유용미생물을 적용한 화산재 블록의 강도 및 수질정화 특성

Strength and Water Purification Characteristics of Effective Microorganism-applied Volcanic Ash Block

이충원* · 장동수** · 박성용** · 최중대*** · 김용성****,†

Lee, Chung-Won · Chang, Dong-Su · Park, Sung-Yong · Choi, Joong-Dae · Kim, Yong-Seong

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate strength and water purification characteristics of effective microorganism-applied volcanic ash block using flexural strength test and water quality analysis. The specimens were prepared with volcanic ash from Mt. Baekdusan and Mt. Hallasan, and cement as the ratios of 3.5:1, 4.0:1, 4.5:1, 5.0:1 with and without metakaolin. Flexural strength degraded with increasing of the amount of volcanic ash, and increased with addition of metakaolin as a binder. Based on these results, the optimal ratio for fabricating volcanic ash-cement mixture block is determined as 3.5:1 with metakaolin. Furthermore, from water quality analysis on contaminated water, removal ability of effective microorganism-applied volcanic ash-cement mixture block and caged volcanic ash block against T-N, T-P and SS was highly evaluated because of adsorption due to the large specific surface area of volcanic ash. Hence, volcanic ash-cement mixture block and caged volcanic ash block possibly contribute to water purification.

Keywords: volcanic ash block; effective microorganism; flexural strength; water purification

1. 서 론

2002년에 두만강 하류에 위치한 중국 왕청 지역에서 강진(규모 7.3)이 발생한 이후, 백두산 주변지역의 지진 횟수가 증가함과 동시에 주변 지형이 융기하는 등의 현상이 나타나고 있다. 그리고 2010년 말, 중국 지진국 지질연구중심에서 백두산의 폭발 가능성을 언급하면서 언론을 비롯해 국민들의 관심이 백두산 분화 여부에 집중되기 시작하였다. 그간 국내에서는 화산 폭발을 별도의 재난유형으로 정의하지 않고 있었으나, 이와 같은 동향으로부터 정부의 각 부처에서 백두산 분화에 대한 대책 논의가 시작되었다. 통일부에서는 백두산 화산 폭발 가능성과 관련해 내부 태스크포스(TF) 구성을 검토하고, 연구 용역을 발주하는 방안을 고려하고 있다고 발표하였으며, 그 외 부처에서도 백두산 분화에 대한 대응방안의 마련을 서두르고 있다. 만약 2010년의 아이슬란드 화산 폭발로 인한 유럽의 항공대란처럼 백두산 화산

폭발이 발생한다면, 활발하게 경제활동이 이뤄지고 있는 동북아 지역에 막대한 피해를 초래할 것이며, 화산재로 인하여 항공, 물류 등 많은 시설이 공용불능 상태에 이르는 등 경제적·산업적으로 막대한 손실이 예상된다. 따라서 화산재의 처리 및 건설재료 등의 유효 활용방안 개발을 통해 화산의 분화에 따른 피해를 최소화할 필요가 있으며, 공극이 많고 비표면적이 큰 화산재의 특성을 활용하여 중금속 및 유기물에 대한 흡착능력을 보유하는 친환경적 호안공법에의 활용이 기대되고 있다.

우리나라의 하천은 강우가 우기에 집중됨과 동시에 급경사를 가지므로 연중 일부기간을 제외하면 그 유량이 매우 적으며, 도시화와 산업화로 인한 하폐수의 증가로 인해 오염에 매우 취약한 실정이다(Sung et al., 2003).

지금까지의 하천 수질개선은 오염물을 모아서 처리한 후 하천에 방류하는 방식을 적용하여 왔으나, 이러한 방법은 하수나 폐수를 완벽히 처리하지 않고 잔류오염을 하천에 방류하는 것을 전제로 한다. 농경지에서 발생하는 비점오염원은 처리대책이 없는 상태로 하천에 그대로 유입되어 사실상 하천의 자정작용(Self-purification)에만 의존하는 실정이나 그 능력은 한계가 있으며, 오염부하가 큰 경우에는 그 수질이 나빠질 수밖에 없는 상황이다(Sung et al., 2003; Lee and Kim, 2005).

하천의 수질을 개선하고 본래의 친수기능을 회복하기 위한 방안으로서 제안된 직접 접촉에 의한 자연정화기법은 실제 소하천에 적용되어 수질정화에 일정수준 기여하여 왔다(Tanaka et al.,

* 강원대학교 석재복합건설신소재연구센터 연구원
** 강원대학교 대학원 지역건설공학과
*** 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과 교수
**** 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과 부교수
† Corresponding author Tel.: +82-33-250-6463
Fax: +82-33-251-6463
E-mail: yskim2@kangwon.ac.kr

2013년 2월 21일 투고
2013년 3월 25일 심사완료
2013년 3월 26일 게재확정

1995; Hwang et al., 2006; Cheong et al., 2009). 이러한 집 축산화법은 설치비용이 적으면서 미생물의 대사작용에 의한 유기물 분해가 잘 이루어져 간이하천에 널리 사용되고 있다.

그러나 기존의 미생물 담체는 단순한 부착성 무기물이므로 특별한 기능을 가지지 않을 뿐 아니라, 탈질과정이 호기성에서 이뤄지는 탈질산화 과정과 혐기성에서 잘 이뤄지는 탈질소 과정 두 부분으로 나뉘어 있으며 탈질산화 과정의 반응속도가 BOD 분해속도보다 매우 느리게 진행되므로 영양염류의 제거 효율이 낮은 단점이 있다 (Oh et al., 2002). 이에 대한 대안으로 저절로 이루어지는 BOD 제거과정 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).

국내외 하천의 자정능력 극대화를 위한 식생호안과 관련한 연구로, Mohamed et al. (2006)은 코코넛 껍질, 팜 껍질, 사탕수수 껍질 등을 호안블록에 접목시켜 수리학적 및 환경학적 성능을 검토하였으며, Kim (2007)은 습식교반정화조를 활용하여 식생호안블록을 제작하고 생태적 특성을 규명하였다. Oh et al. (2002)는 다공성 콘크리트의 물리적 특성 및 오염물질 제거능력에 대하여 연구하였으며, Cheong et al. (2009)은 토양 반응조를 이용한 도금폐수 중의 질소 및 인 제거에 관하여 검토하였고, Lee and Kim (2005)은 현장실험을 통해 수생식물의 수질정화 효과에 관해 규명하였다. 또한, Kim et al. (2011)은 중금속과 유기물에 대한 높은 흡착력을 보이는 굴패각과 유용미생물을 이용한 바이오 복합 식생블록을 제작하여 수질정화 특성을 규명하고자 하였다.

수질정화에 화산재를 적용하는 연구로서, Kim, Y. T. (2009)는 제주 표선리 현무암계 화산재의 물리적·화학적 특성 및 구조체로서의 강도를 분석한 후, 이를 활용한 소일시멘트의 원적외선 방사율과 유해성분석 및 중금속 흡착효과를 평가하였으며, Kim (2009) 또한 화산재를 중금속 폐수 처리용 흡착제로 활용하기 위한 연구를 수행하였다. 그러나, 현재까지도 이에 대한 연구는 상당히 미진한 상황으로, 지속적으로 많은 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 이러한 기초하에 진행되는 백두산 화산재의 친환경적 건설재료로의 활용을 위한 기초적 연구로서, 화산재, 시멘트 및 메타카올린의 혼합물에 따른 혼합토 블록의 휨강도 특성의 분석을 통해 최적의 배합비율을 결정한 후, 이러한 배합비율로 제작한 화산재-시멘트 혼합토 블록 및 결합재를 사용하지 않은 케이시형 화산재 블록에 유용미생물을 적용한 후 오염수내에 침적시켜 수질환경에 미치는 영향을 중점 검토하였으며, 추후 이

블록이 하천의 호안용 구조물로 적용될 수 있도록 하기 위한 공학적·환경학적 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 사용 재료

본 연구에서는 2 mm 이상의 입경을 가진 백두산 화산재 (중국 수입), 한라산 화산재 (제주시 한림읍 채취), 최대치수 40 mm 미만의 골재용 자갈, 시멘트, 메타카올린 등을 시료로 사용하였다. Fig. 1, Table 1은 각각 본 연구에 사용된 화산재와 자갈의 입도분포곡선 및 물리적 특성을 나타내며, Table 2는 화산재의 화학적 특성을 나타낸다.

백두산 및 한라산 화산재의 #4체 (4.76 mm) 통과량은 50 % 미만이며, 백두산 화산재의 균등계수 (Cu)는 1.43, 곡률계수 (Cc)는 0.92로서 통일분류법에 의해 GP (입도분포가 불량한 자갈)로 분류된다. 또한, 한라산 화산재의 균등계수는 6.03, 곡률계수는

Fig. 1 Grain size distribution curve

Table 1 Physical properties of volcanic ash and gravel

Type	Specific Gravity (Gs)	Uniformity Coefficient (Cu)	Gradation Coefficient (Cc)	USCS
Baekdusan	0.56	1.43	0.92	GP
Hallasan	1.09	6.03	2.08	GW
Gravel	2.65	3.65	0.96	GP

Table 2 Chemical properties of volcanic ash

Type	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	MgO	KCl	Na	K	Fe	Ca	Ti
Baekdusan	81.66	4.53	0.91	-	0.46	3.06	4.06	5.32	-	-
Hallasan	63.52	6.38	2.71	2.79	-	2.15	0.47	13.04	7.28	1.66

Table 3 Mechanical and chemical properties of normal portland cement

(a) mechanical properties

Specific Gravity (Gs)	Setting time (h-min)		Compressive strength (MPa)		
	Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	5-7	7-20	19.4	21.6	32.3

(b) chemical compositions (Unit: %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

Table 4 Physical and chemical properties of metakaolin

Physical properties		Chemical compositions (unit : %)					
Specific Gravity (Gs)	Surface Area (cm ² /g)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
1.53	10,000	52.0	40.0	1.2	0.5	1.0	3.0

2.08로 나타나, 통일분류법에 의해 GW (입도분포가 양호한 자갈)로 분류된다. 대조군으로 사용되는 골재용 자갈 또한 #4체 통과량이 50 % 미만이며, 균등계수와 곡률계수가 각각 3.65, 0.96으로 나타나, 통일분류법상 GP (입도분포가 불량한 자갈)로 구분되었다. 화학적 조성에서, 백두산 및 한라산 화산재는 세부적으로 다소 차이는 있으나, SiO₂의 함량이 가장 큰 것으로 나타났다.

Table 3과 Table 4에 각각 본 연구에서 사용된 포틀랜드 시멘트 (국내 H사 제조, 비중 3.15)와 메타카올린 (비중 1.54, 비표면적 10,000 cm²/g)의 물리적·화학적 특성을 나타내었다.

2. 공시체 배합설계 및 제작

가. 공시체 배합설계

화산재-시멘트 혼합토의 배합설계는 Onoue (2012)의 연구를 참고하여, Table 5에 나타난 바와 같이 최적 배합 조건을 찾기 위해 Case별로 중량비를 설정하여 혼합한 후, 일정량의 혼합시료를 채취하여 공시체를 조성하였다. 본 연구에서는 2종의 화산재 (백두산 및 한라산)에 대하여 화산재의 혼합비율 (4종) 및 메타카올린 혼합여부 (2종)를 고려하여 총 16개 Case에 대하여 실험을 실시하였다. Lee et al. (2012)의 연구결과에 따르면, 메타카올린은 시멘트 입자 및 골재 사이의 공극을 충전시켜 경화체의 조직을 치밀하게 한다. 따라서, 본 연구에서는 바인더로서 시멘트 중량의 10 %의 메타카올린을 첨가하였다.

나. 공시체 제작

화산재-시멘트 혼합토 블록의 휨강도 특성의 고찰을 위하여, Kim et al. (2011)의 연구를 참고하여 20×20×5 cm의 몰드에

Table 5 Mix designs of volcanic ash (V.A)-cement mixtures

Case	1	2	3	4	5	6	7	8
V.A:Cement	3.5:1		4.0:1		4.5:1		5.0:1	
Metakaolin	-	Added*	-	Added*	-	Added*	-	Added*

*10% of cement weight

Fig. 2 Fabricating volcanic ash-cement mixture block (20×20×5 cm) **Fig. 3 Caged volcanic ash block**

재료를 투입하고 다짐을 실시하여 블록형 공시체를 제작하였다. 이러한 공시체의 재령에 따른 강도 특성을 규명하기 위하여 재령 3일, 7일, 28일 동안 양생을 실시하였다. Fig. 2에 화산재-시멘트 혼합토 블록의 제작 장면을 나타내었다. 또한, 결합재를 사용하지 않는 케이지형 화산재 블록을 Fig. 3에 나타내었다. 케이지형 화산재 블록은 화산재-시멘트 혼합토 블록과 동일한 체적 ($V = 2,000 \text{ cm}^3$)으로 제작하였다.

3. 시험방법

가. 휨강도 시험

휨강도는 KS F 2408 (콘크리트의 휨강도시험 방법)에 준하여 재령 3일, 7일, 28일에 20×20×5cm인 블록을 일축압축시험

(a) Applying EM into blocks (b) Submersion of EM-applied block

Fig. 4 Water purification test using EM-applied block

Table 6 Parameters and methods for water quality analysis used in this study

Parameter	Method
Suspended solids (SS)	Filtration, Gravimetric method, Electric dry oven (103 °C ~ 105 °C)
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	Azide modification of Winkler method
Chemical Oxygen Demand (COD _{Mn})	Photometric method
Total Nitrogen (T-N)	Ultraviolet Spectrophotometric method
Total Phosphorus (T-P)	Ultraviolet Spectrophotometric method
Hydrogen ion concentration (pH)	Portable pH meter

기에 지지 롤러 및 재하 롤러를 장착한 후 1 mm/min의 속도로 하중을 재하하여 측정하였다.

나. 수질 분석

7일간 양생 후 유용미생물을 적용한 블록의 수질정화 효과 분석을 위하여, 각 처리구별 블록 수침 후 0일, 7일, 28일 단위로 시료를 채취하였으며, Table 6에 나타난 바와 같이 SS, BOD, COD_{Mn}, T-N, T-P, pH의 6개 항목을 수질오염공정시험법에 준하여 분석하였다. Fig. 4에 블록에 대한 유용미생물 (Effective microorganism, EM) 적용 장면 (500배 희석수 이용)을, Fig. 5에 유용미생물을 적용한 블록의 오염수내 수침 장면을 나타내었다. 본 실험에서 오염수는 ○○대학교 ○○지 물을 시료로서 사용하였으며, 오염수의 양은 48L로 설정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 휨강도 특성

Fig. 5 및 Fig. 6은 각각 백두산 화산재 및 한라산 화산재의 혼합율 및 메타카올린 혼합여부에 따른 혼합토의 재령별 휨강도

를 나타낸다.

본 관계에서 보는 바와 같이 화산재-시멘트 혼합토의 화산재 혼합률이 증가할수록 휨강도가 작은 경향을 나타낸다 (Fig. 5(a), Fig. 6(a)). 백두산 화산재와 시멘트를 3.5:1로 혼합한 경우의 28일 휨강도가 0.18 MPa이나, 혼합비율을 4.0:1, 4.5:1, 5.0:1과 같이 화산재의 양을 증가시킬수록 혼합토의 휨강도는 각각 0.11, 0.10, 0.10 MPa로서 저하됨을 알 수 있다. 또한, 한라산 화산재와 시멘트를 3.5:1로 혼합한 경우의 28일 휨강도는 0.16 MPa이나, 혼합비율을 4.0:1, 4.5:1, 5.0:1과 같이 화산재의 양을 증가시킬수록 혼합토의 휨강도는 각각 0.09, 0.09, 0.04 MPa로 나타나 백두산 화산재와 동일한 경향을 보여주고 있다. 이는 화산재의 혼합율이 증가할수록 시멘트의 수화반응이 저하되기 때문인 것으로 판단된다.

따라서, 혼합체의 강도증진을 위해 전술한 바와 같이 본 연구에서는 시멘트 중량의 1/10에 해당하는 메타카올린을 추가혼합하여 휨강도에 미치는 영향을 분석하였고, 이 경우 화산재-시멘트 혼합토의 휨강도가 모든 혼합률에서 증가하는 것으로 나타났다 (Fig. 5(b), Fig. 6(b)). 이를 정량적으로 고찰하면 화산재-시멘트 혼합토의 28일 휨강도는 화산재:시멘트의 혼합율이 3.5:1, 4.0:1, 4.5:1, 5.0:1에 대하여 백두산 화산재가 각각 2.00배, 1.73배, 1.50배, 1.10배 증가하는 것으로 나타났으며, 한라산 화산재의 경우 각각 1.56배, 1.44배, 1.00배, 1.00배 증가하는 것으로 나타나, 메타카올린 혼합에 따른 휨강도의 증가비율은 화산재 혼합률의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

이와 같은 실험결과에 근거하여, 본 연구에서는 화산재와 시멘트를 3.5:1로 혼합하고 시멘트 중량의 1/10에 해당하는 메타카올린을 추가혼합하는 조합을 최적의 배합비율로 결정하였으며, 이를 수질정화용 화산재-시멘트 혼합토 블록의 제작에 적용하였다. 또한, 대조군인 자갈-시멘트 혼합토 블록의 제작에도 본 배합비율을 적용하였다.

Fig. 5 Comparison of flexural strength with curing ages of Baekdusan volcanic ash-cement mixtures

Fig. 6 Comparison of flexural strength with curing ages of Hallasan volcanic ash-cement mixtures

2. 수질변화 특성

Fig. 7 및 Fig. 8은 유용미생물이 적용된 시멘트 혼합토 블록 및 케이지형 블록을 오염수 내에 수침시켰을 때의 농도 변화를 나타내고 있다.

각 처리구별 초기 유입수의 농도는 SS 3.5 mg/L, BOD 1.0 mg/L, COD 3.2 mg/L, T-N 7.91 mg/L, T-P 0.37 mg/L, pH 7.9로 측정되었다. 0일, 7일, 28일이 경과된 후 농도범위는 시멘트 혼합토 블록의 경우 SS: 0.3~6.7 mg/L, BOD: 1.0~6.1 mg/L, COD: 3.2~21.8 mg/L, T-N: 3.94~7.91 mg/L, T-P: 0.03~0.37 mg/L, pH: 7.9~11.5의 변화를 나타내었으며, 케이지형 블록의 경우에는 SS: 0.2~4.0 mg/L, BOD: 1.0~4.8 mg/L, COD: 3.2~9.8 mg/L, T-N: 5.48~7.91 mg/L, T-P: 0.07~0.37 mg/L, pH: 7.0~8.5의 변화를 나타내었다.

부유물질인 SS (Suspended solid)는 수중에 현탁되어 있는 불용성 물질로, 28일 경과시의 농도는 백두산 화산재-시멘트 혼합토 블록 및 한라산 화산재-시멘트 혼합토 블록에서 각각 91 % 및 37 %의 제거효율을 보였으나, 자갈-시멘트 혼합토 블록에서는 제거효과가 나타나지 않았다. 또한, 케이지형 블록에서도 백두산 화산재 블록 및 한라산 화산재 블록이 각각 94 % 및 77 %의 제거효율을 보였으나 자갈 블록에서는 제거효과가 확인되지 않았다.

생물화학적 산소요구량인 BOD 및 화학적 산소요구량인 COD는 시멘트 혼합토 블록 및 케이지형 블록에서 전체적으로 7일 경과시 증가하였다가 28일이 경과하면서 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 뚜렷한 제거효과는 확인되지 않았다.

총질소 (T-N)는 초기 유입수 농도가 7.91 mg/L이었으나, 28일 경과후 백두산 화산재-시멘트 혼합토 블록과 한라산 화산재

Fig. 7 Variations of SS, BOD and COD_{Mn} concentration for 28days

Fig. 8 Variations of T-N, T-P and pH concentration for 28days

-시멘트 혼합토 블록에서 각각 4.88 mg/L 및 4.80 mg/L로 감소하여 제거효과를 확인할 수 있었으며, 자갈-시멘트 혼합토 블록에서도 3.94 mg/L로 감소하여 제거에 기여하는 것으로 나타났다. 또한 케이지형 블록에서도 백두산 화산재 블록 및 한라산 화산재 블록에서 각각 6.40 mg/L 및 5.90 mg/L로 감소하여 제거효과가 확인되었으며, 자갈 블록도 5.48 mg/L로 감소하여 제거에 기여하는 결과를 보였다.

총인 (T-P)은 28일 경과시 백두산 화산재-시멘트 혼합토 블록 및 한라산 화산재-시멘트 혼합토 블록에서 모두 92 %의 높은 제거효율을 보였으며, 자갈-시멘트 혼합토 블록에서는 81 %의 효율로 제거되었다. 그리고, 케이지형 블록에서도 백두산 화산재 블록 및 한라산 화산재 블록이 각각 78 % 및 68 %의 높은 제거효율을 나타내었으며, 자갈 블록에서도 81 %의 효율로 제거되어 화산재 블록과 유사한 제거효율을 나타내었다.

수소이온농도 (pH)는 화산재-시멘트 블록 및 자갈-시멘트 블록에서 7일 경과시 증가하였으나, 이후 28일 경과시까지 감소하는 경향을 나타내었으며, 케이지형 화산재 블록 및 자갈 블록에서는 큰 변화를 나타내지 않았다. 따라서, 시멘트 혼합토 블록의 결합재로 사용되는 시멘트가 pH를 증가시키는 요인으로 판단된다.

이상의 결과를 종합해 보면, 시멘트 혼합토 블록 및 케이지형 블록은 총질소 (T-N), 총인 (T-P)의 제거효율이 우수한 것으로 나타났다. Pierre et al. (2005)는 화산재의 비표면적을 1.1 ~ 9.7 m²/g으로 제시하였으며, 대조군인 자갈에 비하여 상대적으로 큰 비표면적을 갖는 화산재의 특성으로 인해 흡착에 의한 부유물질 (SS)의 제거효율이 우수한 것으로 평가되었다. 또한, 실험 결과로부터 시멘트를 결합재로 사용한 화산재-시멘트 혼합토 블록의 경우 pH의 증가요인이 될 수 있으므로, 생물체의 영향성 등 pH의 영향을 크게 받는 개소에 대해서는 케이지형 블록을 수질정화용 블록으로 적용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

본 실험결과는 28일 동안의 단일 실험에 대한 고찰로서, 향후 현장 적용시험 등 심화연구를 통해 화산재를 이용한 수질정화 블록의 성능을 추가적으로 검증할 필요가 있다.

IV. 결 론

본 연구는 화산재의 친환경적 건설재료로의 활용을 위한 기초적 연구로서, 백두산 및 한라산 화산재, 시멘트 및 메타카올린의 혼합율에 따른 혼합토의 휨강도 특성의 분석을 통해 최적의 배합비율을 결정한 후, 이러한 배합비율로 제작한 화산재-시멘트 혼합토 블록 및 결합재를 사용하지 않은 케이지형 화산재 블록에 유용미생물을 적용한 후 오염수내에 침적시켜 수질정화 특성을 규명하고자 하였으며, 본 연구를 통해 얻어진 결론

은 다음과 같다.

1. 화산재-시멘트 혼합토의 화산재 혼합률이 증가할수록 휨강도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 화산재의 혼합율이 높아질수록 화산재가 시멘트와 반응하지 못하고 경화체 내부에 그대로 존재하며 시멘트의 수화반응을 방해하기 때문으로 판단된다. 화산재 재활용 촉진 및 강도 증진을 위해 시멘트 중량의 1/10에 해당하는 메타카올린을 추가혼합하여 압축강도 및 휨강도에 미치는 영향을 분석한 결과, 화산재-시멘트 혼합토의 압축강도가 모든 혼합률에서 증가하는 것으로 나타나, 추가적인 바인더의 혼합을 통해 화산재 혼합토의 강도증진이 가능함을 확인하였으며, 화산재와 시멘트를 3.5:1로 혼합하고 시멘트 중량의 1/10에 해당하는 메타카올린을 추가혼합하는 조합이 최적의 배합비율로 판단된다.

2. 유용미생물이 함유된 수질정화용 화산재-시멘트 혼합토 블록 및 케이지형 화산재 블록을 오염수에 침적하는 경우, 28일 경과 후의 총질소 (T-N), 총인 (T-P)의 제거효율이 높은 것으로 평가되었으며, 비표면적이 큰 화산재의 특성에 의해 흡착에 의한 부유물질 (SS) 제거효과가 우수한 것으로 나타나, 화산재-시멘트 혼합토 블록 및 케이지형 화산재 블록은 수질정화에 기여하는 것으로 판단된다. 또한, 시멘트를 결합재로 사용한 화산재-시멘트 혼합토 블록의 경우 pH의 증가요인이 될 수 있으므로, 생물체의 영향성 등 pH의 영향을 크게 받는 개소에 대해서는 케이지형 블록을 수질정화용 블록으로 적용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

본 연구는 소방방재청의 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 reactor. *Journal of the Environmental Sciences* 19(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, 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).
4. 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).
 5. 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).
 6. Kim, Y. T., 2009. *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).
 7. Lee, J. D., K. S. Yeon, K. W. Kim, and Y. S. Kim, 2012. The Strength Properties of Cement-Bentonite Soil Mixtures with Geosynthetics and Metakolin. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(6): 159-167 (in Korean).
 8. Lee, J. S., and K. N. Kim, 2005. A study on the water quality purification effect of aquatic plants in field work. *Journal of the Environmental Sciences* 14(10): 937-944 (in Korean).
 9. Lee, Y. H., 2005. *Environmental Purification Using Effective Microorganisms*. Thesis for the Degree of Master, Kyungsung University (in Korean).
 10. 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.
 11. 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).
 12. 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).
 13. Onoue, K., 2012. Effective utilization of volcanic ash into concrete products, *International Workshop for Volcanic Risk Assessment and Disaster Preparedness*: 145-162.
 14. Pierre, D., V. Frédéric, P. Manuel, 2005. Surface area, porosity and water adsorption properties. *Bull Volcanol* 67: 160-169.
 15. 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 microorganisms. *Proc. of the Korean Concrete Institute Conference*: 757-760 (in Korean).
 16. 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).
 17. 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.