

사면 Mattress에 의한 배수압변화와 식생복원

Effect of Backwater Pressure and Restoration by Mattress

박희윤¹⁾, 배상수²⁾, 지홍기³⁾, 이순탁⁴⁾

Hee Yoon Park, Sang Soo Bae, Hong Kee Jee, Soontak Lee

요 지

사면의 식생이 초기에는 강우에 의해서 표면흐름, 지하수위 증가, 지표수의 침윤에 의해서 성장이 될 수 있으나, 시간이 경과함에 따라 식생에 의한 사면의 안정성을 확보 하는 데에는 큰 영향을 미치지 못한다. 즉, 사면의 식생을 복원시켜 식물근(뿌리)에 의해서 사면을 안정화 시키기 위해서는 사면의 위치, 고도 및 방향 등에 따라 적용할 수 있는 식물의 선택과 성장에 충분한 수분을 보습할 수 있는 구조의 사면계획과 구조물 설치가 필수적이다.

본 연구에서는 절·성토면에서 경사면의 붕괴를 방지하고 식생을 복원하는 방법으로 Mattress Gabion을 제안하였다. 정형화되고 유연성 있는 다공성 Mattress 구조를 통한 식생의 복원은 사면의 안정과 환경친화적인 목적을 모두 만족할 수 있었다. 특히, Gabion 근고공이 설치된 이후에 공극이 큰 Mattress 구조물을 중심으로 식물의 뿌리를 지반에 직접 연결하거나, 식생 활착이 어려운 암반 절취 사면에서도 Mattress 옹벽을 통해서 식물이 양질의 흙에 직접 활착할 수 있도록 설계한 사면 Mattress의 경우는 사면의 안정성 증대와 아울러 지하수의 표면흐름과 투수 및 침윤에 의한 식물의 성장피해를 최소화하고 시간이 지날수록 식생에 의해서 Mattress Gabion 옹벽이 내구성과 유연성을 유지할 수 있었다.

핵심용어 : Mattress, Gabion, 배수압, 사면, 식생복원

1. 서 론

일반적인 건설행위에 의해서 발생하는 사면은 경사가 급하여 불안정하고 시공 후에도 식생이 복원되기 위해서는 긴 시간이 소요되고 있으므로, 보다 자연스러운 식생의 복원방법이 요구되고 있다. 지금까지의 사면 녹화는 절토부의 경우 평폐와 Seed spray 및 Net잔디가 주종을 이루고 있었으며, 성토부의 경우 줄폐와 Net잔디 공법이 천편일률적으로 적용되고 있어, 일정한 사면구배와 균일한 녹화방법으로 인해서 경관이 복원되지 못하고 있었다.

사면 Mattress에 관한 연구는 최근 환경에 관한 관심이 급증하면서, 배상수·지홍기(2001)가 개비온 옹벽의 배수특성과 안전해석에 관한 연구를 수행한 이후에, 박재민(2003)이 사면 Mattress/Filter 시스템에 의한 육상생태계 복원기법을 연구한 바 있었다. 이어서 지홍기(2003)는 Mattress/Filter 시스템의 다공 메커니즘에 관한 연구에서 다공성 채움재의 단위용적중량, 함수량을 측정하여 공극율 산정하고 투수성, 배수압 소산의 우수성에 관한 실험 결과를 발표하였고, 이를 토대로 지홍기(2004)는 Mattress/Filter에 의해 육상생태계를 복원하고 그 효과를 분석하기에 이르렀다. 한편 식생복원성에 관한 연구는 이규석(2003) 유현석 외(2003) 등에 의해서 친환경 구조물의 식재기반이나 계획기법과 운용방안에 관한 연구를 수행한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 원지반을 절취하여 생긴 절토 비탈면이 대부분이 암반이며, 이러한 암반 비탈면에

* 정회원 · 영남대학교 토목공학화 박사과정 · E-mail : bullet7@yumail.ac.kr

** 정회원 · 영남대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : subae@yumail.ac.kr

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

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

서는 지속적인 식생의 복원이 거의 불가능하다는 것을 감안하여, 전기한 문헌 조사 및 실험결과를 토대로 새로운 사면 Mattress를 제안토록 하였다. 배수압 변화와 관련된 식생환경성 검토는 침윤해석 프로그램인 Seep/w를 사용하여 해석하였다.

2. 다공체(사면 Mattress) 주변의 사면구조와 침투해석 이론

2.1 절·성토사면의 특성

본 연구에서는 절취사면의 녹화를 위해 시공하는 녹화공법 현장을 조사한 자료를 분석하여 공법의 적절성, 공법의 안전성 여부, 녹화식생의 적용 타당성, 녹화식생의 생육특성, 주변식생의 침입상태 등을 조사하여 절취사면 녹화공법이 효과적인 시공여부를 분석하였다. 절취사면의 녹화방법 선정은 우리나라에서 각종 절취사면 녹화공법으로 시공된 중앙고속도로, 중부고속도로를 비롯한 11개 노선에서 67개소의 절취사면을 대상으로 하여 조사를 수행하였으며, 현장조사한 자료를 분석하여 절취사면 유형별 녹화공법을 제시하고 바람직한 녹화방법을 제시하고자 하였다. 또한 국내의 기 발표된 연구논문과 학술자료, 보고서 등을 수집하여 기초자료로 활용하였다.

그 결과 원지반을 절취하여 생긴 절토 비탈면의 특징은 대부분이 암반 또는 풍화암으로 구성되어 있고 식생활착에 매우 불량한 토양조건을 가지고 있었으며, 비탈면이 점토인 경우도 고결로 인해서 불투수성이 식물생장에 영향을 미치고 있었다. 특히, 경암이나 연암 등의 암반 비탈면에서는 풍화에 의한 균열이나 암반의 틈을 통해서 성장하는 일부 식물을 제외하고는 별도의 구조물 없이 자연상태에서의 식생복원이 거의 불가능하였다. 반면에 성토 비탈면은 대부분 사력 또는 이완된 흙으로 구성되어 있어 재료의 조직과 구조가 어느 정도 유연성이 있으나 사면을 안정시키기가 어려운 실정이며, 우수기에 토사의 유실을 막기 위해서는 성토층의 지하수를 신속하게 배제시키면서 식생을 촉진시킬 수 있는 공법이 마련되어야 한다.

2.2 다공체(사면 Mattress) 구조

Mattressr 옹벽은 그림 1에서 보는 바와 같이 도로구조물, 제방보호, 토양보호장치, 교량의 교대 및 절·성토부 사면의 붕괴를 방지하는데 사용되고 있으며, 도로건설을 포함한 각종 개발행위로 인해 하천이나 수변과, 육상의 식생 복원 및 사면의 식생 및 사면의 안정성 확보에 큰 효과를 기대하고 있다. Mattress는 슬래그나 폐콘크리트, 사석 등을 채움재로 사용하므로 경제적으로 유리한 이점이 있고 다공성 구조인 채움재로부터 우수한 배수압 소산능력을 가지며, 이는 식물의 통기성과 배수압 소산성을 확보하여 생육에 적합한 환경을 제공해 줄 수 있는 특성을 지니고 있다.

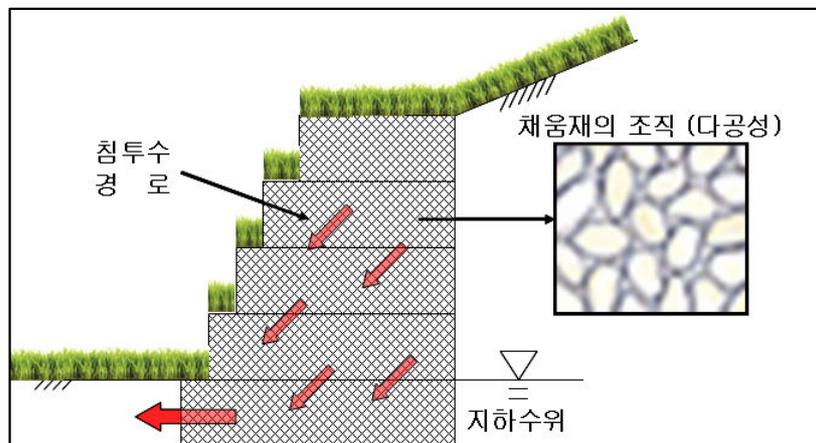


그림 1. Gabion 및 Mattress의 배수압 소산성

Mattress는 철망을 사용하므로 채움재의 결속력을 증가시켜 지반이 불안정한 지역에 위치하더라도 유연성이 뛰어나 붕괴의 위험이 적고 침식방지 및 내구성이 뛰어난 장점을 지니고 있다. 특히, 그림 1과 같이 Mattress 옹벽은 다공질 형태의 중력식 구조물으로써 자연배수성과 지지력을 동시에 지니고 있어서 비탈면의 사면 안정에 도움이 되는 구조물이 되고 있다.

3. 다공체(사면 Mattress) Gabion 옹벽의 침투해석 적용

3.1 다공체 Mattress 옹벽의 구조

본 연구에서는 현재 도로건설을 포함한 각종 현장에서 발생하는 절취사면이 대부분 암반 또는 풍화암이며, 식생의 활착이 매우 어렵다는 점을 감안하여 복토를 실시한 이후에 다양한 초·목본류를 혼파하고 이들을 생장시킬 수 있는 사면 Mattress 옹벽을 개발하였다. 그림 2와 같이 Mattress 옹벽을 중심으로 상부와 하부의 복토부는 분리되어 하나의 거대한 화분(식생 컨테이너)의 역할을 하게 되며, 따라서 하부의 불안정 및 붕괴가 상부에 전혀 영향을 미치지 않는 상호 독립적인 구조를 가지고 있다.

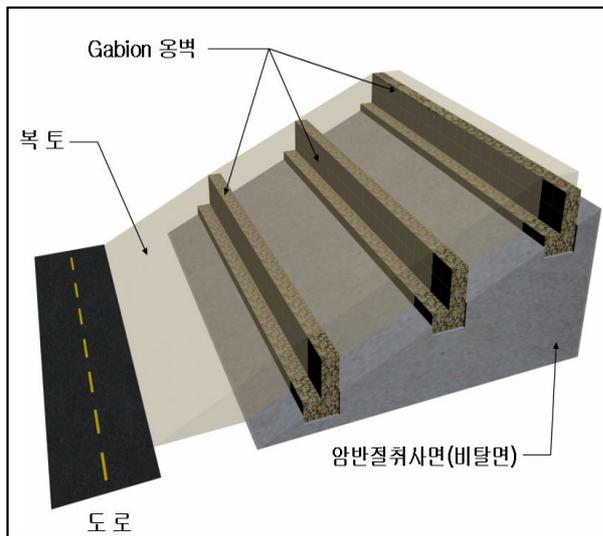


그림 2. Mattress 옹벽의 투시도

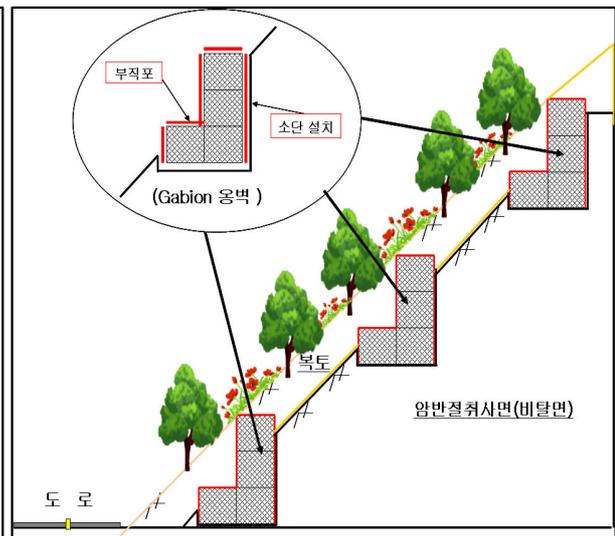


그림 3. Mattress 옹벽의 설치도

Mattress 옹벽은 각 소단에서 고정되어 상부 복토부의 수리역학적 사면의 안정성을 유지하며, 옹벽 주변을 따라 설치되는 부직포는 흙의 유실을 방지하고 수분의 급속한 유출을 억제시켜 식생의 활착과 성장에 큰 도움을 줄 수 있다. 그림 3은 암반 절토사면의 Mattress 옹벽의 설치에 대해서 설명하고 있다.

3.2 채움재와 복토의 토질정수

사면 Mattress의 배수압 변화 및 안정성 검토를 위해서 복토부분에 대하여 Seep/w에 의한 침투해석을 수행하였다. Seep/w는 지반공학 범용프로그램으로서 평형방정식, 연속방정식, Galerkin의 가중잔차법(Weighted Residual Method) 등을 지배방정식으로 선택하여 2차원 연속공간을 유한요소망(Finite Element Mesh)으로 분할하고 이를 통한 침투해석을 수행하여 해를 구하는 프로그램이다. 포화흐름과 불포화흐름 모두를 해석할 수 있도록 공식화되어 있으며, Darcy의 법칙을 따르는데 그 흐름은 동수경사와 동수전이도(투수계수)에 비례한다.

메쉬의 크기는 0.5~1m까지 0.1m 단위로 변화시켰으며, 그 결과 격자 크기 0.5에서 가장 정도높은 결과를 얻을 수 있었다. 이때 해석에 사용된 성토부의 재료는 표 1과 같이 일반 도로나 제방의 설계시 지표가 되는 재료 SP(poorly graded sand : 입도불량한 모래)와 SC(clayey sand : 소립세성토 포함 모래)의 토질정수를 사용하였다.

사면 Mattress에 의한 비탈면의 배수압 소산 과정을 시뮬레이션하기 위해서 침투 시간을 1시간부터 24시간까지 1시간 단위로 변동시키면서 해석을 수행하였다.

표 1. Mattress 옹벽의 안정성 해석에 사용된 성토재료의 특성

재료	탄성계수 (E, t/m ²)	단위중량 (w, t/m ³)	간극비 (e)	투수계수 (k, m/sec)	점착력 (c, t/m ²)	내부마찰각 (φ, °)
SP	3,500	1.8	0.5	1.0e-004	0.4	37
SC	2,000	1.75	0.48	1.0e-006	4.5	20

3.3 침투해석 결과의 고찰

성토부 표면에서 작용하던 흐름은 시간이 지남에 따라 성토부 전반에 깊숙이 침투하게 되며, 초기 표면흐름 이후에 약 5시간이 지나면 Mattress 옹벽 몸체에 침윤선의 방향과 크기가 도달된다. 이후 18시간이 경과하면서 복토부 전반에 충분한 수분이 공급되고 24시간이 경과하면 다공성의 Mattress 옹벽 몸체에 흐름의 크기와 방향이 집중되어 배수압의 원활한 소산이 이루어지기 시작한다.

한편 그림4 에는 SC재료에 대하여 지속시간이 24시간일 때의 배수압 변화와 체적함수량의 변화에 관한 등고선을 나타내었다.

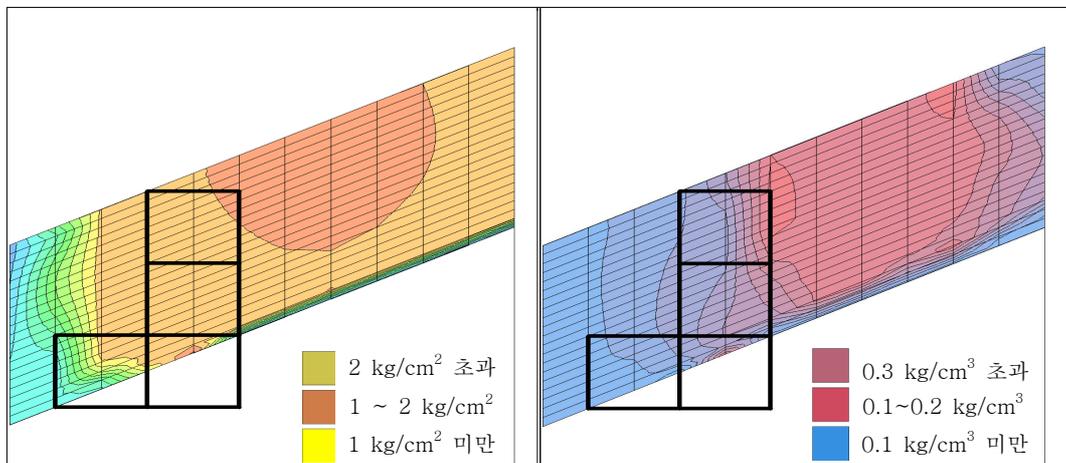


그림 4a. 복토부 배수압의 크기(SC, t=24hr) 그림 4b. 복토부 체적함수량(SC, t=24hr)

지속 시간별로 복토부 중심점으로부터 산정된 흐름의 특성(압력, 속도, 동수경사, 투수계수, 체적 함수량 그리고 체적 함수량 함수의 경사)은 아래의 표 2와 같다.

해석결과 본 연구에서 제시한 구조가 비탈면임을 감안할 때, Mattress 옹벽을 중심으로 하부 복토구간의 1/4지점까지는 초본 식물이, 상부 3/4지점에서는 목본 및 혼과가 모두 가능한 것으로 나타났다. 또한 배수압과 체적함수량에 대한 분석결과 복토부위에서의 배수압 소산을 통한 안정성과 식물이 성장하는데 요구되는 보습성은 매우 우수하며, 시간이 지남에 따라 보다 안정적인 양상을 나타내었다.

표 2. 복토 중앙부의 흐름 특성

구 분	t = 6hr	t = 18hr	t = 24hr	비 고
Pressure	-2.08E+ 02	2.07E+ 00	1.52E+ 00	
X-Velocity	1.20E-18	1.11E-07	1.33E-07	
Y-Velocity	-2.32E-18	-6.06E-07	-5.88E-07	
XY-Velocity	2.61E-18	6.16E-07	6.03E-07	
X-Gradient	6.03E-08	2.22E-01	2.67E-01	
Y-Gradient	-1.16E-07	-1.21E+ 00	-1.18E+ 00	
XY-Gradient	1.31E-07	1.23E+ 00	1.21E+ 00	
X-Conductivity	1.99E-11	5.00E-07	5.00E-07	
Y-Conductivity	1.99E-11	5.00E-07	5.00E-07	
Vol. Water Content	1.80E-02	3.85E-01	3.85E-01	

4. 결론

본 연구에서는 제안된 사면 Mattress 옹벽 및 Mattress구조물은 흙의 깎기 또는 쌓기 등에서 경사면의 붕괴를 방지하고 식생을 복원 하는데 유용하며, 특히 사면을 따라 계단식으로 설치된 Mattress 옹벽의 경우는 절·성토 및 연약지반과 암반지반 등의 식생 활착이 어려운 곳에서도 식물이 양질의 흙에 직접 활착할 수 있도록 설계되었다. 또한 Mattress 옹벽에 설치된 부직포는 흙의 이동과 유실을 방지하고 보습성을 유지하여 식생 발달에 더욱 유리한 조건을 형성하였다.

Mattress 옹벽은 옹벽몸체를 기준으로 상·하부의 구간이 대형 식생컨테이너의 역할을 수행 하게 되므로 각 구간별로 상호 역학적인 간섭이 이루어지지 않고, 다량의 우수가 침투할 경우에도 침윤선은 약 5시간 이내에 다공의 옹벽에 도달하게 되어 사면의 슬라이딩 방지와 배수압 소산에 대하여 매우 우수함을 확인할 수 있었다. 침투는 성토부 전반을 따라 형성되며 상부 3/4 구간에 대해서는 뿌리가 다소 큰 관목류의 경우에도 충분한 수분을 공급받을 수 있다고 판단되었다.

정형화되고 유연성 있는 다공성의 Mattress 구조를 통한 식생복원은 시간이 경과함에 따라 식생의 뿌리가 성토부 및 구조물에 활착되므로 사면의 응집성과 안정성 그리고 환경친화적인 목적을 모두 만족할 수 있었다. 따라서 사면 Mattress 옹벽은 현장상황을 고려하여 고도와 방향에 따른 올바른 식생의 선택만 이루어진다면 비탈면의 다양성을 유지할 수 있고, 안정성 증대와 아울러 지하수의 표면흐름과 투수 및 침윤에 의한 식물의 성장피해를 최소화하는 한편, 시간이 지날수록 내구성과 유연성을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

이 논문은 환경부 한국환경기술진흥원이 추진하는 "2005년도 차세대 핵심환경기술개발사업" 의 자유공모 과제(과제번호 : 051-041-028) 연구수행 결과의 일부이며, 연구비지원에 감사드린다.

참 고 문 헌

1. 지흥기 외(2004), Mattress/Filter 시스템의 다공 메커니즘에 관한 연구, 한국물환경학회 학술논문집
2. 지흥기 외(2004), Mattress/Filter에 의한 육상생태계 복원 효과분석, 대한상하수도학회 학술논문집
3. 박재민 외(2003), 사면 Mattress/Filter 시스템에 의한 육상생태계 복원기법, 한국물환경학회 학술논문집
4. 이규석 외(2003), 녹을 창조하는 식재기반, 보문당.
5. 유현석 외(2003), 환경친화적 계획기법 및 운용방안 개발에 관한 연구, 한국환경정책·평가연구원
6. 배상수 외(2001), 개비온 옹벽의 배수특성과 안전해석, 대한토목학회 학술논문집