



# 유용미생물을 이용한 포러스 콘크리트의 장기간 연속흐름 실험을 통한 수질정화 효과 검토

박준석<sup>1)</sup> · 김봉균<sup>2)</sup> · 김우석<sup>3)</sup> · 서대석<sup>4)</sup> · 김희중<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>경북대학교 건설환경에너지공학부 <sup>2)</sup>충남대학교 토목공학부 <sup>3)</sup>금오공과대학교 건축학부 <sup>4)</sup>동산콘크리트산업(주)

## Investigation on Water Purification Effect Through Long-Term Continuous Flow Test of Porous Concrete Using Effective Microorganisms

Jun-Seok Park,<sup>1)</sup> Bong-Kyun Kim,<sup>2)</sup> Woo-Suk Kim,<sup>3)</sup> Dae-Sok Seo,<sup>4)</sup> and Wha-Jung Kim<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>School of Architecture & Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>2)</sup>School of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>3)</sup>School of Architecture, Kumoh National Institute of Technology, Gumi 730-701, Korea

<sup>4)</sup>Dong San Bio Concrete Industry Laboratory, Dong San Concrete Industry Company, Yeosu 469-802, Korea

**ABSTRACT** The purpose of this study is to investigate water purification properties of porous concrete by using effective microorganisms through the long-term continuous flow test. To solve the problems such as desorption of conventional microorganisms, in this study, tertiary treatment of the effective microorganisms identified by 16S rDNA sequence analysis was adopted per each step in the manufacturing process of porous concrete. And concentration for optimum continuous flow test and operation conditions through basic experiments according to retention time were investigated. Based on the experimental results, the porous concrete applying effective microorganisms showed no toxicity on the biological water quality and exhibited excellent removal efficiency than normal porous concrete. Therefore, contaminated water quality would be improved by treatment performance investigation of contaminants through long-term continuous flow test. If problems are complemented during the experiment process, it is expected to be able to reduce the non-point pollution sources flowing into river.

**Keywords** : effective microorganisms, complex process with microorganisms, porous concrete, long-term continuous flow test, water purification

### 1. 서 론

호수 및 하천은 환경적, 생태적으로도 중요한 가치를 지닌 천연자원으로, 최근 가치에 대한 인식이 변화하고 하천정비의 목적이 단순히 치수나 이수뿐만 아니라 다양한 환경적 잠재기능을 복원시킬 수 있는 방향으로 전환되고 있다. 최근 국가에서 시행하고 있는 하천정비 사업은 주변 자연생태계의 보전·복원, 수변 친수공간 형성 등 환경친화적 기능들이 강조된다. 그러나 현재 호수 및 하천의 경우 각종 다양한 오염원에 의해 수질환경이 매우 심각한 상황으로, 이를 해결하기 위하여 다양한 방법

이 제시되고 있다. 하지만 대부분 많은 비용이 소모되거나 장기간의 시간이 요구되고, 그 성능이 증명되지 않은 경우가 대부분이다.<sup>1-6)</sup>

최근 중금속 흡착, 황산화 작용, 항곰팡이 작용 등의 특성을 갖는 유용미생물의 사용에 대한 연구가 진행되어 하수슬러지, 중금속에 오염된 토양의 처리 등에 이용되고 있고 그 처리 효과 또한 괄목할 만한 성과를 나타내어 실제 오염물질의 처리에 활용되고 있다. 국내의 경우 주로 토양개량, 유기농 농작물 재배, 축산퇴비의 제조 등의 농업분야와 오염된 하천수를 정화시키기 위하여 유용미생물 배양용액 자체를 이용하는 경우가 주를 이루고 있으며, 하천생태복원용 콘크리트의 기능성 재료로 활용한 경우는 전무한 실정이다.<sup>7-12)</sup> 국외의 경우는 N, P의 흡수 제거, 수질정화 등 유용 미생물 균을 추출 배양하여 이용한 환경개선 및 에코 콘크리트를 활용한 연구들이 활발

\*Corresponding author E-mail : kimwj@knu.ac.kr

Received December 13, 2013, Revised January 17, 2014,

Accepted January 29, 2014

©2014 by Korea Concrete Institute

히 이루어지고 있다.<sup>13-24)</sup> 최근 국내에서도 포러스 콘크리트를 이용한 하천생태 복원용 콘크리트에 관한 연구는 국내에서 일부 진행되고 있지만, 선진외국에 비해서는 매우 저조한 실정이며, 또한 오염 하천수의 정화효과가 우수한 복합 유용미생물을 콘크리트에 적용하거나 장기간 운전을 통한 국내의 연구는 전무한 실정이다.

이에 이 연구에서는 생물의 서식기반 제공 효과가 있는 다공질의 포러스 콘크리트와 대사작용으로 인한 유기·오염물질을 분해시켜 오염된 하천수의 수질정화 효과가 있는 유용미생물을 동시에 이용하여 장기간 연속흐름 시험을 통한 수질정화 특성을 검토하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 실험 재료

#### 2.1.1 시멘트

이 실험에서 사용한 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트이며, 물리적 성질은 Table 1과 같다.

#### 2.1.2 굵은골재

이 실험에서 사용한 굵은골재는 화강암질 부순돌과 경량부석을 사용하였으며, 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다. 경량 부석은 EM 배양액에 24시간 침지시킨 후 이를 인양하여 사용하였다.

#### 2.1.3 혼화제

혼화제로는 시멘트 분산작용과 미세공기의 연행으로

**Table 1** Physical properties of cement

Setting time (min)		Compressive strength (MPa)			Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Initial set	Final set	3d	7d	28d	3318	3.15
240	340	22.5	31.1	40.0		

**Table 2** Physical properties of coarse aggregate

Coarse aggregate	Grading	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption ratio (%)	Unit volume weight (t/m <sup>3</sup> )
Crushed stone	5~13 mm	2.81	0.8	1.69
Pumice	5~8 mm	1.04	16.1	0.392

**Table 3** Properties of air-entraining and high-range water-reducing admixture

Appearance	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Alkaline content (%)	Chloride ion content (%)
Dark brown liquid	1.06	0.9	< 0.01

단위 수량저감, 워커빌리티(workability) 및 내동해성을 개선시키는 국내 D사 제품의 고성능AE감수제를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

#### 2.1.4 원수(유입수)

이 실험에 사용된 원수는 경기도 용인시 기흥저수지에서 채수하여 사용하였다. 농도별 실험에서는 기흥 레스피아 유입수와 기흥저수지에서 채취한 저수지수, 수돗물을 일정 비율로 혼합하여 저농도, 중농도, 고농도로 조절하여 사용하였다. 고농도는 기흥 레스피아 유입수, 중농도는 기흥저수지 저수지수, 저농도는 기흥저수지의 저수지수와 수돗물을 1:1 비율로 혼합하여 사용하였으며, 각 항목별 농도 범위 및 평균은 Table 4와 같다.

#### 2.1.5 배지(medium) 및 균주

이 실험에 사용된 배지는 TSA(Tryptic Soy Agar)와 TSB(Tryptic Soy Broth)를 사용하였으며, 각 배지의 조성은 Table 5와 같다.

이 실험에서 사용된 미생물은 effective microorganisms (시중에 유통되고 있는 EM)을 사용하였다. 미생물의 분

**Table 4** Concentration range and average of each concentration of influent water

Item	Low concentration		Middle concentration		High concentration	
	min ~ max	average	min ~ max	average	min ~ max	average
SS (mg/L)	8.0 ~ 15.0	10.8	18.0 ~ 29.0	22.6	25.0 ~ 33.0	27.2
BOD (mg/L)	3.06 ~ 4.01	3.4	5.80 ~ 6.20	5.9	19.23 ~ 35.44	25.5
COD (mg/L)	6.0 ~ 10.0	8.0	8.0 ~ 22.0	13.6	38.0 ~ 50.0	42.4
T-N (mg/L)	2.46 ~ 3.31	2.8	3.96 ~ 4.95	4.5	10.61 ~ 19.58	14.8
T-P (mg/L)	0.041 ~ 0.067	0.054	0.051 ~ 0.079	0.062	0.660 ~ 0.816	0.727

**Table 5** TSA, TSB medium composition

Medium name	Medium composition
TSA medium	[Distilled water 1 L] - Tryptone (15.0 g) - Soytone (5.0 g) - Sodium chloride (5.0 g) - Agar (15.0 g)
TSB medium	[Distilled water 1 L] - Pancreatic digest of casein (17.0 g) - Papaic digest of soybean (3.0 g) - Dextrose (2.5 g) - Sodium chloride (5.0 g) - Dipotassium phosphate (2.5 g)

리는 시료 30 g을 멸균증류수 270 mL에 넣어서 교반한 후, 살균한 닭을 끼운 마이크로피펫으로 TSA 배지에 10 mL 취한다. 여기에 살균한 콘라지봉(bend glass)을 이용한 도말법으로 접종하였다. 이 실험에서는 16S rDNA 염기서열 분석법에 의해 동정된 미생물을 이용하였으며, 동정된 미생물들은 Table 6과 같다.

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 공시체 제작

이 실험에서 사용된 포러스 콘크리트(150×150×150 mm)는 트윈샤프트믹서(회전속도 30~35 RPM)를 이용하여 분할혼합방식으로 콘크리트를 혼합하고 공시체의 성형은 표면진동형 바이브레이터를 이용한 진동가압다짐방법으로 20초 동안 다짐을 실시하였다. Table 7은 공시체의 배합표를 나타낸 것이다.

공시체에 미생물을 부착시키기 위하여 배합과정에서 3차 처리를 하였다. 이는 공시체 제작과정 중 미생물 탈리 등의 문제점들을 최소화시키기 위하여 적용하였으며 적용방법은 Fig. 1과 같다.

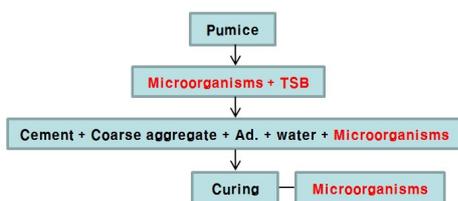
**Table 6** List of EM considered in this study

No.	Identification	Homology (%)
DS01	<i>Bacillus flexus</i>	99.2
DS02	<i>Bacillus flexus</i>	99.26
DS03	<i>Bacillus flexus</i>	99.6
DS04	<i>Bacillus flexus</i>	99.93
DS05	<i>Bacillus firmus</i>	99.86
DS06	<i>Bacillus firmus</i>	99.79
DS07	<i>Brevibacillus agri</i>	99.36
DS08	<i>Bacillus circulans</i>	99.31
DS09	<i>Bacillus circulans</i>	99.53
DS10	<i>Lactobacillus farraginis</i>	99.59

**Table 7** Mixing design of porous concrete

Porosity (%)	W/C (%)	Unit volume weight (kg/m <sup>3</sup> )					
		C	W	M	Coarse aggregate		Ad.
					CS	P	
15	25	438.0	98.5	11.0	1521.0	62.5	1.75

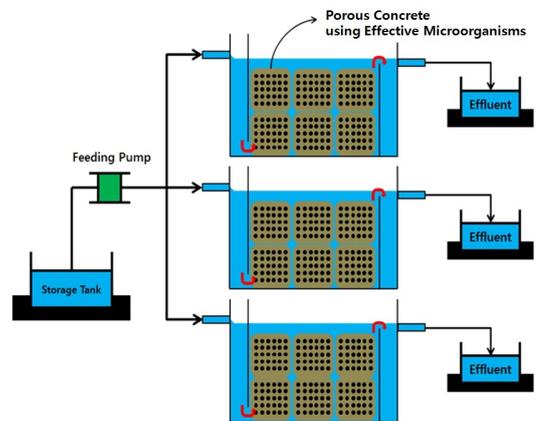
C: Cement, W: Water, M: Microorganisms, CS: Crushed Stone, P: Pumice, Ad: Admixture



**Fig. 1** Application method of microorganisms in mixing process

### 2.2.2 실험 장치 및 방법

이 실험에서 사용된 반응조는 연속류식 반응조로서 Fig. 2와 같다. 유입수의 흐름방식은 상향류 방식으로 저류조 Storage Tank는 110 L 용량의 플라스틱 용기를 이용하였으며, 시료의 유입은 미량유량펌프(Masterflex, Model 7529-00)를 이용하였다. 저류조 내에서는 부유물질 또는 기타 오염물질들이 침전되는 것을 방지하기 위해 교반장치를 설치하였다. 반응조의 체원은 길이 0.58 m, 폭 0.46 m, 높이 0.30 m의 크기(총용량 = 80 L)며, 두께 10 mm의 투명 아크릴판으로 3개조를 제작하여 실험하였다. 반응조에 정류벽(Baffle)을 설치하여 3개의 독립된 지를 두고 분할하여 운전하였다. 수심은 유출구의 막힘과 유입폐수 펌프의 사고 등에 대비하여 여유고 0.005 m로 하였고, 반응조의 총 유효용량은 50 L이다.



**Fig. 2** Schematic diagram of continuous flow system

**Table 8** Analytical items and methods

Analytical item	Methods	Note
Water temperature	pH meter (pH 330, WTW, Germany)	Direct measurement
pH	pH meter (pH 330, WTW, Germany)	Direct measurement
EC (μm/cm)	EC meter (HI 933100, Hanna, Portugal)	Direct measurement
DO (mg/L)	Winkler {(sodium) azide modification} method	-
SS (mg/L)	Vacuum filtration	Glass fiber filter method
BOD (mg/L)	DO meter (YSI 58, USA)	5 day BOD
COD (mg/L)	Potassium permanganate method	Oxidizing agent - KMnO <sub>4</sub>
T-N (mg/L)	Ultraviolet absorption spectrometry	-
T-P (mg/L)	Ascorbic acid reduction method	-
Heavy metal	Atomic absorption spectroscopy	-

체류시간 및 유입 농도별에 따라 실험을 실시하여 최적의 실험조건을 결정하였으며, 연속흐름 반응조 3 SET 모두 동일하게 운전조건을 유지하면서 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 포러스 콘크리트는 먼저 수조 내에 투입 시킨 후 유입수를 유입시켜 약 30일 정도 안정화시킨 후 실험을 하였으며, 수질 분석 항목과 방법은 Table 8에 나타내었다. 실험은 151일간 3일 간격으로 51회 실시하였으며, 일반 포러스 콘크리트와 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트를 비교·분석하여 수질정화 능력을 검토하였다.

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 장기간 수질정화능력 평가를 위한 체류시간 및 유입농도 검토

##### 3.1.1 유용미생물을 이용한 포러스 콘크리트의 체류시간 별 수질 정화 능력평가

이 연구에서 체류시간을 선정하기 위해 각 반응조의 체류시간은 30 min, 60 min, 120 min으로 설정하였으며, 샘플은 총 5회에 걸쳐 매 시간마다 채취하였다.

체류시간 별 실험조건 30 min, 60 min, 120 min에서 측정된 결과는 Table 9, 10과 같다. 실험 결과 SS 평균 제거 효율 30 min에서는 76.9%, 60 min에서는 74.8%, 120 min에서는 85.6%로 체류시간이 길면 처리효율이 증가하는 것으로 나타났다. BOD, COD, T-N, T-P 경우에도 비슷한 경향을 나타내어 체류시간을 길게 할수록 처리효율은 증가하는 것으로 판단되어 장기간 수질정화 능력 평가를 위해 체류시간을 120 min으로 설정하였다.

##### 3.1.2 유용미생물을 이용한 포러스 콘크리트의 유입농도 별 수질 정화능력평가

각 반응조의 체류시간은 앞서 실험 결과에서 나타난 바와 같이 120 min에서 가장 좋은 효과를 보였기 때문에 120 min으로 설정하여 실험을 실시하였으며, 샘플은 총 5회에 걸쳐 매 시간마다 채취하였다.

농도 별 실험조건 저농도, 중농도, 고농도에서 측정된 결과는 Table 11과 같다. 실험 결과 SS의 평균 제거효율은 저농도 72.8%, 중농도 58.6%, 고농도 60.6%로 저농도의 제거효율이 높게 나타났으나, BOD, COD, T-N, T-P 경우에는 중농도의 조건에서 제거 효율이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 저농도 조건에서 희석을 위해 수돗물을 사용했고, 또한 기흥호소수의 농도가 너무 낮았으며, 고농도 조건에서 농도를 높이기 위하여 사용한 하수처리장 유입수는 오염도가 너무 높았기 때문에 결국 유입수 성상의 차이로 인하여 이와 같은 결과가 나타난 것으로 사료된다. 따라서 장기간 수질정화 능력평가를 위해 유입수 농도를 중농도 조건으로 설정하였다.

**Table 9** Concentration range contrasted with each item between influent and effluent water

Item	Influent water	HRT 30 min	HRT 60 min	HRT 120 min
	min ~ max	min ~ max	min ~ max	min ~ max
SS (mg/L)	10 ~ 94	5 ~ 13	7 ~ 13	1 ~ 6
BOD (mg/L)	1.46 ~ 5.84	0.24 ~ 0.52	0.20 ~ 0.97	0.13 ~ 1.06
COD (mg/L)	18 ~ 25	8 ~ 10	2 ~ 7	2 ~ 3
T-N (mg/L)	1.52 ~ 3.38	1.42 ~ 2.01	1.24 ~ 1.93	1.17 ~ 1.70
T-P (mg/L)	0.033 ~ 0.082	0.043 ~ 0.063	0.041 ~ 0.059	0.027 ~ 0.062

**Table 10** Removal efficiency range and average per detention period

Item	HRT 30 min		HRT 60 min		HRT 120 min	
	min ~ max	average	min ~ max	average	min ~ max	average
SS (%)	61.5 ~ 86.9	76.9	60.7 ~ 84.3	74.8	64.7 ~ 97.3	85.6
BOD (%)	64.4 ~ 85.8	76.4	72.4 ~ 92.2	81.3	81.3 ~ 96.2	84.7
COD (%)	50.0 ~ 63.6	58.7	61.1 ~ 91.7	81.4	85.0 ~ 90.9	88.8
T-N (%)	2.2 ~ 28.2	14.8	7.6 ~ 36.0	19.4	13.2 ~ 24.8	19.6
T-P (%)	3.8 ~ 23.2	15.0	7.5 ~ 22.6	16.0	18.1 ~ 29.1	21.6

**Table 11** Removal efficiency range and average of each concentration of influent water

Item	Low concentration		Middle concentration		High concentration	
	min ~ max	average	min ~ max	average	min ~ max	average
SS (%)	40.0 ~ 87.5	72.8	44.8 ~ 83.3	58.6	48.0 ~ 65.4	56.4
BOD (%)	11.4 ~ 27.7	20.3	43.8 ~ 50.8	46.7	40.6 ~ 53.1	47.4
COD (%)	16.7 ~ 60.0	35.0	20.0 ~ 75.0	53.1	30.8 ~ 54.8	45.9
T-N (%)	5.9 ~ 22.2	13.9	5.5 ~ 24.4	14.9	6.4 ~ 37.8	18.3
T-P (%)	2.1 ~ 31.4	18.9	11.4 ~ 39.2	21.9	7.1 ~ 20.9	11.8

### 3.2 장기간 운전을 통한 수질정화능력 평가

#### 3.2.1 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 수온, pH 및 EC 변화와 중금속 용출특성

장기운전을 통한 유입수와 유출수의 수온, pH 및 EC 범위 및 평균은 Table 12와 같으며, 중금속 용출 농도 측정 결과는 Table 13과 같다. 유입수의 수온은 9.6~17.6°C의 범위에 평균 12.5°C로 나타났고, 유출수는 10.2~17.9°C의 범위에 평균 13.1°C로 유입수와 유출수간에 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. pH는 유입수가 7.1~8.0의 범위에 평균 7.5로 나타났고, 유출수는 7.3~8.7의 범위에 평균 7.8로 유입수와 유출수간에 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. EC 값은 유입수가 최저 331.4  $\mu\text{s/cm}$ 에서 최고 381.3  $\mu\text{s/cm}$ 의 범위에 있었으며, 평균적으로는 358.2  $\mu\text{s/cm}$ 로 나타났다. 유출수는 최저 359.2  $\mu\text{s/cm}$ 에서 최고 447.6  $\mu\text{s/cm}$ 의 범위에 평균 414.1  $\mu\text{s/cm}$ 로 유입수와 유출수간에 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 중금속 용출 농도 측정 결과 분석항목 전체에서 검출 이내의 값을 보임으로써 중금속의 의한 수질에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다.

#### 3.2.2 DO 농도 지수에 미치는 영향

일반 포러스 콘크리트와 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 시간에 따른 DO 농도변화는 Fig. 3과 같다.

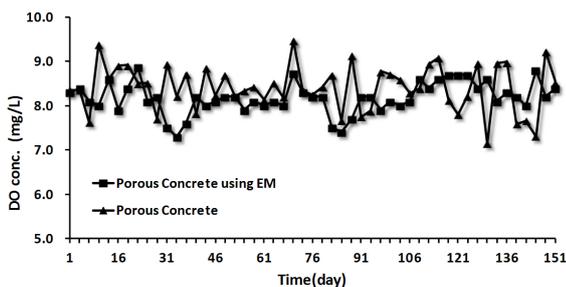
**Table 12** Range and average of water temperature, pH, EC

Item	Influent		Effluent	
	min~max	average	min~max	average
Water temperature (°C)	9.6~17.6	12.5	10.2~17.9	13.1
pH	7.1~8.0	7.5	7.3~8.7	7.8
EC ( $\mu\text{s/cm}$ )	331.4~381.3	358.2	359.2~447.6	414.1

**Table 13** Concentrations of heavy metal elution

	Zn	Pb	Cu	Cr
Minimum	ND	ND	ND	ND
Maximum	ND	ND	ND	ND
Average	ND	ND	ND	ND

Note) ND: Non-Detection



**Fig. 3** Concentrations of DO in porous concrete and porous concrete using EM

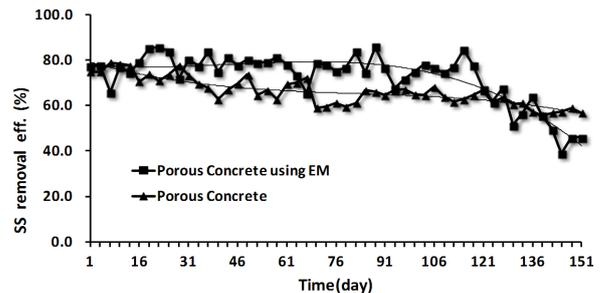
유입수는 8.5~9.1 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 8.7 mg/L로 나타났다. 일반 포러스 콘크리트를 적용한 경우 유출수가 7.2~9.5 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 8.4 mg/L로 나타났으며, 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트 경우 유출수가 7.3~8.9 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 8.2 mg/L로 나타났다. 두 경우 비슷한 DO 농도 변화를 나타내었기 때문에 이 연구에 사용한 유용미생물로 인한 DO의 영향은 미치지 못하는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 실험 결과 두 경우 모두 유입수 농도에 비하여 유출수의 DO농도가 낮게 나타났다. 이는 반응조를 통과하면서 유기물의 생물학적 분해과정에서 산소가 소모되었기 때문으로 사료된다.

#### 3.2.3 SS의 농도 및 제거효율 검토

일반 포러스 콘크리트와 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 시간에 따른 SS 농도변화 및 제거효율은 Table 14, Fig. 4와 같다. 유입수는 10.7~32.7 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 21.8 mg/L로 나타났다. 일반 포러스 콘크리트를 적용한 경우 유출수의 농도가 6.7~24.0 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 14.4 mg/L로 나타났다. 제거효율은 55.8~79.0%의 범위로 평균 제거효율은 66.3%인 것으로 조사되었다. 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트 경우 유출수의 농도가 2.5~11.1 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 5.8 mg/L로 나타났다. 제거효율은 39.0~85.9%의 범위로 평균 제거효율은 72.6%인 것으로 조사되었다. 전반적으로 안정적인 처리효율을 보인 것으로 나타났으며, 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 경우가 일반 포러스 콘크리트보다 우수한 제거효율을 나타내었다. 하지만 지속적인 운전으로 공극의 막힘 현상이 발생하여 주기적인 유량변동 경향을 보였으며, 120일 이후부터 현저하게 성능이 저하되는 것으로 나타났다.

**Table 14** Concentration and removal efficiencies of SS

Item	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal efficiencies (%)	
	min~max	min~max	min~max	average
Porous concrete	10.7~32.7	6.7~24.0	55.8~79.0	66.3
Porous concrete using EM	10.7~32.7	2.5~11.1	39.0~85.9	72.6



**Fig. 4** Removal efficiencies of SS in porous concrete and porous concrete using EM

### 3.2.4 BOD의 농도 및 제거효율 검토

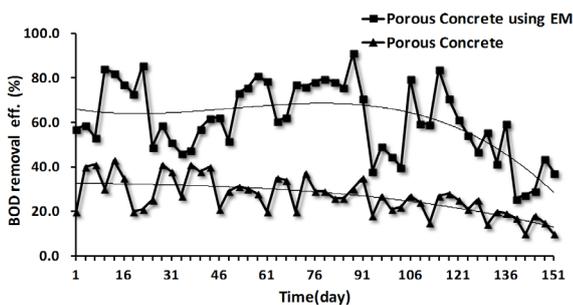
일반 포러스 콘크리트와 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 시간에 따른 BOD 농도변화 및 제거효율은 Table 15, Fig. 5와 같다. 유입수는 2.5~6.1 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 4.4 mg/L로 나타났다. 일반 포러스 콘크리트를 적용한 경우 유출수의 농도가 1.8~4.8 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 3.2 mg/L로 나타났다. 제거효율은 10~43%의 범위로 평균 제거효율은 26.7%인 것으로 조사되었다. 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트 경우 유출수의 농도가 0.4~3.1 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 1.6 mg/L로 나타났다. 제거효율은 25.6~91.1%의 범위로 평균 제거효율은 61.1%인 것으로 조사되었다. 일반 포러스 콘크리트에 비해 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 제거효율이 약 30% 우수한 결과를 나타내었으며, 이와 같은 결과는 유용미생물에 의한 생물학적 반응으로 BOD에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

### 3.2.5 COD의 농도 및 제거효율 검토

일반 포러스 콘크리트와 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 시간에 따른 COD 농도변화 및 제거효율은 Table 16, Fig. 6과 같다. 유입수는 16.0~36.0 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 23.3 mg/L로 나타났다. 일반 포러스 콘크리트를 적용한 경우 유출수의 농도가 11.5~28.2 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 19.0 mg/L로 나타났다. 제거효율은 6~30%의 범위로 평균 제거효율은 18.3%인 것으로 조사되었다. 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트 경우 유출수의 농도가 4.0~19.0 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 8.7 mg/L로 나타났다. 제거효율은 14.3~81.0%의 범위로 평균 제거효율은 62.1%인 것으로

**Table 15** Concentration and removal efficiencies of BOD

Item	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal efficiencies (%)	
	min ~ max	min ~ max	min ~ max	average
Porous concrete	2.5 ~ 6.1	1.8 ~ 4.8	10 ~ 43	26.7
Porous concrete using EM	2.5 ~ 6.1	0.4 ~ 3.1	25.6 ~ 91.1	61.1



**Fig. 5** Removal efficiencies of BOD in porous concrete and porous concrete using EM

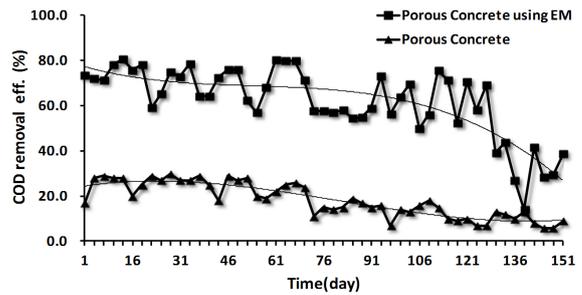
로 조사되었다. 이와 같이 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트가 미생물들의 분해력에 의해 일반 포러스 콘크리트 보다 약 40%의 우수한 제거효율을 나타낸 것으로 사료된다.

### 3.2.6 T-N의 농도 및 제거효율 검토

일반 포러스 콘크리트와 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 시간에 따른 T-N 농도변화 및 제거효율은 Table 17, Fig. 7과 같다. 유입수는 1.58~3.32 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 2.58 mg/L로 나타났다. 일반 포러스 콘크리트를 적용한 경우 유출수의 농도가 1.50~

**Table 16** Concentration and removal efficiencies of COD

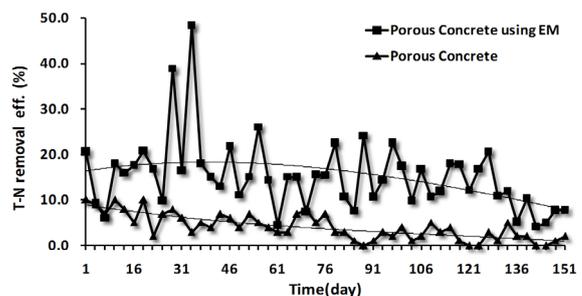
Item	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal efficiencies (%)	
	min ~ max	min ~ max	min ~ max	average
Porous concrete	16.0 ~ 36.0	11.5 ~ 28.2	6 ~ 30	18.3
Porous concrete using EM	16.0 ~ 36.0	4.0 ~ 19.0	14.3 ~ 81.0	62.1



**Fig. 6** Removal efficiencies of COD in porous concrete and porous concrete using EM

**Table 17** Concentration and removal efficiencies of T-N

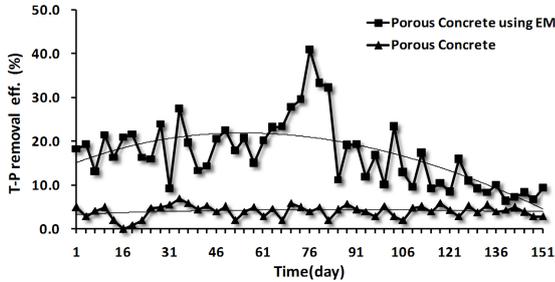
Item	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal efficiencies (%)	
	min ~ max	min ~ max	min ~ max	average
Porous concrete	1.58 ~ 3.32	1.50 ~ 3.09	0 ~ 10	4.1
Porous concrete using EM	1.58 ~ 3.32	1.07 ~ 2.99	4.2 ~ 48.4	15.2



**Fig. 7** Removal efficiencies of T-N in porous concrete and porous concrete using EM

**Table 18** Concentration and removal efficiencies of T-P

Item	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal efficiencies (%)	
	min ~ max	min ~ max	min ~ max	average
Porous concrete	0.054~0.098	0.051~0.095	0~7	4.1
Porous concrete using EM	0.054~0.098	0.041~0.088	6.4~41.0	17.2



**Fig. 8** Removal efficiencies of T-P in porous concrete and porous concrete using EM

3.09 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 2.47 mg/L로 나타났다. 제거효율은 0~10%의 범위로 평균 제거효율은 4.1%인 것으로 조사되었다. 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트 경우 유출수의 농도가 1.07~2.99 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 2.19 mg/L로 나타났다. 제거효율은 4.2~48.4%의 범위로 평균 제거효율은 15.2%인 것으로 조사되었으며, 이와 같은 결과는 유용미생물의 부착이 이루어지는 특징으로 인해 질산화 미생물에 의한 질소의 제거가 나타나는 것으로 판단된다.

### 3.2.6 T-P의 농도 및 제거율을 검토

일반 포러스 콘크리트와 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 시간에 따른 T-P 농도변화 및 제거효율은 Table 18, Fig. 8과 같다. 유입수는 0.054~0.098 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 0.078 mg/L로 나타났다. 일반 포러스 콘크리트를 적용한 경우 유출수의 농도가 0.051~0.095 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 0.075 mg/L로 나타났다. 제거효율은 0~7%의 범위로 평균 제거효율은 4.1%인 것으로 조사되었다. 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트 경우 유출수의 농도가 0.041~0.088 mg/L의 범위를 보였고, 평균농도는 0.065 mg/L로 나타났다. 제거효율은 6.4~41.0%의 범위로 평균 제거효율은 17.2%인 것으로 조사되었다. 이와 같이 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트가 미생물들의 흡수 및 세포합성에 의해 일반 포러스 콘크리트 보다 약 13%의 우수한 제거효율을 나타낸 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

이 연구에서는 유용미생물을 이용한 포러스 콘크리트

의 장기간 연속흐름 실험을 통한 수질정화 특성을 검토하였다. 최적의 연속흐름 실험을 위한 체류시간 및 농도별에 따른 기초실험을 통하여 운전조건을 검토하였으며, 일반 포러스 콘크리트와 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트 반응조의 비교·분석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 체류시간별 수질정화 실험 결과 대부분의 항목에서 체류시간이 길면 길수록 처리효율은 증가하는 것으로 나타났지만, 처리시간을 너무 길게 할 경우에는 반응조 용량이 커져야하고 설비가 증가함으로써 유지·관리비가 증가하는 단점이 있기 때문에 체류시간을 선정할 때는 최적의 조건에서 주어진 여건을 고려하여 체류시간을 선정하는 것이 바람직하다.
- 2) 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 유입농도별 수질정화 실험에서는 DO농도가 6.0 mg/L 이상이 있기 때문에 별다른 유출수에 대한 폭기 대책이 필요 없을 것으로 판단되지만 현장적용 및 장기간 운전 시 DO농도가 그 이하로 떨어질 수 있어 하천수로 그대로 방류하면 수질영향을 미칠 수 있으므로 DO농도를 높일 수 있는 폭기 대책이 필요할 것으로 사료된다. 또한 하천의 수질개선 목적으로 적용을 고려할 경우, 이 공법의 평균 제거효율은 40% 정도인 것으로 나타났으므로 10 mg/L 이하의 하천 수질환경기준을 충족시키기 위해서는 유입수 적용 범위를 BOD 기준 15 mg/L 이하로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 3) 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 수온, pH 및 EC와 중금속 용출특성 실험 결과 수질 및 생물에 대한 독성은 없는 것으로 판단된다.
- 4) 체류시간을 120분으로 하여 약 150일 동안 장기간 운전을 통한 DO 농도변화 결과 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트와 일반 포러스 콘크리트 모두 비슷한 농도변화를 나타내었기 때문에 DO에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트 통과 후 DO 농도가 하락하는 경향을 보이므로 유출부 쪽에 난류를 형성할 수 있는 설계나 폭기작용이 이루어 질 수 있는 연구가 보완 되어야 할 것으로 사료된다.
- 5) 체류시간을 120분으로 하여 약 150일 동안 장기간 운전을 통한 SS, BOD, COD, T-N, T-P의 평균 제거효율은 일반 포러스 콘크리트의 경우 66.3%, 26.7%, 18.3%, 4.1%, 4.1%이며, 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 경우 72.6%, 61.1%, 62.1%, 17.2%, 15.2%로 나타났다. 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트가 초기에 높은 제거효율을 나타내었지만 약 120일 후부터는 초기보다 낮아졌다. 하지만 큰 변화는 나타나지 않았기 때문에 150일 이상 운전이 가능할 것이라고 사료된다. 초기의 제거율을 유지하

기 위해서는 4개월을 주기로 역세를 통한 세척 및 교체를 해야 할 것으로 판단된다.

이와 같이 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 장기간 연속흐름 실험으로 오염물질 처리능에 대한 검토를 통하여 오염된 수질을 향상시킬 수 있을 것이라고 판단된다. 그리고 하천에 많이 쓰이는 콘크리트의 문제점을 해결하기 위한 대책으로 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트를 이용한다면 유용미생물에 의한 오염물질 저감효과로 하천에 유입되는 비점오염원을 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 실험과정 중 반응조 유입부 쪽에 슬러지가 쌓이는 현상이 발생하였기 때문에 하천에 적용할 경우 유입부에 침전지를 설치할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 연구는 국토해양부 물관리연구사업인 자연과 인간이 공존하는 생태하천 조성기술개발 연구단(GREEN RIVER)(12기술혁신C02)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### References

1. Choi, Y. H., Yoo, N. H., Choi, J. D., and Kim, G. S., "Environmental Functions and Impacts on Blowing Beams in Small Rivers," Kangwon National University, *Journal of Agriculture and Life Sciences Research Institute*, Vol. 10, 1999, pp. 38-46.
2. Woo, H. S., "Evolution and Prospects of Domestic Rivers Business," *Magazine of Korea Water Resources*, Vol. 37, No. 1, 2004, pp. 41-59.
3. Son, M. H., "Ecological Role of Urban Stream and Its Improvement," *Magazine of Korean Association of Regional Geographers*, Vol. 4, No. 1, 1998, pp. 15-25.
4. Cha, H. Y., "CAP System for Improvement of the River Water Quality," *Magazine of Korea Water Resources*, Vol. 40, No. 7, 2007, pp. 17-23.
5. Woo, H. S., "Evaluation and Prospects of the River Environmental Improvement Project," *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 214, 2001, pp. 1-8.
6. Kim, H. J., "Cheonggyecheon Restoration and Ecological Restoration of Stream," *Magazine of Korea Water Resources*, Vol. 37, No. 1, 2004, pp. 47-59.
7. Park, G. S., "Development of Biopesticide and Role of Bacillus Spp.," *Journal of Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 14, No. 4, 2011, pp. 1-11.
8. Kim, J. H. and Kang, J. S., *Heavy Metal Removal Technology*, Korea Institute of Science and Technology Information, 2005.
9. Kim, Y. G., Hong, S. J., Sim, C. G., Kim, M. J., Choi, E. J., Lee, M. H., Park, J. H., Han, E. J., Ahn, N. H., and Ji, H. J., "Functional Analysis of Bacillus Subtilis Isolates and Biological Control of Red Pepper Powdery Mildew Using Bacillus subtilis R2-1," *Research in Plant Disease*, Vol. 18, No. 3, 2012, pp. 201-209. (doi: <http://dx.doi.org/10.5423/RPD.2012.18.3.201>)
10. Cho, G. T., *Development Trend of Purification Technology of Korean Soil, Ground-water Contamination Using Microorganisms*, Korea Environmental Industry & Technology Institute, 2011, pp. 1-16.
11. Park, S. B., Lee, B. J., Lee, J., and Jang, Y. I., "A Study on the Seawater Purification Characteristics of Water-Permeable Concrete Using Recycled Aggregate," *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 54, No. 10, 2010, pp. 658-665. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.11.006>)
12. Kim, D. K., Kim, K. Y., Ryu, H. D., Min, K. K., and Lee, S. I., "Long Term Operation of Pilot-scale Biological Nutrient Removal Process in Treating Municipal Wastewater," *Bioresour. Technol.*, Vol. 100, 2009, pp. 3180-3184. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.062>)
13. Higa, T. and Parr, J. F., "Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment," *Japan International Nature Farming Research Center*, 1994.
14. Szymanski, N. and Patterson, R. A., "Effective Microorganisms (EM) and Wastewater Systems," *03 Conference, Armidale*, 2006, pp. 347-354.
15. Song, W. J., Fu, H. Y., and Wang, G. Y., "Study on a Kind of Eco-Concrete Retaining Wall's Block With Water Purification Function," *Procedia Engineering*, Vol. 28, 2012, pp. 182-189. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.703>)
16. Nilsson, C., Lakshmanan, R., Renman, G., and Rajarao, G. K., "Efficacy of Reactive Mineral-Based Sorbents for Phosphate, Bacteria, Nitrogen and TOC Removal-Column Experiment in Recirculation Batch Mode," *Water Research*, Vol. 47, 2013, pp. 5165-5175. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.056>)
17. Zakaria, Z., Gairola, S., and Shariff, N. M., "Effective Microorganisms (EM) Technology for Water Quality Restoration and Potential for Sustainable Water Resources and Management," *International Environmental Modelling and Software Society*, 2010.
18. Liang, W., Wu, Z. B., Cheng, S. P., Zhou, Q. H., and Hu, H. Y., "Roles of Substrate Microorganisms and Urease Activities in Wastewater Purification in a Constructed Wetland System," *Ecological Engineering*, Vol. 21, 2003, pp. 191-195. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2003.11.002>)
19. Siddique, R. and Chahal, N. K., "Effect of Ureolytic Bacteria on Concrete Properties," *Construction and Building Materials*, Vol. 25, 2011, pp. 3791-3801. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.010>)
20. Gross, A., Kaplan, D., and Baker, K., "Removal of Chemical and Microbiological Contaminants from Domestic

- Greywater Using a Recycled Vertical Flow Bioreactor (RVFB),” *Ecological Engineering*, Vol. 31, No. 2. 2007, pp. 107-114. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.06.006>)
21. Samsó, R. and Garcia, J., “Bio\_Pore, a Mathematical Model to Simulate Biofilm Growth and Water Quality Improvement in Porous Media: Application and Calibration for Constructed Wetlands,” *Ecological Engineering*, Vol. 54, 2013, pp. 116-127. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.021>)
  22. Wu, Y. H., Xia, L. H., Yu, Z. Q., Shabbir, S., and Kerr, P. G., “In-situ Bioremediation of Surface Waters by Periphytons,” *Bioresource Technology*, Vol. 151, 2014, pp. 362-372. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.088>)
  23. Iain, M. M. and Gillespie, J. C. P., “Bioremediation, an Environmental Remediation Technology for the Bioeconomy,” *Trends in Biotechnology*, Vol. 31, No. 6 2013, pp. 329-332.
  24. Saylor, G. S. and Ripp, S., “Field Applications of Genetically Engineered Microorganisms for Bioremediation Processes,” *Environmental Biotechnology*, Vol. 11, No. 3, 2000, pp. 286-289.

---

**요 약** 이 연구는 생물의 서식기반 제공 효과가 있는 다공질의 부석 및 포러스 콘크리트와 대사 작용 및 항산화작용에 의해 유기·오염물질을 분해시켜 오염된 하천수의 수질정화 효과가 있는 유용미생물을 동시에 이용하여 장기간 연속흐름시험을 통한 수질정화 특성을 검토하고자 하였다. 특히 기존의 미생물 탈리 등의 문제점을 해결하기 위하여 이 연구에서는 16S rDNA 염기서열 분석법에 의해 동정된 유용 미생물을 포러스 콘크리트 제조과정에서 각 단계별로 3차 처리하였으며, 최적의 연속흐름 실험을 위한 농도 및 체류시간별에 따른 기초실험을 통하여 운전조건을 검토하였다. 실험 결과 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트는 수질 및 생물에 대한 독성이 없는 것으로 나타났다. 그리고 일반 포러스 콘크리트 보다 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트가 우수한 제거효율을 나타내었으며, 150일 이상 큰 변화를 나타내지 않아 장기간 운전이 가능할 것으로 판단된다. 이와 같이 유용미생물을 적용한 포러스 콘크리트의 장기간 연속흐름 실험으로 오염물질 처리성능에 대한 검토를 통하여 오염된 수질을 향상시킬 수 있을 것이라고 판단되며, 실험과정 중 나타난 문제점들이 보완된다면 하천에 적용하여 유입되는 비점오염원을 저감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 유용미생물, 미생물 복합처리, 포러스 콘크리트, 장기간 연속흐름 실험, 수질정화