지오그리드 매트리스기초의 전파응력에 관한 연구

Dispersing Stress under Geogrid-Mattress Foundation

주 재 우*1
Ju, Jae - Woo
장 용 채*2
Chang, Yong - Chai
박 종 범*3
Park, Jong - Beom

Abstract

Solid mattress foundation using geogrid has often been used on soft grounds to increase the bearing capacity, and its effect has received much recognition. Geogrid-mattress system is the method of construction which increases the bearing capacity and the effect of controlling settlement by dispersing load to wider foundation through its stiffness. But its mechanism has not been examined exactly yet.

In this study, model experiments were carried out to investigate the characteristic of dispersing stress, and the thickness of mattress and the subgrade modulus of the soil foundation were considered to be influential factors in the experiments.

As a result of the experiments, the characteristic of dispersing stress under mattress foundations was understood and the way of calculating the bearing capacity in designing the mattress foundations was suggested.

요 지

지오그리드를 이용한 입체적인 매트리스기초는 연약지반의 지지력을 증가시키기 위해서 종종 사용되며 그 효과를 인정받고 있다. 지오그리드-매트리스 시스템이란 그 자체의 강성에 의해 하중을 보다 더 넓게 기초지반에 분산시킴으로서 지지력의 증대효과 및 침하억제효과를 가져오는 공법이다. 그러나, 이에 대한 메카니즘은 아직 명확하게 규명되어 있지 않다. 본 연구에서는 지오그리드 매트리스기초 아래 전파응력분포 특성을 파악하기 위해 모형실험을 실시하였고, 실험에서는 지오그

*1 정회원, 순천대학교 공과대학 토목공학과 교수
*2 정회원, 한국도로공사 도로연구소 수석연구원
*3 정회원, 순천대학교 대학원 토목공학과

리드 매트리스기초의 두께 및 지지하는 기초의 강성 등을 영향인자로서 고려하였다. 실험결과로부터 매트리스기초하의 전파응력분포 특성을 파악하였고, 지오그리드 매트리스기초 설계시 지지력을 구할 수 있는 방법을 제안하였다.

Keywords : Geogrid-matrress foundation, Dispersing stress, Bearing capacity

1. 서 론

토목섬유의 일종인 지오그리드는 격자망상의 고분자재료로서 흙속에서도 화학적 및 생물학적인 저항성을 갖고 있으며, 인장강도는 크고 시공성이 우수하여 시공이 편리하다는 장점을 지니고 있는 재료이다. 그러므로, 지오그리드 매트리스공법은 기존의 매트리스공법에 지오그리드 보강재와 골재를 이용하여 연약한 기초지반상에 입체적으로 포설함으로써 기초지반의 지지력증가 뿐만 아니라 부등침하를 억제하는 효과가 있는 공법이다.

지오그리드 매트리스공법은 지오그리드 매트리스에 의하여 미끄럼면의 발생위치가 넓어짐에 따른 지지력 증가효과를 고려하여 Jones(1984)는 실험식을 제안하였다. 그리고, 재하의 넓이에 대하여 점토층의 두께가 얇은 경우에는 짜내기 파괴의 형태를 이루는 것으로 Edgar(1984)는 제안하였으며, 짜내기 파괴에 대하여 山口柏樹(1984)는 점토층의 비배수 전단강도와 두께 그리고 재하넓이를 고려한 짜내기파괴압을 제시하였다. 또한, 매트리스 기초에 대한 설계방법으로 Ochiai(1993)등은 보강재와 채움재료에 의해서 발휘되는 전단저항과 상재하중, 지반지지력의 평형으로부터 매트리스두께를 결정하는 설계방법을 제안하였다. 하지만, 지오그리드 매트리스공법의 하중분산 효과는 인정받고 있으나 이에 대한 설계방법은 아직 명확하게 규명되어 있지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 매트리스기초공법의 주된 효과라 할 수 있는 하중분산효과를 검토하기 위해 하부 지반에 탄성스프링을 적용한 모형실험장치를 제작하여 분석하였다.

매트리스기초의 재하폭은 매트리스 폭에 비교하여 충분히 작게 하였고, 탄성스프링으로 구성된 하부지반에 전달되는 분산하중의 정량적인 파악을 위하여 실내모형실험을 실시하였으며, 실험결과로부터 지오그리드 매트리스기초의 설계시 지지력을 구할 수 있는 방법을 제안하고자 하였다.

2. 연구개요

그림 1은 일반적인 매트리스기초의 지지력을 향상시키는 효과를 나타낸 그림이다. 매트리스기초 위에 작용하는 수직하중 q는 매트리스기초에 의해 분산되어 수직하중 P_m으로서 기초지반에 전달된다. 매트리스기초를 무시한 극한지지력 q는 다음 식과 같이 Terzaghi식으로부터 구할 수 있다.

$$q_u = cN_c + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \qquad (1)$$

여기서, c는 점착력이며, γ는 기초지반의 단위중량이다. 반면에 매트리스기초를 고려한 극한지지력 q_m은 다음 식과 같이 표현할 수 있으며, 이는 매트리스기초가 기초지반 지지력의 상재하중에 영향을 미친다는 것을 가정한 것이다.

$$q_m = cN_c + \gamma_m HN_q + \frac{1}{2}\gamma B_m N_\gamma \qquad (2)$$

여기서, γ_m은 매트리스의 단위중량이며, H는 매트리스의 두께이다. 그러므로, 매트리스 설계로 인한 지지력증가를 Δq로 나타내면 다음 식과 같다.

$$q_m = cN_c + \gamma_m HN_q + \frac{1}{2}\gamma B_m N_\gamma \qquad (3)$$

위의 식에 의하면 매트리스기초의 지지력 증가는 폭 Bm에 따라 평가될 수 있다. 특히, 수직하중을 받는 매트리스 기초하부에 분포된 수직응력의 특성을 파악하기 위하여 여러 종류의 형태로 실험을 실시하였다.

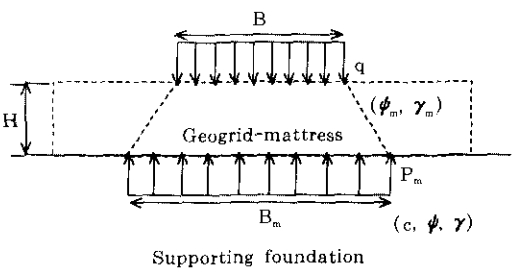

그림 1. Geogrid-mattress의 사용효과

3. 모형실험

그림 2는 매트리스기초의 전파응력을 고찰하기 위하여 제작한 실험장치를 나타낸 것이다. 실험장치는 폭 108cm, 길이 40cm, 높이 약 80cm의 실험토조 저부에 폭 5cm, 길이 40cm의 21개 각형강 알루미늄블럭을 병렬배치시키고 각각의 블럭하부에 2본의 스프링을 설치함으로써 모형지반을 형성하였다. 연직지반의 지반반력계수가 다른 지반을 모델화시키기 위해서 2종류의 스프링을 사용하였는데 사용 스프링의 탄성계수는 각각 1.12, 3.14였다.

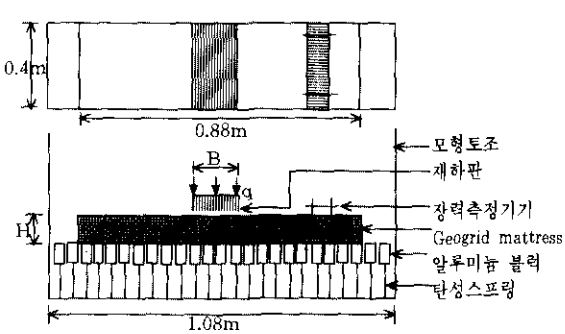

그림 2. 모형실험장치

하부 블럭에 다이얼 게이지를 부착시켜 스프링의 변위를 측정함으로서 분산하중값을 고찰하였다. 시험용 토조는 벽면을 투명 아크릴판으로 하여 공시체와 토조벽면과의 마찰을 줄였으며, 평면변형 조건을 만족시킬 수 있도록 grease를 벽면에 바르고 rubber membrane를 부착하였다.

매트리스 기초의 모형실험은 하부모형지반을 구성하는 탄성스프링의 종류 및 매트리스의 두께를 변화시킴으로서 매트리스 기초가 상부하중을 하부지반에 분산, 전달시키는데 미치는 영향 등을 검토할 목적으로 하였다.

모형실험은 탄성계수 1.12kgf/㎜(모형지반 반력계수 kg=0.112kgf/㎠)와 탄성계수 3.14kgf/㎜(모형지반 반력계수 kg=0.3147kgf/㎠)를 갖는 스프링으로 이루어진 하부 모형지반에 대해 5, 10, 15, 20cm두께의 매트리스 기초를 제작하여 모형실험을 실시하였다. 그림 3은 각 실험측정치 및 본 논문에 사용되는 기호의 설명을 나타냈다.

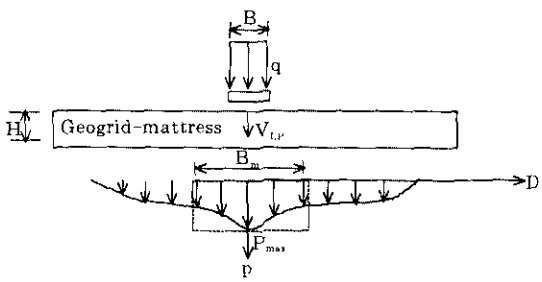

그림 3. 본 논문에 사용된 용어설명

매트리스 공시체 제작은 먼저 지오그리드를 폭 40cm, 길이 2m 전후로 잘라내어 하부 모형지반상에 포설하고 그 속에 채움재료를 공중낙하시켜 제작하였다. 그리고, 채움재료를 지오그리드에 포함시켜 공시체의 상면부에서 금속

연결기에 의해 양단부를 연결시켰으며 연결기에는 변형게이지를 부착시켜서 지오그리드에 발생하는 장력의 측정이 가능하도록 하였다. 매트리스 기초의 크기는 폭 88cm, 길이 40cm이며, 높이는 5, 10, 15, 20cm로 하였다. 채움모래의 비중은 2.613이며, 전체 90%이상의 입경이 2~5㎜인 모래로서 공시체 밀도의 평균값은 1.67g/㎤이고, 삼축시험결과 내부마찰각은 41°이다.

재하는 매트리스 공시체의 중앙에 설치한 폭 10cm, 길이 40cm의 재하판을 사용하여 변위제어 방식(약 1㎜/min)으로 실시하였으며, 재하판에 2개의 다이얼 게이지를 설치하여 재하에 따르는 재하판의 연직변위를 측정하였다.

실험측정치는 재하판의 재하응력, 재하판의 설치변위, 지오그리드에 발생하는 인장력, 하부탄성스프링에 배치된 각 금속 블록상에 발생하는 전파응력 등이다. 각 측정량은 GPIB보드를 사용하여 컴퓨터에 의해 입력하였고, 결과를 자료화하였다. 본 실험에서 사용된 지오그리드는 TENSAR SR-1으로서 그 형태는 그림 4와 같으며 인장강도는 6000kgf/m인 1축 연신제품이다.

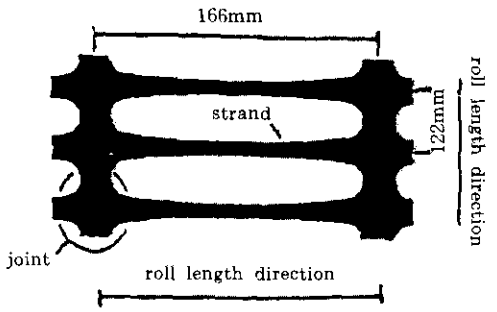

그림 4. TENSAR SR-1의 형태

4. 매트리스기초의 하중분산에 관한 실험결과 및 고찰

4.1 재하응력-연직변위, 재하응력-최대전파응력

그림 5는 재하응력 q와 재하판의 연직변위 V_{LP}의 관계를 나타낸 것이며, 그림 6은 재하응력 q와 하부모형지반 중앙부에 있어서의 최대전파응력 p_{max}의 관계를 곡선으로 나타낸 것이다. 그림 5에서 재하응력 q는 연직변위 V_{LP}의

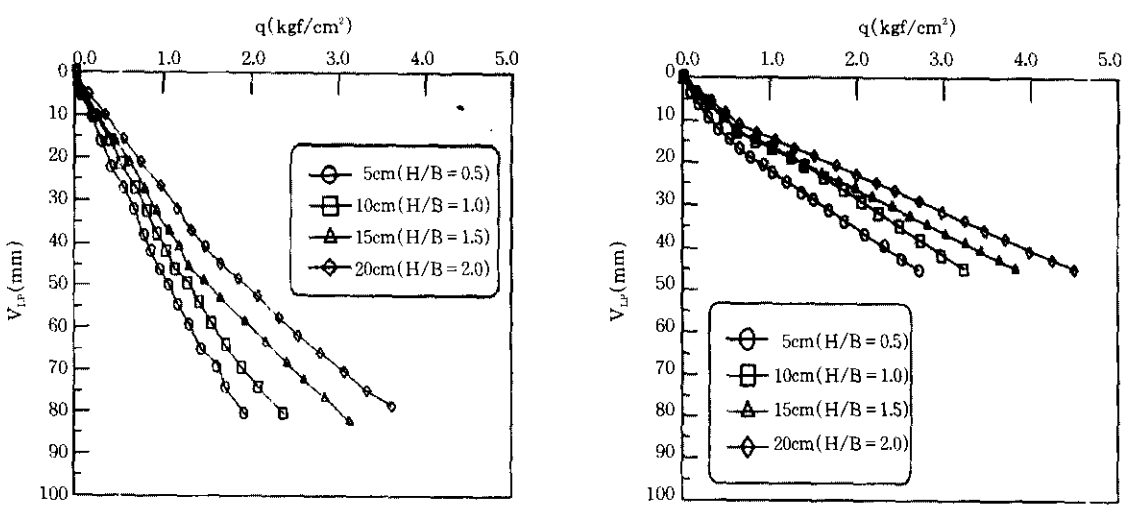

그림 5. 재하응력과 연직변위의 관계($q-V_{LP}$)

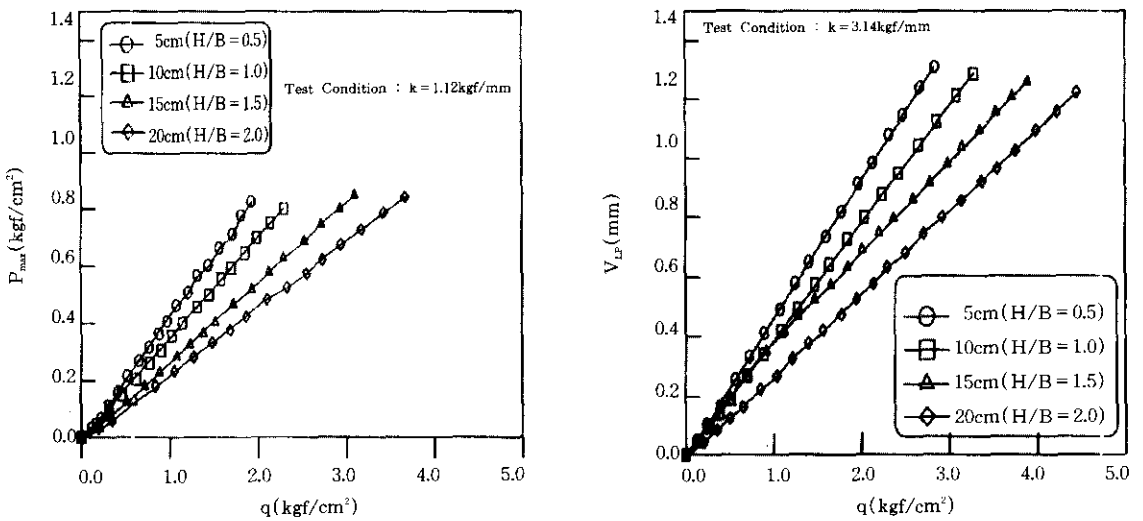

그림 6. 재하응력과 최대전파응력의 관계($q-q_{max}$)

증가에 따라 Peak를 보이지 않고 직선적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한, 매트리스의 두께 H가 크면 클수록 동일 재하응력일 경우 재하판의 침하가 작아지는 경향을 보이고 있어 매트리스의 두께가 클수록 침하억제효과가 큼을 알 수 있다.

그림 6에서 최대전파응력 p_{max}는 매트리스의 두께가 커짐에 따라 작아지는 경향을 보이고 있어 매트리스의 두께가 하중분산효과에 밀접하게 관계하고 있음을 알 수 있으며, 하부 모형지반의 반력계수가 크면 클수록 재하에 따르는 재하판 침하가 작아지는 반면에 최대전파응력 p_{max}는 커지는 것을 알 수 있다.

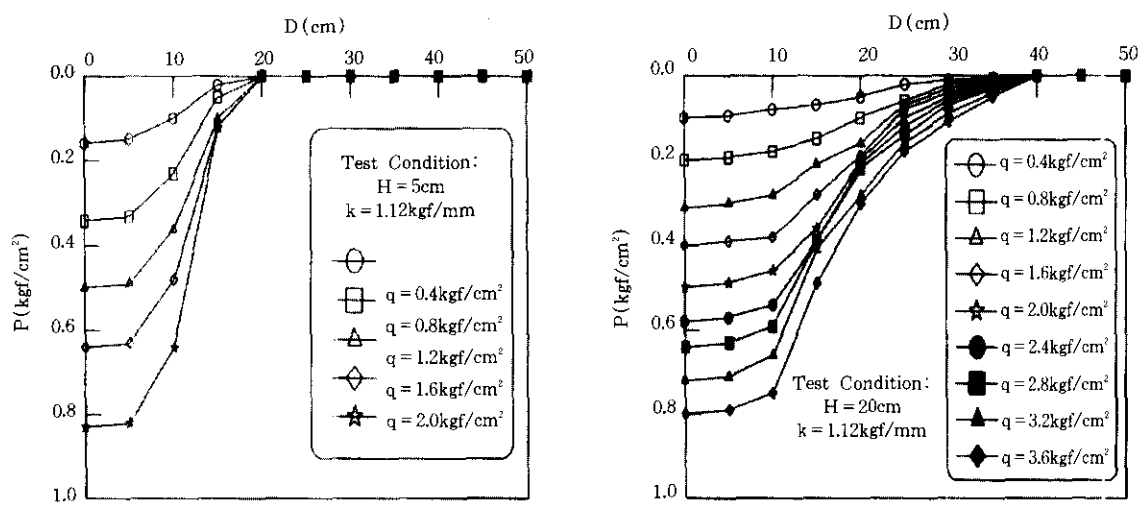

그림 7. 전파응력 분포형상(k=1.12kgf/mm)

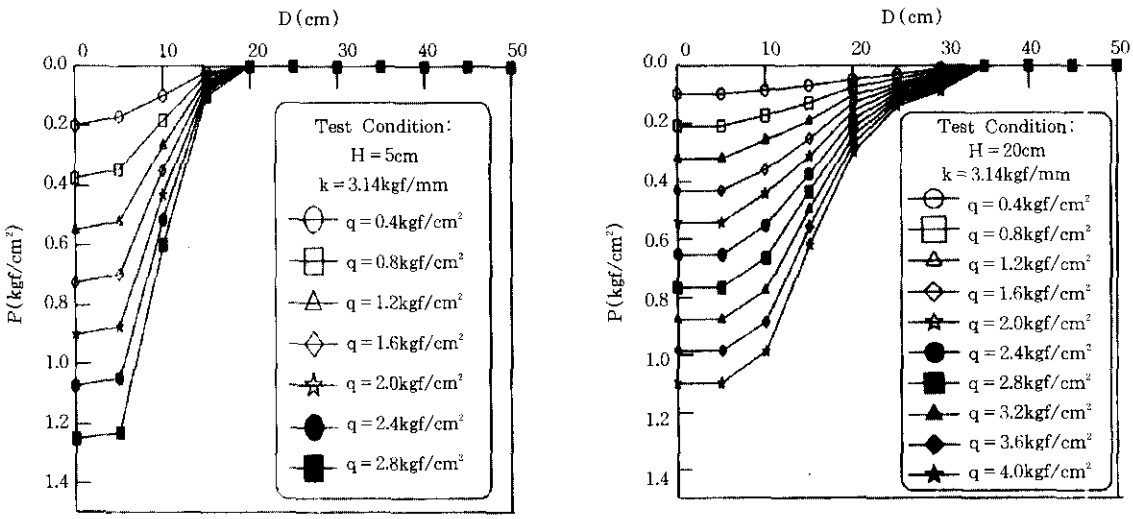

그림 8. 전파응력 분포형상(k = 3.14kgf/mm)

4.2 하부지반의 하중분산 형태

하부지반의 하중분산 형태는 하부모형지반의 반력계수가 각각 k_s = 0.112, 0.314kgf/㎤일 때 재하응력의 증가에 따라 나타내면 그림 7과 8과 같고, 각 측정점에서의 전파응력을 P, 매트리스의 중앙부로부터 측정점까지의 거리를 D로 나타냈다. 그림 7, 8을 분석해보면 최대응력값이 매트리스의 중앙부에서 발생하고 있음을 알 수 있다.

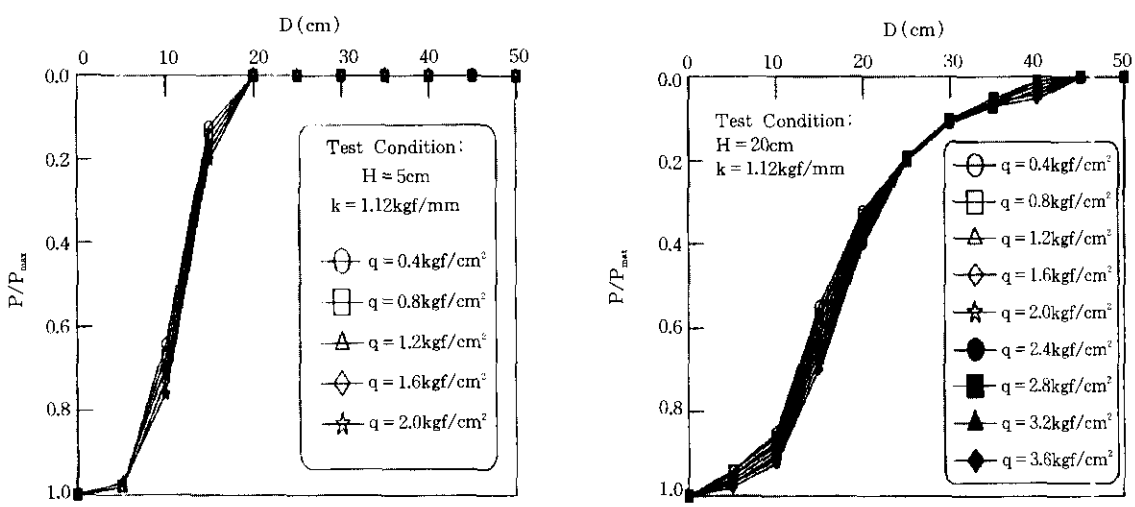

그림 9. 규준화된 전파응력의 분포형상(k = 1.12kgf/mm)

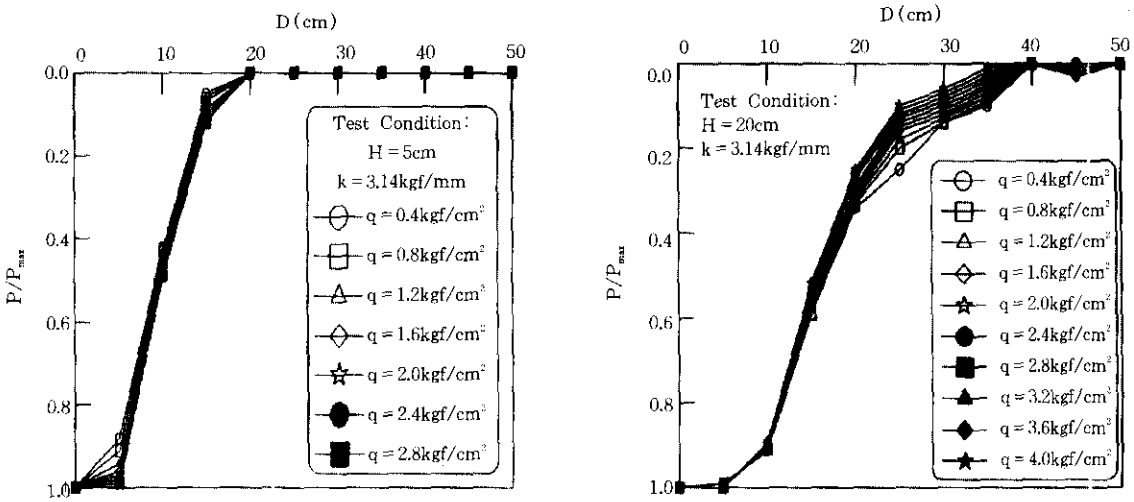

그림 10. 규준화된 전파응력의 분포형상(k=3.14kgf/mm)

또한, 그림 9, 10은 각 재하응력 q에 대한 연직응력 P의 분포를 최대 전파응력 p_{max}로 나누어 재하에 따른 규준화된 전파응력의 변화를 나타낸 것이다. 전파응력의 분포형상은 재하응력의 크기에 관계없이 일정한 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다.

4.3 하중분산 유효폭 B_m과 그 거동

매트리스의 두께 H와 하중분산관계를 나타내면 그림 11과 같다. 해석결과는 재하응력 2.0 kgf/㎠에 있어서 매트리스의 두께가 5, 10, 15, 20cm로 증가될 경우 전달응력 P를 매트리스의 중앙부로 부터 거리 D에 대하여 나타낸 것이다. 그림 11에 의하면 매트리스의 두께 H가 두꺼우면 두꺼울수록 매트리스의 중앙부의 전파응력 p_{max}가 감소하고, 하중이 넓게 분산되고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 하부지반 반력계수 k_s가 크면 클수록 최대전파응력 p_{max}가 증가하고 더욱 볼록한 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 매트리스기초의 하중분산효과는 하중분산의 유효폭 B_m을 다음 식과 같이 정의하여 평가할 수 있다.

$$B_m = \frac{b\sum_{i=1}^{N} p}{p_{max}} \qquad (4)$$

여기서, b는 하부지반을 형성하는 각 알루미늄블럭의 폭, N은 알루미늄블럭의 수를 나타낸다. 위의 식은 매트리스 중앙부에서의 최대전파응력 p_{max}가 매트리스기초의 지지력문제 등에 있어서 중요한 지표가 되기 때문에 전파응력 p_{max}가 똑같은 크기로 하부지반에 작용하는 것으로 가정했을 경우의 유효폭을 정의하고 있다.

그림 12는 재하에 따르는 재하판 폭에 대한 하중분포 유효폭비(B_m/B)의 거동을 나타낸 그림이다. 두 종류의 모형지반 해석결과 q≥1.0 kgf/㎠하중하에서 유효폭비(B_m/B)의 값은 거의 일정한 값을 나타내지만, 매트리스의 두께에 따라서는 두꺼워질수록 값이 증가함을 알 수 있다.

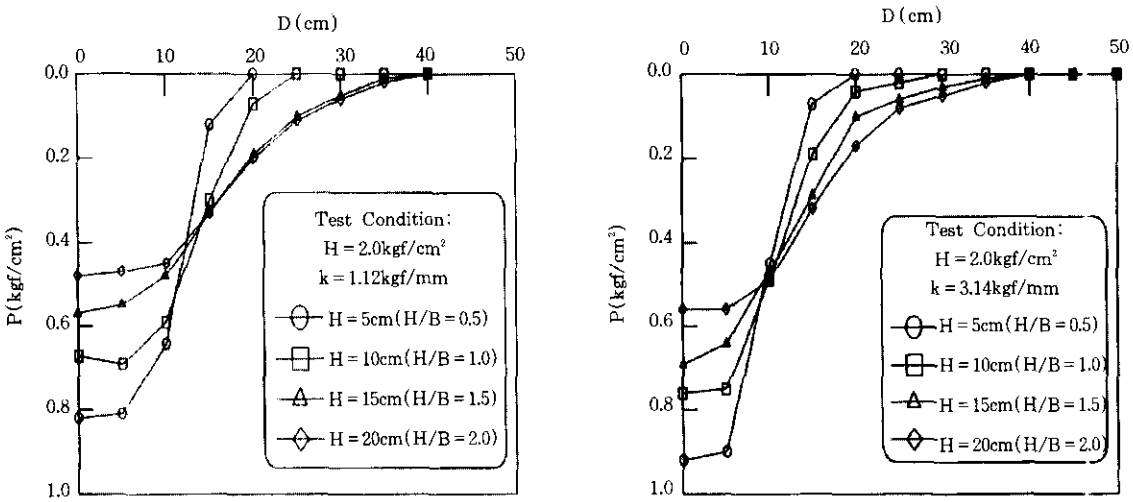

그림 11. 매트리스 두께에 따른 응력분포의 비교

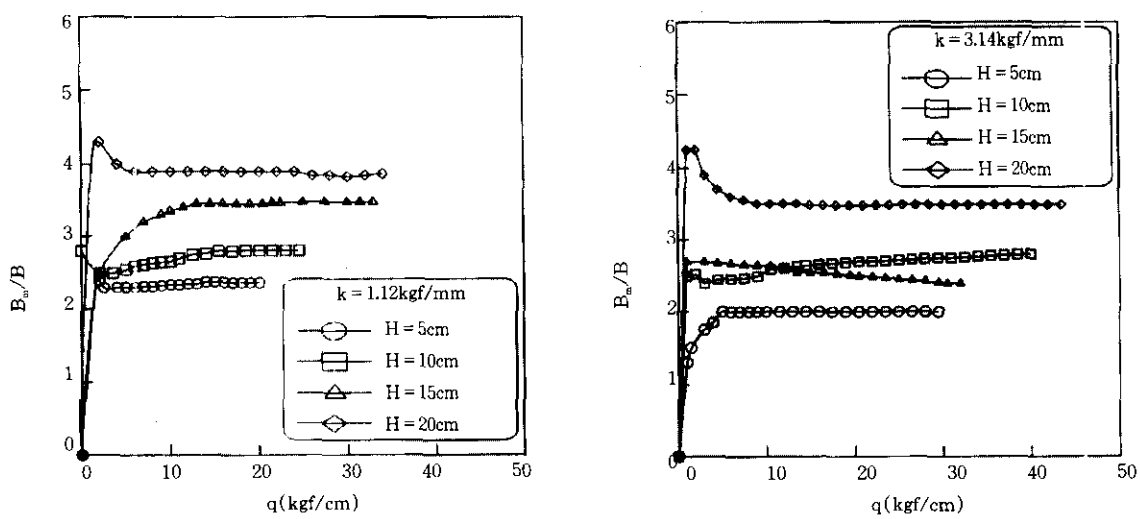

그림 12. 재하응력 q와 하중분산유효폭 B_m/B의 관계

그림 13은 재하에 따른 최대전파응력비 p_{max}/q의 거동을 나타낸 것이다. 하중분산유효폭 B_m/B의 거동과 마찬가지로 $q \geq 1.0kgf/cm^2$에 있어서 p_{max}/q의 값은 거의 일정한 값으로 수렴하지만 매트리스의 두께에 따라 p_{max}/q의 값은 증가하는 것을 알 수 있다.

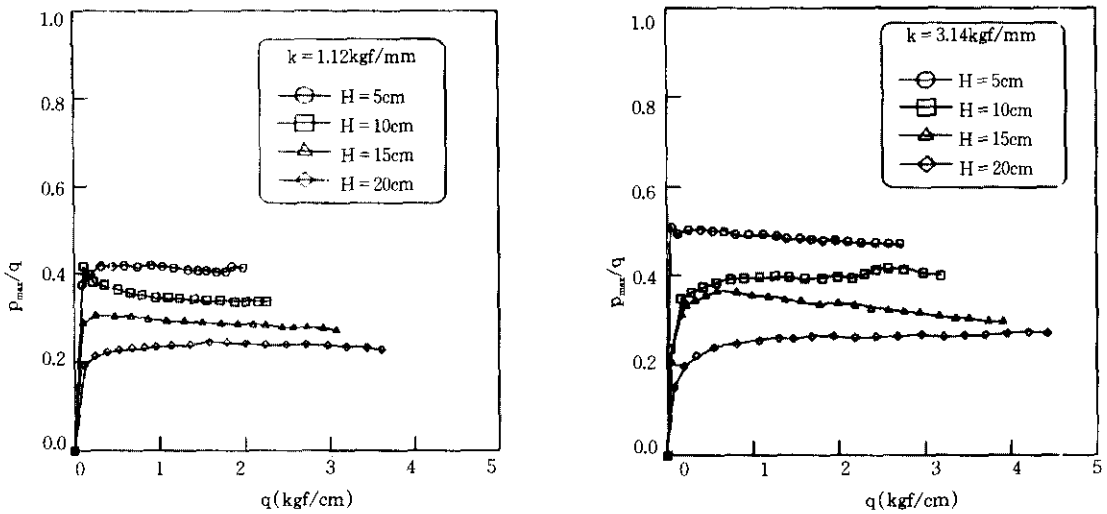

그림 13. 재하응력 p와 최대전파응력비 P_{max}/q의 관계

4.4 인장력 측정결과

매트리스 두께 및 하부지반의 반력계수의 변화에 따라 지오그리드에 걸리는 장력의 변화를 파악하기 위해 매트리스기초의 상단부 한 지점에서 인장력을 측정하였다.

그림 14는 재하응력 2.0kgf/㎠의 경우 지오그리드에 걸리는 인장력과 H의 관계를 나타낸 것이다. 인장력은 기초의 두께가 두꺼울수록 하부 기초지반의 반력계수 k_s가 클수록 증가하는 것을 알 수 있다.

지오그리드에 걸리는 인장력의 크기는 재하응력 및 침하에 의한 매트리스 기초의 체적팽창의 크기에 기인한다고 볼 수 있으며, 동일한 재하응력의 경우에도 매트리스 기초의 두께가 두꺼울수록 하부기초의 지반이 연약할수록 체적팽창의 정도가 크게 나타나 매트리스기초의 효과가 클 것으로 판단된다.

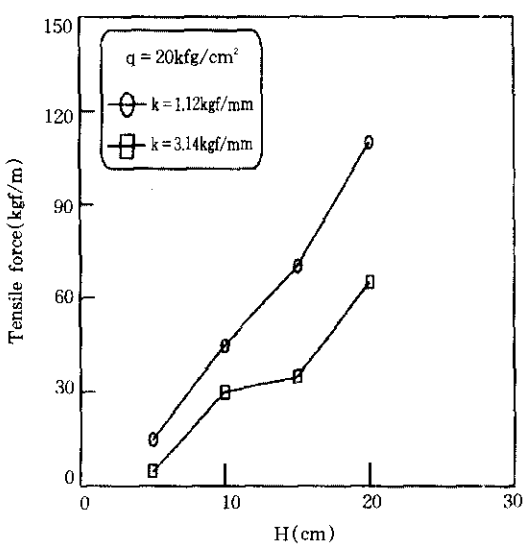

그림 14. 장력과 매트리스 두께 H의 관계

4.5 매트리스 두께 H와 하부지반 반력계수 k_s가 하중분산에 미치는 영향

재하에 따른 매트리스 기초는 전파응력 p의 분포를 정량적으로 파악하는 방법으로 매트리스 중앙부에서 최대전파응력 p_{max}와 이에 따라 정의된 하중분산 유효폭 B_m의 요소에 착안하여 그림 15에서와 같이 하중분산유효폭비

B_m/B를 매트리스 기초두께 H에 따라 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$B_m/B = 0.94H + 1.90 (k = 1.12 kgf/mm) \quad (5)$$

$$B_m/B = 0.89H + 1.48 (k = 3.14 kgf/mm) \quad (6)$$

매트리스의 두께가 두꺼우면 두꺼울수록 하부모형지반의 반력계수(k_s)가 작으면 작을수록 B_m/B는 증가하고 있음을 알 수 있다. 이와는 반대로 최대전파응력비 p_{max}/q는 그림 16과 같이 매트리스의 두께 H가 얇을수록 또는 하부지반의 탄성계수(k_s)가 클수록 증가하는 것을 알 수 있으며, 최대전파응력비 p_{max}/q는 매트리스 기초두께 H에 따라 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$p_{max}/q = -0.0106H + 0.445 (k = 1.12 kgf/mm) \quad (7)$$

$$p_{max}/q = -0.0126H + 0.525 (k = 3.14 kgf/mm) \quad (8)$$

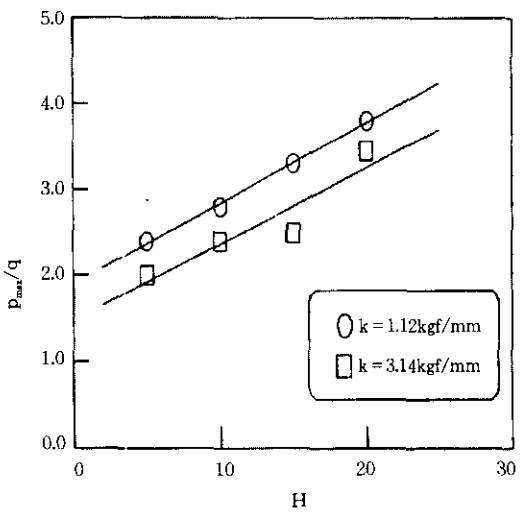

그림 15. 하중분산유효폭과 두께의 관계(B_m/B-H)

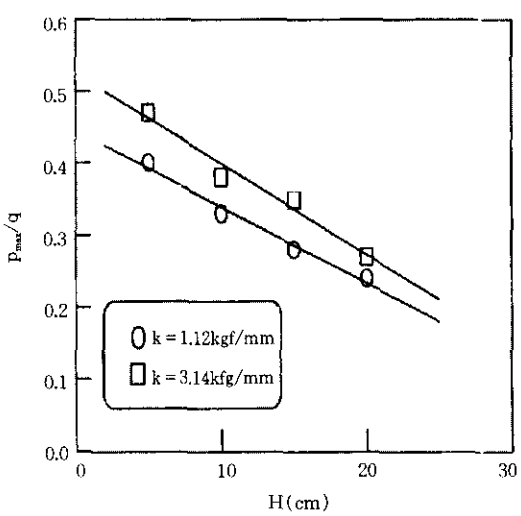

그림 16. 최대전파응력비와 두께의 관계(p_{max}/q-H)

5. 매트리스기초의 지지력

5.1 지지력 계산방법의 제안

연약한 기초지반을 보강하기 위해서는 인장 및 굽힘강성이 있는 지오그리드를 이용한 매트리스공법을 현장에 적용 할 수 있다. 따라서, 지오그리드 매트리스공법을 이용하여 연약한 기초지반의 지지력을 개선시킬 수 있으며, 다음과 같이 제안된 계산방법으로 구할 수 있다.

지지기초폭은 식(5)와 식(6)으로부터 지지기초폭을 매트리스기초의 유효폭(B_m)으로 가정하여 매트리스기초의 지지력을 구할 수 있으며, 매트리스 두께(H)에 따라 매트리스 기초의 유효폭은 증가한다. 또한, 매트리스 기초의 최대전파응력도 식(7)과 식(8)로부터 산출할 수 있다.

그림 17은 연약지반위에 매트리스 기초를 시공한 경우로 매트리스 기초가 있는 경우와 없는 경우에 따라 활동선이 달라지는 형태를 보이며, 이는 매트리스 기초의 하중분산효과에 기인한다고 가정한다.

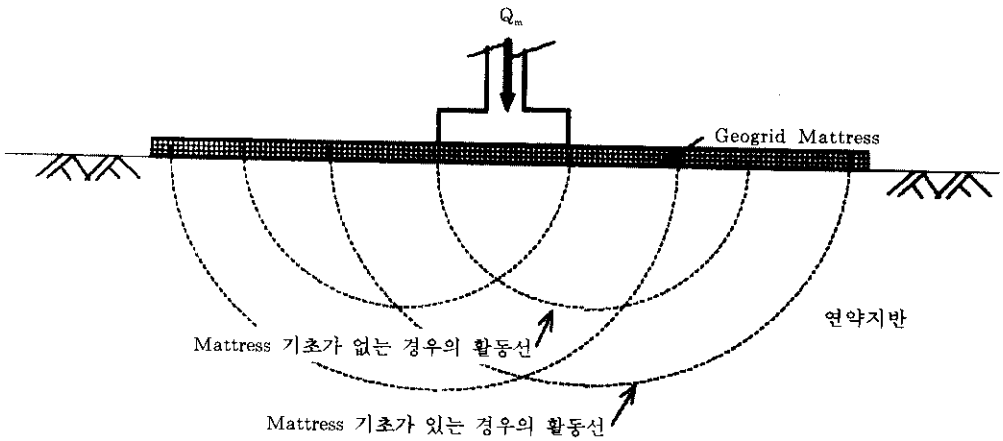

그림 17. 연약지반위에 매트리스 기초의 시공

5.2 설계 예

1) 설계조건(그림-17 참조)

확대기초의 크기 : 1.0m × 1.0m

매트리스의 기초두께 H : 0.3m

매트리스기초의 단위중량 γ_m : 2.0t/㎥,

내부마찰각 : 40°

연약한 점성토 기초지반일 때 점착력 c : 1.0t/㎡, 단위중량 : 1.5t/㎥

내부마찰각 : 0°, 20°

2) 매트리스기초의 유효폭 결정

현장 기초지반의 탄성계수와는 다르지만, 보다 안전측의 탄성계수인 k = 3.14kgf/mm일 때 유효폭을 식 (6)으로 다음과 같이 결정한다.

$B_m/B = 0.89H + 1.48$

$= 0.89 \times 0.3 + 1.48 \fallingdotseq 1.75m$

3) 기초지반의 내부마찰각이 0°일 경우 지지력증가(ΔQ)

가. 기초지반의 극한지지력

$q_u = 1 \times 5.14 = 5.14t/㎡$ (내부마찰각이 0°일 때 지지력계수 $N_c = 5.14$, $N_q = 1$, $N_r = 0$)

$Q_u = q_u \cdot B = 5.14t/㎡$

나. 매트리스 기초의 하중분산을 고려한 극한지지력

$Q_m = q_m \cdot B_m = 1 \times 5.14 + 2 \times 0.3 \times 1 = 5.74t/㎡$

$\therefore \Delta Q = Q_m - Q_u = 5.74 - 5.14 = 0.60t/㎡$

4) 기초지반의 내부마찰각이 20°일 경우 지지력증가ΔQ

가. 기초지반의 극한지지력

$q_u = 1 \times 5.14 + 1/2 \times 1.5 \times 1 \times 5.39 = 9.18t/㎡$

(내부마찰각이 20°일 때 지지력계수 $N_c = 14.83$, $N_q = 6.4$, $N_r = 5.39$)

$Q_u = q_u \cdot B = 9.18t/㎡$

나. 매트리스 기초의 하중분산을 고려한 극한지지력

$q_m = 1 \times 5.14 + 2 \times 0.3 \times 6.4 + 1/2 \times 1.5 \times 1.75 \times 5.39 = 16.05t/㎡$

$Q_m = q_m \cdot B_m = 16.05 \times 1.75 = 28.09t/㎡$

$\therefore \Delta Q = Q_m - Q_u = 28.09 - 9.18 = 18.91t/㎡$

5) 제안된 지지력계산방법에 의한 매트리스 기초의 하중분산효과 비교

내부마찰각 $\phi = 0°$인 기초지반의 경우 매트리스의 응력분산의 효과는 매트리스 기초의 유

효폭에 따라서 지지력증가(ΔQ)는 0.60t만큼 증가하였지만, 내부마찰각이 $\phi=20°$인 기초지반의 경우에는 지지력증가(ΔQ)는 18.91t으로 크게 증가하였다. 실제로 현장의 기초지반은 $\phi=0$에서부터 소정의 ϕ값을 갖는 기초지반까지 다양하며, ϕ값이 증가할수록 매트리스 기초지반의 지지력 증가효과는 크게 나타날 것이다.

6. 결 론

수직하중을 받고 있는 지오그리드 매트리스 기초의 거동을 파악하기 위해 매트리스의 두께 및 매트리스 기초하의 지반의 강도를 변화시켜 일련의 모형실험을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 매트리스 기초의 침하는 매트리스 두께가 두꺼울수록 침하억제 효과가 증가함을 알 수 있었다.
2. 매트리스를 통해 하부지반에 전파되는 응력의 분포는 하중이 재하되는 중앙부에서 가장 크고 중앙부에서의 거리가 멀어짐에 따라 점차 작아지는 볼록한 형태를 보이며 전파응력의 분포형상은 재하응력의 크기에 관계없이 일정한 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다.
3. 하중분산 유효폭 B_m/B는 최대전파응력비 p_{max}/q는 재하응력 1.0kgf/㎠이상의 경우 응력의 증가에도 불구하고 거의 일정한 값으로 수렴하지만 매트리스의 두께가 두꺼워짐에 따라 또한 하부지반의 반력계수가 작을수록 최대전파응력비는 작아지는 경향을 보였다.
4. 지오그리드에 발생하는 인장력은 재하응력이 일정할 경우 매트리스의 두께가 두꺼워짐에 따라 또한 하부지반의 반력계수가 작을수록 증가하는 경향을 보였다.
5. 하중분산유효폭비 B_m/B와 최대전파응력비 p_{max}/q를 매트리스 기초두께 H에 따라 다음 식과 같이 표현할 수 있으며, 이 식으로부터 매트리스기초의 유효폭과 최대전파응력을 산출하여 매트리스기초 설계시 지지력을 구할 수 있다.

① $B_m/B = 0.94H + 1.90 (k = 1.12kgf/mm)$

② $B_m/B = 0.89H + 1.48 (k = 3.14kgf/mm)$

③ $p_{max}/q = -0.0106H + 0.445 (k = 1.12kgf/mm)$

④ $p_{max}/q = -0.0126H + 0.525 (k = 3.14kgf/mm)$

6. 제안된 지지력계산방법으로 지오그리드 매트리스공법을 이용하여 기초를 설계할 경우 기초지반의 내부마찰각이 $\phi=0°$인 기초지반과 비교하여 내부마찰각이 $\phi=20°$인 기초지반의 경우 지지력 증가효과는 크게 나타났다. 다시말하면, 내부마찰각이 증가할수록 매트리스기초의 하중분산 효과는 크게 작용하였다.

감사의 글

본 연구는"1994학년도 순천대학교 자체연구비지원에 의하여 연구된 논문임"을 밝히며, 연구비를 지원한 순천대학교에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 주재우(1994), "지오그리드 매트리스기초에 관한 실험적 연구", *한국지반공학회 학술발표논문집*.
2. 宋岡 元, 高木 信, 西井 正浩(1992),"粒狀體地盤の有效な支持力補强方法", *土木工學學會論文講演會*, pp.1194～1195
3. 山口柏樹(1984), *土質力學*, 技報堂出版, PP.237
4. Edger, S.(1994),"The use of high tensile polymer grid mattress on the Musselburgh and Poutobello bypass", *Proc. Symp. Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering*, London, Paper No.3.5, pp.1319～1320
5. Jones, C.J.F.P.(1984),"Design and construction method", Paper No.6.1, pp.1～8
6. Ochiai, H., Tsukamoto, Y., Hayashi, S., Otani, J. and Ju, J. W.(1994),"Supporting Capacity of Geogrid-Mattress Foundation", *Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembrane and Related Products*, pp.321～326

(접수일자 1998. 3. 21)