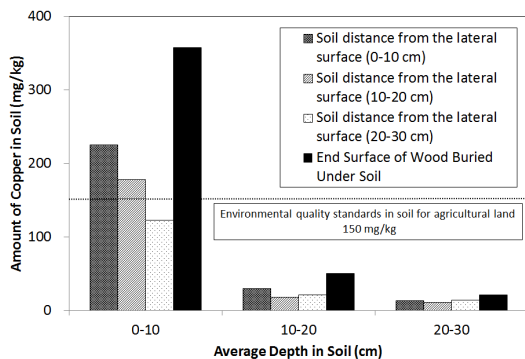


Fig. 3. The change of copper concentration (mg/kg) depleted from the ACQ-treated wood in soil.

토양에서 구리 농도가 350 mg/kg으로 측면에서의 경우보다 1.5배 이상 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 목리에 평행한 방향으로의 수분의 이동이 목리에 수직인 방향보다 훨씬 빠르다는 것을 고려할 때 횡단면을 통한 구리의 용탈이 높은 것은 당연한 결과인 것으로 판단된다.

경남 진주, 산청, 사천 및 전남 순천, 광양의 데크에 설치된 방부처리목재로부터 토양으로 용탈된 구리의 양은 다음과 같다(Fig. 4). 야외시험 결과와 비교해볼 때 사용 중의 데크로부터 구리의 용탈이 적은 것으로 나타났다. 이는 국내에서 데크로 사용되는 상당수의 방부처리목재가 H2 목재사용환경에 적합한 보유량을 지니고 있기 때문인 것으로 판단된다. 구리화합물계 방부처리목재로부터 구리의 용탈은 보유량과 직접적인 관련이 있다는 것은 많이 보고된 바 있다(Freeman and McIntyre 2008; Ra et al. 2009). 본 연구에서 조사된 데크 기둥의 경우 보유량

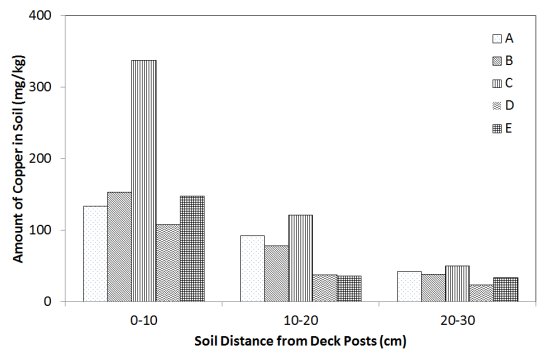


Fig. 4. The change of copper concentration (mg/kg) depleted from the ACQ-treated wood used as deck posts installed in five different neighborhood parks (A to E).

이 H3 기준(2.6 kg/m³)에 약간 미달하는 것으로 나타났는데 야외시험장에서 사용된 방부처리목재는 H4 목재사용환경에 사용되는 것으로 데크기둥의 보유량보다 두 배 정도 높은 보유량을 가지고 있다. 또한 목재의 끝부분에 밀판을 대어 토양과의 직접적인 접촉을 방지하고 있는 것도 구리의 용탈량이 적은 원인이 될 수 있을 것으로 판단된다.

다섯 군대의 근린공원에 설치된 데크 기둥 주변 토양은 기둥 주변 10 cm를 기준으로 토양오염우려 기준을 적용할 때 1지역(150 mg/kg 미만)으로 구분될 수 있는 곳이 세 곳, 2지역으로 구분될 수 있는 곳이 두 곳으로 나타났다. 방부처리목재로부터 20 cm, 30 cm 떨어진 토양의 경우 구리의 농도는 150 mg/kg 아래로 떨어지지만 각각 구리의 농도가 평균적으로 70 mg/kg, 40 mg/kg 정도인 것으로 나타났다. 결론

적으로 본 연구에서 조사된 데크의 경우 구리에 의한 토양오염은 방부처리목재 주변 10 cm 이내인 것으로 말할 수 있다.

ACQ 방부처리목재로부터 용탈되는 구리에 의한 환경오염 문제는 사용된 방부처리목재가 강우에 노출된 면적 뿐 아니라 사용되는 장소를 고려하여 평가하여야 한다. 이는 환경오염 정도를 판단하는 근거가 토양환경오염우려기준에 따라서 정해지기 때문인데, 예를 들어 일반적으로 2지역으로 구분되는 임야에 ACQ 방부처리목재로 데크를 만들 경우 환경오염 문제는 크지 않다고 판단할 수 있다. 그러나 어린이 놀이터같이 1지역으로 구분되는 곳의 경우 방부처리목재와 근접한 토양에서는 토양오염우려기준을 초과한다고 말할 수 있을 것이다.

4. 결 론

ACQ 방부처리목재로부터 용탈되는 구리에 의한 환경오염을 평가하기 위하여 수행된 본 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 방부처리목재의 횡단면에서 용탈되는 구리의 양이 목재의 측면에서 용탈되는 구리의 양보다 1.5 배 이상 높은 것으로 나타났다.
2. 토양 표층(깊이 10 cm 이내)에서의 구리분포는 10 cm 깊이 이상의 토양에서보다 상당히 높은 것을 볼 때 토양에서의 구리 이동은 매우 제한적이라고 말할 수 있다.
3. 방부처리목재로부터 수평 및 수직방향 10 cm 이내의 토양 내 구리 함유량은 대부분 2지역 토양 오염우려기준인 500 mg/kg을 초과하지 않았다.
4. 현재 설치된 ACQ 방부처리목재로부터 발생된 구리용탈에 의한 환경오염우려지역은 대부분 방부처리목재 주위 10 cm 이내로 제한된다고 말할 수 있다. 그러나 구리의 용탈이 방부처리목재의 보유량 및 강우에 노출되는 면적과 깊은 관련이 있다는 것을 고려하여 방부처리목재가 환경에 미치는 영향이 평가되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2014년도 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

- Choi, Y.S., Oh, S.M., Kim, G.H. 2011. Evaluation of pretreatment moisture content and fixation characteristics of treated wood for pressure treatment of Japanese red pine and Japanese larch skin timber with ACQ, CUAZ, and CUHDO. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 39(6): 481-489.
- Freeman, H.M., McIntyre, C.R. 2008. A comprehensive review of copper-based wood preservatives with a focus on new micronized or dispersed copper systems. *Forest Products Journal* 58(11): 6-27.
- Kim, T., Ra, J.B. 2014. Change of decay hazard index (Scheffer index) for exterior above-ground wood in Korea. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 42(6): 732-739.
- Lee, J.S., Choi, G.S. 2014. Adsorption characteristics of alkaline copper quat preservative components in wood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 42(4): 491-498.
- Ministry of Environment. 2015. Enforcement regulation of soil environment conservation act. Republic of Korea.
- OECD. 2001. OECD series on emission scenario documents number 2: Emission scenario document for wood preservatives.
- Owens, C.A. 1981. Copper deficiency and toxicity. Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, USA.
- Preston, A.F., Jin, L., Nicholas, D.D., Zahora, A., Walcheki, P., Archer, K., Schultz, T. 2008. Field stake tests with copper-based preservatives.

나중범

- IRG/WP 08-340458. International Research Group on Wood Preservation, IRG Secretariat, Stockholm. Sweden.
- Ra, J.B., Kang, S.M., Kang, S.K. 2009. Effect of copper retention on copper leaching in wood treated with copper-based preservatives. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 37(5): 421-425.
- Townsend, T., Solo-Gabriele, H., Tolaymat, T., Stook, K., Hosein, N. 2003. Chromium, copper, and arsenic concentrations in soil underneath CCA-treated wood structures. *Soil & Sediment Contamination* 12: 779-798.
- Zamuda, C.D., Sunda, W.G. 1982. Bioavailability of dissolved copper to the American oyster *Crassostrea virginica*. I. Importance of chemical speciation. *Marine Biology* 66: 77-82.