

## 페타이어와 토목섬유에 의한 지반보강효과의 비교연구

### A Comparative Study on Soil-reinforcing Effect by Waste Tires and Geocell

윤 여 원<sup>1</sup> Yoon, Yeo-Won

김 방 식<sup>2</sup> Kim, Bang-Sik

서 덕 성<sup>3</sup> Seo, Duk-Sung

#### Abstract

This study compared the reinforcing effect of sand by Geocell to those of newly devised Tirecell<sup>®</sup> made by waste tires, tire mat by sidewalls of tires. Plate loading tests in a large chamber were conducted for different reinforcing materials at the same conditions of relative density, embedded depth of sand. The combination of Tirecell and sidewall gives the highest increase of bearing capacity and reduction of settlement. The Geocell with the same height of Tirecell gives similar reinforcement effect to the tire mat made by sidewalls.

#### 요 지

본 연구에서는 토목섬유의 일종인 지오셀과 새로 고안된 페타이어로 제작된 타이어셀, 타이어 매트와 지반보강 효과를 비교·고찰 하였다. 동일한 밀도, 복토두께 조건에서 실험용 토조내 평판재하시험을 수행하였다. 시험결과 타이어셀과 타이어측면의 조합 보강재가 가장 큰 지지력 증가와 침하량 감소를 나타내었다. 타이어셀과 같은 높이로 만든 지오셀의 보강효과는 타이어측면으로 만든 매트와 유사한 보강효과를 나타냈다.

**Keywords :** Bearing capacity, Geocell, Reinforcement, Settlement, Tirecell, Waste tire

#### 1. 서 론

자동차 산업의 발달과 더불어 페타이어의 발생량도 증가하여 전 세계적으로 매년 수십 억 개에 달하고 있으며, 미국의 경우 매년 5천만 개, 캐나다의 경우 2,800만 개가 발생한다고 보고되고 있다(Garga와 O'Shaughnessy, 2000). 국내의 경우 그 수가 1998년 이후 약 2,000만개에 이르고 있다(한국자원재생공사, 2002). 국내의 페타이어 회수비율은 약 40~80%이며 전량 수거되고 있지는 못한 형편이다. 페타이어는 야외 적치 등으로 미관을 해

칠뿐만 아니라 각종 병원체의 전달 매개체인 동물의 서식지역할을 하게 되어 여러 가지로 사회적 문제를 야기하고 있다. 그간의 페타이어 재활용은 어초, 토류 구조물, 지하철 완충재, Road mat, 가드레일, 방현재 등의 원형이용과 시멘트 연료, 중소형 보일러, 제련, 발전 등의 열이용, 그리고 밧줄, 재생타이어, 고무분말 등의 가공이용이 주류를 이룬다(한국자원재생공사, 1988). 페타이어 재활용이 여러 분야에서 소량으로 이루어지고 있는데 비하여 국내 토목분야에서의 연구는 거의 없는 실정이다. 최근 국내외에서 수행된 지반공학 관

1 정회원, 인하대학교 환경토목공학부 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil and Environmental Engr., Inha Univ., yoonyw@inha.ac.kr)

2 정회원, 인하대학교 대학원, 충주대학교 교수 (Member, Graduate School, Inha Univ.)

3 인하대학교 대학원, G&G 컨설턴트 (Graduate School, Inha Univ., G&G Consultant)

련분야와 관련된 페타이어의 재활용율을 높이기 위한 연구는 타이어 칩(사진 1)에 의한 경량성토재, 타이어체의 한쪽 측면(sidewall)을 제거하거나 타이어를 그대로 연결하여 옹벽 혹은 성토에 사용(사진 2), 성토층의 배수재, 지반보강재 등에 대한 현장 적용 및 실험적 연구가 발표된 바 있으며(Humphrey와 Manion, 1992; Foose 등, 1996; Nguyen, 1996; Garga와 O'Shaughnessy, 2000; 김규래, 2001; 차 등, 2002; 윤여원 등, 2003; 윤여원 등, 2004; Yoon 등, 2004), Garga와 O'Shaughnessy(2000)는 미주, 유럽에서의 토공구조물에 타이어를 실제 적용한 다양한 사례를 소개한 바 있다. 타이어는 Tread내부에 다수의 강선을 포함하고 있어서 압력에 저항할 수 있는 성질과 반영구적인 수명을 흙의 보강기능에 효과적으로 이용할 수 있으며, 동시에 페타이어의 적치로 인한 환경문제를 경감할 수 있는 장점을 가지고 있다.

한편 지반보강용 토목섬유로 흔히 사용되는 것으로는 지오그리드와 지오셀 등이 있으며 주로 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 등의 재료로서 이러한 보강재에 대한 연구는 이미 여러 연구자에 의하여 이루어 졌으며 현재 지반공학분야에서 널리 활용되고 있다. 따라서 본 연구는 페타이어를 보다 효율적으로 토목공사에 활용하기 위한 연구로서 현재 지반보강 또는 옹벽 등으로 사용되고 있는 지오셀(Geocell), 타이어의 측면(sidewalls), 즉 타이어를 측면에서 보았을 때 접지되지 않는 부분만을 분리하여 결합한 타이어매트, 타이어가 노면과 접하는 부분인 트레드만을 이용한 Tirecell<sup>®</sup>(사진 3)의 보강효과에 대한 기존의 연구(윤여원 등, 2004)와 같은 모래지반 조건에서 상대밀도, 복토 두께 등을 변수로 평판재하 시험을 수행하였으며 이를 지오셀의 보강효과와 비교·고찰 하였다. Tirecell<sup>®</sup>은 토사의 횡방향 변형을 억제한다는 점에서 Geocell과 같은 지지력파괴 메카니즘을

나타내어 토목섬유 중 하나인 Geocell과 비교함으로써 Tirecell<sup>®</sup>의 지반보강효과를 고찰하고자 하였다.

## 2. 페타이어의 제반 특성

타이어는 고온경화 고무로 제조되며 고무에는 보강 섬유 끈, 고강도 철 혹은 식물 띠 그리고 고강도 철사로 보강된 비드를 포함한다. 비드는 고무로 덮은 금속철사 혹은 쉽게 변형되지 않는 끈 끈으로 구성된다. 타이어내의 직물은 보통 꼬아놓은 레이온 줄로 만들어져 있으며 요즘은 사용되고 있는 타이어는 전체 무게의 9.8~13.5%가 철사로 되어 있다(Humphrey, 1996).

타이어의 조성은 종류별로 많은 차이가 있으나 대략 중량비 비율로 살펴보면 고무 40%, 카본블랙 20%, 연화 오일 10%, 섬유 10%, 철심 10%, 가황보조제 5%, 산화 아연 2%, 황 1% 등으로 구성되어 있고 주요 구성성분은 다음과 같다. 천연고무(NR)·합성고무(SBR, BR, IR, EPDM, BIIR, CIIR 등), 카본블랙·탄산칼슘·SiO<sub>2</sub>·TiO<sub>2</sub> 등의 보강재 및 충전재, 스틸코드(Steel Cord, Bronze 도금 Steel Cord)·패블릭 코드(나일론, 레이온, 폴리에스테), 내림촉진제·접착제·점착제·노화방지제 등의 유기배합물, 황·가황촉진제·지연제 등의 가류제가 있다.

타이어는 고온경화 고무로 되어 있으므로 통상적으로 부식의 영향을 받지 않는다. 타이어 재료의 초기의 역학적 성질은 물리·화학적인 노화(aging)를 받을 수 있으나 구조물의 수명이 다하기 전에는 발생하지 않는 것으로 보고되고 있으며, 폴리에스테의 고분자 결합은 자외선노출과 오존의 영향을 받기 쉬우나 자외선의 영향은 흙으로 덮여있게 되면 영향을 받지 않으며 흙 속의 오존농도는 거의 무시할 정도이다. pH가 약 1정도의 강



사진 1. 페타이어 칩

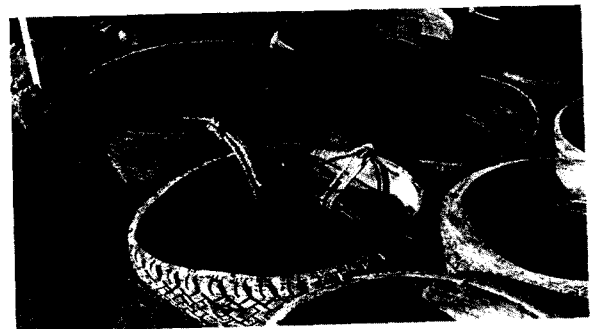


사진 2. 시험성토 중의 타이어 매트(Garga and O'Shaughnessy, 2000)

한 산은 고무를 파괴시키지만 산성의 지표수라 할지라도 보통 pH는 4와 5사이로 알려져 있다. 이러한 pH수준에서 고무의 열화는 거의 무시될 정도다. 그러나 이 변수는 만약 산업용 폐기물 또는 산성 광산폐기물이 뒤채움 재료로 사용될 경우 중요할 수 있다. 시공 중 다짐에 의한 손상은 아직 관찰되거나 보고된 적이 없다. 타이어는 다짐 중 주변 흙의 변형과 같은 정도로 연성으로 거동함으로써 높은 응력을 견딜 수 있다(Garga와 O'Shaughnessy, 2000).

### 3. 재하시험

#### 3.1 타이어매트, 지오셀

타이어는 차량주행시 지면과 접하는 Tread(사진 3(a))와 차량에 부착된 타이어를 측면에서 볼 때 잘 보이는 Sidewall로 크게 구분된다. Sidewall을 제거한 후 Tread를 8자형으로 오므려 플라스틱볼트 등으로 양 쪽의 Tread를 결합한 Tirecell<sup>®</sup>과 원형의 Tread를 절단하여 벨트모양으로 나열하여 평면으로 만든 Tread mat를 이용한 지반보강은 원지반 지지력을 상당히 향상시키는 것으로 이미 발표된 바 있으며(윤 등, 2004; Yoon 등, 2004) 본 연구에서는 기존의 연구를 포함하여 타이어 측면(sidewall)만의 결합과 지오셀에 의한 동일 지반에서의 보강효과를 추가로 시험하여 여러 결합체에 의한 지반보강효과를 비교 연구하기 위하여 사진 3에 보인 바와 같이 Sidewall을 사용한 타이어매트를 제작하였으며 지오셀을 타이어 매트와 같은 크기로 준비하였다. 시험에 사용된 타이어 매트의 크기는 1460mm×1520mm이다. 타이어는 소형트럭(light truck, LT)용을 사용하였다. 타이어의 인장강도는 타이어가 연결될 경우 연결부의 강도에 의하여 결정되며 타이어 자체의 인장강도는 타이어 내부에 들어 있는 20여 개의 강선으로 인하여 크게 나타난다. 사진 3(a), (b)는 재하시험에 사용된 소

형트럭용 타이어로 만든 Tirecell<sup>®</sup>과 타이어매트를 보여 주고 있다. Geocell은 높이 20cm인 Perforated Geoweb을 Tirecell<sup>®</sup>과 높이가 같도록 상부 일부를 잘라 13cm로 하였으며 가로, 세로의 크기는 타이어매트와 같도록 절단하였다.

#### 3.2 토 조

그림 1은 실험에 사용한 토조의 개략도이다. 현장지반을 재현하기 위해 사용한 실험용 토조는 H형강과 ㄱ자형앵글을 사용하였고 형강의 모든 연결 부위는 고강도 볼트를 사용하여 연결해서 전체 토조의 틀을 제작하였다. 그리고 틀 사이에 토류관을 끼워 넣어 직육면체의 박스형태로 만들었으며 그 크기는 폭(2m)×길이(3m)×높이(1.5m)이다. 승강기를 통해 운반된 시료는 전자저

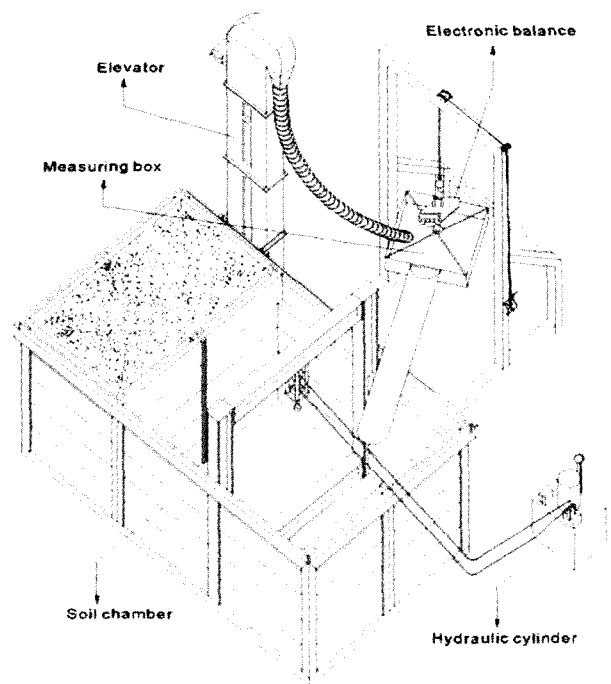
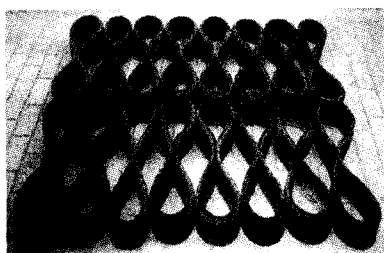
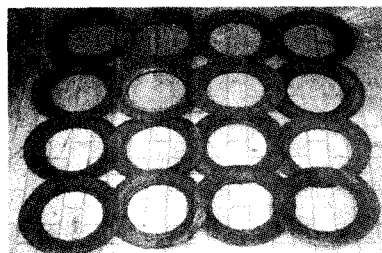


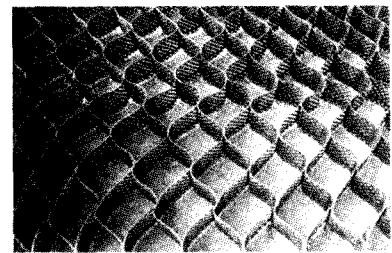
그림 1. 실험용 토조



(a)



(b)



(c)

사진 3. (a) Tirecell<sup>®</sup>, (b)타이어매트, (c)Geocell

율로 계량되어 토조내에 포설하도록 되어 있다. 토조의 상부에는 반력보를 설치하였으며 반력보에 유압기를 설치할 지지대가 구비되도록 하였다.

### 3.3 시료 및 지반조성

토조내 지반조성을 위해 사용한 시료는 인천 해안지역에서 채취한 건조된 모래를 사용하였다. 입도분포를 인위적으로 조절하지 않고 자연상태 그대로의 입도분포를 유지하였다. 사용된 시료의 입도분포곡선은 그림 2에 보였으며, 모래 시료의 대표적인 특성치를 표 1에 나타내었다. 시료는 통일분류법상 SP로 분류되었다. 시료의 내부마찰각( $\phi$ )과 타이어 Tread와 시료간의 접촉면 마찰각을 구하기 위해서 직접전단시험을 수행하였다. 접촉면 마찰각( $\delta$ )은 타이어 Tread의 외측면과 내측면에서 거의 같은 값을 나타내었다.

지반조성을 위한 모래의 다짐은 각 층의 높이를 계산한 후에 토조 안벽에 그 깊이를 표시하여 놓고 그 선 높이까지 다짐봉을 사용하여 바깥쪽부터 안쪽으로 돌아가면서 균일하게 다짐을 하였다. 또한 균일한 상대밀도로 지반을 조성하기 위하여 계량된 모래를 9개의 격실로 구분된 틀 안에 넣은 후 다짐을 수행하였다. 전체 모형지반의 높이는 120cm, 폭은 200cm, 길이는 200cm이며, 상대밀도가 40%, 55%, 70%인 세 가지 경우의 지반을 조성하였다. 또한 타이어셀이 들어감으로써 그 부

표 1. 모래시료의 기본 특성

Dr(%)	$\phi$ (deg)	$\delta/\phi$	$C_u$	$C_c$	$G_s$	$\gamma_{d_{max}}$	$\gamma_{d_{min}}$
40	34.6	≈ 0.9	2.81	1.0	2.65	1.617 g/cm <sup>3</sup>	1.353 g/cm <sup>3</sup>
55	35.5						
70	36.5						
80	38.2						

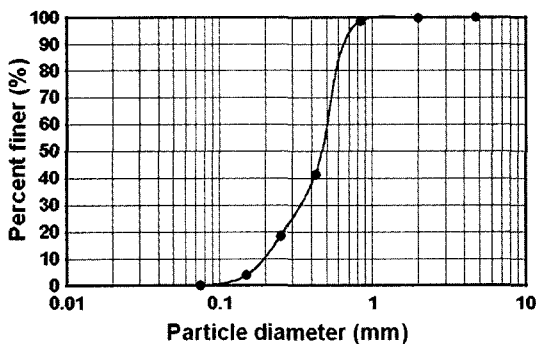


그림 2. 모래시료의 입도분포곡선

피만큼 모래가 들어갈 페타이어공간이 줄어들게 되고 그 만큼 원래 계획했던 것 보다 상대밀도는 높아지게 되므로 타이어셀 매트와 부피에 해당하는 양의 모래를 감안하여 지반을 조성하였다.

### 3.4 보강효과 해석

재하시험은 직경 35cm의 원형 재하판을 모형 지반 가운데에 놓고 유압기를 사용하여 단조하중을 재하하여 현장에서의 평판재하시험을 재현하였다. 하중재하는 최초하중 4~6kg/cm<sup>2</sup>에서 5분마다 4~6kg/cm<sup>2</sup>씩 증가시켰으며 재하판의 직경의 15% 내외(약 40mm)에 해당하는 침하가 발생하면 시험을 중지하였다. 본 연구에서는 침하량이 재하판 직경의 10%(=35mm)일 때의 하중을 극한지지력으로 하였으며, 재하실험을 통하여 지반 보강 효과를 판단하는 방법으로 지지력비(Bearing Capacity Ratio, BCR)와 침하감소율(Settlement Reduction Factor, SRF)을 이용하였다. BCR과 SRF는 다음 식으로 정의된다.

$$BCR = q_r / q_o \quad (1)$$

식 (1)에서  $q_o$ 는 무보강지반의 극한지지력이며  $q_r$ 은 보강지반의 극한지지력이다.

$$SRF = (s/B)_r / (s/B)_o \quad (2)$$

식 (2)에서  $(s/B)_o$ 는 무보강지반의 극한지지력에 대한 침하율이며  $(s/B)_r$ 는 무보강지반의 극한지지력과 일치하는 지지력에 대한 보강지반의 침하율이다. 따라서 BCR이 클수록 지반보강효과가 큰 것을 나타내며 SRF가 작을수록 지반보강으로 인한 침하경감 효과가 큼을 알 수 있다.

## 4. 시험 결과 및 고찰

### 4.1 무보강지반의 지지력

모래지반의 상대밀도 40%, 55%, 70%, 80%로 조성하여 재하 시험을 수행하였다. 그림 3은 각각 상대밀도 40, 55, 70, 80%의 무보강 지반의 응력-침하 곡선을 보여주고 있으며 그림에서 보는 바와 같이 상대밀도가 클수록 지반의 지지력이 커짐을 알 수 있다. 무보강 지반의 재하 시험에서 각각의 상대밀도에 대해 초기침하는 약간

표 2. 페타이어 segment의 조합형태에 따른 지지력비와 침하비

Dr (%)	Ultimate bearing capacity (kN/m <sup>2</sup> )	Tirecell (LT)*		Tirecell + Sidewall		Tread only (LT)**		Sidewall only(LT)		Geoweb (h=20cm)		Geoweb (h=13.5cm)	
		D/B=0.2											
		BCR	SRF	BCR	SRF	BCR	SRF	BCR	SRF	BCR	SRF	BCR	SRF
40	107.9	2.31	0.20	2.94	0.13	-	-	-	-	2.02	0.32	1.52	0.44
55	175.5	2.29	0.23	2.47	0.23	1.83	0.34	1.74	0.39	1.43	0.50	1.37	0.56
70	352.1	1.59	0.44	1.89	0.40	-	-	-	-	1.26	0.86	1.18	0.90

\*: 윤여원 등(2003), \*\*: 한재관(2004)

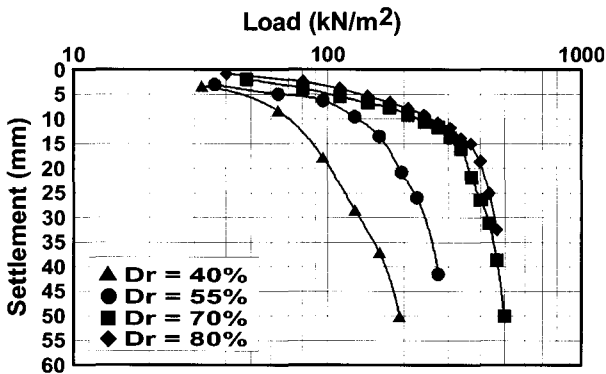


그림 3. 무보강 지반의 하중-침하 곡선

의 차이는 있으나 거의 비슷하며 상대밀도가 작은 40%는 아래쪽으로 완만한 곡선형태의 하중-침하 곡선을 나타내며 반면에 상대밀도가 55%, 70%로 증가할수록 갑작스럽게 꺾이는 곡선형태를 나타내고 있다.

표 2는 타이어셀과 타이어매트, 지오셀의 재하시험결과를 BCR과 SRF로 정리한 것이다.

## 4.2 보강지반의 지지력

### 4.2.1 상대밀도

상대밀도에 따른 페타이어셀과 지오셀의 극한지지력과 극한지지력비(BCR) 및 침하감소율(SRF)을 알아보기 위해 보강깊이와 재하판폭으로 정규화한 보강 깊이  $D/B=0.2$ , 매트폭과 재하판폭의 비인 재하폭 비  $b/B=4.34$ , 1층 보강으로 재하 시험을 하였다. 시험 결과는 표 2와 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 왼쪽 종축은 BCR(흰색 기호), 오른쪽은 SRF(검은색 기호)이다. 그림으로부터 타이어셀과 같은 높이로 셀의 일부를 절단한 13.5cm Geoweb의 극한지지력보다 Tirecell(LT)의 극한지지력이 더 크음을 알 수 있다. 특히 상대밀도 40%에서는 타이어셀의 지지력비가 50%이상 더 큰 값을 나타내고 있으며 상대 70%에서도 지오셀은 무보강지반보다 약간 더

큰 지지력을 나타내는 반면 타이어셀은 무보강지반보다 50%이상 지지력이 큰 값을 나타내고 있다. 지오셀의 높이가 20cm의 경우에도 13.5cm 경우보다 지지력은 크지만 타이어셀의 지지력비보다 더 작은 값을 나타내어 타이어셀의 지반보강효과가 우수함을 알 수 있다. 표 2에서 지반에 Sidewall로 만든 타이어매트를 깔고 그 위에 Tirecell을 추가로 보강한 Tirecell+Sidewall의 경우 지지력비(BCR)는 가장 큰 2.94의 값을 나타내 가장 큰 보강효과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 4에서 상대밀도가 증가할수록 지지력 증가효과는 감소한다는 것을 알 수 있다.

또한 Geoweb(h=13.5cm)과 Tirecell(LT)에 대한 SRF는 상대밀도 40%일때는 0.44, 0.20이고 상대밀도가 70% 일때는 0.90, 0.44로 나타내었다. 이것으로 알 수 있는 바와 같이 상대밀도가 증가하면 침하 감소 효과도 줄어드는 것을 알 수 있고 상대밀도가 낮은 무보강 지반인 경우 지반이 느슨한 상태이기 때문에 지반 강성은 작는데 이런 지반에 페타이어셀과 같은 보강재를 넣으면 지반의 강성이 크게 증가하여 지반은 큰 지지력과 작은 침하를 나타나게 되나 상대밀도가 큰 무보강 지반인 경우 지반 강성은 상당히 커서 그 자체만으로도 하중에 견딜 수 있기 때문에 보강재를 넣어도 강성의 증가는 작기 때문에 상대밀도 70%인 경우 상대밀도 40%보다 보강 효과가 작은 이유이다.

### 4.2.2 보강 깊이

그림 5는 복토두께, 즉 보강깊이에 따른 Tirecell의 지지력비를 나타낸 것으로 복토두께가 증가할수록 지지력비가 1에 근접함을 알 수 있다. 본 연구에서 Tirecell 보강의 경우  $D/B$ 가 약 1인 경우 보강효과가 없음을 알 수 있다. 또한 복토두께가 커지면 SRF가 커져 침하감소율이 줄어드는 것을 알 수 있다. 상대밀도가 큰 무보강 지반인 경우 큰 지지력과 작은 침하를 나타나게 되며, 지

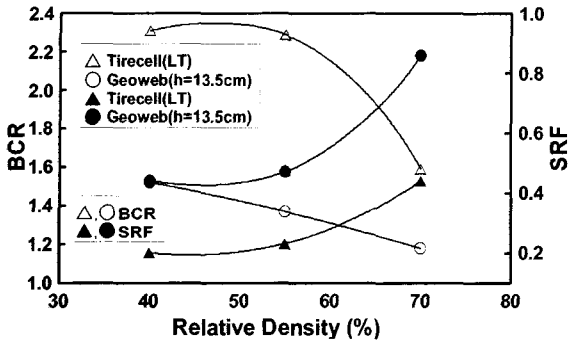


그림 4. 상대밀도에 따른 BCR과 SRF의 변화

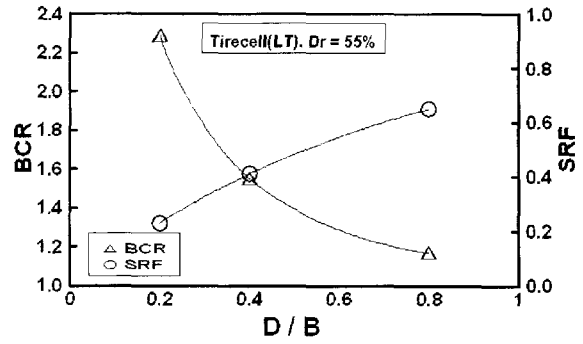


그림 5. 복토두께에 따른 BCR과 SRF의 변화

반 강성은 상당히 커서 그 자체만으로도 하중에 견딜 수 있기 때문에 보강재를 넣어도 강성의 증가는 작기 때문에 상대밀도 70%인 경우 상대밀도 40%보다 보강 효과는 작게 나타난다.

그림 7은 보강깊이에 따른 지지력비의 변화를 여러 보강재에 대하여 도시한 것이다. 이 그림에서 Guido는 Guido와 Christou(1988)의 시험결과로서 이들의 시험은 보강층이 복층으로서 상층의 피복두께는  $D/B=0.25$ ,  $Dr=55\%$ ,  $b/B=2$ 에 대한 것이다. 여기서 타이어셀과 지오셀의 지반 보강 시험은  $b/B=4.34$ , 단층보강에 대한 것이며, 인용문헌의 시험은  $b/B$ 는 2인 경우에 대한 것이지만 상업용 지오웹에 대한 이들의 연구에서  $b/B=2$ 인 경우 최적의 폭이고 그 이상의 폭은 지반 보강 효과에 영향을 주지 못한다고 하였으므로 지오웹의  $b/B$ 가 4.34일 때와 큰 차이가 없을 것으로 판단된다. 더욱이 이들의 보강층이 복층이므로 복층보강이 단층보강보다 큰 지지력을 보임을 감안하면 타이어셀의 지반보강효과의 효율성을 보이기 위한 비교로서는 문제가 없을 것으로 판단되어 같은 그림에 나타내었다.

타이어셀과 지오셀의 복토두께에 대한 BCR그래프에서  $D/B$ 가 0.5이상이면 두 보강재 모두 BCR값은 점차

그 차이가 줄어들고 복토두께  $D/B=0.2$ 의 경우 타이어셀 보강시 BCR이 약 67% 더 크다. 따라서 타이어셀을 2층으로 보강했을 경우 타이어셀 실험조건인 1층보다는 BCR이 더 크게 나올 것이므로 정확한 비교를 위해 실험조건을 맞추어서 페타이어셀 매트 실험을 2층으로 했을 경우 그림의 타이어셀의 복토두께에 대한 BCR 그래프는 더 위쪽으로 올라갈 것으로 예상된다. 이와 같이 타이어셀로 보강된 지반의 지지력 증가 효과가 침하 감소 효과가 좋은 이유는 타이어셀의 강성이 상업용 지오웹보다 크기 때문으로 판단된다.

#### 4.2.3 Tirecell과 Sidewall의 보강

사진 3에서 보인바와 같이 타이어셀은 입체형이며 타이어매트는 평면형이다. 따라서 보강대상 모래 지반에 우선 타이어 매트를 깔고 그 위에 타이어셀을 설치하여 보강하면 더 큰 보강효과를 얻을 수 있을 것이다. 그림 7은 상대밀도의 변화에 따른 트럭용 타이어셀과 타이어매트의 보강에 의한 지지력비의 변화를 나타낸 것이다. 상대밀도 40%인 경우 2.94, 55%인 경우 2.47, 70%인 경우 1.89로 밀도가 증가할수록 보강효과는 줄어들지만 타이어셀과 매트가 결합되어 강성이 크므로 조밀한 경

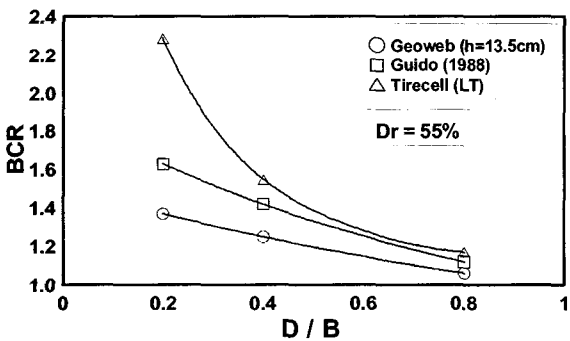


그림 6. 복토두께에 따른 BCR 비교

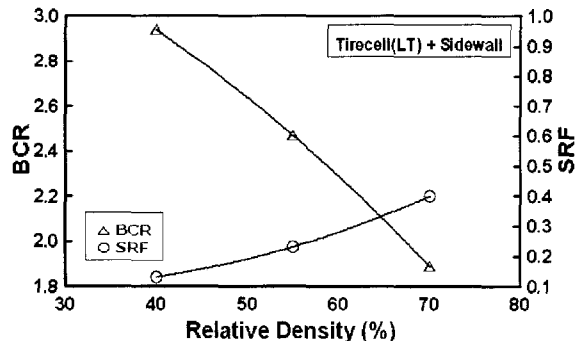


그림 7. 타이어 Segment 조합보강재의 상대밀도에 따른 BCR과 SRF

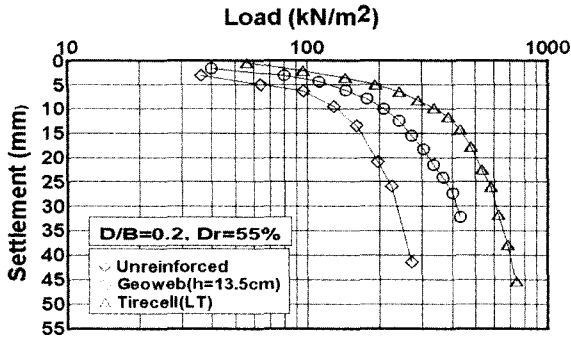


그림 8. 하중 침하 곡선(Dr=55%)

우에도 여전히 큰 지지력 증가효과를 나타내고 있다. 앞의 표 2에서도 나타난 것처럼 상대밀도 40%일 때 지지력비는 2.94로서 이는 타이어셀만 보강한 경우의 BCR 2.31보다 훨씬 증가한 값이다. 또한 상대밀도 40%인 경우 SRF는 0.13으로 무보강의 경우보다 87% 침하 경감 효과를 나타내고 있다. 이것은 두 가지의 재료 즉 Tread와 Sidewall을 이중으로 보강하면 극한 지지력과 침하감소 효과는 탁월하다는 것을 보여준다. 표 2에서 보는 바와 같이 상대밀도 40%의 경우 Tirecell(LT)+Sidewall의 보강이 Geoweb(h=20cm)의 지지력증가효과와 침하경감효과보다 각각 46%, 28% 좋은 값을 나타냄을 알 수 있다.

#### 4.2.4. 보강형태에 따른 지지력

타이어의 결합형태에 따른 지지력비를 비교하기 위하여 D/B=0.2, Dr=55%로 하여 재하시험을 수행한 결과를 표 2에 나타내었다. 표 2에서 타이어의 결합형태에 따른 지지력비를 비교하면 Tirecell+Sidewall > Tirecell(LT) > Tread only > Sidewall only > Geoweb 순으로 나타나고 있다. 여기서 Tread만의 결합은 Tread를 격자형 4×4로 보강한 것이다. 그림 8은 Geoweb과 Tirecell(LT)를 비교한 것으로 그림에서 Tirecell(LT)보강의 경우가 Geoweb 보강의 경우보다 더 큰 강성을 나타내고 있는데 실험 조건이 동일하므로 이러한 차이는 보강재의 수직압력에 대한 강성 차이에 기인한다고 생각된다.

#### 4.3 Geoweb의 높이와 폭비에 따른 지지력

상업용 보강재로 사용 중인 Geocell의 일종인 Geoweb을 형상비(aspect ratio, h/w), 즉 Geoweb의 높이와 폭비를 다르게 하여 그 영향을 고찰하였다. Geoweb 20cm높이는 형상비 0.84, 13.5cm높이는 형상비 0.56이다. 그림 10

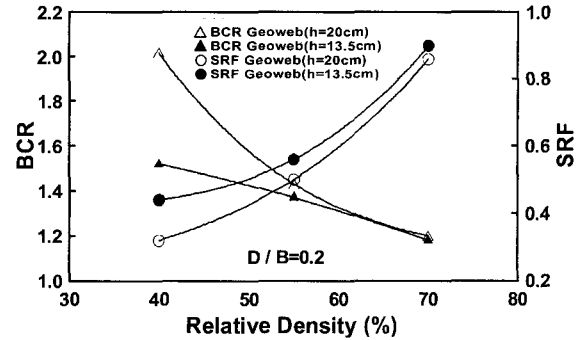


그림 9. 상대밀도에 따른 Geocell의 BCR과 SRF 변화

과 표 2에서 셀의 높이가 커짐에 따라 흙의 구속력이 커지기 때문에 형상비가 큰 경우 보강 효과가 더 큼을 알 수 있다. 그러나 그림 10에 보인 바와 같이 상대밀도가 증가할 경우 형상비(aspect ratio)의 효과는 줄어들어 지지력비에서 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 상대밀도 40%에서는 h=20cm의 Geoweb에서 다소 큰 효과를 나타내었으며, BCR곡선에서 보인 바와 같이 상대밀도가 증가하여 65%정도일 때는 거의 같은 값으로 수렴을 하는 것을 알 수 있다. 이것은 상대밀도가 증가할수록 그만큼 보강효과가 떨어진다는 것을 말하며 Geoweb에서 형상비는 상대밀도 중간 이상에서는 거의 효과가 없음을 나타내고 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 페타이어의 재활용율을 높이기 위한 방안으로 고안된 타이어셀과 타이어 매트와 지반보강 효과와 지오셀의 지반보강효과를 평가하기 위하여 평판재하시험을 수행하였으며, 지반보강재로서 페타이어의 사용가능성을 제시하였다. 연구 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 같은 셀높이의 Geocell과 Tirecell(LT)의 비교한 결과 Tirecell(LT)이 지지력비와 침하감소면에서 더 효과적이며, 이는 주로 타이어의 강성에 기인되는 것으로 판단된다. 또한 두 보강재 모두에서 밀도가 증가함에 따라 지반보강효과는 줄어드는 것으로 나타났다.
- (2) 복토두께에 따른 비교에서는 Tirecell(LT)과 Geoweb은 복토두께가 증가할수록 극한 지지력비(BCR)가 감소하였고 복토두께 0.8B에서는 보강 효과가 급격히 감소하여 거의 1에 수렴하여 보강효과를 얻을 수 없었다.

- (3) 타이어셀, 타이어매트, 타이어셀과 매트 형태의 조합으로 한 실험결과 타이어셀과 타이어매트를 조합한 Tirecell(LT)+sidewall 이 가장 큰 보강 효과를 나타냈으며 Tread, sidewall, Geoweb(h=13.5cm)의 순으로 보강효과가 나타났다. 또한 침하 감소 효과면에서도 Tirecell과 sidewall의 조합이 가장 큰 보강 효과를 나타냄을 알 수 있었다.
- (4) Geoweb에서 형상비(aspect ratio, h/w)가 클수록 상대 밀도가 낮은 곳에서는 보강효과가 크게 나타나지만 상대밀도가 클수록 그 차이가 작고 상대밀도 70%일 때는 수렴하는 결과를 나타내었다.

### 감사의 글

본 연구는 2002-2003년 대림산업(주)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 김규래 (2001), 옹벽 뒤채움재로서 페타이어 활용방안에 관한 연구, 한양대학교 산업대학원 석사학위논문.
2. 윤여원, 최경순, 천성한 (2003), "지반보강재로서 페타이어의 보강 효과", 한국지반공학회 학술발표회 논문집, pp.827-832.
3. 윤여원, 최경순, 윤길림, 김방식 (2004), "지반보강재로서 페타이어의 활용; (1) 지반보강 효과", 한국지반공학회 논문집, 제20권 제3호, pp.107-117.
4. 차영일, 윤여원, 강대성 (2002), "건설용 재료로서의 페타이어 매트의 지반보강 효과" 한국폐기물학회지, 제19권 제5호, pp.518-525.
5. 한재관 (2004), 사질토 지반에서 페타이어 매트와 지오그리드의 지반보강 효과, 인하대학교 대학원 석사논문, 52p.
6. 한국자원재생공사 (2002), <http://www.koreco.or.kr/>
7. 한국자원재생공사 (1988), 페타이어 재자원화 및 재활용에 관한 기술사례조사, 199p.
8. 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.
9. Garga V.K. and O'Shaughnessy V. (2000), "Tire-reinforced earth fill. Part I: Construction of a test fill, performance and retaining wall design", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.37, pp.75-96.
10. Guido, V.A. and Christou S.N., "Bearing Capacity and Settlement Characteristics of Geoweb- Reinforced Earth Slabs", *Proc. ASCE 1988 Spring Meeting*, 1988, pp.21-36.
11. 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.
12. 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.
13. Yoon, Y.W., Cheon, S.H. and Kang D.S. (2004), "Bearing capacity and settlement of tire-reinforced sand", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.22, (in press).

(접수일자 2004. 5. 31, 심사완료일 2004. 7. 5)