

어류급성독성 시험에 의한 ACQ 방부목재의 환경 독성

우지근¹⁾·김두원¹⁾·김성균²⁾

¹⁾ 서울대학교 대학원²⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부

Environmental Toxicity of ACQ-Treated Wood Based on the Fish Acute Test

Woo, Ji-Keun¹⁾·Kim, Du-Won¹⁾ and Kim, Sung-Kyun²⁾

¹⁾ Graduate School, Seoul National University,

²⁾ Dept. of Landscape Architecture & Rural System Engineering, Seoul National University.

ABSTRACT

The purpose of the study is to analyze the environmental characteristics of fish acute toxicity that is dependent on the harmfulness of ACQ (Alkaline Copper Quat)-Treated Wood and *Oryzias latipes* mortality in a comprehensive way, provide objective verification method on the eco-toxicity and environment-friendliness of landscaping materials and methods, and utilize it as a basic datum for evaluation criteria. The main results are summarized as follows :

1. As a result of analysis on the harmfulness characteristics, each experimental plot showed different values respectively. In particular, it has been found that in proportion to the volume of testing materials, COD and Cu increases at a constant rate, compared to the input water. In the plot C with three testing materials, COD increased 67 times more than that of the input water, and Cu increased up to 12.36mg/L.

2. In case of fish toxicity, plot C, B, A all showed a mortality rate of 100%, indicating that fish toxicity is strong. In particular, the mortality rate of each plot within the initial time of one and a half hour showed clearly, which suggests that the fish toxicity is influenced by the increased concentration of hazardous substances depending on the volume ratio of testing materials.

3. As a result of comparison and analysis on the harmfulness and fish toxicity, the harmfulness

Corresponding author : Woo, Ji-Keun, Graduate School, Seoul National University,
Tel : +82-55-542-8903 E-mail : woogette@paran.com

Received : 28 February, 2011. **Revised** : 8 April, 2011. **Accepted** : 13 April, 2011.

showed different values on each experimental plot but, we found that the changing rate of values of toxicity of COD and Cu is mutually similar to that of mortality in the initial hour according to the experiment of fish toxicity, which shows that COD and Cu are major factors to increase fish toxicity.

Key Words : *Harmful, hazardous substances, Mortality, Material Analysis. Oryzias latipes.*

I. 서 론

목재는 다양한 색상과 무늬 등으로 인간에게 친근감을 주는 문화소재이며, 도시에 재생 가능한 생물자원(김윤수 등, 2004)이지만 무기성 건축 재료와 달리 많은 세포로 구성되어 있는 유기성 재료로서 목재 부식균 및 흰개미 등에 의한 해를 받기 쉬우므로, 수명을 연장시키기 위하여 방부처리를 한다(한국자원재생공사, 1995).

하지만, 이러한 방부처리된 목재시설의 접촉과 방부제 성분의 용탈로 토양환경과 수계에 유입되면 생태계 및 인간에게 악영향을 미칠 우려가 있고, 특히 고농도에서는 조류, 연체동물 등에 독성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Hingston et al., 2001).

국내의 경우 CCA(Chromated Copper Arsenate) 방부제의 위해성 및 토양오염과 수생태계의 강한 독성으로 우리나라에서는 2007년 10월 CCA 방부목재의 사용이 금지됨(환경부, 2007)에 따라 ACQ(Alkaline Copper Quat), CuAZ(Copper Azole), CB-HDO(N-cyclohexyl-diazoniumdioxycopper) 등으로 대체 되어 지고 있다(나종범, 2010).

최근 국내에서 방부처리재료부터 용탈될 수 있는 독성 방부제 유효성분에 의한 환경오염 문제에 대한 관심이 크게 고조되면서 처리재의 사용 및 환경안전성에 대한 논란이 계속 되고 있지만(김규혁 등, 2000), 그 동안 국내에서 이루어진 방부목재의 특성에 관한 연구는 목재 방부제 유효성분의 용탈성과 방부효력, 철부식성, 흡습성 등의 최소 성능평가(이동흡 등, 2000a; 이동흡 등, 2000b; 김희갑, 2006; 구진회 등, 2006; 김희갑·김동진, 2007; 구진회 등, 2008) 등에 관한

연구가 중점적으로 진행되어지고 있는 실정이다.

또한 “산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률”에 따라 목재의 방부·방충처리기준(국립산림과학원, 2009)을 마련하여 방부처리 대상, 사용환경 범주, 방부처리 품질 기준, 방부 처리방법, 방부제의 성능기준 등에 관하여 구체적 기준과 방부처리목재 품질인증 기준(국립산림과학원, 2010) 등을 마련하고 있다.

하지만, 방부목재의 유해성 평가 기준과 생태독성에 대한 친환경적 적용 기준에 관한 내용이 미비한 실정이며, 또한 적용에 따른 구체적 효과의 객관적 검증작업과 관리방안이 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 국내에서 생산되고 있는 대표적 ACQ 방부목재를 대상으로 수질평가를 통한 유해성, 송사리 치사율에 따른 어류 급성독성 등을 종합적으로 고려한 환경적 특성을 분석함으로써, 조경재료 및 공법의 친환경성과 생태독성에 대한 객관적 검증방법 제공 및 평가기준을 마련하고, 조경재료 선정 및 공법 적용시 환경에 대한 악영향을 최소화하여 저감방안을 마련하는데 필요한 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

II. 연구방법

1. 방부목재 선정

방부목재의 환경적 특성을 분석하기 위하여 “목재의 방부·방충 처리기준(국립산림과학원, 2009)”에 따른 수용성 목재방부제 중 국내 방부업체에서 사용한 방부약제의 구성비가 84.7%를 차지(한국목재보존협회, 2008)하고 있는 ACQ

Table 1. The conditions of testing materials.

Classification	Testing materials*			Input water (ℓ)
	Size(mm)	Classification of uses	Preser-vatives	
Plot A	60×90×350×1ea	H4	ACQ	23
Plot B	60×90×350×2ea	H4	ACQ	23
Plot C	60×90×350×3ea	H4	ACQ	23
Control D	-	H4	ACQ	23

*Hemlock

방부목재를 선정하였고, 조경용 목재의 사용 환경 범주는 생태연못 및 생태계류를 기준으로 하였기에 방부목재가 물과 토양에 접하는 환경범주 H4를 기준으로 하였으며, 목재의 방부·방충 처리기준에 따라 방부 처리한 미송 방부목을 사용하였다.

2. 공시재 및 실험구 조성

가로 1.8m 세로 1.5m의 실험기반을 설치하여 가로 40cm 세로 25cm 높이 30cm 실험구에 물 23ℓ를 넣고, 체적이 60mm×90mm×350mm인 공시재를 제작하여 각각 실험구 A에 1개(투입수 체적의 약 1/12배), 실험구 B에 2개(투입수 체적의 약 1/6배), 실험구 C에 3개(투입수 체적의 약 1/4배)씩 넣어 실험구를 조성하였으며, 실험구와 별도로 일정기간 동안 방부목재의 용해 및 용탈 물질의 유해성과 어독성 분석을 비교 할 수 있도록 대조구 D를 조성하였다(표 1, 그림 1).

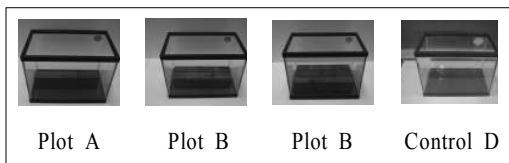


Figure 1. The specimen photo of testing materials.

3. 유해성 및 어류급성독성 분석

방부목재의 방부제 성분이 일정 조건에서 용해 및 용탈되어진 수질오염의 정도를 분석하기 위하여 기초 분석한 호소형 생태계류 연못의 2년

간 8월 평균 수온인 26.1℃를 기준으로 하여 실험구의 수온을 26℃를 유지하였다. 2011년 1월 6일 부터 2011년 1월 21일 까지 실험구를 각각 2 개조씩 조성하여 1주, 2주 동안의 방부목재 유해성 변화 값을 환경정책기본법 호소 및 수생태계 수질기준(환경부, 2009)에 따른 항목별 수질을 분석하였으며, 추가로 ACQ 방부목재의 방부제가 알킬암모늄화합물과 구리 성분인 점을 고려하여 구리를 항목에 추가하였다(표 2).

유해성 분석 후 어류급성독성을 분석하기 위해 수질오염의 생물학적 지표종(Hriaoka and Okuda, 1983)이며, 생물 검정용 시험생물(Shima and Shimada, 1994)로 널리 활용되고 있는 송사리를 시험종으로 선정하였다.

본 연구에 사용된 송사리는 체장이 2cm ~ 3cm 인 치어로 어류 공급업체에서 수요하여 일주일간 실험실에서 순치 후 외관상 질병의 증세가 나타나지 않는 개체를 선별하여 실험을 수행하였다.

어류에 대한 독성시험은 노출기간에 따라서 급성독성시험(Acute toxicity test)과 만성독성시험(Chronic toxicity test)로 크게 분류하고 있다(최현일, 2007). 본 연구에서는 여러 농도의 시험 물질에 단기간 동안 어류를 노출시켜 시험물질에 대한 독성을 평가하는 것으로 영향에 대한 주요한 판단기준이 치사율(Mortality)인 급성독성시험 방법을 이용하였다.

경제협력개발기구(OECD)의 “203 어류 급성 독성시험 가이드라인”에서 송사리 추천 시험온도 21 ~ 25℃(이철화·이순화, 2007) 및 표준시

Table 2. Test conditions for harmfulness and fish acute toxicity analysis.

Classification	Harmfulness analysis			Fish acute toxicity analysis			
	Temperature (°C)	Duration (week)	Analysis items	NO. organisms per concentration (Fishx)	Temperature (°C)	Duration (hr)	Test number
Plot A	26	1, 2	pH, COD, SS, DO, T-P, T-N, Cu	10	22	96	3
Plot B	26	1, 2	pH, COD, SS, DO, T-P, T-N, Cu	10	22	96	3
Plot C	26	1, 2	pH, COD, SS, DO, T-P, T-N, Cu	10	22	96	3
Control D	26	1, 2	pH, COD, SS, DO, T-P, T-N, Cu	10	22	96	3

^aThe length of *Oryzias latipes* : 2-3cm.

험 생물로서의 송사리 급성독성 실험의 평균 수온은 20 ~ 26 °C(남선화 등, 2007)인 점을 고려하여 수온을 22 °C로 유지하였으며, OECD, EC, KS 등 표준시험법에 제시된 급성 영향은 생물종의 구분 없이 대체로 96시간 치사독성시험으로 평가되고 있음(박경수 등, 2005)을 고려하여 각각 실험구에 10마리씩 수용하여 96시간동안 시간당 송사리의 치사율을 3회 반복 실시하여 치사율에 따른 어류급성독성을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유해성 분석 및 특성

환경정책기본법 호소 및 수생태계 수질기준

성분인 수소이온농도(pH), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 용존산소량(DO), 총인(T-P), 총질소(T-N)와 구리(Cu)에 대하여 1주일과 2주일 이 경과한 각각의 실험구별 유해성을 분석한 결과는 표 3과 같다.

실험구의 유해성분석결과, pH의 경우 1, 2주 경과한 값이 7.8 ~ 8.3으로 투입수에 비해 실험구 C의 값이 최대 1.4의 증가 값을 나타내었다.

COD의 1주 경과한 분석 값은 실험구 C의 값이 1주 전의 투입수에 비해 약 36배 증가한 121mg/L로 최고 값을 나타내었으며, 실험구 B(99.4mg/L), 실험구 A(53.4mg/L), 실험구 D(6.1mg/L) 순으로 분석되었다. 2주 경과한 분석 값은 실험구 C의 값이 2주 전의 투입수에 비해 약 67배 증가한

Table 3. Harmfulness analysis results of test types.

Classification	Duration (week)	pH		COD(mg/L)		SS(mg/L)		DO(mg/L)		T-P(mg/L)		T-N(mg/L)		Cu(mg/L)	
		Value	Mean-difference	Value	Mean-difference	Value	Mean-difference	Value	Mean-difference	Value	Mean-difference	Value	Mean-difference	Value	Mean-difference
		Plot A	1	8	1.1	53.4	50.1	0.5	0.4	8.23	-2.28	0.058	-0.028	25.54	22.17
	2	8.2	1.3	69.4	66.1	0.5	0.4	10.1	-0.41	0.048	-0.038	7.92	4.55	4.519	4.509
Plot B	1	8.2	1.3	99.4	96.1	0.9	0.8	7.48	-3.03	0.072	-0.014	9.91	6.54	4.175	4.165
	2	8.2	1.3	149.6	146.3	0.6	0.5	10.11	-0.4	0.096	0.01	14.4	11.03	8.422	8.412
Plot C	1	8.3	1.4	121.0	117.7	1.1	1	6.95	-3.56	0.062	-0.024	6.89	3.52	8.962	8.952
	2	8.3	1.4	222.3	219	1.3	1.2	9.88	-0.63	0.144	0.058	15.36	11.99	12.4	12.39
Control D	1	7.8	0.9	6.1	2.8	0.4	0.3	8.36	-2.15	0.048	-0.038	4.29	0.92	0.033	0.023
	2	8	1.1	3.9	0.6	1.8	1.7	9.7	-0.81	0.048	-0.038	3.74	0.37	0	-0.01
Input water E		6.9		3.3		0.1		10.51		0.086		3.37		0.01	

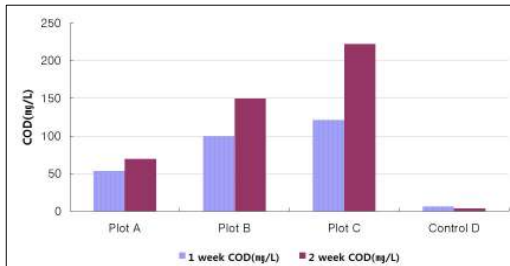


Figure 2. The comparison of COD of test types.

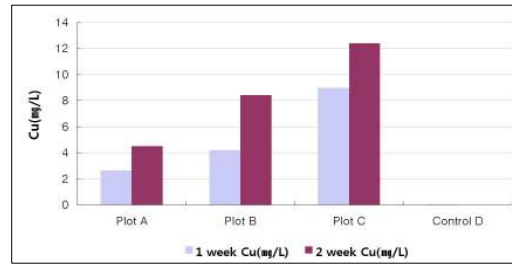


Figure 4. The comparison of Cu of test types.

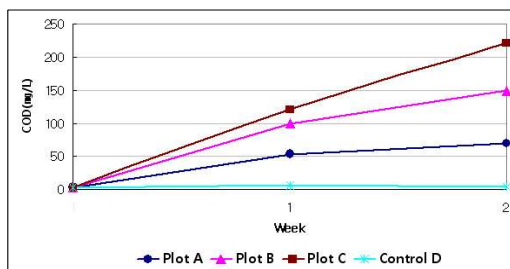


Figure 3. COD after one week and two weeks.

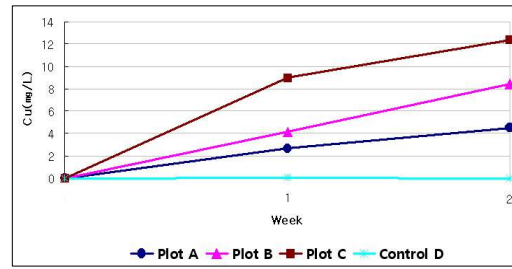


Figure 5. Cu after one week and two weeks.

222.3mg/L로 최고 값을 나타내었으며, 실험구 B (99.4mg/L), 실험구 A(53.4mg/L), 실험구 D(6.1 mg/L) 순으로 분석되었다. 이는 공시재 시편의 체적비의 증가에 따라 화학적 산소요구량이 증가한 것으로 친환경을 고려할 때 유해성이 높은 요소로 판단된다(그림 2, 3).

SS는 1, 2주 경과한 후 0.5 ~ 1.8mg/L 범위의 변화 값을 보였는데, 실험구 A는 0.4mg/L, 실험구 B(0.5 ~ 0.8mg/L), 실험구 C(1 ~ 1.2mg/L), 대조구 D는 0.3 ~ 1.7mg/L의 값을 나타냈다.

DO는 1주 경과 후 투입수와 비해 변화값의 범위가 -3.56 ~ -2.15mg/L로 실험구 C(3.56mg/L), 실험구 B(3.03mg/L), 실험구 A(2.28mg/L), 대조구 D(2.15mg/L) 순으로 감소하였다. 2주 경과한 결과 값은 1주 경과한 실험구의 변화 값 보다 다소 적은 -0.81 ~ 0.4mg/L로 실험구 D, C, B, A, 순으로 나타났다.

T-P는 경우는 1, 2주 경과한 변화 값의 범위가 1주는 -0.038 ~ -0.014mg/L 범위로 감소하였는데 대조구 D의 값이 -0.038mg/L로 최대 감소 값을 나타냈었다. 2주는 -0.038 ~ 0.058mg/L로 실험구

C의 값이 0.058mg/L 증가한 것으로 분석되었다.

T-N의 1주 경과한 변화 값은 실험구 A가 25.54mg/L로 최대 값을 나타내었고, 실험구 B (9.91mg/L), 실험구 C(6.89mg/L), 대조구 D(4.2 mg/L) 순으로 분석되었으며, 투입수와 비교해 실험구 전체의 T-N 값이 다소 증가한 것으로 분석되었다. 2주 경과한 실험구의 변화 값은 실험구 C가 15.36mg/L로 최대 값을 가지는 것으로 나타났다으며, 실험구 B(14.41mg/L), 실험구 A(7.92 mg/L), 대조구 D(3.74mg/L) 순으로 T-N 값이 다소 감소한 것으로 분석되지만 1주 경과한 실험구와 비교해 A, B, C의 값이 역으로 나타났다.

Cu의 1주 경과한 분석 값은 실험구 C의 값이 1주 전의 투입수와 비교해 8.962mg/L의 최대 값을 나타내었으며, 실험구 B(4.165mg/L), 실험구 A(2.635mg/L), 실험구 D(0.023mg/L) 순으로 차이 값이 분석되었다. 2주 경과한 분석 결과는 실험구 C(12.39mg/L), 실험구 B(8.412mg/L), 실험구 A (4.509mg/L), 실험구 D(0.01mg/L) 순으로 분석되었다. Cu의 변화값 또한 COD의 분석값과 같이 공시재 시편의 체적비의 증가에 따라 화학

Table 4. The grade of the water quality.

Classification	Week	pH	COD	SS	DO	T-P	T-N
Plot A	1	Ia	VI	Ia	Ia	IV	VI
	2	Ia	VI	Ia	Ia	III	VI
Plot B	1	Ia	VI	Ia	Ib	IV	VI
	2	Ia	VI	Ia	Ia	IV	VI
Plot C	1	Ia	VI	Ib	Ib	IV	VI
	2	Ia	VI	Ib	Ia	V	VI
Control D	1	Ia	IV	Ia	Ia	III	VI
	2	Ia	II	Ib	Ia	III	VI

* Ia(매우 좋음), Ib(좋음), II(약간 좋음), III(보통), IV(약간 나쁨), V(나쁨), VI(매우 나쁨).

적 산소요구량이 증가한 것으로 친환경을 고려할 때 유해성이 높은 요소로 판단된다(그림 4, 5).

환경정책기본법 호소 및 수생태계 수질기준 등급과 비교·분석한 결과 실험구별 값이 각각 상이한 값을 나타내었지만 수질 등급은 대조구와

비교해 pH는 Ia(매우 좋음), T-N는 VI(매우 나쁨)으로 분석항목 상호간 같은 등급을 나타내었고, COD는 대조구에 비해 실험구 A, B, C의 모든 등급이 VI(매우 나쁨)로 나타났다(표 4).

2. 어류급성독성 분석 및 특성

1주 및 2주 경과한 실험구에 대한 어류급성독성 결과는 표 5, 6과 같다.

어류급성독성 분석결과, 1주 및 2주 경과한 실험구 A, B, C의 치사율이 100%로 분석되었다.

특히, 1주가 경과한 실험구의 1시간 30분 이내의 치사율을 분석한 결과 실험구 A의 경우는 30 ~ 60분 사이가 33.3%, 1시간에서 1시간 30분 동안 치사율이 66.7%로 나타났으며, 실험구 B의 경우는 30분 이내가 53.3%, 30에서 60분 동안 46.7%로 1시간 이내에 치사율이 100%로 분석되었다. 실험구 C의 경우는 30분 이내가 96.7%의

Table 5. Analysis of fish acute toxicity and significance level after one week.

Classification	<i>Oryzias latipes</i> (ea)	1day(24t)						2day (48t)	3day (72t)	4day (96t)	Total		p-value ^x			
		Minute(0-90)			Total		ea				%	ea		%	ea	%
		0-30	30-60	60-90	ea	%										
Plot A	10	-	3.33	6.67	10	100	-	-	-	-	10	100	0.042			
Plot B	10	5.33	4.67	-	10	100	-	-	-	-	10	100	0.006			
Plot C	10	9.67	0.33	-	10	100	-	-	-	-	10	100	0.005			
Control D	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

^x : p<0.05

Table 6. Analysis of fish acute toxicity and significance level after two weeks.

Classification	<i>Oryzias latipes</i> (ea)	1day(24t)						2day (48t)	3day (72t)	4day (96t)	Total		p-value ^x			
		Minute(0-90)			Total		ea				%	ea		%	ea	%
		0-30	30-60	60-90	ea	%										
Plot A	10	-	4.00	6.00	10	100	-	-	-	-	10	100	0.021			
Plot B	10	5.67	4.33	-	10	100	-	-	-	-	10	100	0.011			
Plot C	10	10.00	-	-	10	100	-	-	-	-	10	100	0.005			
Control D	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

^x : p<0.05

Table 7. The comparison of harmfulness and fish acute toxicity.

Classification	Harmfulness							Fish toxicity(%)		
	pH	COD (mg/L)	SS (mg/L)	DO (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	Cu (mg/L)	Minute(0-90)		
								0-30	30-60	60-90
Plot A	1.2	58.10	0.4	-1.345	-0.033	13.36	3.572	-	36.6	63.4
Plot B	1.3	121.20	0.65	-1.715	-0.002	8.785	6.2885	55.5	45.5	-
Plot C	1.4	168.35	1.1	-2.095	0.017	7.755	10.671	100	-	-
Plot D	1	1.7	1	-1.48	-0.038	0.645	0.0065	-	-	-
p-value ^x	0.0001	0.0490	0.0460	0.0002	0.3431	0.2320	0.0465	-	-	-

^x : p<0.05

치사율을 보여 30분 이내에 거의 모든 송사리가 치사하는 것으로 분석되었다.

또한, 2주가 경과한 1시간 30분 이내의 치사율을 분석한 결과 실험구 A의 경우는 30~60분 사이가 40%, 1시간에서 1시간 30분 동안 치사율이 60%로 나타났으며, 실험구 B의 경우는 30분 이내가 56.7%, 30에서 60분 동안 43.3%로 1시간 이내에 치사율이 100%로 분석되었다. 실험구 C의 경우는 30분 이내에 100%의 치사율을 보였다.

각 실험구와 대조구의 영향관계를 파악하기 위해서 SAS 9.2Ver.(SAS Inc., North Carolina) 통계패키지를 이용하여 유의성을 분석하였다. 그 결과 대조구와 실험구 A, B, C 모두 p-value 값이 0.05 보다 낮게 분석되어 유의한 것으로 나타났다.

이를 종합하면, 실험구별 A, B, C 모두 1시간 30분 이내에 100%의 치사율을 보여 LC₅₀ 구할 수 없을 만큼 어류독성이 강한 것으로 분석되었다.

3. 친환경 특성 비교 및 종합분석

유해성과 어독성을 고려한 방부목재의 환경적 특성을 종합적으로 상호 비교 분석한 결과, 어류급성독성시험의 결과에서 나타난 실험구별 C, B, A 순으로 어독성에 따른 초기 시간대별 치사율이 명확하게 나타났다. 따라서 수질평가 항목의 시간대에 따른 어류의 치사율에 미치는 유의성을 분석한 결과 COD와 Cu의 경우는 시간의

흐름에 따라서 유의하게 증가하여 치사율에 영향을 미친 것으로 분석되었다(표 7).

IV. 결 론

ACQ 방부목재의 수질분석을 통한 유해성 및 송사리의 치사율에 따른 어독성을 종합적으로 고려하여 환경적 특성을 분석한 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 환경정책기본법 호소 및 수생태계 수질기준의 분석 항목을 대상으로 유해성 특성을 분석한 결과, 실험구별 값이 각각 상이한 값을 나타냈지만, 특히, 공시재의 체적에 비례하여 COD와 Cu의 값이 투입수와 비교해 일정한 비율로 증가되는 것으로 분석되었으며, 공시재 3개를 투입한 실험구 C는 투입수와 비교해 COD의 농도는 최고 67배 증가하였고, Cu는 최고 12.36mg/L의 증가 값을 보였다.

2. 어류급성독성 시험의 경우는 실험구 C, B, A의 치사율이 모두 100%로 어독성이 강한 것으로 분석되었고, 특히 초기 1시간 30분 이내의 실험구별 치사율이 각각 명확하게 나타남에 따라 공시재의 체적비에 따른 유해물질 농도의 증가에 따라 어독성에 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

3. 유해성과 어독성을 비교 분석한 결과, 유해성 분석 값이 실험구별로 각각 상이하게 나타

났지만, COD와 Cu의 유해성 분석값의 변화율과 어독성 실험에 따른 초기 시간대별 치사율의 값의 변화율이 상호 유사성이 유효한 것으로 분석됨에 따라 COD와 Cu가 어독성을 증대시키는 주요인으로 판단되어진다.

이러한 연구결과를 종합할 때, 방부목재의 환경적 특성 분석은 각 실험구별 유해성 분석과 치사율에 따른 어류급성독성 분석을 통한 방법이 생태독성 및 친환경성을 규명하는 직접적 평가방법이라 판단되어지며, 이러한 객관적 검증을 통한 평가기법은 조경재료의 친환경성 평가기준 마련 및 생태독성을 고려한 생물다양성 효과를 분석하고 예측하기 위한 기초자료로 활용하는데 효과적일 것으로 판단된다.

하지만, 다양한 방부목재 및 방부제를 적용하지 못한 점, 실험 방부목재를 특정 규격으로 단순화 시켜 용해 및 용탈된 물질의 유해성을 분석한 점, 등이 본 연구의 한계점이며, 아울러 향후 개선하고 연구해야 할 과제이다. 이러한 점들은 조경재료의 생태독성 및 친환경성 평가기준에 대한 연구 등과 병행하여 종합적 특성을 분석함으로써 개선할 계획이다.

인 용 문 헌

- 구진화·송병열·김희갑. 2006. CCA 방부목재로부터 크롬, 구리 및 비소의 용탈. 환경독성보건학회, 추계학술대회 논문집 11 : 140-141.
- 구진화·송병열·김희갑. 2008. 자연환경에 노출된 CCA 방부목재로부터 크롬, 구리 및 비소의 용탈 특성. 한국분석과학회지 21(1) : 1-8.
- 국립산림과학원. 2009. 국립산림과학원 고시 2009-7호 목재의 방부·방충처리 기준.
- 국립산림과학원. 2010. 국립산림과학원 고시 2010-8호 방부처리목재 품질인증 기준.
- 김윤수·김규혁·김영숙. 2007. 목재보존과학. 전 남대학교 출판부. pp.17.
- 김규혁·김재진·이동흡. 2000. 세계 각국의 방부제 사용금지 및 규제 현황. 추계학술발표논문집 124-130.
- 김희갑. 2006. CCA로 처리된 방부목재 구조물 주변 토양의 크롬, 구리 및 비소에 의한 오염. 환경독성보건학회 추계학술대회 논문집 11 : 33-48.
- 김희갑·김동진. 2007. CCA 방부처리 목재로부터 크롬, 구리 및 비소의 용탈 특성. 환경독성보건학회지 22(4) : 339-348.
- 나종범. 2010. Measurement of Copper Concentration in ACQ, CUAZ, and CB-HDO Solutions by Using a Spectrophotometer. 한국목재공학회 38(5) : 450-456.
- 남선화·양창용·안윤주·이재관. 2007. 국내 생물종을 이용한 생태독성평가 기반연구 : (I) 어류. 한국육수학회지 40(2) : 173-183.
- 박경수·윤성진·이승민·김애향·박승윤·강덕영. 2005. 해양생태독성평가를 위한 표준 시험생물로서의 송사리(*Oryzias latipes*)에 관한 연구. 국립수산과학원 연구논문집 23(3) : 293-303.
- 이동흡·오형민·강창호·여운홍. 2000a. 수용성 목재방부제 CCFZ, ACQ 및 CuAz의 방부 성능평가. 한국목재공학회지 추계학술발표논문집 115-119.
- 이동흡·이명재·강창호·여운홍. 2000b. 정작 양생된 CCFZ, ACQ, CuAz 방부처리재에서 약제 주성분의 용탈성. 한국목재공학회지 추계학술발표논문집 120-123.
- 이철화·이순화. 2007. 화학물질과 생태독성. 서울 : 라이프사이언스.
- 최현일. 2007. 생태독성 시험법을 이용한 중금속 평가. 충주대학교 산업대학원 석사학위논문.
- 한국자원재생공사. 1995. 건설폐기물 재활용 가이드라인 설정 및 재활용 촉진방안 최종보고서. 한국자원재생공사.

- 한국목재보존협회. 2008. [http : //www.kwpa.kr/](http://www.kwpa.kr/)
- 환경부. 2007. 환경부 공고 2007-12호.
- 환경부. 2009. 환경정책기본법 시행령 별표 1.
- Hingston J., Collins C., Murphy R., and Lester J. 2001. Leaching of chromated copper arsenate wood preservatives. A review. *Environ. Pollut.*, 111 : 53-125.
- Hiraoka, Y., and H. Okuda. 1983. Characteristics of vertebral abnormalities of medaka as a water pollution indicator. *Hiroshima journal of medical sciences*, 32(3) : 261-266.
- Shima, A., and A. Shimada. 1994. The Japanese Medaka, *Oryzias latipes*, as a new model organism for studying environmental germ-cell mutagenesis. *Environ Health Perspect*, 102 (12) : 33-35.