

타이어셀로 보강된 지반의 거동에 대한 수치모델링

Numerical Modeling of Reinforced Soil with Waste Tirecell

윤여원[†] · 견광수¹⁾ · 윤길림²⁾

Yoon, Yeowon · Kyeon, Kwangsoo · Yoon, Gillim

ABSTRACT : In this research, the plate load tests on sand which is reinforced by Tirecell mat were simulated by finite element method (FEM). Tirecell mat made by waste tires has the same function and similar shape to Geocell for soil reinforcement and it can also be used for civil engineering structure. The results were compared with those of field plate load tests for evaluation of suitability of modeling method. From the comparison of both results, it can be seen that the settlements by FEM were very similar to test results with small margin under the ultimate bearing capacity. For the ultimate bearing capacities of two results, difference was very small. After the confirmation of the modelling, reinforcing effects with variation of cover depth and number of reinforcement layers by Tirecell were analyzed additionally. Reinforcing effect decreases with increasing soil cover depth, and this is similar to previous test results by soil cover depth. As the number of reinforcing layers increased, reinforcing effect increased. However at more than 2 reinforcing layers, reinforcing effect was negligible. In conclusion, the modeling method in this research might be used for analysis of reinforced structures using Tirecell mat.

Keywords : Modelling, Bearing capacity, Settlement, Reinforcement, Waste tire

요 지 : 본 연구에서는 타이어셀로 보강된 모래지반에 대한 평판재하시험을 유한요소법에 의해 모델링하였다. 타이어셀의 기능과 외양은 지오셀과 비슷하며 지오셀과 마찬가지로 토목구조물에서 지반보강 목적으로 사용할 수 있다. 해석결과는 모델링의 적절성을 평가하기 위해 현장 재하시험결과와 비교하였다. 두 결과의 비교로부터 유한요소해석에 의한 침하량은 극한지지력에서 실험결과와 유사한 값을 나타내었다. 모델링을 검증한 후 타이어셀의 보강깊이와 보강층 수의 변화에 대한 해석을 수행하였다. 보강효과는 보강 깊이가 증가함에 따라 감소하였으며 이러한 경향은 기존의 시험결과와 유사하였다. 보강층수가 증가함에 따라 보강효과는 증가하였다. 그러나 2층 이상의 보강은 효과가 무시할 정도였다. 결론적으로 본 연구에서의 모델링 방법은 타이어셀을 사용한 지반구조물의 해석에 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

주요어 : 모델링, 지지력, 침하, 보강, 페타이어

1. 서 론

자동차 산업의 발달로 인한 불가피한 부산물인 페타이어의 재활용 방법의 하나로서 토목분야에서의 활용은 선진 외국에서 활발히 이루어지고 있으며 타이어를 칩으로 활용하기 위한 연구 및 실용화 사례(Foose 등, 1996; Humphrey, 1992), 원형을 최대한 살려 활용한 사례(Nguyen, 1996; Garga 등, 2000)가 있다. 국내에서는 지난 수 년 간 페타이어 지반보강재에 대한 그 보강효과와 보강재의 강도특성, 시공시 환경에 미치는 영향 등 활발한 연구가 진행되었으며 타이어 트레드를 이용하여 지오셀과 유사한 입체형 셀(타이어셀, 그림 1(b))로 제작하여 지반보강재로 활용하기 위한 연구와 시공사례가 있다(Yoon et al., 2004; 윤여원 등, 2004, 2005, 2007; 천성한, 2005; Yoon, 2007; Yoon et al., 2008). 그럼에도 이에 대한 수치해석 연구는 아직 없는 실정에 있

으며, 타이어 지반 보강재가 여러 재료로 구성되어 있는 점과 타이어셀의 연결부 특성을 반영해야 하는 점이 있다. 본 연구에서는 지반 보강용으로 고안된 타이어셀 매트에 대한 기존 연구 결과인 모형토조에서의 재하시험결과(서덕성, 2003)에 대하여 수치모델링을 통하여 분석함으로써 수치해석상의 타이어셀 매트 모델링에 대한 적정성을



그림 1. (a) 지오셀과 (b) 타이어셀

† 정희원, 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수(E-mail : yoonyw@inha.ac.kr)

1) 정희원, 포스코건설(주)

2) 정희원, 한국해양연구원 항만·연안공간연구사업단 책임연구원

판단하고 나아가 타이어셀 매트가 적용된 실제 구조물의 거동에서의 그 보강효과를 예측할 수 있게 하고자 한다.

2. 지오셀 시스템의 보강 효과

지오셀(그림 1(a))은 종래에 지반보강을 위해 흙-보강재의 마찰력 및 인발저항력을 이용하는 평면형태의 보강 방법인 부직포나 직포 형태의 지오텍스타일과 지오그리드 같은 토목섬유에서 한 단계 더 진전된 것으로, 그림 2와 같이 단위 셀 안에 채움재를 채워 다짐으로써 공학적 특성을 증대시켜 지반의 지지력 및 전단강도를 극대화시킨 3차원적인 복합 구조체이다. 폴리머 재료를 지오셀 제작에 사용하게 된 배경은 확장된 셀이 흙을 횡방향으로 구속하여 안정된 흙과 토목섬유(geosynthetics)의 복합체를 형성한다는 개념이다. 그림 2와 그림 3은 Bathurst와 Karpurapu(1993)에 의한 연구결과로서 폴리머 쉬트로 만든 실린더로 구속된 흙 시료에 대한 대형 삼축시험 결과, 구속으로 인한 전단강도 증진을 보여주고 있다. 실험결과에 의하면 셀에 의한 시료의 구속효과는 셀 내부 시료의 전단저항각이 근본적으로 거의 일정한 반면에 겉보기 점착력을 증가시키는 것으로 나타나고 있다.

Koerner(2005)는 Terzaghi의 지지력 공식을 응용하여 지오셀을 사용하지 않는 경우와 사용하는 경우에 대한 극한 지지력 식 (1)과 (2)를 제안하였고 파괴메카니즘은 그림 4

에 나타내었다. 지오셀의 횡방향 구속은 보강하지 않은 경우보다 히빙이 적으며 작은 침하량을 나타낸다.

- 지오셀 시스템이 없는 경우

$$q_u = cN_c\zeta_c + qN_q\zeta_q + 0.5\gamma BN_\gamma\zeta_\gamma \quad (1)$$

- 지오셀 시스템이 있는 경우

$$q_u = 2\tau + cN_c\zeta_c + qN_q\zeta_q + 0.5\gamma BN_\gamma\zeta_\gamma \quad (2)$$

여기서, c = 점착력(모래의 경우 0)

q = 상재하중(= $\gamma_q D_q$)

γ_q = 지오셀 안의 흙의 단위중량

D_q = 지오셀의 깊이

B = 작용된 하중의 폭

γ = 파괴영역에 있는 흙의 단위중량

N_c, N_q, N_γ = 지지력 계수(ϕ 의 함수)

$\zeta_c, \zeta_q, \zeta_\gamma$ = 기초의 모양에 따른 형상계수

τ = 지오셀과 채움재의 마찰에 의한 전단저항

3. 모형토조의 모델링

3.1 수치해석 및 적용 물성치

본 연구에서 사용된 프로그램은 유한요소해석 프로그램

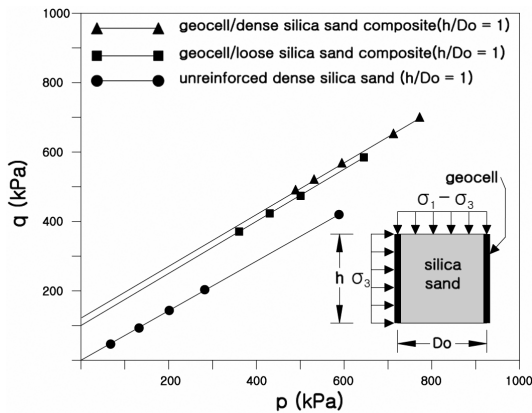


그림 2. 지오셀로 보강된 모래의 파괴포락선(Bathurst and Karpurapu, 1993)

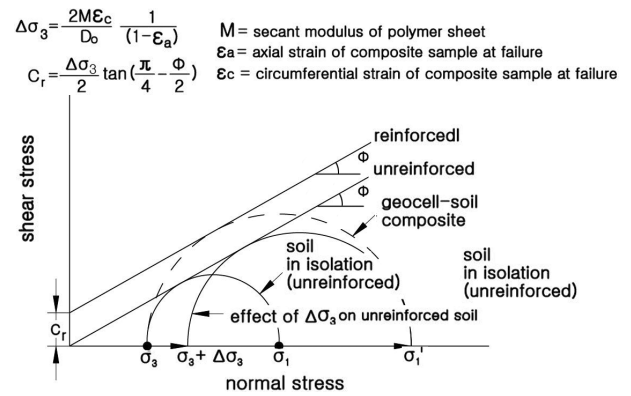


그림 3. 지오셀 모래복합체의 점착력 결정을 위한 모어원(Bathurst and Karpurapu, 1993)

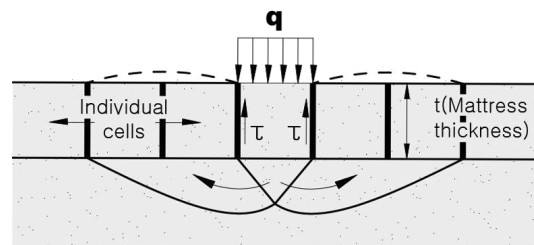
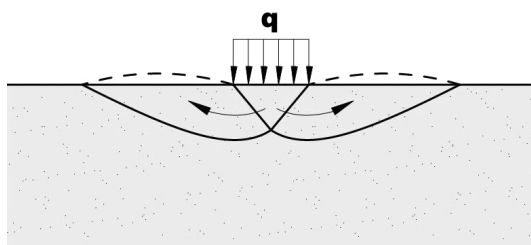


그림 4. 보강, 무보강지반에서의 파괴 메커니즘(Koerner, 2005)

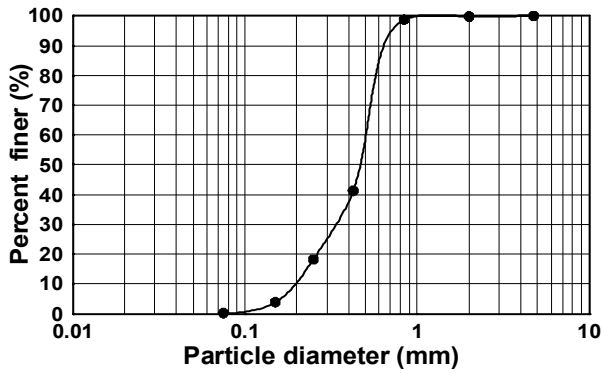


그림 5. 입도분포곡선

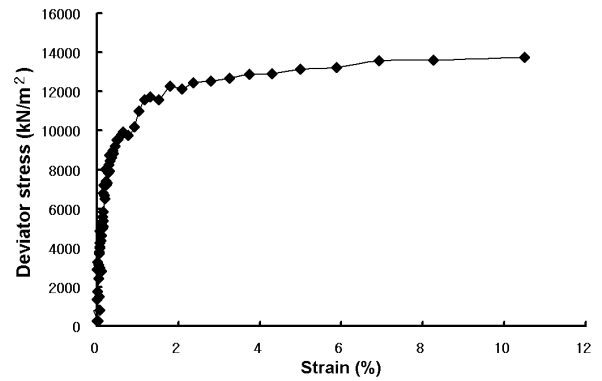


그림 6. 삼축압축시험 결과

표 1. 모래의 물성치

| D_r (%) | ϕ (degree) | Water content (%) | C_u | C_c | G_s | $\gamma_{d\max}$ (kN/m ³) | γ_t (kN/m ³) | $\gamma_{d\min}$ (kN/m ³) |
|-----------|-----------------|-------------------|-------|-------|-------|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 70 | 36.5 | ≈ 0 | 2.81 | 1.0 | 2.65 | 15.86 | 14.98 | 13.27 |

표 2. 유한요소 해석을 위한 물성치

| Material | E (kN/m ²) | ν | γ (kN/m ³) | c (kN/m ²) | ϕ (degree) |
|------------------------|------------------------|-------|-------------------------------|------------------------|-----------------|
| Tirecell mat | 2,500,000 | 0.4 | 15.58 | 0 | 30 |
| Sand | 16,000 | 0.3 | 14.98 | 0 | 36.5 |
| Connection of Tirecell | 200,000,000 | - | 76.98 | - | - |

(Midas/GTS, Geotechnical Tunnel Analysis System)이며 시공단계를 고려한 응력해석과 침투류해석 등 지반 및 터널공학분야 구조해석이 가능한 것으로서 지반은 Mohr-Coulomb 항복조건을 적용하였고 General elastic-perfectly plastic 이론이 적용되었다. 상세한 내용은 Midas/GTS Analysis Reference (강희정 등, 2006)에 수록되어 있다.

모형토조의 지반조성에 사용된 모래는 함수비가 거의 0인 건조된 상태의 인천연안에서 채취된 해사가 사용되었으며, 상대밀도 시험과 직접전단시험을 이용한 시료의 특성을 표 1에 나타내었으며 입도분포곡선을 그림 5에 나타내었다(한재관, 2004).

또한, 상대밀도 70%인 사질토의 탄성계수 산정을 위한 삼축시험 결과(그림 6)는 다음과 같다. 그래프에서 직선부분의 끝인 축차응력 9,777kN/m²에서 변형율은 0.6%로 측정되었고 따라서 모형토조의 모래지반(상대밀도 70%, 상대다짐도 95%)의 탄성계수는 약 16,000kN/m²로 결정되었다. 포아송비는 조밀한 모래의 일반적인 포아송 비의 범위 0.2~0.4(Bowles,1996) 중에서 중간 값인 0.3을 취하였다.

삼축압축시험과 직접전단시험 및 문헌으로부터 결정된 해석에 사용된 재료정수의 값은 표 2와 같다. 특히 타이어셀 매트 물성치의 경우 타이어매트로 보강된 성토지반의 거동 및 환경영향 평가(천성한, 2005)와 지반보강재로서 페타이어의 공학적 특성(조성수, 2007), 그리고 금호타이어(주)에 문의하여 얻은 결과를 종합하여 결정하였다. 표

2에서 타이어셀과 모래의 접촉면 마찰각은 30°도이며 상대밀도 70%의 모래의 내부마찰각은 36.5°이다.

3.2 모델링

그림 7, 8, 그리고 표 3과 같이 지반과 타이어셀 매트를 3D요소인 solid 요소로 모델링하였으며, 채움재는 모래로서 Mohr-Coulomb 파괴규준을 따르는 탄소성 재료(elasto-plastic)로 간주하였다. 또한 타이어셀 유닛 간의 연결 재료인 고장력 볼트는 같은 재료특성을 갖는 1D요소인 truss 요소로서 모델링하였다. 그림 9는 모델링에서 적용된 토조와 보강재 및 재하판 등의 제원을 나타낸 것이며 이는 실제 모형토조실험에서 사용된 제원과 같다. 하중의 경우 실제 토조시험에서와 같이 모형지반의 상부에 재하판 크기만큼의 면적에 연직하중이 가해지는 조건이며, 경계조건은 모형지반의 측면은 수평방향으로 변위를 구속하였고, 하부경계는 수평, 수직방향으로 전부를 구속하였다. 재하판 중심으로부터 양측 경계면까지의 거리는 재하판 직경의 약 2.86배, 바

표 3. 재료의 모델링

| Material | Analysis model | Element type |
|------------------------|----------------|--------------|
| Tirecell mat | elastic | solid |
| Sand | elasto-plastic | solid |
| Connection of Tirecell | elastic | truss |

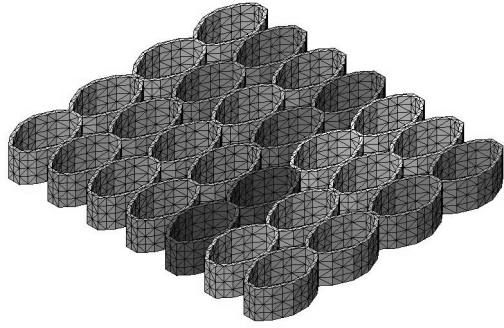


그림 7. 타이어셀 매트 모델링

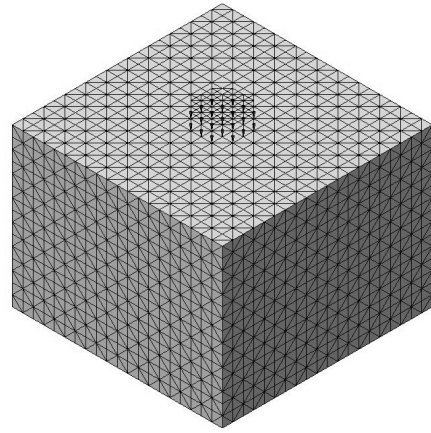
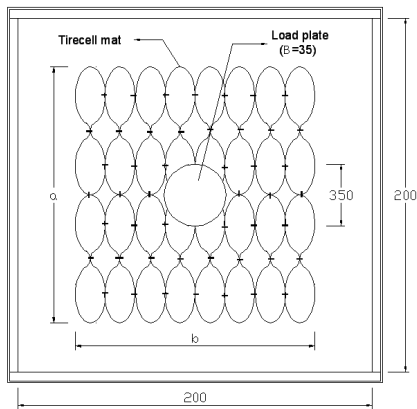
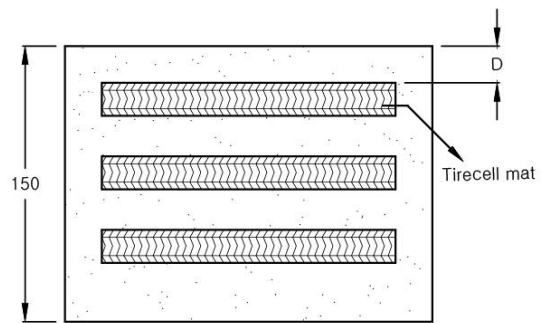


그림 8. 모형지반 모델링



(a) 평면도



(b) 측면도

그림 9. 지반과 타이어의 모델링 내역(단위 : cm)

탁면까지의 거리는 약 4.28배이며, 시험 및 해석 결과 경계면으로 인한 영향은 없는 것으로 판단되었다. 그림 9는 실험연구자(Yoon 등, 2004)가 수행한 토조내 시험을 나타낸 개략도로서 그림에서 D는 셀의 보강깊이를 나타내며, B는 재하판의 직경을 나타내고 토조는 2.0m×2.0m×1.5m의 크기이다.

3.3 지반보강 효과

극한지지력은 하중증가 없이 침하가 급격히 일어날 경우의 지지력으로 정의되나 그러한 침하가 일어나지 않고 최대 곡률점의 결정이 쉽지 않은 경우 측정치를 침하-대수시간, 하중-대수침하속도, 대수하중-대수침하 등으로 곡선을 그려 이들 곡선이 꺾여지는 부분을 항복지지력으로 하고 이의 1.5배를 극한지지력으로 결정하거나 침하량이 재하판 직경의 10%에 해당하는 하중을 극한지지력으로 하는 방법이 있다. 본 연구에서는 수치해석에 의한 결과로부터 최대곡률점을 찾는데 어려움이 없어 하중-침하곡선의 최대곡률점을 찾아 극한지지력으로 결정하였다. 식 (3)과 식 (4)는 보

강효과를 비교하기 위한 정규화된 지지력비 BCR(Bearing Capacity Ratio)과 침하비인 SRF(Settlement Reduction Factor)를 나타낸 것이다.

$$BCR = \frac{q_r}{q_0} \quad (3)$$

q_r : 보강지반의 극한지지력
 q_0 : 무보강지반의 극한지지력

$$SRF = \frac{(s/B)_r}{(s/B)_0} \quad (4)$$

$(s/B)_0$: 무보강지반의 극한지지력에서의 침하량비
 $(s/B)_r$: 무보강지반의 극한지지력과 일치하는 지지력에서 보강지반의 침하량비

위 식에서 알 수 있는 바와 같이 BCR 값이 크면 지지력의 증가를 나타내고 SRF값이 크면 침하감소효과가 작음을 나타낸다.

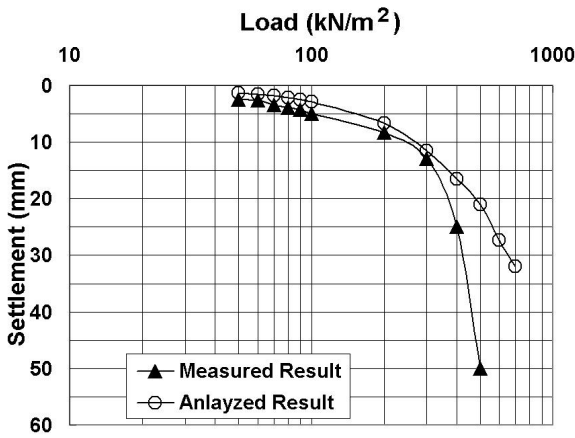


그림 10. 무보강지반의 하중-침하 곡선

표 4. 무보강지반의 극한지지력

| Classification | q_0 (kN/m ²) |
|-----------------|----------------------------|
| Measured result | 314 |
| Analyzed result | 321 |

4. 해석 결과 및 고찰

4.1 무보강지반

그림 10과 표 4는 사질토의 상대밀도 70%인 무보강지반에서의 실험결과와 해석결과를 같은 그림과 표에 각각 나타낸 것이다.

실제 측정된 침하량(서덕성, 2003)과 해석된 침하량은 침하량이 커짐에 따라 해석치와 차이가 커지고 있으나, 극한지지력값에 근접한 300kN/m²의 하중이 작용할 때까지는 어느 정도 측정치의 경향을 잘 반영하는 것으로 나타났다. 또한 표 4를 보면, 극한지지력의 측면에서 실제 측정값에서의 경우 314kN/m²이고 해석결과에서의 경우 321kN/m²로서 그 결과가 매우 유사하였다. 따라서 이 연구결과를 바탕으로 타이어셀의 보강 깊이에 따른 지지력 해석을 수행하였다.

4.2 보강깊이에 따른 지지력과 침하

그림 11과 표 5는 상대밀도 70%인 사질토 지반에서 타이어셀의 보강 깊이에 따른 보강지반에서의 실험결과와 해석결과를 나타낸 것이다. 여기서 B는 재하판의 직경이며 D는 보강깊이를 나타낸다.

보강깊이-재하판폭의 비 D/B=0.2에 대한 실제 측정된 침하량과 해석된 침하량은 400kN/m² 이전까지는 비슷한 결과를 나타내었고, 그 이후로는 지지력의 차이가 일치하지는 않고 있으나, 어느 정도 측정치의 경향을 잘 반영하는

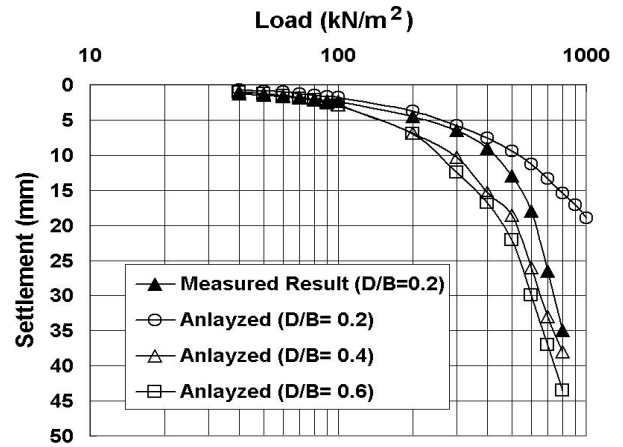


그림 11. 보강지반의 하중-침하 곡선

표 5. 보강지반의 극한지지력

| Depth of reinforcement | Ultimate bearing capacity (kN/m ²) |
|------------------------|--|
| Measured (D/B=0.2) | 500 |
| Analysis (D/B=0.2) | 517 |
| Analysis (D/B=0.4) | 327 |
| Analysis (D/B=0.6) | 314 |

것으로 나타났다. 실측값과 다소 상이한 거동을 나타내는 원인으로서는 입력된 재료의 물성치, 즉 매개변수 결정문제로 판단된다. 본 해석에서 사용한 지반의 탄성계수는 C.K.C 삼축압축 시험기를 사용하여 응력제어방식으로 실내시험을 통하여 결정된 것이다. 시험기기의 특성상 50kN/m²이하의 구속압력을 가하기 어려워 시료 내부의 배압을 50kN/m²로 작용시키고 구속압력을 가하여 시료를 압밀시킨 후 축차 응력을 가하였다. 이 과정에서 실제 현장의 흙 요소가 받는 구속응력상태와 일치하는 상태를 정확히 재현시키지 못하고 시험기의 특성상 현장조건보다 큰 구속압력이라 할 수 있는 50kN/m²을 가함으로 인해 실제 현장지반이 받는 구속압에 의한 지반의 강성 등을 정확히 대변하는데 어려움이 있고, 그로 인해 산정된 지반의 탄성계수가 다소 과대 평가되었기 때문이라고 판단된다. 보강된 지반의 경우 보강하지 않은 경우와 마찬가지로 실측값과 해석값이 정량적인 측면에서 약간의 차이를 보이지만, 설계시에는 극한지지력에 일정 안전율을 적용하게 되므로 설계하중에서의 거동에서는 이보다 더 작은 차이를 나타낼 것으로 생각된다. 극한 지지력에 대한 측면에서도 각각 500kN/m²과 517kN/m²으로 그 결과값이 약 3% 정도 차이로 타이어셀매트의 모델링은 적절한 것으로 사료된다. 표 5의 다른 결과들은 타이어셀 매트와 보강깊이에 대한 보강효과를 나타낸다. 표 6은 선행연구와 해석에 의한 타이어셀 매트의 복토두께에 따른 BCR과 SRF를 나타낸 것으로 기존연구는 상대밀도 55%에 대한 토조내 재하시험 결과이며 본 연구에서는 현

장에서 상대다짐도 95%에 해당하는 상대밀도 70%에 대하여 해석을 수행하였다. 본 연구의 모델링에 있어서 solid element는 흙 사이의 간극을 표현하지 않고 탄성계수와 단위중량 등을 통하여 흙 요소의 조밀한 정도를 표현한다. 그림 12는 보강깊이에 따른 지지력비를 나타낸 것으로 밀도가 서로 다르지만 시험결과와 수치해석 결과가 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있고, 이 그림으로부터 같은 보강 깊이에서는 상대밀도가 클수록 보강효과가 작으며 보강 깊이가 깊을수록 보강효과가 감소함을 알 수 있다. 그림 13은 보강깊이 변화에 따른 침하비를 나타낸 것이며, 보강 깊이가 깊어질수록 침하감소효과가 작아짐을 알 수 있다. SRF 값은 식 (4)에서 정의한 바와 같이 작을수록 보강에 의한 침하감소효과가 크고, 값이 클수록 침하감소효과가 작음을

표 6. 복토두께 변화에 따른 BCR과 SRF

| D/B | BCR | | SRF | |
|-----|---------|----------|---------|----------|
| | Dr=55%* | Dr=70%** | Dr=55%* | Dr=70%** |
| 0.2 | 2.29 | 1.65 | 0.23 | 0.37 |
| 0.4 | 1.55 | 1.07 | 0.41 | 0.56 |
| 0.6 | - | 1.02 | - | 0.65 |
| 0.8 | 1.17 | - | 0.65 | - |

* 서덕성(2003) ** Numerical analysis

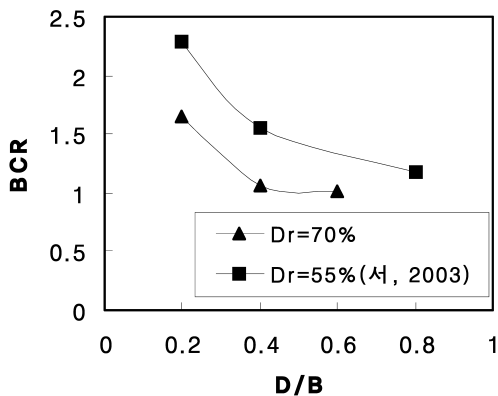


그림 12. 보강깊이에 따른 지지력비 변화

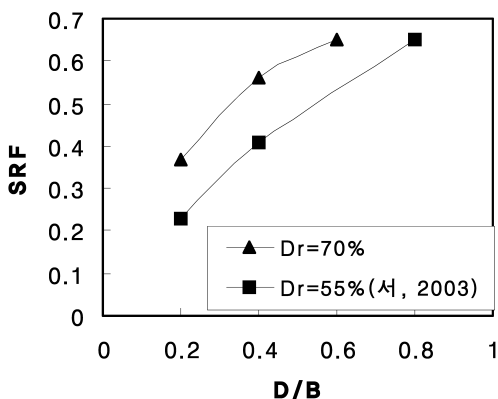


그림 13. 보강깊이에 따른 침하비 변화

나타낸다. 즉 낮은 밀도의 흙을 보강할 경우에 침하경감효과가 큼을 알 수 있다.

Guido 등(1988)와 Dash 등(1994)에 의하면 복토두께가 재하판의 1.0배 이상일 경우에 보강효과가 거의 없다고 제시하였으며, Krishnaswamy(2001)에 의하면 복토두께가 재하판의 0.75배 이상일 경우에 보강효과가 없다고 하였다. 본 연구의 결과에서는 복토두께가 0.6이상이면 지지력면에서 보강효과가 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 보강효과가 미치는 깊이는 흙의 밀도, 보강재의 특성 등에 따라 다른 것으로 나타난다.

4.3 보강층수에 따른 지지력과 침하

표 7 및 그림 14는 보강된 타이어셀 매트와 층수에 따른 수치모델링 결과를 나타낸 것이다. 여기서 각 층의 위치는 D/B=0.2를 첫 층의 위치로 각 층 간격은 D/B=0.2만큼의 등간격차로 배치하였다. D/B=0.2의 간격은 페타이어셀 매트와 보강된 모래지반의 지지력과 침하 특성(2002, 최경순)의 실험을 바탕으로 보강층수에 따른 지지력 향상 효과가 비교적 명확히 나타나는 간격이다.

그림 14에 나타난 바와 같이 보강층수가 증가함에 따라 극한지지력은 증가하고 침하량은 감소하지만 보강층수가 증가할수록 지지력 증가율은 둔화됨을 알 수 있다. 보강층수가 1층에서 2층으로 늘어남에 따라 BCR과 SRF는 약 10% 정도의 보강효과 증가가 관찰되지만 3층으로 늘어날 경우 BCR과 SRF는 약 5%정도의 보다 적은 보강효과 증

표 7. 보강층수에 따른 지지력비와 침하비

| Number of reinforcement layers | BCR | SRF |
|--------------------------------|------|------|
| 1 | 1.65 | 0.50 |
| 2 | 1.81 | 0.45 |
| 3 | 1.90 | 0.43 |

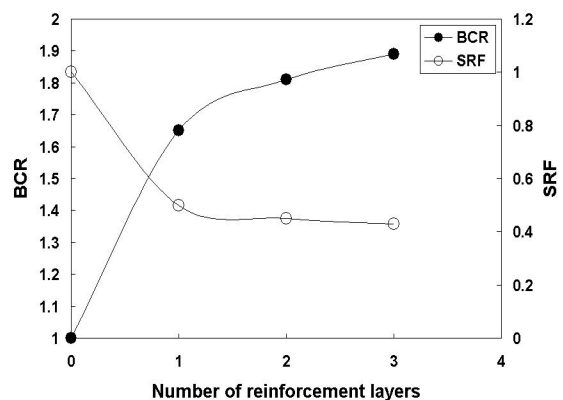


그림 14. 보강층수에 따른 BCR과 SRF의 변화

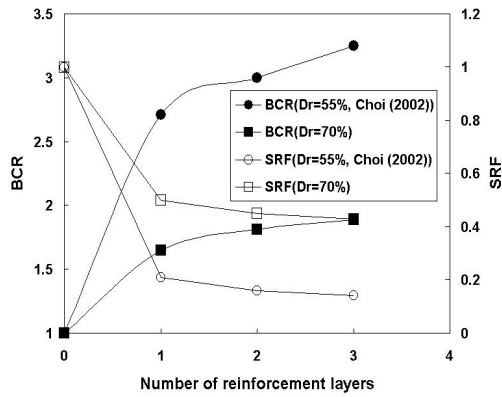


그림 15. 측정치와 해석치의 BCR과 SRF 비교

가가 관찰되었다. 보강층수가 늘어남에 따라 그 보강효과의 증가가 감소하는 것이 관찰되었고 따라서 $D/B=0.2$ 의 등 간격으로 보강재를 배치할 경우 적절한 보강층수는 2층으로 사료된다.

그림 15는 타이어셀 매트와 보강층수에 따른 보강효과를 고찰한 기존의 연구(2002, 최경순)에서의 재하시험결과와 본 연구에서 수행했던 수치모델링의 결과를 비교한 것이다.

기존연구의 경우, 상대밀도 55%에 대하여 실행되었고 본 모델링은 현장여건과 삼축시험 결과에 근거하여 상대밀도 70%에 대하여 이루어졌다. BCR과 SRF를 통해 상대밀도 55%인 기존연구 결과가 비교적 큰 보강효과를 나타낸 것은 느슨한 상태인 지반의 경우 타이어셀 매트와 인접구속의 효과가 보다 크게 작용한 것이 그 이유로 사료된다. 밀도에 따른 이러한 보강효과 경향은 다른 연구(한재관, 2004; 윤여원 등, 2004)에서도 잘 알 수 있다. 비록 서로 다른 상대밀도에 대하여 이루어진 연구이지만 수치해석상의 결과는 실제시험에서 얻어진 결과와 비슷한 경향을 나타냄을 확인할 수 있었다. 두 가지 경우 모두 무보강일 때보다 1층이 보강될 경우 그 효과는 크게 증가하지만 보강층수가 증가할수록 보강효과의 증가는 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 2층 이상의 보강에서는 보강효과의 증가가 확연히 감소함에 따라 적절한 보강층수는 2층인 것으로 사료된다. 윤여원 등(2004)에 의하면 느슨한 사질토의 경우에는 상하층간 더 좁은 간격으로 더 많은 층수로 보강효과를 볼 수 있고 조밀한 사질토에서는 보강효과를 나타내기 위한 층의 수에 제약을 받는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 지반 보강용으로 고안된 페타이어셀 매트와 대한 기존의 연구결과인 모형토조에서의 재하시험결

과와 수치해석결과를 비교한 후, 이를 바탕으로 보강층수 및 보강깊이에 대한 수치모델링을 시도하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 수치해석을 통해 얻은 타이어셀 보강지반의 침하량의 경우, 그 결과 값이 시험 결과와 유사한 결과로 볼 때 모델링이 적절한 것으로 판단된다.
- (2) 상대밀도 70%인 경우의 보강깊이에 따른 수치해석 결과, 보강깊이가 깊어질수록 보강효과는 감소하며 상대밀도가 작은 경우보다 보강효과는 더 작게 나타났다.
- (3) 보강층수 변화에 대한 수치해석 결과, 보강층수가 증가할수록 지지력은 증가하였으나 증가율은 보강층수가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 측정결과와 유사한 경향을 나타내었다.
- (4) 상대밀도 70%인 사질토에 대한 해석결과, 보강깊이가 재하폭의 60%($D/B=0.6$)이상인 경우 보강효과는 거의 나타나지 않음을 알 수 있었다.
- (5) 이러한 보강도에 대한 측정결과와 수치해석 결과 비교로부터 적용 물성치는 비교적 적절한 것을 알 수 있었으며 설계단계에서 타이어셀에 의한 보강효과를 사전에 검토 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 인하대학교 연구비로 수행된 것으로 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 강희정 외 35명 (2006), *Analysis Reference, Midas GTS Manual*, 주식회사 마이다스아이티, pp. 166 ~ 169.
2. 서덕성 (2003), *사질토 지반에서의 타이어셀과 지오셀의 지지력*, 석사학위논문, 인하대학교, pp. 18 ~ 42.
3. 윤여원, 김방식, 서덕성 (2004), 페타이어와 토목섬유에 의한 지반보강효과의 비교연구, *한국지반공학학회논문집*, 제20권 제5호, pp. 59 ~ 66.
4. 윤여원, 조성수, 김근수 (2007), 지반보강재로서 타이어 트레드의 공학적 특성, *한국지반환경공학회 논문집*, pp. 49 ~ 55.
5. 윤여원, 천성한, 허승범 (2005), 페타이어 매트와 보강된 풍화토지반의 거동, *한국지반환경공학회논문집*, 제6권 제4호, pp. 37 ~ 46.
6. 윤여원, 최경순, 윤길림, 김방식 (2004), 지반보강재로서 페타이어의 활용; (1) 지반보강 효과, *한국지반공학회논문집*, 제20권 제3호, pp. 107 ~ 117.
7. 조성수, *지반보강재로서 페타이어의 공학적 특성*, 석사학위논문, 인하대학교, pp. 28 ~ 32.
8. 천성한 (2005), *페타이어 매트와 보강된 성토지반의 거동 및*

- 환경영향 평가, 박사학위 논문, 인하대학교, pp. 90~92.
9. 최경순 (2002), *페타이어셀 매트로 보강된 모래지반의 지지력과 침하특성*, 석사학위 논문, 인하대학교, pp. 21~48.
 10. 한재관 (2004), *사질토지반에서 페타이어매트와 지오그리드의 보강효과*, 석사학위 논문, 인하대학교, pp. 17~21.
 11. Bathurst, R.J. and Kapurapu, R. (1993), Large-scale triaxial compression testing of geocell reinforced soils, *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 16, No. 3, pp. 296~303.
 12. Bowles, Joseph E. (1996), *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill Co., p. 67.
 13. Dash, S.K., Krishaswamy, N.R., and Rajagopal, K. (2001), Bearing Capacity of Strip footings supported on geocell-reinforced sand, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 19, pp. 235~256.
 14. Foose, G. J., Benson, C. H., and Boscher, P. J. (1996), Sand Reinforced with Shredded Waste Tire, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 122, pp. 760~767.
 15. Garga V.K. and O'Shaughnessy, V. (2000), Tire-reinforced earthfill. Part I: Construction of a test fill, performance and retaining wall design, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 37, pp. 75~96.
 16. Guido, V. A. and Christou S. N. (1988), Bearing Capacity and Settlement Characteristics of Geoweb-Reinforced Earth Slabs, *Proc. ASCE 1988 Spring Meeting*, pp. 21~36.
 17. Humphrey, D.N. and Manion, W.P. (1992), Properties of tire chips for light weight fill, *Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics*, Geotechnical Special Publication, No. 30, Vol. 2, pp. 1345~1355.
 18. Koerner, R.M. (2005), *Designing with Geosynthetics*, Fifth Edition, Prentice Hall, pp. 750~753.
 19. Krishnaswamy, N.R., Rajagopal, K., and Madhavi Latha, G. (2000), Model Studies on Geocell Supported Embankments Constructed over a Soft Clay Foundation, *Proc. The American Society for Testing and Materials*, pp. 45~54.
 20. Nguyen, T.H. (1996), Utilization of used tyres in civil engineering - The Pneusol 'Tyresoil', *Proc. of the 2nd Int'l Congress on Environmental Geotechnics*, pp. 809~814.
 21. Yoon Yeo Won (2007), Engineering characteristics of tire treads for soil reinforcement, *International Workshop on Scrap Tire Derived Geomaterials*, Special lectures, Yokosuka, Japan, pp. 80~101.
 22. Yoon Yeo Won, Cheon Sung Han, Kang Dae Sung (2004), Bearing capacity and settlement of tire-reinforced sands, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 22, pp. 439~453.
 23. Yoon Yeo Won, Heo Seung Bum, Kim Keun Soo (2008), Geotechnical performance of waste tires for soil reinforcement from chamber tests, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 26, pp. 100~107.
- (접수일: 2007. 12. 4 심사일: 2008. 1. 11 심사완료일: 2008. 9. 11)