철도노반에 적용된 침하복원모듈의 변위 억제 특성에 관한 연구.

A Study on Reinforcing Quality by Settlement Recovery Module in Railroad Roadbed

김현기*†, 이진욱*, 이성혁*, 김병일**

Hyun-Ki Kim*†, Jin-Wook Lee*, Seong-Hyuk Lee*, Byung-Il Kim**

Abstract Operation of trains makes continuous settlements in railway lines. Because this settlement can induce instability of a track as well as a train, displacement of a track should be controlled and repaired. In this study, a new mechanical recovery and reinforcement method; Roadbed displacement recovery module (RDRM) is suggested by modifying geogrids crushed stone column method. Numerical analysis is executed to evaluate the effect of RDRM. Various filling materials such as crushed stone, sand, soil-cement into geogrids are examined to maximize the performance of RDRM. Crushed stone as a filling material shows a great performance to strain displacement of a roadbed. In case of geogrids which is covering filling materials, a choice of construction of geogrids shows better performance to strain settlement than stiffness difference of each geogrids.

Keywords **:** Displacement recovery module, Geogrids, Filling materials, Restrain displacement

초 록 철도노반은 열차운행으로 인한 반복하중의 영향으로 지속적인 침하가 발생하여 열차의 안정성을 저해하므로 이를 억제하거나 보완할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 기계적 복원 및 보강을 통한 노반 자체의 특성을 개선하여 침하에 대한 영구대책으로 적용할 수 있는 침하복원모듈을 개발하여 3차원 수치해석을 통해 그 효과를 제시하고자 하였다. 본 논문에서는 모듈의 효과를 극대화하고자 모듈의 내부 속채움 재료로 쇄석, 모래, Soil-cement를 검토하였으며, 그 결과 쇄석 채움에서 변위 억제효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 모듈의 외부를 감싸는 지오그리드의 경우 강성의 크기보다는 설치 유무에 따라 변위 억제효과가 큰 것으로 나타났다.

주요어 : 침하복원모듈, 지오그리드, 속재움재료, 변위 억제

1. 서 론

교량 또는 터널과 토공 접속부 구간은 강성차가 급격하게 변동되어 이론적으로 볼 때 동일한 열차하중을 받더라도 약한 부분은 더 침하가 발생된다(최찬용, 2012). 이러한 불균등 침하는 충격하중 효과가 유발되어 토공부분의 상대적 과대 변형을 발생시킴으로써 차량운행의 안정성에도 영향을 미친다. 이러한 접속부의 불균형 변형을 방지하기 위해 여러 보강방안들이 적용되고 있다. 최근 접속부 보강방안은 대부분 지지강성 완화방식으로 어프로치블록, 어

† 교신저자: 한국철도기술연구원 고속철도연구본부(hkkim@krri.re.kr)
* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부
** 지구환경전문가그룹

프로치슬래브, 보조슬래브, 전단키, 토목섬유 등이 있으며, 콘크리트궤도에서는 어프로치슬래브가 접속지점 침하방지에 유리한 것으로 알려져 있다(이일화, 2010).

본 연구에서는 접속부 구간 불균등 변형 방지를 위해 지지강성 완화방식이 아닌 기계적 복원 및 보강을 통한 노반 자체의 특성을 개선하여 침하에 대한 영구대책으로 사용할 수 있는 침하복원모듈의 개발하였으며, 3차원 수치해석을 통해 침하복원모듈의 변위억제 효과를 확인하였다.

2. 본 론

2.1 적용 물성

수치해석시 적용된 입력정수 및 재료별 구성모델은 철도설계기준(노반편, 2011), 400km/h급 선로구축물(호남고속철도) 설계기준 연구(2011), 관련 문헌 등을 통해 제시된 값들을 종합분석하여 Table 1과 같이 적용하였다.

Table 1 Properties of Materials(Input Parameters)

Materials		Model	Unit Weight (kN/m^3)	Elastic Modulus(MPa)	Poisson's Ratio (ν)	Cohesion (kN/m^2)	Friction Angle (°)
Ballast		Elastic	19.0	184	0.31	-	-
Reinforced Roadbed		Mohr Coulomb	19.5	130	0.28	10.0	35
Upper Roadbed		Mohr Coulomb	19.5	55	0.28	10.0	32
Lower Roadbed		Mohr Coulomb	18.0	47	0.34	5.0	30
Approach Block		Mohr Coulomb	20.0	160	0.20	0.0	35
Weathered Soil		Mohr Coulomb	18.5	50	0.33	21.5	28.5
Abutment		Elastic	25.0	20,000	0.20	-	-
Sleeper		Elastic	23.0	30,000	0.167	-	-
Filling Material	Crushed-Stone	Mohr Coulomb	19.5	220	0.35	-	40
	Sand	Mohr Coulomb	19.0	30	0.30	-	35
	Soil Cement	Mohr Coulomb	18.6	49.5	0.20	547	-

2.2 침하복원모듈의 변위억제 특성

2.2.1 수치해석 조건

침하복원모듈은 Fig 1과 같이 지오그리드를 사용하여 형상을 유지시키면서 인장에 저항할 수 있도록 하였고, 내부 속채움을 실시하여 침하에 저항하도록 하였다. 침하복원모듈의 효과를 극대화 할 수 있도록 내부 속채움 재료로 쇄석, 모래, Soil Cement를 적용하였고, 지오그리드의 인장강도를 변화시켰다. 따라서 수치해석은 총 12개의 Case에 대해 수행하였고(Table 2 참조), 이를 바탕으로 변위억제 효과가 우수한 복원모듈 재료를 평가하였다.

열차하중은 철도설계기준에서 제시하고 있는 LS-22 표준열차하중을 적용하였으며, 열차하중은 1개 차륜에서의 최대 정적하중(Ps)을 침목에 가해지는 준동적하중(P_R)으로 산정하고 이를 수치해석시 적용하였다. Fig 2는 수치해석시 적용된 3차원 모델을 나타낸 것이며, 지오그리드

의 경우 인장효과를 고려하기 위해 양끝단을 구속하였다.

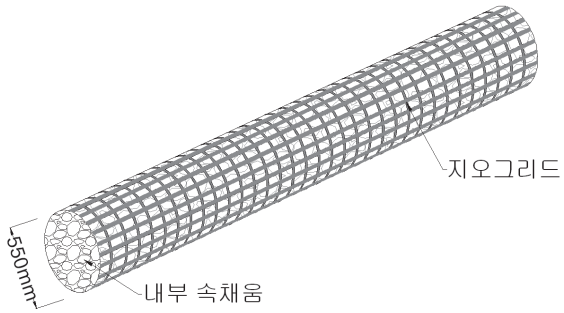


Fig. 1 Settlement Recovery Module

Table 2 Numerical Analysis Case

Analysis Case	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10	Case 11	Case 12
Geogrid Strength(kN/m)	Untreated			100			150			200		
Filling Materials	C.S.	Sand	S.C.	C.S.	Sand	S.C.	C.S.	Sand	S.C.	C.S.	Sand	S.C.

note) C.S.=Crushed Stone, S.C.=Soil Cement

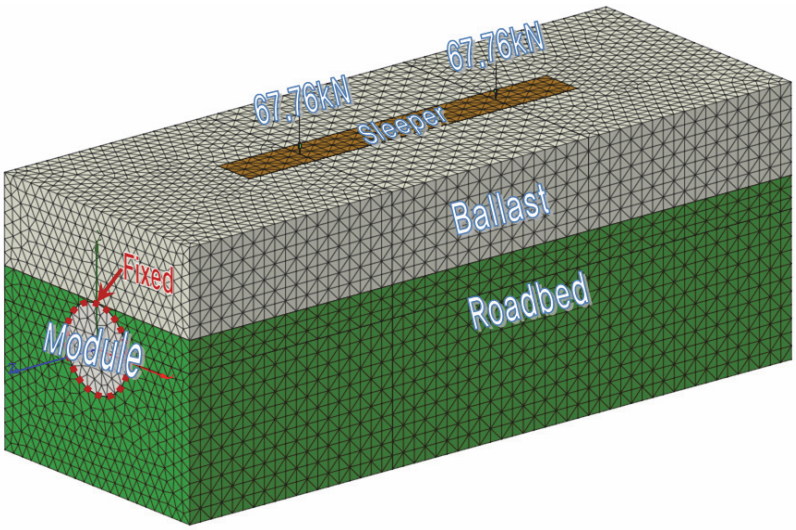
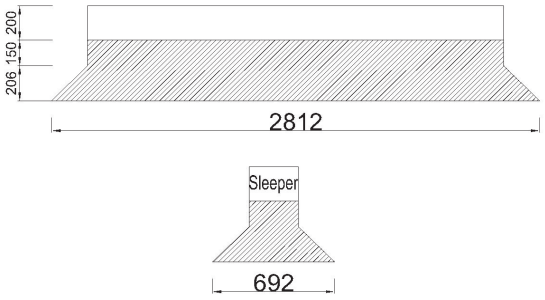
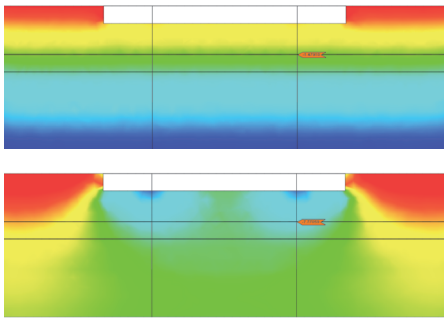


Fig. 2 Modeling and Boundary Conditions of Numerical Analysis

2.2.2 노반 하중 특성

Table 3은 수치해석 결과와 철도설계기준을 준용하여 산정된 평균노반압력을 비교한 것이다. 수치해석에서 준동적하중(P_R) 재하시 노반에서의 작용응력은 62.55kN/m^{2}으로 나타났고, 압력의 분포면적을 고려하여 산정한 평균노반압력은 69.64kN/m^{2}으로 나타나 수치해석 결과와 평균노반압력 모두 유사한 것으로 나타났다.

Table 3 Roadbed Pressure with Calculation and Analysis

Calculation method	3D numerical analysis result
	
$P_d = (1+0.3\times\frac{180}{100})\times 110 = 169.4kN$ $P_R = \alpha \times P_d = 0.4\times 169.4 = 67.76kN/m^2$ $P_r = \frac{P_R}{A} = \frac{67.76}{2.812/2\times 0.692} = 69.64kN/m^2$	$P_{Initial} = 14.74kN/m^2$ $P_{Load} = 77.29kN/m^2$ $P_r = P_{Initial} - P_{Load} = 62.55kN/m^2$

2.2.3 구성재료에 따른 침하 특성

Fig 3은 침하특성을 비교하고자 선정된 해석 단면상의 변위측정 위치를 나타낸 것이다. 하중재하 지점의 직하부에서 침하복원모듈의 상하부 변위를 측정하였으며, 각각의 속채움 재료에 대해 지오그리드 강성에 따른 변위측정 결과를 Table 4에 나타내었다. 복원모듈을 적용하지 않은 무처리 조건에서의 변위는 16.67mm, 내부 속채움 재료만을 설치할 경우 쇄석 12.13mm, 모래 12.68mm, Soil-Cement 12.34mm로 확인되므로 변위억제 효과는 쇄석이 가장 큰 것으로 나타났다.

지오그리드 적용에 따른 변위억제 효과는 무처리 대비 11.50mm~10.45mm로 나타났으나 지오그리드의 강성증가에 따른 변위억제 효과는 작은 것으로 나타났다.

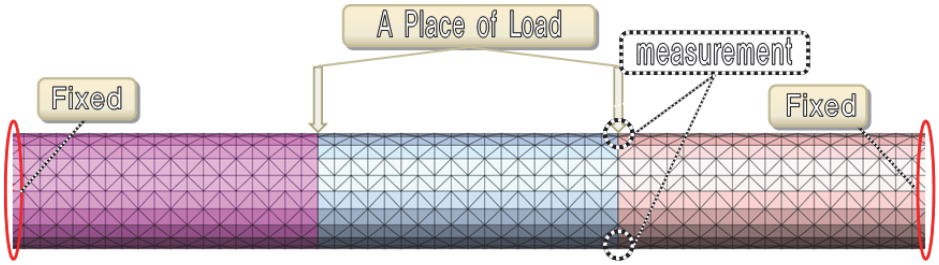
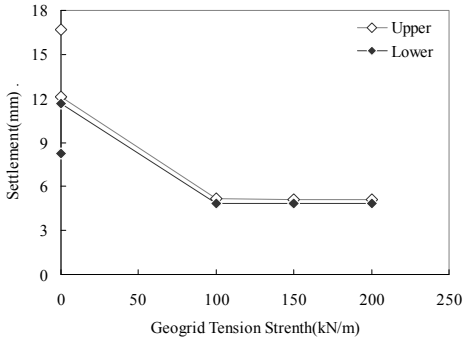
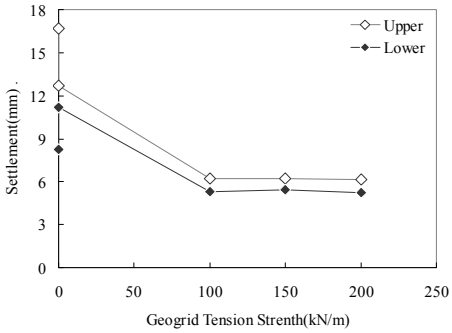
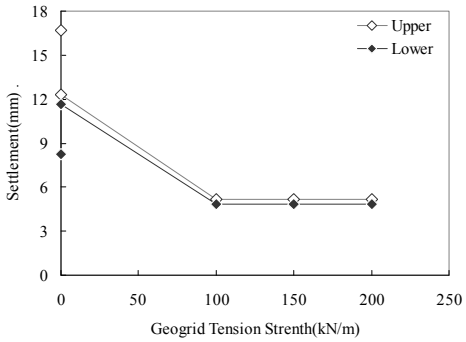
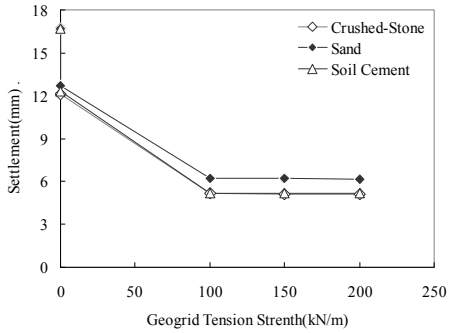


Fig. 3 Points of Displacement Measurement

Table 4 Results of 3D Numerical Analysis

Displacment(mm)	
Crushed-Stone	Sand
	
Settlement Reduction Effect with Geogrid Strength and Crushed-Stone Fill	Settlement Reduction Effect with Geogrid Strength and Sand Fill
Soil-Cement	Analysis results
	
Settlement Reduction Effect with Geogrid Strength and Soil-Cement Fill	-

2.2.4 침하복원모듈의 변위억제 효과

Table 5는 침하복원모듈의 채움재 및 보강재 제원에 따른 3차원 수치해석 결과를 요약하여정리한 것이다. 속채움 재료에 의한 변위억제 효과는 쇄석에서 가장 우수하였으며, 보강재인 지오그리드의 강도에 따른 변위억제 효과는 보강재가 설치되지 않는 조건대비 인장강도 100kN/m 적용시 69.0%로 평가되었으나 인장강도 증가에 따른 효과는 미미한 것으로 나타났다.

Table 5 The Effects of Settlement Recovery Modules with Filling materials and Geogrid

Settlement Reduction					
Filling Material			Geogrid Strenth(Crushed-Stone Fill)		
Crushed-Stone	Sand	Soil Cement	100 kN/m	150 kN/m	200 kN/m
4.54mm (27.2%)	3.99mm (23.9%)	4.33mm (25.9%)	11.50mm (69.0%)	11.53mm (69.2%)	11.55mm (69.3%)

3. 결 론

교량-토공, 터널-토공 및 절토-성토 경계부 등 노반의 강성차에 따라 발생되는 불균등 침하를 방지하고자 기존의 지지강성 완화방식의 문제점을 해결하고 노반자체의 특성을 개선함으로써 영구적인 변위억제 효과를 발현할 수 있는 침하복원모듈이 개발되었다.

이에 본 논문에서는 침하복원모듈의 속채움 재료(쇄석, 모래, Soil-Cement)와 지오그리드의 설치 유무 및 인장강도에 따른 변위억제 효과를 3차원 수치해석을 통해 평가하였다. 그 결과 침하복원모듈의 속채움재로 쇄석을 사용할 경우 복원모듈 설치전 대비 약 69%의 침하량이 감소하여 침하 억제효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 지오그리드의 경우 적용 유무에 따른 효과가 큰 것으로 나타났고, 인장강도 증가에 따른 효과는 미미한 것으로 나타났다.

참고문헌

[1] J.Y. Jung, K.H. Jo, I.H. Lee (2012), A Study on the Behavior of a Railway Bridge reflect Construction Characteristics in Transitional Zone, *Korean Society For Railway*, pp. 639-645.

[2] I.H. Lee, S.H. Lee, Y.S. Gang (2006), Characteristics of Roadbed Behaviors of Concrete Track for High-Speed Railway, *Journal of Korean Society For Railway*, pp. 298-304.

[3] C.Y. Choi, J.Y. Lee (2008), Behaviors of Settlement for Transitional zone with Moving Wheel Loading, *Korean Society For Railway*, pp. 236-240.

[4] ERRI D230.1/RP3 (1999), Bridge ends embankment structuretrasnsition, *Eoropean Rail Research Institute*

[5] Eisenmann, J., Leykauf, G. (1993), He Effect of Head Checkingon the Bending Fatigue Strength of Railway Rails, *Rail Quality and Maintenance for Modern Railway Operation*, pp. 425-433.

[6] A Study on the Maintenance of High-Speed Railroad Concrete Track (2012), *Korea Rail Network Authority*