



화산력-시멘트 혼합 바이오 블록의 미생물 성장 특성

Growth Characteristics of Microorganism on Lapilli-Cement mixed Bioblocks

박성용* · 박덕환** · 김현선*** · 김정면**** · 임현택***** · 배수빈***** · 김용성*****†

Park, Sung-Yong · Park, Duck-Hwan · Kim, Hyun-Sun · Kim, Jung-Myeon · Lim, Hyun-Taek · Bae, Su-Bin · Kim, Yong-Seong

Abstract

This research aims to utilize lapilli from the Mt. Baekdusan as environment-friendly construction material. First of all, the neutralizing method for fabricating lapilli-cement-mixed bioblock was examined. And then, by use of the neutralized bioblock with microorganism for water purification, the growth inhibition effect against the pathogenic coliform bacillus was evaluated.

The result regarding growth inhibition effect on pathogenic coliform bacillus indicates that the pretreatment condition, which is a concurrent procession with aqueous solution of 10% di-ammonium Phosphate after water curing, led to pH degraded below 10 which was the target value. Therefore it was concluded that the method was effective on bio-block neutralization. The microorganisms purifying water and di-ammonium phosphate were detected through the examination for microorganism existence on the bioblock, therefore it was concluded that the bioblock composed of lapilli and cement is able to be utilized in various structures as an environment friendly construction material.

Keywords: bioblock; microorganism; water purification; neutralization; lapilli

1. 서론

최근 들어 백두산의 분화 가능성이 점차 증가하고 있으며, 백두산 분화 시 화산재의 비산으로 인하여 활발하게 경제활동이 이뤄지고 있는 동북아 지역에 항공, 물류 등 많은 시설이 공용불능 상태에 이르는 등 경제적·산업적으로 막대한 손실을 우려하는 목소리가 주목을 받고 있다. 화산재의 처리에 막대한 비용이 발생하여 경제적·산업적으로 상당한 손실이 예

상되므로, 화산재의 처리 및 건설재료 등의 활용방안에 대한 연구도 진행되고 있다 (Lee et al. 2013).

한편, 우리나라 농촌의 물은 생활하수와 축산분뇨 등으로 오염되어 상수원으로 사용할 수 없는 곳이 점점 늘어나고 있다. 가축분뇨는 농촌에서 발생된 오염물질 중 가장 처리가 어려울 뿐만 아니라 그 발생량도 매우 많다. 가축분뇨로 인한 수질오염 문제를 해결하기 위한 대책으로 영세축산시설에서 발생하는 가축분뇨를 처리하기 위해 국가에 의해 설치, 운영되는 축산폐수공공처리시설의 건설 등 우리나라 수질환경보전 정책이 최초로 수립된 때부터 지금까지 필사의 노력을 기울여 왔지만 가축분뇨 문제는 여전히 해결될 기미를 보이지 않고 있다. 더구나 가축분뇨의 해양투기가 2012년부터 금지되게 됨에 따라 축산분뇨의 처리문제는 발등에 떨어진 불이 되었다.

농촌 소하천의 수질을 개선하고 본래의 친수기능을 회복하기 위한 방안의 하나로 제안된 직접 접촉에 의한 자연정화 기법은 실제 소하천에 적용되어 소하천 수질정화에 일정 정도 기여해 왔다 (Tanaka et al., 1995; Hwang et al., 2006; Cheong et al., 2009). 이러한 접촉산화법은 설치비용을 많이 소모하지 않으면서 미생물의 대사작용에 의한 유기물 분해가 잘 이루어져 간이하천에 널리 사용되고 있다. 그러나 기존의 미생물 담체는 단순한 부착성 무기물이므로 특별한 기능을 가지지 않을 뿐 아니라 탈질과정에서 호기성에서 이뤄지는 탈질산화 과정과 혐기성에서 잘 이뤄지는 탈질소 과정 두 부

- * Researcher, Institute for Advanced Construction Materials, Kangwon National University
- ** Assistant Professor, Dept. of Applied Biology, Kangwon National University
- *** Master Course Student, Dept. of Applied Biology, Kangwon National University
- **** Researcher, Institute for Advanced Construction Materials, Kangwon National University
- ***** Ph. D. Candidate Student, Dept. of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University
- ***** Master Course Student, Dept. of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University
- ***** Associate Professor, Dept. of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University
- † **Corresponding author**
Tel.: +82-33-250-6463 Fax: +82-33-251-6463
E-mail: yskim2@kangwon.ac.kr

Received: January 12, 2015

Revised: January 26, 2015

Accepted: January 27, 2015

분으로 나뉘어 있으며 탈질산화 과정의 반응속도가 BOD 분해속도 보다 매우 느리게 진행되기 때문에 영양염류의 제거 효율이 낮은 단점이 있다(Oh et al., 2002). 이에 대한 대안으로 저절로 이뤄지는 BOD 제거 과정 외에 탈질, 탈인을 효과적으로 수행할 수 있는 미생물 담체로서 패각 분말을 이용하고자 하는 방안(Moon et al., 1997)과 유용미생물 (effective microorganism, EM)을 이용하여 수질을 정화하고자 하는 연구 등이 시도된 바 있다(Lee, 2005; Seo et al., 2008; Kim et al., 2011).

수질정화에 화산력을 적용하는 연구로서, 공극이 많고 비표면적이 큰 화산력의 특성을 활용하여 중금속 및 유기물에 대한 흡착능력을 보유하는 친환경적 호안공법에의 활용 방안을 검토한 바 있으며(Lee et al. 2014), Kim (2009)은 중금속 폐수 처리용 흡착재로서의 화산력의 적용가능성을 검토하였다. Lee et al. (2013)은 화산재-시멘트 혼합토 블록 및 케이지형 화산력 블록에 유용미생물을 적용한 후 오염수 내 침적시켜 수질환경에 미치는 영향을 검토하였으나, 관련분야에 대한 연구는 현재까지 미진한 상황으로, 향후 지속적인 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 백두산 화산력의 환경친화적 건설재료로서의 활용을 위한 연구로서, 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록의 중성화 방안을 검토하고, 이를 담체로 활용하여 수질정화용 기생성 미생물을 접목함으로써, 병원성 대장균에 대한 생장억제효과를 검토하여 생물학적 분해효과를 향상시킨 수질정화용 블록을 개발하는데 기초자료로서 관련 정보를 제공하는데 그 목적이 있다.

Table 1 Mechanical properties of normal portland cement

Specific Gravity (Gs)	Fineness (cm ² /g)	Stability (%)	Compressive strength (MPa)		
			3days	7days	28days
3.14	3,459	0.63	19.24	26.8	55.00

Table 2 Chemical compositions of normal portland cement (Unit: %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ig.loss
21.1	6.7	2.9	61.7	3.1	2.0	0.17	0.84	1.5

Table 4 Physical properties of lapilli (Unit: %)

Type	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	MgO	KCl	Na	K	Fe	Ca	Ti
Mt. Baekdusan	81.7	4.5	0.9	-	0.5	3.1	4.0	5.3	-	-
Mt. Hallasan	63.5	6.4	2.7	2.8	-	2.1	0.5	13.0	7.3	1.7

II. 재료 및 방법

1. 사용 재료

가. 시멘트

본 연구에서 사용한 시멘트는 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, Table 1과 Table 2는 각각 보통 포틀랜드 시멘트의 물리·화학적 특성을 나타낸다.

나. 조골재

본 연구에서는 2 mm 이상의 입경을 가진 백두산 화산력, 한라산 화산력을 대상으로 하였으며, 이에 대한 비교분석을 위해 최대치수 40 mm 미만의 골재용 자갈을 골재로 같이 사용하여 그 결과를 비교하였다. 백두산 및 한라산 화산력의 #4 체 (4.76 mm) 통과량은 50 % 미만으로, 백두산 화산력은 입도분포가 불량한 자갈, 한라산 화산력은 입도분포가 양호한 자갈로 분류되어 진다. Fig. 1 및 Table 3은 본 연구에 사용된

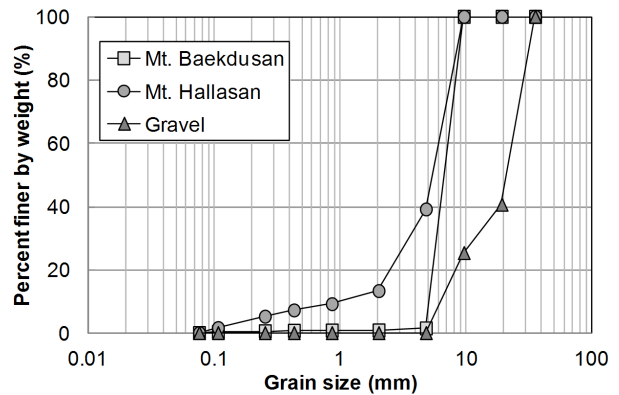


Fig. 1 Grain size distribution curve

Table 3 Physical properties of lapilli and gravel

Type	Specific Gravity (Gs)	Uniformity Coefficient (Cu)	Gradation Coefficient (Cc)	USCS
Mt. Baekdusan	0.56	1.43	0.92	GP
Mt. Hallasan	1.09	6.03	2.08	GW
Gravel	2.60	3.65	0.96	GP

화산력과 자갈의 입도분포곡선 및 물리적 특성을 나타내며, Table 4는 화산력의 화학적 특성을 나타낸다.

다. 유용미생물

본 연구에서는 수질정화를 위한 유용미생물로 파에니 바실러스 (Paenibacillus polymyxa; 이하 DF35라 함)와 바실러스 (Bacillus amyloliquefaciens; 이하 DM7이라 함)를 선정하였으며, 이들은 물속의 유해 병원성 대장균 (이하 E. coli라 함)을 소멸시키는 역할을 수행한다.

라. 감수제

본 연구에서는 시멘트 분산작용과 미세 공기의 연행으로 단위 수량저감, 워커빌리티 및 내동해성을 개선시키는 국내 D사 제품의 폴리카본산계 고성능 AE 감수제를 사용하였으며, Table 5는 사용된 감수제의 특성을 나타낸다.

Table 5 Properties of plasticizer

Type	Form	Density (g/cm ³)	pH	Soild content (%)
Superplasticizer	Brown Liquid	1.06	5.5 ~ 7.5	41 ~ 45

2. 실험방법

가. 배합설계 및 공시체 제작

화산력-시멘트 혼합 바이오 블록의 미생물 성장 특성을 분석하기 위해 Lee et al. (2014)의 선행연구결과에 의거하여 물-시멘트비 25 %, 배합설계 시 설계공극률을 20 %로 설정하여 배합을 실시하였으며, 재료의 혼합은 실험용 믹서를 이용하였으며, 15×15×5 cm의 몰드에 다짐을 실시하여 공시체를 제작하였다. 제작된 화산력-시멘트 혼합 바이오블록은 공시체 제작 후 28일간 양생을 수행하였다. DF35 10 % 배양액에 1일 수침을 실험조건으로 하여 블록의 pH 측정, 생균수조사, 미생물 침지 실험 등을 통하여 수질정화능력을 평가하였다.



Fig. 2 Fabricating lapilli-cement mixture bio-block (15×15×5cm)

Fig. 2는 화산재-시멘트 혼합 바이오 블록의 제작을 위한 몰드와 제작된 블록을 나타낸다.

나. 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록의 pH 측정

수질정화블록의 수질정화능력을 평가하기 위해서는 수질정화용 미생물과 E. coli의 성장 가능성이 전제 되어야 한다. 따라서 측정 지표로서 pH를 선정하였으며, 실험절차는 아래와 같다.

먼저 종류별 시료를 각각 2 g씩 Optical density600nm (이하 OD)=0.05의 DF35 현탁액 10 ml에 24시간 침지시키고 (2 g/10 ml), 침지된 블록을 Clean bench에서 완전히 건조시켰다. 그 후 E. coli OD=0.05 현탁액 10 ml에 블록을 침지하였으며 각 샘플을 시간별로 원액부터 10⁻⁶까지 희석하여 Luria Bertani와 kanamycin를 혼합한 배지에 spreading하여 CFU 값을 조사하였다.

다. 바이오 블록의 E. coli 억제 여부 검증

DF35 함유 블록의 기능 분석을 위하여 대표적 오염원으로 여겨지는 대장균 (병원성 E. coli)의 성장 억제 여부를 판단하였다. 실험절차는 먼저 제작된 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록을 DF35, OD=0.05 현탁액에 24시간 수침한 후 블록을 완전히 건조시켰다. 건조시킨 블록을 E. coli OD=0.05 현탁액 1L에 수침하고, 0, 1, 3, 5, 10, 20, 30일 간격으로 E. coli 현탁액을 원액 10⁻⁵으로 희석후 생균수를 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 사용재료의 특성 파악

가. 사용재료에 대한 DF35 활력 검증

본 연구에서는 수질정화용 미생물의 대표균주인 DF35를 대상으로 하여 백두산 및 한라산 화산력과 이에 대한 대조군인 자갈에 대한 DF35의 활력을 검증함으로써 사용재료의 미생물 생존 특성을 확인하였다.

Table 6에 검증결과를 나타내었으며, DF35의 활력은 백두산 및 한라산 화산력을 이용한 블록에서는 활발히 유지되는 것으로 관찰되었으며, 입자가 큰 자갈에서는 상대적으로 작은 비표면적을 가지는 자갈의 특성에 따라 미생물의 흡착이

Table 6 Vitality verification of Microbiological Water Purification

Type	Mt. Baekdusan	Mt. Hallasan	Gravel
CFU	223	271	0

이루어지지 않아 생존율이 저하된 것으로 추정된다. 따라서 본 연구에서는 백두산 및 한라산 화산력을 이용하여 블록을 조성하고, 여기에 DF35, DM7을 접목시킨 후 *E. coli* 의 억제 효과를 검토하도록 한다.

나. 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록의 pH 조사

화산력을 이용하여 제작한 바이오 블록에 수질정화 미생물을 정착시켜 실험한 결과 수질정화 미생물의 활력이 유지되는 것으로 나타났다. 따라서 수질정화 미생물 (이하 DF35) 함유 블록의 기능 분석을 위하여 대표적 오염원으로 여겨지는 *E. coli*의 성장 억제 여부를 검토하였다.

Fig. 3에서 DF35를 함유한 바이오 블록과 대장균 현탁액을 혼합 후 24시간 후 *E. coli*의 생균수가 급격하게 감소함을 확인할 수 있다. 이러한 이유를 규명하기 위해서 수질정화 미생물 함유 블록과 대장균 현탁액 혼합액의 pH를 측정하였으며, 그 결과 혼합액의 pH는 Table 7과 같이 pH 11.0이상으로 대장균이 생존할 수 없는 pH범위로 나타났다. 즉, 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록을 제작하기 위해서는 시멘트의 주성분인 석회석고 등의 강알칼리성 재료를 사용함에 따른 문제점을 해결하기 위해 바이오 블록의 중성화 방안을 검토하는 것이 필요하다.

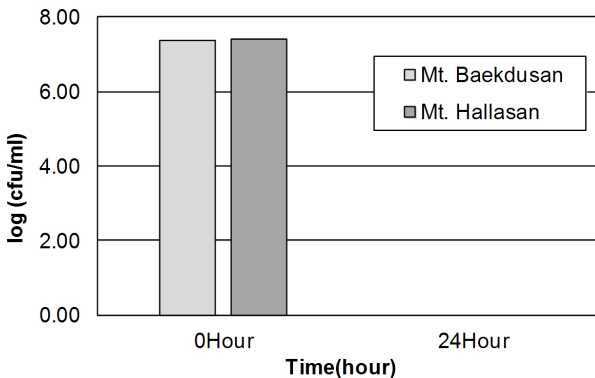


Fig. 3 Growth inhibitory of *E. coli* effects verification of DF35

Table 7 Variations of pH during water-soaking block

Type	pH
Mt. Hallasan lapilli block	12.02
Mt. Baekdusan lapilli block	12.03

2. 중성화를 위한 최적방안 도출

제작된 블록에서 DF35의 활력은 처리방법에 따라서 큰 차이를 나타내었는데, 이는 블록제작 시 강알칼리성의 시멘트가 함유하고 있는 석회석고 등에 의한 부정적 영향 때문으로

사료된다.

수질정화 미생물은 블록에 생존이 가능한 것으로 확인되었으나, 오염원 감소의 지표인 대장균의 억제여부를 규명하기 위하여 대장균 자체가 블록 내 기타 성분에 의해 사멸되지 않도록 pH를 보정하는 중성화 연구를 수행하였다.

가. 시멘트 대체재로서의 인산석고 활용

결합재의 역할을 수행하는 시멘트의 대체제로서 인산석고를 활용함으로써 바이오 블록의 pH를 저감시키는 것을 목적으로 하였으며, 인산석고의 혼입비율은 결합제인 시멘트 중량의 10%, 20%, 30%, 40%를 대체하는 조건에 대하여 배합을 실시하였다. 인산석고를 혼입한 바이오 블록의 pH 측정 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 모든 조건에서 pH 10.5 이상의 알칼리성을 나타내는 것을 확인하였다. 이는 강알칼리성인 보통포틀랜드 시멘트의 pH (pH>13.2)보다 중성화가 상당히 진행된 것으로 판단되나, 본 연구에서 목표로 하는 pH 10이하의 값을 만족하지 못하는 것으로 확인되었다.

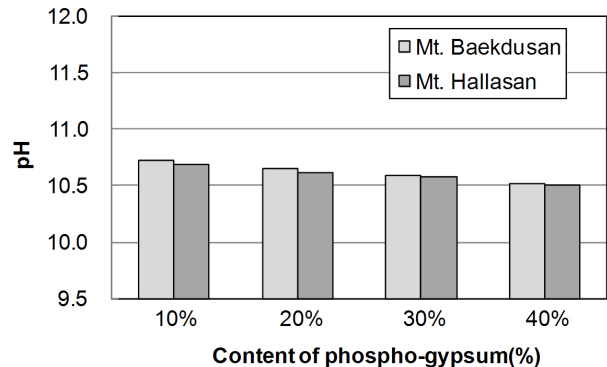


Fig. 4 Variations of pH utilizing the phospho-gypsum block

나. 알칼리 용출 억제를 위한 제이인산암모늄[(NH₄)₂HPO₄] 활용

블록의 표면에 인산으로 피막을 형성하게 하여 알칼리 용출을 억제함으로써 바이오 블록의 pH를 저감시키는 것을 목적으로 하였으며, 제이인산암모늄 10%, 15%, 20% 수용액에 10분간 블록을 침지하여 pH를 측정하였으며, Fig. 5에 pH 측정결과를 나타내었다. 실험결과, 모든 조건에서 pH 10.5 이상의 알칼리성을 나타내는 것을 확인하였다. 인산석고를 활용한 조건과 마찬가지로 강알칼리성인 보통 포틀랜드 시멘트의 pH (pH>13.2)보다 중성화가 상당히 진행된 것으로 판단되나, 본 연구에서 목표로 하는 pH 10이하의 값을 만족하지 못하는 것으로 확인되었다.

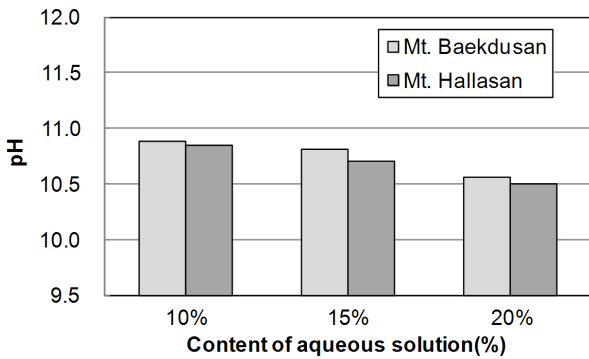


Fig. 5 Variations of pH utilizing the $[(NH_4)_2HPO_4]$ block

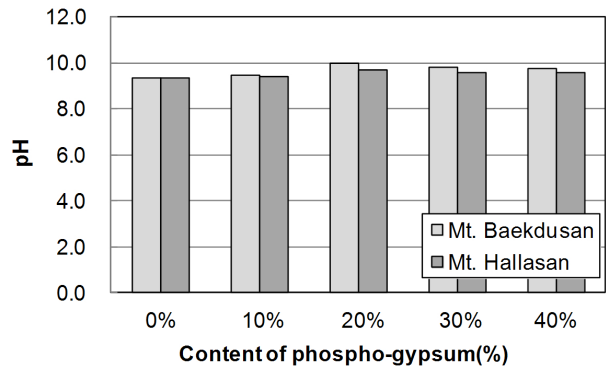


Fig. 7 Variations of pH utilizing phospho-gypsum block and water curing

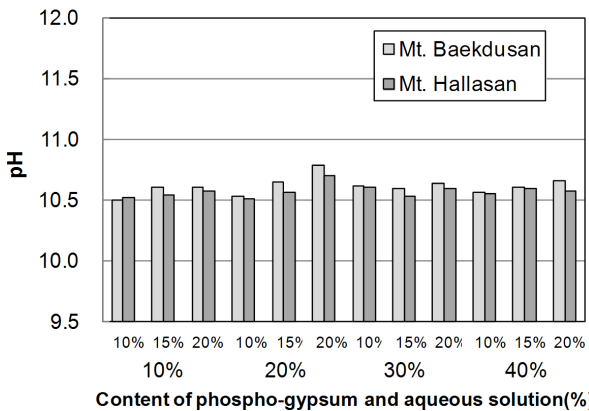


Fig. 6 Variations of pH utilizing the phospho-gypsum and $[(NH_4)_2HPO_4]$ block

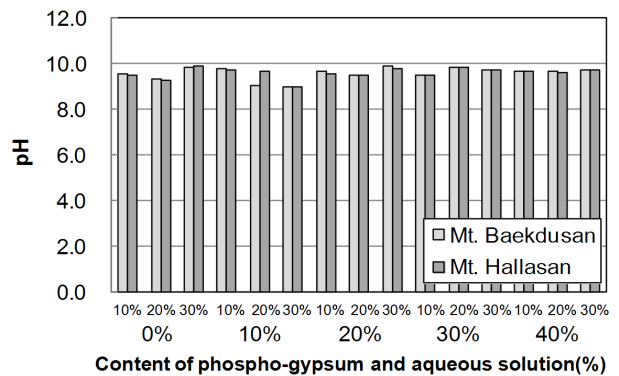


Fig. 8 Variations of pH utilizing the phospho-gypsum and $[(NH_4)_2HPO_4]$ block and water curing

다. 인산석고와 제이인산암모늄 병행처리

인산석고를 활용한 중성화방안 및 제이인산암모늄을 활용한 중성화방안을 적용한 결과, 두 방법 모두 중성화의 경향을 보이는 것으로 분석되었으나, 본 연구에서 목표로 하는 pH 10 이하의 중성화를 만족하지 못하는 것으로 확인되었다. 따라서 인산석고를 혼입한 블록을 제이인산암모늄 용액에 침지시킴으로써 중성화의 효과를 배가할 수 있는 방향을 검토하였다. 인산석고의 혼입비율은 결합제인 시멘트 중량의 10%, 20%, 30%, 40%를 대체하는 조건으로 공시체를 제작하였고, 제이인산암모늄 10%, 15%, 20% 용액에 표면건조포화상태의 블록을 10분간 침지하여 중성화15처리를 진행하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 다른 실험결과와 마찬가지로 pH 10.5 이상의 알칼리성을 나타내는 것으로 확인되었다.

라. 알칼리 이온 용출을 위한 수증양생 및 인산석고 활용

수화반응시 생성되는 수산화칼슘의 알칼리 이온을 물 분자에 의해 분해되면서 용출시킴으로써 pH를 저감시키는 것

을 목적으로 하였으며, 배합조건은 인산석고 혼입조건 (10%, 20%, 30%, 40%) 및 미혼입조건을 적용하였다. 공시체 제작 1일 후 수증양생을 수행하였으며, Fig. 7에 실험결과를 나타내었다. 실험결과, pH가 10이하로 나타나 본 연구의 목표값인 pH 10을 만족하는 것으로 확인되었다.

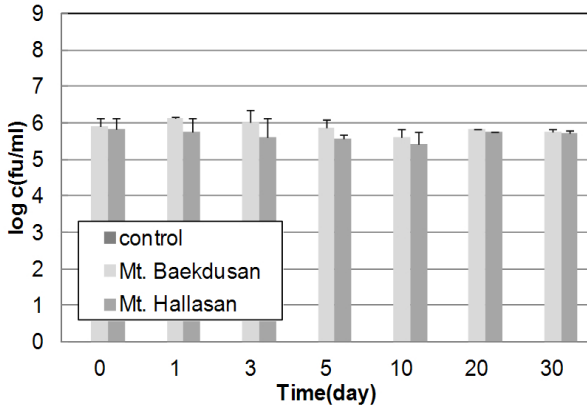
마. 수증양생과 제이인산암모늄 병행처리

기존 연구에 따르면 수증양생과 제이인산암모늄에 의한 중성화 처리를 병행할 경우 식생이 가능할 정도의 pH를 만족하는 것으로 알려져 있어 (Kim, 2010), 바이오 블록의 중성화 방안으로 수증양생과 제이인산암모늄에 의한 중성화처리 병행을 검토하였다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 모든 조건에서 pH가 10 이하로 나타나 본 연구의 목표 값을 만족하였으며, 각 조건별 결과 값의 차이가 크지 않고 고른 pH 값을 나타내었다. 따라서 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록을 제작하는 데 있어 가장 효과적인 중성화 방안은 수증양생과 제이인산암모늄 10% 수용액에 의한 중성화 처리방안으로 판단된다.

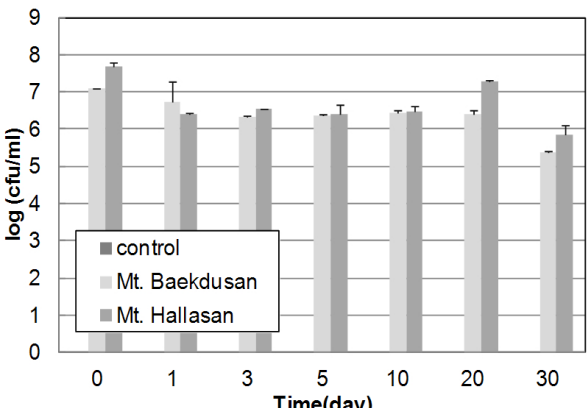
3. 중성화 처리된 바이오블록의 미생물 성장 특성

가. 바이오 블록의 수질정화 미생물 생존여부 검증

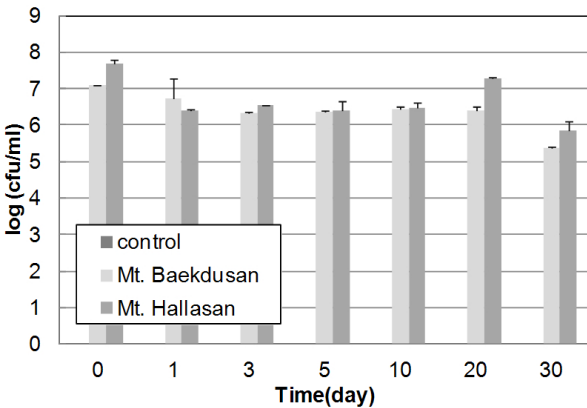
단독 생균수 확인결과 1 g당 200 ml 실험 시 DM7, DF35, *E. coli* 모두 수침 1일 이후 생균수가 급격히 감소하였기 때문



(a) Mixed DF35



(b) Mixed DM7



(c) Mixed *E.coli*

Fig. 9 Investigation of CFU

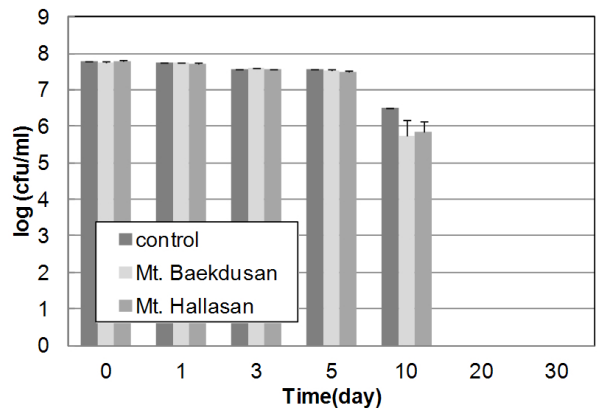
에 물의 양을 500 ml로 증가시켜 DM7, DF35, *E. coli* 각각의 생존여부를 확인하였다.

생균수 측정결과, 화산력-시멘트 혼합 바이오블록을 미생물들과 혼합하였을 때, 모든 조건에서 30일 이후까지 수질정화 미생물인 DM7, DF35 균주의 생균수가 계속적으로 유지됨을 확인하였으며 (Fig. 9 (a), (b)참조), 이를 바탕으로 수질정화용 미생물의 생존가능성을 확인하였다.

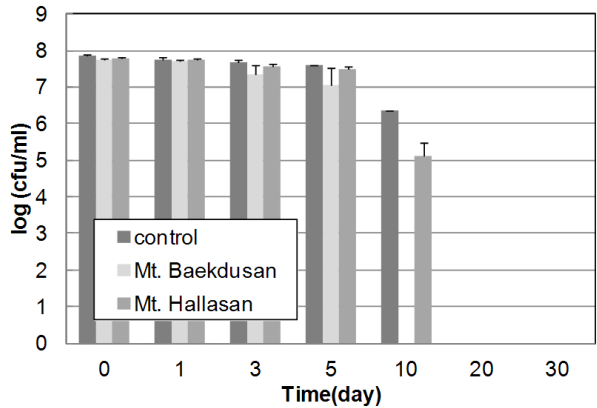
화산력-시멘트 혼합 바이오 블록과 혼합한 *E. coli*의 생균수는 3일까지 유지되었으나 5일차부터는 검토조건과 무관하게 대장균의 생균수가 크게 감소한 것으로 확인되었다 (Fig. 9 (c) 참조).

나. 바이오 블록의 대장균 억제 여부 검증

제작된 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록을 대상으로 하여 0, 1, 3, 5, 10, 20, 30일 간격으로 *E. coli* 현탁액을 원액 10^{-5} 으로 희석 후 생균수를 조사함으로써 대장균 억제 여부 검정을 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 10에 나타낸 바와 같다.



(a) Mixed DF35



(b) Mixed DM7

Fig. 10 Growth inhibitory of *E. coli*

DF35를 함유한 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록을 *E. coli* 현탁액에 수침하여 *E. coli* 억제여부를 확인한 결과 Fig. 10(a)와 같이 5일차까지는 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록 및 DF35와 DM7을 첨가하지 않은 대조군과 유사한 수준의 생균수를 나타내었다. 그러나 혼합 10일차에는 대조군에 비하여 DF35를 첨가한 블록을 수침한 용액에서 대장균의 생균수가 감소하는 현상이 나타났으며, 특히 이 기간의 백두산 화산분출물 처리 블록의 현탁액에서는 *E. coli*가 전혀 나타나지 않았다. 따라서 수질정화 미생물인 DM7을 첨가한 블록은 *E. coli* 생존억제능력을 보유하고 있는 것으로 판단된다.

또한, Fig. 10(b)와 같이 DM7을 첨가한 블록을 수침한 용액에서도 *E. coli*의 생균수가 DF35과 유사하게 5일차까지는 대조군과 유사하게 유지되다가 10일차에 감소함을 확인할 수 있었는데, 그 차이는 유의성 있게 조사되었다.

IV. 결 론

본 연구는 백두산 화산력의 환경친화적 건설재료로서의 활용을 위한 연구로서, 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록의 중성화 방안을 검토하고, 이를 담체로 활용하여 수질정화용 기생성 미생물을 접목함으로써, 병원성 대장균에 대한 생장억제효과를 검토하여 생물학적 분해효과를 향상시킨 수질정화용 블록을 개발하는데 기초자료로서 관련 정보를 제공하고자 하였으며, 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록에 정착시킨 DF35의 활력 검정 결과, 블록 조각을 TSA 배지에 올려놓고 혼돈 배양조건에서 활력이 활발히 유지되는 것으로 확인되었다.
2. DF35와 DM7에 의한 *E. coli*의 생장억제효과를 분석하기 위한 전처리 조건으로 인산석고, 제이인산암모늄 처리 및 수중양생에 의한 중성화 처리방안을 검토한 결과 수중양생 후 제이인산암모늄 10% 수용액에 병행처리를 진행할 경우에 pH가 목표 값인 10이하로 고르게 분포하는 것으로 나타나 가장 효과적인 중성화 방안으로 판단된다.
3. 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록의 미생물 생존여부를 검토한 결과, DF35, DM7 및 *E. coli*의 생존가능성을 확인하였으며, 5일차부터는 검토조건과 무관하게 *E. coli*의 생균수가 크게 감소하여 블록의 수질정화 능력검정은 지표로 설정한 *E. coli*의 억제여부를 3~10일 사이에 판단하는 것이 가장 효율적인 것으로 판단된다.
4. 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록의 *E. coli* 억제효과를 검토한 결과, DF35, DM7을 혼합한 두 조건 모두 5~10일차에 *E. coli*의 생장을 확연히 억제하는 것으로 나타났으며,

이는 개발된 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록이 생물학적 오염원을 효과적으로 제어함으로써 수질정화효과를 충분히 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 얻어진 수질정화용 미생물의 대장균 억제효과는 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록 등 친환경적인 각종 구조물 활용에 기초자료로 제공될 수 있는 것으로 판단되며, 향후 지속적인 연구 및 현장 여건을 고려한 검증이 필요한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국민안전처의 백두산화산대응기술개발사업인 ‘화산재 피해 예방 및 관리기술’ [NEMA-백두산-2012-2-5] 과제의 지원으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Cheong, K. H., H. I. Choi, D. Y. Shin, B. G. Im, and G. S. Jeon, 2009. Nitrogen and phosphorus removal from planting wastewater using the soil reator. *Journal of the Environmental Sciences*. 18(2): 205-213 (in Korean).
2. Hwang, H. J., I. H. Kim, Y. I. Choi, I. K. Kim, S. H. Lee, J. M. Ha, B. J. Ha, and J. H. Lee, 2006. Effect of porous concrete block on improvement of water quality. *Journal of Korean Society of Water Science and Technology*. 14(4): 77-82 (in Korean).
3. Kim, M. Y., 2009. Adsorption characteristics of modified volcanic ash for the removal of lead ion from aqueous solution. Thesis for the Degree of Master, Kangwon National University (in Korean).
4. Kim, Y. I., 2010. Study on pH reduction by curing method and neutralization treatment of controlled low strength material. Master dissertation, Hanyang University (in Korean).
5. Kim, Y. I., Yeon, K. S., Choi, J. D., Kim, K. S., Seo, J. Y., Kim, Y. S., 2011. A Study on the Water-Purification Characteristics of Bio-Composite Planting Blocks. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 53(2): 75~82
6. Lee, C. W., Chang, D. S., Park, S. Y., Yeon, K. S., Kim, Y. S., 2013. Engineering Properties of Volcanic Ash-Cement Soil Mixtures and Zeolite-Cement Soil Mixtures. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 55(2): 65~75 (in Korean).
7. Lee, C. W., Kim, Y. S., Chang, D. S., Park, S. Y., Bae, S. B., Park, S. J., 2014. Strength and Water-Purifying Characteristics

- of Volcanic ash- Cement Mixtures. Proceedings of 2014 ASABE Annual International Meeting, Montreal
8. Lee, Y. H., 2005. Environmental Purification Using Effective Microorganisms. Thesis for the Degree of Master, Kyungshung University (in Korean).
 9. Moon, B. H., T. S. Lee, J. Y. Seo, and H. J. Seo, 1997. The submerged biofilm process using oyster-shell media for wastewater treatment and prediction. *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*. 6(6): 671-678 (in Korean).
 10. Oh, J. M., I. S. Choi, H. M. Lee, and S. H. Jang, 2002. Physical characteristics of porous concrete and evaluation for removal ability of pollutant by applying it. *Proc. of the Korean Society of Civil Engineers*. 1414-1418 (in Korean).
 11. Seo, D. S., J. Y. Jeon, J. H. Kim, H. J. Kwon, and S. B. Park, 2008. An experimental study on water-purification properties of concrete using effective micro-organisms. *Proc. of the Korean Concrete Institute Conference*. 757-760 (in Korean).
 12. Tanaka, Y., K. Miyajima, T. Funakosi, and S. Chida, 1995. Filtration of municipal sewage by ring shaped floating plastic net media. *Water Research*. 29(5): 1387-1392.