

## 연약지반상 고속철도 노반 축조시 지오셀 시스템의 효과

### Reinforcing Effect of Geocell on Soft Soil Subgrade for High-speed Railroad

조 삼 덕* <sup>1</sup>	Cho, Sam-Deok	윤 수 호* <sup>2</sup>	Yoon, Su-Hoo
김 진 만* <sup>3</sup>	Kim, Jin-Man	정 문 경* <sup>3</sup>	Chung, Moon-Kyung
김 영 윤* <sup>4</sup>	Kim, Young-Yoon		

#### Abstract

This paper presents the results of plate load test and dynamic load test performed to evaluate the performance of geocell which is used to reinforce soft subgrade for high-speed railroad. Efficiency of geocell was observed in the increase in bearing capacity of subgrade and in the reduction of thickness of reinforced sub-ballast. One layer of geocell underlying a 10 cm thick cover soil led to an increase in bearing capacity three to four times larger than that of a crushed stone layer of the same thickness substituted for the geocell and cover soil layer. Given the test conditions, the thickness of reinforced sub-ballast can be reduced by approximately 35 cm with the presence of geocell.

#### 요 지

본 연구에서는 연약지반 상에 축조되는 고속철도 노반을 보강하기 위해 사용된 지오셀의 효과를 평가하기 위해 다양한 현장 평판재하시험과 동적 모형토조시험을 수행하였다. 실험결과로부터 지오셀 사용에 의한 보강노반의 두께 감소효과와 노상 지지력 증가효과가 평가되었다. 지오셀 1층과 복토 10cm를 사용하면 동일한 두께의 쇄석층을 사용할 경우와 비교하여 3~4배의 지지력 개선효과가 있으며, 노반두께를 약 35cm 정도 감소시킬 수 있는 것으로 평가되었다.

**Keywords :** Geocell, Geosynthetics, Railway, Reinforcement, Soft soil subgrade

#### 1. 서 론

일반적으로 연약지반상의 고속철도의 구축은 연약지반을 치환하거나 개량하는 방법에 의해 수행되고 있으나 이들 전통적인 공법은 공기와 경제성에서 많은 문제점을 내포하고 있다. 특히 연약지반상에 동하중이 가해질 때, 액상화 등으로 지반강도가 감소되어 철도 구조물이 파괴될 수 있으며 이러한 연약지반상의 철도 시공은 복잡한 기술적 문제의 해결을 요구하고 있다.

현재 연약지반위에 건설된 철도노반의 강화기술로서 각광받고 있는 것으로는 지오셀 시스템(geocell system)

을 들 수 있다. 지오셀 시스템은 종래의 지반보강을 위해 지반/보강재의 마찰력 및 인발저항력을 이용하는 평면형태의 보강방법인 지오그리드(geogrid)와 같은 토목섬유(geosynthetics)에서 한 단계 더 진전된 공법이다. 지오셀 시스템은 두께 1.2mm 이상의 합성수지 판으로 벌집모양의 삼차원 형태로 제작된 토목섬유 보강재를 이용하여, 단위 셀(cell)안에 조립토를 채워 다짐함으로써 복합구조체의 강성 등 공학적 특성을 증대시켜 지반의 전단강도 및 지지력을 극대화시킨 방법이다(Intersol Engineering Inc., 1997).

지오셀 시스템의 지반 보강효과는 외력에 대한 셀의

\*1 정희원, 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원 (Member, Research Fellow, Civil Engrg. Div., KICT, sdcho@kict.re.kr)

\*2 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원 (Research Fellow, Civil Engrg. Div., KICT)

\*3 정희원, 한국건설기술연구원 토목연구부 (Member, Senior Research, Civil Engrg. Div., KICT)

\*4 정희원, (주)보강기술 대표이사 (Member, Executive Director of E & S Engrg. Co., Ltd.)

원형응력, 인접한 셀의 수동저항 및 흙/지오셀 사이의 마찰저항 등에 의해 발생되며, 이러한 3가지 저항력에 의해 지오셀 층은 일정 두께를 갖는 하나의 강성체로서 역할을 하게 된다. 셀의 원형응력은 벌집형상의 구조에서 유발되는 횡방향 구속력이고, 인접한 셀의 수동저항은 하중 작용시 인접한 셀에서 유발되는 수동저항력이며, 흙/지오셀 사이의 마찰저항은 지오셀 층을 유지할 수 있도록 지오셀의 벽면과 채움재 사이에서 유발되는 마찰력이다. 따라서, 지오셀 층의 지반 보강효과는 셀의 재질, 형태 및 크기, 채움재의 종류 및 다짐도, 재하하중 등의 인자들에 의해 영향을 받을 수 있다.

그 동안 지오셀 층의 효과를 평가하기 위한 연구가 제한적으로 수행되어 왔으나(Bathurst와 Jarrett, 1988 ; Bush et al. 1990 ; Cowland Wong, 1993 ; Madhavi Latha et al., 1999), 지오셀 층의 효과를 명확히 규명하기 위해서는 보다 다양한 기초지반 및 채움재의 종류, 작용하중의 크기, 부직포의 포설 유무 등을 고려한 폭넓은 연구가 필요하다.

본 연구에서는 개량·미개량 연약지반에서 수행된 다양한 형태의 평판재하시험 및 동적 모형토조시험 결과를 토대로 지오셀 시스템의 속채움 종류 및 지오셀 층수, 복토층 두께, 원지반 강성도의 변화 등에 따른 보강효과 등을 규명해 보고, 이를 양질의 성토재로 치환된 지반과 비교해 봄으로써 고속철도 노반재로서 지오셀 시스템의 적합성을 평가하였다.

## 2. 평판재하시험

고속철도 노반재로서 지오셀 층의 적합성을 평가해 보기 위해 영종도 국제신공항 부지(현장 A, B, C)와 안

산 신도시 부지내 연약지반(D 현장) 4곳에서 다양한 형태의 평판재하시험을 수행하여 지오셀 시스템의 지반 보강효과를 분석하였다. 시험대상 현장은 그림 1에서 보듯이 3m~10m 깊이의 연약 실트·점토층(N값: 2~9)이 존재하고 있으며, 현장함수비는 34.9%~38.7%, 현장배인시험 결과는  $0.06 \sim 0.13 \text{kg/cm}^2$  범위로 나타났다. 또한, 연약지반 개량지반인 A 현장은 '93년도까지 1년 6개월 동안 1.8~2.0m의 흙 성토를 통해 자중압밀이 진행된 후, 현재 0.5m 정도의 복토층을 제외한 모든 압밀 성토층이 해제된 지역으로 연약지반 개량처리에 의해 지반의 지지력이 다소 증진된 것으로 평가된 곳이다. 반면에 미개량 지역인 B~D 현장은 현재의 계획 공정상 연약지반 개량 계획이 없는 지역으로, 국내 서해안 지역의 대표적인 연약지반 형태를 나타내고 있다.

한편, 현장 평판재하시험에서는 지오셀내 채움재의 종류(쇄석, 화강풍화토) 및 지오셀 층수(1층, 2층), 복토층 두께(10, 20, 30, 40cm) 변화에 따른 보강효과를 비보강의 경우와 비교하여 분석하였다. 표 1에서는 수행한 평판재하시험의 종류 및 내용을 보여주며, 그림 2에서는 평가항목별 지오셀 및 흙성토 포설 단면도를 보여준다.

현장 평판재하시험시 사용된 채움재 및 복토재는 쇄석과 화강풍화토로서, 쇄석은 최대직경 20~60mm, 최대건조밀도  $1.97 \sim 2.14 \text{g/cm}^3$ 인 양입도자갈(GW)이며, 화강풍화토는 최대건조밀도  $1.99 \sim 2.12 \text{g/cm}^3$ 인 양입도 모래(SW)이었다. 현장에서 속채움재 및 복토재의 상대 다짐은 각각 90% 및 95% 이상으로 하였다. 현장에 사용된 지오셀은 Presto사의 제품인 지오웹브(Geoweb)의 표준형 모델인 GW 8298(폭 244cm×길이 609cm×높이 20.3cm)로서, 셀의 용접강도 204kg, 1매당 무게 52kg 인 고밀도 폴리에틸렌 제품이다.

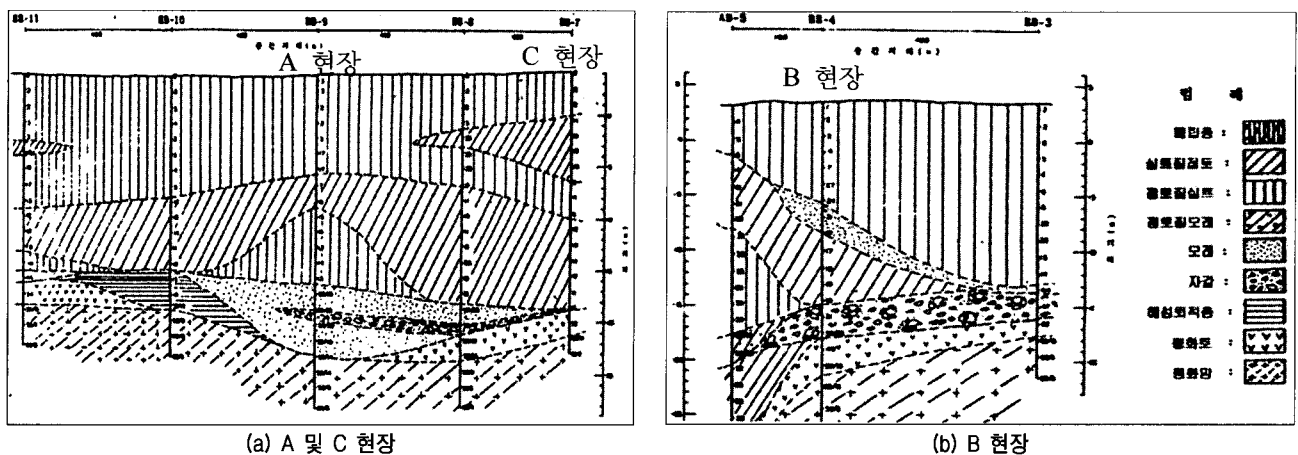


그림 1. 현장시험 인접지역의 지반단면도(영종도 현장)

표 1. 평판재하시험의 종류 및 내용

보강형태	실험항목	변화인자	변화값
지오셀보강	속채움 종류 및 다층효과	원지반 조건	개량(A) 및 미개량(B)지반 (영종도 현장)
		속채움 종류	화강풍화토, 쇄석
		지오셀 층수	1층, 2층
	복토층 효과	원지반 조건	개량(A) 및 미개량(B)지반 (영종도 현장)
		속채움 종류	화강풍화토
		지오셀	1층
	복토층 두께	5, 10, 20, 30, 40 cm	
비보강	치환지반 효과	원지반 조건	개량(A) 및 미개량(D)지반
		흙 종류	화강풍화토
		치환층 두께	0, 25, 50, 75, 100 cm

### 3. 동적 모형토조시험

고속철도와 같은 동적하중 작용시 지오셀 시스템의 지지력 개선효과와 강화노반 절감효과를 평가하고자 동적 모형토조시험이 수행되었다. 시험에 사용된 Instron사의 UTM장비의 정적하중용량은 50ton, 동적하중용량은 25ton, 최대하중재하 진동수는 500Hz이다. 동적 모형토조시험은 한국형 고속전철모델을 고려하여 재하하중의 경우  $4.26\text{kg/cm}^2$ , 하중재하속도의 경우 3.5Hz, 정규화된 정현파(signwave)를 사용하였으며, 이때 침목을 모형화한 재하판의 크기는  $27\text{cm} \times 80\text{cm}$ , 모형토조의 크기는  $1.0\text{m} \times 1.4\text{m} \times 2.0\text{m}$  이다.

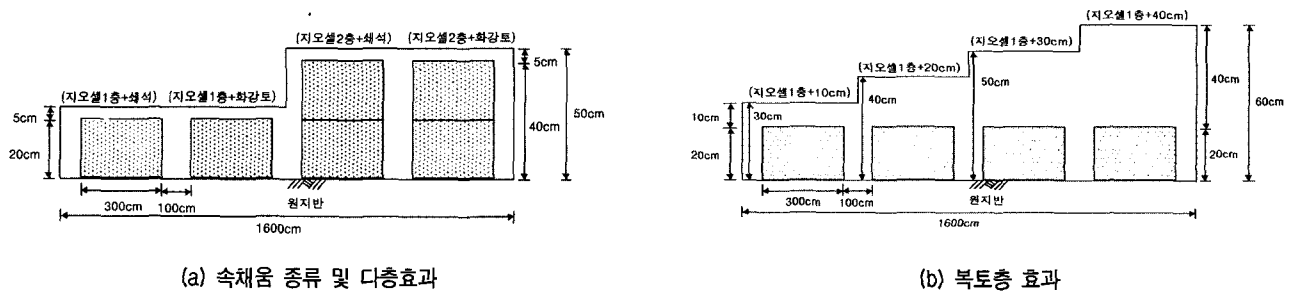
동적 모형시험에 사용한 점토시료는 2장에서 기술한 현장시험부지에서 채취한 점토질 흙으로 현장함수비와 현장밀도로 다짐성형되었다. 지오셀내의 채움재로는 고속철도 강화노반용 골재(최대입경 125mm)를 사용하였

표 2. 동적 모형토조시험의 종류와 내용

실험항목	변화인자	변화값	
모형토조 시험	도상	35cm	
	강화노반	보조도상	20cm
		입도조정층	55cm, 45cm, 35cm, 25cm
	복토+지오셀층	10+20cm	
	연약층	50cm	

다. 지오셀은 Presto사의 표준형 모델인 GW 8298( $244 \times 609 \times 20.3\text{cm}$ )을 사용하였으며, 지오셀 하부에는 골재와 연약지반의 혼합을 방지하기 위해 부직포 인장강도  $2.3\text{t/m}$ , 중량  $300\text{g/m}^2$ , 신율 50%, 두께 2.5mm의 부직포를 포설하였다.

실험은 지오셀 보강층 상부 강화노반의 입도조정층의 두께를 25cm, 45cm, 55cm로 변화시켜 가며 수행하였다. 표 1 및 그림 3에서는 동적 모형토조시험의 내용과 실험단면도를 보여준다.



(a) 속채움 종류 및 다층효과

(b) 복토층 효과

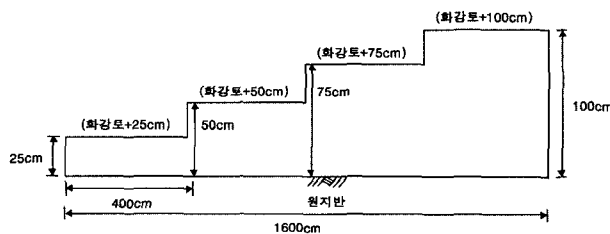


그림 2. 평가항목별 지오셀 및 흙성토 포설단면도

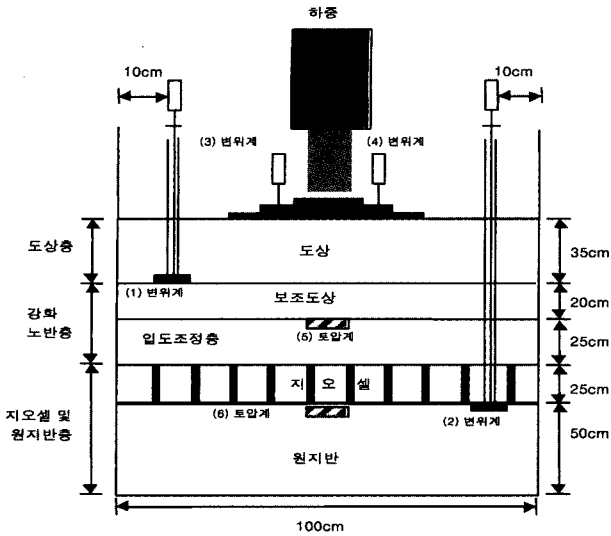


그림 3. 동적 모형토조실험의 실험단면도(입도조정층 두께 25cm인 경우)

## 4. 시험결과 분석 및 평가

### 4.1 속채움 종류 및 다층효과의 영향

그림 4에서는 연약지반상의 평판재하시험에 의한 지오셀 속채움 종류 및 포설층수별 하중강도-침하량 관계곡선을 나타낸다.

그림 4에서 보듯이 A 현장(개량지반)의 경우, 원지반 층은  $0.6\text{kg/cm}^2$  정도의 하중강도에서 극한지지력을 보이는 반면에 지오셀 보강지반은 극한 지지력 형태없이 하중강도 변화에 따른 선형적인 침하특성을 나타내었다.

또한, 이러한 경향은 원지반이 미개량된 B 현장에서도 유사하게 나타난다. 그림 4를 이용하여 산정된 시험대상지반의 변형계수( $E_{v1}$ )는, A 현장의 경우 원지반  $9.9\text{kg/cm}^2$ , 지오셀 보강지반  $71.8 \sim 82.3\text{kg/cm}^2$  정도로 평가되어, 지오셀 보강지반은 원지반에 비해 속채움 종류 및 다층효과에 의한 7.3~8.3배의 지반보강효과가 있는 것으로 평가되었다.

한편, 표 3에서는 속채움 종류 및 포설층수별 지오셀 보강지반의 지반반력계수( $K_{30}$ ) 및 변형계수( $E_{v1}$ )값을 나타낸다. 표 3에서 보듯이 지오셀 시스템의 다층에 의한

표 3. 속채움 종류 및 포설 층수별  $K_{30}$  및  $E_{v1}$ 값(A 현장)

지오셀 층수	1층		2층	
	$K_{30}$ ( $\text{kg/cm}^3$ )	$E_{v1}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$K_{30}$ ( $\text{kg/cm}^3$ )	$E_{v1}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
속채움 종류				
화강풍화토	6.4	71.8	7.8	80.8
쇄 석	5.9	79.9	7.1	82.3

지지력 개선 효과는 지반반력계수( $K_{30}$ )의 경우 화강토에서 22%, 쇄석에서 20%로, 반면에 변형계수( $E_{v1}$ )의 경우 화강토에서 13%, 쇄석에서 3%로 상당히 작게 평가되었다. 이때 지반반력계수( $K_{30}$ ) 및 변형계수( $E_{v1}$ )의 증가율 차이는 계산시 고려되는 침하량 범위의 차에 기인한다. 따라서 지오셀 다층효과는 재하된 외력이나 상재하중이 지오셀 다층 포설지반의 최상단층에서 충분히 분산되어 다음층이 분담해야 할 하중이 급격히 작아짐으로써 발생하는 것으로 판단된다.

또한, 표 3과 그림 4에서 보듯이 채움재 종류별 지오셀 층의 지반보강효과는 쇄석의 지지력이 화강풍화토에 비해 오히려 작은 경향을 나타낸다. 이러한 원인은 재하응력의 토체내 전달이 화강풍화토에 비해 우수한 쇄석의 경우 하중재하에 따른 연약한 원지반층으로의 쇄석 관입에 의한 영향인 것으로 판단된다.

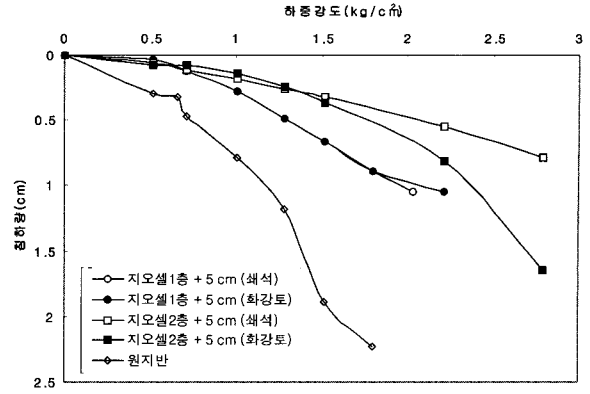
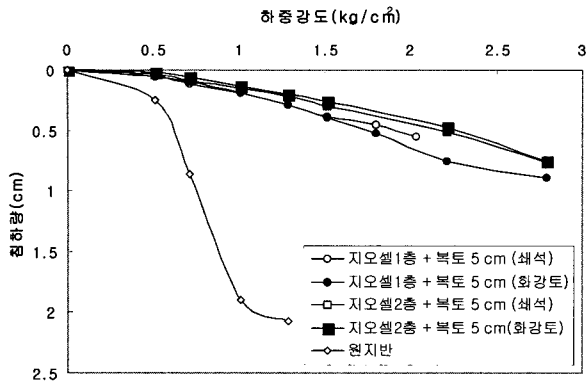
이상과 같은 지오셀 층의 속채움 종류 및 다층효과를 고려해 볼 때 지오셀을 이용한 고속철도의 노반 시스템은 지반반력계수  $K_{30}$ 이  $7\text{kg/cm}^3$ 인 것만을 고려하면 속채움재 화강풍화토, 포설층수 2층으로 하는 것이 바람직하나, 지오셀의 다층에 따른 변형계수( $E_{v1}$ )의 미미한 차이를 고려할 경우 속채움재 화강풍화토, 포설층수 1층 등 모든 실험대상 단면이 가능할 것으로 판단된다.

### 4.2 복토층의 영향

그림 5에서는 A 및 B 현장의 평판재하시험에 의한 복토두께별 하중강도-침하량 관계곡선을 나타낸다. 그림 5에서 보듯이 지오셀 복합지반은 지반개량 정도에 상관없이 전술한 속채움 종류 및 다층효과의 재하실험결과와 유사하게 극한 지지력이 뚜렷이 관찰되지 않았

표 4. 강성도 차에 따른 항목별  $K_{30}$  및  $E_{v1}$ 값

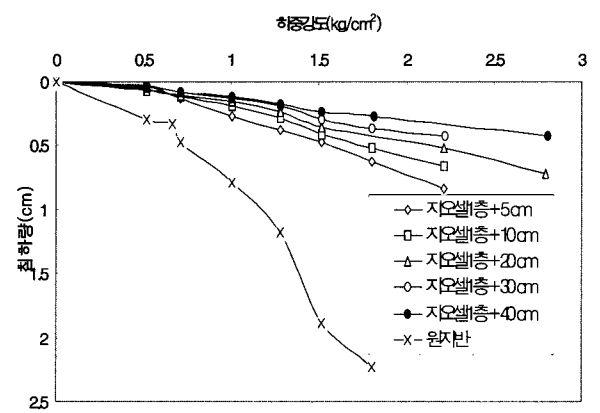
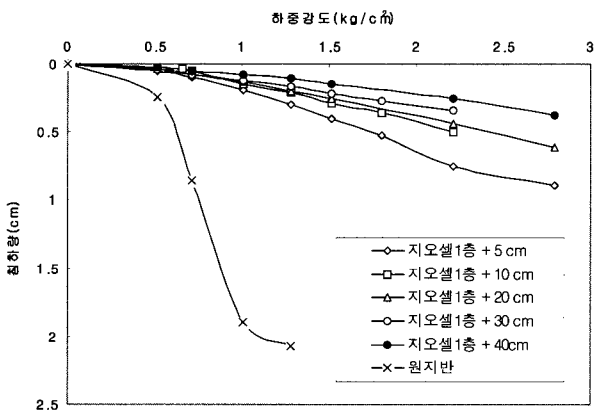
평가 항목	대 상 지 반		B 현장		
	$K_{30}$	$E_{v1}$	$K_{30}$	$E_{v1}$	
속채움 종류 및 다층효과	지오셀1층+5cm(화강토)	6.4	71.7	5.8	49.0
	지오셀1층+5cm(쇄석)	5.9	79.9	5.7	40.9
	지오셀2층+5cm(화강토)	7.8	80.8	7.4	70.5
	지오셀2층+5cm(쇄석)	7.1	82.3	6.0	79.6
복토층효과	지오셀1층+10cm	7.5	94.0	7.0	71.4
	지오셀1층+20cm	7.6	99.0	7.6	82.4
	지오셀1층+30cm	8.3	141.3	7.7	107.2
	지오셀1층+40cm	11.0	168.0	8.1	138.6
원지반	-	2.1	9.9	1.7	22.9



(a) A 현장(개랑 지반)

(b) B 현장(미개랑 지반)

그림 4. 속채움 종류 및 포설층수별 하중강도-침하량 관계곡선



(a) A 현장(개랑 지반)

(b) B 현장(미개랑 지반)

그림 5. 복토두께별 하중강도-침하량 관계곡선

으며 하중강도가 증가할수록 침하도 비례적으로 증가하였다.

지오셀 층의 복토층 두께에 의한 지지력 개선 효과는 복토두께가 증가될수록 지지력 개선이 뚜렷하게 증가되는 경향을 나타낸다. 예로써, 복토층에 의한 지지력 개선 효과는 A 현장의 복토두께 5cm를 기준한 지반반력계수( $K_{30}$ )의 경우, 10cm에서 17%, 20cm에서 19%, 30cm에서 30%, 40cm에서 72% 정도로, 변형계수( $E_{v1}$ )의 경우, 10cm에서 36%, 20cm에서 43%, 30cm에서 103%, 40cm에서 141% 정도의 지지력 개선효과가 있는 것으로 평가되었다.

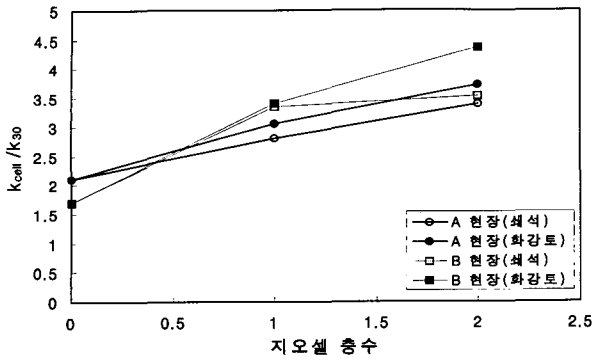
이러한 지오셀 복토층에 의한 지반보강효과는 복토층 다짐에 의한 지오셀내 속채움재 다짐밀도 상승과 복토층에 의한 하중분산 효과가 복합적으로 나타난 결과이다. 따라서 효율적인 지오셀의 복토두께는 경제성을 고려하여 적용현장에 맞는 복토두께를 선정해야 할 것

으로 판단된다.

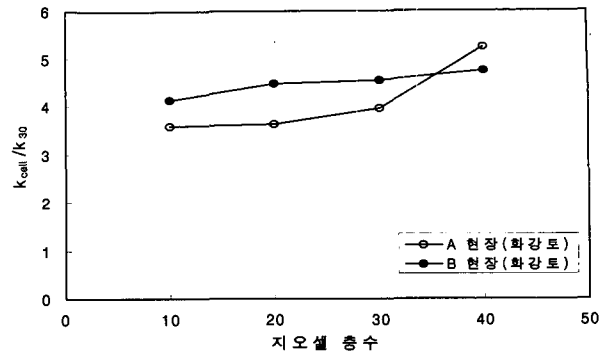
따라서 앞서 언급된 지오셀 시스템의 속채움 종류 및 다층효과에서 복토 두께 5cm, 지오셀 1층 포설의 경우, 고속철도시방상의 규정인  $K_{30}$ 이  $7\text{kg/cm}^3$  이상을 만족 못하는 경우에는 복토두께를 10cm로 하는 것이 바람직하다.

### 4.3 원지반의 강성도의 영향

표 4에서는 평가항목별 지오셀 보강지반의 지반반력계수( $K_{30}$ ) 및 변형계수( $E_{v1}$ )값을 나타낸다. 또한, 그림 6에서는 원지반 강성도 차에 따른 항목별  $K_{\text{cell}}/K_{30}$ (지오셀의 지반반력계수/원지반 지반반력계수) 관계 곡선을 보여준다. 그림 6에서 보듯이 지오셀 시스템의 지지력 개선정도를 지반반력계수비( $K_{\text{cell}}/K_{30}$ )를 이용하여 비교해 보면, 항목별로 A 현장의 경우 속채움 종류 및 다층효과에서 181~271%, 복토층 효과에서 257~424%로,

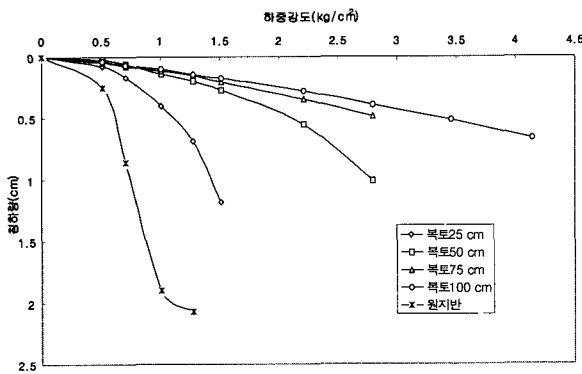


(a) 속채움 종류 및 다층효과

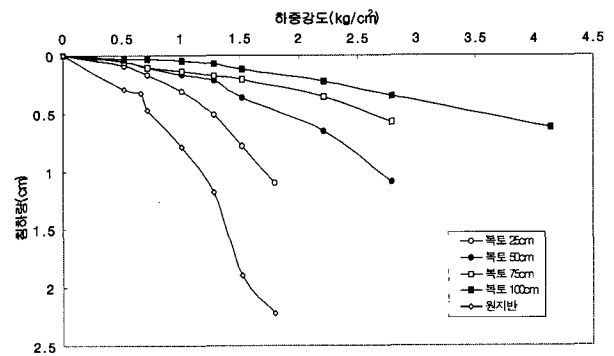


(b) 복토층 효과(화강풍화토)

그림 6. 강성도 차에 따른 항목별 K<sub>30</sub> 관계곡선



(a) A 현장(개량 지반)



(b) B 현장(미개량 지반)

그림 7. 복토 두께별 하중강도-침하량 관계곡선

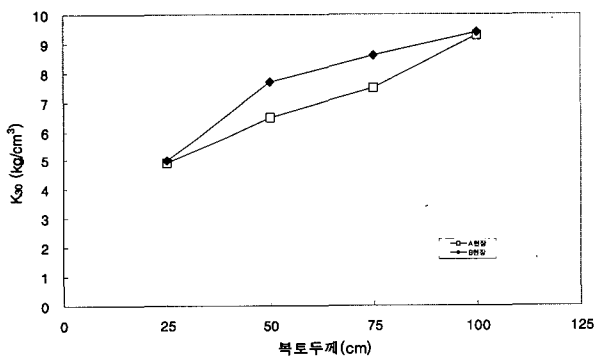


그림 8. 강성도 차에 따른 복토 두께별 k<sub>30</sub> 관계곡선

B 현장의 경우 속채움 종류 및 다층효과에서 232~335%, 복토층 효과에서 253~376% 정도로 나타나 대체적으로 원지반 강성도가 작을수록 지지력 보강효과가 큰 것으로 평가되었다. 이러한 지반 강성도 차에 따른 지지력 개선효과의 차이는 지오셀의 하중분산효과에 의해서 실제 원지반이 받아야할 하중이 급격히 작아짐으로써 원지반이 연약할수록 그 개선효과가 두드러지기 때문인 것으로 사료된다.

#### 4.4 지오셀에 의한 지반보강효과

그림 7에서는 연약지반의 평판재하시험에 의한 치환 두께별 하중강도-침하량 관계곡선을 나타낸다. 그림 7에서 보듯이 치환지반의 지지력은 복토두께가 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 또한, 그림 8에서는 원지반 강성도 차에 따른 치환지반의 성토두께별 지반반력계수(k<sub>30</sub>)값을 나타낸다. 그림 8에서 보듯이 지반반력계수(k<sub>30</sub>)값은 원지반의 강성도 차에 상관없이 흙 성토두께가 증가할수록 지반반력계수(k<sub>30</sub>)가 급격히 증가하는 경향을 나타낸다. 한편, 표 4에서 보듯이 A 현장의 경우 속채움재 화강풍화토, 복토두께 5cm인 지오셀 1층 및 2층의 E<sub>v1</sub>값은 지오셀 1층인 경우 71.7kg/cm<sup>2</sup>으로, 지오셀 2층인 경우 80.8kg/cm<sup>2</sup>으로 평가되었다.

B 현장에서 속채움재 화강 풍화토, 복토두께 10cm, 지오셀 1층 포설 단면은 지반반력계수, K<sub>30</sub>에 의한 그림 8의 비보강 치환지반 단면과 비교하여 비보강 치환두께 75cm에 해당하는 것으로 나타나, 각각 45cm (60%)의 성토량 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 또한, 이러한

표 5. 상부노반 및 원지반 형태에 따른 강화노반 형상

노상 조건	구 분	강화노반(cm)		계(cm)
		보조도상	입도조정층	
돌기	$7 \leq K_{30} < 11 \text{kg/cm}^3$	20	60	80
	$K_{30} \geq 11 \text{kg/cm}^3$	20	30	50
본바닥 및 깎기	$7 \leq K_{30} < 11 \text{kg/cm}^3$	20	75	95
	$K_{30} \geq 11 \text{kg/cm}^3$	20	45	65
	원지반 암반	20	15~25	35~45

지오셀 시스템의 성토단면의 절감효과는 연약지반상 고속철도 성토체의 자중감소에 따른 역학적 안정과 시공규모 및 시공기간 단축 등에도 큰 기여가 기대된다.

#### 4.5 동적 하중에 의한 지오셀 층의 침하특성

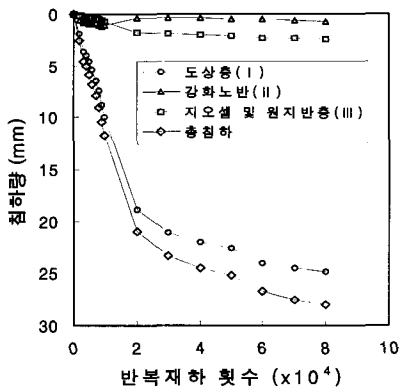
표 5에서는 상부노반 및 원지반 형태에 따른 강화노반 형상을 보여준다. 표 5에서 보듯이 지오셀 층은 흙 돌기 지반과 같이 원지반의 지반반력계수,  $K_{30}$ 이  $7 \text{kg/cm}^3$  이상  $11 \text{kg/cm}^3$  미만으로 고철철도 시방조건에 못 미치는 지반조건이 현장에서 발생될 경우 연약지반상 고속철도의 노반강화기법으로 적용된다. 이때 강화노반의 시공두께는 보조도상층이 20cm, 입도조정층이 60cm이다. 본 동적 모형토조시험에서는 앞서 언급하였듯이 입도조정층의 두께를 25, 45, 55cm 정도로 변화시켜가며 침하 및 토압특성을 분석하여 지오셀 층의 지지력 개선 효과 및 강화노반 절감효과를 평가하고자 하였다. 그림 9에서는 동적 모형시험결과로 부터 입도조정층 두께별 반복재하에 따른 경계층별 침하량 및 총 침하량 관계곡선을 보여준다. 그림 9에서 보듯이 각 경계면에서의 침하 특성은 반복재하 20,000 회까지는 침하량이 급격히 증가

하다가 그 이후에는 일정해지는 경향을 보인다.

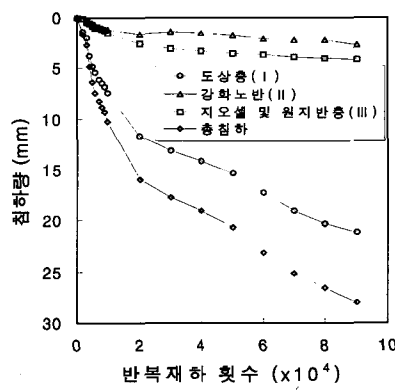
이러한 경향은 입도조정층의 두께 변화에 관계없이 모든 동적 모형토조시험 결과에서 보이며, 그 원인은 반복재하 20,000 회에서 반복재하에 의한 각층 특히 도상층의 파쇄 및 입자배열에 의한 영향이 거의 사라지기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 각 경계층별 침하량 및 총 침하량은 그림 9에서 보듯이 도상층(I)의 경우 14.71~24.87mm로 51.8~88.8%, 강화노반층(II)의 경우 0.68~9.77mm로 2.4~34.4%, 지오셀 및 원지반층(III)의 경우 1.18~4.19mm로 5.7~14.9% 정도로 나타나, 반복재하에 따른 지오셀 보강지반의 침하는 도상층에서 대부분 발생하는 것으로 평가 되었다. 이러한 도상층의 집중된 침하는 도상층의 하중분산효과에 기인한 하부층 발생 수직응력의 감소와 동적하중 반복에 따른 도상층 입자의 마모 및 분쇄, 입자의 재배열에 따른 것으로 판단된다.

#### 4.6 동적 하중에 대한 지오셀 층의 지지력 개선 효과

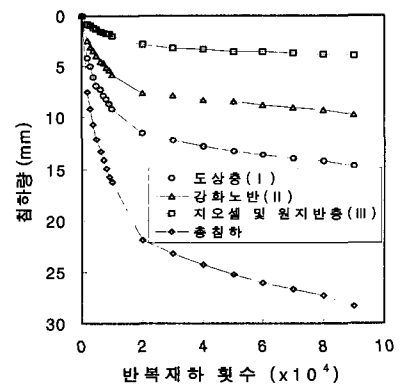
그림 10에서는 입도조정층 두께변화에 따른 반복재하 횟수 침하량 관계곡선을 보여준다. 그림 10의 입도조



(a) 입도조정층 두께 25cm



(b) 입도조정층 두께 45cm



(c) 입도조정층 두께 55cm

그림 9. 총 침하량 및 경계층별 침하량 관계곡선

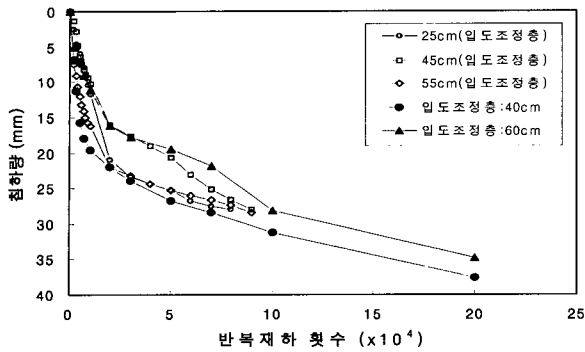


그림 10. 입도조정층 두께변화에 따른 반복재하횟수-침하량 관계곡선

정층 40cm 및 60cm는 철도기술연구원에서 수행한 강화노반 60cm 및 80cm(보조도상 20cm씩 포함 두께), 원지반 두께 60cm 및 40cm 모형단면으로 수행된 동적 모형 실험결과이다(한국철도기술연구원, 1999). 이때 원지반은 연약지반상에 구축된 지오셀 시스템과 달리 양질의 화강암질 풍화토로 지반반력계수,  $K_{30}$ 이  $7\text{kg/cm}^3$ 이 되도록 조성된 지반이다.

그림 10에서 보듯이 입도조정층의 두께변화별 연약지반상 지오셀 시스템의 침하량은 28.39mm 정도로 양질의 원지반에 구축된 쇄석강화노반 80cm 보다 더 효과적인 것으로 평가되었다. 또한, 입도조정층 두께 25cm 지오셀 실험단면은 비슷한 침하량을 보이는 양질의 화강암질 풍화토 지반, 입도조정층 두께 60cm의 실험단면과 비교해 볼 때 강화노반 절감효과가 35cm 정도 있는 것으로 평가되었다. 그러나 지오셀 시스템의 강화노반 저감효과를 규명하기 위해서는 앞으로 추후 동적하중에 대한 다양한 연구가 더욱 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 연약지반 구간 위를 통과하는 고속철도의 노반을 강화할 수 있는 지오셀 층에 대해 다양한 형태의 평판재하시험과 동적 모형토조시험을 수행하여 속채움종류 및 지오셀 층수, 복토층 두께, 원지반 강성도의 변화에 따른 보강효과 등을 규명하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 지오셀 층의 다층효과는 상단 지오셀층의 하중분산 효과에 기인하여 화강풍화토에서 22%, 쇄석에서 20% 정도로 다층에 따른 지지력 개선이 상당히 작게 나타나, 경제적 측면에서 지오셀 1층 포설이 바람직할 것으로 판단된다.
- (2) 지오셀의 복토층 효과는 복토두께 5cm를 기준으로

지반반력계수( $K_{30}$ )의 경우, 10cm에서 17%, 20cm에서 19%, 30cm에서 30%, 40cm에서 72% 정도로 복토두께가 증가될수록 지지력 개선효과가 있으며, 고속철도시방상의 규정인  $K_{30}$ 이  $7\text{kg/cm}^3$  이상을 만족 못하는 지오셀 1층 포설 단면은 경제성을 고려하여 복토두께를 10cm로 하는 것이 바람직하다.

- (3) 지오셀의 원지반 강성도 효과는 지오셀의 하중분산 효과에 의해서 실제 원지반이 받아야 할 하중이 급격히 작아짐으로써 원지반이 연약할수록 그 개선효과가 두드러져 원지반 강성도가 작을수록 지지력 보강효과가 큰 것으로 평가되었다.
- (4) 지오셀 층은 화강풍화토 치환지반과 비교하여 복토두께 10cm, 지오셀 1층 포설의 경우 비보강 치환두께 75cm 정도의 동일한 지지력 특성을 보여 화강풍화토 지반의 60% 성토량 절감효과가 있는 것으로 평가되었다.
- (5) 동적 모형토조시험결과, 입도조정층의 두께변화별 연약지반상 지오셀 층의 침하량은 28.39mm 정도로 양질의 원지반에 구축된 쇄석강화노반 80cm 보다 더 효과적인 것으로 평가되었으며, 입도조정층 25cm 지오셀 실험단면의 경우 양질의 화강암질 풍화토 지반, 입도조정층 두께 60cm의 실험단면과 비교해 볼 때 강화노반 절감효과가 35cm 정도 있는 것으로 평가되었다.

## 참고 문헌

1. 한국철도기술연구원 (1999), 고속철도 토공 및 지반진동 저감기술개발, 3차년도 연차보고서.
2. Bathurst, R.J. and Jarrett, P.M., 1988, Large Scale Model Tests of Geocomposite Mattresses over Peat Subgrades, *Transportation Research Record*, 1188, pp.28~36.
3. Bush, D.I., Jenner, C.G. and Bassett, R.H., 1990, "The design and construction of geocell foundation mattress supporting embankments over soft ground," *Geotextile and Geomembranes*, Vol.9, pp.83~98.
4. Cowland, J.W. and Wong, S.C.K., 1993, "Performance of a road embankment on soft clay supported on a geocell mattress foundation," *Geotextile and Geomembranes*, Vol.12, pp.687~705.
5. Intersol Engineering Inc.(1997), Load Support Applications, *Manual for Design and Construction of Geoweb Cellular Confinement System*, Presto Products Company.
6. Madhavi L. G., Rajagopal, K. and Krishnaswamy, N.R., 1999, "Geocell reinforcement for constructing embankment over soft marine clays", *Proc. of International Conference GEOSHORE*, Bombay, India.
7. Rajagopal, K., Krishnaswamy, N.R. and Madhavi Latha, G., 1999, "Behaviour of sand reinforced with single and multiple geocells", *Geotextile and Geomembranes*, Vol.17, pp.171~184.

(접수일자 2001. 5. 21, 심사완료일 2002. 4. 12)