

# 화산석을 이용한 절·성토사면의 배수압 소산기법

## Back Pressure Dissipation Techniques of Land Slope Using Volcanic Rocks

장광진\*, 최은혁\*\*, 고진석\*\*\*, 이승윤\*\*\*\*, 지홍기\*\*\*\*\*

Kwang Jin Jang, Eun Hyuk Choi, Jin Seok Ko, Seung Yun Lee, Hong Kee Jee

### 요 지

절·성토사면에 구조물을 설치할 경우 가장 중요하게 고려되어야 하는 점은 사면의 안정성 여부이다. 특히, 절·성토사면에 설치된 구조물이 붕괴되는 가장 큰 원인은 뒷채움재 내에 존재하는 수압의 영향이라는 것을 우리는 이미 많은 연구와 경험을 통해 알고 있다. 만일 지하수위가 존재하는 상태에서 단시간에 발생하는 집중호우로 인해 수위가 갑자기 상승하였을 경우, 구조물을 통해 전혀 배수되지 않는다면 절·성토사면의 안정성은 급격히 저하될 것이다. 이러한 사면의 배수압을 소산시킬 수 있는 공법은 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 특히 제주도의 지역적 특성을 고려하여 화산석을 채움재로 사용한 Mattress/Filter를 절·성토사면에 설치함으로써 배수압을 소산시킬 수 있는 방법을 연구하였다.

Mattress/Filter는 제방 또는 절·성토사면의 파괴와 침식을 방지하기 위해 사면에 설치하는 육각형의 철망구조로서 유연성, 다공성, 배수성 및 식생성과 같은 특징이 있으며, 콘크리트 구조물과 달리 별도의 배수시설을 필요로 하지 않는 장점이 있다. 또한 본 연구에 사용된 Mattress/Filter의 채움재인 화산석은 현재 제주도 지역에 방대하게 분포되어 있다. 특히 현무암은 제주도 암석 전체의 90% 이상을 차지하고 있으며, 투수성이 매우 큰 암석이다. 현무암의 공극률은 그 종류에 따라 0.02~0.36의 범위로 나타난다. 특히, 표선리현무암의 경우 평균 공극률이 0.23으로 나타나 모래의 공극률인 0.3~0.8에 비교하여 볼 때, 연구에 사용된 재료는 아주 우수한 투수성을 가진 것으로 판명된다. 또한 현무암의 경우 암석의 겉 표면이 미세한 다공질 조직으로 이루어져 있다. 따라서 암석자체에 물이 정체될 수 있어 구조물을 통해 배수될 때 암석이 머금고 있는 물로 인해 추가적으로 발생하는 중력은 다른 재료가 가지지 못한 화산석의 또 다른 장점이라 할 수 있다.

**핵심용어** : 현무암, Mattress/Filter, 배수압 소산기법

### 1. 서 론

최근 자연환경에 대한 관심이 고조되면서 하천의 치수기능 뿐만 아니라 환경기능을 향상시키기 위한 사업이 활발히 이루어지고 있다. 이에 따라 구조물 건설시 자연의 재료를 사용함으로써 친환경, 친생태적인 공간을 확보할 수 있는 구조물의 개발이 많이 이루어지고 있다. 최근에는 지홍기, 배상수 등(2000, 2001)에 의해서 돌망태를 이용한 제방법면의 보호공법, 돌망태를 이용한 호안구조물의 수리학적 특성, 돌망태를 이용한 방재 및 친환경구조물 개발 등의 연구가 활발히 진행되었다. 절·성토사면에 Mattress/Filter를 설치할 경우

\* 정회원·영남대학교 대학원·석사과정·E-mail : kwang-jin7948@hanmail.net

\*\* 정회원·영남대학교 대학원·박사과정·E-mail : imchoi77@hanmail.net

\*\*\* 정회원·영남대학교 대학원·박사과정·E-mail : springtime@yumail.ac.kr

\*\*\*\* 정회원·규슈대학·연구원·E-mail : seungyon@civil.kyushu-u.ac.jp

\*\*\*\*\* 정회원·영남대학교 건설환경공학부·교수·E-mail : hkjee@yu.ac.kr

배면의 지하수가 공간채움재사이로 투과되어 자연적으로 배수를 촉진시키므로 배면의 수압을 감소시킨다. 특히 Mattress/Filter 설치시 환경친화적 성향으로 미관상 보기 좋을 뿐만 아니라 채움재의 공극 및 투수성에 의해 토양이 대기중의 공기와 접할 수 있어 미생물이 자랄 수 있는 환경을 조성할 수 있다. 이러한 최근의 연구를 통해 채움재로서 제강슬래그나 페콘크리트를 사용함에 따른 구조물의 안정성 및 주변 환경에 미치는 영향을 분석한 결과 적합하다는 결론을 내린바 있다. 이번 연구에서는 Mattress/Filter의 채움재로서 지금까지의 연구를 통해 이미 검증된 제강슬래그 또는 페콘크리트 외에 화산석을 이용하여 채움재로서의 그 적합성을 검증하고자 한다.

## 2. 채움재의 물리적 특성

### 2.1 화산석의 물리적 특성

제주도에 분포하는 각종 화산석에 따른 물성 측정의 범위와 평균값은 표 1에 종합하였다. 체적밀도는 건조상태인 시료의 경우는 1.69~2.84g/cm<sup>3</sup>, 물로 포화된 상태인 시료의 경우 2.02~2.86g/cm<sup>3</sup>의 범위를 나타낸다. 다공성인 표선리현무암의 경우 체적밀도는 건조시 1.7~2g/cm<sup>3</sup>, 물포화시 2.2~2.5로 나타났고 치밀한 조직을 나타내는 중문감람석현무암의 암석은 2.77~2.84g/cm<sup>3</sup>의 밀도를 가진다. 전체적으로 보면 제주도의 동서부에 분포하는 표선리현무암은 낮은 밀도를 나타내고, 중부·북부·남부에 위치하는 암석들은 2.5g/cm<sup>3</sup>이상의 밀도를 나타낸다.

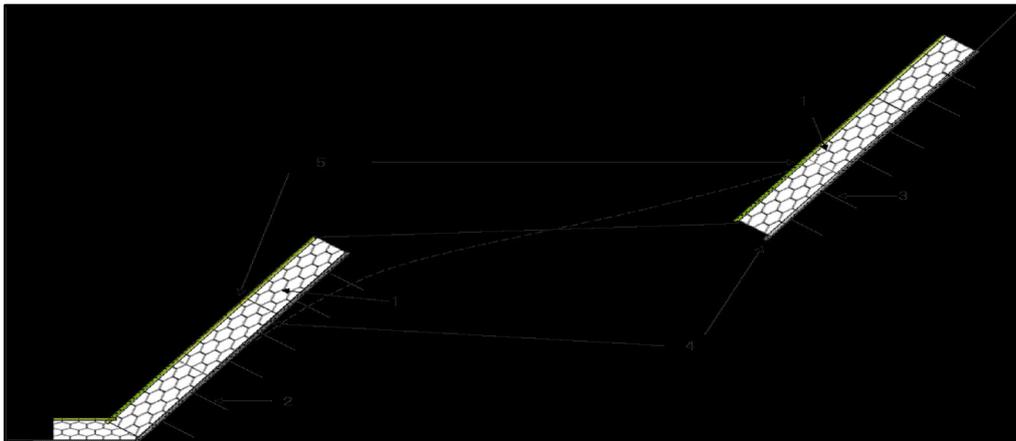
공극률은 0.02~0.36의 범위를 나타낸다. 큰 기공이 많이 존재하는 표선리현무암의 경우 평균 공극률은 0.23으로 나타나고 그 외의 암석들은 평균 0.1이하의 공극률을 가진다.

표 1. 제주도에 분포한 화산석의 물리적 특성

Rock Type	Density(g/cm <sup>3</sup> )				Porosity	
	Dry		Water-saturated			
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Pyeosunri Alkali Basalt	1.69-2.46	2.11	2.02-2.62	2.34	0.12-0.36	0.23
Jungmun Hawaiiite	2.77-2.84	2.81	2.84-2.86	2.85	0.02-0.07	0.04
Sumangri Hawaiiite	2.37-2.68	2.55	2.57-2.76	2.67	0.05-0.20	0.11
Hahyeori Hawaiiite	2.36-2.70	2.55	2.51-2.77	2.64	0.04-0.14	0.09
Sihungri Hawaiiite	2.31-2.84	2.63	2.55-2.86	2.72	0.02-0.23	0.09
Seongpanak Hawaiiite	2.25-2.74	2.59	2.48-2.80	2.69	0.06-0.23	0.10
Hallasan Hawaiiite	2.31-2.71	2.58	2.50-2.76	2.66	0.05-2.76	0.08

### 2.2 Mattress/Filter 채움재로서 화산석의 적합성 판정

Mattress/Filter의 채움재로 화산석을 사용할 경우 뛰어난 투수성으로 인해 구조물을 더욱 효과적으로 안정시킬 수 있다. Mattress/Filter 설계시 Mattress/Filter의 뒷면에 작용하는 토압의 방향과 크기를 결정하여 이에 안정한 구조가 되도록 설계해야 한다.



① Mattress ② 채움재(감람석현무암) ③ 고정핀 ④ 투수성 부직포 ⑤ 식생매트

**그림 1. 사면 보호용 Mattress/Filter 시스템의 구성**

Mattress/Filter 시스템은 Mattress/Filter의 자중과 식생에 의해서 유속에 저항하는 구조로서 Mattress/Filter 시스템의 자중의 대부분을 차지하고 다공성 구조를 생성하여 식생의 서식공간을 확보할 수 있게 하는 채움재는 풍화된 암석이나 풍화를 받기 쉬운 암석, 동결 현상으로 부서질 우려가 있는 암석은 사용하지 않아야 하며, 압축강도가 500Kg/cm<sup>2</sup> 이상, 흡수율은 5% 이하, 비중은 약 2.4t/m<sup>3</sup> 이상이어야 한다.

Mattress/Filter 시스템에서 채움재의 크기는 망눈에서 빠져 나오지 않는 크기로 망눈 크기의 1.5배 이상 이라야 한다. 오각 Mattress는 직경 120mm 이상, 육각망, 사각망은 150mm 이상의 채움재를 사용한다. Mattress/Filter의 채움재 크기가 너무 커서 채움재 사이의 공극이 크게 되면 Mattress/Filter 구조물의 자중이 적어지게 되고 Mattress/Filter의 두께보다 큰 채움재를 채우게 되면 Mattress 덮개가 설치되지 않거나 공극이 커져 법면보호기능이 저감된다. 따라서 채움재 최대 크기는 상자형 개비온일 경우 300mm를 넘지 않는 것이 좋으며, Mattress/Filter는 Mattress 두께의 0.5배 이하라야 한다.

Mattress/Filter의 채움재 사이의 공극은 작을수록 좋기 때문에 이러한 작은 공간을 채우기 위해서는 망눈 크기보다 작은 돌을 사용할 수도 있다. 주의할 점은 작은 공극을 채우기 위한 돌은 전체 채움재 무게의 15%를 넘어서는 안 된다. 즉, Mattress/Filter에서 전체 채움재 무게의 85% 이상이 망눈 크기보다는 커야 한다. 또한 채움재 모양이 얇은 판 모양이나 긴 막대모양은 망에서 빠져나오기 쉽기 때문에 피해야 한다.

따라서 표 1에 나타난 화산석의 물리적 특성을 볼 때, 표선리현무암은 채움재로 사용하기에 부적합하고 비중의 평균범위가 2.55 ~ 2.81이고 공극률이 4 ~ 11%범위인 감람석현무암은 채움재로 사용하기에 적합하다고 할 수 있다.

### 3. Mattress / Filter의 배수압소산 효과분석

각 층의 높이가 1.0m인 3단 화산석 옹벽(옹벽배면의 토립자 유실을 방지하기 위해 화산석을 채운 필터매트 사용)과 일반 콘크리트 옹벽의 단위면적당 배수능력을 비교분석하면 다음과 같다.

먼저 필터조건을 결정하면, 투수계수가 필터매트 품질기준( $k=1.0 \sim 9.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ )의 중간크기인  $k=4.5 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 를 적용하였고 두께는 2m/m 이상의 두께가 유효하나 내구성 및 작업성을 고려하여 통상적으로 10m/m를 적용하였다.

따라서, 배면 지하수위가  $h=2.0\text{m}$ 일 때 1m<sup>2</sup>당 필터의 배수능력은 Darcy의 법칙을 적용하면,

$$Q = k \frac{\Delta h}{l} A = (4.5 \times 10^{-2}) \times \frac{200}{1} \times (1 \times 10^4) = 0.0900 \text{ (m}^3/\text{sec)}$$

같은 조건일 때 콘크리트 옹벽의 배수능력은 1m<sup>2</sup>당 50m/m 배수공 1개소를 옹벽하단부에 설치하였을 경우,

$$Q = A \times \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} = \frac{\pi \times 0.05^2}{4} \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 2.0} = 0.0123 (\text{m}^3/\text{sec})$$

따라서 배면 지하수위에 따른 화산석 옹벽의 배수압소산효과는 표 2와 같고 지하수위가 높을수록 화산석을 채움재로 사용한 옹벽은 콘크리트 옹벽에 비해 배수압소산효과가 크다는 것을 알 수 있다.

표 2. 지하수위에 따른 화산석 옹벽과 콘크리트 옹벽의 배제량 비교

배면 지하수위 ( $\Delta h$ , m)	배제량(Q, m <sup>3</sup> /sec)		배제량 비교 (A/B)	비 고
	화산석 옹벽(A)	콘크리트 옹벽(B)		
1.0	0.0450	0.0087	5.1724	
2.0	0.0900	0.0123	7.3171	
3.0	0.135	0.0151	8.9404	

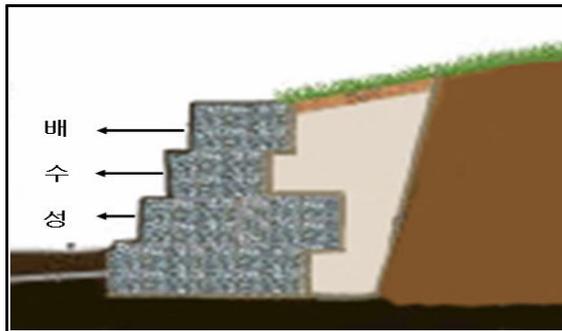


그림 2. Mattress/Filter의 배수성



그림 3. 성토사면의 Mattress/Filter

#### 4. 결론

지금까지 본고에서는 절·성토 사면의 안정성을 위하여 화산석을 채움재로 한 Mattress/Filter구조의 배수압 소산효과에 대하여 연구하였으며, 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

- 1) Mattress/Filter는 다공성이 뛰어나 자연배수가 가능한 구조물로서 구조물의 사면안정에 우수한 것으로 판단된다.
- 2) 화산석은 제주지역에 다량 분포하는 암석으로 암석의 크기 및 공극률 등의 물리적 특성을 조사한 결과 비중의 평균범위가 2.55 ~ 2.81이고 공극률이 4 ~ 11%범위인 감람석현무암은 Mattress/Filter의 채움재로 적합한 것으로 판단된다.
- 3) 절·성토사면 또는 구조물 배면에 지하수위가 있다면 안전율은 현저하게 떨어진다. 이와 같이 일시적으로 발생된 수압은 구조물 붕괴사고의 원인이 될 수 있다. Mattress/Filter는 채움재인 화산석 사이에 공극이 있어 물이 자유롭게 왕래할 수 있으며, 콘크리트 구조물 옹벽과 비교해본 결과 구조물 배면에서 수압을 소산시키는 효과가 있음을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 권병두, 정호준, 이희순(1993). 제주도예 분포하는 화산암류의 물리적 특성, 한국지구과학회지, Vol. 14, No 3, 1993, pp.348-357
2. 지홍기, 배상수, 임기석, 허수영(2001). Mattress/Filter를 이용한 호안구조물의 수리학적 특성, 한국수자원학회 학술발표회 논문집,
3. 지홍기(2001). Gabion을 이용한 방재 및 친환경 구조물, 영남대학교부설 방재연구소, 시설물방재와 친환경 건설 학술심포지움 논문집.
4. 박재민, 박기범, 지홍기, 이순탁(2003). Mattress/Filter용 Slag의 수리학적 안정성, 한국수자원학회 학술대회지, 한국수자원학회 03 학술발표회논문집(2), pp.923-926
5. 박재민, 배상수, 이승윤, 지홍기, 이순탁(2004). Mattress/Filter를 이용한 절개지사면의 배수압소산과 식생 복원효과, 한국수자원학회 학술대회지, 한국수자원학회 04 학술발표회 특별세션/국제세션/발표논문 초록집, pp.271-271
6. 김희수(2004). Gabion 옹벽의 배수압 소산효과에 관한 연구, 영남대학교 산업대학원 석사논문
7. 최형식(1998). 현무암 건설재료의 점붕(漸崩)특성과 현지측정, 대한토목학회 자연과 문명의 조화
8. Simons, D. B., Chen, Y. H. and Swenson, L. J.(1983). Design Guidelines & Criteria. Channels & Hydraulic Structures on Sandy Soils, Officine Maccaferri Technical Report, Fort Collins, Colorado.
9. Maynard, S. T.(1995). Gabion-mattress Channel Protection Design, J. Hydr. Engrg., ASCE, 121(7)