

어독성 실험에 따른 방수재 친환경 특성 분석*

김성균¹⁾ · 우지근²⁾ · 이임규³⁾ · 유혜인³⁾ · 정재욱³⁾

¹⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부 · ²⁾ 서울대학교 대학원 · ³⁾ 삼성물산 주택사업부

Analyses on Environment-friendliness of Waterproof Materials Based on Fish Toxicity Test*

Kim, Sung-Kyun¹⁾ · Woo, Ji-Keun²⁾ · Lee, Im-Gyu³⁾
Yoo, Hy-Ein³⁾ and Jeong, Jae-Wook³⁾

¹⁾ Dept, of Landscape Architecture & Rural System Engineering, Seoul National University,

²⁾ Graduate School, Seoul National University,

³⁾ Dept, of Housing Business, Samsung C & T Corporation.

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the characteristics of environment-friendliness of waterproof materials based on comprehensive experiments on waterproofness in terms of coefficients of permeability, harmfulness of waterproof materials and fish toxicity of *Oryzias latipes* mortality to verify eco-toxicity of each method of construction and waterproof material, which are to be applied by taking eco-toxicity into account when building ecological flows in upper areas on natural and artificial grounds. As a result, the following conclusions have been reached in this study :

1. In regard of the harmfulness analyzed, each material showed a different result of analytical value in each lab tank. Compared to input water, pH, COD, SS, T-P, and T-N values increased a little, but DO value decreased. The value of turbidity analyzed independent of the water quality standard of aquatic ecosystem set forth by the Ministry of Environment increased a little compared to the value in input water.

2. In the experiment of fish toxicity, compacted quicklime, cement fluid waterproof material, cement

* 본 연구는 삼성물산 주택사업부 “인공지반 상부 생태계류 최적모델 개발” 용역 결과의 일부임.

Corresponding author : Woo, Ji-Keun, Graduate School, Seoul National University,

Tel : +82-55-314-8907, E-mail : woogett2@snu.ac.kr

Received : 4 January, 2010. Accepted : 16 January, 2010.

mortar waterproof material and bentonite powder were found to have 100% of fish mortality, respectively, and membrane waterproof material showed 83.3% of mortality, indicating strong fish toxicity. Improved asphalt sheet (63.3%) and synthetic rubber sheet (53.3%) were analyzed to have medium fish toxicity, while bentonite sheet (6.7%), Hwang-toh (6.7%) and clay (3.3%) showed relatively lower mortality and fish toxicity.

3. Regarding the analysis on waterproofness in terms of the coefficient of permeability of each waterproof material, improved asphalt sheet, synthetic rubber sheet, membrane waterproof material, cement fluid and mortar waterproof material and bentonite sheet were found impervious in case no leakage takes place in construction. Bentonite powder was found practically impervious based on the analytical results from the experiment done in compliance with weight ratios. So were the clay and Hwang-toh from the experimental results.

To sum up such results as found in the experiment mentioned so far, the values of harmfulness and waterproofness analyzed were different in each lab tank, but there was absolutely little correlation with the mortality gained from the experiment on fish toxicity. In the experiment of fish toxicity, environment-friendly waterproof materials were analyzed, and it was found that clay, Hwang-toh and bentonite sheet are highly environment-friendly. In contrast, synthetic rubber and improved asphalt sheets were found to have medium-level environment-friendliness. Also, membrane water-proof materials, compacted quicklime, cement fluid and mortar waterproof material and bentonite powder were analyzed to have low environment-friendliness.

Key Words : *Fish Toxicity, Waterproofing, Harmfulness, Environment-friendly, Permeability.*

I. 서 론

급격한 산업화와 도시화가 진행됨에 따라 생태계의 많은 부분이 훼손되었으며, 도시 속에서 생물이 살 수 있는 공간은 파편화 및 단편화로 인해 생태계의 파괴가 심각하게 제기되고 있다. 이와 같은 생태계의 파괴는 생물종의 감소를 초래하고, 인간과 자연이 함께 어우러질 수 있는 기회를 점차 줄어들게 하고 있다.

특히, 하천의 복개와 직강화, 제방의 콘크리트화로 인해 동식물의 서식처는 점차 사라지게 되었고, 이러한 급격한 변화는 도시를 점차 인공적이고 매마른 공간으로 변화시켜 왔다(이은희 · 장하경, 2000). 이렇듯 건조하게 변해버린 도심을 개선하기 위해 인공지반 및 자연지반에 방수공법을 이용하여 실개천, 생태연못 등을 인공적으로

조성하는 것은 도시 내 수공간 확보를 위한 방안이 될 것으로 사료된다. 또한, 도시의 동물상에서 큰 비중을 차지하고 있지는 않지만 어류의 일정한 개체수를 유지하는 것은 종 다양성과 안정성 유지 및 생태환경의 접촉 기회를 증대시키는 요인이 될 것이다.

그러나, 그 동안 국내에서 이루어진 방수공법 및 방수 재료별 특성에 관한 연구는 건축물 및 토목 구조물의 누수 안정성의 확보를 위하여 모든 방수재료에 대한 최소 성능기준의 설정과 시험, 평가방법 및 시공의 표준화 작업이 1998년부터 시작되어 현재 방수관련 신기술이 다양하게 현장에 널리 활용되고 있지만(오상근 · 권시원, 2006), 토목과 건축물의 관점에서 방수 및 차수재료로서의 개발과 적용 공법 등에 관한 연구가 중점적으로 진행되어(이민석, 2005), 방수 재

료별 및 공법별 생태독성에 관한 연구는 미비한 실정이다.

조경 분야의 경우, 생태연못, 인공습지 조성을 통한 변화 분석 및 평가에 관한 연구에서 자연재료를 이용한 방수재료 및 공법 등이 생물다양성 증진효과가 크다는 것이 검증된바 있으나(김귀곤, 1997; 장병관, 1993; 이은엽·문석기, 2001; 정운익 등, 2001), 최근 다양한 형태와 재료로 생산 및 적용되고 있는 방수재료 및 공법의 효과를 분석하고 예측하기 위한 자료로는 한계가 있다.

현재까지 국내에서 생태독성시험은 대체로 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development : OECD), 미국환경보호청(U.S.Environmental Protection Agency : U.S.

EPA) 등의 표준 시험법에 의해서 다양한 시험종을 대상으로 환경 및 생태 분야에서 수행되어지고 있다(남선화 등, 2007).

또한 환경부의 ‘물환경관리 기본계획’에 따르면 우수계의 위해성 관리체계 강화를 위해 생태독성통합관리제도 도입을 추진하고 있고, 2011년부터 “생태독성 배출 허용기준”을 마련하여 폐수의 수생태계에 대한 독성을 통합 평가 및 수용체 중심의 수질관리를 위해 “생태독성 관리제도”를 도입하는 등 수질 및 수생태계 분야에서 생태독성 기준마련이 활발하게 진행되고 있는 실정이다(환경미디어, 2008).

하지만, 현재 조경분야에서 조경재료 및 공법의 친환경성 및 생태독성에 대한 명확한 적용 기

Table 1. Waterproofing Methods and Materials.

Methods	Materials	Material selection
Asphalt	Asphalt felt, Asphalt roofing, Stretchy asphalt roofing, Sanded asphalt roofing, Woven fabrics asphalt roofings, Improved asphalt sheet	a. Improved asphalt sheet
Synthetic polymeric system sheet	Synthetic rubber system sheet, Synthetic resin system sheet	b. Synthetic rubber system sheet
Membrane	Rubber asphalt system, Polyurethane rubber system, Acrylic rubber system, Acrylic resin system, Chloroprene rubber (CR), Membrane waterproofing, FRP membrane waterproofing	c. Membrane waterproofing
Inorganic penetrating siliceous slurry coatings	Inorganic oneness system, Inorganic-Organic mixed system (Silica ingredients fluid)	-
Metal	Stainless steel sheet	-
Sealing	Silicon system sealing material, Silicon system mastic, Denatured silicon system sealing material, Polysulfate system sealing material, Acrylic polyurethane system sealing material, Polyurethane system sealing material	-
Cement	Cement fluid waterproofing, Cement fluid waterproofing, H.B. Coat	d. Cement fluid waterproofing f. Cement mortar waterproofing
Bentonite	Bentonite sheet, Bentonite powder (Consideration of soil and sand weight ratio)	g. Bentonite sheet h. Bentonite powder
Tradition	Clay, Compacted quicklime, Hwang-toh	i. Clay, j. Hwang-toh k. Compacted quicklime

(자료 : 오상근·권시원. 2006. 조경공사 방수를 위한 국내의 방수기술 현황. p.36과 대한전문건설협회. 1997. 방수공사 핸드북. 의 내용을 참조로 저자 재구성)

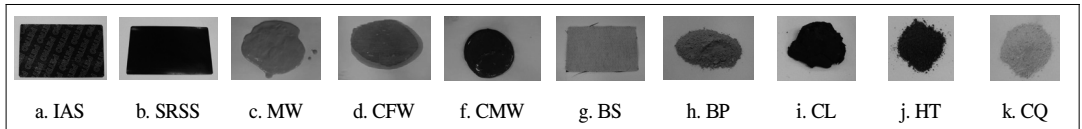


Figure 1. Selected materials (IAS; improved asphalt sheet, SRSS; synthetic rubber system sheet, MW; membrane waterproofing, CFW; cement fluid waterproofing, CMW; cement mortar waterproofing, BS; bentonite sheet, BP; bentonite powder, CL; clay, HT; hwang-toh, CQ; compacted quicklime).

준도 마련되어 있지 않은 상황이며, 기성제품 및 적용에 따른 구체적 효과의 객관적 검증작업 또한 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 국내에서 생산 적용되고 있는 대표적 방수재료 및 공법을 대상으로 생태독성 측면에서 적용의 필요성이 강조되고 있는 방수재료 및 공법별 생태독성을 검증하는 작업의 일환으로 방수재에서 발생하는 유해성 분석, 송사리 치사율에 따른 어독성 실험, 투수계수에 따른 방수성 등을 종합적으로 고려한 친환경 특성 분석을 통해 향후 객관적 검증을 통한 친환경적 생태독성에 대한 특성을 정량화하고 적용기준을 마련하여 조경재료의 개발 및 공법 적용 시 사전에 환경적 악영향을 최소화하고 저감방안을 마련하는데 효과적일 것이다.

II. 연구방법

기존 연구의 성과를 중심으로 문헌조사를 실시하여 방수재료 및 공법 등을 검토 후 생태계류 및 인공지반 상부에 적합한 방수재를 선정하였고 선정된 재료별 공시체 및 어독성 분석을 위한 실험 수조를 조성하여 일정기간 동안 모니터링을 실시하였다. 일정기간 모니터링 후 환경부 호소 및 수생태계 수질 기준에 따라 유해성 분석을 1차로 실시하였고, 2차로 수질분석 결과와 상호 비교·분석 및 검증하기 위해 송사리(*Oryzias latipes*)를 수유하여 어독성 분석을 실시하였으며, 마지막으로 방수의 주요 기능인 방수성 검토를 위한 재료별 투수계수를 분석하였다. 이러한 부분별 연구 결과를 종합적으로 고려하여 친환경

방수재 특성을 분석하였다.

1. 방수재료 선정

기존 연구 및 문헌조사를 통하여 현재 조경시공 현장에서 자연지반과 인공지반 조성 시 적용되고 있는 방수재 중 벤토나이트 시트, 개량 아스팔트 시트, 합성 고무계 시트, 도막 방수재, 시멘트 액체 및 모르터 등 10가지 방수재료를 선정하였다(Table 1).

2. 방수공시체 조성

방수재료의 공시체는 연구실에 각각 가로 1.8m 세로 1.5m의 실험기반을 설치하여 선정된 방수재료를 각각 가로 40cm 세로 25cm 높이 30cm 실험수조에 방수 공법별 표준시방서(한국토지공사, 2003)를 기준으로 방수 재료별 단면을 조성 및 구축하였고, 재료별 표면적은 동일하게 조성하였다(Figure 2).

재료별로는 개량 아스팔트 시트, 합성 고무계 시트는 기성 제품의 규격을 적용시켜 조성하였고, 도막 방수재는 표준시방서를 기준으로 실험수조와 별도로 일정기간 동안 방수재료의 용해 및 용탈 물질의 유해성 및 어독성 분석을 비교할 수 있도록 대조구를 조성하였다.

개량 아스팔트 및 합성 고무계 시트는 가로 40cm 세로 25cm 높이 0.3cm로 시공, 도막 방수재는 표준시방서 기준(1.7kg/m^2)에 준하여 실험수조 면적 및 부피에 비례하여 170g/m^2 을 도포하였으며, 시멘트 액체 방수는 콘트리트 1cm 기반 조성 후 액체 방수액 2회 도포하였고, 시멘트 모르터 방수는 방수재를 혼합하여 시멘트 모르터

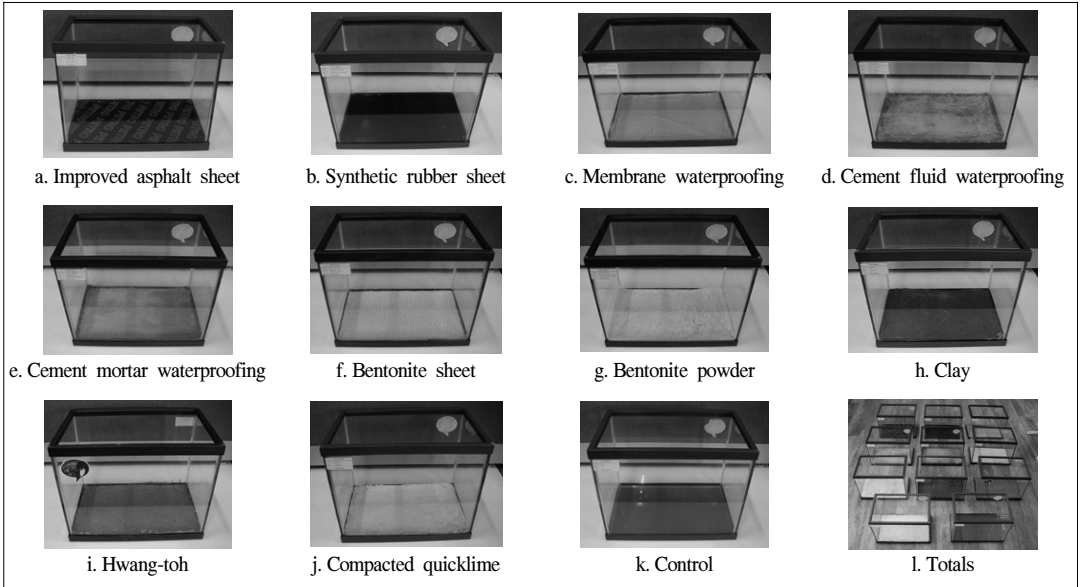


Figure 2. The Specimen Photo of waterproof material types.

를 2회 도포하여 조성하였으며, 벤토나이트 시트는 가로 40cm 세로 25cm 높이 0.3cm, 벤토나이트 분말은 높이 1.5cm, 점토, 황토, 강회 각각 높이 1cm 다짐 후 1주일 양생하였다. 또한 점토 및 황토는 실험에 앞서 토양분석을 실시하여 토양의 이화학적 특성을 분석하였다(Table 2).

3. 유해성 및 어독성 실험 수조 조성 및 분석

방수 공시체 조성 후 각각의 방수 재료별 유해성 및 어독성 분석을 위하여 실험 수조를 조성하여 일정한 수온 유지를 위한 전기히타, 산소공급 및 여과를 위한 소형여과기, 어류의 관찰을 위한 조명등, 수온 측정을 위한 온도계 설치하여 동일한 실험 조건으로 조성하였다(Figure 3).

유해성 분석을 위해 실험 수조에 각각 25ℓ의 실험수를 투입하였고, 전기히타를 이용하여 수온 20℃를 유지하였으며, 2008년 11월 4일 부터 2008년 12월 30일까지 8주간 모니터링을 수행한 후 방수 재료별 유해성 분석을 위해 환경부 호소 및 수생태계 기준에 따라 수질을 분석하였다.

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

본 연구에 사용된 송사리는 체장이 2cm~3cm 인 치어로 어류 공급업체인 그린피쉬에서 수요하여 일주일간 실험실에서 순치 후 외관상 질병의

Table 2. Physiochemical property of soil.

samples	pH (1 : 5)	EC (dS/m)	O.M (g/kg)	Av.P2O5 (mg/kg)	Ex-cation cmol+/kg			Clay (%)	Slit (%)	Sand (%)
					Ca	Mg	K			
Hwang-toh	4.98~5.12	0.01~0.02	10.2~10.5	32~38	0.98~1.02	0.91~1.01	0.12~0.14	38~33	21~24	41~43
clay	5.98~6.02	0.09~0.12	27.3~27.9	96.3~97.4	2.32~2.37	2.21~2.23	1.05~1.07	78~80	11~13	8~11

*시험방법 및 용어 : 1. pH : 초차전극법 2. 전기전도도(EC) : 백금전극법 3. 유기물(O.M) : Tyurin 비색법 4. 유효인산 : Lancast비색법 5. 치환성양이온함량(Ex,-Ca, Mg, K) : 원자흡광분광분석법 6. 토양물리성(점토, 모래, 미사비율) : 피펫법

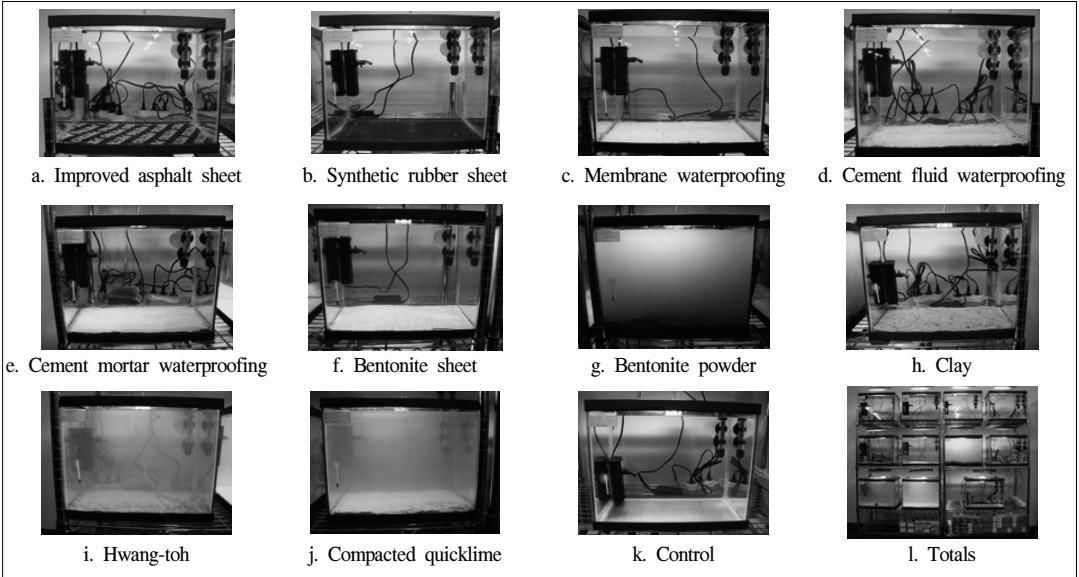


Figure 3. The Photo of Harmfulness and Fish toxicity test.

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 시험물질에 단기간 동안 어류를 노출시켜 시험물질에 대한 독성을 평가하는 것으로 영향에 대한 주요한 판단기준이 치사율(Mortality)인 급성독성시험 방법을 이용하여 송사리의 적정 수온 12~25℃ 및 표준시험생물로서의 송사리 급독성 실험의 평균 수온 20~26℃(박경수 등, 2005)를 고려하여 수온을 20℃로 유지하면서 각각 실험 수조에 30마리씩 1회 수용하여 2008년 12월 31일부터 1월 6일까지 7일간 시간당 송사리의 치사율을 분석하였다.

4. 방수성 분석

유해성 및 어독성 실험으로 분석된 결과를 기준으로 치사율이 높은 강회를 제외한 재료의 투수계수를 MIT 분류법에 따른 흙의 분류(백영식, 2007) 및 흙 종류에 따른 투수계수(박춘식, 1999)

를 기준으로 비교·분석하였다. 개량 아스팔트 시트, 합성 고무계 시트, 도막 방수재, 시멘트 액체 및 모르타 방수재는 불투수층으로 선 구분하여 투수계수 측정은 제외하였으며, 벤토나이트 시트 및 분말은 기성제품의 시험 성적서를 기준으로 투수계수를 검토하였고, 점토, 황토는 A-b 흙다짐(KSF 2312-2001)시험에 의해 투수계수를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 유해성 분석 및 특성

환경부 호소 및 수생태계 수질을 기준 성분인 수소이온농도(pH), 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 용존산소량(DO), 총인(T-P), 총질소(T-N), 클로로필-a(Chl-a), 대장균군(E. coli), 총대장균군(T-coli), 분원성 대장균군(F-coli), 탁도(Turbidity)를 각각의 실험 수조에 용해된 방수재료의 유해성을 분석하기 위해 국가공인 수질 검사기관에 의뢰하여 분석한 결과는 Table 3과 같으며, 환경부 호소 및 수생태계 수질기준 등급과 비교·분석한 결과는 Table 4와 같다.

Table 3. Harmfulness analysis results of test types.

	pH	COD (mg/L)	SS (mg/L)	DO (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	E. coli (MPN/100mℓ)		Turbidity (NTU)
								T-coli	F-coli	
a. Improved asphalt sheet	7.1	9.6	1.7	8.37	-	-	-	<2	<2	0.397
b. Synthetic rubber sheet	7.2	7.6	1.3	8.80	0.034	3.16	-	<2	<2	0.572
c. Membrane waterproofing	7.2	95.1	8.6	5.55	0.670	11.26	-	23	13	3.890
d. Cement fluid waterproofing	7.2	11.9	1.9	8.88	0.034	3.33	-	<2	<2	0.842
e. Cement mortar waterproofing	7.1	9.0	3.7	7.99	0.086	3.62	-	<2	<2	1.820
f. Bentonite sheet	7.0	12.0	6.4	8.52	0.038	3.62	-	<2	<2	1.330
g. Bentonite powder	7.3	6.9	389.8	8.79	0.715	6.65	-	<2	<2	172.000
h. Clay	7.2	4.6	0.9	8.33	0.024	2.29	-	8	8	0.422
i. Hwang-toh	7.1	3.5	1.6	8.26	0.125	2.46	-	<2	<2	2.190
j. Compacted quicklime	7.0	6.8	3.7	8.97	0.082	1.86	-	<2	<2	5.420
k. Control	7.1	7.6	2.5	6.68	0.144	4.12	-	13	<2	1.060
l. Input-water	7.2	2.8	0.3	9.460	-	1.93	-	<2	<2	0.275

참고 : (주)동진분석기술연구소에서 분석함.

Table 4. The comparison of pond and presh water ecosystem about water quality grade standard.

	pH	COD (mg/L)	SS (mg/L)	DO (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	E. coli (MPN/100mℓ)		Turbidity (NTU) rating
								T-coli	F-coli	
a. Improved asphalt sheet	la	V	la	la	-	-	-	la	la	2
b. Synthetic rubber sheet	la	IV	la	la	lb	VI	-	la	la	4
c. Membrane waterproofing	la	VI	IV	III	VI	VI	-	la	lb	10
d. Cement fluid waterproofing	la	VI	lb	la	lb	VI	-	la	la	5
e. Cement mortar waterproofing	la	V	lb	la	IV	VI	-	la	la	8
f. Bentonite sheet	la	VI	II	la	II	VI	-	la	la	7
g. Bentonite powder	la	IV	VI	la	VI	VI	-	la	la	12
h. Clay	la	III	la	la	lb	VI	-	la	la	3
i. Hwang-toh	la	II	lb	la	V	VI	-	la	la	9
j. Compacted quicklime	la	IV	lb	la	IV	VI	-	la	la	11
k. Control	la	IV	lb	lb	V	VI	-	la	la	6
l. Input-water	la	lb	la	la	-	VI	-	la	la	1

(1) pH는 11개 실험 수조에서 7.0~7.3 정도의 값을 가지는 것으로 분석되었으며, 환경부 수생태계 수질기준의 매우 좋음(Ia)등급으로 분석되었다.

(2) COD는 투입수와 비교해 11개 실험 수조의 값이 모두 증가하였으며, 도막 방수재가 95.1mg/L, 벤토나이트 시트 12.0mg/L, 시멘트 액체 방수재 11.9mg/L 순으로 분석되었고, 황토가 3.5mg/L로

최저 값을 나타내었다.

(3) SS는 벤토나이트 분말이 389.8mg/L로 가장 높은 값으로 분석되었고, 도막 방수재 8.6mg/L, 벤토나이트 시트 6.4mg/L, 강회 3.7mg/L 순으로 분석되었다.

(4) DO는 투입수와 비교해 모두 감소하였으며, 도막 방수재가 5.55mg/L로 가장 최저 값으로 분석되었고, 강회 8.97mg/L, 벤토나이트 분말

8.79mg/L 순으로 도막 방수재 실험 수조를 제외한 나머지 모든 실험 수조의 경우 환경부 수생태계 수질기준 매우 좋음(1a) 등급으로 분석되었다.

(5) T-P는 벤토나이트 분말이 0.715mg/L, 도막 방수재 0.67mg/L, 황토 0.125mg/L 순으로 분석되었으며, 이용된 투입수 수질과 비교해 총인이다소 증가한 값으로 분석되었다.

(6) T-N은 도막 방수재 11.26mg/L, 벤토나이트 분말 6.650mg/L, 벤토나이트 시트 3.62mg/L 순으로 분석되었고, 이용된 투입수 수질과 비교해 강회를 제외한 모든 실험 수조의 총질소가 다소 증가한 값으로 분석되었다.

(7) 클로로필-a는 모든 실험 수조에서 검출되지 않았다.

(8) 11개 실험 수조에서 검출된 T-coli와 F-coli의 경우 도막 방수재와 점토를 제외한 나머지 실험 수조에서는 환경부 수생태계 기준과 비교해 매우 좋은(1a) 등급으로 분석되었다.

(9) 환경부 수생태계 수질 기준과 별도로 분석한 탁도(Turbidity)의 결과는 벤토나이트 분말 172.0ntu로 가장 높은 값을 나타내었으며, 강회 5.42ntu, 도막 방수재 3.89ntu 순으로 분석되었고,

이용된 투입수 수질과 비교해 11개의 모든 실험 수조의 탁도 값이 증가한 것으로 분석되었다.

환경부 호소 및 수생태계 수질기준의 분석 항목을 대상으로 유해성 특성을 분석한 결과, 실험 수조별 값이 각각 상이한 값을 나타내는 것으로 분석되었으며, 투입수와 비교해 pH, COD, SS, T-P, T-N 값은 다소 증가한 반면, DO의 값은 다소 감소하는 특성을 나타내었으며, 환경부 수생태계 수질 기준과 별도로 분석한 탁도의 값은 투입수 값과 비교해 다소 증가한 것으로 분석되었다.

2. 어독성 분석 및 특성

유해성 분석 후 각 실험 수조별 어독성을 분석하기 위해 체장 2cm~3cm인 송사리를 실험 수조별로 각각 30마리를 수용하여 수온 20℃를 유지하면서 2008년 12월 31일부터 1월 6일까지 7일간 시간당 각각의 실험 수조에 대한 어독성을 알아보기 위하여 송사리의 치사율 기준으로 분석하였고, 결과는 Table 5와 같았다.

개량 아스팔트 시트의 경우 초기 치사율이 낮았으나, 점진적으로 증가 하여 7일째는 19마리가

Table 5. Fish toxicity analysis.

	<i>Oryzias latipes</i> ^x (ea)	1day (24t)		2day (48t)		3day (72t)		4day (96t)		5day (120t)		6day (144t)		7day (168t)		total		p-value ^y
		ea	%	ea	%	ea	%	ea	%	ea	%	ea	%	ea	%	ea	%	
		a. Improved asphalt sheet	30	-	-	1	3.3	-	-	2	6.7	2	6.7	6	20.0	8	26.7	
b. Synthetic rubber sheet	30	-	-	1	3.3	1	3.3	2	6.7	1	3.3	5	16.7	6	20.0	16	53.3	.788
c. Membrane waterproofing	30	-	-	-	-	-	-	4	13.3	5	16.7	5	16.7	11	36.7	25	83.3	.203
d. Cement fluid waterproofing	30	17	56.7	9	30.0	4	13.3	-	-	-	-	-	-	-	-	30	100.0	.557
e. Cement mortar waterproofing	30	3	10.0	5	16.7	12	40.0	7	23.3	3	10.0	-	-	-	-	30	100.0	.428
f. Bentonite sheet	30	-	-	1	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3.3	2	6.7	.023
g. Bentonite powder	30	2	6.7	9	30.0	6	20.0	10	33.3	-	-	3	10.0	-	-	30	100.0	.393
h. Clay	30	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3.3	-	-	-	-	1	3.3	.022
i. Hwang-toh	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3.3	1	3.3	2	6.7	.015
j. Compacted quicklime	30	30	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	100.0	.699
k. Control	30	1	3.3	1	3.3	-	-	3	10.0	3	10.0	3	10.0	6	20.0	17	56.7	-

^xThe length of *Oryzias latipes* : 2-3cm

^y : $p < 0.05$

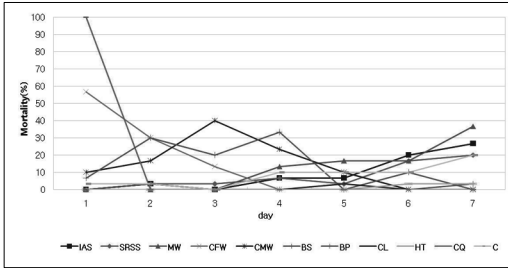


Figure 4. Mortality due to the elapsed time hourly fish toxicity (IAS; improved asphalt sheet, SRSS; synthetic rubber system sheet, MW; membrane waterproofing, CFW; cement fluid waterproofing, CMW; cement mortar waterproofing, BS; bentonite sheet, BP; bentonite powder, CL; clay, HT; hwang-toh, CQ; compacted quicklime, C; Control).

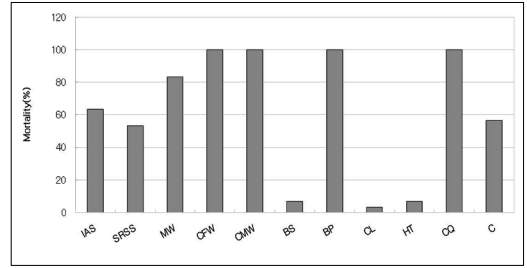


Figure 6. The Comparison of fish toxicity mortality of test types (IAS; improved asphalt sheet, SRSS; synthetic rubber system sheet, MW; membrane waterproofing, CFW; cement fluid waterproofing, CMW; cement mortar waterproofing, BS; bentonite sheet, BP; bentonite powder, CL; clay, HT; hwang-toh, CQ; compacted quicklime, C; Control).

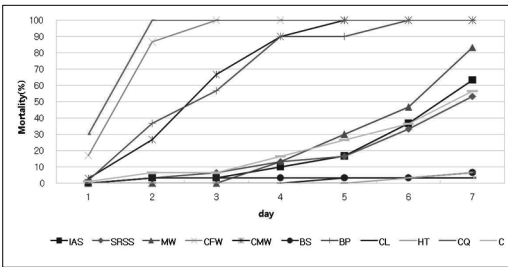


Figure 5. Hourly based on elapsed time, cumulative mortality fish toxicity (IAS; improved asphalt sheet, SRSS; synthetic rubber system sheet, MW; membrane waterproofing, CFW; cement fluid waterproofing, CMW; cement mortar waterproofing, BS; bentonite sheet, BP; bentonite powder, CL; clay, HT; hwang-toh, CQ; compacted quicklime, C; Control).

치사하여 63.4%의 치사율을 나타내었고, 합성 고무계 시트는 초기 치사율이 낮았으나 7일째는 53.3%의 치사율 결과를 나타내었다.

도막 방수재는 4일째부터 치사율이 점진적으로 증가하여 7일째는 83.3%의 높은 치사율을 나타내었으며, 시멘트 액체 및 모르타르 방수재는 초기 치사율이 100%에 가깝게 분석되었다.

벤토나이트 시트는 치사율이 3.3%로 어독성이 약한 것으로 분석되었고, 벤토나이트 분말의 경우 치사율이 100%로 나타났지만, 이는 아가미로

호흡하는 어류의 특성상 이물질의 흡착으로 산소 공급을 저해하는 부유물질 및 탁도의 영향으로 사료되며 어독성과는 관련성이 적은 것으로 판단되었다.

점토 3.3%, 황토 6.7%의 치사율로 분석되어 어독성이 약한 것으로 분석되었으며, 강회와 황토의 경우 1시간 내 치사율이 100%로 어독성이 매우 강한 방수재로 분석되었다.

각 실험 수조별 대조구의 영향관계를 파악하기 위해서 SPSS WIN 12.0K 통계패키지를 이용하여 대응표본 T-test를 실시하였다. 그 결과 벤토나이트 시트, 점토, 황토의 p값이 각각 0.023, 0.022, 0.015로 유의수준 0.05에서 차이가 있는 것으로 나타나 벤토나이트 시트, 점토, 황토는 친환경성이 높은 것으로 분석되었다.

이를 종합하면, 점토 3.3%, 황토 6.7%, 벤토나이트 시트 6.7%의 치사율을 보여서 대조구보다 낮고, LC₅₀(반수 치사농도) 이하의 치사율을 보여서 어독성은 거의 없는 것으로 보였고, 합성 고무계 시트 53.3%, 개량 아스팔트 시트 63.4%로 대조구보다 다소 높고, LC₅₀을 초과하는 약간 높은 어독성을 보였으며, 도막 방수재 83.3%, 강회, 시멘트 액체 및 모르타르 방수재, 벤토나이트 분말 각각 100%의 치사율을 보여 강한 어독성으로 보였다.

3. 방수성 분석 및 특성

유해성 및 어독성 실험 결과를 기준으로 초기 치사율이 매우 높은 강회를 제외한 재료의 투수계수를 흙의 분류 및 투수계수를 기준으로 비교·분석하였다. 개량 아스팔트 시트, 합성 고무계 시트, 도막 방수재, 시멘트 액체 및 모르터 방수재는 불투수층으로 선 구분하였고, 실험에 사용한 벤토나이트 시트와 분말, 황토, 점토는 투수계수를 측정하였다.

벤토나이트 시트의 경우 투수계수가 2.7×10^{-13} cm/sec, 벤토나이트 분말은 토사의 중량비에 따라 10%일 때 4.8×10^{-8} cm/sec, 11%일 때 3.2×10^{-8} cm/sec, 12%일 경우 3.1×10^{-8} cm/sec의 투수계수를 가지는 것으로 분석되었고, 점토 및 황토는 토양의 이화학적 분석 자료를 검토한 결과 $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-9}$ cm/sec 으로 투수계수가 낮고 불투수층으로 분석되었지만, 실험에 사용한 점토 및 황토의 투수계수를 A-b흙다짐공법(KSF 2312-2001)에 의해 분석한 결과 점토는 8.15×10^{-7} cm/sec, 황토의 경우는 5.34×10^{-7} cm/sec의 투수계수로 실질상 불투수로 분석되었다.

이를 종합한 방수성 분석결과, 개량 아스팔트 시트, 합성 고무계 시트, 도막 방수재, 시멘트 액

체 및 시멘트 모르터 방수는 시공상의 부주의한 누수가 발생하지 않은 경우 완전 방수로 불투수, 벤토나이트 시트 불투수, 벤토나이트 분말은 중량비에 따른 분석에 따라 실질상 불투수, 점토 및 황토의 경우 또한 실험 결과에 따라 실질상 불투수로 분석되었다(Table 6).

4. 부분별 친환경 특성 비교 및 종합분석

친환경 방수재 특성을 종합적으로 분석하기 위해 방수 재료별 유해성 및 어독성, 투수율을 상호 비교하였다(Table 7).

방수 재료별 유해성 및 어독성, 방수성을 비교·분석한 결과 유해성 및 방수성 분석 값이 실험 수조별로 각각 상이하게 나타났지만, 어독성 실험에 따른 치사율 결과와는 절대적으로 상호 관련성이 적은 것으로 사료되었다.

따라서, 어독성 실험을 중심으로 친환경 방수재 특성을 분석한 결과, 점토, 황토, 벤토나이트 시트가 친환경성이 강한 방수재로 분석되어지며, 합성 고무계 시트, 개량 아스팔트 시트가 친환경성이 중간정도의 특징을 보였고, 도막 방수재, 강회, 시멘트 액체 및 모르터 방수재, 벤토나이트 분말이 친환경성은 약한 것으로 분석되었다.

Table 6. Waterproofness analysis results.

	Coefficient of permeability (cm/sec)	Note Table
a. Improved asphalt sheet	-	Imperviousness
b. Synthetic rubber sheet	-	Imperviousness
c. Membrane waterproofing	-	Imperviousness
d. Cement fluid waterproofing	-	Imperviousness
e. Cement mortar waterproofing	-	Imperviousness
f. Bentonite sheet	2.7×10^{-13}	Imperviousness
g. Bentonite powder	4.8×10^{-8}	Soil and sand weight ratio 10% : 4.8×10^{-8} 11% : 3.2×10^{-8} 12% : 3.1×10^{-8} , Practically imperviousness
h. Clay	8.15×10^{-7}	Practically imperviousness
i. Hwang-toh	5.34×10^{-7}	Practically imperviousness
j. Compacted quicklime	-	Mortality 100%(Exemption)

Table 7. The Comparison of Harmfulness and fish toxicity and waterproofness.

	Harmfulness										Fish toxicity rating	Waterproofness	Environment-friendliness
	pH	COD (mg/L)	SS (mg/L)	DO (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)	E. coli (MPN/100ml)		Turbidity (NTU)			
								T-coli	F-coli				
a. Improved asphalt sheet	la	V	la	la	-	-	-	la	la	1	3	Imperviousness	Middle
b. Synthetic rubber sheet	la	IV	la	la	lb	VI	-	la	la	3	4	Imperviousness	Middle
c. Membrane waterproofing	la	VI	IV	III	VI	VI	-	la	lb	9	2	Imperviousness	Weak
d. Cement fluid waterproofing	la	VI	lb	la	lb	VI	-	la	la	4	1	Imperviousness	Weak
e. Cement mortar waterproofing	la	V	lb	la	IV	VI	-	la	la	7	1	Imperviousness	Weak
f. Bentonite sheet	la	VI	II	la	II	VI	-	la	la	6	5	Imperviousness	Strong
g. Bentonite powder	la	IV	VI	la	VI	VI	-	la	la	11	1	Practically imperviousness	Weak
h. Clay	la	III	la	la	lb	VI	-	la	la	2	6	Practically imperviousness	Strong
i. Hwang-toh	la	II	lb	la	V	VI	-	la	la	8	5	Practically imperviousness	Strong
j. Compacted quicklime	la	IV	lb	la	IV	VI	-	la	la	10	1	-	Weak

IV. 결 론

본 연구에서는 자연지반 및 인공지반 상부의 생태친화적인 방수재료의 사용의 필요성을 위한 공법별 생태독성을 검증하는 작업의 일환으로 투수계수에 따른 방수성 검토, 방수재에서 발생하는 유해성 분석, 송사리 치사율에 따른 어독성 실험을 종합적으로 고려하여 친환경 방수재 특성 분석을 수행하였다.

실제 방수재를 이용한 실험 공시체 및 실험 수조를 구축하고, 일정기간 동안 모니터링을 실시한 후 환경부 호소 및 수생태계 수질기준에 따라 유해성 분석을 한 결과 실험 수조에 따라 분석 값이 각각 상이하게 나타났지만 방수성과 어독성 실험의 치사율에 영향이 적은 것으로 나타났다.

본 연구의 목적이 기성 제품으로 생산 및 적용되고 있는 방수재료의 유해성 및 어독성을 상대적으로 비교·분석하여 방수성을 고려한 친환경 방수재 특성 분석을 목적으로 함에 주요결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 환경부 호소 및 수생태계 수질기준의 분석 항목을 대상으로 유해성 특성을 분석한 결과 각

각 실험 수조 마다 유해성 분석의 결과가 재료에 따라 분석 값이 각각 상이하게 나타났으며, 투입수와 비교해 pH, COD, SS, T-P, T-N 값은 다소 증가한 반면, DO의 값은 다소 감소하는 특성을 나타내었으며, 환경부 수생태계 수질기준과 별도로 분석한 탁도의 값은 투입수 값과 비교해 다소 증가한 것으로 분석되었다.

2. 어독성 실험의 경우는 강회, 시멘트 액체 방수재, 시멘트 모르타 방수재, 벤토나이트 분말이 각각 100%, 도막 방수재 83.3%의 치사율로 어독성이 강한 것으로 분석되었고, 개량 아스팔트 시트 63.3%, 합성 고무계 시트 53.3%로 어독성이 중간정도의 어독성으로 보였지만, 벤토나이트시트 6.7%, 황토 6.7%, 점토 3.3%는 대조구보다 낮은 치사율을 보였고, LC₅₀에도 현저히 미치지 못하고 있어서 어독성은 거의 없는 것으로 확인되었다.

3. 방수 재료별 투수계수를 고려하여 방수성을 분석결과, 개량 아스팔트 시트, 합성 고무계 시트, 도막 방수재, 시멘트 액체 및 시멘트 모르타 방수는 시공상의 부주의한 누수가 발생하지 않은 경우, 완전 방수인 볼투수, 실험 분석에 따라 벤

토나이트 시트 또한 불투수, 벤토나이트 분말은 중량비에 따른 실험 분석 결과에 따라 실질상 불투수, 점토 및 황토의 경우 또한 실험 결과에 따라 실질상 불투수로 분석되었다.

이러한 연구결과를 종합할 때 유해성 및 방수성 분석 값이 실험 수조별로 각각 상이하게 나타났지만, 어독성 실험에 따른 치사율 결과와는 상호 관련성이 적은 것으로 분석됨에 따라 어독성 실험을 중심으로 친환경 방수재 특성을 분석한 결과, 점토, 황토, 벤토나이트 시트가 친환경성이 강한 방수재료 분석되어지며, 합성 고무계 시트, 개량 아스팔트 시트가 친환경성이 중, 도막 방수재, 강회, 시멘트 액체 및 모르타르 방수재, 벤토나이트 분말이 친환경성이 약한 특성을 가지는 것으로 분석되었다.

하지만, 다양한 방수재를 적용하지 못한 점, 장기간이 아닌 단기간 및 1회 실험에 국한된 실험이었다는 점, 실험 방수재료를 특정 규격으로 단순화 시켜 용해 및 용탈된 물질의 유해성을 분석한 점, 어류의 치사율과 관련된 직접적 물질을 규명하지 못한 점, 선정된 친환경 방수재에 대한 검증 등이 본 연구의 한계점이며, 아울러 향후 개선하고 연구해야 할 과제이다. 이러한 점들은 향후 방수 공법별 어독성 실험과 병행하여 종합적 특성을 분석함으로써 해소 할 계획이다.

인 용 문 헌

- 김귀곤. 1997. 도시자연복원을 위한 인공습지 조성에 관한 연구: 서울공고에 조성된 생태연못을 사례로. 환경교육 10(2) : 175-189.
- 남선화 · 양창용 · 안윤주 · 이재관. 2007. 국내 생물종을 이용한 생태독성평가 기반연구: (I) 어류. 한국육수학회지 40(2) : 173-183.
- 대한전문건설협회. 1997. 방수공사 핸드북. 서울: 대한전문건설협회.
- 박경수 · 윤성진 · 이승민 · 김애향 · 박승윤 · 강덕영. 2005. 해양생태독성평가를 위한 표준 시험생물로서의 송사리(*Oryzias latipes*)에 관한 연구. 국립수산과학원 연구논문집 23(3) : 293-303.
- 박춘식. 1999. 토질역학. 서울: 도서출판엔지니어즈. p.83.
- 백영식. 2007. 토질역학. 서울: 도서출판구미서관. p.48.
- 오상근 · 권시원. 2006. 조경공사 방수를 위한 국내의 방수기술 현황. 조경시공 20(4) : 34-39.
- 이민석. 2005. 건설신기술 방수공법. 서울: 보성각.
- 이은엽 · 문석기. 2001. 생태연못 조성공법 적용 후의 자연생태 변화분석. 한국환경복원녹화기술학회지 4(1) : 1-15.
- 이은희 · 장하경. 2000. 생태연못 조성을 위한 이론적 고찰 및 사례연못 평가. 한국환경복원녹화기술학회지 3(2) : 10-23.
- 장병관. 1993. 생태공원 필요성과 의의. 환경과조경 61(5) : 44-47.
- 정운익 · 이주원 · 허근영 · 정기호. 2001. 전통 연못의 방수공법에 관한 연구. 한국조경학회지 36(19) : 70-78.
- 최현일. 2007. 생태독성 시험법을 이용한 중금속 평가. 충주대학교 산업대학원 석사학위논문. 한국토지공사. 2003. 한국토지공사 표준시방서-51000 방수 및 방습공사. 한국토지공사.
- 환경미디어. 2008. 11년 생태독성 배출허용기준 도입. 환경미디어 229(1) : 70-71.
- Hriaoka, 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.