



화산력-바이오 블록의 식생 및 수질정화 특성

Vegetation and Water Purification Characteristics of Lapilli-Bio Block

박성용* · 남부현** · 김정면*** · 최기봉**** · 연구석**** · 김용성****†

Park, Sungyong · Nam, Boohyun · Kim, Jungmeyon · Choi, KiBong · Yeon, Kyuseok · Kim, Yongseong

Abstract

This study is a basic research on the functional performance review for the use of environmentally friendly construction materials as lapilli-bio block. The neutralization processed Mt. Backdusan and Mt. Hallasan lapilli-bio block were identified vegetation characteristics and water purification properties. As a result, the adsorption of root was more favorable, depending on the material properties of many voids Lapilli. And if the neutralization processed lapilli-bio blocks maintain a long-term immersion conditions in contaminated water was found to be expected from the improvement effect of SS, T-N and T-P. However, field trials and continuous studies are expected to be identified by the use of lapilli-bio block.

Keywords: lapilli; bio block; vegetation characteristic; water purification properties

1. 서 론

2002년 백두산 지역의 지표면 팽창현상이 관찰되면서 백두산의 분화 가능성이 제기되었고, 2010년 중국 지진국이 백두산의 분화 위험성을 언급하면서 백두산 분화여부에 관심이 집중되고 있다. 만약 2010년 아이슬란드 화산 분화에 기인한 유럽의 대란사태처럼 백두산 화산이 분화한다면 화산분출물로 인한 교통, 운송 등 많은 국가기간시설이 공용 불능 상태에 이르는 등 막대한 손실이 예상되므로, 화산분출물의 처리 및 활용 기술이 새롭게 주목받고 있다.

한편, 우리나라의 하천은 강우가 우기에 집중되며, 지형적 특성으로 인한 급경사를 가지므로 연중 일부기간을 제외하면 그 유량이 매우 적고, 도시화 및 산업화로 인한 하폐수의 증가로 인해 오염에 매우 취약한 실정이다(Sung et al., 2003). 하천제방이나 저수지, 저수로 등에 설치된 식생호안 블록은 콘크리트 2차 제품이 주를 이루고 있으나, 콘크리트는 자연환경

에 대한 적응력이 낮고 수목이나 수초 등이 생육하지 못하여 어패류 및 곤충들의 먹이사슬 변화로 하천 등의 정화능력이 상실되어 수질오염을 가중시키는 등 자연생태계의 변화로 환경 파괴의 악순환을 초래하고 있다(Yoo et al., 2006).

하천 자정능력 향상을 위한 연구로는, 코코넛과 팜의 껍질을 재료로 활용한 호안블록의 수리적·환경적 성능에 대한 연구와(Mohamed et al., 2006), 2차 콘크리트 제품인 포러스 콘크리트의 물리역학적 특성 및 수질정화능력에 대한 연구(Oh et al., 2002), 토양 반응조를 이용한 도금폐수 중의 질소 및 인 제거에 관한 연구가 진행된 바 있다(Cheong et al., 2009). Kim (2007)은 습식교반토를 주재료로 활용한 식생호안블록을 제작하고 그에 대한 환경학적 특성을 분석하였으며, Kim et al. (2011)은 굴폐각이 중금속과 유기물에 대한 뛰어난 흡착성을 보유하고 있음에 착안하여, 굴폐각을 이용한 바이오 복합 블록을 제작하여 수질정화 특성에 대한 연구를 진행하였다.

또한 수질정화에 화산재를 적용하는 연구로서, Kim (2009a)은 중금속 폐수 처리용 흡착재로서의 화산재의 활용성을 검토하기 위한 연구를 진행하였고, Kim (2009b)은 현무암질 화산재의 특성을 분석하고, 이를 활용한 소일시멘트의 유해성 및 중금속 흡착효과와 원적외선 방사율을 평가하였으며, Seo et al. (2012)은 유용미생물 및 화산석을 활용한 포러스 콘크리트의 수질정화특성을 분석하여, 일반 콘크리트에 비해 오염물질 제어율이 우수함을 확인하였다.

또한, Lee et al. (2014)은 일반 골재에 비하여 다공성 및 큰 비표면적을 가지는 화산력의 재료적 특성을 활용하여 중금속 및 유기물에 대한 흡착능력을 평가하였으며, Park et al.

* National Disaster Management Research Institute, Ministry of Public Safety and Security

** Department of Civil, Environmental and Construction Engineering, University of Central Florida

*** Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

**** Department of Architectural Engineering, Gachon University

† Corresponding author

Tel.: +82-33-250-6463 Fax: +82-33-251-6463

E-mail: yskim2@kangwon.ac.kr

Received: September 22, 2016

Revised: September 28, 2016

Accepted: October 5, 2016

(2015)은 화산력을 활용한 블록의 증성화 방안 및 유용미생물을 통한 생물학적 분해효과의 향상에 대한 연구를 수행하였다.

화산분출물의 처리 및 건설재료 등의 유효 활용 기술로 Lee et al. (2013)은 공극이 많고 비표면적이 큰 화산력의 재료적 특성을 활용하여 중금속 및 유기물에 대한 흡착능력을 보유하는 친환경적 호안공법에 적용한 바 있으며, Mitsudome (2012)는 화산재를 콘크리트에 활용하기 위하여 성분분석, 입도분포, 밀도 및 흡수율, 안정성 실험 등을 실시하고 각 배합비별 압축강도 및 건조수축실험을 실시하여 재료의 공학적 성능을 고찰하였다. Onoue (2012)는 화산재의 배합비율에 따른 콘크리트의 강도특성 및 건조수축 특성을 분석하였으며, Yamamoto et al. (2012)는 화산분출물을 이용한 친환경·고기능성 기반재료 개발을 위한 기초자료 확보를 위해 입도, 다짐특성, 강도특성, 배합비에 따른 일축압축강도의 변화를 통해 최적 배합비를 검토하였다.

또한, 일본에서는 콘크리트 세골재의 일부로서 화산재의 활용성을 검토하였으며, 수집, 성분분석, 입도분포측정, 안정성 시험 등의 과정을 거치고, 화산재가 콘크리트의 성능에 극단적인 영향을 미치지 않는다는 결과를 도출한 후, 하천 하안의 근고정 블록 및 사방담 등에 화산재를 사용한 바 있다. 또한 필리핀에서는 홍수조절, 관개, 수질개선 등의 효과를 위해 화산재 혼합 콘크리트를 하상 및 유평정비 공사에 사용한 사례가 있다.

그러나, 화산력을 수질정화용 재료원으로 활용한 연구는 초기단계로서, 화산력의 강도특성, 미세구조 등을 고려해볼 때 수질정화를 위한 바이오 식생블록 및 인공어초 등에 활용이 가능할 것으로 사료되며 향후 지속적인 연구진행이 필요한 것으로 판단된다.

본 연구는 화산분출물 중 화산력을 활용한 친환경적인 식생블록을 개발하기 위한 기초 연구로서, 백두산 화산력 및 한라산 화산력을 주골재로 사용한 화산력-바이오 블록의 식생 특성을 검토한 후 블록을 오염수내에 수침시켜 수질정화특성

을 중점적으로 분석하였으며, 향후 화산분출물의 친환경 건설재료로서의 활용성을 하기 위한 관련정보를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 사용 재료

본 연구에서는 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록의 주골재 원으로 최소입경 2 mm 이상의 백두산 화산력과 한라산 화산력을 사용하였다.

Fig. 1은 백두산 화산력과 한라산 화산력의 입도분포곡선을 나타내고 있으며, Table 1은 두 화산력의 물리적 특성을 나타내고 있다. 두 화산력의 No.4체 (4.76 mm) 통과량은 모두 50% 미만으로 확인되었으며, 백두산 화산력은 균등계수(Cu) 1.43, 곡률계수(Cc) 0.92로 입도분포가 불량한 자갈(GP), 한라산 화산력은 균등계수(Cu) 6.03, 곡률계수(Cc) 2.08로 입도분포가 양호한 자갈(GW)로 구분되어진다.

Table 2는 화산력의 화학적 특성을 나타내며, 성분마다 다소 차이는 있으나 백두산 화산력과 한라산 화산력 모두 SiO₂

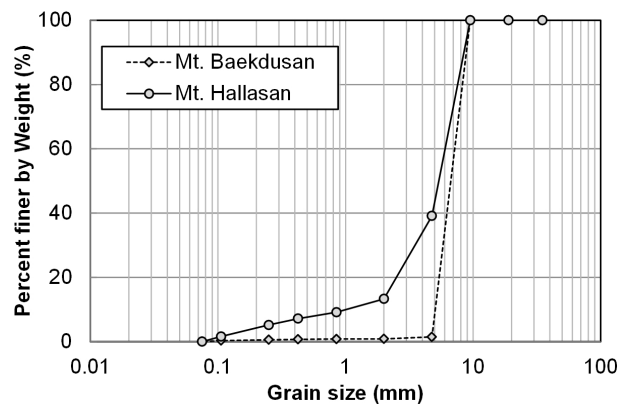


Fig. 1 Grain size distribution curve of Lapilli

Table 1 Physical properties of Lapilli

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

Table 2 Physical properties of lapilli (Mt. Baekdusan and Mt. Hallasan)

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

의 함량이 가장 큰 것으로 나타났으며, 백두산 화산력이 한라산 화산력보다 SiO₂의 함량이 큰 것으로 확인되었다.

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내 H사에서 제조한 보통 포트랜드 시멘트를 사용하였으며, Table 3과 Table 4는 사용한 시멘트의 물리적·화학적 특성을 나타낸다.

2. 공시체 배합설계 및 제작

공시체를 제작하기 위한 설계배합비는 관련분야의 선행연구인 Onoue (2012)와 Lee et al. (2014)의 연구결과를 바탕으로 물시멘트비 25%, 설계공극률 20%로 설정하였다. 재료의 혼합에는 콘크리트 혼합용 소형 믹서를 이용하였으며, 고성능 AE 감수제를 사용하여 단위수량 저감 및 워커빌리티를 개선하였다.

이후 제작용 몰드에 혼합된 재료를 투입하고 다짐을 실시하여 15×15×5 cm의 블록형 공시체를 제작하였다. Fig. 2는 화산력-바이오 블록의 제작을 위한 몰드와 제작된 공시체를 나타낸다.

제작된 화산력-바이오 블록은 식생의 성장을 위하여 공시체 제작 후 28일간 수중양생을 수행하였으며, 수중양생 완료

후 제이인산암모늄{(NH₄)₂HPO₄} 10% 수용액에 10분간 침지함으로써 중성화 처리를 수행하였다.

3. 시험방법

가. 화산력-바이오 블록의 식생 특성 실험

식생 특성 실험을 위한 블록의 단면은 식생 후 식물의 성장 특성 확인 및 평가가 용이하도록 15×15 cm의 크기로 하였으며, 블록의 높이는 식생 후 식물의 뿌리가 고착되어 성장할 수 있는 공간을 확보할 수 있도록 5 cm로 하였다.

파종 씨앗은 페레니얼 레이그라스 (Perennial ryegrass)를 선정하여 씨앗의 유실 방지 및 발아의 원활한 진행을 목적으로 블록 위에 1.5 cm 두께로 배양토를 포설하였다. 페레니얼 레이그라스는 초기생육이 빠르고 정착 및 분얼력이 강하여 이른봄부터 이용할 수 있으며, 내한성이 강한 화본과 목초로서 사료작물, 토양보존용으로도 이용되며 최근에는 잔디로도 널리 이용되고 있는 특징이 있다. 그러나 고온과 건조에 대한 저항성이 낮아 건조지대나 더운지방(25 °C 이상)에서는 생육이 정지하는 하고현상이 나타날 수 있으므로 파종시 유의해야 한다 (Lee et al., 2007).

Table 3 Mechanical properties of cement

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

Table 4 Chemical compositions of cement (Unit: %)

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



Fig. 2 Fabricating mold and test-piece (15×15×5 cm)



(a) Cover View



(b) Root potential testing view

Fig. 3 Cover view and rood potential testing view

Table 5 Water quality analysis of parameter and method

Parameter	Method
pH (Hydrogen ion concentration)	Portable pH meter
SS (Suspended solids)	Filtration, Gravimetric method, Electric dry oven
BOD (Biochemical oxygen demand)	Azide modification of winkler method
COD _{Mn} (Chemical oxygen demand)	Photometric method
T-N (Total nitrogen)	Ultraviolet spectrophotometric method
T-P (Total phosphorus)	Ultraviolet spectrophotometric method

파종 후 온도 및 외부 환경 조절을 통하여 씨앗의 발아 및 생육이 진행될 수 있도록 하였으며, 씨앗의 원활한 생육을 위하여 충분한 수분량을 지속적으로 공급하였다. 씨앗의 발아 및 초기 생육 상태를 주기적으로 관찰하여 식물의 성장에 따른 초장의 길이를 직접 측정하였다. 또한 파종 후 4주가 지난 시점에서 근계력 실험을 실시하였으며, 근계력을 정량적으로 분석하기 위하여 1.96 Mpa 용량의 인장력 시험기를 사용하였다.

Fig. 3 (a)는 근계력 측정용 케이스가 장착된 식생블록을 나타내며, Fig. 3 (b)는 근계력 측정 전경을 나타낸다.

나. 수질 분석

식생을 배양한 화산력-바이오 블록의 수질정화 효과 분석을 위하여, ○○대학교 내의 ○○지에서 수집한 초기오염수에 공시체를 수침시킨 후 (Fig. 4 참조), 1주, 2주, 4주 간격으로 샘플을 채취하였으며, 수질오염공정시험법에 준하여 수소이온농도 (pH), 생물화학적 산소요구량 (BOD), 화학적 산소요구량 (COD_{MN}), 부유물질 (SS), 총질소 (T-N), 총인 (T-P)에 대하여 분석하였다 (Table 5 참조).



Fig. 4 Submersion of lapilli-bio block

III. 결과 및 고찰

1. 식생 특성

중성화 처리된 화산력-바이오 블록에 페레니얼 레이그라스를 파종한 이후 1주 전후에서 초기발아가 시작되었으며, 초기발아율은 약 20 ~ 25%를 나타내었으며, 초기 발아 후 약 1주 후의 발아율은 약 80 ~ 85%를 나타내고 있는 것으로 확인되었다. 이와 같이 초기발아율이 높게 나타난 것은 페레니얼

Table 6 Growth properties within Lapilli-Bio block

Type	Growth length (cm)					
	2 weeks			4 weeks		
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
Mt. Baekdusan	2,0	2,5	4,0	9,5	9,0	10,0
Mt. Hallasan	3,5	4,0	2,5	10,5	10,0	9,5

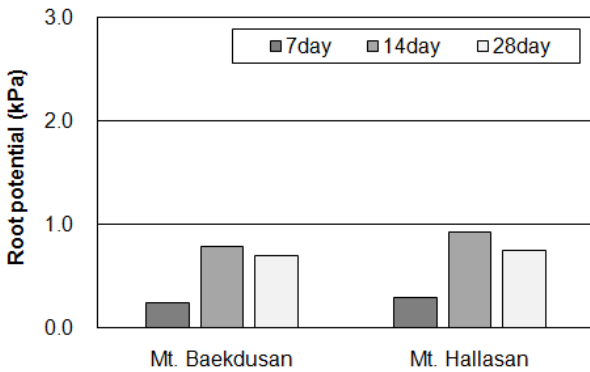


Fig. 5 Root potential of Lapilli-Bio block

레이그라스의 성장특성에 기인한 것으로 판단된다 (Kim et al., 2003).

Table 6에서 보는 바와 같이 파종 후 2주 경과한 시점에서는 식생의 지상부 성장량은 약 2.0 ~ 4.0 cm를 나타냈으며, 4주 경과한 시점에서는 약 9.0 ~ 10.5 cm를 나타내었다. 측정된 식생의 성장량은 Yoon et al. (2012)의 연구에서 측정된 성장량과 유사하게 나타났으며, 따라서, 블록의 주 재료인 시멘트가 식생의 성장특성에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 백두산 및 한라산 화산력-바이오 블록에 페레니얼 레이그라스 파종 후 1주, 2주, 4주가 경과한 시점에서의 근계력 측정 결과를 나타낸다.

본 연구 결과 백두산 화산력-바이오 블록의 근계력은 0.24 ~ 0.79 kPa, 한라산 화산력-바이오 블록의 근계력은 0.29 ~ 0.93 kPa로 나타났으며, 화산력-바이오 블록 절단하여 관찰한 결과 한라산 화산력-바이오 블록이 식물의 뿌리가 상대적으로 길게 성장한 것을 확인하였으며, 이러한 현상이 블록과의 부착력을 향상시키므로, 근계력도 높게 나타나는 것으로 사료되며, 이는 한라산 화산력이 백두산 화산력보다 공극이 다소 많은 재료적 특성에 기인한 것으로 판단된다. 또한 4주 경과시 근계력 값은 2주에서의 값보다 다소 떨어지는 경향을 보이고 있는데, 이는 페레니얼 레이그라스의 특성상 초장이 길어 잔디 면이 누운 상태로 되어 줄기와 뿌리 조직에 연약화를 발생시켰기 때문으로 판단된다.

2. 수질정화 특성

Fig. 6 ~ Fig. 8은 중성화 처리된 백두산 및 한라산 화산력-시멘트 혼합 바이오 블록을 오염수 내에 수침시켰을 때의 농도 변화를 나타내고 있다.

초기 오염수의 농도는 pH 7.0, SS 3.5 mg/L, BOD 4.3 mg/L, COD_{MN} 5.4 mg/L, T-N 4.6 mg/L, T-P 0.5 mg/L로 측정되었다. 7일, 14일, 28일이 경과된 후 농도범위는 백두산 화산력-바이오 블록의 경우 pH 8.1 ~ 8.8, SS 1.6 ~ 2.4 mg/L, BOD 5.4 ~ 6.5 mg/L, COD_{MN} 6.3 ~ 8.5 mg/L, T-N 2.7 ~ 3.4 mg/L, T-P 0.0 ~ 0.2 mg/L의 변화를 나타냈고, 한라산 화산력-바이오 블록의 경우에는 pH 7.8 ~ 8.5, SS 2.1 ~ 3.0 mg/L, BOD 5.7 ~ 6.8 mg/L, COD_{MN} 6.4 ~ 8.1 mg/L, T-N 2.80 ~ 3.50 mg/L, T-P 0.2 ~ 0.35 mg/L의 변화를 나타냈다.

pH (수소이온농도)는 수침 1주 경과시 초기 오염수 농도보다 다소 증가하였으나, 이후 4주 경과시까지 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 일반적인 시멘트 혼합블록의 경우 결합재로 사용되는 시멘트의 영향으로 pH가 증가하게 되나, 화산력-바이오 블록의 경우 중성화처리를 거침으로서 시멘트의 영향이 줄어든 것으로 판단된다.

수중에 현탁되어 있는 불용성 물질인 SS (부유물질)는 초기 오염수 농도가 3.50 mg/L이었으나, 4주 경과시 백두산 화산력-바이오 블록의 경우 1.60 mg/L, 한라산 화산력-바이오 블록의 경우 2.10 mg/L으로 나타나, 초기 유입수 대비 각각 55%, 40%의 개선효과가 확인되었다. 이는 화산력의 재료적 특성인 1.1 ~ 9.7 m²/g의 큰 비표면적을 통한 흡착에 의한 부유물질의 제거효율이 우수한 것으로 판단된다.

BOD (생물화학적 산소요구량)와 COD_{MN} (화학적 산소요구량)은 백두산 화산력-바이오 블록과 한라산 화산력-바이오 블록 모두 1주 경과시 증가하였다가 시간이 지남에 따라 점차 감소경향을 보이고 있으나, 그 값이 초기 오염수의 농도보다 크게 나타나 뚜렷한 개선 효과를 확인할 수 없다. 그러나, 초기 농도의 증가는 오염수에 블록 수침시 배양토의 유입으로 인한 일시적인 현상으로 판단되며, 장기적의 수침시간을 유지할 경우에는 BOD와 COD_{MN}의 농도가 점차 개선될 여지가 있을 것으로 사료된다 (Fig. 7).

T-N은 초기 오염수 농도가 4.60 mg/L이었으나, 4주 경과

후 백두산 화산력-바이오 블록과 한라산 화산력-바이오 블록에서 각각 2.70 mg/L 및 2.80 mg/L로 감소하여 초기 오염수 대비 약 41 %와 31 %의 개선효과를 나타내었다 (Fig. 8 (a)).

T-P (총인)는 초기 오염수 농도가 0.50 mg/L이었으나, 4주

경과후 백두산 화산력-바이오 블록과 한라산 화산력-바이오 블록에서 각각 0.10 mg/L 및 0.17 mg/L로 감소하여 초기 오염수 대비 약 80 %와 66 %로 상당한 개선효과를 나타내었다 (Fig. 8 (b)).

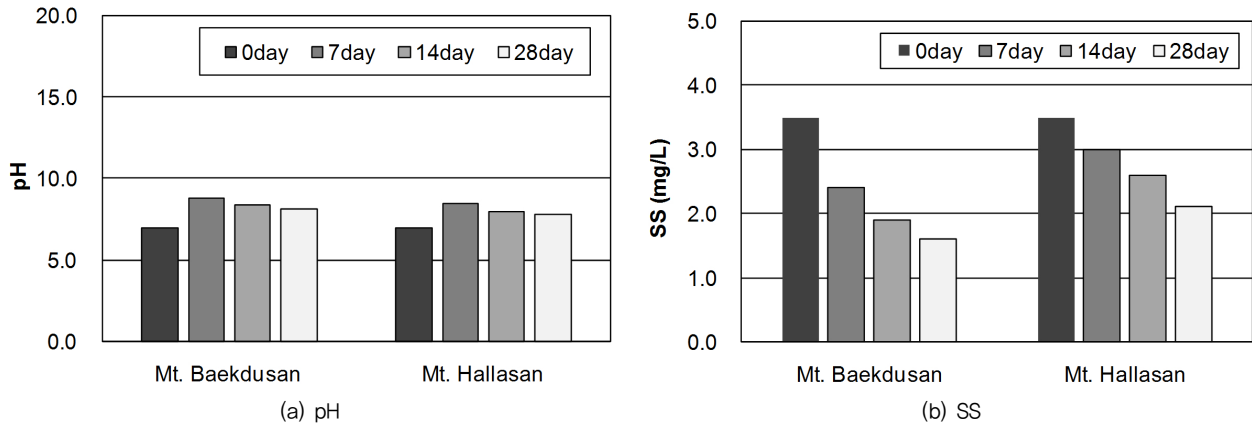


Fig. 6 Variations of pH and SS concentration for 28days

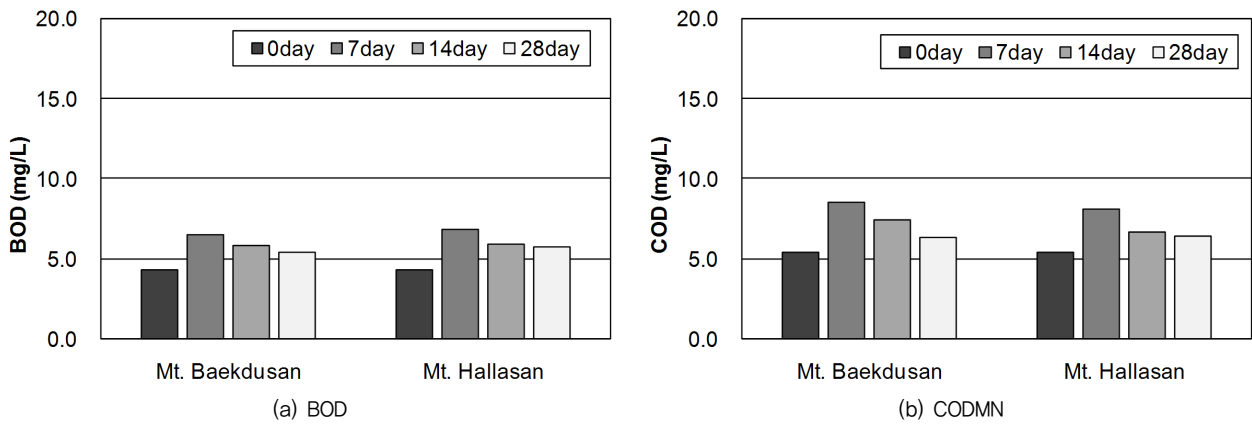


Fig. 7 Variations of BOD and CODMN concentration during 28days

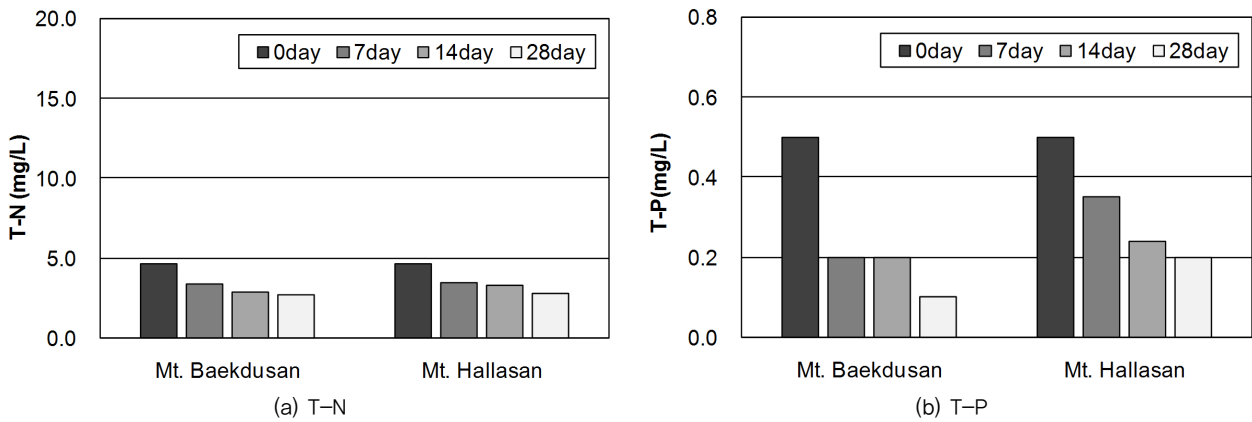


Fig. 8 Variations of T-N and T-P concentration during 28days

이상의 결과를 종합해 보면, 백두산 및 한라산 화산력-바이오 블록을 통해 SS, T-N, T-P의 개선효과를 확인할 수 있으며, 이는 Lee et al. (2013)의 연구결과와 유사한 경향을 나타내는 것으로 사료되며, 백두산 화산력-바이오 블록의 개선효과가 한라산 화산력-바이오 블록의 개선효과보다 다소 우수한 것으로 판단된다.

본 실험에서 화산력-바이오 블록의 수침 초기에 실험값이 초기 오염수의 농도가 일부 증가하는 이유는 씨앗의 유실 방지 및 발아의 원활한 진행을 목적으로 포설한 배양토가 미량 수중에 유입됨에 기인한 것으로 사료되며, 수침시간이 증가할수록 오염수의 농도가 다소 개선되는 것으로 나타났다. 따라서 화산력-바이오 블록은 장기간의 수침시간을 유지할 경우 오염수의 농도가 개선될 수 있을 것으로 판단되며, 특히 pH, BOD, COD_{MN} 및 T-N 농도의 개선효과에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

다만, 본 실험결과는 4주의 경과기간을 거친 실내실험을 대상으로 하였으며, 향후 현장 적용시험 등 지속적인 연구의 진행을 통해 수질정화 능력을 추가적으로 검증하여야 할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구는 화산력-바이오 블록의 친환경적 건설재료로의 활용을 위한 기능적 성능검토에 대한 기초적 연구로서, 중성화 처리된 백두산 및 한라산 화산력-바이오 블록의 식생특성 및 수질정화특성을 규명하고자 하였으며, 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 근계력 시험 결과, 발아 후 1주, 2주, 4주 경과후 측정된 근계력은 백두산 화산력-바이오 블록의 경우 0.24 ~ 0.79 kPa, 한라산 화산력-바이오 블록의 경우 0.29 ~ 0.93 kPa의 범위로 생장 시간에 따라 점차적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 공극이 많은 화산력의 재료특성에 기인하여 뿌리의 흡착력이 양호하게 나타난 것으로 사료된다. 따라서 화산력-바이오 블록은 식생의 생장이 충분히 가능하므로 친환경적인 식생블록으로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다.
2. 중성화 처리된 화산력-바이오 블록을 오염수에 장기간 수침조건을 유지할 경우 부유물질 (SS), 총인 (T-N) 및 총질소 (T-N)의 개선효과가 있으며 이를 통해 하천수질 오염농도를 향상시킴으로써 수질정화에 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 시멘트를 결합재로 사용한 블록의 경우 시멘트의 영향으로 인해 pH가 증가할 수 있으므로, pH의 영

향을 크게 받는 생태하천 등에 대해서는 중성화 처리된 화산력-바이오 블록을 수질정화블록으로 적용하는 것이 시멘트 블록 보다 더 적절할 것으로 판단된다.

3. 본 연구에서 얻어진 화산력-바이오 블록의 식생 및 수질정화 특성은 생태하천 및 어도 등 화산력의 친환경적 건설재료로서의 제품화에 사전자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 실험결과는 4주의 경과기간에 대한 단일조건을 반영한 실내실험을 통해 얻어진 결과로서, 향후 장기적인 관점에서의 하천 현장 실증시험 등을 통해 화산력-바이오 블록의 건설재료로서의 적용성을 재확인할 필요가 있다.

사 사

본 연구는 2015년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음.

REFERENCES

1. Kim, J. S., 2007. A study on environment-oriented vegetational revetment block using wet-mixing solidified soil. Thesis for the Degree of Master, Kyungil University (in Korean).
2. Kim, K. N., W. K. Park, S. Y. Nam, 2003. Comparison of Establishment Vigor, Uniformity, Rooting Potential and Turf Quality of Sodds of Kentucky Bluegrass, Perennial Ryegrass, Tall Fescue and Cool-Season Grass Mixtures Grown in Sand Soil. *Journal of Weed & Turfgrass Science* 17(4): 129-146 (in Korean).
3. Kim, M. Y., 2009a. 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., K. S. Yeon, J. D. Choi, K. S. Kim, J. Y. Seo, and Y. S. Kim, 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 (in Korean).
5. Kim, Y. T., 2009b. A Study on Development of Soil Cement Using Basaltic Volcanic Ash in Pyoseon-ri of Jeju, Thesis for the Degree of Master, Jeju National University (in Korean).
6. Lee, C. W., D. S. Chang, S. Y. Park, J. D. Choi, and Y. S. Kim, 2013. Strength and Water Purification Characteristics of Effective Microorganism -applied Volcanic Ash Block. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(2): 77-85 (in Korean).

7. Lee, C. W., Y. S. Kim, D. S. Chang, S. Y. Park, S. B. Bae, and S. J. Park, 2014. Strength and Water-Purifying Characteristics of Volcanic ash- Cement Mixtures. *Proc. of 2014 ASABE Annual International Meeting, Montreal*.
8. Mohamed, T. A., N. A. Alias, A. H. Ghazali, and M. S. Jaafar, 2006. Evaluation of environmental and hydraulic performance of bio-composite revetment blocks. *American Journal of Environmental Sciences* 2(4): 129-134.
9. Mitsudome, Y., 2012. On the effective use volcanic ash from Mount Shinmoe as an aggregate for concrete. *Cement and Concrete* 782: 14-20 (in Japanese).
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. Onoue, K., 2012. Effective utilization of volcanic ash into concrete products, *International Workshop for Volcanic Risk Assessment and Disaster Preparedness*: 145-162.
12. Park, S. Y., D. H. Park, H. S. Kim, J. M. Kim, H. T. Lim, S. B. Bae, and Y. S. Kim, 2015. Growth Characteristics of Micro-organism on Lapilli-Cement mixed Bioblocks. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(1): 111-118 (in Korean).
13. Seo, D. S., B. K. Kim, H. J. Kim, H. J. Kim, and J. S. Park, 2012. An Experimental Study on Water-Purification Properties in Porous concreat using Effective Micro-Organisms and Volcanic Rock. *Proc. of the Korean Concrete Institute* 24(1): 429-430 (in Korean).
14. Sung, C. D., K. H. Ahn, Y. H. Lee, I. C. Kong, and S. H. Kim, 2003. A study on the water quality improvement through riverbed filtration- model development and parameter determination. *Journal of Korean Society Environmental Engineers* 25(4): 486-494 (in Korean).
15. Sung, C. Y. and Kim, Y. I, 2004. Engineering Properties for Planting of Porous Concrete Block Containing Rice Straw Ash. *Journal of the Korean Concrete Institute* 16(3): 311-318 (in Korean).
16. Yamamoto, K., T. Negami, M. Hira, N. Aramaki, and Y. Hayashi, 2012. Geotechnical properties of artificial geomaterials made from volcanic products if Southern Kyushu area. *Proc. of the Int. Joint Symp. on Urban Geotechnics and Sustainable Development*: 230-233.
17. Yoo, J. H., D.H. Shu, J. S. Kim, and D. S. Kim, 2006. A Study on Environment-oriented Vegetational Revetment Block using Wet-Mixing Solidified Soil. *Proc. of the Korean Society of Civil Engineers*: 2552-2555 (in Korean).
18. Yoon, Y. S., Y. S. Kim, K. S. Yeon, and K. S. Kim, 2012. Vegetation and Strength Characteristics of Planting Blocks Prepared Cemented Sand and Gravel Reinforced by Geosynthetics. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 12(5): 113-120 (in Korean).