

이끼 벽돌과 유용 미생물을 이용한 수질정화특성 및 친환경 건축재료 개발을 위한 실험 연구

An Experimental Study on Water-Purification Properties and the Development of Green Building Materials in Moss Bricks Using Effective Micro-Organisms

저자 (Authors)	김화중, 도혜원, 김우석, 천우영 Kim Wha-Jung, Do Hye-Won, Kim Woo-Suk, Chun Woo-Young
출처 (Source)	대한건축학회 논문집 - 구조계 28(5) , 2012.5, 103-110(8 pages) JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Structure & Construction 28(5) , 2012.5, 103-110(8 pages)
발행처 (Publisher)	대한건축학회 ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01858705
APA Style	김화중, 도혜원, 김우석, 천우영 (2012). 이끼 벽돌과 유용 미생물을 이용한 수질정화특성 및 친환경 건축재료 개발을 위한 실험 연구. 대한건축학회 논문집 - 구조계 , 28(5), 103-110
이용정보 (Accessed)	이화여자대학교 203.255.***.68 2020/04/25 15:45 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

이끼 벽돌과 유용 미생물을 이용한 수질정화특성 및 친환경 건축재료 개발을 위한 실험 연구

An Experimental Study on Water-Purification Properties and the Development of Green Building Materials in Moss Bricks Using Effective Micro-Organisms

김 화 중* 도 혜 원**
Kim, Wha-Jung Do, Hye-Won
김 우 석*** 천 우 영****
Kim, Woo-Suk Chun, Woo-Young

Abstract

The water pollution in the nature is becoming more serious. To stop the water pollution, both micro-organism and bioremediation are in the limelight of construction materials. In addition, plants have so many advantage of vegetation, energy conservation, and water purification. Green (and/or Eco-Friendly) building materials of Eco-concrete and vegetation bricks have increased in human demand.

In this study, combining the two elements can be utilized in the construction materials. Excellent performance in the treatment of wastewater microbial decomposition is applied to the moss brick. Green Building materials we investigated as a potential resources.

키워드 : 이끼벽돌, 유용 미생물, 수질정화, 친환경 건축재료

Keywords : Moss Brick, Micro-organism, Water Purification, Green Building Materials

1. 서 론

1.1 연구의 배경

인간이 경제활동을 영위하면서 필연적으로 발생하는 각종 오염물질은 끊임없이 환경으로 배출되었으나 생활양식이 단순하고 인구가 적었던 과거에는 환경의 자정능력에 의하여 제거되어 환경오염은 해결되어야 할 문제로 인식되지 않았다. 그러나 경제활동 규모가 확대되면서 그에 비례하여 환경으로 배출되는 오염물질이 늘어난 환경오염과 자연파괴는 가속화 되었고 최근에는 인류의 삶 자체를 위협하는 상황에 이르렀다. 우리나라는 1960년대부터 공업화를 추진하여 짧은 기간 동안 괄목할만한 경제성장을 이룩하였지만 그 이면에는 환경오염의 문제를

안고 있었고 특히 인구에 비해 국토가 좁아 환경오염 문제는 심화 되었다. 이와 함께 공장폐수와 도시폐수의 배출량도 급속히 증가되어 주요 하천과 연안의 수질오염이 사회 문제화 되기 시작하였다. 오늘날 공업화된 선진 각국에서는 자국 수역의 오염방지, 이미 오염된 수질의 복구를 위하여 연구·법적규제·시설투자 등을 하고 있으며, 환경보전을 위하여 국제간의 협력이 진행되고 있다.

1.2 연구의 목적

심각해지는 수질오염을 해결하고자 친환경적이면서 경제적인 수질 개선 대책으로 미생물 혹은 생물의 다양한 기능을 이용한 생물학적 정화(Biological Purification)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, 기능발현, 복구 기능 강화 등이 중요하며 환경을 개선하고 조화되는 방식으로 수질정화가 가능하다고 생각되고 미생물을 이용시 수질정화의 기술은 앞으로 점점 더 중요해 질 것으로 보인다.

* 경북대학교 건축토목공학부 교수, 공학박사

** 경북대학교 대학원 석사과정

(Corresponding Author, E-mail : hyewon_do@nate.com)

*** 경북대학교 건축토목공학부 연구교수, 공학박사

**** 경북대학교 대학원 박사과정

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. No. NRF-2010-0015142

미생물을 이용한 생물학적 처리방법에는 회전원판법¹⁾이나 살수여상과 같은 생물막법²⁾과 호기성 미생물을 혼합배양의 상태에서 적극적으로 이용하여 폐수중의 유기물을 분해·제거하는 활성슬러지법 미생물을 고분자 물질에 고정화 시켜서 사용하는 미생물 고정화법이 있다.³⁾ 생물학적 처리기술은 저 농도로도 충격부하가 발생하여 미생물 소멸로 인한 효율을 저하시키는 등의 한계가 있어 아직까지 현장처리하는 미비한 실정이지만 2차 오염원이 생기지 않는 친환경적인 기술이라는 장점이 있어 크게 각광받고 있다.⁴⁾⁵⁾ 또한 환경 친화적인 건설재료의 수요 증대로 인해 많은 건설재료가 개발되고 있는데 그중에서도 연속공극을 형성시켜 투수성, 투기성, 수질정화, 식생 및 조장 조성 능력을 갖는 다공성 콘크리트에 대한 개발⁶⁾⁷⁾과 식물이 건축 재료에 함께 공존이 가능한 식생콘크리트, 식생벽돌은 녹화 현상이 가능하여 단열 및 보온 효과, 에너지효율 증대, 정화 능력의 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 건물 외벽의 습한 곳에 녹화 현상으로 덮여있는 이끼를 채취하여 공극이 큰 시멘트-제올라이트 벽돌과 함께 성형 가압 하여 이끼벽돌을 제작 하였다. 이끼벽돌에 수질정화 능력이 있는 대구광역시 S환경사업소로부터 균주⁸⁾를 분리 및 동정한 9가지 생물종을 적용하여 친환경적인 건축 소재로서 수질 정화 특성을 검토 하였다.

2. 실험 개요

2.1 실험 재료

2.1.1 이끼벽돌

이끼벽돌(190×90×57mm)은 시멘트, 제올라이트, 잔골재, 이끼로 구성되어있으며 이끼벽돌의 형태와 배합표는 그림 1과 표 1과 같다. 채취한 이끼는 햇빛에 말린 후 시멘트 벽돌 제작에 사용되는 몰드에 골재를 넣은 후 골재의 표면에 일정량의 이끼 가루를 뿌린 다음 함께 성형 가압하여 제작하였다. 이끼는 다른 식물과는 달리 포자가 남아있을 경우에 수분이 다시 증착되면 푸른빛을 보이면서 광합성이 가능하다.

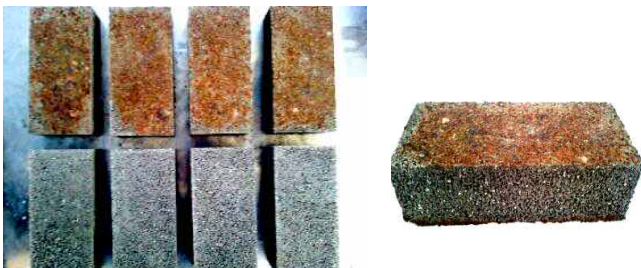


그림 1. 이끼벽돌 제작

2.1.2 시멘트

벽돌제작에 사용되는 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 물리적 성질은 표 2와 같다.

2.1.3 골재

벽돌제작에 사용되는 골재는 입도 1~2mm의 쇄석과 1mm이하의 석분을 사용하였으며, 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

2.1.4 제올라이트(Zeolite)

벽돌제작에 사용되는 제올라이트는 국내 K사 제품으로 입경 1~3mm이며 화학적 성분은 표 3과 같다. 제올라이트는 내부 구조가 미세 다공질의 구조로 되어있기 때문에 미생물을 흡착시키기에 유리한 구조를 가질 뿐만 아니라 Al_2O_3 와 SiO_2 로 상당부분 구성되어 있었으며 대부분 양이온으로 구성되어 있다. 일반적으로 미생물은 음이온 성향을 띄기 때문에 담체 표면과 미생물 사이에 정전기 항력이 작용하여 부착이 용이하다고 알려져 있다.⁹⁾

2.1.5 원수(Raw water)

본 연구의 실험에 사용된 원수(Raw Water)는 대구광역시 S환경 사업소에서 협잡물을 제거한 폐수를 사용하였으며 최초 폐수를 샘플링 하였을 때 생물학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand; hereafter, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand; hereafter, COD_{Mn}), 총 질소(Total Nitrogen; hereafter, T-N), 총 인(Total Phosphorus; hereafter, T-P), 용존 산소량(Dissolved Oxygen; hereafter, DO), 부유물질(Suspended Solide; hereafter, SS), 용액의 수소이온 농도지수(pH)를 측정하여 표 4와 같이 나타났다.

원수 샘플링은 그림 2에 나타난 것처럼 20L통에 담아서 수조에 배분시에 일괄적으로 다시 섞은 후 균일하게 수조에 18L씩 담아 실험을 실시하였다. 또한 원수는 샘플

표 1. 이끼 벽돌의 배합표

W/C	Unit volume weight(kg/m ³)				
	Cement	Moss	Sand		
			Crushed stone	Stone powder	Zeolite
0.23	641.223	30.26	1295.27	80.794	242.382

표 2. 시멘트 및 골재의 물리적 성질

Setting time (min)		Compressive strength (Mpa)			Blaine (cm ² /g)	Density (g/m ³)
Initial set	Final set	3day	7day	28day	3,318	3.15
240	340	22.5	31.1	40.0		
Sand	Grading	Density (g/m ³)	Water absorption ratio (%)		Unit volume weight (t/m ³)	Ratio of absolute volume (%)
Stone powder	1mm below	2.62	0.8		1.6	59.9
Crushed stone	1~2mm	2.59	1.7		1.4	56.9
Zeolite	1~3mm	1.97	13.8		0.973	56.2



그림 2. 원수(Blank) 샘플링

표 3. 제올라이트의 화학성분

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

표 4. 원수의 특성

BOD [mg/L]	COD _{Mn} [mg/L]	T-N [mg/L]	T-P [mg/L]	DO [mg/L]	SS [mg/L]	pH
72.7	58.9	22.68	2.29	3.8	91	7.3

링 낱자, 시간, 기온 등 여러 영향으로 인해 채취 할 때마다 그 성질이 차이가 있음이 나타났다.

2.1.6 사용배지 및 균주

실험에 사용한 배지는 TSA(Tryptic Soy Agar)로써 121℃에서 15분간 오토클레이브(Autoclave) 멸균처리하고 petri-dish에 약 15ml씩 분주하여 사용하였다(그림 3 참조).



그림 3. TSA배지 제작

실험에 사용된 미생물의 분리는 대구광역시 S환경사업소에서 시료를 채취하여 시료 30g을 1차 증류수 200ml에 넣어서 교반한 후, 마이크로 피펫으로 100개의 TSA배지에 10ml씩 배분한 다음 Bend glass를 이용해 도말하여 접종한다. 동정된 미생물들은 16S rDNA 염기서열 분석법에 의해 분류를 하였으며 미생물의 현미경 사진은 그림 4와 같으며 동정되어진 미생물의 종명은 표 5와 같다.

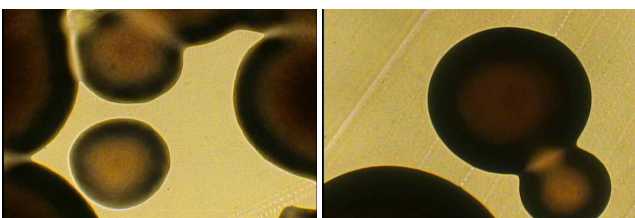


그림 4. 실험 균주(Microscope(40X))

표 5. 16S rDNA 염기서열 분석법으로 분류 되어진 미생물

Microorganism	Similarity
Lysinibacillus sphaericus	99.861
Lysinibacillus fusiformis	99.59
Aeromonas encheleia	99.19
Bacillus amyloliquefaciens	99.861
Klebsiella pneumoniae	94.516
Aeromonas media	99.444
Raoultella ornithinolytica	99.928
Pseudochrobactrum saccharolyticum	99.924
Comamonas thiooxidans	99.86

2.2 실험 방법

2.2.1 이끼벽돌의 양생 및 미생물 흡착

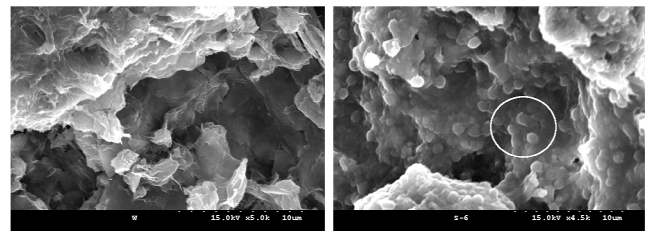


그림 5. 벽돌 제올라이트의 미생물 흡착(SEM)

제작한 이끼벽돌을 양생 및 미생물 흡착을 위해 물이 들어 있는 수조에 넣은 다음 도말법으로 접종한 미생물을(배지 50개씩) 수조에 다량 분산 시킨다. 그림 5는 일주일의 양생기간동안 벽돌의 제올라이트의 다공질 부분에 미생물이 흡착된 모습을 SEM분석으로 나타내었다. 시험체는 표 6과 같이 일반벽돌인 WB와 이끼벽돌은 MB로 나누었고 미생물을 적용한 경우에 -S로 칭하였다.

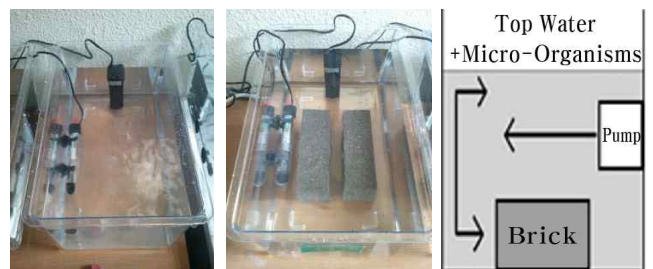


그림 6. 양생 및 미생물 흡착원리

표 6. 시험체 명칭 및 상태

Test specimen abbreviation	Curing condition
WB	Water + Brick
WB-S	Water + Brick + Microorganism
MB	Water + Moss Brick
MB-S	Water + Moss Brick + Microorganism



그림 7. 폐수의 실험방법 및 순환원리

일반벽돌과 이끼벽돌의 특성, 미생물이 흡착된 경우의 특성을 비교하기 위해 시험체를 구분하였다. 그리고 각 수조에는 물속의 미생물이 자유롭게 순환 가능하도록 펌프를 설치하였고 미생물이 외부 온도로 소멸하지 않도록 수중히터를 26℃로 설정하여 설치하였다(그림 6참조).

2.2.2 실험 항목 및 방법

일주일간의 양생 및 미생물 흡착이 끝난 벽돌을 24시간 건조한 후 대구광역시 S환경사업소에서 샘플링 한 폐수로 실험을 실시하였다. 실험의 방법은 양생 및 흡착시 사용했던 방식과 유사하며 회분식 반응조(Completely Mixed Batch reactor, CMB)형태로서 수질정화실험용 수조는 20L 아크릴 수조를 사용하였다. 폐수의 수량은 18L로 담아 실험을 하였고 5개의 실험용 수조에 처음 수조에는 BLANK(원수)를 넣어두고, 나머지 4개의 수조에는 양생이 끝난 일반벽돌과 이끼벽돌을 2개씩 넣어 그림 7과 같이 실험을 실시하였다.

BLANK와 대조군 WB, WB-S, MB, MB-S를 4주간 4회 7일 간격으로 수질정화능력을 검토하였다. COD_{Mn}와 T-N, T-P는 신뢰도를 높이기 위해 수직측정키트 3개로 3번을 측정하여 평균값을 나타내었고 SS 또한 3번의 수질측정으로 평균값으로 표기하였다. 수질환경기준 및 규제기준 항목 중 pH, BOD, DO, COD_{Mn}, T-N, T-P, SS 총 7개 항목에 대해 분석을 하였고, 각 항목의 분석방법은 표 7과 같다.

표 7. 분석항목 및 방법

Analytical item	Methods
pH	pH Meter(P15)
BOD	BOD Sensor System6
DO	DO Meter(DO-30N)
COD _{Mn}	Reactor Digestion(HS-2300Plus)
T-N	Chromatropic acid(HS-2300Plus)
T-P	Molybdo Vanadate(HS-2300Plus)
SS	SS Meter(AL250)

3. 실험 결과 및 분석

3.1 용존산소(DO), 수소이온 농도지수(pH)에 미치는 영향
폐수에 미생물을 흡착한 벽돌들을 적용하였을 경우 DO의 농도 및 농도변화는 표 8과 그림 8과 같다. 각 일차별 그래프를 살펴보면 BLANK, 일반벽돌을 사용한 WB, WB-S와 이끼 벽돌을 사용한 MB, MB-S의 크게 3가지의 종류에 따라 특징을 나타낸다. BLANK의 DO농도는 불규칙적인 형태로 나타내면서 가장 낮은 수치를 보이고, WB, WB-S는 시간이 거듭할수록 농도가 높아지는 수치를 보이고 있다. 이끼벽돌을 적용한 MB, MB-S는 다른 종류에 대조군들 보다 평균 1~5% 높은 수치를 나타내고 있다. 이러한 특징을 살펴보면 미생물을 적용한 WB-S와 MB-S는 특별한 반응을 보이지 않고 미생물을 적용하지 않은 대조군과 유사한 형태를 나타내고 있으므로 DO의 농도 변화는 미생물에 의한 영향은 없는 것으로 사료된다. 하지만 이끼를 적용한 MB, MB-S는 벽돌에 부착되어 있는 이끼의 광합성 활동으로 인해 일차별로 높은 수치를 가지는 것으로 판단된다.

폐수에 미생물을 흡착한 벽돌들을 적용하였을 경우 pH의 농도 및 농도변화는 표 9와 그림 9와 같다. BLANK를 제외한 나머지는 수치가 비슷하게 나타났다. 이러한 이유는 WB, WB-S, MB, MB-S의 벽돌 제작에 시멘트가 첨가되기 때문이다. 이러한 시멘트는 강알칼리성을 띄고 있고 벽돌 내·외부에 부착되었던 조류가 광합성 활동을 하여 수중에 CO₂를 소비하기 때문에 공기 중에서 물속으로

표 8. 용존산소(DO)의 농도

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	WB-S (mg/L)	MB (mg/L)	MB-S (mg/L)
0	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
7	4.0	5.9	7.5	10.1	10.5
14	4.7	7.7	7.8	10.9	12.1
21	7.4	10.3	10.1	11.3	13.8
28	5.6	11.5	12.1	10.4	13.4

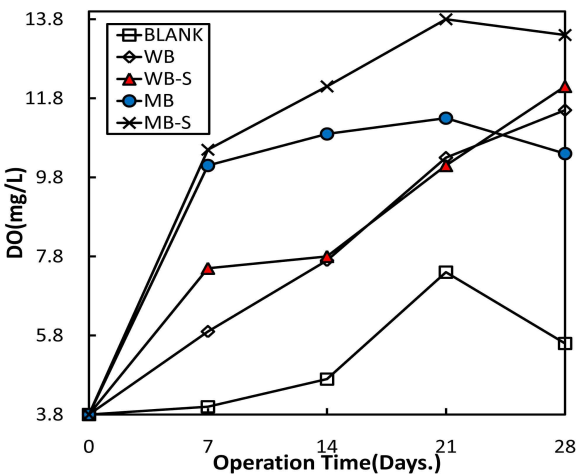


그림 8. 용존산소(DO)의 농도변화

표 9. 수소이온농도(pH)의 농도

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	WB-S (mg/L)	MB (mg/L)	MB-S (mg/L)
0	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
7	7.5	10.5	11.1	9.9	10.1
14	8.1	10.4	10.8	10.3	10.5
21	8.2	10.3	10.6	11.2	10.8
28	8.2	10.1	10.5	11.2	10.5

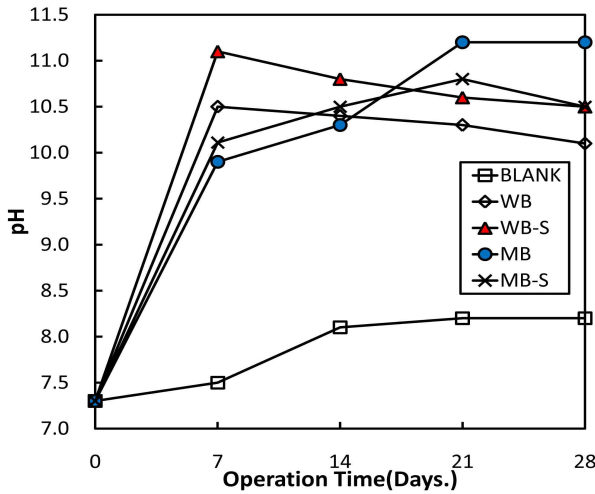


그림 9. 수소이온농도(pH)의 농도변화

유입되는 CO₂량 보다 조류에 의한 소모량이 크기 때문이다. 수중의 CO₂는 조류의 광합성 활동이 극대화되면서 점차 감소하게 되는데, 이러한 CO₂ 감소는 물속의 알칼리도 형태를 HCO₃⁻에서 CO₃²⁻과 OH⁻ 형태로 변화시키고, pH를 상승시키는 요인으로 사료된다.¹⁰⁾

3.2 부유물질(SS) 및 유기 물질 제거 효율 검토

3.2.1 부유물질(SS)에 미치는 영향

폐수에 미생물을 흡착한 벽돌들을 적용하였을 경우 SS의 농도 및 제거 효율은 표 10과 그림 10과 같다. BLANK 반응조를 살펴보면 제거율이 7일차부터 크게 상승하였다가 28일차 이후부터는 다른 대조군들과 약 10%의 제거 효율 차이를 나타내고 있다. 이러한 제거 효율은 회분식 반응조의 특징이 영향을 미치는 것으로 판단된다. 회분식 반응조는 포기, 침전, 처리수 유출의 3단계로 운전되어지지만 채움(Fill)과 슬러지 배출(Idle)시간이 필요없으므로 슬러지 벌킹 현상을 억제하는 역할을 해준다. 이러한 슬러지 벌킹이 억제 되었을 때 SS의 농도는 크게 낮아진다. 28일 이후의 다른 대조군들과의 차이는 다공질의 제올라이트를 함유한 벽돌들이 비표면적이 크고 외부뿐만 아니라 내부에서도 부유물질 처리효율을 보일 수 있기 때문으로 판단된다. BLANK를 제외한 일반벽돌과 이끼벽돌을 적용한 나머지 대조군들은 서로 유사한 제거 효율 수치를 나타내었고, WB-S의 경우 BLANK와의 제거율 차이는 13%까지 나타났다.

표 10. 부유물질(SS)의 농도

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	WB-S (mg/L)	MB (mg/L)	MB-S (mg/L)
0	91	91	91	91	91
7	19	17	15	18	18
14	14	13	11	13	16
21	15	10	9	14	13
28	19	11	7	12	9

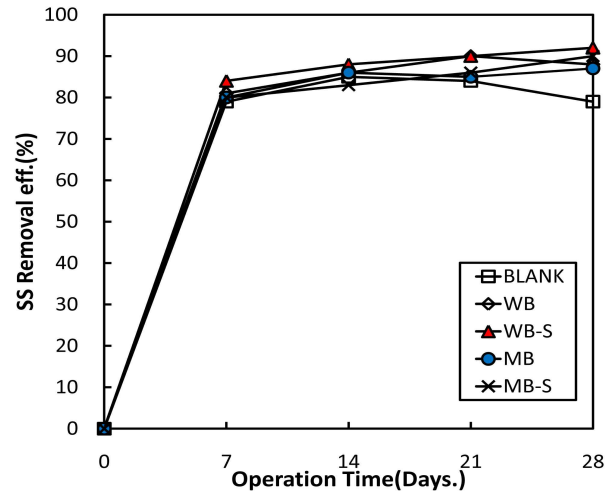


그림 10. 부유물질의(SS)의 제거효율

3.2.2 화학적 산소 요구량(COD_{Mn})에 미치는 영향

폐수에 미생물을 흡착한 벽돌들을 적용하였을 경우 COD_{Mn}의 농도 및 제거효율은 표 11과 그림 11과 같다.

BLANK의 반응조를 살펴보면 제거율이 다른 대조군보다 높은 수치를 나타내는데 실험기간 동안 BLANK 자체에서의 생물학적 반응으로써 BLANK에 무기물 또는 유기물에 의한 자정작용이 발생하여 제거율에 영향을 미치는 것으로 판단된다. COD_{Mn}은 유기성 오염물질의 양을 나타내는 지표로 사용하고 있는데, 호소나 해역에서는 이들 수역에 흘러 들어온 유기성 오염물질이 장기간 체류하는 과정에서 미생물에 의해서 산화, 분해될 수 있는 물질은 대부분 제거되고 화학적으로 산화, 분해되는 물질이 주로 잔류한다. 미생물을 적용한 WB-S와 MB-S는 미생물을 적용하지 않은 WB, MB와 작은 차이를 보이고 있다. WB-S와 MB-S는 14일차의 제거율이 각 67%, 68%로 7일차 시험보다 하락한 수치를 나타내고, 21, 28일차에서

표 11. 화학적 산소요구량(COD_{Mn})의 농도

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	WB-S (mg/L)	MB (mg/L)	MB-S (mg/L)
0	58.9	58.9	58.9	58.9	58.9
7	15.9	16.9	16.9	17.4	17.9
14	12.9	21.3	19.4	19.1	18.8
21	10.1	18.2	14.9	17.7	15.7
28	10.2	19.4	16.1	18.5	15.9

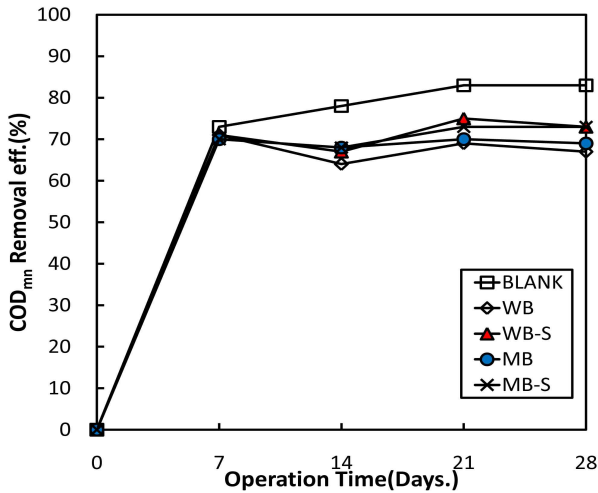


그림 11. 화학적 산소요구량(COD_{Mn})의 제거효율

는 높아진 제거 효율을 보이고 있다. 하지만 미생물을 적용하지 않은 WB, MB는 14, 21, 28일차의 제거율이 7일차와 큰 차이를 보이지 않고 유사한 수치를 가지게 되므로 WB-S와 MB-S의 제거율 상승은 미생물에 의한 생물학적 반응으로 판단된다. 미생물의 적용 유무에 따라 약 4% 정도 높은 제거율을 나타내고 있지만 BLANK 자체의 자정작용으로 인한 제거 효율에는 미치지 못하므로 COD_{Mn}에는 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.

표 12. 생물학적 산소요구량(BOD)의 농도

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	WB-S (mg/L)	MB (mg/L)	MB-S (mg/L)
0	72.7	72.7	72.7	72.7	72.7
7	45.2	26.9	24.3	30.8	21.3
14	41.0	20.3	16.7	27.4	17.4
21	31.6	17.6	13.4	21.6	15.1
28	17.6	15.9	9.5	13.1	10.0

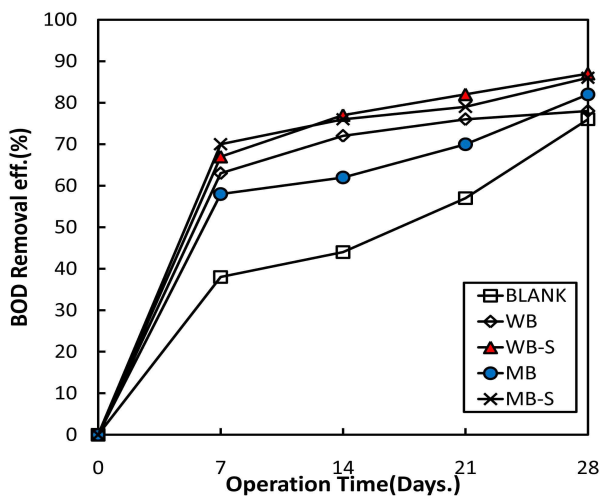


그림 12. 생물학적 산소요구량(BOD)의 제거효율

3.2.3 생물학적 산소 요구량(BOD)에 미치는 영향

폐수에 미생물을 흡착한 벽돌들을 적용하였을 경우 BOD의 농도 및 제거 효율은 표 12과 그림 12와 같다.

BOD Sensor System에 BLANK를 포함한 수치 측정을 했을 때 5종류 모두 기간에 따른 비례하는 제거 효율을 나타내었다. BLANK의 제거 효율이 초기 7일차 측정에서 가장 낮은 제거 효율로 나타났고 미생물을 적용한 WB-S, MB-S가 비슷한 양상 속에서도 28일차에 86~87%의 가장 높은 제거 효율을 보였다. 이는 인위적으로 적용한 미생물의 생물학적 반응으로 인해 BOD의 제거 효율을 높인 것으로 판단된다.

3.3 영양염류 제거 효율 검토

3.3.1 총 질소(T-N)에 미치는 영향

폐수에 미생물을 흡착한 벽돌들을 적용하였을 경우 T-N의 농도 및 제거 효율은 표 13과 그림 13과 같다.

질산화의 처리 원리는 폐수중의 질소가 암모니아(NH₃) 형태로 존재한다면 암모니아는 호기성 상태에서 질산화 미생물에 의하여 NO₃ 형태로 산화된다.¹¹⁾ BLANK의 경우 14일차까지는 제거 효율은 25%까지 상승하였지만 14일차 이후로는 동일한 수치를 나타냈다. WB의 경우 평균 제거 효율 34.4%로 다공성 콘크리트의 T-N 제거 효율과 유사한 수치를 나타냈으며¹²⁾ 이는 다공성 제올라이트를 이용하여 제작한 벽돌들을 적용하였을 때 제거 효율

표 13. 총 질소(T-N)의 농도

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	WB-S (mg/L)	MB (mg/L)	MB-S (mg/L)
0	22.68	22.68	22.68	22.68	22.68
7	18.91	16.54	10.62	14.82	10.91
14	17.15	12.83	5.43	7.73	7.43
21	17.24	11.12	4.24	7.12	5.91
28	17.31	11.44	4.34	7.54	5.14

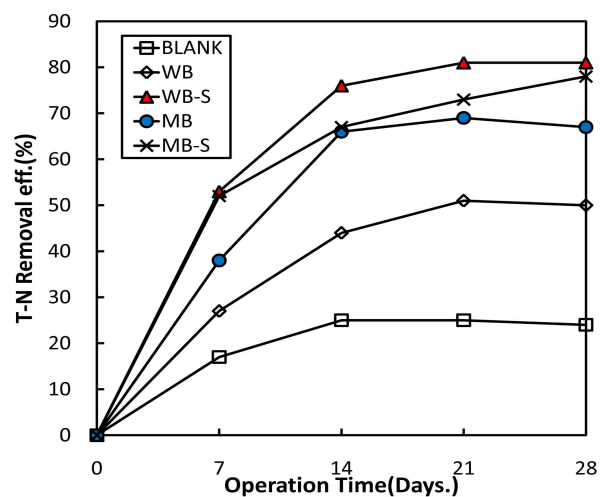


그림 13. 총 질소(T-N)의 제거효율

이 유사하다는 것을 확인할 수가 있다.

미생물을 적용한 WB-S, MB-S는 7일차부터 시작해 28일차까지 평균 제거 효율 73%, 68%로 가장 높은 제거 효율을 나타내었다. 이러한 다공성 제올라이트와 함께 벽돌속의 제올라이트 내, 외부 생물막의 생성으로 인해 질소의 제거현상이 발생한 것으로 판단된다.

3.3.2 총 인(T-P)에 미치는 영향

인은 질소의 경우와 같이 식물성 플랑크톤의 광합성에 의해 감소되고, 침강과 무기화, PO_4 -P의 용출에 의해 변화 된다.¹³⁾ 또한 동물성 플랑크톤의 세포합성에 의한 인의 고정은 수 시간 혹은 수일에 의해 나타난다고 보고되어 있다.¹⁴⁾

폐수에 미생물을 흡착한 벽돌들을 적용하였을 경우 T-P의 농도 및 제거 효율은 표 14와 그림 14와 같다. BLANK의 경우 14일차까지는 제거 효율이 상승하였지만, 21일차에 감소 후 28일차에 다시 상승하고 있다. 불규칙적인 형태를 보이지만 초기 BLANK 값보다는 높은 제거 효율을 보이고 있다. 하지만 WB, WB-S, MB, MB-S와는 평균 10%이상 제거 효율 차이를 보이고 있다. BLANK를 제외한 나머지 4종류의 대조군들 중에서 미생물을 적용한 WB-S, MB-S는 평균 91%, 90%의 제거 효율을 보인 반면 미생물을 적용하지 않은 WB, MB에서는 평균 86%, 89%의 제거 효율을 나타내었다. 전체적으로 높은 제거 효율을 나타내었으나 미생물을 적용한 WB-S, MB-S가 평균 1~5% 우수한 제거 효율을 나타내었다.

표 14. 총 인(T-P)의 농도

Item Date	BLANK (mg/L)	WB (mg/L)	WB-S (mg/L)	MB (mg/L)	MB-S (mg/L)
0	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
7	0.66	0.47	0.24	0.36	0.39
14	0.43	0.34	0.27	0.24	0.24
21	0.58	0.28	0.16	0.22	0.22
28	0.41	0.20	0.13	0.21	0.11

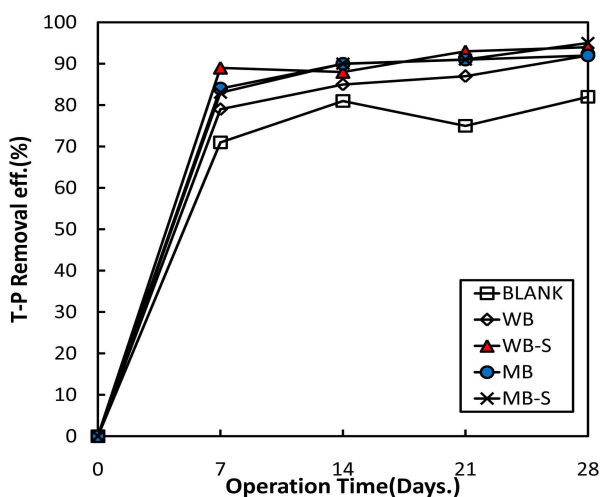


그림 14. 총 인(T-P)의 제거효율

4. 결론 및 향후 과제

이 연구에서는 유용미생물과 이끼벽돌을 이용하여 수질 정화 특성과 친환경 건축 재료의 가능성을 검토하기 위하여 BLANK(원수), WB, WB-S, MB, MB-S의 수질 정화 성능을 실험 분석 하였으며, 비교 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 용존 산소에서 변화를 살펴보면 이끼가 적용되지 않은 WB, WB-S에 비해 이끼벽돌을 적용한 MB, MB-S의 초기 시험부터 높은 수치를 보였기 때문에 이끼가 DO의 수치에 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.
- (2) pH는 BLANK의 반응조에서는 큰 변화가 나타나지 않았지만 WB, WB-S, MB, MB-S에서는 시멘트의 사용으로 pH값이 상승한 것을 확인할 수 있다. 28일차 제거 효율에서 BLANK를 제외한 WB, WB-S, MB, MB-S의 수치가 거의 비슷한 제거 효율을 나타내기 때문에 미생물에 의한 pH 상승보다는 벽돌 제작에서 첨가 되어진 시멘트에 의한 영향이란 것을 확인할 수 있다.
- (3) 부유 물질의 제거 효율을 살펴보면 전체적으로 유사한 제거 효율을 보였지만 다공질의 제올라이트를 함유한 벽돌을 적용한 WB, WB-S, MB, MB-S가 BLANK 보다 높은 제거 효율을 가지는 것을 확인할 수 있다.
- (4) 화학적 산소 요구량은 미생물을 적용한 WB-S, MB-S가 미생물을 적용하지 않은 WB, MB보다 높은 제거 효율을 보였지만, BLANK의 자정 작용으로 인한 제거 효율에 미치지 못하므로 화학적 산소 요구량에는 영향을 미치지 못하는 것을 확인할 수 있다.
- (5) 생물학적 산소 요구량은 BLANK, WB, WB-S, MB, MB-S 모두 시간에 경과에 따라 제거 효율이 높아진 것을 확인할 수 있으나 각 실험 일차에서 미생물을 적용한 WB-S, MB-S가 다른 대조군들 보다 높은 제거 효율을 나타내는 것을 확인할 수 있다.
- (6) 총 질소는 미생물을 적용하지 않은 WB, MB는 BLANK 보다 높은 제거 효율을 보였지만, 미생물을 적용한 WB-S, MB-S의 제거 효율에는 미치지 못하는 것을 확인할 수 있다.
- (7) 총 인은 WB, WB-S, MB, MB-S 모두 우수한 제거 효율을 나타내었지만 벽돌 내부의 제올라이트에 생성 되어진 생물막으로 인해 WB-S, MB-S가 2~3% 더 높은 제거 효율을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

이와 같은 실험 결과를 통해 미생물이 가지는 총 인 (T-P), 총 질소(T-N)의 제거 효율과 벽돌 속의 제올라이트에 의한 부유 물질(SS) 제거 효율, 이끼의 광합성으로 인한 폐수의 용존 산소에 미치는 이로운 영향, 이 요소들이 서로 시너지 효과를 내어 수질 개선용 건축 재료로서 활용 가능성을 확인할 수가 있었다.

현재 생물학적 폐수처리 방법은 도시 생활하수의 2차 처리, 유기물을 함유한 산업폐수 처리공정 등에 널리 이용되고 있지만 외부요인으로 인한 영향으로 효율의 저하가 우려되는 것이 현실이다.

본 연구에서는 이러한 생물학적 처리 방법을 토대로 하여 미생물만 사용하는 것이 아니라 수 처리에 필요한 여러 이점을 함께 적용하여 실험을 실시하였다. 현재 파악되어 있는 유용 미생물 외에도 여러 균주의 분리 및 선별을 통해 폐수 처리에 분해능이 뛰어난 다양한 미생물을 찾을 수 있고 또 식물의 이로운 성질들을 여러 건축 소재에 적용 가능하다면 친환경 건축 소재로서 활용 가능성은 더욱 커질 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 손병갑, “유동막 생물막법에 의한 하폐수 처리에서 Polyethylene계 담체 개발과 응용”, 영남대학교 석사학위논문, 2005, pp.1-2
2. B. Marrot, a. Barrisos-Martinez, P. Moulin, N. Roche, “Biodegradation of high phenol concentration by activated sludge in an immersed membrane bioreactor”, *Biochemical Engineering Journal*, 2006. pp.174-183.
3. 김남천, 팽종인 공역, “생물학적 폐수처리 기술”, 1988, pp.75-76, pp.117-146.
4. Zilli, M. A. Lodi, M. D. Borghi, and Ferraiolo, “Phenol removal from waste gases with a biological filter by *Pseudomonas putida*”, *Biotechnol. Bioeng.*, Vol. 41, 1993, pp. 693-699.
5. Sokol, W., “Uptake rete of phenol by *Pseudomonas putida* grown in unsteady state”, *Biotechnol. Bioeng.*, Vol. 32, 1988, pp.1097-1103.
6. P. Chindaprasirt, S. Hatanaka, T. Chareerat, N. Mishima, and Y. Yuasa, “Cement paste characteristics and porous concrete properties”, *Construction and Building Materials*, Vol. 22, 2008, pp.894.
7. M. Á. Pindado, A. Aguado, and A. Josa, “Fatigue behavior of polymer-modified porous concretes”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, 1999, pp.1077.
8. 김화중, 최길준, 박준석, “유용 미생물과 제올라이트를 이용한 시멘트 벽돌의 수질 정화 특성에 관한 실험적 연구”, *한국콘크리트학회지*, 23권 3호, 2011, pp.331-338.
9. 김병채, 홍성호, 김경희, 이제근, “제올라이트를 이용한 미생물 담체 제조 및 이를 활용한 중수처리 시스템 개발”, *한국폐기물자원순환학회 추계학술연구발표회 논문집*, 2003, pp. 409-412.
10. 안태웅, 최이송, 오종민, “다공성 콘크리트와 식생 콘크리트에 의한 수질정화기능에 관한 연구”, *환경영향평가 연구논문*, 17권, 5호, 2008, pp.271-278.
11. 이상호, “수생식물을 이용한 하수처리수의 고도처리를 통한 질소, 인 제거효율에 관한 연구”, *상명대학교 산업과학연구*, 10권, 2000, pp.91-103.
12. 김병채 외, “제올라이트를 이용한 미생물 담체 제조 및 이를 활용한 중수처리 system 개발”, *한국폐기물자원순환학회*, 2003, pp.409-412.
13. 김병홍, “미생물생리학”, 제 2 개정판, 아카데미서적, 2000, pp.1-10.
14. 정하영, 조정제, “낙동강 하류 수계에서 저층수 및 저질퇴적층의 환경”, *한국수질학회지*, 136권, 2001, pp.311-321.

(接受: 2012. 3. 1)