

지오그리드를 활용한 철도 노반 강화에 대한 연구

A study on rail roadbed reinforcement by geogrids

신은철* 신민호** 김두환*** 신동훈***
Shin, Eun-Chul Shin, Min-Ho Kim, Du-Hwan Shin, Dong-Hoon

ABSTRACT

The characteristics of roadbed are very important factors in the design of railways. Laboratory model tests were performed to investigate the effectiveness of geogrid placement in the subbase layers on reinforcement. Design parameters of reinforcement were determined through the laboratory model tests. The results indicated that geogrid reinforcement is increased the bearing capacity and reduced the settlement of railway foundation. The optimum length of geogrid reinforcement is about $4B$. The effective depth of geogrid placement from the bottom of ballast is about $0.1B \sim 0.2B$ depended on magnitude of applied load.

1. 서 론

우리나라에서는 많은 연약지반이 존재하고 양질의 성토재가 부족하여, 철도 노상토의 편평현상, 노반의 지지력 부족에 의한 도상의 과도한 침하가 빈번히 발생하였다. 특히, 일반 철도와는 달리 고도의 정밀도를 통하여 최고의 주행 안전성을 유지하여야 하는 고속철도의 경우 전통적인 철도 선로 구조로는 한계가 있다. 본 연구는 국내의 철도노반에서 발생될 수 있는 문제점을 분석하고, 가장 경제적이고 효과적인 노반 보강의 설계 및 시공의 인자를 도출하고자, 보강재로 지오그리드를 이용하는 방법에 대하여 연구를 수행하였다. 국내에서 생산되는 2방향 지오그리드의 인장강도 및 크리프 시험등을 통하여 역학적 특성을 파악하였으며, 실내 모형시험을 통하여 철도노반에서 지오그리드의 최적 보강심도, 소요 포설폭, 이때의 보강시의 효과등을 규명하였다.

2. 강화노반 보강재(지오그리드)의 물성

본 연구의 모형궤도 시험에 사용한 보강재는 국내 업체에서 생산중인 2방향 지오그리드(Biaxial geogrid)이다. ASTM 규정에 의해 각종 시험을 수행한 결과 인장강도, 온도 및 화학적 장기 안정성, 크리프 특성 등이 양호하게 판정된 제품이다. 도표 1은 시험에 사용한 지오그리의 물리적 특성을 분석한 결과이다. 그림 1은 지오그리드의 형상으로서, 여기서 MD는 주방향(Machine direction or Longitudinal direction), CD는 보조방향(Cross machine direction or Transverse direction)을 의미한다. 그림 2는 지오그리드의 크리프 시험 결과로서, 각각 극한 강도의 40%, 50%, 60%에 대한 크리프 거동을 나타낸다. 회귀분석한 결과 극한강도의 약 50%의 하중에 대하여 장기 안정성을 가진다고 볼 수 있다.

* 인천대학교 교수, 정희원

** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정희원

*** 인천대학교 석사과정

도표 1. 지오그리드의 물리적 특성

단위 면적당 무게(g/m ²)		279.66	
개구부의 크기(mm)	MD	2.8±0.5	
	CD	2.8±0.5	
두께(mm)	MD 리브	0.84	
	CD 리브	0.81	
	접합부	1.10	
인장 및 신율특성	극한 인장강도 (ton/m)	MD	7.0
		CD	2.2
	파단시 신율(%)	MD	12.5
		CD	12.5

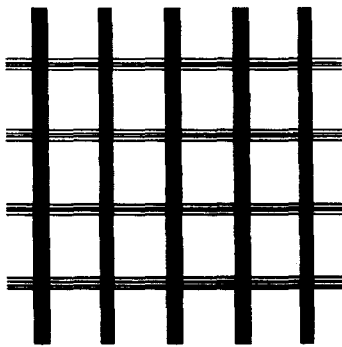


그림 1. 지오그리드의 형상
(MD : ↓, CD : ↔)

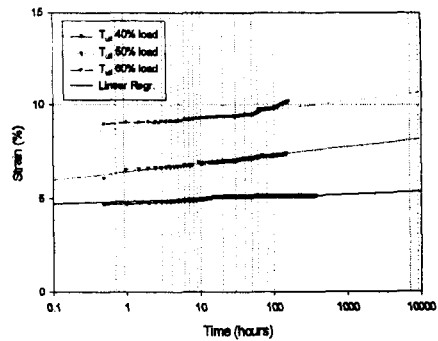


그림 2. 크리프 시험 결과

3. 실내시험 수행 및 시험장치

그림 3(a)와 같이 실제 철도 궤도를 10:1 스케일로 축소한 재하판을 사용하였으며, 그림 3(b)는 재하시험 모습을 나타낸다. 토조의 크기는 폭 25cm, 길이 100cm, 높이가 70cm이며, 시험시 하중 재하속도를 0.0254cm/sec로 조절하고 초당 1 point씩 하중 및 변위의 변화를 측정하였다. 사용한 도상층 쇄석 및 노상토의 물성은 도표 2, 도표 3과 같으며 각각의 입도분포 곡선은 그림 4, 그림 5와 같다.

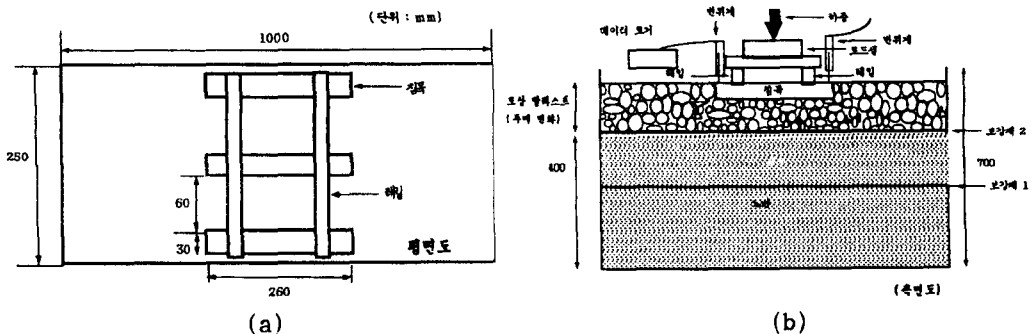


그림 3. 모형토조 재하시험 모식도

도표 2. 도상 쇄석의 물성

시험 항목		시방 규정	사용 시료
비중	겉 보기	2.5이상	2.722
	표면건조 포화상태		2.699
	진비중		2.685
흡수율 (%)		2.5이하	0.50
마모율 (%)		50%이하	19.16
단위용적 중량		1.4g/cm ³ 이상	1.55g/cm ³
채취 장소		-	서울순환외곽 고속도로 1-17공구

도표 3. 노상토의 물성 및 특성

흙의 종류		화강풍화토
입도분포 시험	유효입경(μm)	0.1001
	균등계수(Cu)	6.59
	곡률계수(Cc)	1.23
	D_{50} (μm)	0.43
	200번체 통과량	5.976
	흙의 분류(통일분류법)	SM, SC
소성지수 시험	액성한계(LL), %	29.2
	소성한계(PL), %	20.33
	소성지수(PI)	8.87
다짐시험	최대건조단위중량 ($\gamma_{d,max}$), g/cm ³	1.856
	최적함수비(ω_{opt}), %	12.2
CBR 값		21.615

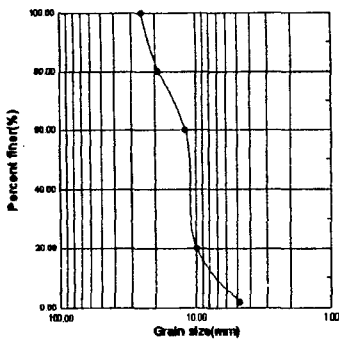


그림 4. 도상 쇄석의 입도

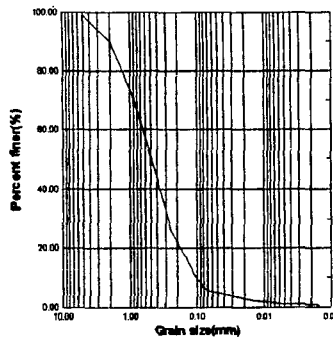


그림 5. 노상토의 입도

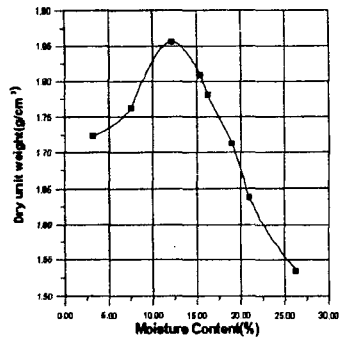


그림 6. 노상토의 표준다짐시험

도표 4. 단계별 재하시험 수행 과정

시험 단계	시험 번호	u/B	b/B	도상의 높이	비 고
I	1	-	-	0.2B	비보강
	2	-	-	0.2B	
	3	-	-	0.2B	
II	4	0.2	1.5	0.2B	노상 보강
	5	0.2	2	0.2B	
	6	0.2	3	0.2B	
	7	0.2	4	0.2B	
III	8	0.4	1.5	0.2B	노상 보강
	9	0.4	2	0.2B	
	10	0.4	3	0.2B	
	11	0.4	4	0.2B	
IV	12	0.1	1.5	0.2B	노상 보강
	13	0.1	2	0.2B	
	14	0.1	3	0.2B	
	15	0.1	4	0.2B	
V	16	0	4	0.2B	도상하부 보강
	17	0	4	0.2B	
VI	18	0	4	0.4B	도상하부 보강
	19	0	4	0.4B	

4. 모형궤도에 의한 정적재하 시험 결과 및 분석

4.1 노반내에 지오그리드 포설시 하중-침하 거동

철도 노반내에 지오그리드를 보강 및 보강하지 않았을 때, 정적하중에 대한 침하 거동을 분석하기 위하여 도표 4와 같이, 6단계 19회의 실내모형시험을 실시하였다. 철도 침목모형(이하 기초)의 길이를 B, 지오그리드가 포설된 노반까지의 깊이를 u, 그리고 지오그리드를 포설폭을 b라 한다. I 단계 시험에서는 지오그리드를 보강하지 않은 상태에서 도상의 높이를 0.2B로 유지하여 재하시험을 실시하였다. II단계 시험에서는 보강심도를 0.2B로 유지하고, 지오그리드의 포설폭을 1.5B~4B까지 변화시키며 각각 시험을 실시하였다. III단계 및 IV단계 시험에서는 지오그리드 포설깊이를 0.4B, 0.1B로 포설하여 II단계의 시험을 반복하였다. V단계 및 VI단계에서는 지오그리드를 도상 하부에 포설하여 시험을 실시하였다.

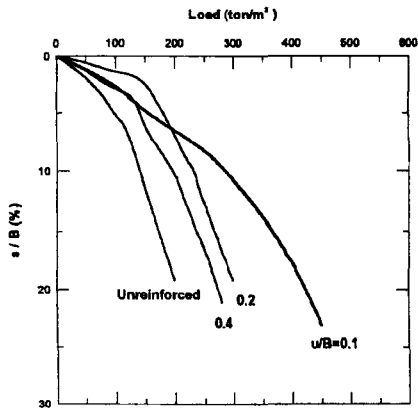


그림 7 노반의 하중-침하 거동

BCR(Bearing Capacity Ratio)은 보강시와 비보강시의 지지력비로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$BCR_s = \frac{q_R}{q}$$

$$BCR_u = \frac{q_{u(R)}}{q}$$

여기서, BCR_s = 동일한 침하에 대한 지지력비
 BCR_u = 극한하중하에서의 지지력비
 q, q_R = 동일한 침하에 대한 비보강 및 보강시의 기초의 단위면적당 하중
 $q_u, q_{u(R)}$ = 비보강 및 보강시 기초의 극한 지지력

단계별 재하 시험의 결과를 정리하면 도표 5와 같다.

도표 5. 극한하중시 침하율 및 BCR_u

u/B	극한강도, q_u (ton/m^2)	s/B(%)	BCR_u
0.1	300	10.8	2.5
0.2	150	5	1.25
0.4	130	3.85	1.1
비보강	120	6.73	1.0

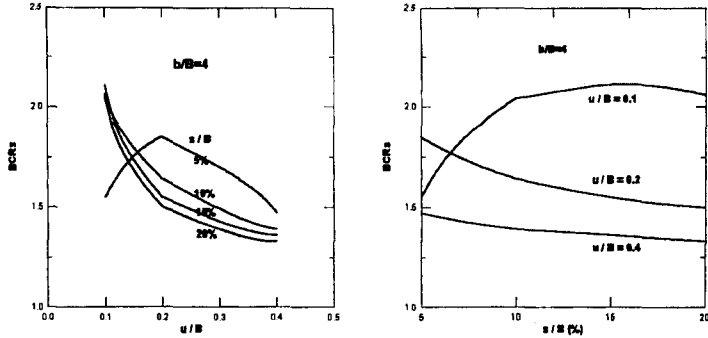
도표 5 및 그림 8은 지오그리드 보강 심도에 따른 보강효과 즉, BCR_s 값을 나타낸 것이다. 하중 재하 초기인 s/B가 5%인 경우, u/B가 0.1일 때의 BCR_s 값이 u/B가 0.2인 경우보다 작은 것을 알 수 있다. 그러나 10~20% 침하에 대하여 u/B가 0.1일 때 가장 큰 보강효과가 일어나며, 포설 깊이가 깊을수록 각각의 보강효과는 점차 작아지는 것을 알 수 있다.

도표 6. 보강심도 변화에 따른 침하별 보강효과, BCR_s

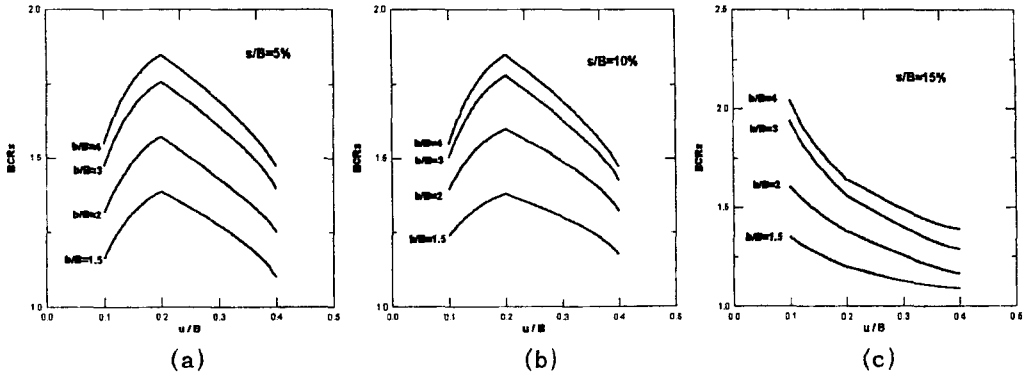
u/B \ s/B(%)	s/B(%)			
	5	10	15	20
0.1	1.55	2.04	2.11	2.06
0.2	1.85	1.64	1.55	1.5
0.4	1.47	1.39	1.36	1.33

그림 9는 지오그리드의 포설폭을 변화시키며 재하시험을 한 결과이다. s/B가 5%, 10%, 15%인 경우에 대하여, b/B를 1.5, 2, 3, 4로 변화시키며 실험을 수행하였다. b/B가 1.5~4 일때의 실험 결과로부터 최대 BCR_s 값을 취하여 그림 9에 BCR_s 와 b/B의 관계 그래프를 도시하였다. 포설폭의 증가에 따라 지지력비도 함께 증가하나, b/B가 약 3일때 지지력비의 증가율이 작아지다가 결국, b/B가 약 4일 때 이러한 증가효과가 거의 일정하게 수렴함을 알 수 있다. 따라서, 이때의 포설폭과 기초폭의 비율을 최적포설폭 $(b/B)_c$ 이라 할 수 있다.

$$(b/B)_c \approx 4$$



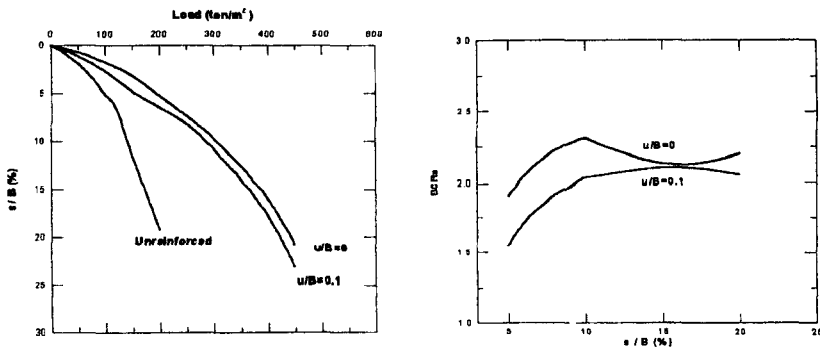
(a) (b)
그림 8. 침하에 따른 BCR값의 변화



(a) (b) (c)
그림 9. 지오그리드 포설폭에 따른 하중-침하곡선

4.2 도상과 노반의 경계층에 지오그리드 포설시 하중-침하 거동

지오그리드를 도상과 노반의 경계층에 포설하였을시에는 그림 10(a)와 같이 u/B 가 0.1일 때보다 지지력 효과가 더 크게 나옴을 알 수 있다. 이것은 지오그리드의 개구부(Aperture)와 쇄석의 맞물림 현상에 의한 것으로서 지오그리드는 쇄석의 수평 및 수직 변위를 줄여준다. 그림 10(b)에서와 같이 낮은 하중에 대하여 이러한 보강효과가 더욱 큰 것을 알 수 있으며, s/B 가 약 10%를 넘을 때 이러한 효과가 점차 감소한다고 볼 수 있다.



(a) 하중-침하 곡선 (b) BCRs의 변화
그림 10 도상 최하부에 지오그리드 포설시 침하특성 및 지지력

5. 결 론

본 연구에서는 고속철도 노반을 개량하기 위하여 보강재로 지오그리드를 사용하였을때의 지지력 변화를 분석하였다. 국내의 화강풍화토 지반 조건하에서 정재하 시험을 실시하였으며 지오그리드의 최적 포설깊이와 포설폭, 하중-침하 거동을 조사하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 철도 노반내 지오그리드 보강시 낮은 하중에 대한 최적 포설 심도는 0.2B이며, 200ton/m²의 높은 하중에 대해서는 0.1B이다.
- (2) 지오그리드의 포설폭(b)은 b/B가 3일때를 정점으로 BCR의 증가가 완만해지며, 최적 포설폭은 약 4B이다.
- (3) 지오그리드를 도상과 노반의 경계층에 포설하였을시에는 지오그리드의 개구부와 채석의 맞물림 현상에 의하여 BCR이 10~20%정도 크게 나타난다. s/B가 10%이하인 낮은 하중에 대하여 이러한 보강효과가 더욱 뚜렷하며, s/B가 약 10%에 이르면 이러한 보강 효과가 점차 감소한다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 “고속철도 토공 및 지반진동 저감기술개발” 과제의 일환으로 추진 되었으며, 지원을 아끼지 않은 (주) 효성 T&C에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설기술연구소, “보강토공법에 관한 연구”., (주) 대우기술연구소, pp. 53~99.
2. 건설부 국립건설연구소(1981), “'81 보강토 공법연구” , 건설연구소 자료, pp. 73~121.
3. Lee, K.L., Adams, B.D., and Vagneron, J. J.(1972), "Reinforced earth retaining walls", ASCE, Vol. 99, No. SM10, pp. 745~864.
4. Hausmann, M.R. and Lee, K.L.(1978), "Rigid Model Wall with soil Reinforcement", Proc. Sympo. on Earth Reinforcement, ASCE, pp. 400~427.
5. Talwar, D.V.(1981), "Behavior of Reinforced Earth in Retaining Structures and Shallow Foundations", Thesis Presented to the University of Roorkee, India, in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.