



하천 호안 콘크리트 블록이 수질 및 토양환경에 미치는 영향평가

Evaluation of the Effect of Bank Protection Concrete Blocks on Water and Soil Environmental Impact

유재환^a · 박윤식^b · 신현오^c · 이건희^d · 이보현^e · 차상선^f · 박찬기^{f,g†}

Yoo Jae Hwan · Park Youn Shik · Shin Hyun Oh · Lee Goen Hee · Lee Bo Hyun · Cha Sang-Sun · Park Chan-Gi

ABSTRACT

The study is to evaluate the effect of bank protection concrete block products to streams and soils. The effect on three types of bank protection concrete blocks was evaluated. The first type was manufactured using fly ash, and the second and third type products used fine blast furnace slag powder. The laboratory and field Experiments test results showed the pHs of 9 or less. Also, any heavy metals were not detected in the heavy metal leaching tests. Although some iron (Fe) was partially detected, it still met the water quality standards. In addition, heavy metal was detected from all blocks by the US drinking water evaluation standards method. An on-site water quality and soil contamination tests were performed at the places that the blocks were implemented in practice. The test results showed that the application of the bank protection concrete block product did not lead to the water and soil quality degradation. Therefore, it was found that the hardened bank protection concrete block product did not elute harmful substances such as heavy metals that affect water and soil quality degradation.

Keywords: Bank protection, concrete block, pH, environments, heavy metals

1. 서론

국내에서 하천의 제방을 보호하는데 중점을 둔 공법으로는 콘크리트 호안 블록을 설치하는 공법과 콘크리트 매트공법을 들 수 있으며, 식물의 생육에 중점을 둔 공법으로는 양재천에 도입되었던 유럽의 여러 공법들을 들 수 있다 (Kim, 2016; Kim, 2014; Kim, et al., 2014; Kim, et al., 2015; KCI, 1999). 또한, 식물 식재를 위해 구멍이 뚫린 콘크리트 블록 (식생 블

록) 및 식생을 콘크리트에 직접 녹화하여 설치하는 다공성 식생블록들이 시공되어 왔다 (Kim, et al., 2014; Kim, et al., 2015). 일반적으로 새집증후군 및 빌딩증후군과 같이 인간의 안락한 거주를 위해 축조한 건축물이 오히려 인간의 건강에 악영향을 끼치는 사례가 많이 보고되고 있다 (KCI, 1999; KSAE, 2021). 이러한 사례의 대부분은 현대화된 각종 실내 마감재의 영향이라 보고되고 있다 (KSAE, 2021). 일반적으로 콘크리트의 환경적 유해성은 시멘트를 포함한 결합재로 사용되는 산업부산물의 유해물질 포함여부에 관심이 집중되고 있다 (KCI, 1999; KICT, 2019; KICET, 2008; Lee, et al., 2007). 특히 최근 시멘트 소성과정에서 산업부산물을 주·보조원료로 적용되기도 한다 (KIECT, 2008; Lee, et al., 2007). 각종 산업부산물을 재활용한다는 측면에서 환경적으로 장점으로 작용하지만 한편으로는 재활용재료의 영향으로 생산된 시멘트 제품에 유해물질이 포함되어 있을 수 있다는 의구심이 존재하고 있다 (KCI, 1999; KSAE, 2021; 한국건설기술연구원, 2019; 요업기술원, 2008; Lee, et al., 2007). 또한 산업부산물이 포함된 시멘트를 사용할 경우 시공과정 혹은 시공 완료 후에 환경 안전성에 대한 문제가 지속적으로 나타나고 있는 실정이다 (KICT, 2019; KIECT, 2008). 환경부와 국립환경과학원에 의해서 산업부산물을 포함한 폐기물을 재이용한 국산 시멘트 중금속 (Pb, Cu, Cd, As, Hg, T-Cr) 용출시험이 진행되었다 (KIECT, 2008). 시험결과 시멘트에서 중금속이 용출되는 결과가 나타났다 (KIECT, 2008). 이와 같이 콘크리트에 대한

^a MS Course Student, Department of Agricultural Engineering, Kongju National University

^b Professor, Department of Regional Construction Engineering, Kongju National University

^c Professor, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University

^d MS Course Student, Department of Agricultural Engineering, Kongju National University

^e BS Course Student, Department of Agricultural Engineering, Kongju National University

^f Senior Researcher, Industrial Development Institute, Kongju National University

^g Professor, Department of Regional Construction Engineering, Kongju National University

† Corresponding author

Tel.: ***-****-****

E-mail: cgpark@kongju.ac.kr

Received: September 16, 2022

Revised: November 09, 2022

Accepted: November 11, 2022

유해성이 제기되고 있는 상황에서 하천에 많이 사용되고 있는 콘크리트 호안 블록의 경우 지속적으로 물 및 토양에 노출되어 유해물질 용출에 따라 환경에 미치는 영향을 평가할 필요성이 증가하고 있다. 본 연구는 하천 제방 등에 사용되고 있는 콘크리트 호안블록 제품의 환경에 미치는 영향을 평가하였다. 환경에 미치는 영향을 평가하기 위하여 첫 번째 실내 실험으로 한국콘크리트공업협동조합연합회 단체표준 (SPS-KCIC0001-0703, 2020)에서 정한 콘크리트 호안 및 옹벽 블록 제품 (24 MPa 이상)의 제반 규정을 만족하는 제품을 대상으로 수소이온농도시험과 중금속 용출시험을 실시하여 수질환경에 미치는 영향을 평가하였다. 두 번째로 현장분석으로 콘크리트 호안블록이 설치된 하천의 수질과 토양을 대상으로 환경에 미치는 영향을 평가하였다.

II. 연구방법

1. 콘크리트 호안블록 공시체의 제작 및 배합설계

콘크리트 호안블록의 환경적 영향을 평가하기 위하여 본 연구에서는 콘크리트 제품 제조 업체에서 호안블록 생산공정에서 콘크리트 배합을 이용하여 직접 제작하였다. 일반적으

로 콘크리트 호안블록 제품의 경우 다양한 형태로 존재하지만 환경에 미치는 영향은 호안블록의 형상보다는 사용하는 재료에 영향을 받게 된다. 따라서 현재 호안블록 제품에 사용되는 배합 중 산업부산물인 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 사용하는 콘크리트 제품 공장을 중심으로 2개 공장을 선정하였다. 또한 콘크리트 호안블록은 실험용 공시체를 채취하는 것은 호안블록의 두께와 형상을 고려할 때 시험공시체 기준을 만족하기 어려워 콘크리트 호안블록 제조시 사용되는 배합을 이용하여 시험공시체를 제작하였다. 즉 호안블록 제품은 습식 공정으로 제조되고 있었으며, 제조공정은 콘크리트 믹서에서 각종 재료가 혼합된 후 호안블록 거푸집에 타설되고, 증기양생과정을 통하여 양생된 후 1일 후 탈형하여 야적하고 있었다. 증기양생은 약 6시간 실시하고 있었다. 이때 믹서에서 호안블록 거푸집에 타설하는 배합을 직접 받아 시험공시체를 제작하였다. 시험공시체는 콘크리트 호안블록을 생산하는 콘크리트 제품 생산 공장에서 실시하였다. No. 1 배합은 플라이애시 (Table 1)를 이용한 제품이며, No. 2와 No. 3 제품은 고로슬래그 미분말 (Table 2)을 사용한 제품이다. 본 연구에서는 산업부산물인 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 사용한 재료에 대한 영향을 평가한 이유는 2008년 환경

Table 1 Physical and chemical properties of fly ash

Density (g/mm ³)		Fineness (cm ² /g)		Absorption (%)		L.O.I* (%)	
2.14		3,400		0.13		3.28	
Chemical compositions (%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
58.12	23.56	7.69	2.59	1.12	0.31	1.42	1.05

* L.O.I : Loss on ignition

Table 2 Physical and chemical properties of blast furnace slag powder

Density (g/mm ³)		Fineness (cm ² /g)		L.O.I (%)			
2.8		4000~6000		3.0			
Chemical compositions (%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	S
33.1	13.9	0.29	42.4	6.1	0.4	0.96	0.66

Table 3 Mix ratio of bank protection concrete blocks

Item	Water/Binder (%)	Unit weight (kg/m ³)					
		Water	Cement	Blast furnace slag powder	Fly ash	Crushed sand	Sea sand
No. 1	42.9	161	250	-	125	1,084	731
No. 2	40.6	149	246	121	-	764	983
No. 3	37.5	149	266	131	-	739	975

부와 국립환경과학원에 의해서 폐기물 (산업부산물)을 재이용한 국산 시멘트 중금속 (Pb, Cu, Cd, As, Hg, T-Cr) 용출시험이 진행되어 중금속이 용출되는 결과가 나타나어 현재 산업 부산물을 포함한 재활용 재료가 사용에 따른 콘크리트에서도 중금속 성분이 용출여부를 평가하기 위하여 선택하였다.

또한 굵은골재는 적용하지 않았으며 부순잔골재와 모래를 이용하여 3가지 종류의 콘크리트 호안블록 제품 모두 제조되었다. 설계기준강도는 24 MPa이다. 본 연구에서 사용된 배합은 Table 3과 같다.

2. 시험방법

가. 압축강도

콘크리트 호안블록의 압축강도 시험은 KS F 2405 「콘크리트 압축 강도 시험방법」에 따라 실시하였다. 콘크리트 호안블록 공시체는 콘크리트 호안블록 제품 생산공장에서 생산공정에 투입된 콘크리트 배합을 이용하여 직경 100 mm, 높이 200 mm의 원주형 공시체를 제작하여 24시간 동안 23±2°C, 상대습도 58%에서 초기 양생을 실시하였으며, 1일 후 탈형하여 23±2°C의 수조에서 28일간 수중양생을 실시한후 압축강도 시험을 실시하였다. 압축강도시험은 실험실에서 1회에 3개의 공시체를 3회 반복 시험하였다.

나. 수소이온농도

콘크리트 호안블록 공시체에 의한 수소이온농도 변화도 시험은 50 mm × 50 mm × 50 mm 정사각형 공시체를 호안블록 생산과정에서 호안블록 콘크리트 배합을 이용하여 제작된 콘크리트 공시체 (100 mm에서 채취한 후 3종을 증류수, 하천수 및 수돗물 5 L에 침지시킨 후에 수소이온농도 (pH) 변화를

용액 침지 전, 침지 후 1시간, 침지 후 10시간, 침지 후 24시간, 침지 후 48시간, 침지 후 72시간, 침지 후 100시간 후에 수소이온농도를 측정하였다. 본 연구에서는 콘크리트 호안 블록 제품의 수소이온농도를 측정하기 위하여 KSM 0011 방법을 적용하여 실시하였으며, 시험은 시험의 객관성 및 신뢰성을 확보하기 위하여 충청남도 천안시에 위치한 공인시험기관에 의뢰하여 실시하였다. 시험은 3회 반복하여 실시하였다.

다. 환경성 평가

본 연구에서는 콘크리트 호안 블록 제품이 하천 및 토양에 미치는 환경적 영향을 파악하기 위하여, 실내 및 현장시험을 실시하였다. 본 연구에서 실시한 실내시험 및 현장시험의 내용은 Table 4와 같다.

본 연구에서는 첫 번째로 기존 콘크리트학회 등에서 호안블록 제품에 적용한 환경성 시험방법을 이용하였다 (KCI, 1999). 한국콘크리트학회에서 적용하였던 시험방법으로 구리 (Cu), 비소 (As), 카드뮴 (Cd), 크롬 (Cr), 수은 (Hg), 시안 (CN), 철 (Fe), 니켈 (Ni), 페놀류 (Phenol), 납 (Pb)의 용출 여부를 검토하였다. 시험방법은 10 L의 증류수에 콘크리트 호안 및 옹벽블록 제품에서 채취한 50 mm × 50 mm × 50 mm의 코어 공시체를 24시간 동안 침지시킨 후 이 증류수에 대한 수질분석을 수행하는 것이다 (KCI, 1999). 두 번째로 기존 시험방법보다 강화된 실내시험으로 NSF/ANSI 67-2007a 방법으로 중금속에 대한 영향을 평가하였다. 이 방법은 미국에서 음용수 자재관리 기준의 시험법으로, 콘크리트에서의 중금속 용출 정도와 유해성을 간접적으로 확인할 수 있는 시험방법이다. 국내에서 적용한 연구사례를 보면 한국세라믹기술원 (KICET, 2008)과 한국건설기술연구원 (KICT, 2019)에서도 동일한 시

Table 4 Test method for water and soil quality degradation by bank protection concrete

Analysis method	Purpose	Number of samples	Analysis item	Pretreatment
Indoor water pollution degree 1	Evaluation of water pollution by heavy metal elution	1 sample	11 items including phenols	Use the test method of the Korea Concrete Institute
Indoor water pollution degree 2	Evaluation of water pollution by heavy metal elution	pH5 6 samples pH10 6 samples	5 items including plumbum	Use NSF/ANSI 67-2007a
Indoor water pollution degree 3	Evaluation of changes in water hydrogen ion concentration by the shore block specimen	Distilled water 6 samples Tap water 3 samples River water 3 samples	Hydrogen ion concentration	Evaluate hydrogen ion concentration hourly
Field water pollution degree	Evaluation of water pollution level at the shore block operation point	Influent 2 samples Effluent 2 samples	6 items including Chrome	Field collection
Field soil pollution degree	Evaluation of soil contamination at the shore block operation point	2 samples at 1 point	26 items including cadmium	Field collection

험방법으로 콘크리트에서의 중금속 용출 분석을 위해 적용된 바 있다 (KICET 2008; KICT, 2019). NSF/ANSI 67-2007a 시험 방법을 자세히 설명하면 다음과 같다.

- (1) 200 mg/L 염소용액을 분무기에 넣고 공시체 시료의 모든 표면이 충분히 젖을 수 있도록 분무한 후에 30분 동안 방치하며, 이때 시료 상호간 오염이 발생하기 않도록 주의하며 직사광선을 피한다.
- (2) 각 공시체의 비표면적이 최소 50 cm²/L가 되도록 pH 5의 산성용액과 pH 10의 염기성 용액에 각각 23±2°C에서 24±1시간 동안 노출시킨다.
- (3) 이후 동일한 조건에서 용출수를 교체하여 24±1시간 동안 노출 시킨 후에, 다시 용출수를 교체하여 48±1시간 동안 노출시킨다.
- (4) 총 4일이 지난 후에 동일한 조건에서 용출수를 교체한 후에 24±1시간 동안 다시 노출 시킨 후에, 이 용출수에 대한 중금속 분석 시료로 한다.

본 연구에서는 상기의 방법으로 3가지 종류의 콘크리트 호안 블록 제품 공시체에 대해서 시험을 pH 5 산성용액 및 pH 10 염기성용액에 종별로 각각 2개씩의 공시체를 침지하여 시험 분석을 실시하였으며, 실내시험 종료 후 모든 시료는 즉시 충청남도 천안시 소재 공인시험기관에 수질 분석을 의뢰하였다.

현장시험을 위해서는 콘크리트 호안블록은 No. 2 및 No. 3 배합과 같이 고로슬래그 미분말을 사용한 배합으로 제조과정은 습식공정으로 제조된 제품으로 설치되어 운영 중인 충청남도 예산군에 위치한 하천에서 수질 및 토양 시료를 채취하였다. Fig. 1에서 보이는 바와 같이, 호안블록이 설치되지 않은 지점 (Water sample collection point 1)을 유입수로 정의하여 수질 시료 2개 (시료 1과 시료 2)를 채취하였고, 이 지점으로부터 호안블록이 설치되어 있으며 농경지 배수구가 위치하지 않은 구간까지인 지점 (Water sample collection point 2)을 유출수로 정의하여 수질 시료 2개 (시료 3과 시료 4)를 채취하였다. 호안블록이 토양에 미치는 영향을 판단하기 위해서는 토양이 하천수와 직접적으로 접하지 않으며 동시에 호안블록과는 직접적으로 접해있는 지점에서 토양시료를 채취해야 한다. 따라서 이러한 조건들을 만족하는 지점 (Soil sample collection point)에서 2개의 토양 시료 (시료 5와 시료 6)를 채취하였다. 채취된 수질시료 및 토양시료는 모두 채취 후 즉시 충청남도 천안시 (수질 시료) 및 강원도 춘천시 (토양 시료) 소재 공인시험기관에 분석을 의뢰하였다.

III. 시험결과

1. 압축강도

3가지 종류의 콘크리트 호안 블록제품 공시체의 압축강도 시험결과는 Fig. 2와 같다. 시험결과 모두 24 MPa 이상을 만족

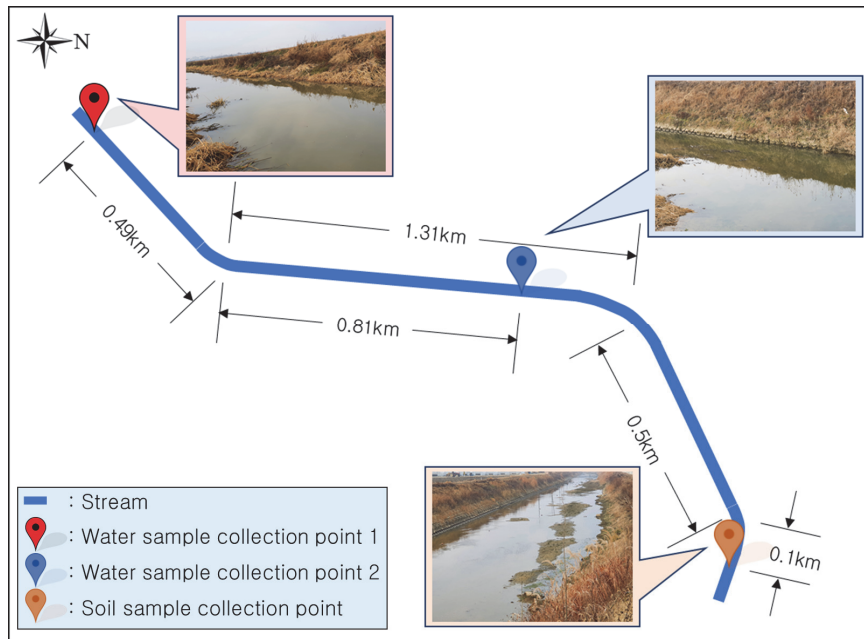


Fig. 1 Water and soil samples collection points

하였다. 콘크리트 호안블록제품의 설계기준강도는 24 MPa 이상, 배합강도 27 MPa로 설계되어 있어 나타난 결과이다. 따라서 조사된 콘크리트 호안블록 제품의 경우 압축강도는 기준을 모두 만족하여 강도 특성에는 큰 문제가 없음을 알 수 있었다.

2. 수소이온농도

일반적으로 콘크리트는 강알칼리성 재료로 수소이온농도 값이 12~13을 나타내는 재료이다. 이와 같은 강알칼리성 재료의 pH가 용출되면 하천생태계에 영향을 미칠 수 있으므로 알칼리 성분의 용출시 생태계에 문제가 발생할 수 있다. 다만 경화된 콘크리트의 경우 급격한 강알칼리성분의 용출 가능성이 상대적으로 적다 (KCI, 1999). 따라서 본 연구에서는 콘크리트 호안블록 제품의 알칼리 용출을 평가하기 위하여 수소이온농도시험을 실시하였다. 호안 블록제품 공시체 침지 전에 증류수, 수돗물, 하천수의 수소이온농도는 약 9.0, 8.0 및 7.7이었다. 증류수에 노출시킨 콘크리트 호안 블록제품 공시체 시료에서 24시간 경과 후에 수소이온농도가 증가하는 경향을 보여주고 있다 (Fig. 3). 100시간 노출 후 수소이온농도 값은 약 10.0~11.0의 값을 나타냈다. 다만 증류수 조건에서 No. 3 공시체 시험결과가 72시간 침지후 시점에서 수소이온농도가 약 1.0정도 감소하였으며 (Fig. 3(a)), 다른 공시체에서도 미소하지만 감소하는 결과를 나타내고 있다. 이와같은 결과는 공시체 샘플을 침지하고 있는 증류수의 증발 등 환경적 영향에 의한 것으로 판단된다. 그러나 전체적으로 하천수 및 수돗물 환경을 포함한 증류수 환경에서도 24시간 이후부터는 수소이온농도 값이 일정하게 유지되었다 (Fig. 3(a)~(c)). 수돗물에 노출시킨 콘크리트 호안 블록제품의 수돗물의 수소이온농도 변화를 살펴보면 호안 블록 공시체 침지 전에 수돗물의 수소이온농도는 약 8.0이었고 24시간 경과 후에 수소이온농도가 약 9.0으로 증가하였다 (Fig. 3(b)), 이후 100시간 동안

은 대체로 큰 변화폭은 보이지 않았으며 최종적으로 약 9.0~10.0의 값을 나타냈다. 콘크리트 호안 블록제품 3종을 하천수에 침지시킨 후에 하천수의 수소이온농도 변화를 측정하였다 (Fig. 3(c)). 콘크리트 호안 블록제품 공시체 침지 전에 하천수의 수소이온농도는 약 7.7이었으며, 침지후 24시간 경과 후에 수소이온농도가 약 8.2로 증가하였다. 그 후 100시간 동안은 대체로 큰 변화폭은 보이지 않았으며 최종적으로 8.0~8.5 사이의 수소이온농도 값을 보여주고 있다. 증류수, 수돗물 및

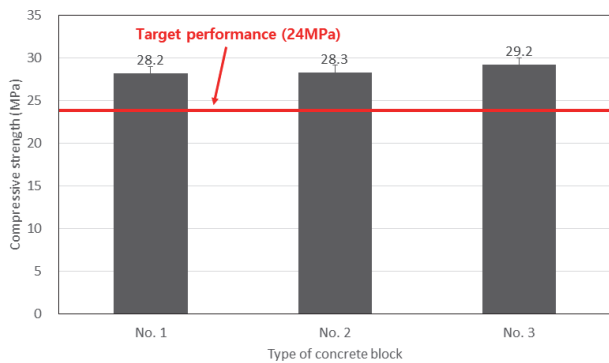
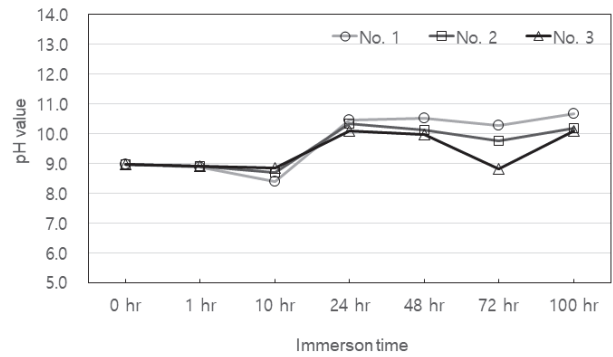
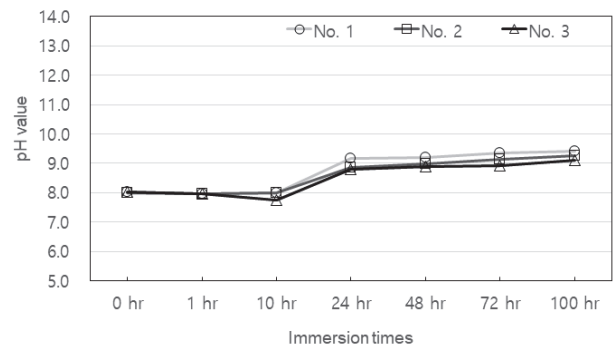


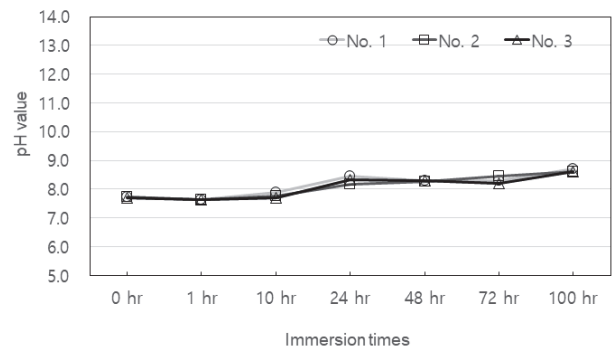
Fig. 2 Compressive strength of concrete block



(a) pHs after distilled water immersion



(b) pHs after tap water immersion



(c) pHs after stream water immersion

Fig. 3 pHs test result

하천수에 침지시킨 콘크리트 호안 블록제품의 수소이온농도의 변화 값을 보면 침지후 24시간 이후에는 큰 변화를 보이지 않고 있다. 따라서 초기 24시간 정도에 알칼리성분이 대부분 용출되어 그 이후에는 용출이 크지 않다고 할 수 있다. 100시간 후에 수소이온농도의 최종값도 원수에 비교하여 약 증류수는 1.5~2.0, 수돗물은 1.0~1.5, 하천수는 0.5~1.0의 수소이온농도 값의 변화를 나타냈다. 즉 증류수의 변화율은 약 18% 정도이며, 수돗물은 17% 및 하천수는 12%의 변화율을 보여주었다. 다만 수소이온농도의 경우 기준 값이 5.8~8.6 (Fig. 3(a)~(c))임으로 결과치를 볼 때 하천수에 노출된 경우는 만족하였으나 수돗물 및 증류수에 노출한 경우는 기준치를 넘는 결과를 보였다. 그러나 이는 원수의 수소이온농도 값이 기준치 보다 높고 (증류수), 기준치에 근접한 값 (수돗물)을 사용하였기 때문이다. 또한 하천수의 경우 고요있지 않고 흐르는 상태를 지속적으로 용출 후 물이 흘러 내려가기 때문에 실제 하천에는 하천수의 수소이온농도 값은 더 낮을 것이며, 24시간 이후에는 거의 큰 영향이 없을 정도의 용출이 발생할 것으로 예상되어 하천 생태계에는 큰 영향이 없을 것이다. 기존 연구결과에서도 수소이온농도 값의 범위가 9~11 정도를 나타낸 결과도 하천흐름을 고려할 때 경화된 상태의 콘크리트 호안블록은 하천생태계에는 큰 영향이 없는 것으로 제시하고 있다 (KCI, 1999).

3. 환경성 평가

가. 실내실험

한국콘크리트학회 등에서 적용했던 시험방법 (KCI, 1999)에 의해 콘크리트 호안블록 제품 공시체에의 중금속 용출 시험을 실시하였으며 결과분석은 현장 수질 중금속 분석 ‘물환경보전법 시행규칙’의 ‘수질오염물질의 배출허용기준’을 적

용하였다. 수질분석항목은 수소이온농도, 페놀류, 시안, 크롬, 철, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 니켈의 11개 항목에 대하여 이루어지며, 분석결과는 Table 5와 같다. 페놀류, 시안, 크롬, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납, 니켈의 9개 항목에 대해서는 검출이 되지 않았으며, 철은 0.278 mg/L 검출되었으나 기준치인 2 mg/L를 초과하지는 않았다 (Table 5). 따라서 콘크리트 호안 및 옹벽 블록 제품에서는 중금속 용출에 대한 영향은 크지 않다는 것으로 보여주었다. 특히, 굳은 상태인 콘크리트 제품이 하천 호안블록으로 적용될 경우 중금속 용출에 의한 환경오염의 가능성은 매우 적다는 것을 알 수 있다. 다만 수소이온농도는 9.3으로 기준치를 초과하였다. 그러나 원수의 수소이온농도가 9.0이었기 때문에 콘크리트 제품 노출 후 수소이온농도가 약 0.3 정도가 증가한 것으로 수질에 영향을 미쳤다고 판단하기는 어려울 것으로 판단된다. 또한 상기의 증류수, 수돗물, 하천수의 수소이온농도시험결과를 보면 하천수의 원수 수소이온농도는 약 6~8 정도를 나타내고 있다. 따라서 원수의 수소이온농도 값에 따라 용출되는 정도는 변할 수 있지만 이는 하천수 수소이온농도 값을 고려할 때 충분히 반영할 수 있는 값으로 판단된다. 또한 기존 연구의 결과에서도 콘크리트 블록의 경우 수소이온농도가 9~11까지의 범위를 나타내어도 하천수가 지속적으로 흐름을 가지고 있는 것을 고려할 때 하천 생태계에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 제시하고 있다 (KCI, 1999). 따라서 수소이온농도 0.3 정도의 증가는 콘크리트 호안블록 제품의 하천수질환경에 미치는 악영향이 크지 않다는 것을 알 수 있다.

콘크리트 호안블록 제품의 중금속 용출가능성에 대한 가능성을 고려하여 보다 강화된 시험방법인 NSF/ANSI 67-2007a 방법을 적용하여 시험을 실시하였다. 크롬, 구리, 카드뮴, 비소, 납 성분에 대한 용출 분석을 실시하였다. 시험결과 pH 5

Table 5 Hydrogen ion concentration and heavy metal analysis result by the Korea concrete institute test method

Item	Reference value	Analysis result	Compliance
Hydrogen ion concentration (-)	5.8~8.6	9.3	Exceeded
Phenol content (mg/L)	1 below	Undetected	Complied
Cyanide content (mg/L)	0.2 below	Undetected	Complied
Chromium content (mg/L)	0.5 below	Undetected	Complied
Iron content (mg/L)	2 below	0.278	Complied
Copper content (mg/L)	1 below	Undetected	Complied
Cadmium content (mg/L)	0.02 below	Undetected	Complied
Hydrargyrum content (mg/L)	0.001 below	Undetected	Complied
Arsenic content (mg/L)	0.05 below	Undetected	Complied
Lead content (mg/L)	0.1 below	Undetected	Complied
Nicel (mg/L)	0.1 below	Undetected	Complied

Table 6 Heavy metals detection test results

Heavy metal concentration (mg/L)	Influent		Effluent	
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
Chromium (Cr)	0.011	Undetected	Undetected	Undetected
Copper (Cu)	Undetected	0.010	Undetected	0.007
Cadmium (Cd)	Undetected	Undetected	Undetected	Undetected
Hydrargyrum (Hg)	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Arsenic (As)	Undetected	Undetected	Undetected	Undetected
Lead (Pb)	0.077	0.041	0.064	0.052

Table 7 Soil sample analysis result (mg/kg)

Substance	Reference Value	Result		
		Sample 5	Sample 6	
Chromium (Cd)	10	0.71	0.65	
Copper (Cu)	500	16.05	13.45	
Arsenic (As)	50	5.53	5.22	
Hydrargyrum (Hg)	10	Undetected	Undetected	
Lead (Pb)	400	50.00	49.92	
Hexavalent Chromium (Cr ⁶⁺)	15	0.52	Undetected	
Zinc (Zn)	600	87.41	69.11	
Nickel (Ni)	200	21.45	21.27	
Fluoride (F)	400	115.0	86.0	
Organophosphorous	Methyl demetone	10	Undetected	Undetected
	Parathion		Undetected	Undetected
	Diazinon		Undetected	Undetected
	Phenthoate		Undetected	Undetected
	EPN		Undetected	Undetected
PolyChlorinated Biphenyl (PCB)	4	Undetected	Undetected	
CyaNogen (CN)	2	Undetected	Undetected	
Phenol	4	Undetected	Undetected	
Benzene	1	Undetected	Undetected	
Toluene	20	Undetected	Undetected	
Ethyl Benzene	50	Undetected	Undetected	
Xylene	15	Undetected	Undetected	
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH)	800	91.0	90.0	
TriChlorEthylene (TCE)	8	Undetected	Undetected	
PerChloroEthylene (PCE)	4	Undetected	Undetected	
Benzo(a)pyrene	2	Undetected	Undetected	
1,2-Dichloro ethene	7	Undetected	Undetected	

(산성 조건) 및 pH 10(염기성 조건)에서 모두 시험된 시료에서 중금속이 검출되지 않았다. 따라서 경화된 상태인 콘크리트 제품은 미국의 음용수 수질 평가에 사용되는 강화된 시험방법인 NSF/ANSI 67-2007a법을 적용하여 용출시험에도 안전한 결과를 나타내었다.

나. 현장조사 및 분석결과

하천 현장 채취 시료에 대한 시험결과 유입수 수질 시료 2개 (시료 1과 시료 2) 모두 분석 대상 중금속 6개 항목 (크롬, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납)에서 미량 검출되거나 불검출되었으며, 유출수 수질 시료 2개 (시료 3과 시료 4) 역시 분석 대상 중금속 6개 모두 미량 검출되거나 불검출되었다 (Table 6). 그러나 유입수와 유출수의 중금속 농도를 비교할 때, 유출수의 중금속 농도가 유입수의 중금속 농도보다 낮거나, 또는 동일하게 불검출된 것으로 나타났다. 즉, 콘크리트 호안 블록 제품이 설치되어 운영되는 지점에서의 하천수에서 중금속이 검출되는 것은 콘크리트 호안 블록 제품에서 용출되었다고 보기는 어려운 것으로 판단되며, 이 경우 콘크리트 호안 블록 제품이 아니라 수계의 배출수에 포함되어 있는 중금속이 검출되는 것으로 판단된다.

본 연구에서 채취된 시료에 근거하여 수질의 안전성 판단을 위해 관련 법규를 검토해보면, ‘물환경보전법 시행규칙’의 ‘수질오염물질의 배출허용기준’에서는 지역구분 적용에 대한 공통기준을 위해서 지역을 청정지역, 가지역, 나지역, 특례지역으로 구분하고 있다. 이 기준을 적용할 때, 본 연구에서 채취된 시료의 중금속 농도는 가장 엄격한 기준인 청정지역에 대한 중금속 농도를 적용하더라도 기준치를 모두 초과하지 않았다. 따라서 콘크리트 호안블록 제품은 하천수질환경에 미치는 영향은 거의 없다고 할 수 있다. 현장에서 채취한 토양 시료는 ‘토양환경보전법 시행규칙’ (시행 2020. 7. 14.)의 ‘토양오염우려기준’에 근거하여 토양시료의 채취 지점이 해당하는 지역 (1지역: 전·답·과수원·목장용지·광천지, 2지역: 임야·염전·창고용지·하천·유지·수도용지·체육용지·

유원지·종교용지·잡종지, 3지역: 공장용지·주차장·주유소용지·도로·철도용지·제방·잡종지)에 해당하는 기준치 (mg/kg) (개정 2018. 11. 27.)의 기준과 비교하였다. 토양시료 분석 대상 지점은 호안블록이 설치되어 운영되고 있는 지점으로, ‘토양환경보전법 시행규칙’의 ‘토양오염우려기준’에 근거할 때 2지역 (하천)에 해당이 되기 때문에, 2지역에 해당하는 기준치와 분석 결과를 비교하였다 (Table 7).

채취된 토양시료에서는 수은, 유기인화합물 5종, 폴리클로리네이티드비페닐, 시안, 페놀, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 벤조(a)피렌, 1,2-디클로로에탄은 시료 5와 6에서 모두 불검출되었다. 그리고 일부 항목에서 검출되었으나, 시료 6의 구리 (Cuprum)에서 기준치의 2.7%부터 시료 5의 불소 (Fluoride)에서 기준치의 28.8%의 범위로 검출되었다. 즉, 모든 기준을 만족하는 결과를 나타냈기 때문에, 콘크리트 호안 블록 제품은 토양생태계에도 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

IV. 결론

본 연구에서는 콘크리트 호안블록 제품의 하천 수질 및 토양환경에 미치는 영향을 평가하였다. 콘크리트 호안블록제품은 제품생산공정에서 직접 채취하였다. 시험은 실내시험 및 현장 시험을 실시하였다. 시험을 통한 결과를 요약하여 제시하면 다음과 같다.

- 하천의 정체되어 있는 현상을 모형화하여 수소이온농도시험결과 원수에 비교하여 약 증류수는 1.5~2.0, 수돗물은 1.0~1.5, 하천수는 0.5~1.0의 수소이온농도 값의 변화를 나타냈다. 각 환경에서 수소이온농도의 변화는 증류수의 변화율은 약 18% 정도이며, 수돗물은 17% 및 하천수는 12%의 변화율을 보여주었다.
- 콘크리트 호안블록제품의 중금속 등 유해물질 시험결과 중금속 용출은 모두 불검출로 나왔으며 철성분이 부분적으로 검출되었으나 환경기준을 만족하는 극히 소량만 검출되어 콘크리트 제품은 수질 환경에 영향을 미치는 성분을 배출하지 않는다고 할 수 있다. 또한 콘크리트 중금속의 영향을 보다 강화된 미국음용수 평가 시험에 적용되는 방법을 적용하여 시험을 실시하였다. 시험결과 모든 항목에서 중금속이 불검출되는 결과를 얻었다. 따라서 콘크리트 제품은 중금속 용출에 대하여 큰 문제가 없음을 알 수 있었다.
- 콘크리트 제품의 하천 호안블록으로 적용된 지역의 현장 수질시험을 실시하였으며, 시험결과 유입수 (콘크리트 호안블록 제품이 적용되지 않은 구간)와 비교하여 측정 항목

모두에서 동일하거나 작은 검출량이 나타났다. 또한 토양 샘플을 채취하여 환경오염 분석을 실시한 결과 모든 항목에 기준치 이하의 값이 검출되어 콘크리트 제품은 토양생태계의 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

상기의 결과는 연구에 사용된 콘크리트 호안블록 제품이 특정지역의 공장에서 제조 및 경화된 제품을 기준으로 평가한 것이다. 따라서 다른 지역의 공장 및 경화하지 않은 콘크리트 제품 등을 하천 등에 현장 타설시에는 추가적인 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구의 결과물은 한국콘크리트공업협동조합연합회, 한국연구재단 기초연구지원사업 (과제번호: NRF-2019R1I1A3A01063048) 및 산림청 (한국임업진흥원) 산림과학기술연구개발사업 (과제번호: 2021332B10-2123A01)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

REFERENCES

1. KCI, 1999. Analysis of eco-friendly characteristics of bank protection concrete blocks, Report of the KCI, Seoul: Korea Concrete Institute. (in Korean).
2. KICET, 2008. Analysis of Heavy Metals such as Cement and Mortar Specimens, Report of the National Institute of Environmental Sciences, Seoul: Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology. (in Korean).
3. KICT, 2019. Ecological River Restoration Technology Manual Using Eco-Friendly Materials: Design and Construction of Reservoir Protection Technology and Riverbed Protection Technology. Technical Report of the Research Center for Ecological River Creation Technology where Nature and Humans Coexist No. 6., Koyang: Kora Institute of Construction Technology. (in Korean).
4. Kim, C. S., 2014. Development and performance evaluation of vegetated purification channel system. Ph.D. diss., Kongju: Kongju National University. (in Korean).
5. Kim, H. H., 2016. Design and performance evaluation of porous vegetation concrete using industrial by-products. Ph.D. diss., Kongju: Kongju National University. (in Korean).
6. Kim, H. H., C. S. Kim, J. H. Jeon, and C. G. Park, 2014.

- Physical, mechanical properties and freezing and thawing resistance of non-cement porous vegetation concrete using non-sintering inorganic binder. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(5): 37-44. (in Korean).
7. Kim, H. H., C. S. Kim, J. H. Jeon, and C. G. Park, 2015. Void ratio, compressive strength and freezing and thawing resistance of natural jute fiber reinforced non-sintering inorganic binder porous concrete. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(2): 67-73. (in Korean).
 8. KSAE, 2021. Study on The Evaluation of Environmental and Eco-friendly Characteristics of bank protection concrete blocks. Report of the KSAE, Seoul: Korean Society of Agricultural Engineers. (in Korean).
 9. Lee, S. H., H. J. Hwang, J. K. Lee, and Y. S. Chy, 2007. Review of the heavy metals in ordinary portland cement. *Journal of the Korea Concrete Institute* 19(2): 28-33. (in Korean).
 10. SPS-KCIC0001-0703, 2020. Concrete blocks for retaining wall and revetment, Federation Of Korea Concrete Industry Cooperatives.