

## 지오셀로 보강된 철도노반의 설계기법 개발에 관한 연구

### A study on Development of Design Method for Reinforced Railway Roadbed by Geocell

심재범\*  
Shim, Jae-Bum

신민호\*\*  
Shin, Min-Ho

조삼덕\*\*\*  
Cho, Sam-Deok

채영수\*\*\*\*  
Chae, Young-Su

---

#### ABSTRACT

Since 1980's in U.S.A and Japan, the studies on increasing the bearing capacity of railway roadbed using geocell have been conducted for repair and reinforcement of railways constructed on soft soils.

In this study, the railway roadbed system reinforced with geocells has been analyzed and investigated results of the previous studies were conducted in Korea and other nations, And the method for estimating the railway roadbed thickness was developed based on the equivalent method using the multi-layer theory and the deformation modulus  $E_v$ .

---

#### 1. 서론

연약지반상에 구축된 기존 철도의 보수 및 보강 시 지오셀(geocell)을 활용하여 철도노반의 지지력을 높이는 보강기법들에 대한 연구가 1980년대 초이래 국내외에서 활발히 진행되고 있다.

일본에서는 기존 철도의 보수작업의 용이성, 토지이용의 효율성 및 기초구조의 신뢰성 향상 등을 목적으로 철도노반에 보강재로 사용된 지오셀 시스템의 기본적 특성에 관한 연구결과가 발표되었다(Tarumi, 1994 & Muramoto et al. 1995). 미국에서는 연방철도부 교통공학센터에서 수행한 지오셀 시스템을 이용한 연약지반상의 철도노반의 보강기법들에 관한 연구결과를 발표하였다(stanley, 1998 & Li, 2000). 또한, 국내에서도 최근 고속철도 노반재로서 지오셀 시스템을 이용하여 철도 도상의 두께를 산정할 수 있는 설계기법에 관한 연구결과가 발표된바 있다(조삼덕 등, 1999).

- 
- \* 한국철도대학 교수, 정회원
  - \*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원
  - \*\*\* 한국건설기술연구원 수석연구원
  - \*\*\*\* 수원대학교 교수

일반적으로 철도노반의 두께를 산정하는 설계기법으로는 지반반력계수( $K_{30}$ )에 의한 방법과 변형계수( $E_v$ )를 이용하여 다층이론(multi-layered theory)에 근거를 둔 등가방법(equivalent method)에 의해 구하는 방법이 있다. 전자의 방법은 한국 및 일본 등에서 그리고 후자의 방법은 독일 등 유럽에서 주로 사용되고 있다. 그러나 지반반력계수( $K_{30}$ )에 의한 철도노반층의 두께 산정은 재하하중 작용시 흙/토목섬유 사이의 상호작용에 따라 일정한 안정화 국면후에 지지력 개선효과가 나타나는 지오셀을 적용한 철도노반과 같은 복합지반의 경우에는 상당히 비합리적인 방법이다(Mais & Maier 1968, 조삼덕 등 1999).

본 연구에서는 기존 선로의 보수 및 보강시 많이 사용되고 있는 지오셀로 보강된 지반에 대해 평판재하시험을 실시한 후 이들 결과를 토대로 지반의 변형계수( $E_v$ )를 사용하여 우리나라에 적합하게 철도노반의 두께를 산정 할 수 있는 다층이론에 근거를 둔 등가방법에 의한 설계방법을 제시하고자 하였다.

본 연구에 사용한 변형계수값( $E_v$ )은 한국철도기술연구원의 주관하에 고속전철 기술개발사업(G7과제)의 일환으로 지오셀 시스템을 이용한 철도노반의 보강기법에 대한 연구과제들(조삼덕 등, 1999)의 수행시 행한 평판재하시험 및 기타 국내의 시험 결과를 근거로 하여 산출하였다

## 2. 현장시험 방법

본 연구에서는 지오셀로 보강된 철도노반에 대한 외국의 관련 연구결과들을 토대로, 조삼덕 등(1999)이 연약지반 위에서 지오셀로 보강된 지반에 대해 수행한 평판재하시험 결과들을 이용하여 지오셀의 지지력 개선효과를 평가하였다.

현장시험은 영종도 인천 국제공항 현장의 연약지반 개량(A현장) 및 미개량(B 및 C현장) 연약지반 3곳에서 수행하였다. 영종도의 실험대상지역은 화강암질 암이 기반암으로 분포하고 있으며, 풍화대 상부에 모래, 자갈층, 실트질 점토 및 점토질 실트 등의 해성퇴적층이 매우 두껍게 분포하고 있다.

연약지반 위에 축조된 지반에서 지오셀의 포설에 따른 지지력 개선효과를 알아보기 위해 Table 1 및 Fig. 1에서 보는바와 같이 각 시험단면별로 총 22개의 평판재하시험을 실시하였다. 평판재하시험에서는 직경이 30cm인 재하판을 사용하였으며, 본 논문에서는 수행 평판재하시험 중 흙쌓기층의 두께에 의한 지지력 개선효과만을 기술하였다.

Table. 1 Plate Load Test Schedule (Geocell)

시험 단면	보강 형태	실험 항목	변화 인자	변화 값
I	지오셀 보강	속채움 종류 및 다층효과	원지반 조건	미개량 및 개량지반(A 및 C 현장)
			속채움 종류	화강풍화토, 쇄석
			지오셀 층수	1층, 2층
II	지오셀 보강	흙쌓기층 효과	원지반 조건	미개량 및 개량지반(A 및 B 현장)
			속채움 종류	화강풍화토
			지오셀	1층
			흙쌓기층 두께	5, 10, 20, 30, 40cm

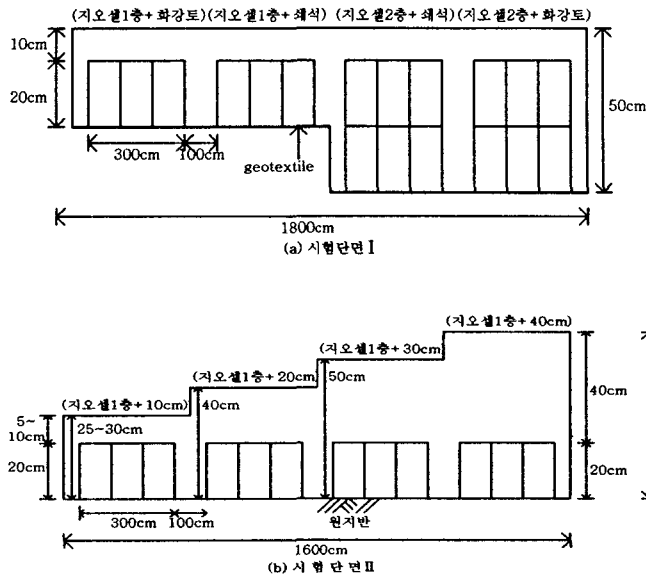


Fig. 1 Cross Section of Embankment and Geocell Placement (A and B site)

### 3. 시험결과

#### 3.1 평가방법

본 연구에서는 각 시험단면에서 수행한 평판재하시험의 재하 및 제하에 의한 하중강도-침하량 관계곡선으로부터 구한 각 시험번호별 변형계수( $E_v$ )의 값들을 이용하여 지오셀로 보강된 철도노반의 지지력 개선 정도를 평가하였다. 변형계수( $E_v$ )의 값은 독일 DIN 규정에 따라 구하였으며,  $E_{v1}$  및  $E_{v2}$ 는 첫 번째 재하 및 하중 제거 후 2차 재하하중 때의 변형계수이다.

시험단면별 및 시험번호별로 시험조건들이 서로 다르다. 따라서, 이들 시험들의 지지력 개선 정도를 평가하기 위해 보강되지 않은 각 시험번호별 변형계수( $E_{v2}$ )의 값과 보강조건을 달리한 시험번호들의 변형계수( $E_{v2}$ )사이의 증가비율을 구하여 지지력의 개선정도를 비교·검토하였다. 이 경우 보강되지 않은 시험번호의 변형계수 값( $E_{v2}$ )을 100%로 하였다.

#### 3.2 흙쌓기층 두께의 영향

Table 2 및 Fig. 2에서는 연약지반 개량 및 미개량 지역에서 흙쌓기층의 두께 및 보강조건을 변화시켜가며 수행한 평판재하시험 결과에 의해 산정한 지반반력계수( $K_{30}$ ) 및 변형계수( $E_{v2}$ )에 의한 지지력 증가율을 보여준다.

Table 2 및 Fig. 2에서 보듯이 지오셀 1층으로 보강된 층 시스템에서 지오셀 상부의 흙쌓기층의 두께가 5cm에서 40cm까지 증가함에 따라 변형계수( $E_{v2}$ )에 의한 지지력 증가율은 원지반에 비해 A현장에서는 34%에서 174%로, 그리고 B현장에서는 16%에서 518%까지 증가하였다. 또한, 지오셀 1층으로 보강된 층 시스템에서 지오셀 상부의 흙쌓기층의 두께에 의한 지지력 증가율은 개량지반인 A현장에서 미개량 지반인 B현장보다 약 2~3배 높은 값을 나타낸다.

Table 2 Estimation of  $K_{30}$  &  $E_{v2}$  depending on Embankment Thickness & Reinforcement (Geocell)

시험 단면	시험 번호	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 $E_{v2}$ (%)
		흙쌓기층두께(cm)	지오셀층				
A현장 (개량 지반)	1	원지반	-	2.1	10.1	22.2	0
	2	5	1	6.4	44.5	97.8	340.5
	3	10	1	7.5	88.0	193.7	772.5
	4	20	1	7.6	112.5	247.5	1014.9
	5	30	1	8.3	121.3	266.7	1011.4
	6	40	1	11.0	185.8	408.7	1741
B현장 (미개량 지반)	7	원지반	-	1.7	20.4	44.9	0
	8	5	1	5.8	53.9	118.5	163.9
	9	10	1	7.0	67.6	148.7	231.2
	10	20	1	7.6	74.2	163.2	263.5
	11	30	1	7.7	87.0	191.4	326.3
	12	40	1	8.1	126.1	277.3	517.6

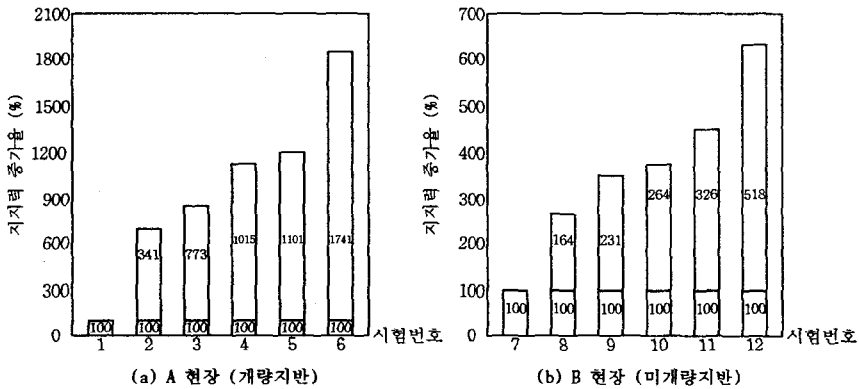


Fig. 2 Increasing Rate of Bearing Capacity depending on Embankment Thickness and Reinforcement ( $E_{v2}$ )

#### 4. 지오셀을 이용한 철도노반의 설계기법 개발

##### 4.1 열차하중 및 노반층 상부면에 작용하는 응력의 계산

열차하중을 산정하기 위해서는 경부선 기존 선로의 직선구간을 표준열차 하중이 LS-22인 열차가 150Km/h의 속도로 주행하는 조건을 표준으로 하였다. 또한 노반층 상부면에 작용하는 응력계산을 위해서는 2개의 열차 축하중이 일정한 간격을 갖는 3개의 침목에 의해 지지되어지는 선로단면에 재하되어 진다고 고려하였다.

따라서, 본 연구에서는 침목당 간격이 약 59cm(침목중심간격)인 연속식 PC침목을 기준으로 사용하였다. 이와 같은 방법으로 계산한 도상층의 하부면에 작용하는 전체응력은  $1.3\text{Kg/cm}^2$  ( $130\text{MN/M}^2$ )에 달하였다.

## 4.2 지오셀로 보강된 철도노반의 설계기법 개발

Thamm(1999)은 토목섬유 시스템으로 보강된 철도노반에서 열차의 속도가 160Km/h 이하인 경우 상부노반면의 변형계수  $E_o(E_{V2})=500\text{Kg/cm}^2(50\text{MN/M}^2)$  및 원지반의 변형계수  $E_u$ 를 사용하여 다층이론에 의해 필요한 노반층의 두께를 산정할 수 있는 설계기법을 제안하였다. 이 경우 원지반의 변형계수  $E_u$ 의 값은  $100\text{Kg/cm}^2(10\text{MN/m}^2) \leq E_u \leq 300\text{Kg/cm}^2(30\text{MN/m}^2)$ 이어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 현재 기존선 흙쌓기 구간의 대표단면의 조건과 일치하는 시험단면으로 지오셀 1층을 포설하고 지오셀 상단부에 30cm 두께의 화강풍화토로 흙쌓기한 영종도 A 및 B현장의 시험번호 5 및 시험번호 11(Table 2)을 선정하고, 변형계수( $E_{V2}$ )를 사용하여 다층이론에 의해 지오셀로 보강된 철도노반의 필요한 두께를 산정하는 도표를 Fig. 3와 같이 제안하였다.

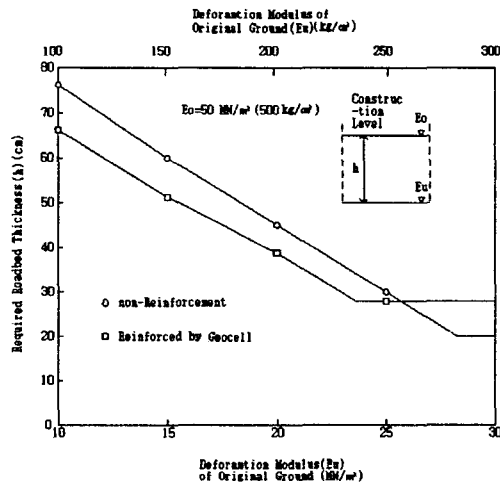


Fig. 3 Estimation of Required Roadbed Thickness(h) Reinforced by Geocell System (Granite Soil Embankment)

## 5. 결론

본 연구에서는 국내외에서 기 수행된 현장 평판재하시험 결과를 토대로 지오셀로 보강된 철도노반의 지지력 개선정도를 평가하였다.

또한 이러한 시험결과들을 바탕으로, 연약지반 위에 구축된 기존 철도선로의 보수·보강 및 확장시 지반의 변형계수( $E_{V2}$ )를 사용하여 지오셀로 보강된 철도노반의 두께를 산정할 수 있는 다층이론에 근거를 둔 보다 합리적인 설계방법을 제시하였다.

그러나 본 연구에서 개발된 산정도표가 실무에서 사용되어지기 위해서는 기존 선로에서 지오셀을 포설한 시험단면을 설치하고 장기간에 걸쳐 계측된 자료가 추가적으로 본 산정도표에 반영되어야 한다.

따라서, 우리나라에서 현재 전 세계적으로 보수작업의 용이성, 기초구조의 신뢰성 향상 및 환경친화적인 면에서 장점을 갖고 있는 지오셀이 철도노반의 보강재로서 굳건히 자리잡기 위해서는 기존 선로에서 지오셀을 설치한 시험단면을 구축하고 장기간에 걸쳐 현장 계측을 실시하는 등 이 분야에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 한다

## 참고문헌

1. 심재범(2000), “토목섬유 시스템을 활용한 철도 노반의 보강 효과 및 설계기법 개발에 관한 연구”, 박사학위 논문
2. 조삼덕, 김진만, 정문경, 윤수호, 안주환, 오세용(1999), “지오셀 시스템(geocell system)을 활용한 노반의 보강기법”, 고속전철 궤도 및 노반개발, 건설교통부, 산업자원부, 과학기술부 pp. 463~628
3. 국유철도 건설규칙(2000), 철도청
4. DB Netz(1999), “Erdbauwerke planen, bauen und instandhalten”, Richtlinie 836
5. Li, D.(2000), Deformation and Remedies for soft railroad subgrade subjected to heavy axial Loads”
6. Mais, R., Maier, H.(1968), “Ein Beitrag zur Ermittlung des Beanspruchung stadarisierter Fahrbahnbefestigungen mit Hilfe der Mehrschichtentheorie”, Ph D. dissertation, Technische Unuversitaet Muenchen
7. Muramoto, K., Sekine, E., Yajuchi, N.(1995), “Elemental property of the Roadbed Reinforced Material, Geocell”, 日本鐵道總研報告, Vol.9, No.7
8. Stanley, R. Boyle(1998), “Geosymthetics in Railroad Slope and Roadbed Application”, AMEMA Symposium on Roadbed stabilization and Ballast
9. Tarumi, H(1994), “土の 強化の 原理と 最近の 強化事例”, 日本鐵道總研報告, Vol.8, No.4
10. Thamm(1997), “Tragschichten von Eisenbahnstrecken”, Empfehlungen fuer Bewehrungen aus Geokunststoffe, Deutsche Geosellschaft fuer Geotechnik, Ernst&Sohn, pp. 23~29