

화강풍화토의 지오그리드보강 특성연구

Geogrid Reinforced Decomposed Granite Soil

주 재 우*¹ Ju, Jae-Woo
박 종 범*² Park, Jong-Beom
김 병 옥*³ Kim, Byung-Wook

Abstract

For the high stability and economic merits, reinforced earth structures have been welcomed all over the world. Therefore, many researchers have been developing various reinforced methods in retaining wall system. As backfill materials, the use of decomposed granite soil is gradually increasing in our country, because our country has a lot of decomposed granite soil all over the land that we can get easily. However, we don't have much data about the interaction properties between granite soil and reinforcement.

In this study, decomposed granite soil has been chosen as a backfill material and stiff geogrid was used as a reinforcement. And test specimen were made with different compaction degrees of 65%, 80%, 95%. While doing pullout tests, measurements have been done about pullout force, pullout displacement and joints displacement of embedded reinforcement. And vertical loads were 0.2, 0.5, 1.0 kg/cm^2 . From the test results, the interaction properties were investigated between granite soil and reinforcement. Especially, granite soil had a fairly amount of cohesion, which has been ignored in design. And the effect of compaction was very great in the interaction properties of granite reinforcement.

요 지

보강토공법이란 다양한 보강재를 흙속에 삽입하여 흙이 갖지 못하는 인장력을 보충함으로써 구조물을 안정화시키는 공법이다. 그리고 기존공법에 비해 경제적 구조물로 인식되고 있으며 또한 최근들어 전세계적으로 빈발하는 지진에도 그 저항력이 아주 큰 구조물임이 입증되어 현재 토목분야에서 각광을 받고 있는 공법이다. 보강토옹벽의 뒷채움재료로서 현재 우리나라에서 쉽게 구할 수 있는 화강풍화토가 많이 사용되고 있다. 그러나, 설계에 필요로 하는 이에 대한 데이터는 그리 많지 않다.

본 연구에서는 어디서나 쉽게 구할수 있는 화강풍화토를 채취하여 대형 인발시험을 실시하였다. 인발시 흙과 보강재사이의 상호거동을 파악하기 위하여 인발변위, 인발력, 삽입보강재의 각지점에서의 절점변위등을 측정하였다. 그리고 구속응력의 영향을 검토하기 위해서 이들 응력을 0.2, 0.5, 1.0 kg/cm^2 으로 변화시켜 실험을 행하였다. 그리고, 다짐률이 이들 상호거동에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해서 다짐률을 65%, 80%, 95%등으로 시료를 제작하여 서로 비교를 행하였다. 실험결과로부터 화강풍화토의 보강재와의 상호거동특성을 파악하여 제시하였다. 특히 다짐률은 상호거동특성에 큰 영향을 미치는 것으로 드러났으며, 화강토의 경우, 꽤 큰 점착특성이 존재하고 있음을 알 수 있었다.

Keywords : Compaction degree, Direct shear test, Geogrid, Granular soil, Pull-out test

* 1 정회원, 순천대학교 공과대학 토목공학과 교수
* 2 정회원, 순천대학교 대학원 토목공학과 박사과정
* 3 정회원, 한국기술개발(주) 감리부

1. 서론

토목섬유 보강공법이란 흙사이에 인장력이 큰 토목섬유 보강재를 삽입하여 지반과 일체화가 되도록 하는 공법으로 흙과 토목섬유사이의 마찰특성 및 점착특성이 중요한 인자가 된다. 토목섬유를 사용하여 보강하는 대표적인 토목구조물은 보강토옹벽, 보강토사면, 보강토기초구조물 등이 있으며, 구조물에 삽입되어 있는 보강재는 구조물의 안정을 저해하는 토압 등을 감소시키는 역할을 수행한다.

이러한 흙과 토목섬유보강재의 마찰특성 평가에 관한 최근 연구동향을 살펴보면 Jewell이 보강토체의 전단면과 보강재의 경사도에 따른 마찰특성을 평가하였고, Shigenori Hayashi et al(1996)이 보강재 주변 흙의 부피팽창(dilatancy)에 대하여 연구하였으며, Giroud et al(1993)이 구속응력에 따른 흙/보강재의 전단특성을 연구하였다.

국내에서는 조삼덕, 김진만(1995)이 고강도 토목섬유인 지오그리드와 국내의 화강풍화토를 대상으로 한 인발시험을 수행하였으며, 김홍택, 방윤경(1996)은 화강풍화토와 폐 EPS조각을 혼합한 경량성토재에 대해 국내에서 판매되고 있는 두가지 대표적인 강성 및 연성 지오그리드 보강재에 대해 폐 EPS조각의 혼합비를 변화시켜가며 인발시험을 수행하였다.

또한 김상규(1996)는 다양한 입도 분포의 화강암풍화토(화강토)에 대하여 각종 보강재와의 경계면 마찰계수를 얻기 위하여 직접전단시험을 실시하였으며, 신은철(1998)은 보강토 구조물에 이용되는 지오그리드와 국내에 많이 분포하고 있는 화강풍화토를 대상으로 하여 보강재가 전면벽체에 정착된 경우와 비정착된 경우에 대하여 모형실험을 실시하였다.

이와 같이 보강토구조물의 마찰특성은 계속 연구중에 있으며, 이러한 마찰특성은 인발저항특성이라고 말할 수 있다. 인발저항특성을 고찰하기 위해 보강토옹벽의 뒷채움재료로서 현재 우리나라에서 쉽게 구할 수 있는 화강풍화토를 채취하여 인발시험을 실시하였다. 구조물의 안정을 위해서는 모든 공사가 다 그렇듯이 현장에서의 정확한 시공노력이 가장 중요하다고 할 수 있다. 중요 성토구조물의 경우, 보통 다짐률은 95%를 채택하는 경우가 많으나 실제 시공에서 이러한 다짐률의 달성이 이루어지지 않았을 경우, 즉 더 낮은 다짐률로 시공되었을 경우, 화강풍화토를 사용한 보강토지반의 인발

특성은 어떻게 달라지는지 그리고 얼마만한 인발강도 특성저하를 초래하는지 검토할 필요가 있다고 본다.

따라서 본 연구에서는 화강풍화토의 다짐률을 95%, 80%, 65%로 달리하여 인발시험을 실시하였다. 실험결과로부터 다짐도에 따른 인발특성치를 제안하고, 보강토구조물의 설계시 본 연구에서 제안된 인발정수를 설계자료로 활용하도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 인발시험결과 해석방법

본 연구의 인발마찰강도 평가방법은 Ochiai 외 4인(1993)가 제시한 방법인 average resistance method를 이용하였다. Average resistance method는 최대인발력에서의 인발저항력 분포를 산정하여 그 평균치를 인발저항력으로 고려하는 방법으로 한계평형해석에 적용되는 방법이며, 평균값을 구하는 방법에 따라 다음의 세가지 방법으로 분류된다(그림 1참조).

1) Total Area Method(TAM)

토조에 매설된 토목섬유 전체의 면적에 인발력이 작용한다고 가정한다.

$$\tau_{av} = \frac{F_{Tmax}}{2BL} \quad (1)$$

2) Effective Area Method(EAM)

실제로 인발변위가 일어난 부분에서만 인발력이 작용한다고 가정한다.

$$\tau_{av} = \frac{F_{Tmax} - F_r}{2BL_T} \quad (2)$$

3) Maximum Slope Method(MSM)

인장력 분포곡선의 최대접선기울기를 인발력으로 가정한다.

$$\tau_{av} = \left(\frac{dF}{dL} \right)_{max} \quad (3)$$

여기서, τ_{av} = 인발마찰강도(kg/cm²)

F_{Tmax} = 인발저항력(kg/cm)

F_r = 유효저항길이에 상응하는 인발저항력(kg/cm)

L = 토조에 부설된 토목섬유의 전체길이(cm)

L_T = 인발유효저항길이(cm)

B = 토조의 폭(cm)

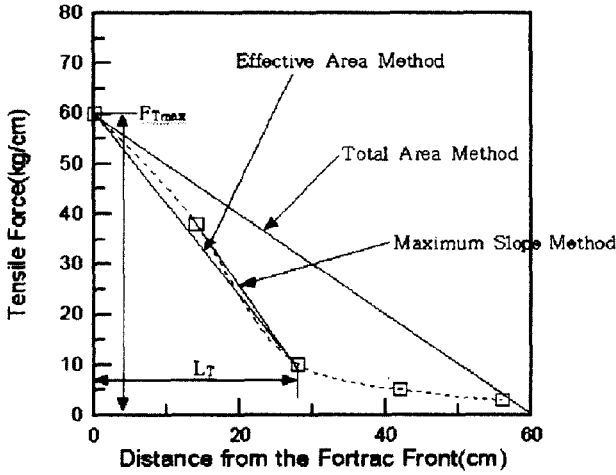


그림 1. 인장력분포곡선의 인발저항평가방법

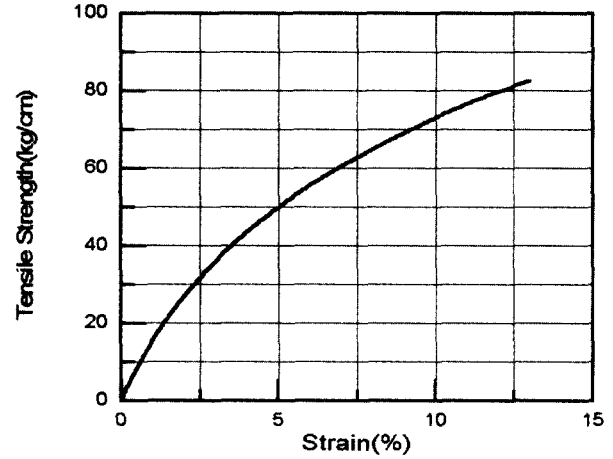


그림 3. 지오그리드의 인장강도와 변형률관계

3. 사용재료

3.1 흙시료

인발시험에 사용된 흙시료는 우리나라에서 가장 널리 분포하고 있는 화강풍화토로서 그 물리적 및 역학적 특성은 표 1과 같다. 인발시험시 화강토 시료의 함수비는 18.96%이고, 건조밀도 1.58g/cm³, 1.25g/cm³, 1.08g/cm³ 일때 다짐도 95%, 80%, 65%의 상태로 제작하여 시험을 실시하였다.

3.2 토목섬유

인발시험에 사용한 토목섬유 시료는 고밀도 폴리에틸렌을 일방향으로 열연신하여 제조한 geogrid제품으로 최대인장강도는 81.58kg/cm이며, 최대신율은 13%이다. 그림 2는 지오그리드의 형상과 크기를 나타내며, 그림 3은 토목섬유의 광폭인장시험에 의한 인장력-변형률 관계를 나타낸 것이다.

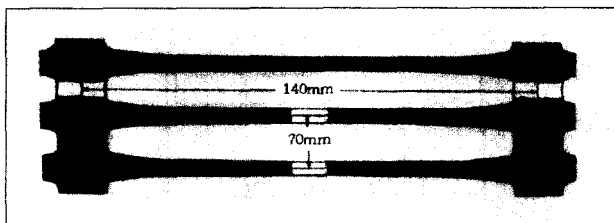


그림 2. 지오그리드의 형상과 크기

표 1. 화강토의 물리적인 특성

재 료	비 중G _s	액성한계 (%)	소성지수 (%)	최대건조밀도(g/cm ³)	최적함수비 (%)	균등계수C _u	#200체통과량 (%)
화 강 토	2.68	31.21	11.17	1.654	18.96	7.59	1.05

4. 인발시험

4.1 시험장치

인발시험장비는 그림 4에서와 같이 크게 토조와 air pressure bag, 토목섬유고정장치 및 load cell, 전동모터 등 5부분으로 구성되어 있으며, 토조는 경계조건의 영향을 배제하기 위하여 길이 60cm, 폭 40cm, 높이 19cm로 제작되었다. 상부 경계면은 고른 압력을 분포시킬 수 있도록 토조상부 경계면에 air pressure bag을 설치하였으며, air pressure bag에 가할 수 있는 최대공기압은 2kg/cm²이다.

인발시 토목섬유를 고정시키기 위하여 특별히 고안된 토목섬유고정장치를 이용하였으며, 고정장치는 상·하부로 분리되어 있고 볼트를 조여 토목섬유를 고정한다. 또한 토목섬유고정장치는 load cell에 직접 연결된다. 인발시험기의 인발장치는 전동모터에 의해서 구동되고 인발속도를 변위속도 제어시스템에 의하여 임의의 속도로 조절이 가능하다.

인발시에 나타나는 인발저항력은 인발장치에 부착된 로드셀(electronic load cell)에 의하여 자동으로 측정되며, 인발 및 전단 load cell의 최대 용량은 5,000kg이다. 보강재의 인발변위는 토조 전면부에 설치된 변위계에 의해서 측정된다.

재하장치는 토조상부경계면에 설치한 air pressure bag에 공기압축기로 압축공기를 주입하여 상재압(overburden

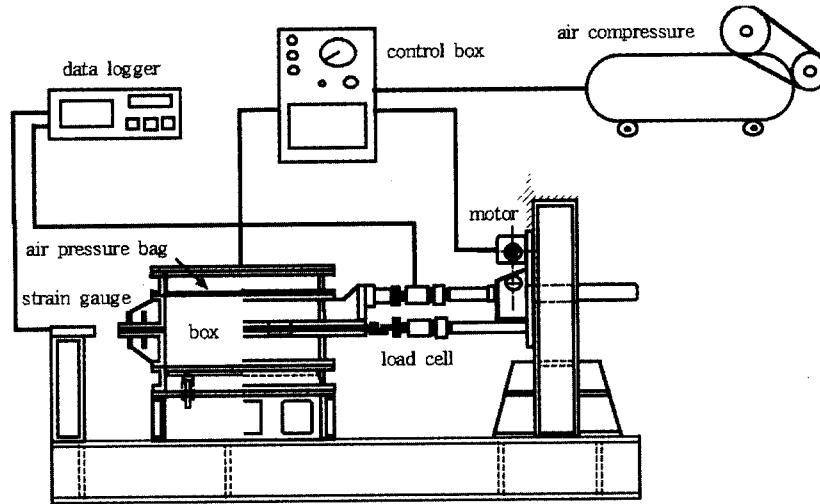


그림 4. 인발시험기 시스템

pressure)을 가하도록 제작되었으며, 이 때의 공기압은 control box의 압력계에 의하여 제어하였다.

4.2 인발시험내용 및 방법

토조내 흙시료의 제작은 화강토를 최적함수비의 상태로 조절하고 다짐도는 각각 95%, 80%, 65%로 매층 22.55kg, 17.78kg, 15.40kg의 흙시료가 포설된다. 다짐도가 95%와 80% 일때는 4.5kg의 rammer를 낙하고 45cm에서 367회, 122회의 타격을 가하여 다짐하였으며, 65% 일때는 다짐도가 매우 낮기 때문에 넓이 20cm×20cm인 강판을 이용하여 해당층 높이까지 균일하게 다졌다.

인발시험조건은 다짐률을 65%, 80%, 95%로 각각 달리하여 상재하중을 0.2kg/cm², 0.5kg/cm², 1.0kg/cm²로 실험하였으며, geogrid는 토조 높이의 중앙인 10cm 높이에 매설하였다. 또한 geogrid의 부설길이는 토조의 길이(60cm)와 같고 부설폭은 토조 폭의 100%인 40cm로 하였다. 수직응력(상재하중)은 각 다짐도에 따라 0.2, 0.5, 1.0kg/cm²의 3가지 응력조건으로 변화를 주었으며, 인발상자내에서 압력을 균등하게 분배시키기 위하여

하중을 재하한 상태에서 약 30분 동안 방치한 후 인발시험을 실시하였다. 인발속도는 1mm/min의 일정변위량으로 제어하였으며, 인발력은 geogrid 고정장치 후면부에 부착되어 있는 load cell에 의하여 측정하였다.

Geogrid 고정장치의 선단에 변위계를 설치하였으며, 토조내 geogrid의 인발변위를 측정하기 위하여 그림 5에서 보는 바와 같이 인발상자의 전면부 인발구멍으로부터 0, 14, 28, 42, 56cm 떨어진 절점에 직경 0.6mm의 고강도 합성섬유사를 부착하고 이를 인발상자 후면부의 구멍을 통하여 변위계에 연결하여 매 1분 간격으로 인발변위를 측정하였다. 또한, 인발상자 내측에 내경 3mm의 스테인레스강관을 이용하여 고강도 합성섬유사와 흙과의 마찰을 제거하였다. 시험은 변위량이 인발상자 길이의 20%에 도달할 때까지 실시하였다.

5. 시험결과 및 고찰

5.1 인발력과 선단인발변위

그림 6은 구속응력이 0.2kg/cm², 0.5kg/cm², 1.0kg/cm²

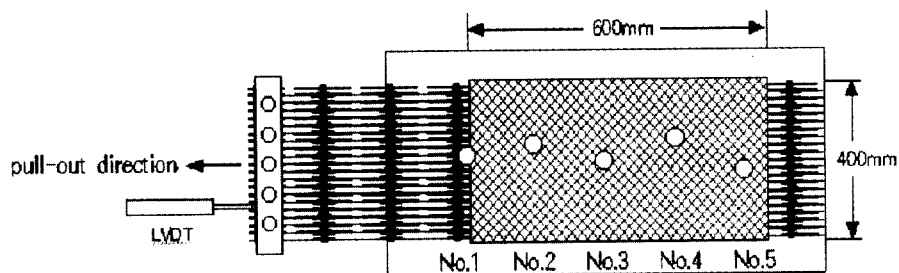


그림 5. 지오그리드 변형게이지의 설치지점

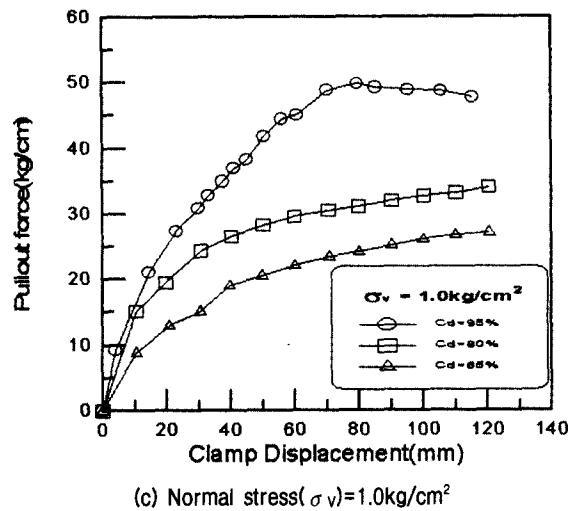
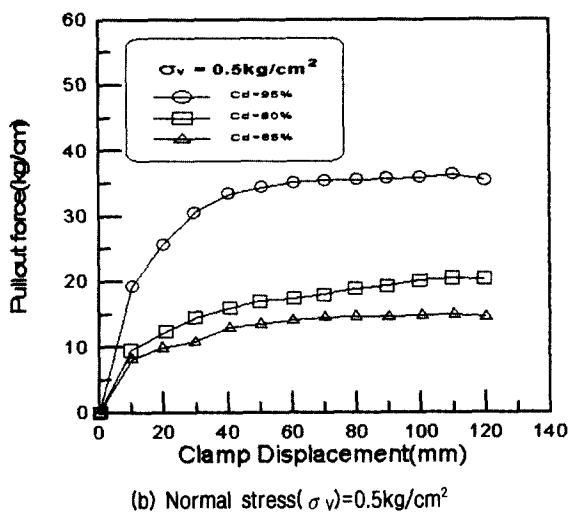
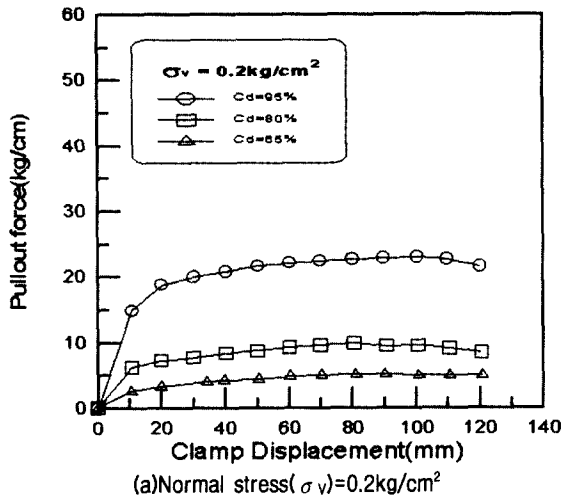


그림 6. 다짐도에 따른 인발력의 clamp 변위

으로 증가하고 다짐률 65%, 80%, 95%로 달라질때의 선단인발변위와 인발력과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 인발저항력은 전체적으로 선단인발변위가

증가함에 따라 점차 커지는 경향을 보인다. 특히 구속응력이 1.0kg/cm²로서 가장 크고 다짐률이 95%인 경우에는 선단변위가 80mm일 때 인발력은 50kg/cm로서 peak를 보이고 있는데 이러한 경향은 사질토지반의 파괴형상이 상대밀도에 따라 달라지는 경향과 유사함을 알 수 있다. 이는 흙속에 묻힌 지오그리드와 흙사이의 저항력의 경우에도 구속응력이 크고 밀도가 클 경우 인발력이 peak를 보인다는 사실을 확인할 수 있다.

5.2 선단변위와 흙속에 묻힌 지오그리드 절점변위와의 관계

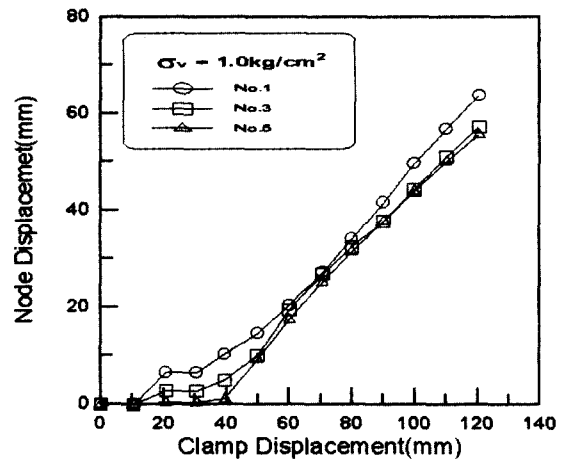
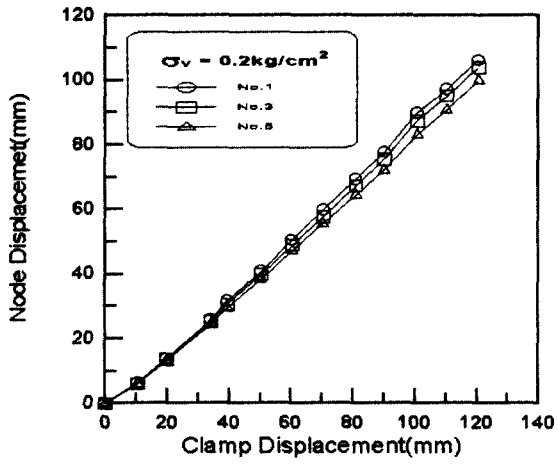
그림 7은 구속응력이 0.2kg/cm², 1.0kg/cm²으로 증가하고 다짐률에 65%, 80%, 95%로 달라질 때의 선단변위와 흙속에 묻힌 지오그리드의 절점변위 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 절점의 위치를 No. 1, No. 3, No. 5로 표시하였는데 이들은 각각 선단에서 20cm, 34cm, 48cm가 떨어진 지점인데 변위측정 센서를 부착하여 변위측정을 행한 지점을 말한다.

초기 인발력하에서는 선단에서 가까운 지점의 변위는 크게 발생하나 먼 지점의 변위는 발생하지 않거나 더 작게 발생할 것이다. 그리고 인발력이 커질수록 먼 지점에서 인발력이 작용하여 그 영향에 의해 인발변위를 일으키게 된다.

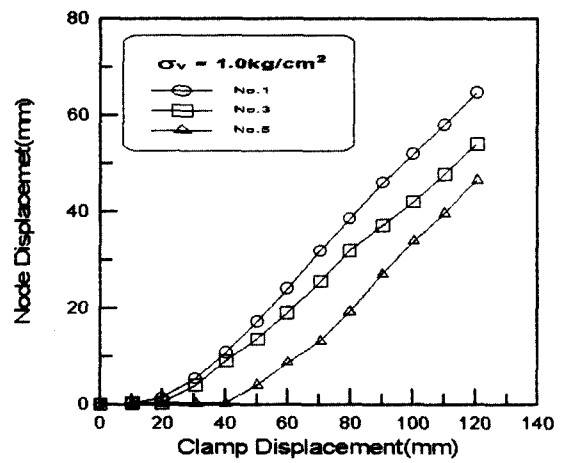
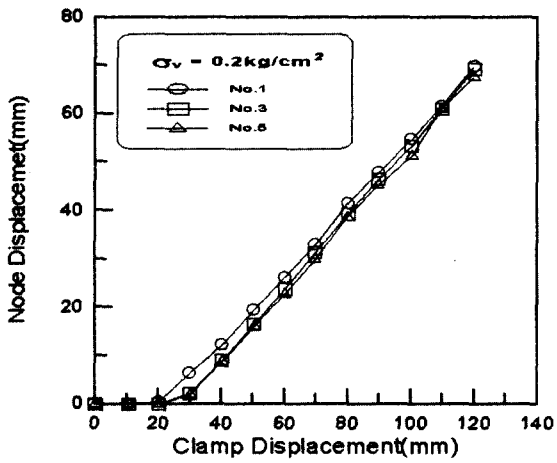
구속응력과 다짐률을 고려하여 검토할 경우 구속응력이 작고 다짐률이 낮은 경우 먼 지점인 No. 5까지 쉽게 인발력이 도달하며, 절점간의 변위차는 크지 않다. 그러나 구속응력이 크고 다짐률이 높을 경우 선단인발력이 후단의 흙속에 묻힌 지오그리드로 전달되는데 선단부분의 흙과 토목섬유사이의 마찰력이나 점착력에 의해 발생하는 인발저항력에 의해 인발력이 흡수되고 나머지값만이 전달되므로 절점간의 변위차가 크게 나타난다.

5.3 최대인발저항시 지오그리드에 발생한 인발변위

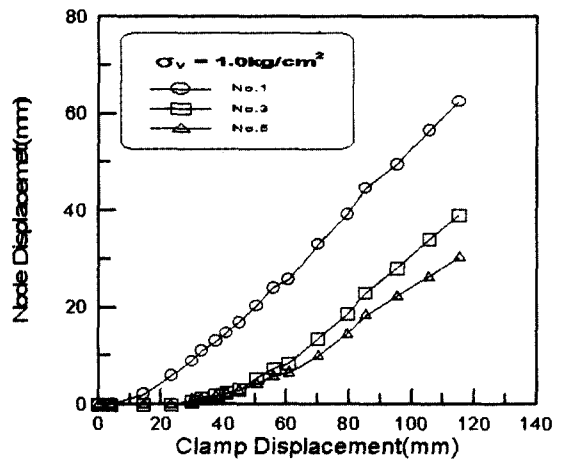
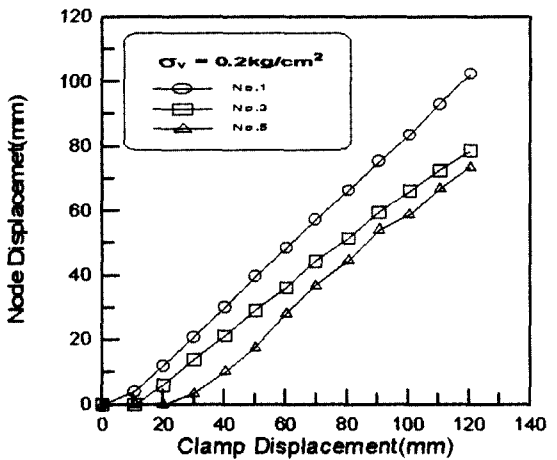
그림 8은 구속응력이 0.2kg/cm², 0.5kg/cm², 1.0kg/cm²으로 증가하고 다짐률이 65%, 80%, 95%로 달라질 때의 최대인발저항상태에서 흙속에 묻힌 지오그리드에서 발생한 절점의 변위를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 x축은 인발시험기에 묻힌 지오그리드의 위치를 나타낸 것이다. 즉 거리가 커질수록 시험기 전면에서 먼 위치에



(a) $C_d=65\%$



(b) $C_d=80\%$



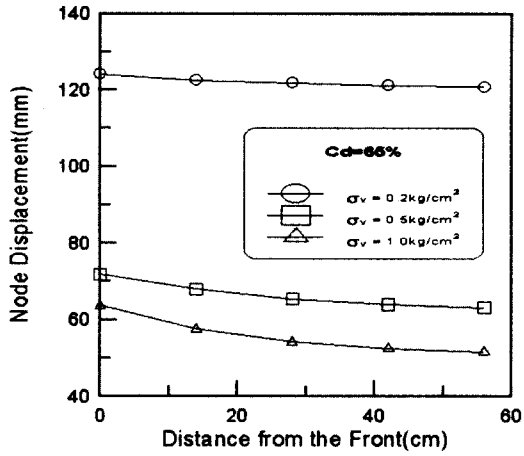
(c) $C_d=95\%$

그림 7. Clamp 변위와 절점변위 관계곡선

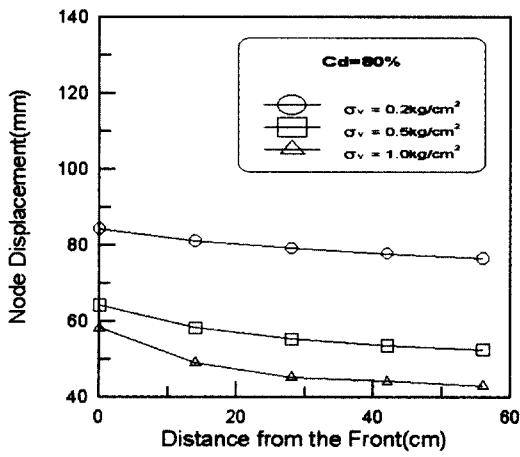
있는 지오그리드를 표시한 것이다. 시험결과 구속응력이 작을수록 또한 다짐도가 낮을수록 절점에서 발생된 변위는 크게 나타나고 있다.

그리고 절점사이의 변위차는 구속응력이 클수록 다

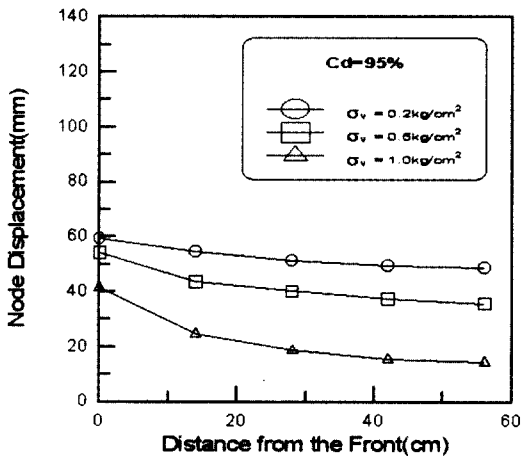
짐도가 클수록 크게 나타나는데 이는 절점사이의 보강재 즉 지오그리드에 걸리는 인장력을 나타낸다. 즉 다짐도나 구속응력이 클수록 지오그리드에 걸리는 인장력이 크다는 것을 알 수 있으며, 또한 시험기 전면에서 멀



(a) $C_d=65\%$



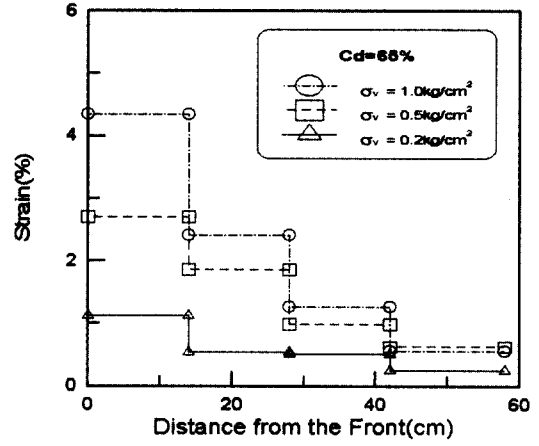
(b) $C_d=80\%$



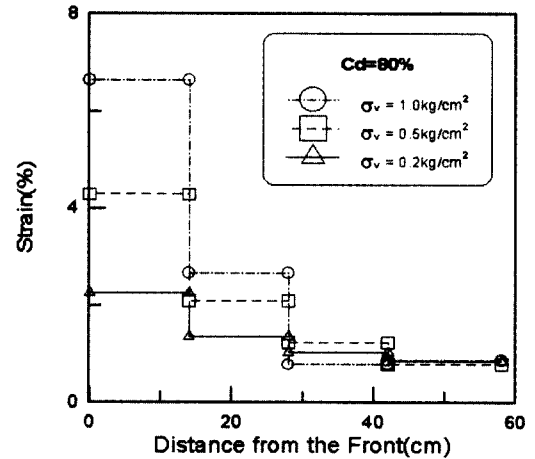
(c) $C_d=95\%$

그림 8. 최대인발력에서 지오그리드의 절점변위

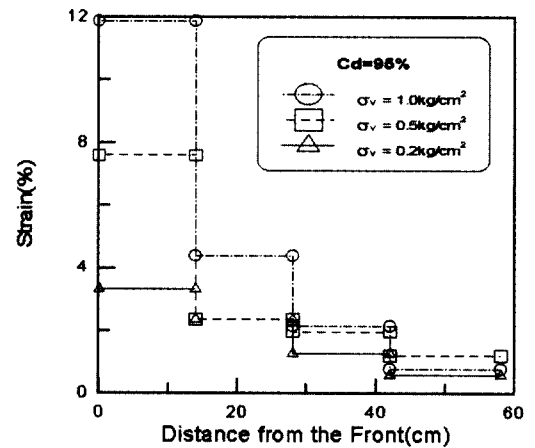
어질수록 절점간의 변위차는 줄어드는데 이는 전면에서 멀리 떨어질수록 지오그리드에 걸리는 인장력은 점점 작아지다가 나중에는 변위차가 발생하지 않는 즉 인장력이 영인 상태의 지오그리드부분이 존재할 수 있다는 것이다.



(a) $C_d=65\%$



(b) $C_d=80\%$

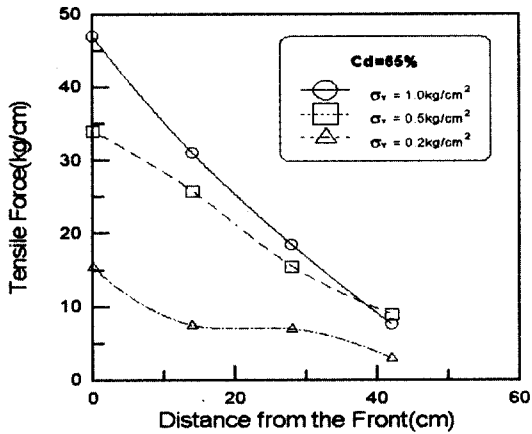


(c) $C_d=95\%$

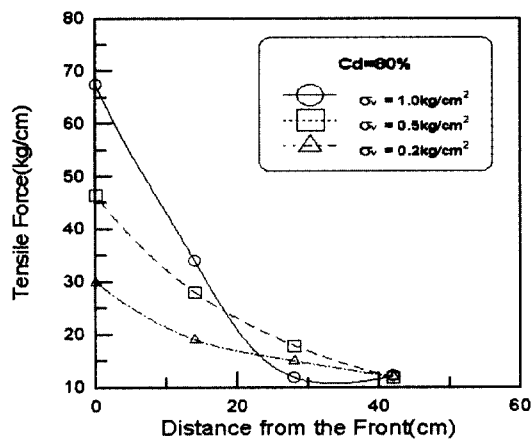
그림 9. 최대인발력시 지오그리드의 변형률 분포

5.4 최대인발저항시 지오그리드에 발생한 인장변형률 및 인장력분포

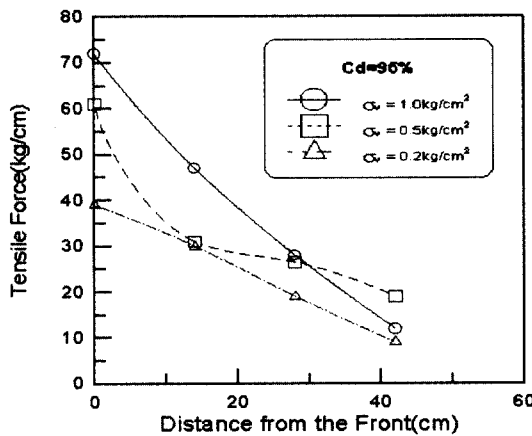
변형률이란 늘어난 길이와 처음길이의 차를 처음길이로 나누어주는 것을 말하는데 본 인발시험의 경우 절



(a) $C_d=65\%$



(b) $C_d=80\%$



(c) $C_d=95\%$

그림 10. 최대인발력시 지오그리드의 인장력 분포

표 2. 인발시험결과

평가 방법	인발마찰강도	다짐도			강도저하율(%)	강도저하율(%)	강도저하율(%)
		65%	80%	95%			
TAM	c_p (kg/cm ²)	0.089	0.181	0.259	65.64	30.12	0.259
	ϕ_p (°)	17.58	21.13	21.78	19.28	2.98	21.78
EAM	c_p (kg/cm ²)	0.107	0.194	0.279	61.65	30.47	0.279
	ϕ_p (°)	19.13	25.53	27.22	29.72	6.21	27.22
MSM	c_p (kg/cm ²)	0.305	0.508	0.577	47.14	11.96	0.577
	ϕ_p (°)	45.26	56.17	59.19	23.53	5.11	59.19

점에서 발생하는 변위를 계측하였기 때문에 변위차를 구하여 절점간의 거리로 나누게 되면 흠속에 묻힌 지오그리드에 작용된 변형률을 구할 수 있다. 즉 변형률을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{변형률}(\%) = \frac{\text{인접절점의변위차}}{\text{인접절점거리}} \times 100 \quad (4)$$

그림 9는 인발시험시 지오그리드에 발생된 인장변형률분포를 나타낸 것이다. 인장변형률이 시험기 전면에서 멀어질수록 감소하는 경향을 뚜렷히 보여준다.

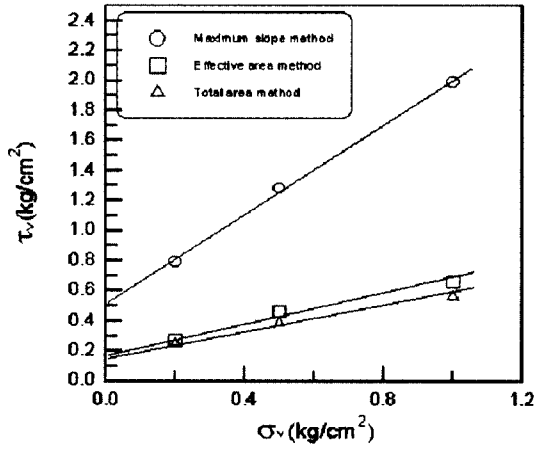
그림 10은 인장변형률에 지오그리드의 특성치인 변형률별 인장강도를 계산하여 그림으로 표시한 것이다. 변형률분포와 마찬가지로 인장강도의 경우에도 시험기 전면에서 멀어질수록 작은 값을 보여주는 일반적인 경향을 보여주고 있다. 다짐도가 65%, 80%, 95%이고 구속응력이 1.0kg/cm²일 때 지오그리드 절점 No.1 지점에서 인장강도는 각각 47kg/cm, 68kg/cm, 72kg/cm를 나타내고 있으며 이 값들은 사용된 지오그리드의 최대인장강도인 82.5kg/cm의 57%, 82%, 87%에 해당된다.

5.5 구속응력과 최대인발저항응력과 관계

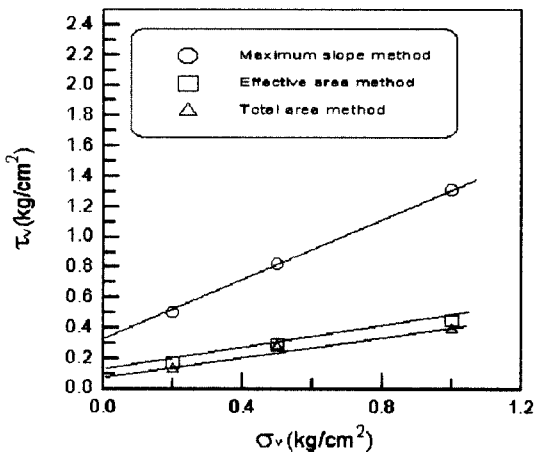
구속응력에 따른 최대인발저항응력을 구하는 방법으로 TAM, EAM, MSM 등이 제안되고 있는데 계산방법에 따라 최대인발저항응력은 달라진다. 그림 11은 계산방법에 따른 최대인발저항응력을 구속응력의 크기에 따라 표시한 것이다. 그림에서 MSM의 경우는 다른 2가지 계산방법에 비해 상당히 큰 값을 나타낸다. 그리고 EAM을 사용한 값들은 TAM을 사용한 값과 비교를 할 때 인발마찰각에 해당하는 기울기는 비슷한 경향을 보이며, 인발점착력은 EAM이 TAM보다 더 큰 경향을 보인다.

5.6 다짐도에 따른 인발정수 비교

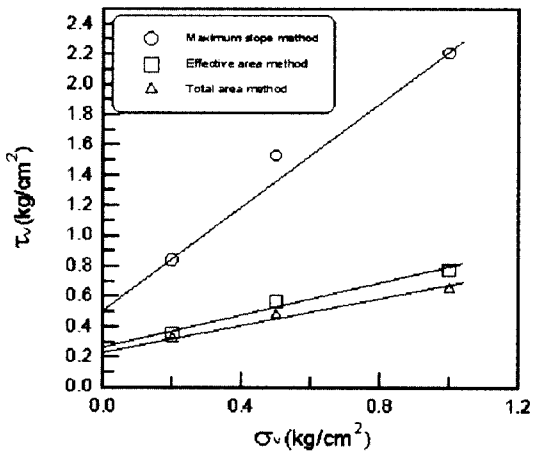
본 연구에서 사용된 화강풍화토의 경우에는 그 속에 함유된 세립토로 인해 인발점착력이 존재함을 알 수가



(a) $C_d=65\%$



(b) $C_d=80\%$



(c) $C_d=95\%$

그림 11. 수직응력(σ_v)과 인발저항응력의 관계 곡선

있었다. 예를 들어 95%다짐에서 EAM을 사용한 경우에는 인발점착력 c_p 가 0.279kg/cm^2 로서 상당히 큰 값이며, MSM을 사용한 경우에는 0.577kg/cm^2 로서 아주 크다.

표 2는 다짐도 및 해석방법에 따른 인발정수를 나타낸 것이다. 해석방법에 관계없이 인발점착력 및 인발마

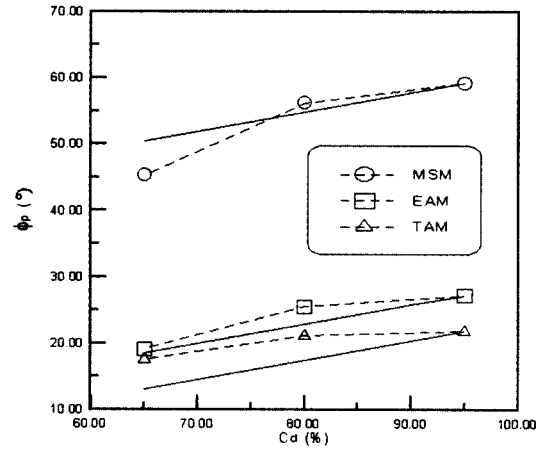


그림 12. 다짐도(C_d)에 따른 인발마찰각

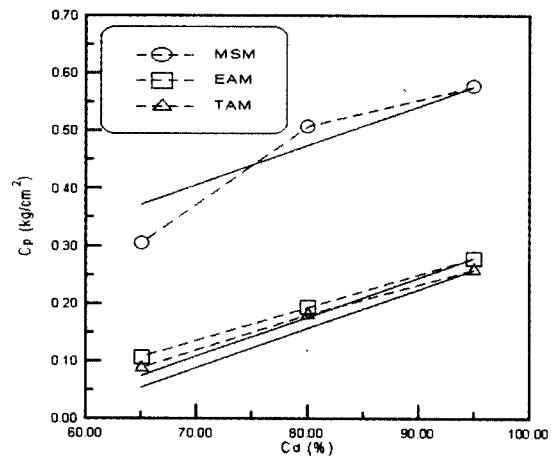


그림 13. 다짐도(C_d)에 따른 인발점착력

찰각은 다짐도의 저하에 따라 인발정수가 감소하였다. 인발점착력의 경우에는 95%의 다짐도가 80%로 떨어질 경우, 인발점착력 저하정도는 12%에서 30%에 이르고 있으며, 65%로 다짐도가 감소할 경우 인발점착력은 47%에서 66%까지 감소하고 있다. 또한, 인발마찰각의 경우에는 95%의 다짐도가 80%로 떨어질 경우, 인발마찰각 저하정도는 3%에서 6%에 이르며, 65%로 다짐도가 감소할 경우 인발마찰각은 19%에서 28%까지 감소하고 있다. 따라서 보강토공법에서 다짐이 얼마나 중요한 영향인자인지 본 연구를 통해서 확인할 수 있다.

5.7 다짐률에 따른 인발강도저하 예측방법 제안

현장에서 시공할 때 다짐률이 설계상의 다짐률 95%에 미치지 못하는 경우 인발정수를 구하는 식을 제안하였는데, 즉 다짐률이 95%일 때의 인발정수를 $\phi_p(95)$, $c_p(95)$ 라 할 때 임의의 다짐률에서의 인발정수는 아래식과 같이 구할 수 있다.

$$\phi_p(C_d) = \phi_p(95) - K(95 - C_d) \quad (5)$$

$$c_p(C_d) = c_p(95) - L(95 - C_d) \quad (6)$$

여기서, C_d 는 임의의 다짐률을 나타내며 K, L 은 강도 저하정수로서 화강풍화토를 사용한 본 실험결과 값을 회귀분석하여 구한결과는 $K=0.2913$ 이며 $L=0.0068$ 이었다. 그림 12는 인발마찰강도 평가방법에 따른 다짐률 (C_d)-흙과 보강재간의 점착력(c_p)관계곡선을 나타낸 것이고, 그림 13은 인발마찰강도 평가방법에 따른 다짐률 (C_d)-흙과 보강재간의 내부마찰각(ϕ_p)관계곡선을 나타낸 것이다.

6. 결론

이상과 같이 화강토와 토목섬유사이의 마찰특성을 평가하기 위하여 화강풍화토의 다짐률을 달리하여 인발시험을 실시한 결과 결론은 다음과 같다.

- (1) 흙속에 묻힌 지오그리드와 흙사이의 저항력은 구속 응력이 크고 밀도가 클 경우 인발력이 peak를 보이는 경향을 나타냈다.
- (2) 계산방법에 따른 최대인발저항력을 구속응력의 크기에 따라 비교해 볼때 MSM의 경우가 다른 2가지 계산방법에 비해 상당히 큰 값을 보여준다. 그리고 EAM을 사용한 값들은 TAM을 사용한 값과 비교할 때 인발마찰각에 해당하는 기울기는 비슷한 경향을 보이지만 인발점착력에 해당하는 절편은 EAM이 TAM보다 더 큰 경향을 보인다.
- (3) 화강토의 다짐도가 커질수록 화강토와 토목섬유 사이의 인발마찰강도정수인 내부마찰각과 점착력이 증가하였다.
- (4) 최적함수비에서 다짐도 95%로 다졌을 때 화강토와 일축연신 Geogrid의 내부마찰각과 점착력은 TAM으로 산정한 경우 $21.78^\circ, 0.259\text{kg/cm}^2$ 이었고, EAM으로 산정한 경우 $27.22^\circ, 0.279\text{kg/cm}^2$ 이며, MSM으로 산정한 경우 $59.19^\circ, 0.577\text{kg/cm}^2$ 로 나타났다.
- (5) 다짐률이 95%일 때의 인발정수를 $\phi_p(95), c_p(95)$ 라 할 때 임의의 다짐률에서의 인발정수는 아래식으로 부터 계산할 수 있다.

$$\phi_p(C_d) = \phi_p(95) - K(95 - C_d) \quad K = 0.2913$$

$$c_p(C_d) = c_p(95) - L(95 - C_d) \quad L = 0.0068$$

감사의 글

본 연구는 2000년 순천대학교 공과대학 학술재단 학술연구(해외파견)비에 의해 수행되었으며, 아울러 본 연구에 도움을 주신 미국 세크라멘토주립대학 Braja M. Das교수에게도 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 김상규, 이은수(1996), "화강토와 보강재 경계면에서의 마찰계수에 관한 연구", 한국지반공학회지, 제12권, 제2호, pp.107-114.
2. 김홍택, 방윤경(1996), "지오그리드-폐 EPS조각 혼합경량토의 마찰특성", 한국지반공학회지, 제12권, 제6호, pp.163-183.
3. 신은철, 최찬용(1998), "보강재 연결 유·무에 따른 보강토응력의 보강효과", 한국지반공학회지, 제14권, 제5호, pp.67-76.
4. 이은수(1996), "보강토체 구성재료로 이용되는 화강토의 적용성 평가", 박사학위논문, 동국대학교
5. 이애영, 신은철, 조삼덕(1997) "지오멤브레인과 주변흙과의 마찰 특성", 한국지반공학회지 '97 가을학술발표회 논문집, pp.299-306.
6. 조삼덕, 김진만(1995), "토목섬유 보강토 구조물의 합리적인 해석과 설계", 한국건설 기술연구원, 연구보고서, KICT/95-GE-1101.
7. 한호남(1999), "인발시험에 의한 지오그리드 보강토의 마찰특성에 관한 연구", 석사학위논문, 순천대학교, pp.13-34.
8. Colin J.E.P. Jones.(1996), "Earth reinforcement & soil structures", Thomas Telford, pp.37-96.
9. H.Ochiai, N.Yasufuku, T.Yamaji, Guang-Li Xu, T.Hirai.(1996), "Experimental evaluation of reinforcement in geogrid-soil structure" Proceedings of The International Symposium on Earth Reinforcement/Fukuoka/Kyushu/Japan/12-14 November 1996, pp.249-254.
10. H. Ochiai, S. Hayashi, J. Otani, T. Hirai.(1992), "Evaluation of pull-out resistance of geogrid reinforced soils", Proceedings of The International Symposium on Earth Reinforcement Practice/Fukuoka/Kyushu/Japan/11-13 November 1992, pp.141-146.
11. Robert M. Koerner(1994), "Designing with geosynthetics", Third edition, Prentice-Hall Inc, pp.328-350.
12. S. Hayashi, K. Makiuchi, H. Ochiai.(1994), "Testing Methods For Soil-Geosynthetic Frictional Behavior Japanese Standard", Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products Singapore, 5-9 September, pp.411-415.
13. Shigenori Hayashi, Marolo C.Alfaro & Keiji Watanabe.(1996), "Dilatancy effects of granular soil on the pullout resistance of strip reinforcement", Proceedings of The International Symposium on Earth Reinforcement /Fukuoka/Kyushu/Japan/12-14 November 1996, pp.39-44.

(접수일자 2001. 2. 18)