

지오셀을 이용한 투수성 포장의 지지력 평가

Evaluation of Bearing Capacity for Permeable Pavement using Geocell

이 수 형¹ Lee, Su-Hyung
유 인 균² Yoo, In-Kyoon
이 대 영^{3*} Lee, Dae-Young

ABSTRACT

This paper presents the results of investigation into bearing capacity of a geocell reinforced load base. In order to analyze variation of bearing capacity of the geocell reinforced road base comparing to without reinforced geocell road base, a series of full-scale tests were performed and measured using FWD (Falling Weight Deflectometer). The results indicate that bearing capacity of geocell (T=1.5 mm) reinforced road base increase than the unreinforced road base.

요 지

본 논문에서는 하부층 연약지반 보강공법으로 사용되고 있는 지오셀을 이용한 투수성 도로포장의 지지력 거동 특성을 다루었다. 현장시험을 통해 지오셀 포장의 지지력 변화를 일반쇄석 포장과 비교하여 분석하기 위해 FWD를 이용하여 지지력 특성을 평가하였다. 실험결과 1.5mm 두께의 지오셀의 경우 보강효과가 나타나는 것으로 측정되었으며 재하하중이 증가함에 따라 보강효과도 큰 것으로 평가 되었다.

Keywords : Geocell, Bearing capacity, Road base, FWD, Full scale test

1. 서 론

최근들어 이상기후로 인한 집중호우 발생으로 인해 도심지 홍수 등 많은 문제가 발생하고 있다. 특히 도심지의 경우 지면의 많은 부분을 차지하고 있는 아스팔트와 콘크리트 포장면은 불투수성으로 비가오면 빗물이 배수구를 통해 배수됨으로써 도시홍수 발생, 지하수위 저하, 용수 고갈 및 도시지역 열섬 현상과 같은 환경문제를 발생시키고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 투수성 포장이 적용되고 있으나 우수의 침투로 인해 노상 지반의 연약화와 중차량으로 인한 상부하중시 지반의 지지력 저하로 인

한 문제가 발생할 수 있음에 따라 중량이 가벼운 차량이 통과하는 광장, 주차장 및 보도, 자전거 포장에 제한적으로 적용되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 연약지반 보강에 사용되는 토목섬유인 지오셀(Geocell)을 포장하부층에 적용하여 지지력을 증가시키는 방법에 대한 관심이 증가하고 있다.

연약지반 보강에 사용되는 토목섬유인 지오셀은 3차원 단위셀 형상으로 제작된 토목섬유 내에 채워진 모래, 자갈 등의 채움재는 셀 벽에 의해 변형 및 이동이 억제되어 구속력을 발휘하여 보강효과를 발휘하는 시스템이다.

도로, 철도노반, 제방, 성토사면 및 연약지반 개량에 사용되는 지오셀의 지반공학적 적용성 및 보강효과에 대해

1 비회원, 한국건설기술연구원 수석연구원 (Non-member, Senior Researcher, Korea Institute of Construction Technology)
2 비회원, 한국건설기술연구원 연구위원 (Non-member, Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology)
3* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원 (Member, Senior Researcher, Department of Geotechnical Engineering, Korea Institute of Construction Technology, E-mail: dylee@kict.re.kr)

여는 여러연구자들(심재범 등, 2002; 이경천 등, 2003; 윤여원 등, 2003; Dash et al., 2003; 신은철 등, 2009; Pokharel et al., 2010; 유인균 등, 2011; Moghaddas Tafreshi and Dawson, 2012)에 의해 연구된 바 있다.

이에 본 연구에서는 투수성 포장 하부 노반의 보강공법으로 지오셀을 이용한 도로 하부노반의 지지력 특성을 평가하기 위해 현장시험을 수행하였다. 지오셀로 보강된 도로 하부지반에 설치된 지오셀 두께 변화 및 보강여부에 따른 지지력 변화 특성을 평가하기 위해 평판재하시험과 FWD를 이용하여 고찰하였다.

2. 이론적 배경

토목섬유의 일종인 지오셀은 평면형태의 토목섬유인 지오그리드 보강재와 달리 3차원 형태의 단위 셀형태로 제작되어 셀 안에 모래, 자갈 등의 조립토를 채워 구속력 증가로 인해 압축특성 및 지지력을 증가시키는 방법이다. 지오셀은 무보강 상태에서 하중 작용에 따른 토립자의 변형과 이동으로 인한 지표면의 융기 현상과 파괴거동을 토목섬유 셀로 구속시켜 토립자의 변형과 이동을 억제하는 보강 메카니즘으로 연약지반의 지지력 개선, 도로, 철도, 사면등에 적용될 수 있다. 그림 1은 3차원 구조의 지오셀 보강여부에 따른 구속력과 응력분포에 따른 파괴메카니즘을 나타내고 있다. 그림 1(b)는 지오셀 보강시 파괴메카니즘을 나타내고 있는데 상재하중 재하시 셀내부의 벽과 채

움재 사이의 마찰력이 발생하며 채움재의 이동을 억제하려는 구속력이 발생한다. 이에따라 극한 파괴면은 지오셀 보강 영역 아래에서 나타나고 전단 파괴영역의 확대를 막게되므로 결과적으로 하중분산효과와 변형감소를 통해 더 큰 하중을 지지 할 수 있게된다. Koerner et al.(1996)는 지오셀 보강시 지오셀의 구속력으로 인해 전단강도가 증가하게 되고 비보강시에 비해 지지력이 증가한다고 보고 하였으며, Dash et al.(2003)은 지오셀로 보강된 지반의 경우 셀내부 채움재의 구속력 증가로 상부 기초하중을 분산시켜 침하를 감소하는 효과가 있다고 하였다.

지반 구조물 보강용으로 현장에서 주로 사용되는 지오셀은 그림 2에서 나타남바와 같이 세가지 형태로 구분된다.

3. 현장시험 포장

3.1 시험포장

본 연구에서는 지오셀을 이용한 투수성 포장의 지지력 성능 평가를 위해 경북 안동의 실험센터 관내 비포장 구간에 3차원 입체적 매트리스 구조 형식의 지오셀을 투수성 포장 하부에 보강하여 시험시공을 실시하였다. 시험포장은 지오셀의 크기에 따른 투수성 포장의 지지성능을 평가하기 위해 시험포장 단면은 표층 5cm, 기층은 쇄석기층으로 12cm, 지오셀 두께 1.2mm로 보강한 단면(단면 1), 지오셀 두께 1.5mm로 보강한 단면(단면 2), 지오셀로 보강

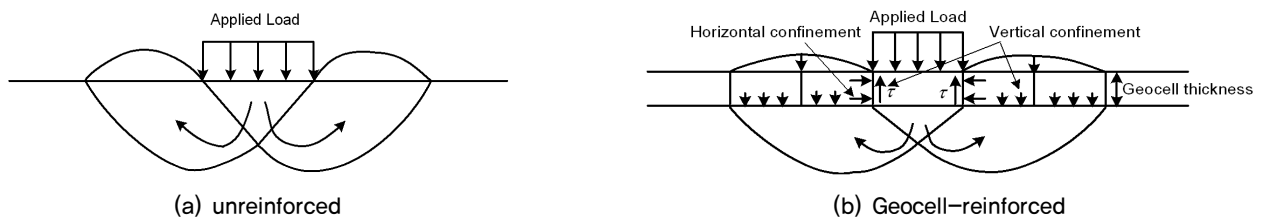


그림 1. 지오셀 보강 메카니즘

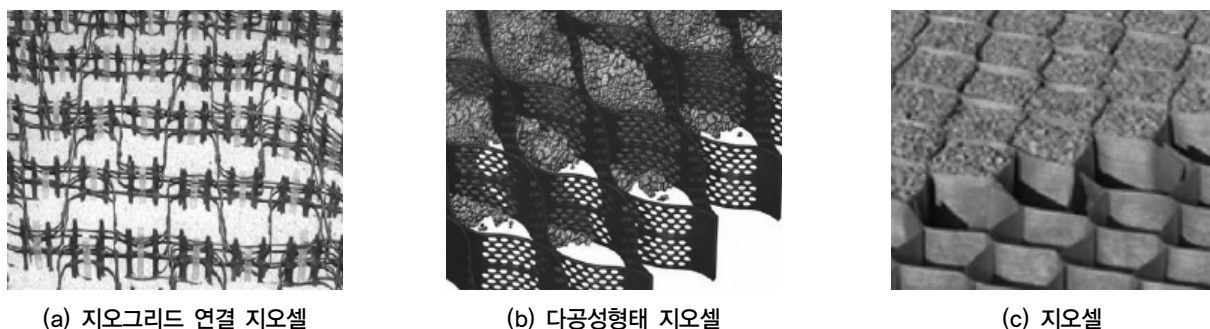


그림 2. 지오셀 형상 메카니즘(Moghaddas Tafreshi and Dawson 2012)

을 하지 않은 단면(단면3) 등 총 3개 단면에 대해 각각 45m씩 포장을 실시하였으며 그림 3~4는 시험포장 구간의 평면도 및 단면도를 나타내고 있다.

3.2 사용재료

현장시험에 사용된 지오셀은 얇은 띠형태 HDPE 시트를 3차원 벌집형태의 구조로 제작하여 지오셀이 서로 연결되어 전단강도와 강성을 증가시키는 형태의 토목섬유 보강재이다. 그림에 보는바와 같이 1.2mm, 1.5mm 두께, 직경 20cm 높이는 12cm 제품을 사용하였다. 지오셀 채움재는 최대직경 19mm 쇄석을 사용하였으며, 표층으로는



그림 3. 시험시공 구간 포장 평면도

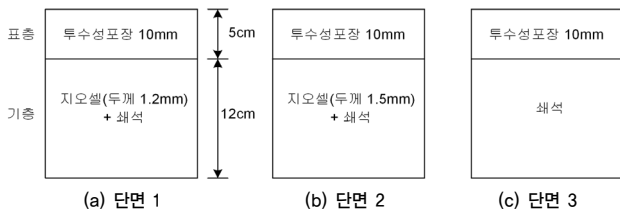


그림 4. 시험시공 포장 단면도

공극률 20%의 최대입경 10mm 아스팔트 혼합물을 사용하였다. 그림 5는 본 연구에 사용된 지오셀의 모습을 나타내고 있다.

3.3 현장시공

본 연구에서는 3차원 입체적이 매트릭스 구조 형식의 지오셀을 투수성포장의 하부구조 보강 방안으로 평가하기 위해 시험포장을 실시하였다. 시험포장 단면은 표층 5cm, 기층은 쇄석기층으로 12cm로 시공하였으며, 지오셀 보강 여부에 따른 보강효과를 위해 무보강 단면과 두께 1.2mm, 1.5mm의 지오셀로 보강한 단면에 대해 각각 45m씩 실시하였다. 그림 6은 지오셀 시험포장 시공 모습을 보여주고 있다.



그림 5. 시험에 사용된 지오셀



그림 6. 지오셀 시험시공

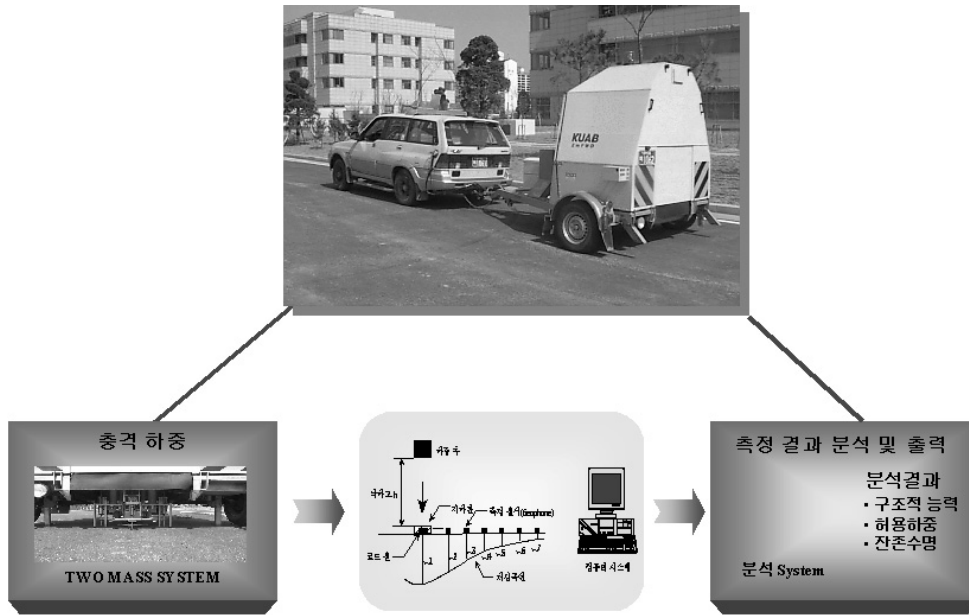


그림 7. 포장구조 진단기(FWD)의 조사 및 분석

3.4 계측장치

본 실험에서는 시험포장 구간의 지지력 특성을 측정하기 위해 지오셀로 보강하지 않은 단면에 대해 기층을 설치한 후 아스콘 표층을 설치하기 이전에 평판 재하 시험과 노면 처짐량 측정 장비인 FWD(Falling Weight Deflectometer)를 이용하여 지오셀 설치에 따른 지지력 특성을 평가하였다. 그림 7에서 나타난 바와 같이 FWD는 도로포장의 구조적 지지력을 측정하는 장비로서 차량으로 이동중에 도로 포장면에 하중을 자유낙하시켜 그 때의 충격하중에 의한 포장체의 처짐량을 측정하는 장비이다. 하중과 낙하에 따른 처짐량을 자동으로 계측하여 포장체의 구조적 능력, 허용하중 등을 평가하여 포장체의 잔존수명을 예측할 수 있는 장비이다. FWD를 통해 측정된 처짐량은 재하하중 및 측정시 온도에 영향을 받기 때문에 이에따른 하중보정 및 온도보정을 실시한다. 하중보정의 경우 도로의 등가 단축하중이 18kips(8.2ton)인것을 고려하여 일반적으로 4.1ton으로 보정하고 온도보정의 경우 특정 보정온도가 정해져 있지 않지만 일반적으로 20°C(68°F)로 보정한다. 포장구조 진단기에 의한 충격하중 방식은 실제 교통 하중과 가장 유사하다는 점에서 현재까지 개발된 포장 지지력 측정 장비 중 가장 우수한 장비로 평가 받고 있다. FWD를 이용한 처짐량 평가는 그림 8에서 나타난 바와같이 각 단면의 가운데, 왼쪽, 오른쪽 3개 지점에 대해 실시하였으며 재하하중은 포장구조체의 극한하중시 지지력을 평가하는

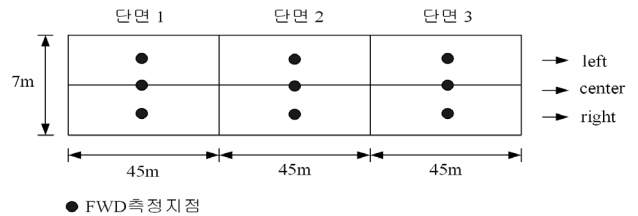


그림 8. FWD 측정 위치

일반적인 방법과 달리 도로포장에서 차량하중을 단계별로 모사하여 일정 하중의 증가에 따른 포장의 하중단계별 지지력을 평가하기 위해 4ton, 9ton, 16ton일 때의 처짐량을 측정하였다.

3.5 시험결과 및 고찰

그림 9~11은 FWD를 이용한 재하하중에 따른 측정위치별 처짐량을 나타내고 있다. 실험결과를 통해 측정지점에 따라 재하하중에 따라 처짐량이 상이한 결과를 나타낸 것을 알 수 있다. 그림 9는 재하하중이 4ton인 경우 처짐량을 나타내고 있는데 왼쪽지점의 측정결과 최대 처짐량이 두께(T) 1.2mm 지오셀, 두께(T) 1.5mm 지오셀, 쇠석층의 경우 9.67mm, 8.86mm, 10.38mm로 지오셀 두께(T) 1.5mm의 경우 쇠석층에 비해 최대처짐량이 약 15% 감소효과가 있음을 알 수 있다. 한편 그림 9(c)는 오른쪽 지점의 측정결과를 나타내고 있는데 그림 9(a)의 결과와는 달리 쇠석층의 최종처짐량이 지오셀 두께(T) 1.5mm에 비해 작게 나

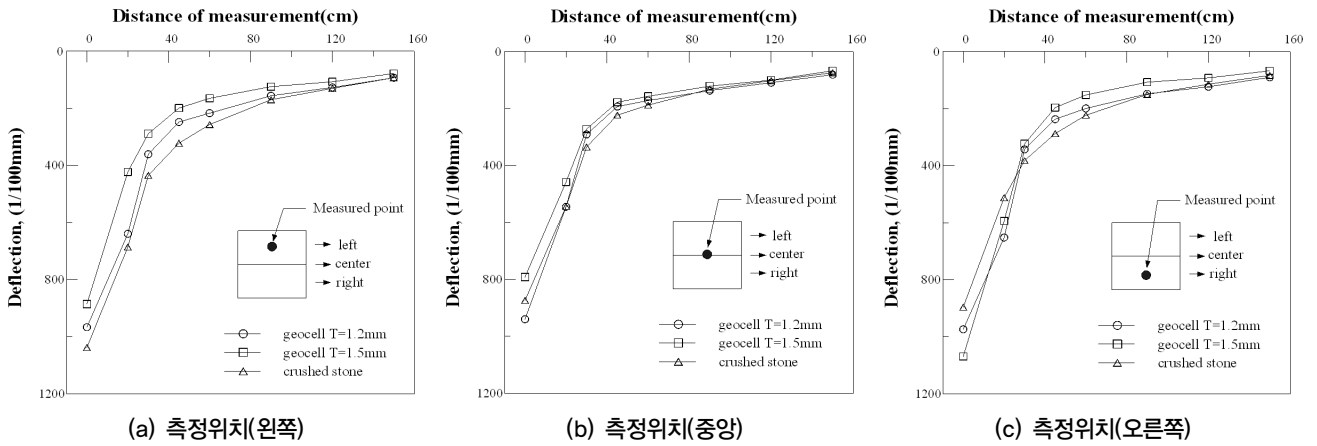


그림 9. 측정 위치별 처짐량 변화(재하하중 4ton)

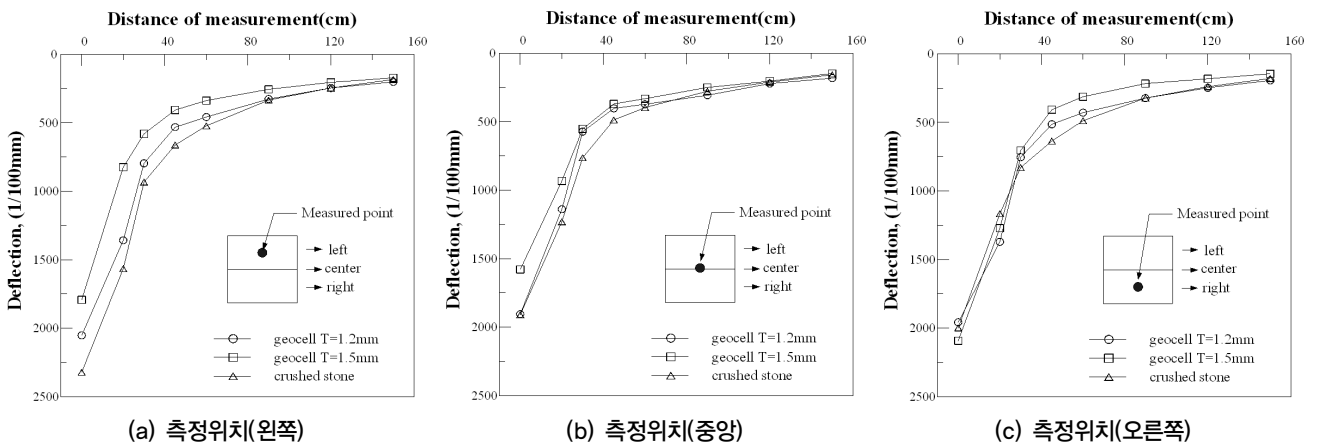


그림 10. 측정 위치별 처짐량 변화(재하하중 9ton)

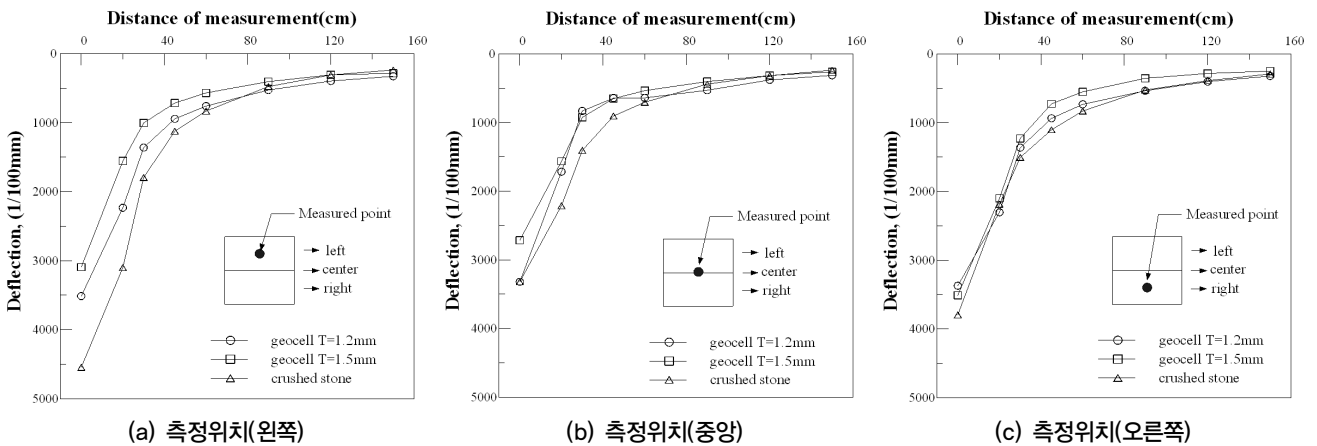


그림 11. 측정 위치별 처짐량 변화(재하하중 16ton)

타난것을 알 수 있다. 실험결과를 통해 재하하중 4ton의 경우 측정지점에 따라 처짐량이 상이한 결과를 나타낸것을 알 수 있다.

그림 10은 재하하중 9ton에서의 처짐량을 나타내고 있는데 4ton의 경우와 유사하게 왼쪽지점과 중앙에서의 측정결과 지오셀 두께(T) 1.5mm의 경우 최대처짐량이 가장

적게 나타났으며, 오른쪽 지점에서의 측정결과 처짐량 변화가 거의 없이 쇄석층이 다소 처짐량이 적게 나타났것을 알 수 있다. 이러한 결과로 볼때 현장시험시공시 지오셀 내부에 쇄석 및 흙을 채우고 다지는 과정에서 충분한 다짐이 이루어 지지 못한 경우 보강하지 않은 경우에 비해 밀도가 떨어지기 때문인 것으로 판단된다. 전체적인 경향으

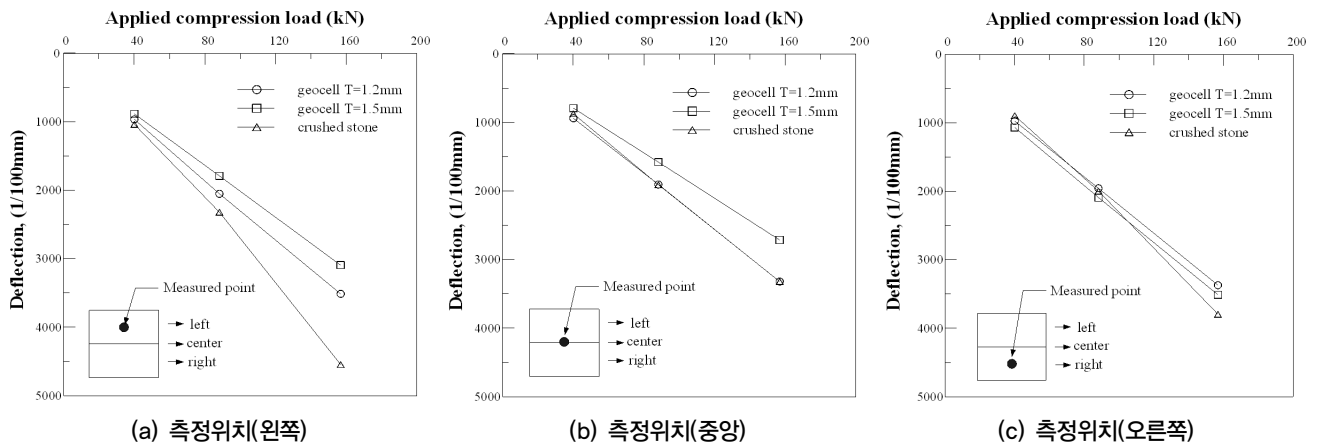


그림 12. 하중증가에 따른 처짐량 변화

로는 두께(T) 1.5mm의 지오셀 구간이 쇄석층에 비해 처짐량이 상대적으로 작게 발생하는 것을 알 수 있으나 부분적으로 다짐 정도에 따른 차이가 발생하는 것을 알 수 있다.

그림 11은 재하하중 16ton에서의 측정 결과를 나타내고 있는데 측정위치 변화에 따른 침하경향은 재하하중 4ton, 9ton과 거의 유사한 경향을 나타내고 있으나 지오셀 보강의 경우 쇄석층에 비해 침하저감효과가 상대적으로 크게 나타난 것을 알 수 있다.

한편 그림 12는 하중 증가에 따른 측정 위치별 최대 처짐량 변화를 나타내고 있다. 측정위치에 따라 지오셀 보강 효과의 차이가 다르게 나타나고 있으나 쇄석층 보강에 비해 하중이 증가할 수록 지오셀 침하저감 효과가 상대적으로 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 재하하중 증가에 따른 지오셀 구속력의 증가로 인한 보강효과가 크다는 기존 연구결과와 일치하는 결과로 지오셀을 투수성포장의 하부구조 보강에 효과적으로 활용하기 위해서는 공용되는 교통하중의 상태 등을 검토하여 적용여부를 결정하여야 할 것으로 판단된다.

또한 실험 결과를 통해 지오셀 내부에 채움재의 충분한 다짐이 이루어지지 않을 경우 오히려 지오셀 활용이 역효과를 나타낼 수 있다는 것이 확인된 것으로 향후 지오셀을 활용하는데 있어 현장시공시 채움재의 상태와 균등한 다짐이 지지력 증가에 매우 중요한 요소임을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 도로 노상의 보강 방안으로 지오셀을 투수성포장 하부 층에 적용하여 투수성포장의 지지력 특성을 평가하였다. 이를 위해 지오셀 시험포장을 실시하였으

며 FWD를 이용하여 측정한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 포장 구조 진단 장비(FWD)를 이용한 지지력 측정 결과 지오셀사용시 쇄석층사용에 비해 침하저감효과가 있는 것으로 나타났으며, 측정위치에 따라 지오셀 보강효과 경향이 다르게 나타나는 경향을 보이고 있다. 이는 지오셀 내부 채움재의 충분한 다짐이 이루어 지지 못한 경우 보강하지 않은 경우에 비해 밀도가 떨어지기 때문으로 현장 시험시공시 다짐 품질관리가 중요한 요소임을 알 수 있다.
- (2) 지오셀 보강효과는 두께 1.5mm의 경우 두께 1.2mm에 비해 효과가 크게 나타난 것을 알 수 있으며 재하하중이 클수록 보강효과는 더 큰 것으로 나타났다. 이는 재하하중 증가에 따른 지오셀 구속력의 증가로 인한 보강효과가 크게 나타난 것을 알 수 있다. 지오셀을 투수성포장의 하부구조 보강에 효과적으로 활용하기 위해서는 공용되는 교통하중의 상태 등을 검토하여 적용여부를 결정하여야 할 것으로 판단된다.
- (3) 지오셀을 투수성포장 하부 층에 적용할 경우 보강 효과가 있는 것으로 나타났으나 차도에 적용하기 위해서는 지오셀의 내의 다짐재의 종류 및 다짐도, 설치 위치등에 대한 추가적인 연구를 통해 합리적인 방안을 도출해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이경천, 백영식, 박영훈, 김낙영 (2003), “지오셀 보강 층수에 따른 얇은 기초의 지지력에 관한 연구”, 한국지반공학

- 회 논문집, 제4권, 제4호, pp.85-96.
2. 유인균, 조혜진, 이유화, 김제원, 이수형, 임지현 (2011), *도시부 온도저감형 도로 기술개발(IV)*, KICT 2011-168, 한국건설기술연구원.
 3. 신은철, 김성환, 김영진 (2009), “다공성 지오셀을 이용한 지반 보강효과에 관한 연구”, *한국토목섬유학회논문집*, 제8권, 제1호, pp.33-40.
 4. 심재범, 신민호, 조삼덕, 채영수 (2002), “지오셀로 보강된 철도노반의 설계기법 개발에 관한 연구”, *한국철도학회 2002년도 추계학술발표논문집*, pp.614-619.
 5. 윤여원, 김재윤, 김방식 (2003), “지오셀로 보강된 모래의 응력-변형 거동”, *한국지반환경공학회 논문집*, 제4권, 제2호, pp.27-37.
 6. Dash, S. K., Sireesh, S. and 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.
 7. Koerner, R. M., Wilson-Fahmy, R. F. and Narejo, D. (1996), “Puncture Protection of Geomembranes Part III: Examples”, *Geosynthetics International*, Vol.3, No.5, pp.655-675.
 8. Moghaddas Tafreshi, S. N. and Dawson, A. R. (2012), “A comparison of static and cyclic loading responses of foundations on geocell-reinforced sand”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.32, pp.55-68.
 9. Pokharel, S. K., Han, J., Leshchinsky, D., Parsons, R. L. and Halahmi, I. (2010), “Investigation of factors influencing behavior of single geocell-reinforced based under static loading”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.28, pp.570-578.

(논문접수일 2012. 7. 26, 심사완료일 2012. 8. 19)