

## 박테리아를 흡착한 팽창질석 기반의 친생태 모르타르 개발

# Compressive Strength and Ecological Characteristics of Mortars Using Expanded Vermiculite Absorbing Bacteria

윤현섭<sup>1</sup> · 정승배<sup>1\*</sup> · 양근혁<sup>2</sup> · 이상섭<sup>3</sup> · 이재영<sup>4</sup>

Hyun-Sub Yoon<sup>1</sup> · Seung-Bae Jung<sup>1\*</sup> · Keun-Hyeok Yang<sup>2</sup> · Sang-Seob Lee<sup>3</sup> · Jae-Young Lee<sup>4</sup>

(Received May 30, 2016 / Revised June 14, 2016 / Accepted June 15, 2016)

The objective of this study is to evaluate the compressive strength development and ecological characteristics of mortars using expanded vermiculite absorbing bacteria as a fundamental investigation to develop precast eco-concrete products. For bacterial growth under the high-alkalinity and high-dried environments within hardened mortars and for creating plant growth function to mortars, *Bacillus alcalophilus* and *Rhodoblastus acidophilus* were separated and cultured. The cultured bacteria were absorbed into expanded vermiculite selected for bacteria shelter. The expanded vermiculite absorbing bacteria was then added into mortar mixture as a volumetric replacement of fine aggregate. Test results showed that the developed technology is very effective in enhancing the plant growth onto the hardened mortars and reducing the COD and T-N concentration in raw water. The optimum replacement level of expanded vermiculite absorbing bacteria can be recommended to be less than 10% considering the compressive strength development and cost of mortars along with the ecological effectiveness.

**키워드 :** 박테리아, 팽창질석, 흡착, 친생태 모르타르, 식물생장

**Keywords :** Bacteria, Expanded vermiculite, Absorption, Eco-mortars, Plant growth

## 1. 서론

최근 박테리아를 활용한 수질정화 능력이 가미된 호안블록과 같은 친생태 콘크리트 2차 제품 개발 및 실용화 연구가 이루어지고 있다(Kim et al, 2011; Kim et al, 2012). 이와 같은 제품들은 유해물질 제거, 분해 및 항산화 작용을 활용하여 식물생육 또는 하천의 수질 복원 기능을 통한 생태환경 보존에 도움을 주는 것으로 하고 있다. 그러나 콘크리트는 수화과정에서 발생하는 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)의 영향으로 강알칼리성(pH 11 이상)과 내부 수분 감소로 인한 극건조 환경으로 변화됨에 따라 박테리아의 최적 성장 환경 훼손, 영양분 및 성장처 감소로 인해 투입된 박테리아의 지속성장성 확보가 어려우며, 이로 인해 초기 의도된 콘크리트의

친생태 성능이 떨어질 수 있다(Shin 2014).

박테리아의 지속적인 성장 환경 조성을 위하여 Wang et al. (2012)은 실리카 겔 및 폴리머 등을 활용하였다. 이 경우 박테리아의 고정화를 위해 용액 형태의 폴리머와 박테리아 및 배지(영양분)를 혼합하였으며, 일정 시간 건조이후 하이드로 겔 시트형태의 박테리아 성장처를 제작하였다. 그러나 이 경우 제조된 하이드로 겔 시트를 콘크리트에 투입할 시에 시트 내·외부로의 박테리아 이동이 용이하지 않으며, 제조과정에서 비교적 고가이다.

본 연구에서는 박테리아를 활용한 친생태 콘크리트 2차 제품 개발의 기초자료로서 박테리아의 성장환경을 조성할 수 있는 흡착 기술을 제시하고 그를 활용한 모르타르의 친생태성(식물성장성 및 수질정화능력)을 평가하였다. 박테리아는 강알칼리성 환경(pH 10

\* Corresponding author E-mail: jungsb2306@naver.com

<sup>1</sup>경기대학교 일반대학원 건축공학과 (Depart. Architectural Engineering, Graduate School, Kyonggi University, Seoul, 03746, Korea)

<sup>2</sup>경기대학교 플랜트·건축공학과 (Depart. Plant·Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon, 16227, Korea)

<sup>3</sup>경기대학교 생명과학과 (Depart. Biological Sciences, Kyonggi University, Suwon, 16227, Korea)

<sup>4</sup>(주)그랜드코단 (Grand Kodan Industry Co., LTD, Seoul, 06309, Korea)

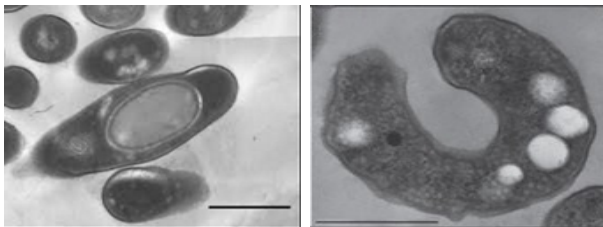
이상)에서 지속적인 생장이 가능하고 식재의 성장 증대 및 수질개선의 효과를 갖는 *Bacillus alcalophilus* 및 *Rhodoblastus acidophilus* 균주를 분리, 배양하였다. 박테리아 성장환경 조성을 위한 쉘터(shelter)로서 보습성 및 이온교환능력(120~150meq/100g)이 우수한 팽창질석을 이용하였다.

## 2. 박테리아 분리 및 흡착기술

### 2.1 박테리아 균주 선별 및 배양

친생태 모르타르 제작을 위하여 시멘트 수화에 따른 극건조, 고온(40℃ 이상) 및 강알칼리성환경(pH 10 이상)에서도 지속 성장과 증식이 가능하며, 식물생장성 증대 및 수질정화 효과를 갖는 균주를 선별하였다. 고온(40℃ 이상) 환경에서 성장할 수 있는 박테리아 선별조건은 프리캐스트 콘크리트의 양생환경을 고려한 것이다. 선정된 박테리아는 *Bacillus alcalophilus* 및 *Rhodoblastus acidophilus*로서(Fig. 1) 특징은 Table 1과 같다. *Bacillus alcalophilus*는 그람 양성균으로 운동성이 강한 호기성 균주이며, 높은 pH(8~11) 환경 및 비교적 높은 온도(25~45℃)에서 지속생장과 증식이 가능한 특징을 가지고 있다. *Rhodoblastus acidophilus*는 그람 음성균으로 호기성, 호기성, 혐기성 및 혐기성 등 다양한 환경변화에 저항력이 강하며 원활한 생장이 가능하다.

선별된 박테리아 최적 성장 조건 확립을 위해 Table 2 및 3과 같이 배양액을 조성하였다. 배양액의 pH는 박테리아 투입시 콘크



(a) *Bacillus alcalophilus* (b) *Rhodoblastus acidophilus*

Fig. 1. Bacteria structures taken by transmission electron microscope

Table 1. Properties of bacteria

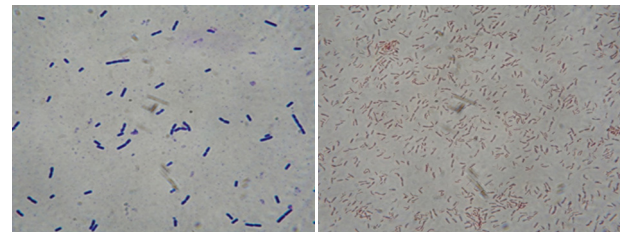
Bacteria type	Cell diameter (μm)	Optimal growth environment	
		pH	Temperature (°C)
<i>Bacillus alcalophilus</i>	0.3~0.4	8~11	25~45
<i>Rhodoblastus acidophilus</i>	1.0~1.3	5.5~6.0	25~30

Table 2. Media components for *Bacillus alcalophilus*

Nutrient broth medium composition		
Beef extract	1	g
Yeast extract	2	g
Peptone	5	g
Sodium chloride	5	g
1M Na-sesquicarbonate solution	100	mL
Distilled water	1	L

Table 3. Media components for *Rhodoblastus acidophilus*

KCTC 967 medium composition		
Yeast extract	0.2	g
Di-sodium succinate	1	g
Ferric citrate solution (0.1g per 100mL)	5	mL
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.5	mL
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.4	g
NaCl	0.4	g
NH <sub>4</sub> Cl	0.4	g
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	50	mg
Trace element solution (see below)	1	mL
Distilled water	1	L



(a) *Bacillus alcalophilus* (b) *Rhodoblastus acidophilus*

Fig. 2. Optical microscopy analysis of Bacteria(x1,000)

리트의 강알칼리성 환경의 개선을 위하여 약산성(pH 4~6)으로 하였으며, 구성요소로는 1L의 증류수를 기준으로 beef extract, yeast extract, sodium chloride 및 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 등이 사용되었다. 조성이 완료된 배지에 0.1%(v/v)의 박테리아를 접종한 뒤 20~30℃ 환경의 인큐베이터 내에서 7일 동안 배양을 실시하였으며, 광학현미경을 통해 배양결과를 관찰하였다(Fig. 2). 관찰결과 둥근 막대형상의 *Bacillus alcalophilus* 및 *Rhodoblastus acidophilus*를 확인 할 수 있었다.

## 2.2 흡착재

콘크리트는 시멘트페이스트 수화에 따른 내부 수분의 감소로 건조 환경이 되며 부피팽창의 영향으로 박테리아의 영양분 및 생장처가 감소하게 된다. 특히, 수화생성물인 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)에 의해 강알칼리성 환경(pH 11~12)으로 변화하며, 이는 박테리아의 최적 성장환경(pH 4~9) 조성에 있어 가장 큰 저해 요소가 된다. 이를 극복하면서 박테리아의 지속적 성장환경을 조성하기 위하여 팽창질석을 쉘터(shelter)로 활용하였다. 팽창질석은 비교적 중성에 가까운 pH(6~9)를 나타내며, 높은 수분 흡수성 및 보수성을 가지고 있다(Table 4). 또한, 양이온 교환용량(120~150meq/100g)이 뛰어나 주변 환경으로부터 교환성 양이온(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 등)을 효과적으로 흡수하는 특성을 가지고 있어 박테리아의 흡착에 유리하다. 박테리아 및 유기영양분(배양액)을 팽창질석에 흡착시키기 위해 팽창질석을 박테리아가 접촉된 배양액에 72시간 동안 침지한 후, 원심분리법에 의한 개체수 산정(Fig. 3) 및 표면미세구조 분석

Table 4. The physical properties of expanded vermiculite

Specific gravity	pH	EC (μs/cm)	Absorption (%)	Particle size (mm)
0.07~0.18	4.5~7.5	0.05~0.14	265~368	0~10

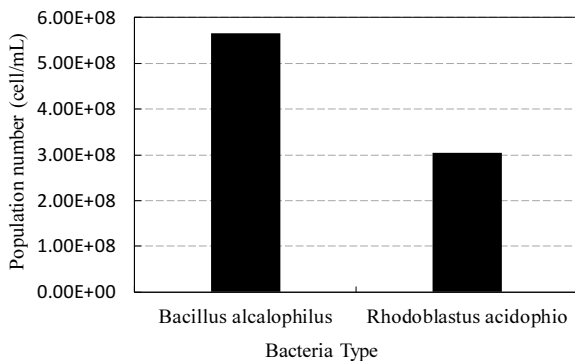
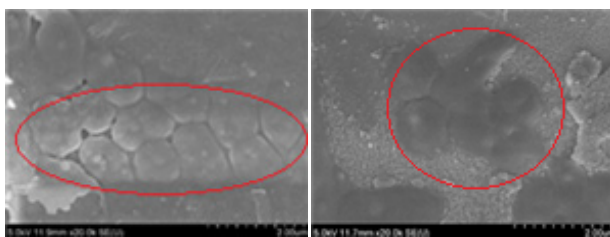


Fig. 3. Population concentration of bacteria absorbed into expanded vermiculite



(a) *Bacillus alcalophilus* (b) *Rhodoblastus acidophilo*

Fig. 4. SEM image for bacteria adsorbed into expanded vermiculite

을 통해 박테리아의 흡착성을 평가하였다(Fig. 4). 원심분리법에 의한 팽창질석 내부 및 표면의 박테리아 흡착 개체수 평가 결과 *Bacillus alcalophilus*의 경우 5.65×10<sup>8</sup>cell/mL, *Rhodoblastus acidophilus*의 경우 3.05×10<sup>8</sup>cell/mL의 박테리아가 흡착된 것을 확인할 수 있었다. 팽창질석의 표면미세구조 분석결과 *Bacillus alcalophilus*는 비교적 여러 개의 세포로 이루어진 형태의 군락을 형성하였으며, 박테리아 세포벽사이의 치밀한 구조를 확인할 수 있었다. *Rhodoblastus acidophilus*의 경우에는 *Bacillus alcalophilus*에 비해 뚜렷한 세포벽 사이의 구조를 확인할 수 없었지만, 다량의 박테리아 군락이 형성된 모습을 확인할 수 있었다.

## 3. 박테리아 흡착재 활용 모르타르 배합실험

### 3.1 실험상세

다공성의 팽창질석을 다량 함유한 모르타르의 압축강도는 현저하게 감소할 수 있다. 모르타르의 압축강도 저하에 중요한 영향을 미치지 않으면서 박테리아의 효과를 발휘할 수 있는 적절한 흡착재 혼입율 평가를 위하여 실험변수를 Table 5와 같이 선택하였다. KS L ISO 679에 따라 물-결합재비 50%, 모래-결합재비 3의 모르타르 시험체(50×50×50mm)를 제작하여 하였으며, 항온항습(20℃, 상대습도 60%) 환경에서 양생을 실시하였다.

박테리아 적용을 위해서는 팽창질석을 10<sup>9</sup>cell/mL의 농도로 배양된 박테리아 배양액에 72시간 동안 침지하였으며, 이를 골재의 부피 대비 5%, 7.5% 및 10%의 치환율로 변화하여 투입하였다.

Table 5. Mix proportions of eco-mortar specimens using the expanded vermiculite absorbing bacteria

Bacteria type	Replacement of expanded vermiculite (Sand × Vol%)	W/B (%)	S/B
None	0	50	3
<i>Bacillus alcalophilus</i>	5		
	7.5		
	10		
<i>Rhodoblastus acidophilus</i>	5		
	7.5		
	10		

### 3.2 측정방법

박테리아 흡착재 기반 친생태 모르타르의 기본 역학적 특성 평가를 위해 KS F 4039 및 KS L 5105에 따라 슬럼프 및 재령별

압축강도를 측정하였다. 친생태 모르타르의 pH 및 수질정화특성 (T-N, T-P, BOD, COD)는 각각 KS M 0011와 수질오염공정시험방법에 따라 평가하였다.

경화된 모르타르에서 박테리아의 성장성을 평가하기 위하여 재령 28일 이후 친생태 모르타르의 표면 및 내부 시료를 채취하여 분말화 하였으며, 이를 *Bacillus alcalophilus* 및 *Rhodoblastus acidophilus*가 성장과 증식이 가능한 한천 배지에 접종하였다. 박테리아 종류 및 혼입양이 모르타르의 식물성장성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 조경의 목적으로 사용되는 100×100mm 크기의 들잔디 모종을 증류수에 침지된 친생태 모르타르 표면에 이식하여 재령에 따른 잔디길이 성장을 평가하였다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 플로우

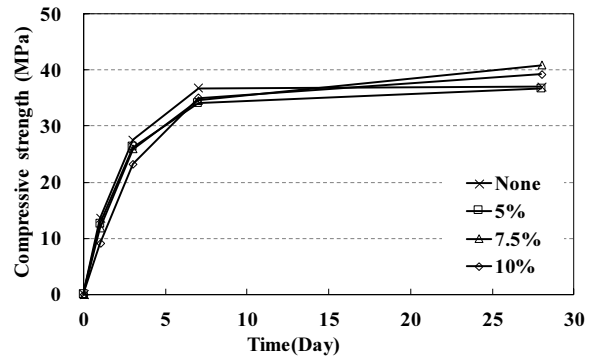
박테리아 흡착재 치환율에 따른 친생태 모르타르의 플로우 측정 결과는 Table 6에 나타내었다. 팽창질석을 투입하지 않은 시험체의 경우 플로우는 205mm였으며, 박테리아가 흡착된 팽창질석을 골재의 부피대비 10%의 비율로 혼입한 시험체의 경우 90~100mm의 범위로 비교적 낮은 수준이었다. 또한, 박테리아가 흡착된 팽창질석의 치환율이 증가할수록 슬럼프는 감소하였는데, 이는 모르타르 배합 시 팽창질석의 최대 수분흡수율을 고려하여 단위수량을 감소하였기 때문이다. 박테리아 종류에 따른 슬럼프의 변화는 *Rhodoblastus acidophilus*가 혼입된 시험체의 경우 130~90mm 범위로서, 160~100mm 범위의 *Bacillus alcalophilus*를 혼입한 시험체의 비하여 비교적 낮은 수준이었다.

Table 6. Flow of eco-mortars tested

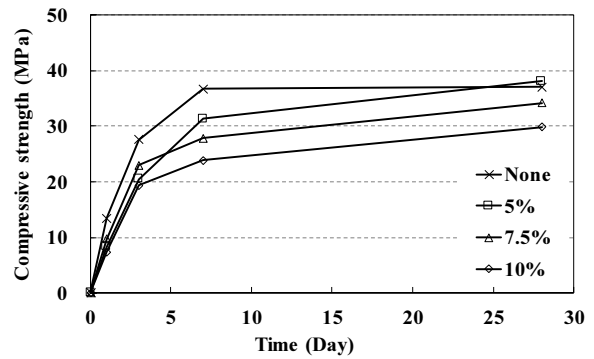
Bacteria type	Replacement of expanded vermiculite (Sand × Vol%)	Flow (mm)
None	-	205
<i>Bacillus alcalophilus</i>	5	160
	7.5	130
	10	100
<i>Rhodoblastus acidophilus</i>	5	130
	7.5	105
	10	90

### 4.2 압축강도

박테리아 흡착재 기반 친생태 모르타르의 재령별 압축강도의



(a) *Bacillus alcalophilus*



(b) *Rhodoblastus acidophilus*

Fig. 5. Compressive strength development of eco-mortars

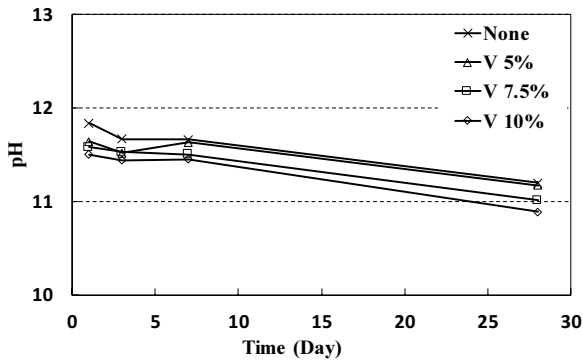
측정 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 팽창질석 무혼입 시험체의 압축강도는 재령 3일에 27.5MPa, 재령 28일에 37.1MPa이었다. *Bacillus alcalophilus* 기반 팽창질석을 혼입한 시험체의 압축강도는 재령 28일에서 치환율 5%, 7.5% 및 10%일 때 각각 36.7MPa, 40.9MPa 및 39.2MPa이었다. 팽창질석 무혼입 시험체의 재령 28일 압축강도 비하여 *Bacillus alcalophilus* 기반 팽창질석을 5% 혼입한 시험체의 경우 약 3% 낮은 수준이었으며, 7.5% 및 10% 혼입한 시험체는 약 5~10% 높은 수준이었다. *Rhodoblastus acidophilus* 기반 팽창질석을 혼입한 시험체의 경우 재령 28일 압축강도는 *Bacillus alcalophilus*가 혼입된 시험체에 비하여 비교적 낮게 나타났는데, 치환율이 5%, 7.5% 및 10%일 때 각각 38.1MPa, 34.2MPa 및 29.8MPa이었다. 또한, 팽창질석 무혼입 시험체의 재령 28일 압축강도 비하여 *Rhodoblastus acidophilus* 기반 팽창질석을 7.5% 및 10% 혼입한 시험체의 경우 약 8~21% 낮은 수준이었으며, 5% 혼입한 시험체는 약 3% 높은 수준으로 *Bacillus alcalophilus*를 혼입한 시험체와는 반대의 경향을 보였다. 이는 사용된 팽창질석의 최대 수분흡수율의 차이 및 *Bacillus alcalophilus*와 *Rhodoblastus acidophilus*의 특이성이 모르타르의 강도발현에 영향을 미친 것으

로 판단된다.

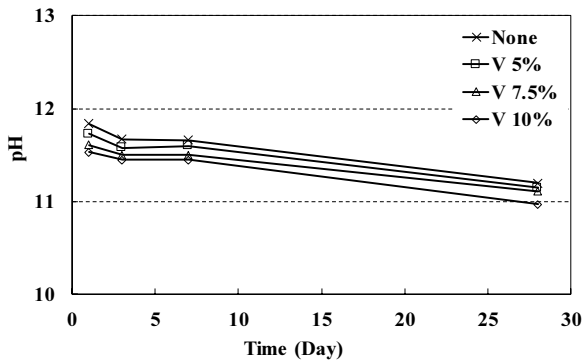
모르타르의 압축강도 발현을 고려하면 박테리아를 흡착한 팽창질석의 적절한 치환율(모래 부피대비)은 박테리아 종류에 관계없이 최대 7.5% 이하 또는 10% 이하가 추천될 수 있었다.

### 4.3 pH

친생태 모르타르의 재령별 pH 측정 결과는 다음 Fig. 6과 같다. 팽창질석 무혼입 시험체의 경우 pH는 재령 1일에서 11.84, 재령 28일에서 11.2로 재령이 증가함에 따라 감소하였다. *Bacillus alcalophilus* 및 *Rhodoblastus acidophilus* 기반 팽창질석을 혼입한 시험체의 경우 모든 침지재령에서 팽창질석 무혼입 시험체에 비하여 비교적 낮은 수준의 pH를 나타냈다. 박테리아 종류에 관계없이 팽창질석을 10% 치환한 경우의 pH가 재령 1일에 11.5~11.53, 재령 28일에 10.89~10.97의 범위로 가장 낮았다. 그러나 박테리아 흡착재 기반 친생태 모르타르의 pH 감소는 팽창질석 무혼입 시험체 대비 약 2~3% 수준으로 큰 차이를 보이지 않았으며, 모르타르의 강알칼리성 저하를 위한 박테리아 약산성(pH 4~6) 배양액의 조성은 별다른 영향을 미치지 못한 것으로 판단된다.



(a) *Bacillus alcalophilus*

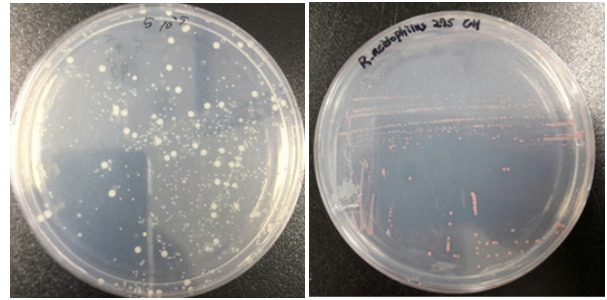


(b) *Rhodoblastus acidophilus*

Fig. 6. pH values of eco-mortars at different ages

### 4.4 박테리아의 지속성장 평가

친생태 모르타르에 혼입된 박테리아의 성장성 평가 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 재령 28일의 경화된 모르타르에서 채취한 박테리아 균주들은 한천배지체 균락을 형성하면서 그 생존성을 보여주었다. 즉, 친생태 모르타르 내에 혼입된 박테리아는 지속적으로 성장할 수 있음을 알 수 있다.



(a) *Bacillus alcalophilus* (b) *Rhodoblastus acidophilus*

Fig. 7. Inoculation image of bacteria sampled from hardened eco-mortars

### 4.5 식물성장 영향

증류수에 침지된 친생태 모르타르 표면에 이식한 잔디의 상세는 Fig. 8과 같으며, 성장사진 및 성장길이를 각각 Fig. 9와 Table 7에 나타내었다. 팽창질석 무혼입 시험체에 이식된 평대잔디의 경우 재령 14일 이후 길이의 성장없이 고사되었다. *Bacillus alcalophilus* 기반 팽창질석을 5% 및 7.5% 치환한 모르타르 시험체에 이식된 평대잔디의 경우 재령 14일 까지 약 40~110%의 길이성장을 보였지만 이후 고사되는 모습을 보였다(Table 7). 반면 *Bacillus alcalophilus* 기반 팽창질석이 10% 치환된 시험체 및 *Rhodoblastus*

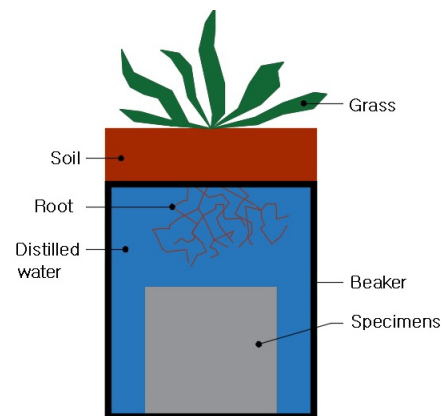


Fig. 8. Detailed transplants the grass

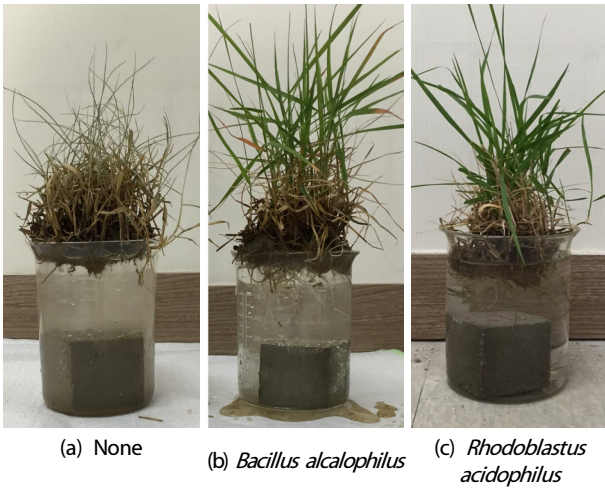


Fig. 9. Growth status of grass transplanted onto eco-mortars

Table 7. Growth length of grass transplanted onto eco-mortars

Bacteria type	Replacement of expanded vermiculite (Sand × Vol%)	Growth length(cm)				
		0 day	7 days	14 days	21 days	28 days
None	0	12	12	12	-	-
<i>Bacillus alcalophilus</i>	5	14	14	19.5	-	-
	7.5	10.5	13	21	-	-
	10	9.4	14	20	21.7	22.8
<i>Rhodoblastus acidophilus</i>	5	11	11.5	16.2	20.7	22
	7.5	8.8	9	15	19.8	22.9
	10	9	13	20	26.7	29.3

*acidophilus* 기반 팽창질석이 치환된 모든 시험체는 재령 28일까지 약 100~222%의 길이성장을 보였으며 고사되지 않았다. 특히, *Rhodoblastus acidophilus* 기반 팽창질석이 혼입된 시험체의 경우 치환율이 증가할수록 평대잔디의 길이성장이 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 팽창질석의 치환 비율이 증가함에 따라 흡착된 박테리아의 투입비율은 증가하게 되며, 비교적 다량의 박테리아가 존재하는 모르타르 시험체의 경우가 식물성장 증대에 더 많은 영향을 미치기 때문이라고 판단된다.

#### 4.6 수질정화능력

수질정화능력 평가의 경우 식물성장 영향평가 결과 비교적 높은 식물성장 증대 효과를 보인 *Rhodoblastus acidophilus* 기반 팽창질석을 10% 혼입한 시험체를 선정하였다. 실제 하천 환경에서의 적용을 고려하여 수원시 광고산에 위치한 광고저수지 하류에서 원수시료를 채취하였으며, 친생태 모르타르를 원수시료에 침지하

Table 8. Summary of water purification tests

Type	Replacement of expanded vermiculite (Sand × Vol%)	Items (ppm)			
		COD	BOD	T-N	T-P
Lake water	-	17	2.9	3.18	0
<i>Rhodoblastus acidophilus</i>	10	10.1	3.2	3.02	0.088

여 14일 이후의 수질변화를 측정하였으며 결과를 Table 8에 나타내었다. COD 및 T-N 측정결과 초기 원수시료 농도에 비하여 각각 41% 및 5% 감소하여 원수시료에 비해 정화되는 결과를 보였다.

한편, T-P의 경우 측정결과 0.088ppm으로 높은 수준의 농도가 검출되지 않았는데, 이는 박테리아의 신진대사과정에 필요한 영양분의 소모에 따른 배출물의 주요 성분이 인(P)이기 때문이다. 인(P)은 식물생장을 위해 반드시 필요한 영양요소이므로 친생태 모르타르의 긍정적 효과로 작용할 수 있는데, 그 농도는 식물 생장에 따라 소모될 수 있는 수준으로서 수질에 악영향은 미치지 않을 것으로 판단된다. 친생태 모르타르가 수질 중의 BOD 농도에 미치는 영향도 무의미하였는데, 이는 박테리아의 대사과정에 소모된 용존산소의 감소에 따른 영향으로 판단된다.

#### 5. 결론

이 연구에서는 친생태 콘크리트 2차 제품 개발의 기초연구로서 박테리아를 흡착한 팽창질석을 이용하여 친생태 모르타르의 강도 발현 및 생태환경영향을 평가하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모르타르의 압축강도 발현을 고려하면 박테리아를 흡착한 팽창질석의 적절한 치환율(모래 부피대비)은 박테리아 종류에 관계없이 최대 7.5~10% 이하가 추천될 수 있었다.
2. 선정분리 된 박테리아 및 약산성의 배양액은 모르타르의 pH 저감에 중요한 영향을 미치지 않았다.
3. 재령 28일의 모르타르에서 채취한 박테리아 균주들의 재접종 결과 그 생존을 확인할 수 있었다.
4. 증류수에 침지된 모르타르 표면에 이식한 잔디들은 박테리아 무혼입의 경우 14일 이후 모두 고사한 반면 박테리아 혼입의 경우에는 박테리아 무혼입 대비 100~220% 이상의 성장율을 보였다.
5. 박테리아 혼입 모르타르의 수질정화 평가결과 COD 및 T-N의 경우 초기 원수시료에 비해 각각 41%와 5% 낮은 값을 보였지

만, T-P와 BOD의 경우 박테리아 대사과정에 따른 배출물로 인해 그 변화 값은 무의미하였다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비지원(16SCIP-B103706-02)에 의해 수행되었습니다. 또한, 연구 진행에 있어 도움을 주신 (주)그랜드 코단에 감사드립니다.

## References

Jeong, J.E., Yang, K.H., Yoon, H.S. (2015). Adsorption technology for bacteria-based concrete coating, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **3(2)**, 140–145 [in Korean].

Kim, W.J., Choi, K.J., Park, J.S. (2011). An experimental study on water-purification properties in cement bricks using effective micro-organisms and zeolite, Journal of the Korea Concrete Institute, **23(3)**, 331–338 [in Korean].

Kim, W.J., Do, H.W., Kim, W.S., Chun, W.Y. (2012). An experimental study on water-purification properties and the development of green building materials in moss bricks using effective micro-organisms, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **28(5)**, 103–110 [in Korean].

Shin, C.L. (2014). Natural Purification Treatment Using Non-sintered Soil Brick with Effective Microorganisms, Master's Thesis, University of Seoul, Korea.

Wang, J.Y., Snoeck, D., Vlierberghe, S., Van, Verstraete, W., Belie, N.De. (2014). Application of hydrogel encapsulated carbonate precipitating bacteria for approaching a realistic self-healing in concrete, Construction and Building Materials, **68**, 110–119.

Wang, J.Y., Tittelboom, K.V., Belie, N.D., Verstraete, Willy. (2012). Use of silica gel or polyurethane immobilized bacteria for self-healing concrete, Construction and Building Materials, **26**, 532–540.

### 박테리아를 흡착한 팽창질석 기반의 친생태 모르타르 개발

본 연구에서는 에코 프리캐스트 콘크리트 제품 개발을 위한 기초 연구로서 박테리아를 흡착한 팽창질석 기반의 친생태 모르타르를 개발하였으며, 압축강도 발현 및 생태환경영향 평가를 실시하였다. 경화된 모르타르의 극건조 환경 및 강알칼리성 환경에서 생장이 가능하며, 식물생장성 증대 효과를 갖는 *Bacillus alcalophilus*와 *Rhodoblastus acidophilus*를 분리 및 배양하였다. 배양이 완료된 박테리아는 성장처 제공을 위한 재료로서 선택된 팽창질석에 흡착하였으며, 이를 배합시 골재의 체적 대비 혼입하여 모르타르를 제작하였다. 평가 결과 친생태 모르타르는 COD 및 T-N 수질정화능력 및 식물생장증대에 효과를 보였다. 모르타르의 압축강도 발현 및 비용적 측면을 고려했을 때, 박테리아 기반 팽창질석의 최적 치환율은 최대 10% 이하가 추천될 수 있었다.