



## 유용 미생물과 제올라이트를 이용한 시멘트 벽돌의 수질 정화 특성에 관한 실험적 연구

김화중<sup>1)</sup> · 최길준<sup>1)</sup> · 박준석<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>경북대학교 건축토목공학부

## An Experimental Study on Water-Purification Properties in Cement Bricks Using Effective Micro-Organisms and Zeolite

Wha-Jung Kim,<sup>1)</sup> Kil-Jun Choi,<sup>1)</sup> and Jun-Seok Park<sup>1)\*</sup>

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

**ABSTRACT** The purpose of this study is to use organisms or micro-organism functions for eco-friendly water-purification of cement bricks, utilizing bioremediation. Many researches have been performed in the past to improve water quality by using effective micro-organisms in construction materials. In order to purify water using micro-organisms, this research used soybean paste bacteria, an effective micro-organism that was identified through 16S rDNA sequence analysis performed in Daegu S. Environment Protection Institute in addition to Natto bacteria that was studied in the previous research. With these effective micro-organisms with water-purification ability, this study examined their water-purification possibility on cement bricks. This study used Zeolite to immobilize micro-organisms to bricks, and confirmed that the micro-organisms were attached on Zeolite from SEM analysis. The experimental results showed that specific micro-organisms can be used to effectively remove contamination and used to develop eco-friendly construction materials. The study on micro-organisms for material purification shows great promises as a future research topic.

**Keywords** : bioremediation, water-purification, micro-organism, cement brick, zeolite

### 1. 서 론

최근 국토 환경의 주요 요소인 하천 환경은 급속히 악화되었고, 그에 따른 사회적 문제는 산림, 임야, 농경지 등 다른 국토 요소의 환경 문제보다 더 심각하게 대두되었다. 특히, 1970년대 이후 우리나라는 급격한 산업화와 도시화의 진전에 따라 물의 사용량은 지속적으로 증가했고, 생활 오수의 발생량 증가는 주변 수계의 영양염류의 유입을 증가시켜 부영양화를 초래하였으며, 수생 생태계의 자연정화 능력을 초과함으로써 생물의 다양성이 상실되는 원인이 되었다. 또한, 하수도 정비와 고차 폐수 처리에 막대한 비용과 시간이 소요되며, 우리나라의 호수 및 하천은 오염물질에 쉽게 노출되어 있어 부영양화가 쉽게 발생할 수 있는 특징을 지니고 있다고 알려져 있다.<sup>1,2)</sup> 그래서 심각해지는 수질오염을 해결하고자 친환경적이면서 경제적인 수질 개선 대책으로 미생물 혹은 생물의 다양한 기능을 이용한 생물학적정화(bioremediation)

가 주목받고 있어, 물리화학적 수단에서는 해결이 곤란한 환경 복구 개선에 효과적인 수단으로 이용 가능한 것으로 알려져 있다. 미생물의 기능을 이용한 환경 개선 방법은 원래 미생물이 자연에서 담당해 온 역할을 인위적으로 강화 촉진하는 것이므로 수질정화 미생물 선별, 기능 발현, 복구 기능 강화 등이 중요하며, 환경을 개선하고 조화되는 방식으로 수질정화가 가능하다고 생각되고 미생물을 이용한 수질정화의 기술은 앞으로 점점 더 중요해질 것으로 보인다.<sup>3)</sup>

현재 미생물들은 중간 독성 물질의 발생 없이 많은 환경오염 물질을 분해하는 장점을 활용하여 연속 공극이 형성된 포러스 콘크리트에 적용시켜 부착 생물량을 증가시키고, 부착 생물에 의해 오염물질을 흡착하여 본래의 자정 능력을 촉진, 증대시킬 수 있다고 보고되어 있다.<sup>2,4-6)</sup> 또한 유기물 분해가 탁월하고 환경에 적응성이 뛰어난 것으로 알려진 미생물 등을 활용하여 수중이나 수면에 설치되는 콘크리트 블록 및 구조물에 흡착하여 생물막(biofilm)을 형성함으로써 콘크리트 블록 등에 고정화된 유용 미생물들에 의해 오염원인 다량의 유기물질을 신속하고 지속적으로 분해하기 위한 대안, 질소와 인의 흡수 제거 등 유용 미생물을 추출 배양하여 활용한 친환경 콘

\*Corresponding author E-mail: a30426@nate.com

Received January 10, 2011, Revised March 23, 2011,

Accepted April 1, 2011

©2011 by Korea Concrete Institute

크리트 연구가 진행되고 있다.<sup>7,9)</sup> 하지만 건축 소재에 활용된 유용 미생물 균주의 분리 및 선별, 각 균주의 분해능을 파악하여 폐수처리에 대해 분해능이 뛰어난 균주를 선별하는 연구 개발은 미비한 실정이다.

따라서, 이 연구에서는 건축 소재에 활용 가능하며, 폐수 처리에 대해 분해능이 뛰어난 균주를 분리 및 선별하기 위해 선행 연구에서 언급한 낫토,<sup>1,10)</sup> 된장, 대구 S 환경사업소로부터 균주를 분리 및 동정한 다종 다양한 생물종을 천연 제올라이트를 함유한 시멘트 벽돌에 적용하여 수질정화용 미생물로서의 가능성을 검토하고자 하였다.

## 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 잔골재

이 실험에서 사용한 골재는 입도 1mm이하의 석분과 1~2mm의 쇄석을 사용 하였으며, 물리적 성질은 Table 2와 같다.

이 실험에서 사용한 입경이 1~3 mm의 제올라이트는 국내 K사 제품으로 화학 성분을 살펴보면 Table 3과 같다.

이 실험에 사용한 제올라이트는 Table 3과 같이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 SiO<sub>2</sub>가 상당부분 구성되어 있었으며 대부분 양이온으로 구성되어 있다. 일반적으로 모든 미생물 세포는 음으로 하전 되어있기 때문에 제올라이트에 구성되어 있는 양이온들로 인해 담체 표면과 미생물 사이에 정전기 항력이 작용하여 쉽게 부착될 수 있다고 알려져 있다.<sup>11)</sup> 이 실험에 사용한 제올라이트의 미생물 부착 여부 및 표면을 확인하기 위하여 물속에 미생물을 다량으로 분산시켜 놓은 후 그 속에 제올라이트를 일주일간 침지시킨 다음 실외에서 건조시켜 SEM 분석을 통해 검토 하였다. 그 결과로는 Fig. 1에 나타난 것처럼 미생물을 부착시키지 않은 제올라이트는 내부 구조가 미세 다공질의 구조로 이루어져 우수한 흡착 기능을 가질 수 있다는 것을

**Table 1** Physical properties of cement

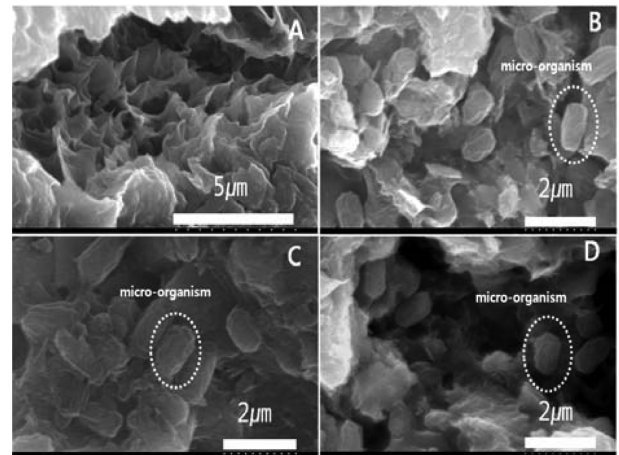
Setting time (min)		Compressive strength (MPa)			Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/m <sup>3</sup> )
Initial set	Final set	3d	7d	28d	3,318	3.15
240	340	22.5	31.1	40.0		

**Table 2** Physical properties of crushed stone and stone flour

Sand	Grading	Density (g/m <sup>3</sup> )	Water absorption ratio (%)	Unit volume weight (t/m <sup>3</sup> )	Ratio of absolute volume (%)
Stone powder	1 mm below	2.62	0.8	1.6	59.9
Crushed stone	1~2 mm	2.59	1.7	1.4	56.9
Zeolite	1~3 mm	1.97	13.8	0.973	56.2

**Table 3** Chemical component of zeolite

Chemical component	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Content (%)	66.8	13.2	3.02	1.68	1.16



**Fig. 1** Micrographs from SEM of Immobilized micro-organisms in zeolite(A: zeolite, B: soybean paste bacteria, C: natto bacteria, D: daegu S: environment protection institute bacteria)

확인 할 수 있었으며, 미생물을 부착시킨 제올라이트는 미세 다공질의 구조에 미생물이 흡착 되어 있는 것을 확인 할 수 있었다.

#### 2.1.3 원수(raw water)

이 실험에 사용된 원수의 샘플링 장소는 대구 S환경사업소에서 폐수 중 사석 및 헝잡물을 제거한 것을 사용하였으며, 생물학적 산소 요구량(biochemical oxygen demand, 이하 BOD), 화학적 산소 요구량(chemical oxygen demand, 이하 COD), 총 질소(total nitrogen, 이하 T-N), 총 인(total phosphorus, 이하 T-P), 용존 산소(dissolved oxygen, 이하 DO), 부유 물질(suspended solide, 이하 SS), 용액의 수소 이온 농도 지수(pH)를 측정 한 결과는 Table 4와 같다.

#### 2.1.4 사용 배지 및 균주

이 실험에 사용한 배지는 TSA(tryptic soy agar)를 사용하였으며, TSA 배지의 조성은 Table 5와 같다. TSA 배지 제조는 121°C(15 pound/in<sup>2</sup>, 1.05 kg/cm<sup>2</sup>)에서 15분간

**Table 4** Characteristics of the raw water

BOD (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	DO (mg/L)	SS (mg/L)	pH
84.9	70	12.78	5	5.2	169	8

**Table 5** TSA 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)

오토클레이브 멸균 처리하고 60°C 정도로 냉각한 후 멸균된 배양 접시(petri-dish)에 약 15 mL씩 분주하여 사용하였다.

이 실험에서 사용된 미생물의 분리는 낫토(시중에 유통되고 있는 일본산 낫토)와 된장 및 대구 S 환경사업소에서 시료를 채취하여 시료 30 g을 멸균 증류수 270 mL에 넣어서 교반한 후, 살균한 팁을 끼운 마이크로피펫으로 TSA 배지에 10 mL 취한다. 여기에 살균한 콘라지봉(bend glass)을 이용한 도말법으로 접종하였다. 이 실험에서는 접종한 미생물을 16S rDNA 염기서열 분석법에 의해 동정된 미생물들을 이용하였으며, 동정된 미생물들은 Table 6과 같다.

미생물 동정 방법 중 16S rDNA 염기서열 분석법은 기존에 알려져 있는 미생물의 분석된 데이터에 의하여 균주간의 상호 유사도(similarity)와 진화적 거리를 계산하여 분석되는데, 일반적으로 미생물은 1,300~1,400 bp의 염기 배열을 분석하여 동정(identification)한다. 균주간의 상호 유사도는 Table 7의 미생물 상호간의 진화적 거리 계산법에 의해 판정되었으며, 생물간의 진화 거리는 진

**Table 6** List of new effective micro organisms considered in this study

Sampling place	No.	Name	Similarity (%)
Soybean paste	D101	<i>Bacillus atrophaeus</i>	99.93
	D102	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	99.86
	D103	<i>Bacillus cereus</i>	100
	D104	<i>Lysinibacillus fusiformis</i>	99.59
	D105	<i>Pseudochrobactrum saccharolyticum</i>	99.92
Daegu S environment protection institute	S101	<i>Lysinibacillus sphaericus</i>	100
	S102	<i>Lysinibacillus fusiformis</i>	99.59
	S103	<i>Aeromonas encheleia</i>	99.19
	S104	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	99.86
	S105	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	94.52
	S106	<i>Aeromonas media</i>	99.44
	S107	<i>Raoultella ornithinolytica</i>	99.93
	S108	<i>Pseudochrobactrum saccharolyticum</i>	99.92
	S109	<i>Comamonas thiooxidans</i>	99.86
Natto	N101	<i>Bacillus subtilis</i>	99.93
	N102	<i>Bacillus tequilensis</i>	99.91

**Table 7** The calculation method of micro-biological evolution distance

$K = -(1/2) \ln \{ (1-2P-Q)(1-2Q) / 2 \}$
K : micro-biological evolutionary distance
P, Q : denotes the replacement ratio for each metastasis type and changeover type among rDNA replacement ratios

화 과정에서 각각의 유전자에 대응하는 염기에 일어난 변형의 수에 비례하며, 동일 장소에서 여러번 변이가 일어나는 경우가 있고, 또한 전이형 변이(퓨린에서 피리미딘, 또는 피리미딘 간의 거리)는 전환형의 변이(퓨린에서 피리미딘, 또는 그 역으로 전환)에 의하여 일어나기 쉬운 것으로 알려져 있다.<sup>12)</sup> 이 식은 이것을 고려하여 만들어진 것이며, 미생물학 관련 보고에 따르면 인간이 지금까지 순수 동정한 균주는 4,000여종에 지나지 않아 균주간의 상호 유사도가 98.5% 이하 일 때 신종일 가능성이 높은 것으로 보고 있다.

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 시험체 제작

이 실험에서 사용된 시멘트 벽돌(190×90×57)을 가압 성형 제작하였으며, 배합표는 Table 8과 같다.

시험체에 미생물을 부착시키기 위하여 물속에 미생물을 다량 분산시켜 놓은 후 펌프를 사용하여 물을 순환시키고, 그 속에 가압 성형 제작한 후 24시간이 경과한 시험체를 일주일간 양생시켜 Table 9와 같이 시험체에 동정된 미생물을 부착시켰다.

Fig. 2에 이 실험과 동일한 방법으로 동정된 미생물을 시험체에 부착시키는 과정을 나타내었다.

### 2.2.2 실험 장치 및 방법

폐수 처리에서 이용되는 반응조의 형태는 크게 회분식(비연속)반응조와 연속류식 반응조로 구분된다. 이 실험

**Table 8** Mixing design of cement brick

W/C	Unit volume weight (kg/m <sup>3</sup> )			
	Cement	Sand		
		Crushed stone	Stone powder	Zeolite
0.23	641.223	1295.27	80.794	242.382

**Table 9** Test specimen name and curing condition

Test specimen abbreviation	Curing condition
WB	Water + cement brick
DB	Water + cement brick + D101, D102, D103, D104, D105
SB	Water + cement brick + S101, S102, S103, S104, S105, S106, S107, S108, S109
NB	Water + cement brick + N101, N102

\*Water : tap water

### 3. 실험 결과 및 분석

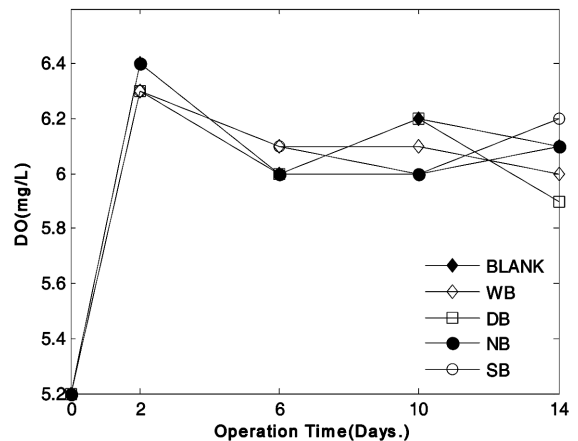
#### 3.1 용존 산소, 수소이온 농도 지수에 미치는 영향

각각의 미생물에 의한 시멘트 벽돌을 적용하였을 경우 DO의 농도 및 농도 변화는 Table 11, Fig. 4와 같다. BLANK의 반응조를 살펴보면, 2일째 증가하다가 다시 감소하는 경향으로 큰 변화는 나타나지 않았다. WB, DB, NB, SB의 반응조도 BLANK의 반응조와 비슷한 결과를 나타내었으며, 초기의 DO 상승 요인은 광합성 미생물 및 부착성 조류 등에 의한 광합성 활동으로 판단된다. 전체적으로 BLANK의 반응조와 비슷한 경향을 나타내었기 때문에 이 실험에서 활용한 미생물들은 DO에 영향을 미치지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 호기성 미생물은 대기로부터의 산소분자(O<sub>2</sub>)를 전자 수용체로 이용하는 미생물을 말하는데, 호기성 조건은 수중 용존 산소(DO)의 농도가 최저 0.5 mg/L 이상을 유지하여야 하고 보통 2.0 mg/L 이상이 되도록 하여야 하기 때문에, 호기성 조건에 벗어나는 범위로 나타내지 않은 것을 확인할 수 있었다.

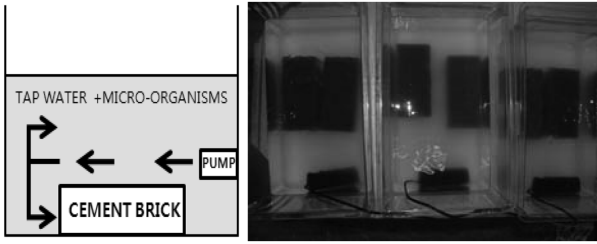
각각의 미생물에 의한 시멘트 벽돌을 적용하였을 경우 pH의 농도 및 농도 변화는 Table 12, Fig. 5와 같다. BLANK의 반응조를 살펴보면 2주간 큰 변화를 나타내지 않았다. WB, DB, NB, SB의 반응조는 6일째까지 증가하다가 다시 감소하는 경향을 나타내었지만 큰 변화 폭은 없었으며 BLANK의 반응조에 비하여 pH가 상승한 것을 확인할 수 있었다.

**Table 11** Concentrations of DO in BLANK, WB, DB, NB, SB

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	DB (mg/L)	NB (mg/L)	SB (mg/L)
0	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
2	6.4	6.3	6.3	6.4	6.3
6	6	6.1	6	6	6.1
10	6.2	6.1	6.2	6	6
14	6.1	6	5.9	6.1	6.2



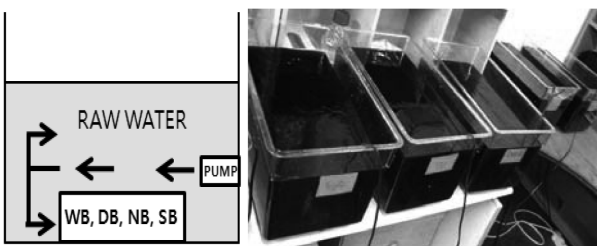
**Fig. 4** Changes of concentrations of DO in BLANK, WB, DB, NB, SB



**Fig. 2** Schematic diagram and photography of curing process

에서 사용한 반응조의 형태는 회분식 반응조(completely mixed batch reactor, CMB)형태로서 유량이 없고 반응조 내의 액체는 완전 혼합되는 방식이다. 수질 정화 실험용 수조는 25 L용량의 아크릴 수조를 사용 하였으며, 제작한 시험체 2개를 수조 속에 넣었으며, 물의 순환을 목적으로 펌프를 사용하였다. 반응조의 수량은 20 L로 조절하여 Fig. 3과 같이 실험을 실시하였다.

처음의 반응조에는 원수를 넣어 두고, 대조군으로는 WB, DB, SB, NB를 적용하여 수질 정화 능력을 검토하였다. 이 실험은 2주일간 4회 실시하였으며, COD<sub>Mn</sub>과 T-N, T-P 측정은 수질 측정 키트를 이용하여 분광 광도계형 수질 분석기에 측정하는 것이므로 각 항목별로 수질 측정 키트 3개로 3번을 측정하여 평균값을 나타내었다. COD<sub>Mn</sub>과 T-N, T-P는 수질 분석기의 신뢰도를 평가하기 위해서 COD<sub>Mn</sub>(70 mg/L), T-N(100 mg/L), T-P(5 mg/L)의 표준액으로 이 실험 방법과 동일하게 3번씩 측정된 결과 COD<sub>Mn</sub>는 평균 69.3 mg/L, T-N는 99.8 mg/L, T-P는 5.2 mg/L의 결과를 나타내었다. 수질 분석 항목과 분석 방법은 Table 10에 나타내었으며, 수질 환경 기준 및 규제 기준 항목 중 pH, BOD, DO, COD<sub>Mn</sub>, T-N, T-P, SS 총 7개 항목에 대해 분석 하였다.



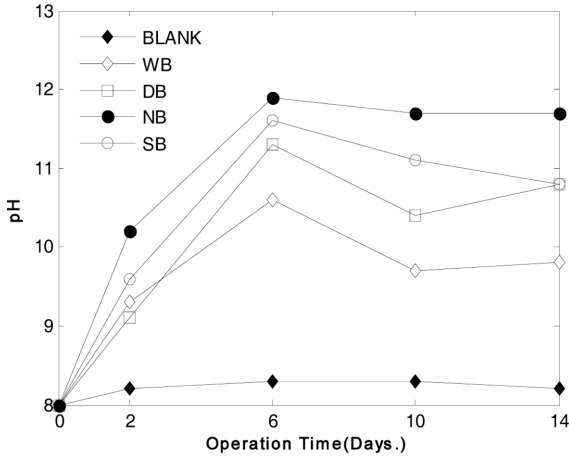
**Fig. 3** Schematic diagram and photography of batch test

**Table 10** Analytical Items and methods

Analytical item	Methods
pH	pH meter (P15)
BOD	BOD sensor system
DO	DO meter (DO-30N)
COD <sub>Mn</sub>	Reactor digestion (HS-2300Plus)
T-N	Chromatropic acid (HS-2300Plus)
T-P	Molybdo vanadate (HS-2300Plus)
SS	SS meter (AL250)

**Table 12** Concentrations of pH in BLANK, WB, DB, NB, SB

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	DB (mg/L)	NB (mg/L)	SB (mg/L)
0	8	8	8	8	8
2	8.2	9.3	9.1	10.2	9.6
6	8.3	10.6	11.3	11.9	11.6
10	8.3	9.7	10.4	11.7	11.1
14	8.2	9.8	10.8	11.7	10.8



**Fig. 5** Changes of concentrations pH in BLANK, WB, DB, NB, SB

할 수 있었다. WB, DB, NB, SB 모두 시멘트가 첨가되었기 때문에 pH의 상승 요인으로 볼 수 있으며, 이에 비해 DB, NB, SB는 WB보다 1~2정도 높게 나타났으며, 이는 시멘트 벽돌 내외부에 부착되었던 조류가 광합성 활동을 하여 수중에 CO<sub>2</sub>를 소비하기 때문에 공기 중에서 물속으로 유입되는 CO<sub>2</sub>량 보다 조류에 의한 소모량이 크기 때문이다. 수중의 CO<sub>2</sub>는 조류의 광합성 활동이 극대화되면서 점차 감소하게 되는데, 이러한 CO<sub>2</sub> 감소는 물속의 알칼리도 형태를 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>에서 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>과 OH<sup>-</sup> 형태로 변화시키고, pH를 상승시키는 요인으로 사료된다.<sup>5)</sup>

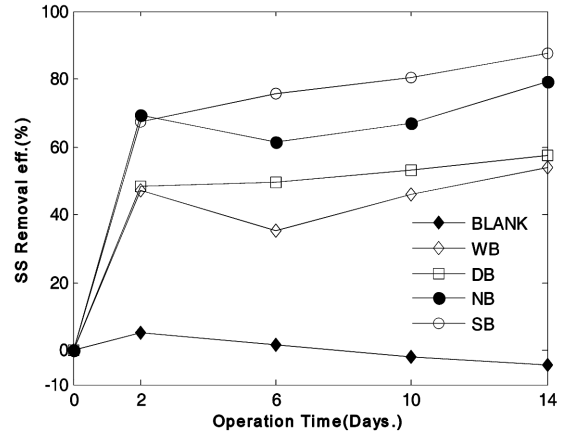
### 3.2 부유 물질 및 유기 물질 제거 효율 검토

#### 3.2.1 부유 물질에 미치는 영향

각각의 미생물에 의한 시멘트 벽돌을 적용하였을 경우 SS 농도 및 제거 효율은 Table 13, Fig 6과 같다. BLANK의 반응조를 살펴보면, 큰 변화는 나타나지 않았지만 초

**Table 13** Concentrations of SS in BLANK, WB, DB, NB, SB

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	DB (mg/L)	NB (mg/L)	SB (mg/L)
0	169	169	169	169	169
2	160.33	89	87	52	55
6	166	109	85	65	41
10	172	91	79	56	33
14	176	78	72	35	21



**Fig. 6** Removal efficiencies of SS in BLANK, WB, DB, NB, SB

기의 농도보다 4.1% 증가한 결과를 나타내었다. 미생물을 흡착시키지 않은 WB를 적용한 경우는 BLANK의 반응조에 비해 평균 45.46%의 제거 효율을 나타내었다. 이는 다공질의 제올라이트 및 다공성 시멘트 벽돌을 사용함으로써 비표면적이 크고, 내부에 공극을 가지고 있는 특성을 가지고 있어 외부 뿐 아니라 내부에서도 부유 물질 처리 효율을 보일 수 있기 때문으로 사료된다. 그리고 DB를 적용한 경우는 지속적으로 SS농도가 감소되었지만, WB의 반응조와 비교 했을 때 변화폭이 크게 나타나지 않았기 때문에 된장에서 분리한 미생물은 SS에 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. NB를 적용한 경우는 WB를 적용한 경우 보다 SS 전체 제거 효율은 평균 69.2%로 나타났고, SB를 적용한 경우는 평균 77.8%로 나타났다.

#### 3.2.2 화학적 산소 요구량에 미치는 영향

각각의 미생물에 의한 시멘트 벽돌을 적용하였을 경우 COD<sub>Mn</sub> 농도 및 제거 효율은 Table 14, Fig. 7과 같다. BLANK의 반응조를 살펴보면 운전 기간 동안 COD<sub>Mn</sub> 농도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 원수 자체에서의 생물학적 반응으로써 원수에 무기물 또는 유기물에 미생물이 침전 흡착되어 자정작용이 발생하여 COD<sub>Mn</sub>에 영향을 미치는 것으로 판단된다. WB를 적용한 경우는 6일째 까지는 BLANK의 반응조보다 우수한 제거율을 나타내었지만 10일째부터는 비슷한 제거율을 나타내었으며, 전체 제거율은 평균 13.4% 더 우수한 결과를 나타내었다. DB를 적용한 경우는 WB와 비슷한 제거 효율을 나타내었으며, 전체 제거율은 평균 2.97% 높았지만 큰 차

**Table 14** Concentrations of COD<sub>Mn</sub> in BLANK, WB, DB, NB, SB

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	DB (mg/L)	NB (mg/L)	SB (mg/L)
0	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
2	72.44	59.08	52.41	38.46	37.46
6	60.28	41.38	40.47	39.13	27.40
10	40.54	37.61	36.97	33.34	27.37
14	38.20	35.78	35.79	26.57	21.97

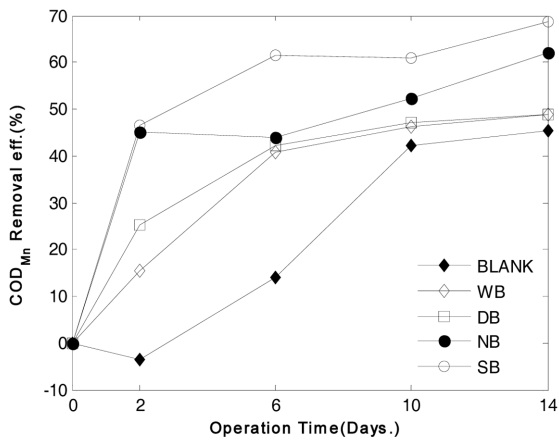


Fig. 7 Removal efficiencies of COD<sub>Mn</sub> in BLANK, WB, DB, NB, SB

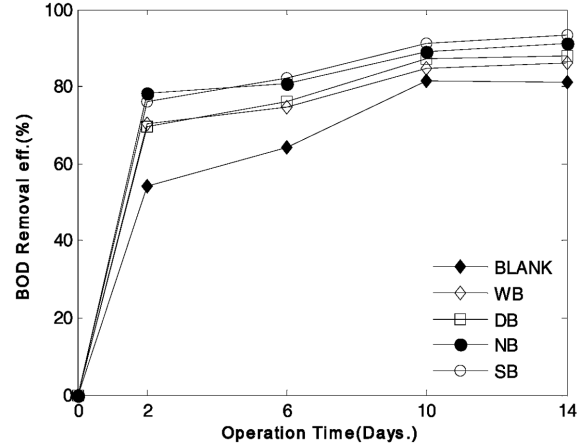


Fig. 8 Removal efficiencies of BOD in BLANK, WB, DB, NB, SB

이를 보이지는 않았기 때문에 COD<sub>Mn</sub>에 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. NB를 적용한 경우는 WB를 적용한 경우 보다 전체 제거율은 평균 13.01%로 나타났고, SB를 적용한 경우는 평균 21.46%로 나타났다.

COD<sub>Mn</sub>는 반응조의 유기물에 대한 수질 오염을 나타내는 대표적인 지표로서 식물성 플랑크톤의 생산과 저니로부터 용출에 의해 증가되며, 미생물의 유기물 분해에 의해 감소된다고 알려져 있다.<sup>13)</sup> 이러한 결과로 보아 이 실험에서는 미생물 제제를 활용하지 않은 WB를 적용한 경우 제올라이트 및 다공질의 시멘트 벽돌의 영향으로 효과가 있었지만, 이에 비해 NB와 SB를 적용한 경우는 WB를 적용한 경우보다 우수한 효과를 나타내었다. 이는 다공질의 제올라이트 및 다공성 시멘트 벽돌의 외부 및 내부에 서식하는 미생물들의 분해력에 의한 것으로 사료된다.

### 3.2.3 생물학적 산소 요구량에 미치는 영향

각각의 미생물에 의한 시멘트 벽돌을 적용하였을 경우 BOD 농도 및 제거 효율은 Table 15, Fig. 8과 같다. BLANK의 반응조를 살펴보면 운전 기간 동안 BOD 농도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 원수 자체에서의 생물학적 반응으로써 원수에 무기물 또는 유기물에 미생물이 침전 흡착되어 자정 작용이 발생하여 BOD에 영향을 미치는 것으로 판단된다. WB, DB, NB, SB를 적용한 경우 모두 감소하는 경향을 나타내었으며, BLANK의 반응조를 배제한 전체 제거율은 평균 8.66%, 10.07%, 14.49%, 15.46%를 나타내었다.

Table 15 Concentrations of BOD in BLANK, WB, DB, NB, SB

Item	BLANK	WB	DB	NB	SB
Date	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
0	84.9	84.9	84.9	84.9	84.9
2	38.9	25.2	25.7	18.6	20.2
6	30.4	21.4	20.2	16.3	15.1
10	15.8	13.1	10.8	9.3	7.6
14	15.9	11.9	10.1	7.6	5.6

## 3.3 영양염류 제거 효율 검토

### 3.3.1 총 질소에 미치는 영향

각각의 미생물에 의한 시멘트 벽돌을 적용하였을 경우 T-N 농도 및 제거 효율은 Table 16, Fig. 9와 같다. BLANK의 반응조를 살펴보면 운전 기간 동안 별다른 반응을 나타내지 않고 오히려 농도가 증가하는 결과를 나타냈다. WB를 적용한 경우는 전체 제거율이 평균 29.26%로 다공성 콘크리트를 이용한 T-N 제거율과 비슷한 제거율을 나타내었다.<sup>9)</sup> DB를 적용한 경우는 WB와 비슷한 제거율을 나타내었기 때문에 된장균에서 분리한 미생물은 T-N에 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. NB와 SB를 적

Table 16 Concentrations of T-N in BLANK, WB, DB, NB, SB

Item	BLANK	WB	DB	NB	SB
Date	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
0	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78
2	13.92	11.92	14.09	9.10	9.91
6	14.30	9.37	10.62	7.93	6.18
10	13.73	8.00	6.38	4.80	3.10
14	13.08	6.87	6.73	3.52	2.03

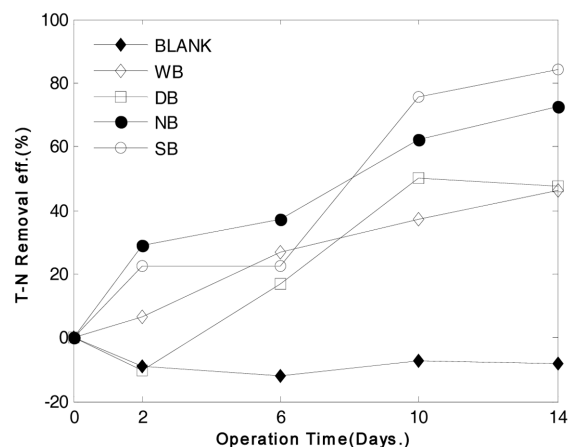
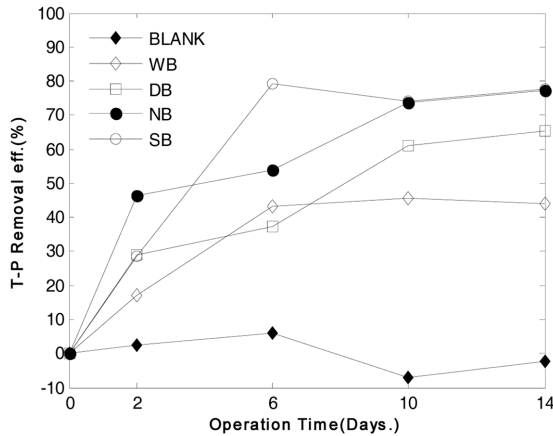


Fig. 9 Removal efficiencies of T-N in BLANK, WB, DB, NB, SB

**Table 17** Concentrations of T-P in BLANK, WB, DB, NB, SB

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	DB (mg/L)	NB (mg/L)	SB (mg/L)
0	5	5	5	5	5
2	4.87	4.15	3.56	2.68	3.58
6	4.70	2.83	3.14	2.31	1.04
10	5.35	2.72	1.95	1.31	1.30
14	5.11	2.80	1.73	1.13	1.11



**Fig. 10** Removal efficiencies of T-P in BLANK, WB, DB, NB, SB

용한 경우는 전체 제거율이 평균 50.19%, 51.20%로 나타내었다. 이는 제올라이트 및 시멘트 벽돌의 외부 또는 내부에서 생물막이 잘 생성되어 생체 전환율이 높은 질산화 미생물에 의한 질소의 제거가 나타나는 것으로 판단된다.

### 3.3.2 총 인에 미치는 영향

생물학적 인 제거의 기본 원리는 혐기 상태에서 인을 방출하면서 탄소를 저장하고 호기 상태에서 탄소를 소모하면서 인을 저장하는 인 축적 미생물의 독특한 능력에 의한 것이며, 혐기 및 호기 공정에서 인의 방출 및 섭취 현상을 이용하는 것이다.<sup>14)</sup> 각각의 미생물에 의한 시멘트 벽돌을 적용하였을 경우 T-P 농도 및 제거 효율은 Table 17, Fig. 10과 같다. BLANK의 반응조를 살펴보면 운전 기간 동안 전체 제거율 -0.15%로 별 다른 반응을 나타내지 않았다. WB를 적용한 경우는 전체 제거율이 평균 37.5%의 결과를 나타냈다. 미생물을 활용한 DB, NB, SB를 적용한 경우 전체 제거율이 평균 48.1%, 62.85%, 64.85%로 미생물을 활용한 벽돌이 미생물을 활용하지 않은 벽돌보다 우수한 제거 효율을 나타내었다.

## 4. 결론 및 향후 과제

이 연구에서는 유용 미생물과 제올라이트를 이용한 시멘트 벽돌의 수질 정화 특성을 검토하기 위하여 원수, WB, DB, NB, SB의 수질 정화 성능을 실험 분석하였으며, 비

교 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 용존 산소의 변화를 살펴보면 원수, WB, DB, NB, SB 모두 원수에 비해 변화 폭이 크게 나타나지 않았기 때문에 DO에 영향을 미치지 못하는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) pH는 원수의 반응조에서는 별 다른 변화를 나타내지 않았지만, WB, DB, NB, SB는 시멘트의 사용으로 pH값이 증가하였다. 하지만 WB에 비해 미생물을 활용한 반응조에서는 pH가 상승하였기 때문에 이 실험에서 활용한 미생물들은 pH의 상승 요인으로 판단된다.
- 3) 부유 물질의 제거 효율을 살펴보면, DB의 경우 부유 물질의 제거 효율에 영향을 미치지 못하는 것으로 사료되며, NB와 SB의 경우 생물여과막 장치, 미생물을 이용한 제올라이트 담체 등을 활용한 것보다 부유 물질의 제거 효율이 우수한 것을 확인할 수 있었다.<sup>5,11)</sup>
- 4) 화학적 산소 요구량은 DB의 경우 화학적 산소 요구량에 영향을 미치지 못하는 것으로 사료되며, NB와 SB의 경우 미생물 제제만을 사용하여 폐수를 정화시키는 방법보다도 우수한 것을 확인할 수 있었다.<sup>15)</sup>
- 5) 생물학적 산소 요구량은 DB와 NB, SB 모두 감소하는 경향을 나타내었으며, 유용 미생물을 활용한 콘크리트 블록의 수질 정화 성능과 비교해 보았을 때 DB는 비슷한 효과를 나타내었지만, NB와 SB는 그 이상의 제거율을 확인할 수 있었다.<sup>16)</sup>
- 6) 총 질소는 NB와 SB가 우수한 효과를 나타내었으며, DB의 경우는 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.
- 7) 총 인은 DB, NB, SB 모두 우수한 제거 효율을 나타내었으며, DB보다는 NB와 SB가 더 우수한 결과를 나타내었다.

이와 같은 실험 결과를 통해 제올라이트 및 유용 미생물, 포러스 콘크리트 등을 활용한 수질 개선 목적의 연구들과 비교하여 수질 개선용으로 건축 소재의 유용 미생물 활용 가능성을 확인할 수 있었다. 그리고 유용 미생물 균주의 분리 및 선별을 통하여 폐수 처리에 대해 분해능이 뛰어난 다양한 미생물 자원의 활용 가능성을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 시멘트 벽돌에서 성장하는 미생물의 정량적인 분석과 미생물에 의한 정확한 메커니즘 구명을 위한 연구가 보완 된다면 이 연구에서 소개한 미생물 이외에도 다양한 미생물 자원들을 확보하여 건축 소재에 활용 가능한 수질 개선용 유용 미생물 자원들을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이다(과제번호: NRF-2010-0015142).

## 참고문헌

- Godberg, E. D., *Man's Role in Sediment Cycle, the Changing Global Environmental*, Edited by S. F. Singer, D. Redial Publishing Co., Dordrecht, Holland, 1975, pp. 12~14.
- 황희주, 김인혜, 최영익, 김인관, 이상현, 하종명, 최배진, 이재화, “다공성 콘크리트 블록을 이용한 수질 정화 효과,” 한국수처리학회지, 14권, 4호, 2006, pp. 77~82.
- 생명공학정책연구센터, “환경생명공학(Bioremediation을 중심으로),” BT기술동향 보고서, 68권, 15호, 2008, pp. 23~49.
- 김세원, 오종민, “소하천에서의 투수성 하천 구조물의 수질정화 효율 평가,” 한국물환경학회-대한상하수도학회 공동 추계학술발표회 논문집, P-57, 2004, pp. 342~444.
- 안태웅, 최이송, 오종민, “다공성 콘크리트와 식생 콘크리트에 의한 수질정화기능에 관한 연구,” 환경영향평가 연구논문, 17권, 5호, 2008, pp. 271~278.
- Park, S. B. and Tia, M., “An Experimental Study on the Water-Purification Properties of Porous Concrete,” *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, 2004, pp. 177~184.
- 김중균, 박경주, 이병헌, 정해윤, 조정섭, “광합성세균 고정화비드를 이용한 수질정화시스템의 특성,” 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집, 2005, pp. 138~145.
- Lahav, O. and Green, M., “Ammonium Removal Using Ion Exchange and Biological REgeneration,” *Wat. Res.*, Vol. 32, No. 7, 1998, pp. 2019~2028.
- US EPA, “Process Design Manual for Nitrogen Control,” Office of Wastewater Enforcement and Compliance, Washington, D. C., 1st Edn., 1975, 35 pp.
- 松永 信博, et. al., “Capacity of Water Quality Purification by Eco-Block(EBB) in a Closed Water System,” *Engineering Sciences Reports*, Kyushu University, 2006, pp. 247~253.
- 김병채, 홍성호, 김경희, 이제근, “제올라이트를 이용한 미생물 담체 제조 및 이를 활용한 중수처리 시스템 개발,” 한국폐기물자원순환학회 추계학술연구발표회 논문집, 2003, pp. 409~412.
- Benjamin, S. W., *Microbes and Society*, World Science Publishing, 2009, pp. 120~128.
- Ahn, et al., “A Study on Effects of Hydraulic Structure on River Encironmental(II): Water Quality and Ecological Characteristics,” *J. Enviro. Sci.*, Vol. 11, 2002, pp. 309~317.
- 김병홍, 미생물 생리학, 2차 개정안 아카데미서적, 2000, pp. 1~10.
- 서성녀, 김영택, 박철휘, “산소용해수와 미생물 제재를 이용한 호소 및 폐쇄수역의 정화 기술,” 한국물환경학회지, 21권, 2호, 2005, pp. 118~124.
- 서대석, 전진용, 김정환, 권혁준, 박승범, “유용 미생물을 이용한 콘크리트의 수질정화 특성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 봄 학술대회 논문집, 20권, 1호, 2008, pp. 757~760.

**요 약** 이 연구는 미생물 혹은 생물의 다양한 기능을 이용한 환경의 수복(bioremediation)을 활용한 자연 친화형 수질 정화 시멘트 벽돌로서의 가능성을 검토하고자 하였다. 현재 유용 미생물을 건축 소재에 활용하여 수질을 개선하는 연구들이 제안되어 왔다. 이 연구에서는 이러한 미생물의 수질 정화 능력을 이용하는 것으로서 선행 연구의 낮토균 이외에 된장균, 대구 S환경사업소에서 미생물을 탐색하여 16S rDNA 염기서열 분석법에 의해 동정된 유용 미생물 자원들을 이용하였으며, 이렇게 확보된 수질 정화 능력을 가진 유용 미생물 자원들에 대한 시멘트 벽돌에서의 수질 정화 특성을 검토하였다. 또한 시멘트 벽돌에 미생물을 흡착시키기 위하여 제올라이트를 사용 하였으며, SEM 분석을 통하여 제올라이트에 미생물이 흡착되어 있는 것을 확인 할 수 있었다. 실험 결과 유용 미생물을 이용 하였을 때 우수한 오염물질 제거율이 나타났기 때문에 자연 친화형 건설재료의 유용 미생물 활용이 가능하다고 판단되며, 이 연구에서 소개한 미생물 이외에도 다양한 미생물 자원들을 확보하여 건축 소재에 활용 가능한 수질 개선용 유용 미생물 자원들을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 환경 수복, 수질 정화, 미생물, 시멘트 벽돌, 제올라이트