

## 다층 시스템에서 지오그리드의 보강특성에 관한 연구 A Study on the Reinforced Characteristic of Geogrids in Multi-Layered System

심재범<sup>1)</sup>, Jae-Bum Shim, 신은철<sup>2)</sup>, Eun-Chul Shin,  
신만호<sup>3)</sup>, Min-Ho Shin, 채영수<sup>4)</sup>, Young-Su Chae

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| 1) 한국철도대학 시설토목과 교수       | Professor, Dept. of Civil Engineering, KNRC             |
| 2) 인천대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 | Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Incheon |
| 3) 한국철도기술연구원 시설연구부 책임연구원 | Chief Researcher, Civil & Development Dept. KRRI        |
| 4) 수원대학교 공과대학 토목공학과 교수   | Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Suwon   |

**SYNOPSIS** : Recently, geogrid reinforcement has been applied to the subgrade of the roadway and the railway on the compressible layered soil, and the relevant reserch on the reinforcing mechanism has been performed.

In this study, mechanics of geogrid reinforcement and the parameters for the improvement of bearing capacity are evaluated and presented based on the case histories of the field load test on the geogrid-reinforced layered subgrade

**Key Words** : geogrid reinforcement, field load test, bearing capacity

### 1. 서 론

연약지반상에 도로 및 철도선로를 건설하는 경우 건설 중 또는 건설 후의 운행시 이들 하부구조에서 침하 및 지지력의 감소 등이 발생됨에 따라 많은 문제점들이 발생 될 것으로 예상된다. 최근 국내외에서는 연약지반상에 축조되는 도로 및 철도 노반에 지오그리드(geogrid)를 포설하여 다층으로 구성된 이들 하부구조의 지지력을 증가시키고 장기적인 안정성을 확보할 수 있는 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 도로 및 철도 노반에서 지오그리드가 보강재로서 빈번히 사용됨에도 불구하고 다층으로 구성된 이들 하부구조에서 지오그리드의 포설에 따른 지지력 증가 및 변형감소와 같은 역학적인 거동 특성이 아직까지 충분히 규명되어 있지 않아 이로 인해 기존의 측정 방법으로는 지오그리드의 거동 특성에 대한 정확한 예측이 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 신은철 & 심재범 (1999) 및 R. Floss (1993)등이 수행한 현장 재하시험 및 평판재하시험 결과들을 토대로 도로 및 철도 노반과 같은 다층시스템에서 교통하중의 작용에 따른 비보강 및 지오그리드 보강 시스템의 변형거동 및 응력분포 현상과 같은 역학적 거동특성과 지지력 개선 효과 등에 대해 연구검토하고자 하였다.

## 2. 현장 재하시험 방법 및 시료

### 2.1 현장 재하시험 방법

해성점토 퇴적층(연약한 점토질 실트 ML)이 5~10m 정도인 지반위에 약 1m두께로 준설 매립(새립의 모래층 SM)한 영종도 인천국제공항 건설현장 부지에서 Fig.1과 같이 시험단면을 조성한 후 지오그리드의 최적 포설 위치 및 포설 층수, 하중작용에 대한 토압의 전달, 지오그리드의 변위 등을 측정하기 위해 총 21개의 현장 평판재하시험을 실시 하였다(신은철 등, 1993). 지오그리드에 스트레인 게이지를 부착하고 토압계를 매설하여 작용하중에 대한 보강재의 거동 특성을 측정하였다. 또한, 현장시험을 통해 얻어진 지반의 변형계수( $E_v$ )를 이용하여 보강재에 의한 지지력 증가 현상에 영향을 미치는 인자들에 대해 조사하였다.

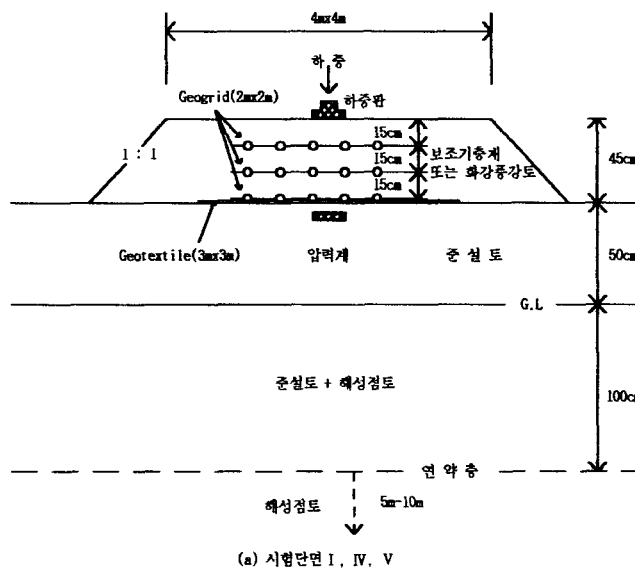


Fig. 1 Schematic of Field Test at each Test Series (Geogrid)

Floss et al. (1993)은 토목섬유 보강재를 원지반층인 해성 점토지반층(점토질 50~60%, 실트질 40~50% 및 모래질 약 3%)과 흙쌓기층의 경계면에 Fig.2와 같이 포설한 후 흙쌓기층의 두께를 변화시켜 가며 대형 현장재하시험 및 평판재하시험을 실시하여, 다층시스템에서 토목섬유 보강재의 메카니즘을 규명하고, 지지력 개선 효과를 분석·평가 하였다.

Fig. 3은 대형 현장재하시험의 평면도 및 단면도를 보여주며, 현장 평판재하시험은 직경 30cm의 재하판을 사용하였다.

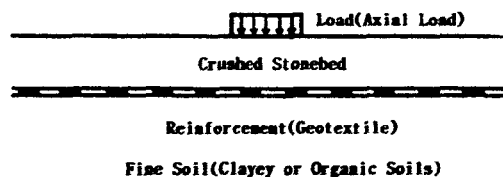


Fig. 2 Reinforced Two-Layer system (Floss et al. 1993)

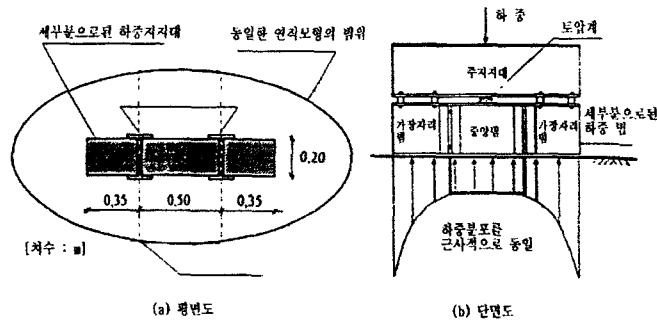


Fig. 3 Plan and section view of Large in-situ Load Test Equipment (Floss et al. 1993)

## 2.2 흙쌓기층 재료

시험공에 사용된 흙쌓기 재료는 입경에 따른 지지력 개선 효과를 분석하기 위해 화강풍화토(granite soil)와 보조기층재(subbase)를 사용하였으며, 원지반 위에 흙쌓기한 준설토(dredged soil)와 흙쌓기 단면에 사용된 준설토의 특성은 동하다. Table 1은 흙쌓기 재료의 D다짐에 의한 다짐 특성을 보여준다(신은철 등, 1999).

Floss등은 흙쌓기 재료로 도로에서 주로 사용되고 있는 보조기층재(세립자 7~8%, 모래입자 20~25% 및 자갈입자 70~75%)를 사용하였다.

Table 1 Engineering Properties of Soil Specimen (Geogrid)

Embankment Material		Properties			Compaction Test	
		Gs	PI	Soil Type	$\gamma_d \text{ max(g/cm}^3\text{)}$	O.M.C(%)
Granite Soil	Series I	2.65	NP	SP	2.06	10.6
Dredged Soil	Series II	2.64	NP	SP	1.58	8.6
Subbase	Poorly Graded (Series IV)		NP	GP	2.23	8.15
	Well Graded (Series III, V)		NP	GP( $\approx$ GW)	2.16	9.14

## 2.3 토목섬유 보강재

Floss(1993) 등은 보강재로 직포(woven geotextile), 부직포(non woven geotextile) 및 지오그리드를 사용하였으며, 사용된 보강재의 특성치는 Table 2와 같다. 또한, Table 3에서는 신은철(1999) 등이 시험에 사용한 지오그리드 및 부직포의 재료 특성을 보여주고 있다.

Table 2 Properties of Reinforcing Materials

보강재의 특성치		직 포	부 직 포	지오그리드
단위면적당 무게	$\text{g/m}^2$	460	1200	300
인장력 (종방향)	$\text{kN/m}$	220	52	25
파괴인장변형률 (종방향)	%	17	65	17
인장력 (2% 인장 변형률시)	$\text{kN/m}$	25.8	0.8	3.0

Tabel 3 Physical Properties Geotextile Specimen

특 성	지 오 그 리 드	지 오 텍 스타 일
재질 (고분자 형식)	폴리프로필렌 (Polypropylene)	폴리에스테르 (Polyester)
제조방식에 의한 분류	양축방향 인장 (격자 구조)	부직포
제품 크기	4m×50m	8.5m×50m
단위면적 중량 (g/m <sup>2</sup> )	650	700
두께 (mm)	6.5 (접점)	4.5
최대인장강도 (kN/m)	40 (양방향)	178
최대인장변형률 (%)	11 (양방향)	50~120

### 3. 다층시스템에서 토목섬유의 기능

연약지반상에 도로 및 철도선로를 건설시 원지반의 지지력 값  $E_{v2}$ 가  $450\text{kg/cm}^2(45\text{MN/m}^2)$ 에 이르지 못할 경우에는 원지반 및 노반을 개량하여야 한다. 지반개량의 대안으로는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같은 토목섬유로 보강된 지반치환을 들 수 있다. 이 경우 원지반면 위에 평면으로 포설된 토목섬유는 보강기능 외에 분리 및 필터기능을 갖게 된다.

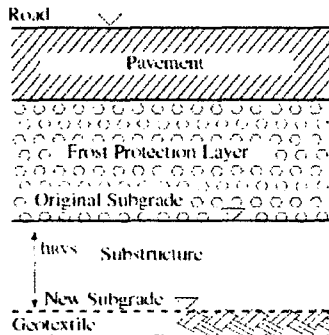


Fig. 4 Basic Concept (Roadway)

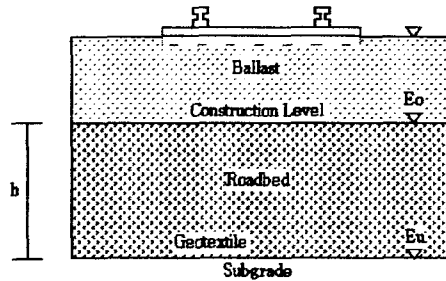


Fig. 5 Basic Concept (Railway)

도로에서 보강재의 보강 효과는 원지반의 지지력 값  $E_{v2}$ 가  $300\text{kg/cm}^2(30\text{MN/m}^2)$  이하일 때 그리고 철도 선로에서는 원지반의 지지력 값이  $100\text{kg/cm}^2(10\text{MN/m}^2) < E_{v2} < 300\text{kg/cm}^2(30\text{MN/m}^2)$ 일 때 나타난다(DGGT, 1997). 이때 사용되는 지지력값  $E_{v2}$ 는 독일 DIN 18134 규정에 따라 수행한 평판재하시험에서 첫 번째 하중 제거 후 2차 재하하중 때의 변형계수이다(C.Goebel et al, 1996)

### 4. 시험결과 분석 및 고찰

#### 4.1 지오그리드의 메카니즘 분석

##### 4.1.1 연직변위 및 하중강도

Fig. 6 및 Fig. 7은 원지반면 위에 토목섬유를 포설하고 흙쌓기층의 두께가 15cm 및 30cm인 경우 재하 판 상부면에서 측정된 연직변위의 결과이다. 비보강 시스템에서는 흙쌓기층의 두께를 15cm에서 30cm로 높인 경우 하중강도가 약  $1.3\text{kg/cm}^2$ 에서  $1.70\text{kg/cm}^2$ 으로 약  $0.33\text{kg/cm}^2$ 정도로 증가하고 연직변위는 약 7cm에서 20cm로 약 3배 크게 나타났다. 그러나 지오그리드로 보강된 시스템에서는 동일한 조건하에서 하중강도가 약  $2.3\text{kg/cm}^2$ 에서  $3.3\text{kg/cm}^2$ 으로  $1.0\text{kg/cm}^2$ 정도로 증가한 반면 연직변위는 약 18cm에서 23cm로 5cm가 증가하였음을 보여준다.

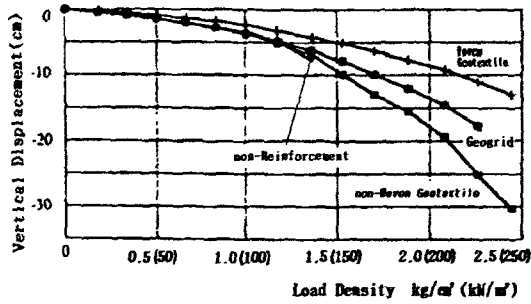


Fig. 6 Vertical Displacement-Stress Curve (Embankment 15cm)

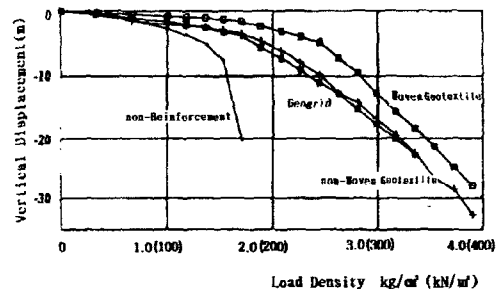
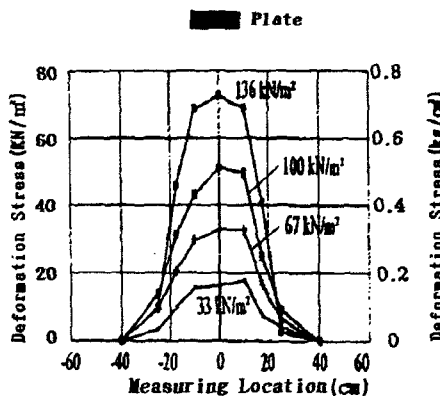


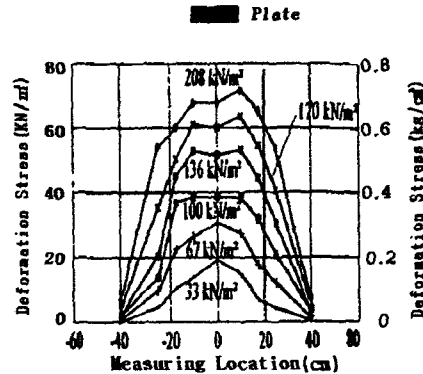
Fig. 7 Vertical Displacement-Stress Curve (Embankment 30cm)

#### 4.1.2 연직응력 및 수평응력

Fig. 8는 흙쌓기층의 두께가 15cm인 경우 원지반면 및 흙쌓기층의 경계면 아래에서 측정한 연직응력의 결과이다. Fig. 8에서는 보강된 시스템이 비보강된 시스템에 비해 양호한 하중분산 효과를 나타내고 있으며, 그 결과 원지반층에 전달되는 연직방향의 최대응력은 동일한 하중강도의 경우 보강된 층시스템에서는 비보강된 시스템에 비해 현저히 낮음을 알 수 있다.

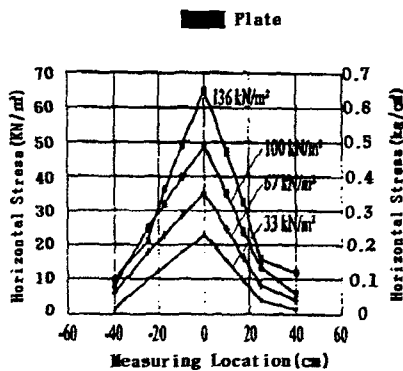


(a) Non-Reinforcement

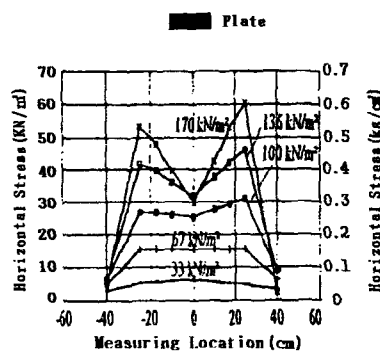


(b) Geogrid Reinforcement

Fig. 8 Vertical Stress Contour below layer Boundary in Reinforced and Non-Reinforced System (15cm Embankment Thickness)



(a) Non-Reinforcement



(b) Geogrid Reinforcement

Fig. 9 Horizontal Stress Contour below layer Boundary in Reinforced and Non-Reinforced System (15cm Embankment Thickness)

Fig. 9는 원지반면 및 흙쌓기층의 경계면 바로 아래에서 측정된 수평응력의 결과를 보여주며, 보강된 층시스템에서는 보강재가 확장력(Spread force)을 받음으로 인해 원지반층이 비보강 시스템에 비해 명백히 낮은 수평분력을 받게 된다.

## 4.2 지오그리드의 지지력 개선 효과의 분석

### 4.2.1 개요

본 연구에서는 연약지반 위에서 원지반 조건, 흙쌓기 재료 및 지오그리드의 보강조건, 흙쌓기층의 두께를 변화시켜 가며 수행한 현장 평판재하시험 결과를 토대로 다층시스템에서 보강재로 사용된 지오그리드의 지지력 개선효과를 평가하였다.

Table 4는 신은철(1999)등이 수행한 시험단면 1-V에 대한 각 시험번호별 지반반력계수  $K_{30}$  및 변형계수  $E_{v2}$ 의 값들을 보여준다. 각 시험단면별 및 시험번호별로 시험조건이 서로 다르므로 보강되지 않은 각 시험단면별 시험번호의 변형계수  $E_{v2}$ 의 값과 보강조건을 달리한 시험번호별  $E_{v2}$ 값 사이의 증가비율을 구하여 지지력의 개선정도를 비교·검토하였다. 이 경우 보강되지 않은 각 시험단면별 시험번호의  $E_{v2}$ 값을 100%로 하였으며, Fig.11은 이와 같은 방법으로 계산한 각 시험번호의 지지력( $E_{v2}$ )의 증가율을 그래프로 나타내었다.

### 4.2.2 흙쌓기재인 화강풍화토의 영향

Fig. 10(a)에서 보듯이 화강풍화토를 흙쌓기재로 사용하여 45cm의 두께로 흙쌓기 하고, 지오텍스타일 1층과 지오그리드 1층 및 2층을 포설한 시험번호 3 및 시험번호 4의 단면이 가장 경제적인 단면이라 사료된다.

화강풍화토를 흙쌓기재로 사용하여 90cm의 두께로 흙쌓기 한 시험번호 2는 본 평가에서 제외하였다.

### 4.2.3 흙쌓기재인 양입도 및 빈입도인 보조기층재의 영향

Fig. 10(b)의 시험단면 III는 원지반 위에 양입도의 보조기층재를 사용하여 45cm의 두께로 흙쌓기 한 경우로서 지하수의 영향으로 다짐시 팽팽현상이 발생하는 가장 취약한 단면이다. 지오텍스타일 1층과 지오그리드 1층을 포설한 시험번호 8에서 지지력( $E_{v2}$ )증가율이 104%로 제일 큰 값을 나타내었다.

빈입도의 보조기층재를 흙쌓기재로 사용한 시험단면 IV에서는 Fig. 10(c)에서 보듯이 지오텍스타일 1층과 지오그리드 1층을 포설한 시험번호 13에서 지지력( $E_{v2}$ )증가율이 394%로 가장 큰 값을 나타내었다.

### 4.2.4 지오그리드 포설위치의 영향

다층시스템에서 지오그리드의 포설위치가 지지력의 증가율에 미치는 영향을 알아보기 위한 시험단면 V(Fig. 10(d))에서는 지오그리드 1층과 지오텍스타일 1층 및 지오그리드 1층을 원지반면 위에 포설한 시험번호 19 및 시험번호 20에서 지지력( $E_{v2}$ )증가율이 똑같이 155%로 나타났다. 이러한 현상은 해당 시험단면의 원지반 아래에 지하수가 없고 현장 시험기간이 짧기 때문이라고 판단된다.

Table 4. Estimation of Modulus of Subgrade Reaction( $K_{30}$ ) and Deformation Modulus( $E_{v2}$ ) at Each Test Series(Geogrid)

시험 단면	시험 번호	흙쌓기 재료	보 강 조 건		$K_{30}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_{v1}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_{v2}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	지지력 증가율 $E_{v2}$ (%)
			GT	GG				
I	1	화강풍화토	-	-	12	103.8	207.6	0
	2		-	-	15	470.5	646.9	211.6
	3		1	1	15.4	120.4	398.1	91.8
	4		1	2	13.7	225.0	470.5	126.6
	5		1	3	14.8	246.4	470.5	126.6
II	6	준설토	-	-	6.0	73.5	882.4	
III	7	양입도 보조기층재	-	-	17.4	250	409.1	0
	8		1	1	27.5	436.9	833.3	103.7
	9		1	2	24.8	436.9	692.3	69.2
	10		1	3	19.6	394.7	555.6	35.8
IV	11	빈입도 보조기층재	-	-	9.2	236.8	267.9	0
	12		1	-	15.9	300.0	937.5	249.9
	13		1	1	21.5	424.5	1323.5	394.0
	14		1	2	16.3	445.5	671.6	150.7
	15		1	3	20.9	312.5	714.3	166.6
	16		1	4	9.0	405.4	346.2	29.2
	17		1	3(1m×1m)	9.0	312.5	300.0	12.0
V	18	양입도 보조기층재 (포설위치)	-	-	10.3	263.2	401.8	0
	19		1(바닥면)	30	918.4	1022.7	154.5	
	20		1(바닥면)	24.8	511.4	1022.7	154.5	
	21		1(중간층)	14.7	288.5	918.4	128.6	

주 : 1) GT : Geotextile    2) GG : Geogrid

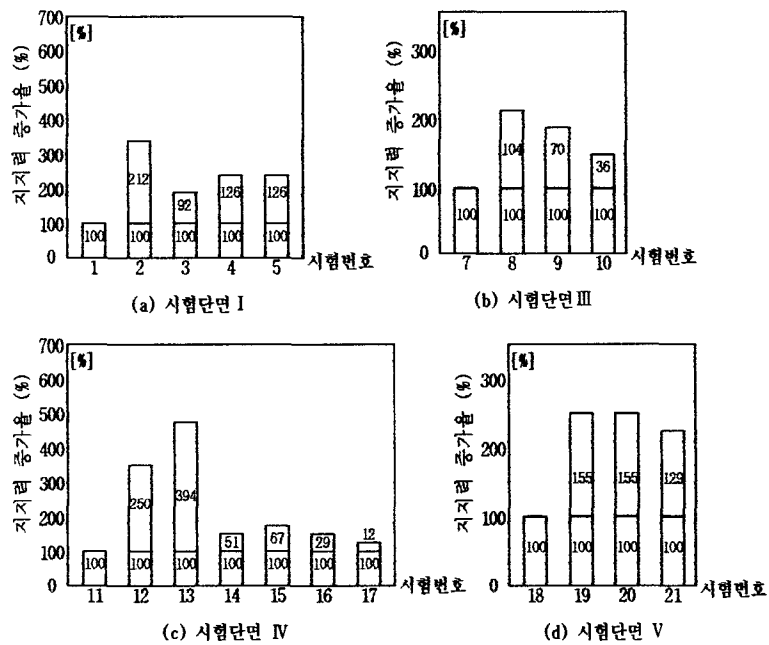


Fig. 10 Increasing Rate of Bearing Capacity ( $E_{v2}$ ) in Non-Reinforced Ground to in Reinforced Ground (Geogrid)

## 4.2.5 원지반 조건 및 지하수의 영향

원지반 조건 및 지하수가 지오그리드로 보강된 층시스템의 지지력 개선효과에 미치는 영향을 알아보기 위해 준설매립층인 원지반 위에서 시험을 실시한 시험단면 III과 원지반 위에 15cm두께의 준설토로 흙쌓기한 시험단면 IV 및 V의 시험결과를 비교·검토하였다. Table 4 및 Fig. 10(a),(b) 및 (c)에서 보듯이 지하수가 있는 준설매립토층을 원지반으로 한 시험단면 III의 변형계수  $E_{v2}$ 의 값 및 지지력 증가율이 50cm두께의 준설토로 흙쌓기한 지반을 원지반으로 한 시험단면 IV 및 V의 값들에 비해 훨씬 작게 나타났다.

따라서, 같은 조건으로 보강된 시험단면에서는 지하수 및 원지반 조건이 지지력 증가에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 국내외에서 지오그리드로 보강된 다층시스템에서 수행한 현장재하시험 및 평판재하시험 결과들을 토대로 지오그리드의 메카니즘 및 지지력 개선효과 등과 같은 보강특성에 대해 연구·검토하였다.

다층시스템에서 보강재로 사용된 지오그리드로 인해 나타나는 변형특성 및 하중분산 효과는 흙쌓기층의 두께, 지오그리드와 각기 상이한 흙쌓기 재료와의 엇물림(interlocking)현상 전단 특성, 그리고 지오그리드의 강성도 등에 기인된 것으로 판단된다.

보강재로 사용된 다층시스템의 지지력 개선효과는 흙쌓기재의 종류 지오그리드의 포설위치 및 포설 층수, 원지반 조건 및 지하수의 유무 등에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

또한, 지오그리드와 함께 분리 및 필터재로 사용한 토목섬유는 장기적으로 지반의 압밀을 가속화시키고 원지반 및 노반층 경계면에서 서로 상이한 흙입자들의 혼합을 방지하여 다층시스템의 지지력을 증가시키는 요인으로 작용한다.

## 6. 참고문헌

1. 신은철, 심재범, 김두환(1999), "지오그리드 시스템(geogrid system)을 활용한 철도노반의 보강기법", 고속전철 궤도 및 노반개발, 건설교통부, 산업자원부, 과학기술부, pp. 427~492
2. R.Floss, G. Gold(1993), "Untersuchungen zur Wirksamkeit einer Bewehrung im Zweischichtensystem", Lehrstuhl und Pruefamt fuer Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik der Technischen Universitaet Muenchen, Heft 19
3. DGGT(1997), "Empfehlungen fuer Bewehrungen aus Geokunststoffen-EBGEO", Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft fuer Geotechnik e. v.(DGGT)
4. H.A. Jas(1995), "Zur Bewehrung ungebundener Tragschichten des Strassenbaus", Strasse und Tiefbau, Heft 11
5. C. Goebel, K. Lieberenz, F. Richter (1996), "Der Eisenbahnunterbau", DB Fachbuch Band 8/20