

지오그리드로 보강된 철도노반 쇄석기층의 지지력에 관한 연구

Bearing Capacity of Geogrid-Reinforced Railroad Ballast

신은철*
Shin, Eun-Chul

김두환***
Kim, Du-Hwan

이규진**
Lee, Kyu-Jin

이상조***
Lee, Sang-Jo

ABSTRACT

The selection of geogrid types for the use of reinforced rail roadbed is important in the design of railways. Also, the problem of the construction damage on the geogrid during construction is raised by the field engineers. Therefore, laboratory model tests were performed to investigate the efficiency of the bearing capacity and construction damage. As a result, it was found that the bearing capacity of the rigid geogrid reinforced railroad ballast shows 1.54 times higher than that of the flexible geogrid reinforced case. In addition, there were no noticeable damage during construction.

1. 서 론

지오그리드는 연약지반위의 성토를 보강하거나 구조물 상·하부의 지반을 강화시키기 위하여 폭넓게 사용되며, 향상된 하중분산효과는 노반층의 강성을 증가시켜 입상재 성토를 보강하는데 효과적으로 사용된다. 지오그리드는 크게 강성지오그리드와 연성지오그리드로 구분되며, 일반적 특성은 신율과 인장강도를 기본으로 하고 있으나, 철도 노반의 경우 연직하중(륜하중)이 가해지므로 본 연구에서는 실내 지지력 시험을 통하여 지지력을 비교 분석하였다. 또한 시공시 운반 및 포설, 다짐 시공시에 발생하는 지오그리드의 손상(construction damage)에 대한 안정성을 검토하였다. 특히 포설후 다짐장비로 다져질때 쇄석과의 맞물림 작용 등으로 인하여 마찰, 찢김, 흠집등이 발생할 수 있으며 이러한 원인으로 인장 강도가 저하될 가능성이 있으므로 현장시험을 통해서 시공시 손상에 대하여 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1 지오그리드의 선정

지오그리드는 고분자 합성재료로 리브 사이 간격이 대략 1~10cm를 가진 격자형 평면구조의 토목섬유이며, 제조방법에 따라 판상(강성)지오그리드와 직물상(연성)지오그리드로 분류된다. 일반적인 형상은 그림 1~3에 나타난 바와 같다. 지오그리드의 선정은 설계목적 및 현장조건, 경제성을 고려하여 선정하여야 한다. 지오그리드는 높은 강도를 가진 보강재의 필요에 의해 개발되어 왔으며 주로 인장강도 및 신율에 의하여 그 성능을 평가하나, 현장에서의 적용성에 대해서도 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 철도노반의 쇄석기층을 보강하는 지오그리드를 선정하기 위하여 첫번째로 강성지오그리드와 연성지오그리드 2종류의 제품을 임의로 선정하였다. A제품과 B제품은 강성 지오그리드 형태이고, C제품은 연성지오그리드중에서 최대인장강도를 나타내는 제품을 선정하여

* 인천대학교 교수, 정회원

** 인천 국제공항공사 토목1차 토목2부 과장

*** 인천대학교 석사과정

사용하였다. 시험시 사용한 지오그리드의 기본 물성은 표 1과 표 2에 나타낸 바와 같다. 두번째로 강성그리드중 Biaxial 및 Uniaxial Type을 선정하여 실험을 실시하였다.

표 1. 판상(강성) 지오그리드의 특성

특성 제품	구조	재질	단위중량 (g/m ²)	제품사이즈 (m)	격자치수 (mm)	극한인장강도 (kN/m)	5%신장시 인장강도 (kN/m)
A제품	일축신장타원 구조	HDPE	600	1×50	220×13/17	90	50
B제품	양축신장격자 구조	PP	650	4×50	34×27	CD : 40.0 MD : 40.0	CD : 30.0 MD : 28.0

표 2. 직물상(연성) 지오그리드의 특성

특성 제품	구조	재질	단위중량 (g/m ²)	제품사이즈 (m)	격자치수 (mm)	극한인장강도 (kN/m)	5%신장시 인장강도 (kN/m)
C제품	양방향 집합	PET	697.5	3.5×50	17×18	CD : 39.5 MD : 223.6	CD : 12.7 MD : 75.5

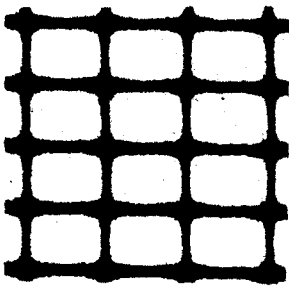


그림 1. Biaxial 타입
강성지오그리드

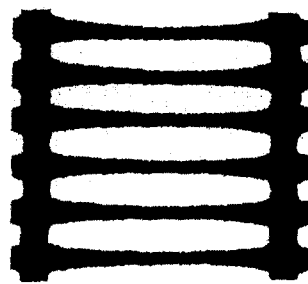


그림 2. Uniaxial 타입
강성지오그리드

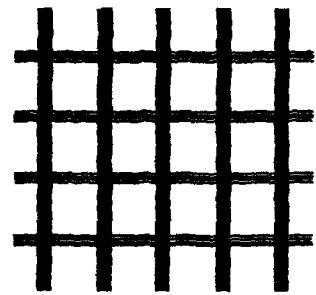


그림 3. 연성지오그리드

2.2 실내지지력 시험

본 연구의 실내 지지력시험은 각각의 선정된 지오그리드를 입도조정 쇄석기층에 포설하여 침하 및 지지력 특성을 고찰하였으며, 이에 따른 지오그리드의 보강 효과를 조사하였다.

2.2.1 실험장치

실내 장비는 크게 하중재하 장치, 모형 기초 및 토조로 구분되며, 하중 재하방법은 일정하중 및 일정침하율 재하법으로 시험을 실시하였다. 각 하중단계는 최소 5단계로 나누어 시험을 실시하였으며, 단계별 하중은 침하량이 15분간 0.01mm보다 작아지면 안정된 것으로 간주하고 다음단계의 하중을 재하하였다. 또한 침하량은 각각의 단계하중에서의 최종침하량을 측정하였다. 시험 장치의 모식도는 그림 4에 나타낸 바와 같다.

2.2.2 지반조성

실내 지지력 시험에 사용된 토조의 크기는 25cm×100cm×70cm이며, 모형 지반은 크게 노상(화강풍화토), 쇄석기층으로 구분된다. 하중재하 기초는 23cm×7.5cm인 직사각형 기초를 사용하였으며, 지반 다짐도에 따른 보강영향을 비교하기 위하여, 표준다짐시험으로부터 95% 및 80%조건으로 시험을 실시하였다.

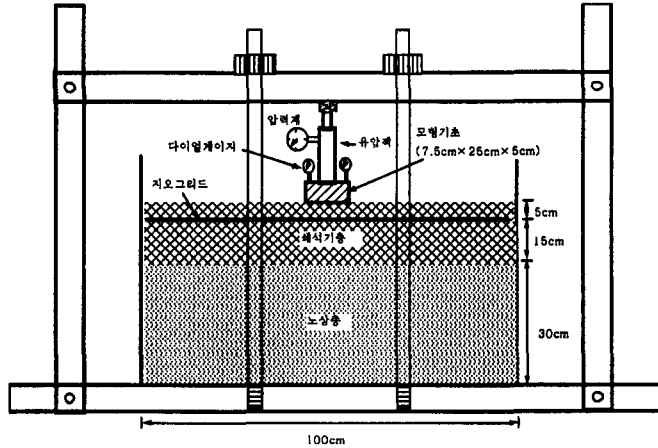


그림 4. 실내지지력시험 지반조성 및 시험장치

(1) 쇄석기층

본 연구에 사용된 쇄석기층의 특성치는 표 3에 나타난 바와 같으며 다짐시험 결과는 그림 5와 같다.

표 3. 쇄석기층 시료의 특성치

구분	시험항목	단위	시방기준	시험결과	
쇄석 기층	입도 시험	75mm	%	100	100
		2.0mm		20~100	82.7
		425 μ m		5~60	23.4
		75 μ m		0~15	3.4
	비중	-	-	2.667	
	흡수율	%	-	1.3	
	액성한계	%	-	N.P	
	소성한계	%	-	N.P	
	마모율	%	-	23.7	
	모래당량	%	-	60	
다짐	% g/cm ³		OMC=5.5 $\gamma_{dmax}=2.23$		
실내 CBR			71		

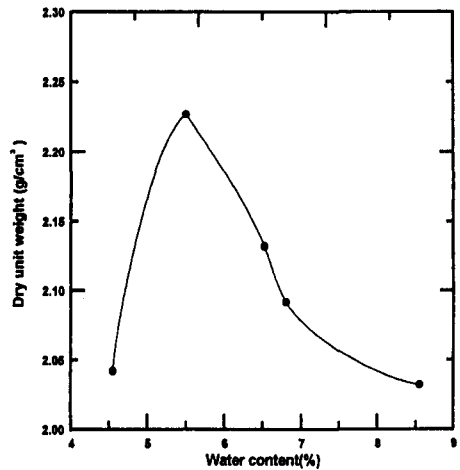


그림 5. 쇄석 기층의 다짐곡선

지반의 다짐도에 따른 지오그리드의 보강효과 분석을 위하여 최대건조밀도 2.23g/cm³의 95%인 2.15g/cm³와 80%인 1.78g/cm³으로 구분하였으며, 함수비는 그림 5에서 나타난 바와 같이 최적함수비 5.5%에 맞추어 입도조정 쇄석기층 지반을 조성하였다.

(2) 노상층

쇄석기층 하부의 노상층은 화강풍화토층으로 구성하여 실내지지력 시험을 실시하였다. 본 실험에 사용한 화강풍화토의 특성치는 표 4에 나타낸 바와 같으며 다짐 곡선은 그림 6과 같다. 지반조성은 다짐시험 결과로부터 최대 건조밀도 1.76g/cm³의 95%인 1.67g/cm³으로 조성하였다.

표 4. 화강풍화토의 특성치

토질역학적 특성	특성값
C _u	8.42
C _c	1.25
G _s (비중)	2.63
액성한계(%)	32
최대건조밀도(γ _{dmax}), g/cm ³	1.76
최적함수비(ω _{opt}), %	17.41
USCS	SW-SM

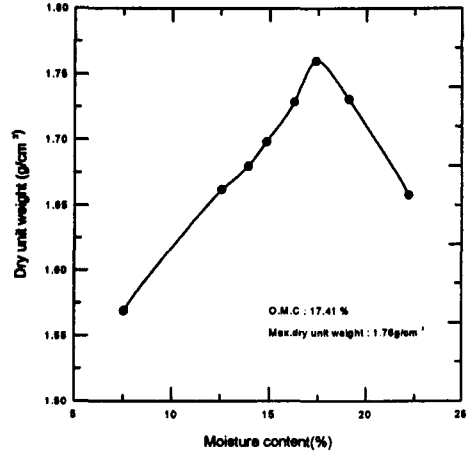


그림 6. 화강풍화토의 다짐곡선

2.3 시공시 손상(Construction damage)

지오그리드의 시공시 손상을 조사하기 위하여 본 연구에서는 인천 공사현장에서 쇄석기층 사이에 지오그리드를 길이 5m, 폭 1.2m로 포설하고, 마케덤롤러, 타이어롤러, 탬핑롤러등의 다짐장비를 이용하여 다짐을 실시한 다음 상부 쇄석 기층을 제거하고 지오그리드를 꺼내어 인장강도 변화를 분석하였다. 지오그리드의 물리적 특성은 표 5에 나타낸 바와 같다.

표 5. 시험시 손상시험용 지오그리드 물성치

제품 \ 특성	구조	재질	단위중량 (g/m ²)	제품 사이즈 (m)	최대 인장강도 (KN/m)		최대신장율 (%)		5% 신장시 인장강도 (KN/m)	
					CD	MD	CD	MD	CD	MD
LBO 330	일축 신장 격자구조	PP	420	4×75	30.0	30.0	10.0	11.0	21.0	21.0

3. 시험 결과 및 분석

3.1 실내 지지력 시험

노상층의 다짐도는 최대건조밀도의 95% 다짐을 실시하고, 쇄석기층의 다짐도를 최대건조밀도의 80%, 95%다짐을 실시한후 실내 지지력 시험을 실시하였다. 그림 7과 그림 8은 실내지지력 시험에 의한 하중-침하량 곡선을 나타낸 것이다.

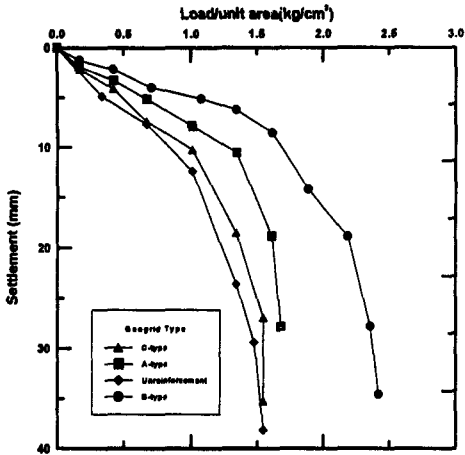


그림 7. 종류에 따른 지지력시험 결과
(다짐도 80%)

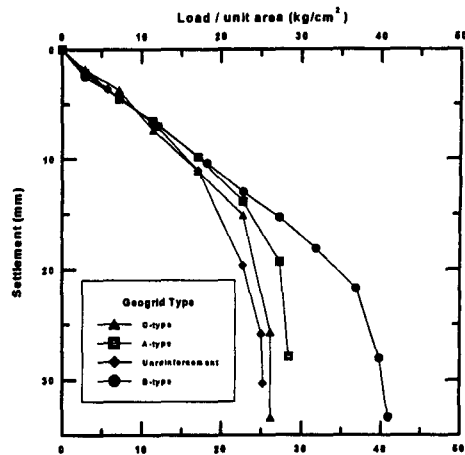


그림 8. 종류에 따른 지지력시험 결과
(다짐도 95%)

그림 7 및 그림 8에서 본 바와 같이 쇄석기초의 다짐도가 95%인 경우, 다짐도 80%인 지반에 비하여 항복강도가 10~20배 가량 증가함을 알 수 있다. 또한 최대전조밀도의 95%로 다짐한 지반의 경우, 다짐도가 높기 때문에 초기침하량이 지오그리드의 종류 및 보강 유·무에 대하여 큰 차이를 보이지 않은 것으로 판단된다. 지오그리드의 종류에 따른 결과는 강성지오그리드(A제품, B제품)가 연성 지오그리드(C제품)에 비해서 MD방향 최대인장강도는 작은 값을 가지고 있지만, 보강토 응력이나 사면 보강과는 다르게 연직하중(푼하중)을 받는 지반내에 포설될 경우, 동일 하중에 대하여 침하량이 적게 발생됨을 알 수 있다. 또한 강성지오그리드중 Biaxial type인 B제품이 Uniaxial type인 A제품에 비하여 지지력이 상당히 크게 나타냄을 알 수 있다. 일반적으로 Biaxial type에 비하여 Uniaxial type이 인장강도도 크고 침하량이 작으나 본 시험에 사용한 A제품의 경우 인장강도는 크지만 상대적으로 리브간격(230mm)이 유사 종류의 제품에 비하여 너무 크기 때문에 침하가 더 크게 발생한 것으로 판단된다.

3.2 지지력 증가 분석

실내 지지력 시험에 의한 지반 보강 효과는 극한지지력비(BCR_u)로 나타낼 수 있다. 극한지지력비(BCR_u)는 식(1)에 나타낸 바와 같다.

$$BCR_u(\text{극한지지력비}) = \frac{q_r(\text{보강지반})}{q_u(\text{무보강지반})} \quad (1)$$

상기의 시험결과를 지오그리드의 종류에 따른 극한지지력비로 나타내면 표 6과 같으며, 지반의 다짐도 및 지오그리드 종류에 따른 지지력 증가곡선은 그림 9에 나타낸 바와 같다. 다짐도가 낮은 경우, 즉 지반이 연약한 경우 보강효과는 크게 나타났다.

표 6. 지오그리드 종류에 따른 극한지지력 증가비

형태 다짐도 (%)	무보강		C제품		A제품		B제품	
	항복강도 (kg/cm ²)	지지력 증가비	항복강도 (kg/cm ²)	지지력 증가비	항복강도 (kg/cm ²)	지지력 증가비	항복강도 (kg/cm ²)	지지력 증가비
95	22.1	1	23.3	1.04	25.2	1.14	35.4	1.60
80	1.21	1	1.34	1.10	1.46	1.20	2.01	1.66

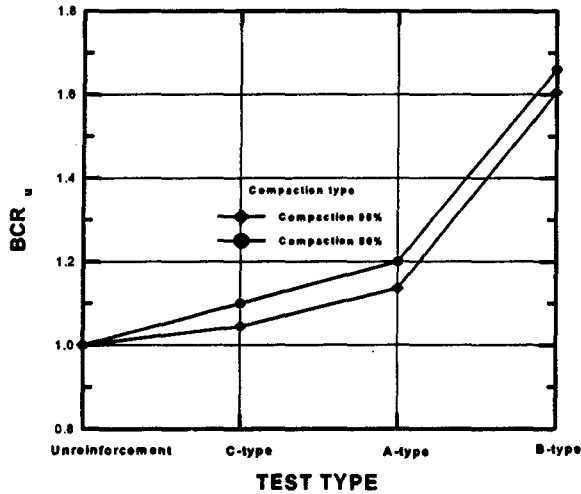


그림 9. 다짐도 및 지오그리드 종류에 따른 지지력 증가곡선

3.3 시공시 손상에 대한 결과 및 분석

시공장비에 의한 강도 저하 및 손상을 조사하기 위하여, 현장시험시공후의 지오그리드 MD(Machine direction)와 CD(Cross machine direction)에 대한 인장강도 시험을 실시하였으며 그 결과는 표 7 및 그림 10, 그림 11에 나타낸 바와 같다.

표 7. 시공 전·후의 인장강도 변화 및 손상율

인장 신율 (%)	시공전 인장강도(KN/m)		시공후 인장강도(KN/m)		손상율(%)	
	MD	CD	MD	CD	MD	CD
2	11.20	11.86	11.00	11.86	1.78	0
5	20.60	21.54	20.36	21.56	1.16	-0.09
10	30.03	30.81	29.46	30.62	1.90	0.62

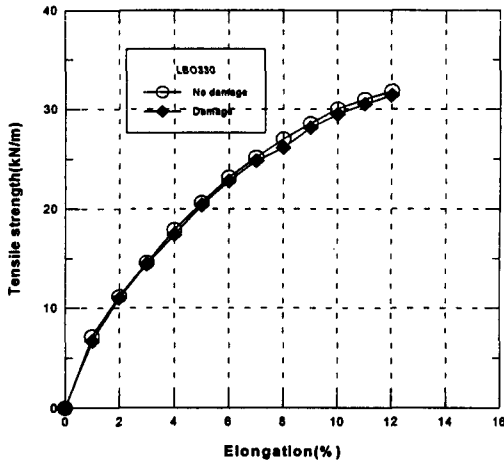


그림 10. 시공 전·후의 MD방향 인장강도

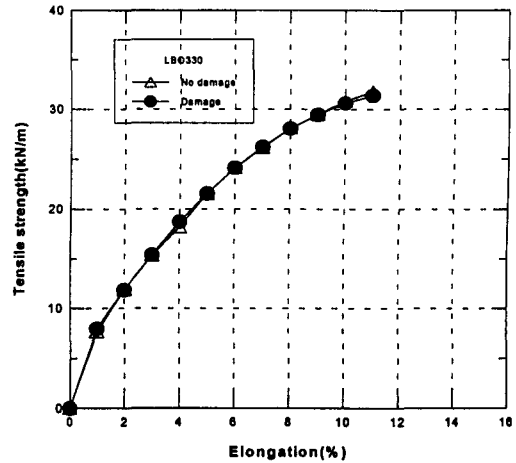


그림 11. 시공 전·후의 CD방향인장강도

그림에서 보는 바와 같이 신율 2%, 5% 및 10%에서의 하중강도 값은 시공전과 거의 차이가 없으며, MD 및 CD 방향의 최대신율과 최대인장강도에서도 같은 결과가 나타났다. 표 7에 나타난 바와 같이 시공에 따른 지오그리드의 손상율은 모두 2%미만으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 연약지반이나 지지력이 부족한 철도노반 쇄석기층을 지오그리드로 보강하였을 경우에 대한 지지력특성과 시공시 안정성을 조사하기 위하여 실내지지력시험 및 현장시험시공을 실시하였다. 상기 실험을 통한 결론은 다음과 같다.

1. 지반의 다짐도가 좋을수록 지오그리드 보강지반의 지지력은 크게 증가하지만, 상대적으로 보강 효과는 연약지반 및 다짐도가 낮은 지반에 비하여 적게 발생되었다.
2. 철도 노반과 같이 수직하중을 받는 지반에 지오그리드를 보강하였을 경우, 보강토 응력이나 보강사면의 경우와는 다르게 인장강도에 대한 영향보다 재질 특성 그자체에 영향을 받을 수 있다. 즉, 동일 인장강도의 지오그리드중 연성지오그리드보다 강성지오그리드가 보강효과가 더 크게 나타났다.
3. 강성 지오그리드의 종류에 따른 지지력 및 침하분석 결과 Biaxial type의 지오그리드가 Uniaxial type에 비하여 지지력이 상당히 크게 나타났으며, 침하량도 적은 것으로 나타났다. 일반적으로 지오그리드 보강공법에서 Biaxial type의 지오그리드보다 Uniaxial type의 보강효과가 우수하지만, 본 실내지지력 시험에 사용한 Uniaxial type의 리브간격(230mm)이 다른 지오그리드에 비하여 매우 크기 때문에 침하가 더 크게 발생된 것으로 판단된다.
4. 시공시 손상에 대한 현장시험포설 결과, 시공에 의한 지오그리드의 손상은 약 2%정도의 인장강도 저하를 나타내었다. 즉, 시공 장비에 의한 지오그리드의 손상은 무시할 수 있을 만큼 경미한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 “고속전철 궤도 및 노반 개발” 3차년도 과제의 일환으로 추진되었으며, 현장시험시공에 도움을 주신 (주)현대건설, 시료를 제공하는 등 지원을 아끼지 않은 (주)프라임 시스템, 미파 코리아(주)에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 토목섬유 설계 및 시공요령(1998), 한국지반공학회
2. Koerner R. M. (1997), "Designing With Geosynthetics" Fourth Edition
3. Coleman D. M. (1990) "Use of Geogrid in Railroad Track : A Literature Review and Synopsis", US Army Engineers Waterway Experiment Station
4. Webster S. L. (1993) "Geogrid Reinforced Base Courses for Flexible Pavement for Light Aircraft : Test Section Construction, Behavior Under Traffic, Laboratory Tests and Design Criteria", US Army Engineers Waterway Experiment Station
5. Tensar Technical Note : BR 5 "Design Guideline for Subgrade Improvement under Dynamic Loading with Tensar Geogrids, 1988
6. Haas, R., Walls, J. C., and Carroll, R. G. 1988. "Geogrid Reinforcement of Granular Bases in flexible Pavements, "Effects of Geosynthetics on Soil Properties and of Environment on Pavement Systems", Transportation Research Record 1188, Transportation Research Board National Research Council, Washington, DC.