

# 수치해석에 의한 토목섬유 보강 폐기물 매립지반의 지지력 평가

## Estimation on Bearing Capacity of Waste Landfill Reinforced by Geosynthetics Using Numerical Analysis

신은철<sup>1)</sup> · 박정준<sup>†</sup>

Shin, Eunchul · Park, Jeongjun

**ABSTRACT** : Many industrialized countries of the world have many problems about the reuse of waste landfill area because of the increase of terminated waste disposal landfill. Especially, the effective use of the terminated waste disposal landfill nearby the urban area has been demanded, because of the lack of the usable land. However, in case of the construction of the building on such a landfill, ground settlement and reduced bearing capacity would be occurred without ground stabilization and proper reinforcement. This study is to evaluate the applicability of geosynthetics for the increment of bearing capacity of solid waste landfill ground. A numerical simulation has been undertaken to model a layer of weathered soil overlaying a layer of geosynthetic reinforcement and waste disposal ground. The proposed analytical model can be used to obtain surface settlement characteristic in the two-dimensional deformation related reinforcement.

**Keywords** : Bearing Capacity, Settlement, Waste Landfill, Geosynthetics, Numerical Analysis

**요 지** : 세계적으로 폐기물의 발생량이 급증하여 매립지의 숫자가 급증하고 있으나 사용이 완료된 매립지의 처리에 많은 어려움이 있다. 특히, 도시 폐기물 매립지는 인구밀집 지역과의 근접성, 부지개발에 따른 경제적 가치의 급등 등의 이유로 활용 가능한 새로운 건설부지로서 많은 관심이 집중되고 있다. 그러나, 폐기물 매립지반 위에 구조물을 축조할 경우, 특별한 안정처리 및 보강처리를 하지 않게 되면 지반침하, 구조물에 대한 지지력 확보 등에 문제점이 발생될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 수치해석시 무보강, 토목섬유 보강후 상부에 화강풍화토로 복토하여 토목섬유 보강지반의 지지력 특성을 평가하였다. 즉, 탄성모델을 기초로 2차원 해석시 하중재하에 따른 지표면의 무보강 및 보강의 경우, 각각의 수직변위 및 수평변위를 분석하여 토목섬유의 보강효과를 규명하였다.

**주요어** : 지지력, 침하, 폐기물 매립지반, 토목섬유, 수치해석

## 1. 서 론

전세계적으로 폐기물의 발생량이 급증하여 매립지의 숫자가 급증하고 있으나 사용이 완료된 매립지의 처리에 많은 어려움이 있다. 특히, 도시 폐기물 매립지는 인구밀집 지역과의 근접성, 부지개발에 따른 경제적 가치의 급등 등의 이유로 활용 가능한 새로운 건설부지로서 많은 관심이 집중되고 있다. 또한, 개발면적이 협소하고, 도시지역에서 개발대상지역의 확보 필요성이 절실한 우리나라의 경우, 도시 인접지역의 폐기물 매립장 재활용은 큰 의미를 갖는다.

폐기물 매립지반 위에 구조물을 축조할 경우, 구조물의 축조 전에 폐기물을 치환하거나, 완벽하게 안정처리를 하여 큰 문제가 없는 경우도 있으나, 특별한 안정처리 및 보강처리가 없게 되면, 지반침하, 구조물에 대한 지지력 확보 등에 문제점이 발생될 수 있다. 따라서, 폐기물 매립지

반 내에 구조물을 축조할 경우에는 폐기물 매립지반의 특성파악, 예상침하량 산정, 기초구조물 보강, 지반안정화 등에 대한 충분한 대책이 수립되어야 한다.

일반적으로 부등침하방지와 지지력 확보를 위하여 지오그리드와 지오셀, 지오텍스타일 등의 보강토목섬유가 이용되고 있다. 본 연구에서는 신은철 등(2007)이 제시한 도로 구간 및 경량구조물 하부기초지반의 보강효과 분석을 위하여 파일럿 규모의 현장실험으로 도출된 지지력을 수치해석결과와 비교·분석하여 토목섬유를 활용한 지반보강 효과를 제시하였다. 즉, 수치해석시 현장실험과 같은 조건으로 무보강, 지오그리드 및 지오셀 보강 등 4가지 경우를 모델링을 하여 단계별 하중재하시 각각의 하중-침하 곡선을 현장실험과 동일하게 지지력특성을 분석하였으며, 하중재하시 지표면의 무보강 및 보강의 경우, 각각의 수직변위 및 수평변위를 분석하여 토목섬유의 보강효과를 규명하였다.

1) 정회원, 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수

† 정회원, 인천대학교 공학기술연구소 선임연구원(E-mail : frostjun@incheon.ac.kr)

## 2. 토목섬유 보강지반에서의 지지력

Binquet과 Lee(1975)는 조밀하고 균질한 지반상에 위치한 연속 기초 하부에 토목섬유 보강시 세가지 파괴형태를 나타내는 지지력 파괴 메카니즘을 제시하였다. 즉, 토목섬유 보강지반에서의 파괴면과 최대 전단력,  $\tau_{max}$ 에 대해 그림 1에서와 같이 2개의 영역으로 구성된 보강지반에서의 파괴면을 나타내었다. 이 때,  $A_1, A_2, A_3$ 와  $B_1, B_2, B_3$ 는 영역 I 과 영역 II의 경계면을 표현한 것이며, 이 때 최대전단응력,  $\tau_{max}$ 은  $xz$  평면에서 발생하게 된다. 최대전단응력이 발생하는 지점으로 중심선에서  $x=x'$ 인 지점은  $z/B$ 의 함수로 나타낼 수 있다.

또한, 토목섬유 보강지반에 하중 작용시 보강재는 그림 2에 나타낸 바와 같이 양쪽에서 마찰이 없는 롤러에 의하여 직각방향으로 방향이 바뀌어진 힘의 작용 형태로 표현하였다. N개 층의 보강재를 포설한 토목섬유 보강지반에 의하여 지지되는 단위면적당 하중  $q_R$ 과 보강되지 않은 지반에 의하여 지지되는 단위면적당 하중  $q_0$ 의 비율인 지지력 BCR은 침하  $S_e$ 와 관계 없이 일정하다는 가정하에 다음 식 (1)을 제시하였다(Binquet과 Lee, 1975).

$$T = \frac{1}{N} \left[ q_0 \left( \frac{q_R}{q_0} - 1 \right) (\alpha B - \beta h) \right] \quad (1)$$

여기서,  $T$ 는 깊이  $z$ 에서 보강재의 단위 길이당 작용하는 힘 (kN/m)이고,  $N$ 는 보강재 포설층수,  $q_0$ 는 무보강 지반에서 침하  $S_0 = S_e$ 시 작용하중(kN/m<sup>2</sup>)이다. 또한,  $q_R$ 은 보강지반에서 침하  $S_0 = S_e$ 에 작용하중(kN/m<sup>2</sup>)이고,  $\alpha, \beta$ 는  $z/B$ 에 대한 매개 변수이다.

Mhaiskar와 Mandal(1992)은 지오셀 적용시 지반을 3차원적으로 구속하여, 하중이 재하되면 강력한 횡 방향의 상

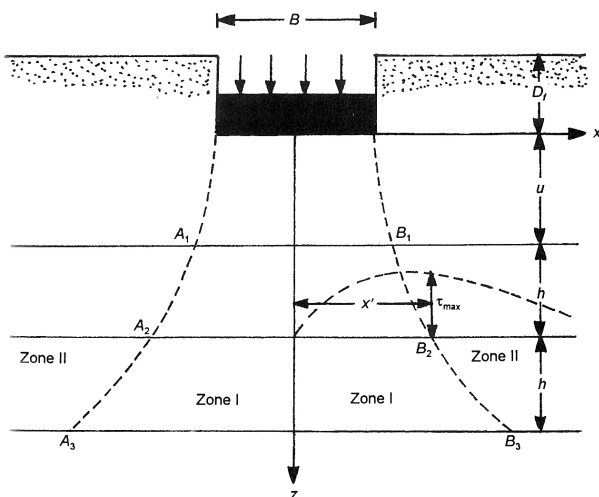


그림 1. 극한하중상태에서의 파괴면

호구속 강화 효과, 셀(cell) 사이의 후프 강도와 인접한 셀의 수동 반력, 채움재와 셀 사이의 전단저항력을 발생시켜 원지반 상태보다 약 15배의 지지력 효과가 도출됨을 제시하였다. 지오셀에 의해 지지력이 보강된 지반은 지오셀 하부 원지반에 균등한 하중을 분포시켜 편심하중 및 국부하중으로 인한 원지반의 부등침하 및 관입전단파괴를 차단시킬 수 있다. 그림 3은 지오셀에 의한 지반보강 원리의 개념을 설명한 것이다.

## 3. 토목섬유 보강지반의 현장실험 및 해석조건

### 3.1 현장실험

본 연구에서는 폐기물 매립지반에서 토목섬유 보강재의 보강 효과를 파악하기 위하여 무보강인 경우, 지오그리드 1층 및 2층 보강, 지오셀 보강의 총 4가지 경우로 구분하여 현장 조성후 반복평판재하시험법인 재하-제하의 방식으로 하중을 가하였으며, 단면 재료와 지오그리드 보강조건에 따른 지지력 및 침하특성 도출을 위한 평판재하시험을 수행하였다. 즉, Togol 등(1973), 신은철 등(2007)은 파일럿 스케일 현장실험을 통해 폐기물 매립지반에 토목섬유를 활용하여 지반보강효과 등을 제시하였으며, 본 연구에서의 수치해석 또한 다음 표 1에 나타낸 현장 실험 조건과 동일하게 모델링하여 매립지반의 보강효과를 도출하였다. 시험시공 지반조성은 상부 복토층을 약 2.0m를 굴착하고, 쓰레기 매립층을 확인한 후, 쓰레기 매립층에 접촉하여 보강재를 포설하는 형태로 지반조성을 실시하였다. 그림 4는 현장시험 시공 지반조성의 개략도를 나타낸 것이다.

보강재의 유무 및 종류와 보강조건에 따른 현장재하시

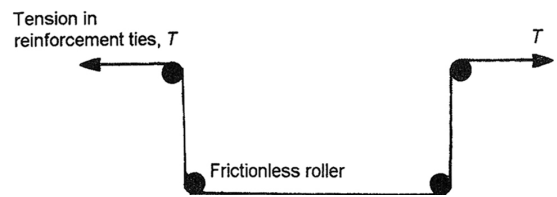


그림 2. 보강재에 작용하는 힘

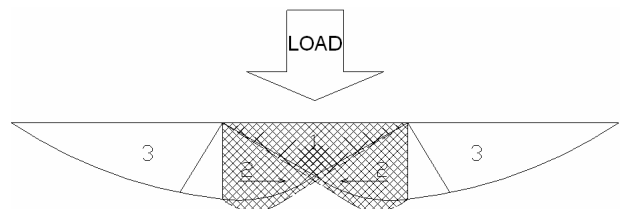


그림 3. 지오셀에 의한 지반보강 원리 개념도

험 결과, 표 1 및 그림 5(a)와 같은 하중-침하 곡선이 도출되었다. 즉, 토목섬유 보강재의 종류에 따른 지지력은 지오그리드의 경우, 2층을 포설한 경우, 지지력보강효과가 더 크게 나타났으나, 1층 보강했을 경우보다 뚜렷한 효과는 나타나지 않았으며, 두께가 20cm인 지오셀을 포설하였을 경우, 지지력 증가효과가 크게 발생하였다. 또한, 보강재 포설에 따른 지지력 증가 효과를 임의의 침하에 대한 지지력 증가비( $BCR_s$ )로 하여 그림 5(b)에 나타내었다. 지오그리드로 보강하였을 경우, 지지력증가비가 1.21~1.30으로 지지력이 약 21~30% 증가하는 것으로 나타났으며, 지오셀로 보강할 경우, 약 55%의 지지력 증가효과를 나타내었다.

### 3.2 해석조건

본 연구에서는 여러 인자에 대한 지반거동을 분석하기 위해 FLAC(Fast Lagrangian Analysis of Continua)을 이용

표 1. 현장 실험의 단면 조건(신은철 등, 2007)

단면번호	성토재료	보강 조건	보강 단면 구성 조건
실험 I	화강풍화토	무보강	복토 40cm
실험 II		지오그리드 1층	지오그리드 상부 복토 20cm
실험 III		지오그리드 2층	지오그리드 상부 복토 20cm
실험 IV		지오셀 1층	지오셀 상부 복토층 20cm

표 2. 현장 평판재하시험 결과

단면 번호	보강 조건	허용지지력 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	극한지지력 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	항복지지력 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	지반반력계수 ( $\text{kgf/cm}^3$ )	스프링상수, k ( $\text{kgf/cm}$ )	지반계수, Cz ( $\text{kgf/cm}^3$ )
실험 I	무보강	0.975	2.93	1.95	5.0	5,294	7.49
실험 II	지오그리드 1층	1.18	3.54	2.36	5.6	8,136	11.51
실험 III	지오그리드 2층	1.27	3.81	2.54	5.8	8,277	11.71
실험 IV	지오셀 1층	1.51	4.53	3.02	6.12	12,476	17.65

하여 토목섬유 보강지반의 지지력 특성을 나타내었다. FLAC은 엔지니어링 역학계산을 위하여 유한차분법을 이용한 2차원 범용 해석 프로그램으로서 지반 또는 비슷한 재료를 나타내는 상당히 비선형이고 소성적인 반응을 가상실험 할 수 있는 여러 개의 모델이 있다. 본 연구에서는 토목섬유 보강된 폐기물매립지반의 침하 및 지지력 특성을 도출하기 위한 현장실험을 모델링하는데 있어, 토목섬유 보강재인 지오그리드와 지오셀은 탄성역학모델중 등방성 탄성체로 해석하였고, 원지반과 복토층은 탄소성 역학 모델중 Mohr-Coulomb 해석방법으로 전응력 및 유효응력 상태, 간극수압, 변위 등의 해석결과를 도출하였다(Zahn 과 Yin, 2001; Fagher와 Jones, 2001).

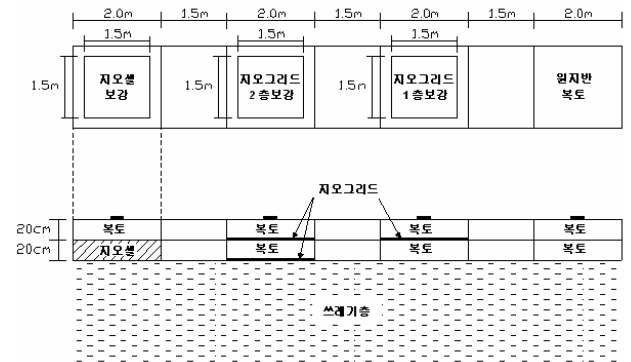
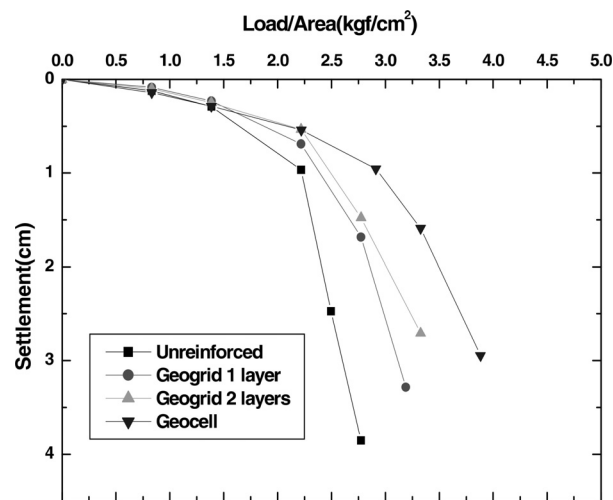
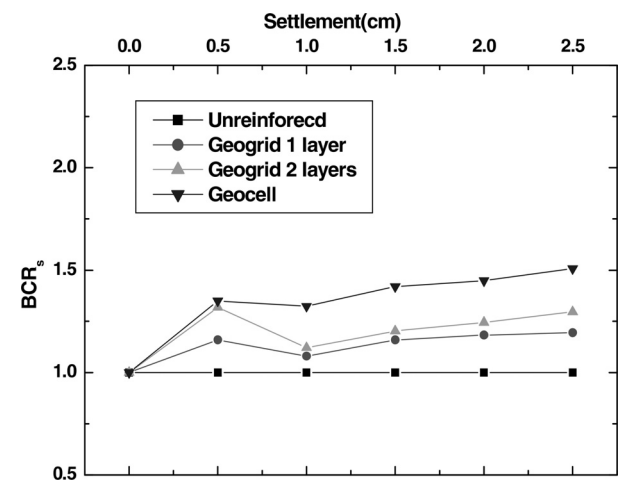


그림 4. 현장실험단면의 개요도



(a) 하중-침하곡선



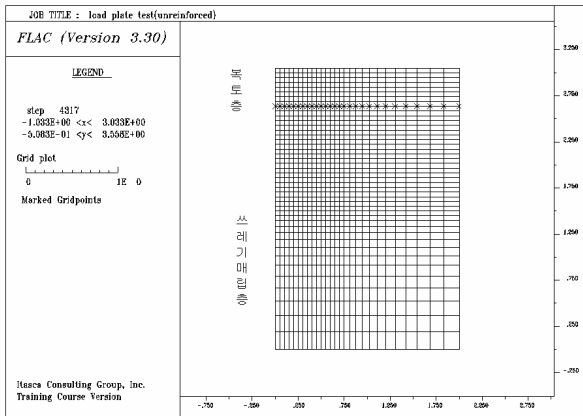
(b) 임의 침하에 따른  $BCR_s$  변화곡선

그림 5. 현장재하시험 결과(하중-침하곡선)

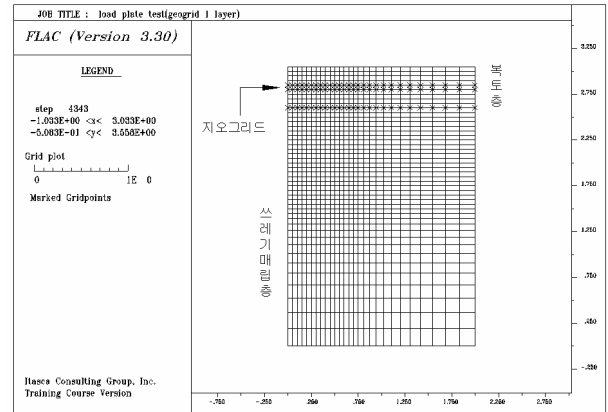
그림 6에 나타난 바와 같이 지반 모델링 하는 과정에 있어서 하중재하로 인한 응력증가의 영향을 충분히 고려하여 깊이는 3m, 폭은 2m로 모델링 하였다. 그림 6(a)는 쓰레기 매립층과 복토층, 그림 6(b)는 쓰레기 매립층 상부에 지오그리드(가로 1.5m, 세로 1.5m) 1층 포설한 것을 모델링 한 것이다. 또한, 그림 6(c)는 쓰레기 매립층 상부에 지오그리드를 포설후 복토층 중간에 두 번째 지오그리드를 포설한 해석 단면이며, 그림 6(d)는 쓰레기매립층 상부에 높이 20cm의 지오셀을 포설후 복토한 것을 모델링하여 나타난 것이다. 수치해석에 사용된 물성치는 표 3에 나타난 바와 같이 현장에서 채취한 시료의 실내 물리적 특성결과와 ○○자원회수시설 건설공사 토질조사보고서를 참고하여 도출하였다.

표 3. 수치해석에 적용된 각 시료의 기본 물성치

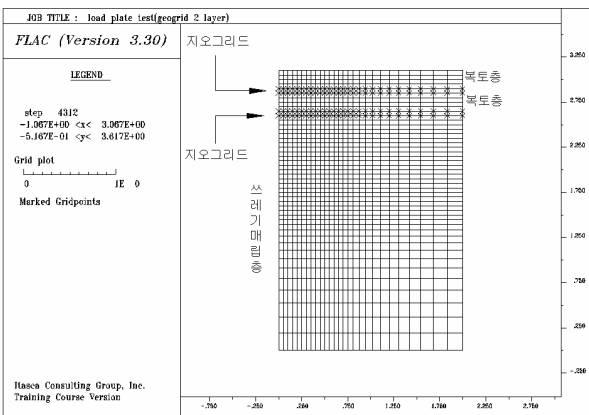
구 분	마찰각, $\phi$ (°)	점착력, $c$ (tonf/m <sup>2</sup> )	탄성계수, $E$ (tonf/m <sup>2</sup> )	단위중량, $\gamma$ (tonf/m <sup>3</sup> )	포아송비 $\nu$
쓰레기매립층	22.3	0.7	1,201	1.0	0.2
복토층	30.8	1.0	3,413	1.87	0.3
지오그리드	-	-	8.16×105	0.3	0.3
지오셀	-	-	4.08×104	0.14	0.28



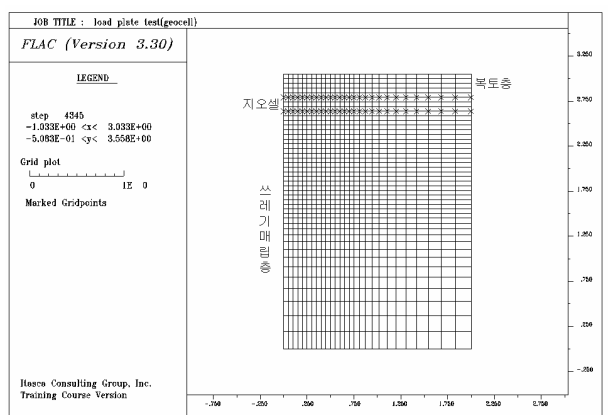
(a) 무보강 지반



(b) 지오그리드 1층 보강지반



(c) 지오그리드 2층 보강지반



(d) 지오셀 보강지반

그림 6. 해석지반 모델링

#### 4. 해석 결과 및 분석

폐기물 매립지반의 지지력과 침하특성을 분석하기 위해 본 연구에서 수행된 수치해석 결과와 신은철 등(2007)이 나타난 현장실험결과를 표 4에 나타내었다. 무보강의 경우, 현장실험과 비교하였을 때 항복지지력이 약 8.7%의 차이가 발생하였고, 지오그리드1층 보강의 경우는 1.27%, 지오그리드 2층 보강의 경우는 2.75%, 지오셀 보강의 경우는 3.31%의 차이가 나타났다. 즉, 토목섬유 보강시 약 1.3~3.3%차이로 현장실험결과와 유사한 결과가 도출되었다.

그림 7은 LogP-S의 방법으로 항복하중을 나타낸 것으로서 현장실험과 유사한 항복 지지력을 보였다. 그림 8의 경

우 현장실험에서와 같은 명확한 전반전단 파괴양상을 보이지는 않았으나 전반전단에 가까운 파괴양상을 보였고, 지오그리드로 보강한 경우는 현장실험의 경우와 마찬가지로, 느슨한 모래나 정규압밀 점토에 나타나는 국부전단 파괴양상이 명확하게 나타났다. 지오셀의 경우는 현장실험결과와는 다른 항복전에는 서서히 침하하다가 항복이후에는 급격히 침하되는 조밀한 모래나 과압밀 점토에서 보이는 전반전단 파괴양상을 보였다. 그림 9는 하중재하시 심도에 따른 변위를 나타낸 것이다.

표 4. 수치해석과 현장실험의 항복지지력비교

단면번호	보강 조건	항복지지력 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	
		수치해석	현장실험
실험 I	무보강	1.78	1.95
실험 II	지오그리드 1층	2.33	2.36
실험 III	지오그리드 2층	2.47	2.54
실험 IV	지오셀 1층	2.92	3.02

표 5를 보면 기초의 중앙으로부터  $0.5 B$  떨어진 지점에서 수평변위는 무보강의 경우  $0.21\text{mm}$ , 지오그리드 1층 보강과 2층 보강의 경우는  $0.22\text{mm}$ 와  $0.25\text{mm}$ 로 나타나 무보강과 유사한값을 나타내었으며, 지오셀의 경우는  $0.02\text{mm}$ 로 가장 작게 나타났다. 기초의 중앙에서  $1 B$  떨어진 지점에서는 무보강의 경우  $0.36\text{mm}$ , 지오그리드 1층 및 2층 보강의 경우는  $0.39\text{mm}$ 와  $0.37\text{mm}$ 을 나타내었고, 지오셀의 경우는  $0.21\text{mm}$ 로 가장 작게 나타났다.

그림 10은 하중  $1.25 \text{ kgf/cm}^2$  재하시 지표면의 수평 변위를 나타낸 것으로서 기초의 중앙에서 멀어질수록 무보강과 지오그리드 보강의 경우는 수평변위는 급격히 증가하다가 중앙에서 약  $1 B$  떨어진 지점에서부터는 수평변위의 증가는 미소한 것으로 나타났다. 지오셀의 경우, 수평 변위는 중앙에서  $0.5 B$  떨어진 지점까지는 완만하게 증가하다가 기초의 중앙에서  $1 B$  떨어진 지점까지는 급격히 증가하는 경향을 보였다. 또한 무보강 및 지오그리드 보강의 경우처럼 기초의 중앙에서부터  $1 B$  떨어진 지점에서부터

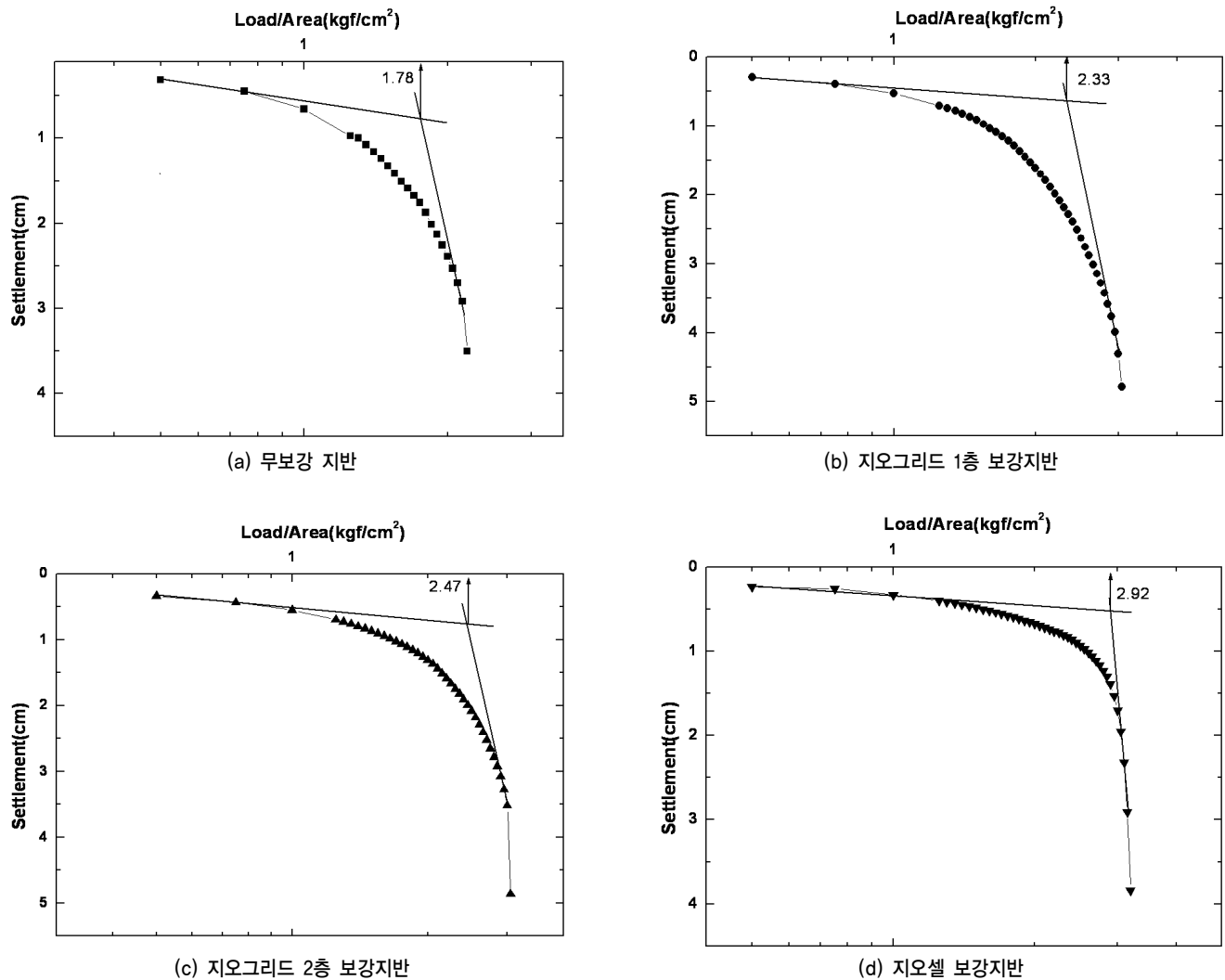


그림 7. LogP-S곡선

터는 수평변위의 증가가 미소한 것을 알 수 있다. 그림 10에 나타난 바와 같이 지오그리드 보강의 경우는 무보강과 비교해 볼 때 수평변위를 구속하는 효과가 미약한데 반해 지오셀의 경우는 보강효과가 탁월함을 알 수 있다.

표 6은 1.25kgf/cm<sup>2</sup> 하중재하시 수직변위를 나타낸 것으로, 기초 저면에서 무보강은 0.556cm, 지오그리드 1층 보

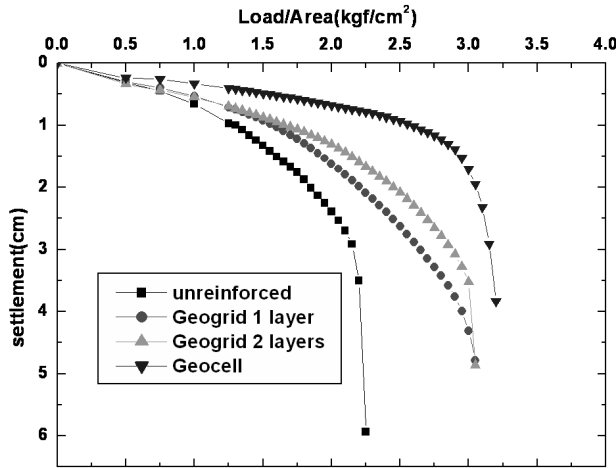


그림 8. 수치해석결과 하중-침하곡선

강과 2층 보강은 0.529cm와 0.549cm로 무보강과 유사한 결과가 도출되었으며, 지오셀은 0.329cm로 수직변위가 가

표 5. 기초의 중앙에서 0.5B 및 1B 떨어진 지점에서의 수평변위

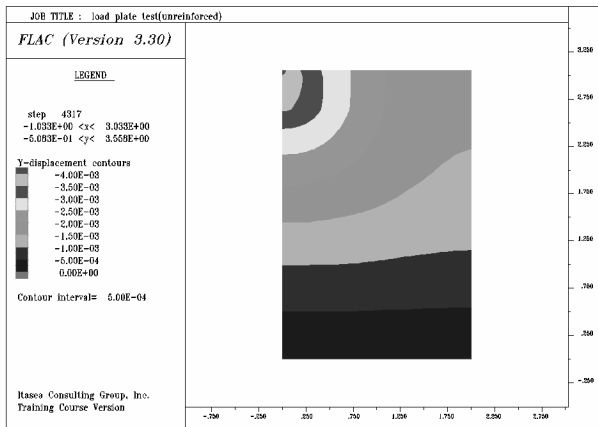
보강조건	기초의 중앙에서 떨어진 거리 0.5 B <sup>1)</sup> 수평변위(mm)	1 B 수평변위(mm)
무보강	0.21	0.36
지오그리드 1층 보강	0.22	0.39
지오그리드 2층 보강	0.25	0.37
지오셀 보강	0.02	0.21

주) 1, B : 기초의 폭(30cm)

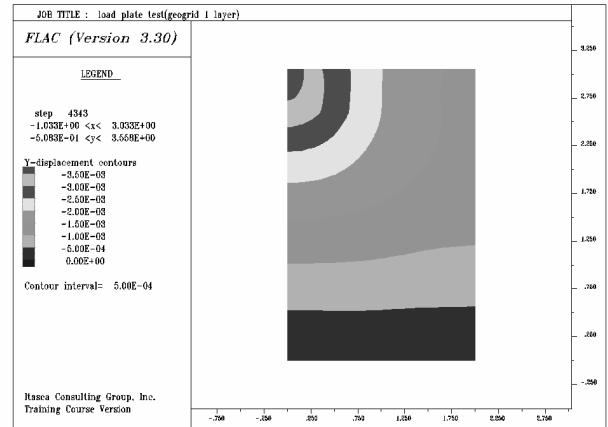
표 6. 기초의 중앙에서 0 B 및 2/3 B 떨어진 지점에서의 수직변위

보강조건	기초의 중앙에서 떨어진 거리 0 B <sup>1)</sup> 수직변위(mm)	1 B 수직변위(mm)
무보강	0.556	0.429
지오그리드 1층 보강	0.529	0.416
지오그리드 2층 보강	0.549	0.459
지오셀 보강	0.329	0.309

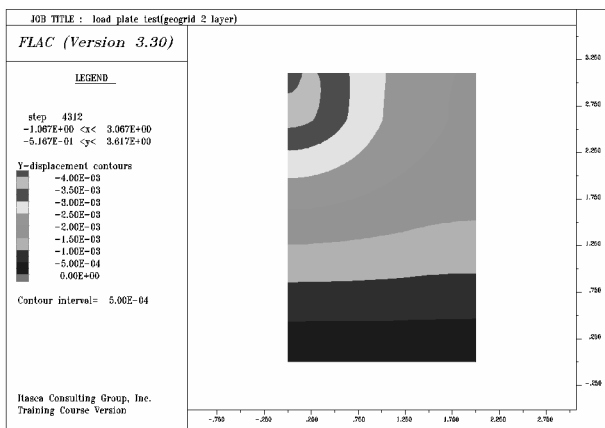
주) 1, B : 기초의 폭(30cm)



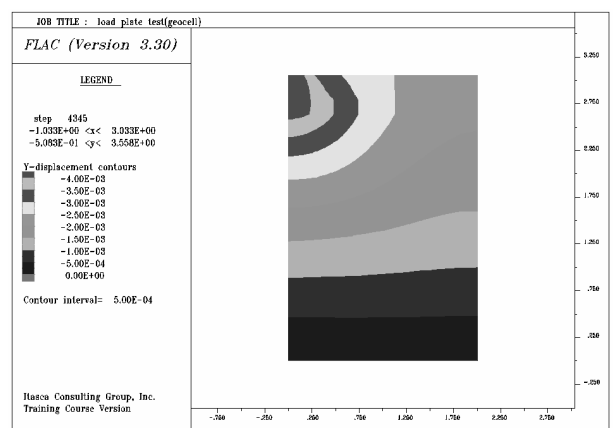
(a) 무보강 지반



(b) 지오그리드 1층 보강지반



(c) 지오그리드 2층 보강지반



(d) 지오셀 보강지반

그림 9. 심도에 따른 변위분포도

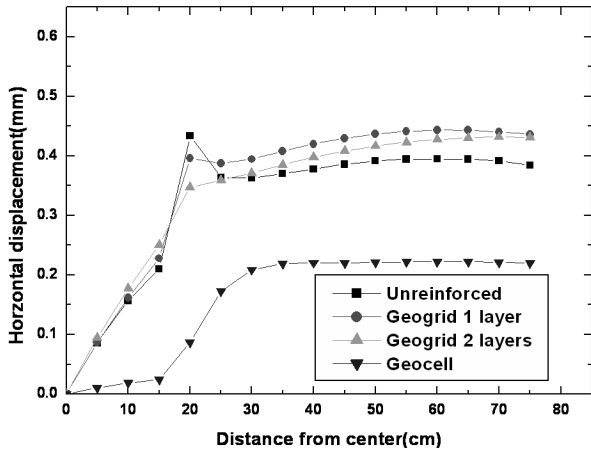


그림 10. 하중재하( $\text{kgf/cm}^2$ )시 지표면의 수평변위

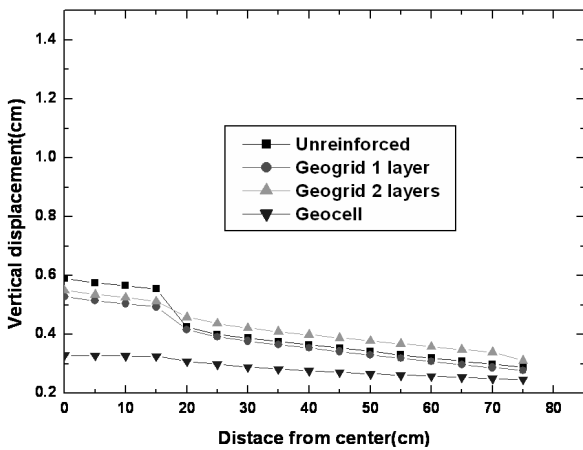


그림 11. 하중재하( $1.25\text{kgf/cm}^2$ )시 지표면의 수직변위

장 작게 나타났다.

기초의 중앙으로부터  $2/3 B$  떨어진 지점에서는 무보강은  $0.416\text{cm}$ , 지오그리드 1층 및 2층 보강은  $0.416\text{cm}$ 와  $0.459\text{cm}$ 로 나타났다. 이는 기초저면과는 다르게 지오그리드 2층 보강이 1층 및 무보강보다 수직변위가 크게 나타났다. 이러한 이유는 하중작용시 무보강은 연성기초침하이고 보강재로 보강한 지오그리드의 경우는 강성기초침하이기 때문이라고 판단된다. 탄성침하의 경우에 기초저면에서는 연성기초가 침하가 크지만 기초의 모서리에서는 오히려 강성기초가 침하가 더 크게 발생하기 때문이다. 또 다른 요인으로는 보강재의 포설심도에 따른 영향으로서, 포설심도가 얇으면 지표면의 수직변위는 오히려 무보강인 경우보다 크다고 판단된다. 또한, 지오셀의 경우는  $0.309\text{cm}$  가장 작게 나타났다.

그림 11은 하중  $1.25\text{kgf/cm}^2$  재하시 수직변위를 나타낸 것이다. 지오그리드 보강과 무보강의 경우 기초저면에서 멀어질수록 수직변위는 크게 감소하였으나 지오셀은 경우는 미소하게 감소함을 나타내었고,  $2 B$  이상 떨어진 지점에서는 수직변위가 많이 감소한 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 폐기물 매립지반, 즉 연약지반위에 구조물을 축조할 경우 지오그리드 및 지오셀의 보강 효과를 규명하고자 지오그리드 층수에 따른 보강과 지오셀 보강 4가지 경우로 실험결과를 바탕으로 수치해석결과와 상호 비교·분석하여 토목섬유를 활용한 지반보강효과를 제시하였다. 본 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 폐기물 매립지반의 현장 평판재시험을 통한 지지력( $q$ )과 침하( $S$ )관계에서 구한 항복지지력과 현장 실험조건과 똑같은 조건으로 모델링하여 수치해석한 결과와 항복 지지력을 비교해 보았다. 수치해석을 통한 항복지지력은  $1.78\text{kgf/cm}^2 \sim 2.92\text{kgf/cm}^2$ 로 나타났고, 현장 실험을 통한 항복지지력은  $1.95\text{kgf/cm}^2 \sim 3.02\text{kgf/cm}^2$ 로 무보강의 경우 8.7%의 차이를 보였고, 보강재로 보강한 경우, 1.3%~3.3%차이를 보여 수치해석결과가 현장실험결과에 비해 다소 작은 것으로 나타났다.
- (2) 토목섬유로 보강한 지반위에 구조물 축조로 인한 하중재하시 인접지반의 수평변위를 수치해석을 통하여 분석한 결과, 기초에서 멀어질수록 수평변위는 증가하나 기초의 중앙에서  $1 B$  이상 멀어지면 수평변위의 증가는 미소함을 알 수 있다. 지오그리드로 보강한 경우는 무보강과 유사한 경향을 보여 수평변위를 구속하는데 효과적이지 못하나 지오셀의 경우는 지오그리드 보강이나 무보강에 비해 수평변위 적은 것으로 나타났다.
- (3) 토목섬유로 보강한 지반위에 구조물 축조로 인한 하중재하시 인접지반의 수직변위를 수치해석을 통하여 분석한 결과, 기초 아래에서 가장 큰 수직변위를 보였고, 기초의 중앙에서 멀어질수록 수직변위는 감소하나 약  $2 B$  이상 멀어지면 수직변위의 감소는 미미함을 알 수 있다.
- (4) 현장실험 및 수치해석을 수행한 결과 보강재중 지오셀을 포설하는 경우가 지지력보강 및 침하감소에 탁월한 효과를 보였다. 본 연구는 보강재 종류에 따른 지지력 및 침하 특성만을 연구하였으나 보강재의 포설길이 및 심도에 대한 연구를 통하여 경제성과 시공성을 고려하고, 계획 구조물의 특성에 따라 폐기물 매립지반의 보강공법을 선정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 신은철, 박정준(2007), 토목섬유로 보강된 폐기물 매립지반의 지지력 특성, *한국토목섬유학회 논문집*, 제6권 3호, pp. 39~46.

2. Binquet, J., and Lee, K.L.(1975), Bearing Capacity Tests on Reinforced Earth Mass, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 101, No. GT12, pp. 1257~1276.
3. Das, B.M. and Shin, E.C.(1993), Strip Foundation on Geogrid-reinforced Clay: Behavior under Cyclic Loading, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 13, No. 10, pp. 657~661.
4. Fakher, A. and Jones, C.J.F.P.(2001), When the Bending Stiffness of Geosynthetics Reinforcement is Important, *Geosynthetics International*, Vol. 8, No. 5, pp. 445~460.
5. Mhaskar, S.Y. and Mandal, J.N.(1992), Comparison of Geocell and Horizontal Inclusion for Paved Road Structure, *Proceedings of The International Symposium on Earth Reinforcement Practice*, Vol. 1, pp. 641~646.
6. Togol, E. and Dozent, Dr. Eng.(1973), Bearing Capacity by Load Tests, *Proceedings of The Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 2, Part 2, pp. 231~236.
7. Zhan, C. and Yin, J.H.(2001), Elastic Analysis of Soil-Geosynthetic Interaction, *Geosynthetics International*, Vol. 8, No. 1, pp. 27~48.

(접수일: 2007. 10. 29 심사일: 2007. 11. 19 심사완료일: 2008. 1. 16)