

지오셀을 적용한 지반의 보강효과에 관한연구 Effect Reinforced Ground using Geocell

신은철¹⁾, Eun-Chul Shin, 김성환²⁾, Sung-Hwan Kim, 오영인³⁾, Young-In Oh

¹⁾ 인천대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, University of Incheon

²⁾ 인천대학교 토목환경공학과 박사과정, Ph.D. Student, Dept. of Civil & Environmental Engineering, University of Incheon

³⁾ 한국농어촌공사 농어촌연구원 선임연구원, Senior Research, Rural Research Institute, KRC

SYNOPSIS : This study was carried out the laboratory tests and field plate load test in order to evaluate the reinforcement effect of geocell for road construction. The geocell-reinforced subgrade shows the increment of cohesion and friction angle with comprison of non-reinforced subgrade. In addition, the field plate load test was performed on the geocell-reinforced subgrade to estimate the bearing capacity of soil. The direct shear test was conducted with utilizing a large-scale shear box to evaluate the internal soil friction angle with geocell reinforcement. The number of cells in the geocell system is varied to investigate the effect of soil reinforcement. The theoretical bearing capacity of subgrade soil with and without geocell reinforcement was estimated by using the soil internal friction angle. The field plate load tests were also conducted to estimate the bearing capacity with geocell reinforcement. It is found out that the bearing capacity of geocell-reinforced subgrade gives 2 times higher value than that of unreinforced subgrade soil. In the future, the reinforcement effect of the geocell rigidity and load-balancing effect of the geocells should be evaluated.

Keywords : geocell, reinforcement effect, bearing capacity, subgrade soil, field plate load

1. 서론

국가가 발전함과 동시에 시대에 흐름에 따라 건설되는 구조물의 높이와 면적은 날로 증가하고 있는 추세이다. 이에 따른 용지의 부족으로 곳곳에서 매립과 확장으로 대지의 면적을 늘리고 그곳에도 사회 재화를 건설함으로써 연약지반에도 많은 구조물이 건설되고 있다. 그에 따른 교통편의 확충을 위하여 도로 또한 지지력이 확보되지 않는 지역까지 확장하여 설치되고 있는 것이 현실이다. 현재 도로의 보강을 위해 쓰이는 기술로는 지오그리드를 포설하는 방법, 와이어매쉬와 콘크리트 슬라브층을 활용하여 기층을 보강하는 방법등이 개발되어 사용되고 있는데 단일면의 토목섬유를 이용한 보강으로 지지력 보강 효과가 떨어지거나, 콘크리트의 사용으로 포설과 양생의 시간적인 제약이나 콘크리트를 통한 용출의 문제점들이 나타나고 있다. 이러한 공법들이 가지고 있는 문제점을 해결할 수 있는 공법이 지오셀을 이용하여 보강하는 공법이다. 기존 연약지반위에 축조되는 도로에서 지지구조에 문제점이 노출되어 이에 효율적인 보수보강의 조치가 필요하다는 것은 최근 연구되어 수행되고 있는 분야 중 하나이다. 기존의 도로를 지오셀을 이용하여 보다 견고하게 하고, 이러한 적용사례를 통해 지오셀의 도로보강 기법으로 매우 효율적이라고 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 도로가 가지는 특성을 연속된 하중을 받는 띠기초로 보고 보강되지 않은 단면과 지오셀로 보강된 단면의 채움재에 따른 지지력을 비교함으로써 보강효과를 확인하였다.

2. 지지력이론

2.1 Terzaghi의 지지력

지지력 공식의 지지력계수 N_c 와 N_q 를 Prandtl(1921), Reissner(1924)가 도입하였으며, Terzaghi(1943)에 의해 고전적인 지지력 공식이 정리되었다. 얇은 기초의 극한 지지력 평가를 위한 포괄적인 이론을 처음으로 제안한 Terzaghi는 연속기초 또는 띠기초가 극한하중을 받을 때 지반내의 파괴면은 그림 1에 나타난 것과 유사하다.

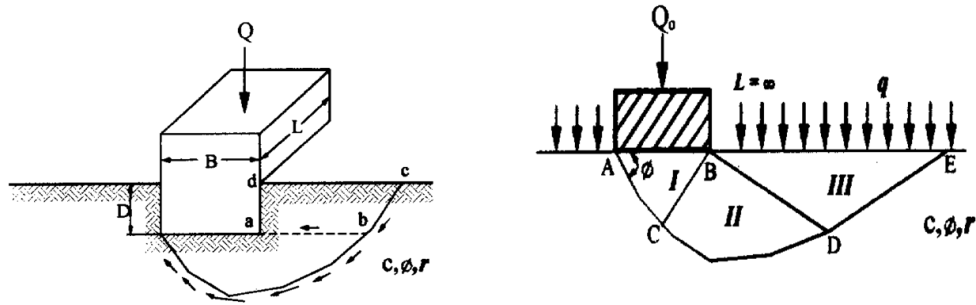


그림 1. Terzaghi가 제시한 기초의 파괴형태

그림 1의 파괴형태에서 제 I 영역은 Rankine의 주동영역, 제 II 영역은 원형 Prandtl 영역으로 대수 나선 원호를 이루고 있는 방사형 전단영역, 제 III영역은 Rankine의 수동영역으로 나타난다. ADEC선상의 AC와 DE선은 직선으로서 수평면과 $45^\circ + \phi/2$, $45^\circ - \phi/2$ 로 경사졌으며, DE는 대수나선형이다. 여기서 DAB와 BAD의 각은 흙의 내부 마찰각 ϕ 와 같다고 가정한다. 또한 기초바닥면 이상의 흙은 등가상재하중 q 로 대체된다. Terzaghi가 평형해석원리를 이용하여 극한지지력을 계산한 식은 식 (1)과 같다.

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_r \quad (1)$$

여기서, c 는 흙의 점착력, γ 은 흙의 단위중량, q 는 γD_f 로 나타낼 수 있으며 D_f 는 기초의 근입심도를 나타낸다. N_c , N_q , N_r 은 무차원의 지지력 계수로서 흙의 내부마찰각 ϕ 의 함수이며 정의하면 식 (2)~(4)와 같다.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (3)$$

$$N_r = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (4)$$

한편, 식 (2)~(4)의 내부마찰각에 따른 지지력 계수는 그림 2와 같다.

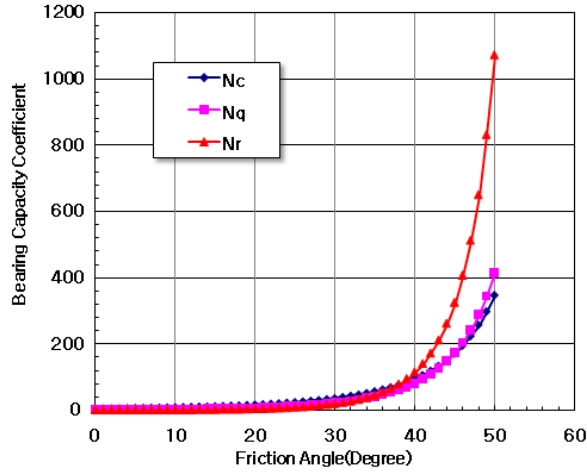


그림 2. Terzaghi의 지지력 계수

2.2 Meyerhof의 지지력

Terzaghi가 제시한 공식은 구형기초인 직사각형모양의 기초에 대한 경우는 고려되지 않았다. 또한, 식 (1)은 근입심도 위에 존재하는 흙의 파괴저항을 고려하지 않았으며, 경사각을 이루는 하중에 대한 고려도 부족하다. 이러한 모든 부족한 점을 보완하기 위하여 Meyerhof(1963)는 그림 3과 같이 파괴면이 지표면까지 연장된다고 가정하였다.

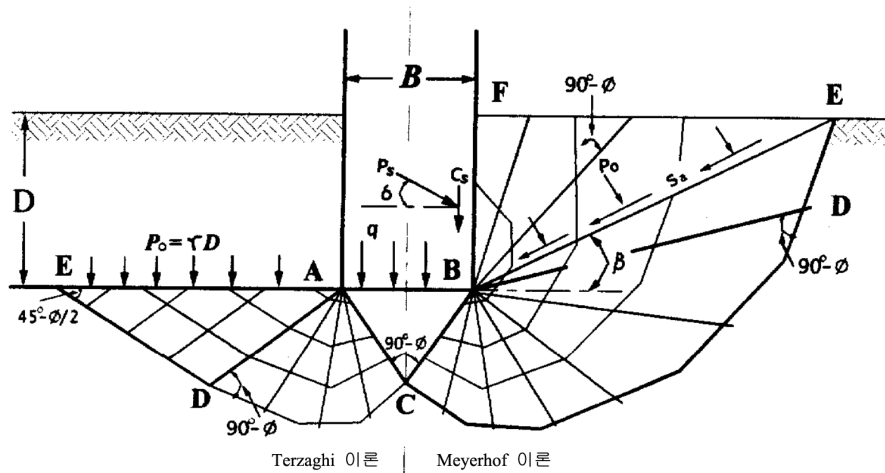


그림 3. Meyerhof가 제시한 기초의 파괴면

또한, 식 (5)와 같은 일반적인 지지력 방정식을 제안하였다.

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_r F_{rs} F_{rd} F_{ri} \quad (5)$$

여기서 N_c , N_q , N_r 의 지지력 계수는 다음과 같이 정의된다.

$$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) e^{\pi \tan \phi} \quad (6)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (7)$$

$$N_r = (N_q - 1) \tan 1.4 \phi' \quad (8)$$

한편, F_{cs} , F_{qs} , F_{rs} 는 형상계수이고, F_{cd} , F_{qd} , F_{rd} 는 근입심도계수이다. 또한 F_{ci} , F_{qi} , F_{ri} 는 경사하중계수로 정의된다. 극한지지력에 대한 원래 방정식은 평면 변위 조건인 연속기초에 대하여 유도되었다. 형상계수, 근입심도계수, 경사하중계수는 시험결과에 근거한 경험적 계수들이다. 각 계산식을 비교해보면 각 계수의 값이 다소 다를 수 있다. 흙의 내부마찰각 ϕ 에 따른 N_r 의 관계식이 아직 정확한 값을 정의할 수 없기 때문이다. Terzaghi의 지지력공식은 과다설계의 경우가 있으며 Meyerhof공식도 평면변형조건을 고려하지 않은 사질토에서 약간의 과다설계가 되지만 대부분 실제와 잘 맞는다.

2.3 도로기층 지지력에 영향을 미치는 요소

2.3.1 지지력 공식의 영향

지지력 문제에는 지하수의 위치, 흙입자의 배열구조, 과거이력과 같이 복잡한요인이 모두 고려되지 않는 상태에서도 도로와 같은 구조물이 설계·시공되어 안전하게 기능을 발휘하고 있다. 이러한 지지력 이론의 타당성을 검증하기 위해서 지지력 시험을 시행하고 있고 재하시험을 실물크기로 실시하는 것에 따른 과도한 비용지출을 막기 위해 Terzaghi공식의 계수가 무차원 계수임을 이용하여 모형에 의해 지지력 시험이 실행되고 있다. 이러한 이론과 실제의 불일치는 지반강도가 구속압에 의존하고 있으며 진행성 파괴가 된다는 점이라고 사료된다. 지지력공식에 사용되는 강도정수인 내부마찰각과 점착력의 평가는 지지력에 미치는 영향이 매우 크다. 특히 내부마찰각은 지지력 계수를 결정하는 중요한 요소이므로 충분한 검토가 필요하다. 한편, 보링공을 이용한 표준관입시험의 N치에 의해서 일반적인 지반의 강도정수를 구할 수 있다. 특히 사질토의 경우, 토질시험에 사용하는 시료를 흐트러지지 않게 채취하여 시험하기가 쉽지 않으므로 현장에서 구할수 있는 N치를 이용하며 내부마찰각을 구하고 있다. 지지력 계수 N_c , N_q 는 지반의 자중을 무시하여 구한 값으로, 이것에 자중의 영향을 고려한 N_r 을 추가한 것이다. 따라서 N_c , N_q 의 최소치를 값는 활동면과 N_r 과는 일치하지 않는다. 또한, 실제로 Prandtl(1921), Terzaghi(1943), Meyerhof(1951) 등이 서로 상이한 값을 제시하였으나, 이 차이는 계산방식이나 주동영역의 각도 차이에 기인하며 본질적으로 변한 것은 아니다. 한편, 지지력공식은 전면전단파괴를 대상으로 구한 것으로 국부전단파괴를 일으키는 내부마찰각이 작은 느슨한 지반에서는 하중-침하곡선에서도 완만한 곡선을 나타내고 있어 명확한 파괴점은 확인이 불가능하다. 도로나 철도에 적용하는 지지력계수의 경우 N_c , N_q 는 Prandtl(1921)의 값을, N_r 은 Sokolovski(1964)의 해석치를 적용하여 내부마찰각의 문제를 해결할 수 있다.

2.3.2 계수의 영향

지지력 계수 N_c , N_q 는 지반의 자중을 무시하여 구한 값으로, 이것에 자중의 영향을 고려한 N_r 을 추가한 것이다. 따라서 N_c , N_q 의 최소치를 값는 활동면과 N_r 과는 일치하지 않는다. 또한, 실제로 Prandtl(1921), Terzaghi(1943), Meyerhof(1951) 등이 서로 상이한 값을 제시하였으나, 이 차이는 계산방식이나 주동영역의 각도 차이에 기인하며 본질적으로 변한 것은 아니다. 한편, 지지력공식은 전면전단파괴를 대상으로 구한 것으로 국부전단파괴를 일으키는 내부마찰각이 작은 느슨한 지반에서는 하중-침하곡선에서도 완만한 곡선을 나타내고 있어 명확한 파괴점은 확인이 불가능하다. 도로나 철도에 적용하는 지지력계수의 경우 N_c , N_q 는 Prandtl(1921)의 값을, N_r 은 Sokolovski(1964)의 해석치를 적용하여 내부마찰각의 문제를 해결할 수 있다. 지지력공식은 연속기초를 대상으로 한 것으로 실제로 존재하는 정방향, 장방향, 원형등의 형상을 가지고 있는 기초에 적용에 문제점이 있다.

2.4 지오셀의 하중분산 효과

2.4.1 상재하중의 구속

상재하중을 받는 지반에 지오셀을 이용하여 보강하게 되면 그림 4와 같은 전단파괴의 움직임을 보인다. 지오셀은 채움재가 가지지 못하는 인장력을 셀의 구속력으로 인하여 보강효과를 가지게 되며 하중 자체는 분산되고 사방으로 퍼진 하중은 연직셀의 벽에 의하여 보완되고 파괴되는 것을 방지한다. 이에 따라 극한 파괴면은 지오셀 하부에서 나타나므로 집중하중에 의한 지표면 근처에서 이루어지는 전단파괴영역의 확대를 막게준거되고 그에 따른 하중분산 효과로 구조물은 더 큰 하중을 지지할 수 있다.

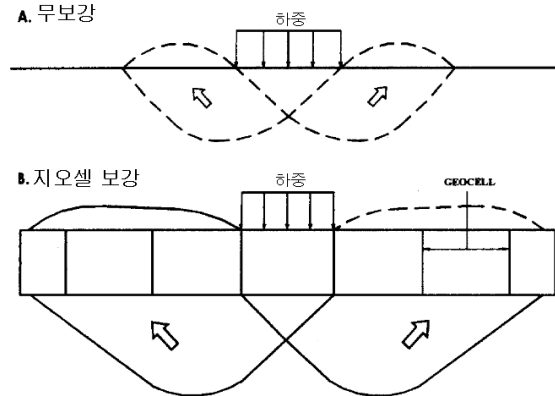
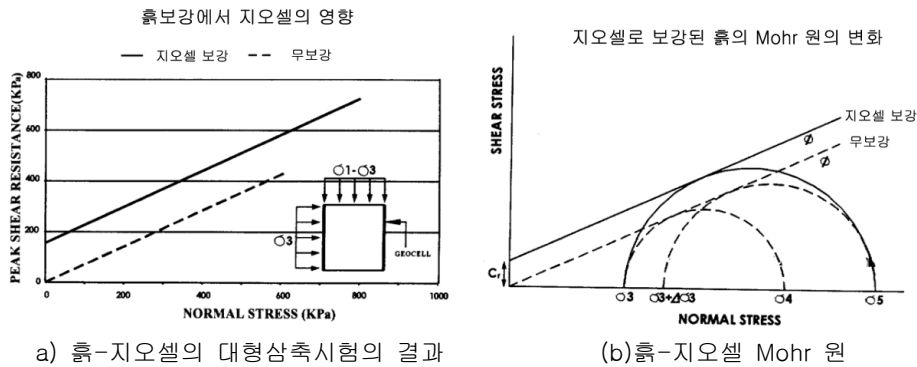


그림 4. 무보강과 지오셀 보강시 파괴 형상

Koerner(1990)는 지오셀에 의한 표면구속효과는 셀구조와 속채움 흙 사이에 하중재배치의 복잡한 3차원 상호작용이 나타난다고 논문을 통해 발표하였다. 그가 시험한 대형삼축압축시험은 그림 4와 그림5에서와 같이 겉보기 점착력이 나타나는데, 이 값이 전단강도 증가와 같다고 볼 수 있다. 또한 속채움 흙에 연직하중을 가하면 셀 주변의 수평주동토압은 증가하게되는데 이러한 복합효과로 지오셀은 높은 휨강성과 하중지지능력, 전단강도 증대효과를 갖는다.



a) 흙-지오셀의 대형삼축시험의 결과

(b) 흙-지오셀 Mohr 원

그림 5. 흙-지오셀의 전단강도 증가 효과

2.4.2 연약지반에서 지오셀의 보강효과

연약지반의 개량공법에 사용되는 토목섬유는 그 종류와 공법에 따라 매우 많은 종류가 있다. 대부분의 토목섬유를 이용한 개량공법은 연직배수재 및 연직변위, 수직변위를 억제하는 효과를 주는 평면적인 보강의 의미를 가지고 있다.

토목섬유를 이용한 연약지반에 대한 하중-시험으로 3차원 시스템은 효과적인 보강효과를 나타냈다. 골재로 채워진 지오셀에서 인장보강 토목섬유인 지오텍스타일이나 지오그리드와 비교하여 연직변위를 억

제하는 효과가 탁월하다. 대부분의 복합 보강재료는 변형이 적고 인장력에 저항하도록 개발되었다. 한편, 지오셀을 이용한 보강에서 내부 수평압력에 대해 변형이 작으며 또한 강성은 커져서 그림 6과 같이 하중을 넓게 펼친다. 이와 같은 작용은 연약지반의 도로에 보강재로 쓰이는 지오셀은 강성과 상부하중에 대한 저항이 단면의 넓이에 따라 증가한다.

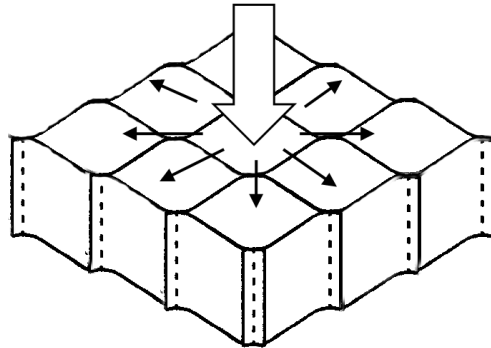


그림 6. 지오셀의 하중분산 효과

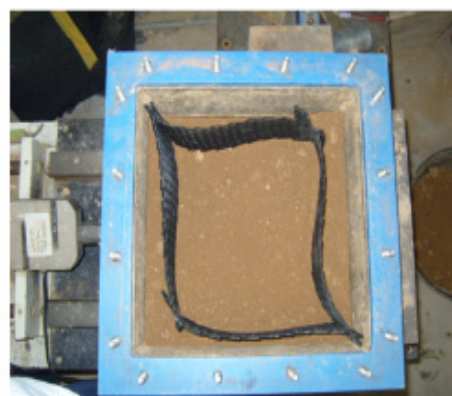
3. 지지력 실험방법

3.1 대형전단시험

본 연구에서는 화강풍화토는 통일분류법에 분류된 최대건조 단위중량은 1.9tf/m^3 이고 최적함수비는 14.5%인 사질토(SP)를 사용하였다. 시험은 $30\text{cm}\times 30\text{cm}$ 의 직접전단시험기를 이용하였다. 시험은 3가지 경우를 시험하였고, 첫 번째 무보강된 풍화토의 직접전단시험, 두 번째 지오셀로 보강된 풍화토의 직접전단시험, 세 번째 풍화토를 원지반으로 지오셀과 쇠석을 이용하여 보강시의 직접전단시험을 실시하였다. 전단면에서 지오셀의 보강시에 전단면 아래나 위로 묻히는 심도에 따라 직접전단시험에서 나타나는 지반정수값이 변화할 수 있으므로 정확한 측정을 위하여 전단면위에 바로 포설하여 시험을 실시하였다. 그림 6(a)와 같은 대형직접전단시험기를 이용하여 시험을 실시하였고 전단속도는 1mm/min 로 일정하게 유지시켜 수평변위 0.5mm 간격으로 전단응력을 읽는 변형률 제어방식으로 진행하였다. 그림 6(b)와 같이 지오셀을 이용하여 보강시의 시험을 실시하였다.



(a) 대형직접전단시험기



(b) 지오셀 보강단면

그림 6. 대형전단시험기와 지오셀 보강단면

3.2 실대형전단시험

보강단면과 비보강단면의 비교외에 지오셀이 차지하는 범위에 따른 지반정수의 변화를 확인하기 위하여 모형토조의 전단시험기를 이용하여 시험을 실시하였다. 모형토조 전단시험기의 전단상자의 크기는 상·하부 각각 가로 120cm, 세로 80cm, 높이 80cm,의 정방형으로 상부상자를 수평이동하여 전단과괴가 되도록 설계되었으며, 하중재하는 공기압을 이용하여 재하하였다. 전단속도는 1 mm/min로 일정하게 유지시켜 수평변위 0.5mm 간격으로 전단응력을 읽는 변형률 제어방식으로 진행하였다. 그림 7과 같은 모형토조 전단시험기를 이용하여 시험을 실시하였다. 시험기내에 전단시험에 쓰인 셀의 개수는 그림 7(c)에 나타난 바와 같이 8개의 셀을 구성하고 있다. 이 때 흙의 다짐도는 90%를 유지하여 시험하였다.



(a) 모형토조 전단시험기



(b) 모형토조 지오셀 보강단면

그림 7. 모형토조 전단시험기와 지오셀 보강단면

4. 지지력 실험결과

4.1 대형전단시험

대형 전단시험 결과 지오셀로 보강한 화강풍화토 단면은 무보강 화강풍화토 단면에 비해 점착력과 내부마찰각이 증가한 것을 확인할 수 있다. 한편, 쇄석을 채움재로 하는 지오셀로 보강된 단면은 무보강된 단면의 점착력보다 떨어지는 값을 보이거나 내부마찰각의 크게 증가시키는 요인으로 작용하는 것을 알 수 있다. 흙에서는 미비한 인장력과 결속력을 지오셀을 이용하여 보강시에 증가되는 효과를 점착력과 내부마찰각으로 확인 할 수 있다고 사료된다. 그 중에 쇄석으로 보강시에는 내부마찰각이 크게 증가하여 지지력과 관련된 지지력계수인 지반정수에 영향을 크게 주어 지지력 향상에 큰 작용을 기대할 수 있다. 표 1은 직접전단시험을 실시한 무보강단면과 보강단면의 점착력과 내부마찰각을 비교한 것이다.

표 1. 대형직접전단시험의 단면에 따른 점착력과 내부마찰각 비교

종 류	점착력(c)	내부마찰각(ϕ)
무보강된 화강풍화토 단면	0.18kgf/cm ²	30.42°
화강풍화토와 지오셀로 보강된 단면	0.2kgf/cm ²	32.25°
쇄석과 지오셀로 보강된 단면	0kgf/cm ²	34.11°

4.2 실대형 전단시험

실대형 전단시험결과 채움재를 화강풍화토로 보강한 지오셀 단면은 대형직접전단시험의 결과값보다 점착력은 0.15kgf/cm^2 , 내부마찰각은 0.21° 의 증가하는 경향을 확인하였고, 채움재가 쇄석인 경우에는 점착력이 0.05kgf/cm^2 , 내부마찰각은 약 1° 의 증가하는 영향을 확인하였다. 이는 지오셀이 차지하는 면적이 보강에 효과를 주었다고 판단된다. 표 2는 시험의 결과치를 통해 확인할 수 있는 화강풍화토로 보강된 단면과 쇄석으로 보강된 단면의 점착력과 내부마찰각을 나타내는 표이다.

표 2. 실대형 직접전단시험의 단면에 따른 점착력과 내부마찰각 비교

종 류	점착력(c)	내부마찰각(ϕ)
화강풍화토와 지오셀로 보강된 단면	0.35kgf/cm^2	32.46°
쇄석과 지오셀로 보강된 단면	0.05kgf/cm^2	35.04°

4.3 현장 평판재하시험 결과

본 연구에서는 현장시험으로 실시한 평판재하 시험은 KS F 2310에 준하여 노상 주차장 구간의 보조기층 및 모래층 포설면에 대해서 실시하였다. 원지반의 조건을 보강시의 조건과 맞추기 위하여 1톤 롤러를 이용하여 다짐을 실시후에 시험을 실시하였다. 원지반의 특성을 확인하기위하여 흙의 일부분을 이용하여 실내시험을 실시한 결과, 단위중량 1.9tf/m^3 , 점착력 0kgf/cm^2 , 내부마찰각은 30° 의 특성을 가지는 화강풍화토임을 확인할 수 있었다. 평판재하시험을 위한 반력은 15톤 덤프를 이용하였고 골재를 상차하여 시험에 알맞은 무게를 사용하였다. 지오셀을 이용하여 보강한 시공 완료된 단면에는 표면의 규사블록을 제거하고 모래층이 보이는 상태에서 평판재하시험을 실시하였다. 보강 유무에 따른 평판재하 시험 결과는 그림 8과 같으며 무보강 보조기층의 경우, 극한지지력이 4.56kgf/cm^2 , 지오셀 보강 보조기층의 경우, 극한 지지력이 8.58kgf/cm^2 으로 나타났다.

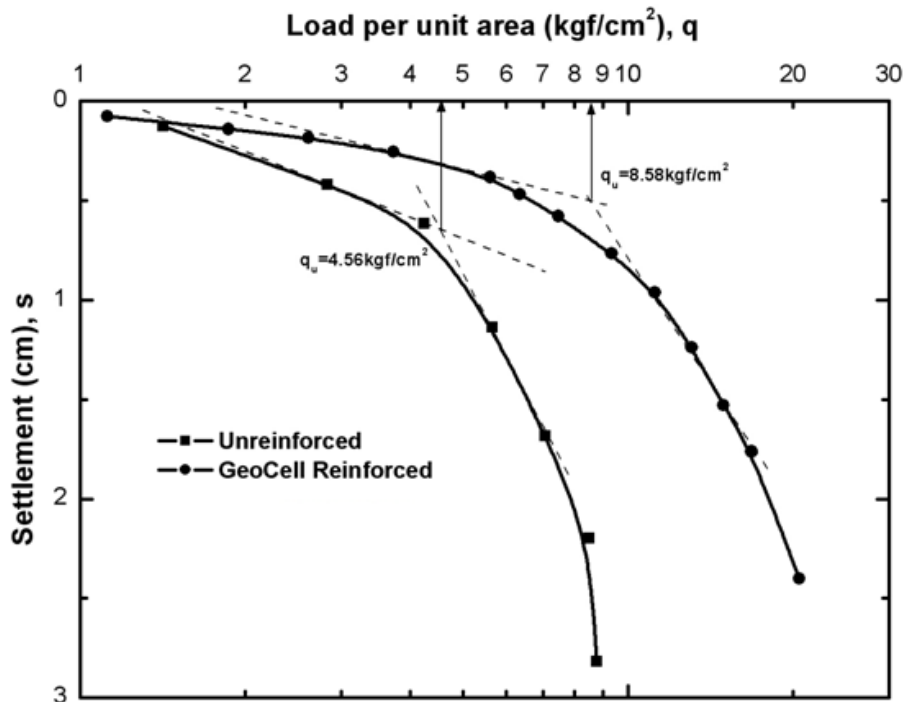


그림 8. 시험시공현장에서 무보강과 지오셀보강 기층의 평판재하 시험 결과

4.3 지오셀 보강지반의 지지력 분석

실내시험인 직접전단 시험과 현장의 평판재하시험의 자료를 통해 지오셀로 보강된 지반의 지지력 증대 효과를 확인할 수 있다. Terzaghi, Meyerhof의 지지력공식을 통해 보강과 무보강, 셀 내 채움재에 따른 결과는 표 3과 같이 나타난다. 각각의 지지력을 공식을 통해 확인해본 결과 Hansen 공식이 지지력을 낮게 산정하는 경향을 확인하였으며, 이는 띠기초가 가지는 특성상 기초의 길이에 영향을 받는 계수들의 값을 산정할 수 없기 때문에 나타난 결과라고 판단된다.

표 3. 실내 및 현장 시험의 결과값을 이용한 지지력의 비교

	종 류	점착력 (kgf/cm ²)	내부 마찰각(°)	극한지지력(kgf/cm ²)	
				Terzaghi	Meyerhof
대형직접전단 시험	무보강 화강풍화토	0.18	30.42	5.5	5.37
	보강(풍화토) 화강풍화토	0.2	32.25	7.3	7.18
	보강(쇄석) 화강풍화토	0	34.11	8.24	8.42
모형토조 전단시험	보강(풍화토) 화강풍화토	0.35	32.46	8.22	8.10
	보강(쇄석) 화강풍화토	0.05	35.04	10.02	10.23
평판 재하시험	무보강 화강풍화토	0	30	4.38	3.19
	무보강 실측자료	-	-	4.56	
	보강 실측자료	-	-	8.58	

5. 결 론

본 연구에서는 도로기층을 보강하는 토목섬유 중에 지오셀을 이용하였을 때의 보강효과를 알아보기 위하여 실내시험을 실시하였고 현장시험시공을 통하여 보강시와 무보강대비 지지력 값으로 확인하였다.

- (1) 직접전단시험을 통해 지오셀의 보강효과를 확인한 결과, 점착력보다는 내부마찰각의 증가에 영향을 미치는 것을 확인하였다.
- (2) 대형직접전단시험과 모형토조시험의 결과값을 통해서 셀의 갯수가 가지는 보강효과는 갯수가 커질수록 보강효과가 증대되는 것을 점착력과 내부마찰력의 증대를 통해서 알 수 있었다.
- (3) 지지력에 영향을 미치는 요소 중 지지력계수의 영향을 가장 많이 받는 것은 내부마찰각으로, 지오셀의 보강효과가 위와 같이 나타나 지지력보강에 효과적이라고 판단되며, 내부에 쇄석을 채움재로 보강하는 지오셀의 지지력보강효과가 더 탁월하였다.
- (4) 평판재하시험으로 도출한 극한지지력과 실내시험 결과값인 내부마찰각을 이용하여 지지력공식을 통해 산정한 극한지지력의 비교를 통하여 보강시 지지력의 증가를 확인하였고, 공식적용에 있어 큰 차

이를 보이지 않기 때문에 띠기초에서는 효율적으로 계산이 가능한 Terzaghi의 공식을 이용하는 것이 나올 것이라고 판단된다.

참고문헌

1. 김진만 (1998), 연약지반상 고속철도 노반재로서 지오셀 시스템의 적합성 평가, 1998년 한국토목섬유학회 학술발표회.
2. 윤여원, 김재윤, 김방식 (2002), 지오셀로 보강된 사질토의 응력-변형 거동, 2002년 지반공학회 학술발표회.
3. 윤여원, 김풍식, 윤여한 (2003), 모래지반에서 모형 지오셀에 의한 보강효과, 한국지반환경공학회 논문집 제4권 제3호 pp. 51 ~ 59.
4. 이경천, 백영식, 박영훈, 김낙영 (2003), 지오셀 보강 층수에 따른 얇은 기초의 지지력에 관한 연구, 한국지반환경공학회 논문집 제4권 제4호 pp. 85 ~ 96.
5. 조삼덕(1998), Geocell system을 이용한 연약지반상 고속철도 노반강화기법(I), 연구보고서, 한국건설기술연구원.
6. 조삼덕(2002), 연약지반상 고속철도 노반 축조시 지오셀 시스템의 효과, 한국지반공학회 논문집 제 18 권 pp. 5 ~ 12.
7. Das B.M. (신은철 역), 토질역학 3판, pp. 338, 394
8. Dash S.K., Sireesh S., Sitharam T.G. (2003), "Model studies on circular footing supported on geocell reinforced sand underlain by soft clay", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 21 pp. 197~219.
9. Bathurst R.J. & Knight M.A. (1998), "Analysis of Geocell Reinforced-soil Covers Over Large Span Conduits", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 22 pp. 205~219.
10. Dash S.K., Krishnaswamy N.R., Rajagopal K. (2001), "Bearing capacity of strip footings supported on geocell-reinforced sand", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 19 pp. 235~256.
11. Leshchinsky D. et al.(2008) Geotextiles and Geomembranes xxx, 1-10
12. Dash S.K. et al.(2001) "Strip footing on geocell reinforced sand beds with additional planar reinforcement", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 19 pp. 529~538.
13. Chen R.H., Chiu Y.M. (2008), "Model tests of geocell retaining structures", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 26 pp. 56~70.
14. R.A. Jewell and Wroth. C. P (1987), "Direct shear tests on Reinforced Sand", Geotechnique, Vol. 37, No. 1, pp. 53-68.
15. Koerner, R. M (1990), Designing with Geosynthetics, PRENTICE HALL.