

보강토옹벽 뒷채움재료로서 쇄석혼합토의 강도특성 연구

Strength Characteristics of Soils mixed with Crushed Stone as a Backfill of Reinforced Earth Wall

박종범 ^{1*}	Park, Jong-Beom	주재우 ²	Ju, Jae-Woo
김현두 ³	Kim, Hyun-Do	나현호 ⁴	Na, Hyun-Ho
한상호 ⁵	Han, Sang-Ho		

ABSTRACT

The most important thing in the design of the reinforced earth retaining wall is to obtain the good backfill materials. However there was a special case using soils mixed with the crushed stone, because the field ran short of good backfill soils. Accordingly in this study various kind of tests were performed according to the mixing content of a crushed stone, which are the gradation curve, the direct shear test and the pullout test. From the test results at first the gradation of soils mixed with crushed stone has been compared with the selecting standard as backfill of reinforced earth wall. And the gradation standard has been satisfied in case of mixing ratio 20% of a crushed stone under 19mm. Also the direct shear test and the pullout test have been performed and at the test results the shear strength parameter and the pullout strength parameter were increased with the increase of the mixing content of a crushed stone. It has been thought that this study will give important data to a designer in designing the reinforced earth wall with soils mixed with crush stones.

요지

보강토 옹벽에서 가장 중요한 것 중 하나는 양질의 뒷채움 재료를 구하는 것이다. 그러나 양질의 재료가 부족하여 부득히 부족한 토사대신 현장 유용토인 쇄석을 혼합하여 보강토 옹벽을 축조한 사례가 있었다. 따라서, 본 연구에서는 보강토옹벽의 뒷채움 재료로서 쇄석혼합토를 사용할 경우 혼합비에 따른 입도분포, 전단특성 및 인발특성에 대해서 각각 실험을 통하여 혼합비에 따른 특성변화를 검토하고자 하였다. 또한, 다양한 쇄석의 함유량에 대해 입도 선정기준에 적합한지 여부를 검토하였는데, 시험결과 입도19mm이하의 쇄석을 20%까지 혼합한 경우 뒷채움재료의 입도기준을 만족하였다. 전단강도정수 및 인발정수를 구하는 시험을 실시하였는데, 정수들은 쇄석함유량이 증가함에 따라서 증가하였다. 쇄석혼합토가 뒷채움재료로 사용될 경우 본 연구결과는 설계참고자료가 될 것으로 판단된다.

Keywords : Crush stone, Mixed soil, Backfill, Reinforced earth retaining wall

1. 서론

보강토옹벽의 가장 중요한 설계 및 시공요소는 옹벽높이, 보강재종류와 길이, 포설간격 그리고 뒷채움 재료라

말할 수 있다. 특히 부적절한 뒷채움 재료를 사용하는 경우 배수불량으로 인해 전단강도가 저하하면서 보강토옹벽의 붕괴를 초래할 수 있으므로 신중하게 검토해야 할 항목이다. 일반적으로 보강토옹벽의 뒷채움 재료로는 양질의

1* 정회원, 신명건설기술공사 기술연구소 소장 (Member, Director, Shinmyeong Construction Engineering, Lo., Ltd., E-mail: bankgeo@hanmail.net)

2 정회원, 순천대학교 토목공학과 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil & Eviro. Eng., Sunchon National Univ.)

3 정회원, 순천대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Member, Ph. D. Student, Dept. of Civil & Eviro. Eng., Sunchon National Univ.)

4 정회원, 순천대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Member, Ph. D. Student, Dept. of Civil & Eviro. Eng., Sunchon National Univ.)

5 정회원, 순천대학교 토목공학과 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil & Eviro. Eng., Sunchon National Univ.)

입상토를 사용토록 규정하고 있는데, 이는 세립토와 비교하여 포설 및 다짐이 용이하고, 투수성 및 강도특성이 우수하기 때문이다.

본 연구는 현장의 특수한 여건으로 인하여 뒷채움재로 사용해야 할 흙이 절대적으로 부족하지만, 쇄석은 손쉽게 구할 수 있는 경우여서, 부득이 쇄석혼합토를 보강토 용벽의 뒷채움재로 사용하게 된 바 선정기준을 참고로 하여 쇄석혼합토 사용의 타당성을 검토하기 위한 것이다. 따라서, 쇄석혼합비율을 조정해가며 쇄석혼합토의 입도, 전단특성 및 인발특성을 얻기 위한 시험을 실시하였다.

2. 국내외 뒷채움토 선정기준

토취장의 흙이 보강토 용벽의 뒷채움토로 사용되기 위해서는 먼저, 적합한 입도분포를 가져야 하고, 둘째로 세립분의 양이 적어야 한다. 표 1은 한국을 포함한 미국(Federal Highway Administration : FHWA, 2001; National Concrete Masonry Association : NCMA, 1997), 프랑스(Ministry of Transportation : M.O.T, 1980), 영국(Department of Transportation : D.T.P, 1983), 일본(米倉豪三 등, 1989)의 뒷채움 재료 선정기준을 정리하였다.

표 1의 MOT 선정기준에서 200번체 통과율 15%미만일 경우에 사용가능하며, 다만 15%이상인 경우에는 다시 15 μ m 통과율을 기준으로 10% 이하일 경우에는 사용가능

하고 20% 이상일 경우에는 사용불가능하다. 그리고 NCMA의 경우 소성지수(PI)는 보통 20이하이고 세립분의 함유량이 50% 이하인 저소성의 세립토를 사용할 수 있지만, 이러한 경우에는 시간의존적 변형 즉 크리프 변형이 발생하지 않는지 확인한 후에 사용해야 한다고 규정하고 있다. 또한 FHWA의 경우 토목섬유와 에폭시 코팅된 보강재의 시공시 손상에 대한 최근 연구결과에 의하여 토목섬유와 에폭시 또는 PVC코팅된 보강재를 사용할 경우, 현장에서 사용할 뒷채움재와 보강재에 대한 실험결과가 없다면, 최대입경을 19mm로 제한할 것을 권고하고 있다.

국내의 한국지반공학회(2003)의 뒷채움기준을 살펴보면, 일반기준은 FHWA와 유사하나 최소기준은 프랑스 MOT와 비슷하다. 특히 15 μ m 통과율을 기준으로 10 ~ 20%일 경우에는 내부마찰각이 25°이상이면 사용가능하다고 규정하고 있다.

3. 실험

3.1 실험내용

실내실험은 토사 100%와 쇄석의 함유량을 10%, 15%, 20%로 조정하여 총 4가지조건의 시료를 이용하였다. 토사 및 쇄석혼합토의 입도를 얻기위해 KS F 2302(2002) 흙의 입도시험방법 중 조립토 분석법인 체분석을 실시하였다. 특히 전단시험시 구속하중은 0.4, 0.8, 1.2, 1.6kg/cm²등 4단

표 1. 각국의 뒷채움재 선정기준

구 분	일반기준, 입도크기 및 특성		최소기준, 입도크기 및 특성
프랑스 (M.O.T, 1980)	125mm 80 μ m	100% ≤ 15%	80 μ m > 15% 경우 1) 15 μ m ≤ 10% 2) 15 μ m =10~20% ϕ ≥ 25°(돌기형), δ ≥ 22°(판형)
영 국 (D.T.P, 1983)	125mm 100% 10mm 25~100% 63 μ m 0 ~10%	90mm 85~100% 600 μ m 10~65%	425 μ m 통과흙의 LL ≤ 45%, PI ≤ 20% 2 μ m ≤ 10%
미 국 (F.H.W.A, 2001)	102mm(4in) 0.425mm(No.40) 0.075mm(No.200)	100% 100~60% 0~15%	PI ≤ 6%
미 국 (N.C.M.A, 1997)	102mm(4in) 4.76mm(No.4) 0.425mm(No.40) 0.075mm(No.200)	100% 100~20% 0~60% 0~15%	PI ≤ 20%
일 본 (米倉豪三 등, 1989)	최대입경 350mm 150mm 74 μ m ≤	≤25% ≤15%	최대입경 350mm 150mm ≤ 25%, 74 μ m ≤ 25% 5 μ m ≤ 7%
한 국 (한국지반공학회(2003))	100mm(No.18) 0.425mm(No.40) 0.075mm(No.200)	100% 0~60% 0~15%	0.075mm > 15% 경우(예외규정) 1. 15 μ m ≤ 10 %(사용가능) 2. 15 μ m = 10~20%(ϕ ≥ 25°)(선택적사용) 3. 15 μ m > 20%(사용불가능)

계로 구분하여 재하 하였으며, 인발시험의 경우에는 0.3, 0.6, 0.9kg/cm² 등 3단계로 나누어 인발시험을 실시하였다.

전단 및 인발시험시 속도는 1mm/min로 일정하게 하였으며, 인발력은 토목섬유고정장치에 연결되어 있는 로드셀(Load Cell)에 의하여 측정하였다. 특히 인발속도는 인발력에 미치는 영향이 5~10% 정도이므로 ASTM(American Society for Testing and Materials, 2005)과 GRI(Geosynthetic Research Institute, 1995)의 시험방법에서도 1mm/min로 규정하고 있다.

전단 및 인발상자 토조내 화강풍화토의 모형지반은 화강풍화토의 함수비를 다짐시험에 의해 결정된 최적함수비로 조절하여 시료를 준비하고, 준비된 시료를 토조내에 포설한 후 4.5kg의 rammer를 45cm의 낙하고로 떨어뜨려 다짐하는데 다짐층수는 4층으로 하고, 560회 타격하여 제작하였다. 토조내에서의 화강풍화토에 대한 다짐방법은 흙시료의 다짐 시험결과를 근거로 하여 다짐 에너지 방정식에 근거하였다.

다짐시험의 단위체적 당 다짐에너지는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$E = \frac{W \cdot H \cdot n_b \cdot n_l}{V} \quad (1)$$

여기서, E = 다짐에너지, W = 햄머의 중량, H = 햄머의 낙하높이, n_b = 각층 당 다짐 횟수, n_l = 다짐 층수, V = 몰드의 부피

3.2 사용보강재

인발시험에 사용한 토목섬유는 고밀도 폴리에틸렌을 일방향으로 열연신하여 제조한 geogrid 제품인 Tenax geogrid로서 최대인장강도는 90kN/m이며, 최대신율은 13.0%고, 망눈크기는 250×17mm이다. 그리고 보강재의 형상은 사진 1과 같다.

3.3 실험장치

그림 1은 대형직접전단시험기를 나타낸 것이며, 그 크기는 길이, 폭, 높이가 각각 30×30×20cm이다. 직접전단시험기는 Shear Box와 Weight System, Moter와 Proving Ring으로 구성되어 있다. 그리고 상부토조에는 평면베어링(Flat bearing)이 부착되어 있어 직접전단시험시 상부토

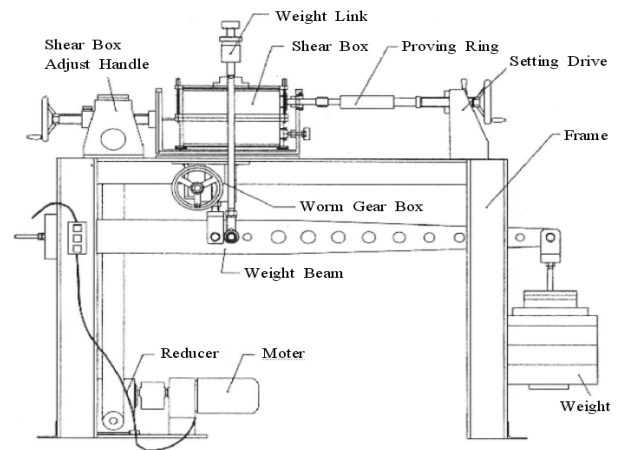


그림 1. 직접전단시험기

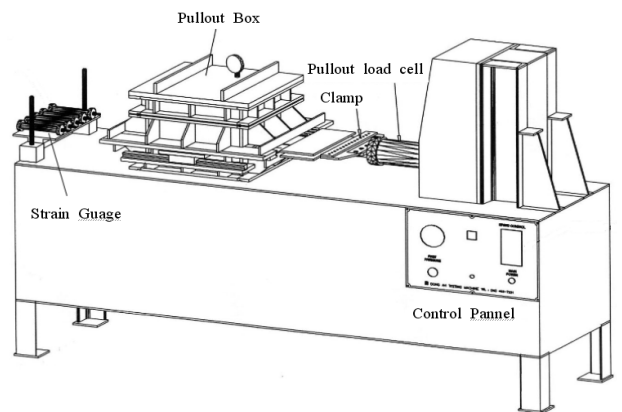


그림 2. 인발시험기

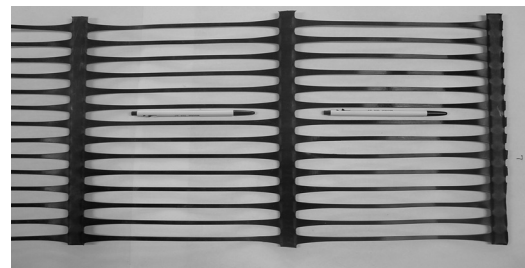


사진 1. Geogrid 보강재

조의 이동이 가능하도록 되어있다. 또한 전단속도범위는 0~3mm/min이고, Load Cell용량은 3000kg이다.

그림 2는 인발시험기를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 토조와 공기압 재하장치(Air pressure bag), 토목섬유고정장치 및 로드셀(Load cell) 등 크게 4부분으로 구성되어 있다. 토조의 재질은 강판이며 크기는 길이 30cm, 폭 30cm, 깊이 20cm이다. 토조는 상·하부로 분리되어 있으며, 상부와 하부 토조는 각각 깊이가 10cm이다. 상부토조의 상부에는 공기압 재하장치가 설치되어 있어 공기압에 의해 토조내에 균등한 수직하중을 가압할 수 있도록 되어

있으며, 공기압 재하장치에 가할 수 있는 최대공기압은 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다. 인발로드셀의 최대용량은 최대 $5,000\text{kgf}$ 이며, 변위속도 제어시스템에 의하여 임의의 속도로 조절이 가능하다. Data Logger는 인발시험동안 전단변위와 전단력을 측정할 수 있는 계측장치이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 입도분포

표 2는 보강토옹벽에 사용될 뒷채움토의 실내토질시험 결과를 한국건설기술연구원과 건설교통부 도로설계편람의 설계기준을 상호 비교하여 제시한 것이다. 표에서와 같이 토사 100% 및 혼합토(쇄석 10%, 15%, 20% 중량비)의 시료 모두 입도와 소성지수 그리고 내부마찰각 등 품질기준을 만족하고 있는 것으로 평가되었다.

본 현장에서 채취한 토사의 경우에는 소성지수가 3.22%이고, 내부마찰각은 30.96° 인 모래질 흙으로서 양질토에 해당된다. 하지만 현장특성상 뒷채움토로 흙의 절대량이 부족할 경우 이와 같이 토사에 쇄석을 혼합할 경우에서도 품질기준을 만족하고 있으며, 보강토옹벽의 안정성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 쇄석함유량에 따른 전단특성

그림 3과 4, 5, 6은 전단변위에 따른 전단응력관계를 도시한 것이다. 실험결과와 구속응력과 쇄석함유량의 증가에 따라 전단응력이 증가하고 있으며, 특히 토사의 최대전단응력이 발생한 후 잔류응력의 감소하고 있으나, 쇄석을 함유한 전단시험에서는 전반적으로 토사보다는 잔류응력이 크게 존재함을 알 수 있다.

4.3 쇄석함유량에 따른 인발 특성

그림 7과 8, 9, 10은 구속응력이 $0.3, 0.6, 0.9\text{kg}/\text{cm}^2$ 로

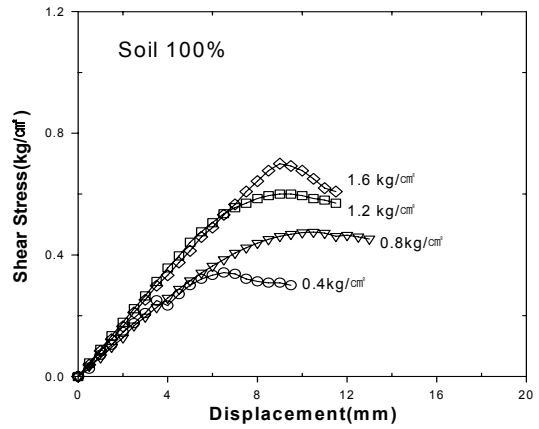


그림 3. 토사 100% 전단응력곡선

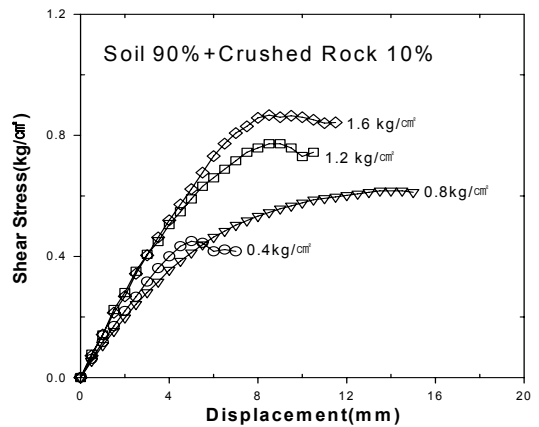


그림 4. 토사 90%+쇄석10% 전단응력곡선

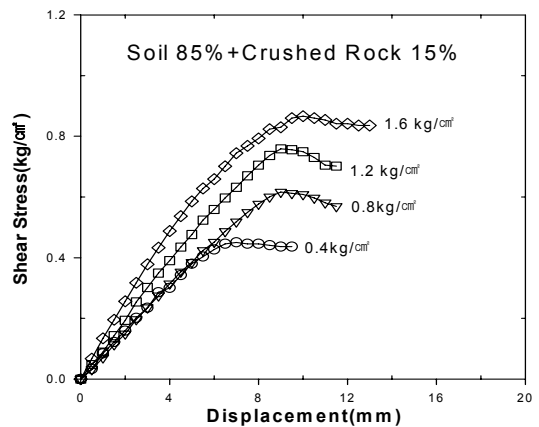


그림 5. 토사 85%+쇄석15% 전단응력곡선

표 2. 뒷채움토의 품질기준 판정

구분	품질기준	토사 100%		토사90%+쇄석10%		토사85%+쇄석15%		토사80%+쇄석20%	
		시험결과	판정	시험결과	판정	시험결과	판정	시험결과	판정
입도	19mm	100%	양호	100%	양호	100%	양호	100%	양호
(KS F2302, 2002)	0.425mm(No.40)	38.08%	양호	36.19%	양호	32.38%	양호	31.17%	양호
	0.075mm(No.200)	5.57%	양호	8.02%	양호	4.53%	양호	5.45%	양호
소성지수(KS F2303, 2000)	6%이하	3.22	양호	3.18	양호	3.17	양호	2.94	양호
내부마찰각(전단)	25° 이상	30.96	양호	34.33	양호	36.24	양호	38.06	양호

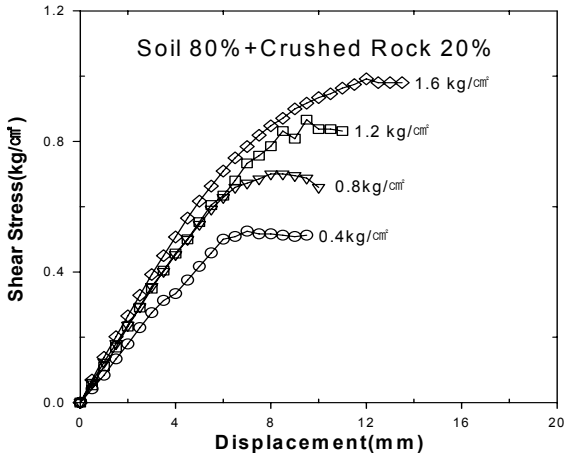


그림 6. 토사 80%+쇄석20% 전단응력곡선

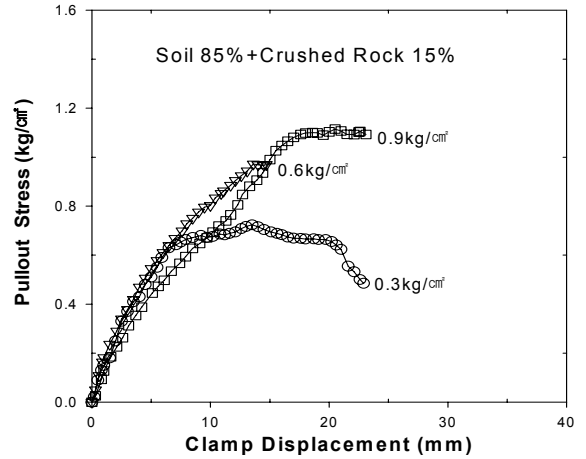


그림 9. 토사 85%+쇄석15% 인발응력곡선

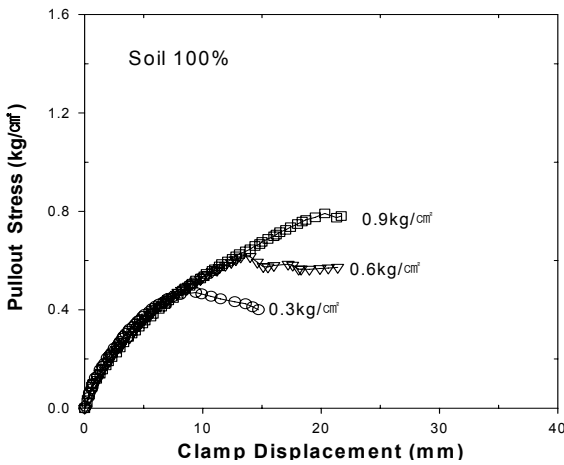


그림 7. 토사 100% 인발응력곡선

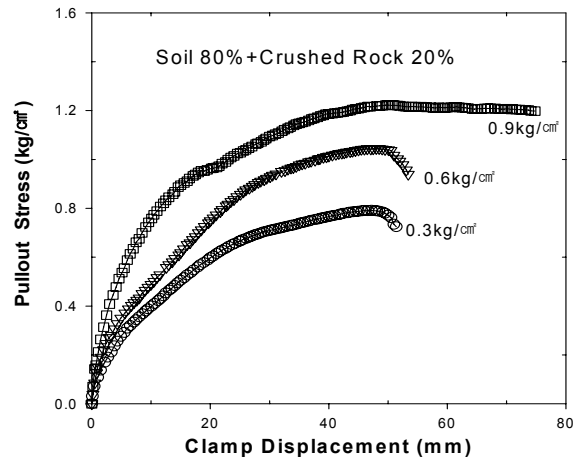


그림 10. 토사 80%+쇄석20% 인발응력곡선

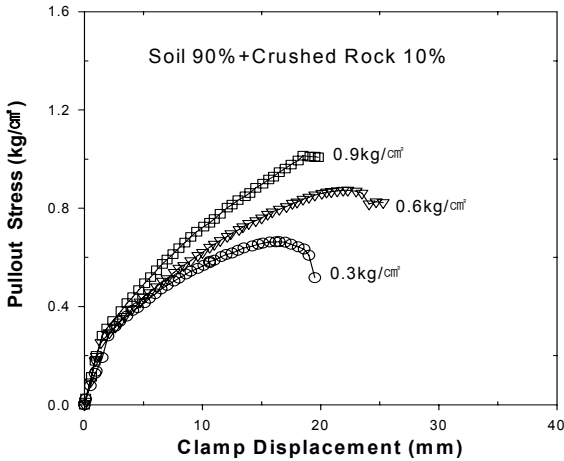


그림 8. 토사 90%+쇄석10% 인발응력곡선

증가할 때 선단인발변위와 인발응력과의 관계를 나타낸 것이다. 실험결과 구속응력과 쇄석함유량의 증가에 따라 최대인발응력이 증가하는 일반적인 경향을 잘 나타내고 있으며, 초기 인발력 상태에서는 일종의 탄성계수라 할 수

있는 기울기는 수직응력이 커짐에 따라 더 큰 값을 보인다. 특히 쇄석함유량이 15%이상이고 구속하중이 0.9kg/cm²일 경우에는 최대 인발응력을 나타낸 후 잔류응력이 상당히 크게 존재함을 알 수 있었다. 또한 피크하중은 인발변위가 5~12mm 정도에서 발생하고 있으며, 구속하중이 증가함에 따라 피크하중에 대한 변위도 증가하고 있다.

4.4 쇄석함유량에 따른 강도특성

그림 11은 구속응력(σ_v)과 전단강도의 관계를 그리고 그림 12는 구속응력(σ_p)과 인발강도의 관계를 나타낸 것이다. 그림 11과 12에서 인발 및 직접전단시험 모두 전단력과 수직력의 관계는 일직선으로 나타났으며, 인발 저항력은 기존 연구결과에서처럼 직접 전단 저항력보다 낮게 나오는 경향을 보이고 있다. 그림 13과 14는 전단강도정수와 인발정수를 산출하여 쇄석함유량에 따른 점착력과 내

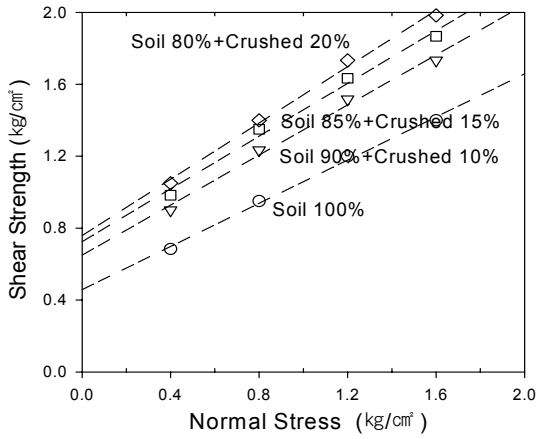


그림 11. 구속응력(σ_v)과 전단강도

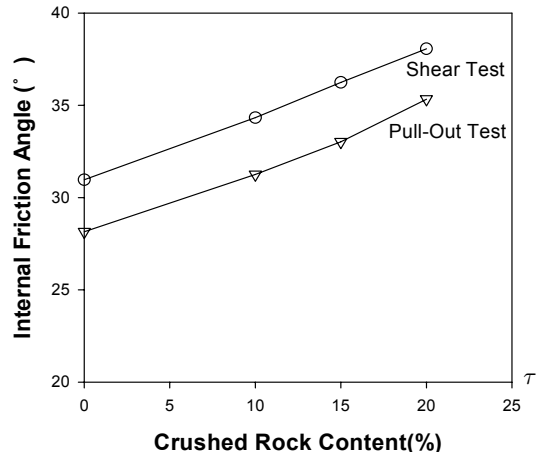


그림 14. 쇄석함유량에 따른 내부마찰각

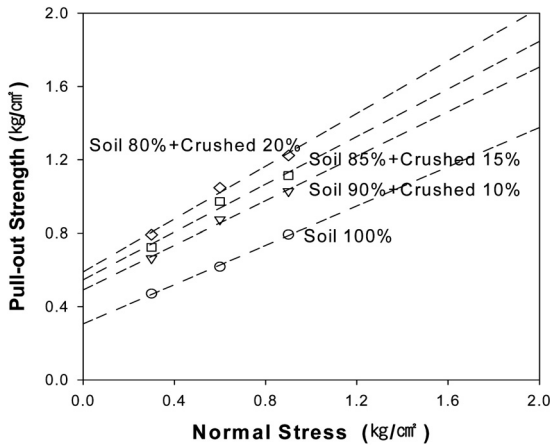


그림 12. 구속응력(σ_p)과 인발강도

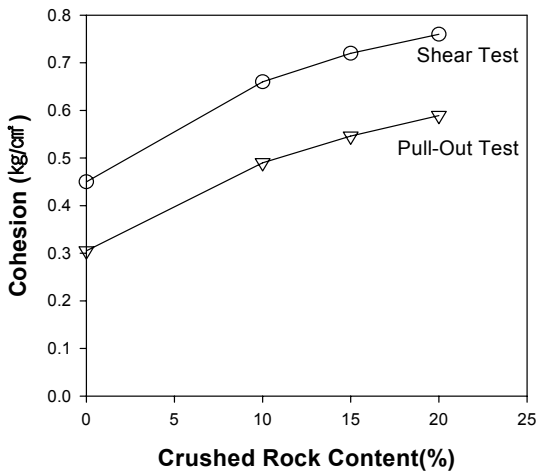


그림 13. 쇄석함유량에 따른 점착력

부마찰각의 관계를 도시한 것이다. 전단시험결과 토사의 경우 마찰각은 30.96° 이며, 쇄석이 10%, 15%, 20%일 경우에는 각각 34.33° , 36.24° , 38.06° 로 증가하였다. 또한 인발시험결과 토사의 경우 마찰각은 28.14° 이며, 쇄석이 10%, 15%, 20%일 경우에는 각각 31.25° , 33.02° , 35.33°

로 증가하였다. 이와 같이 쇄석혼합토의 경우 전단시험결과 내부마찰각이 25° 보다 훨씬 크기 때문에 보강토옹벽의 안정성을 크게 증대시킬 것으로 판단된다. 또한 인발시험결과 인발마찰각은 전단시험의 내부마찰각의 90%정도로 나타났다. 그리고 점착력의 경우 쇄석함유량이 증가함에 따라 다소 완만한 곡선형태로 증가하지만, 내부마찰각의 경우 점착력보다 직선형태를 나타내고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 보강토옹벽의 뒷채움재료로서 양질토의 절대량이 부족한 현장의 경제적인 보강토 옹벽시공을 위하여 부족한 뒷채움재료를 현장 유용토인 쇄석을 혼합한 쇄석혼합토를 사용한 경우 쇄석혼합토의 강도특성을 평가하기 위해 함유량에 따른 전단 및 인발시험을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 토사 100%와 쇄석의 함유량을 각각 10%, 15%, 20% 혼합한 쇄석혼합토의 입도분포를 분석한 결과 구조물기초설계기준 해설의 보강토옹벽 뒷채움 재료의 입도기준을 모두 만족하고 있다.
- (2) 전단시험 결과 토사의 경우 내부마찰각이 30.96° 이며, 쇄석이 10%, 15%, 20% 혼합된 쇄석혼합토의 경우 각각 34.33° , 36.25° , 38.06° 였다.
- (3) 인발시험 결과 토사의 경우 인발마찰각이 28.14° 이며, 쇄석이 10%, 15%, 20% 혼합된 쇄석혼합토의 경우 각각 31.25° , 33.02° , 35.33° 였다. 인발마찰각은 전단시험의 내부마찰각의 90%정도 나타났다.
- (4) 토사 100%와 쇄석의 함유량을 각각 10%, 15%,

20% 혼합한 쇄석혼합토의 실내시험결과 입도기준을 만족하고 뒷채움재료에 필요한 강도특성 만족하였으며, 보강토옹벽의 안정성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 보강토옹벽의 뒷채움재료로 사용되는 양질토의 절대량이 부족한 현장에서 입도기준을 만족하는 쇄석의 혼합율에 따라 효율적으로 이용할 수 있다고 판단된다.

- (5) 그러나, 쇄석은 날카로운 모서리를 가지고 있어 시공시 보강재의 강도를 약화시킬 우려가 있다. 즉, 내시공성 평가를 통하여 강도저하에 대한 적절한 안전율을 적용하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국지반공학회 (2003), 구조물기초설계기준해설, 구미서관, pp.446-447.
2. 米倉豪三, 兼松 陽, 島田後介(1989), 最新 補強土工法, 山海

薈, 東京, pp.50-51.

3. ASTM Standard D 6706-01 (2005), *Test Method for Measuring Geosynthetic Pullout Resistance in Soil*, Annual Book of Standards, Vol.04.13, ASTM International, West Conshohoken, PA.
4. FHWA (2001), *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No.FHWA-NHI-00-043.
5. GRI (1995), *GRI Test Methods GG4 (b) Determination of the Long-Term Design Strength of Flexible Geogrids*, Drexel University, Philadelphia PA.
6. KS F 2302 (2002), *흙의 입도시험방법*.
7. KS F 2303 (2000), *흙의 액성 한계 · 소성 한계 시험 방법*.
8. M.O.T (1980), *Reinforced Earth Structures :Recommendations and Rules of the Art*, France.
9. NCMA (1997), *Design Manual for Segmental Retaining Walls*, 2nd Edition, edited by Coilin, J.G., National Concrete Masonry Association, Virginia, USA.

(논문접수일 2010. 11. 3, 심사완료일 2010. 12. 24)