

지오그리드를 활용한 인천국제공항 활주로 보강사례

Case Study of Geogrid Reinforcement in Runway of Incheon International Airport

신은철¹⁾, Eun Chul Shin, 오영인²⁾, Young In Oh, 이규진³⁾, Lee Kyu-Jin

¹⁾ 시립 인천대학교 공과대학 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Eng., Univ. of Incheon

²⁾ 시립 인천대학교 대학원 토목공학과 박사과정, Ph. D. Student, Dept. of Civil Eng., Univ. of Incheon

³⁾ 충북대학교 토목공학과 대학원 박사과정 수료, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Eng., Univ. of Incheon

SYNOPSIS : The Incheon International Airport site was formed by reclaimed soil from the sea. The average thickness of soft soil is about 5 m and most of soft soils are normally consolidated or slightly overconsolidated. There are many box culverts which are being constructed under the runways in the airfield. Sometimes, differential settlement can be occurred in the adjacent of box culvert or underground structures at the top layer of runway. Soil compaction at very near to the structure is not easy all the time. Thus, one layer of geogrid was placed at the bottom of lean concrete layer for the concrete paved runway and at the middle of cement stabilized sub-base course layer for the asphalt paved runway. The length of geogrid reinforcement is 5m from the end of box culvert for both sides. The extended length of geogrid was 2m from the end of backfill soil in the box culvert. The tensile strength tests of geogrid were conducted for make sure the chemical compatibility with cement treated sub-base material. The location of geogrid placement for the concrete paved runway was evaluated. The construction damage to the geogrid could be occurred. Because the cement treated sub-base layer or lean concrete was spread by the finisher. The magnitude of tensile strength reduction was 1.16% ~ 1.90% due to the construction damage and the ultimate tensile strength is maintained with the specification required. Total area of geogrid placement in this project is about 50,000 m².

Key words : geogrid-reinforced runway, box culvert, construction damage, differential settlement

1. 서론

영종도와 용유도 사이를 매립하여 현재 시공 중인 인천국제공항은 2001년도 개항을 목표로 마지막 공사에 박차를 가하고 있다. 따라서 1999년도에는 지하구조물 완성과 활주로 공사가 마무리 단계에 있다. 인천국제공항의 경우, 연약 점성토층은 대략 5~10m정도 분포하고 있으며, 연약지반 압밀축진을 위해 유도도와 계류장에는 40cm 직경의 샌드드레인을 3.0~3.5m간격으로 설치하였다. 또한 활주로 지역에는 유도로나 계류장보다 좁은 2.8m간격으로 샌드드레인을 설치하였으며, 배수재 설치 후, 선행재하공법을 실시하였다. 일반적으로 지하구조물 시공은 먼저, 지하 터파기를 하고 구조물을 축조 후, 되메우기 작업을 실

시한다. 이러한 지하구조물 상부에 활주로가 건설될 때, 여러 지점에서 지하구조물과 활주로가 교차되는 지점이 자연 발생하게 된다. 고도의 안전성을 요구하고 있는 비행기 활주로는 부등침하가 없이 완벽하게 시공이 되어야 하지만 현실적으로 지하구조물 주변 되메우기 구간의 다짐은 품질관리가 어렵기 때문에, 어느 정도의 부등침하는 예상되는 바이다. 이 연구에서는 지하구조물 횡단구간 상부 활주로 포장층에 지오그리드를 포설하여 부등침하를 방지하고 활주로의 안정성을 확보할 수 있는 방안에 대하여 연구를 수행하였다. 아스팔트 포장 활주로구간의 지하구조물 상부보강 단면은 그림 1.1과 같다.

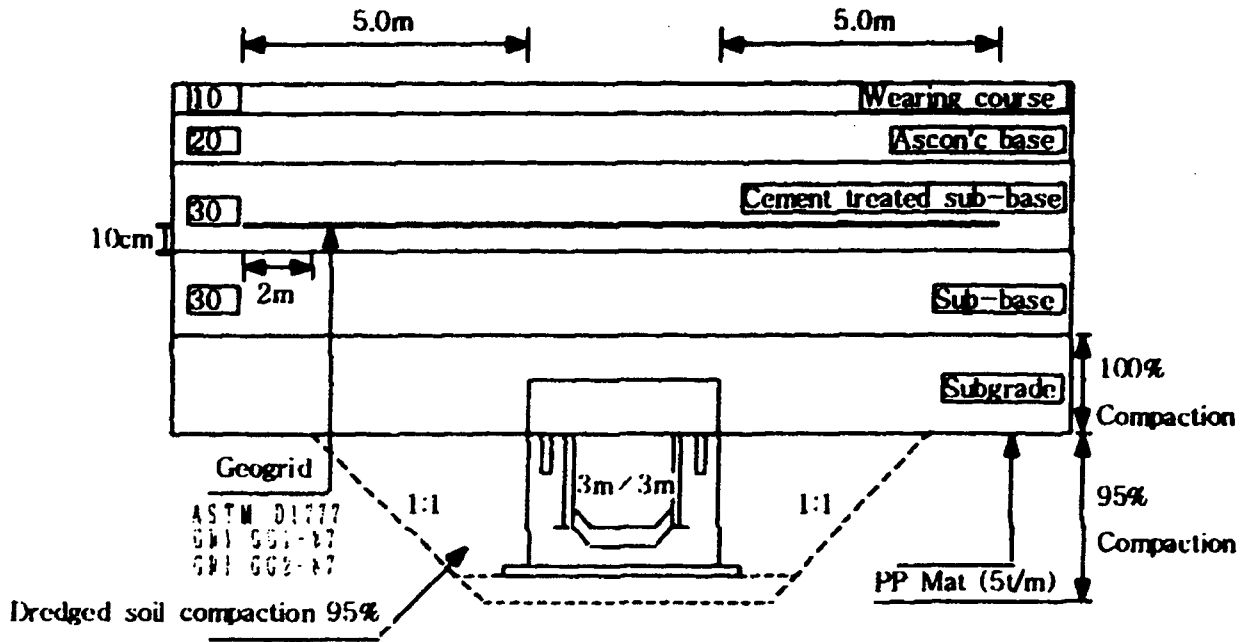


그림 1.1 아스팔트 포장 활주로 구간의 지하구조물 상부 보강단면

2. 연구내용 및 범위

이 연구에서는 포장보강 보강재로 사용되는 지오그리드의 최적의 보강위치 및 시공방향과 시공조건에 적합한 설계 및 시공방법을 도출하기 위하여 크게 세 단계로 나누어 연구를 수행한다. 첫 번째 연구단계에서는 활주로 포장구조에 사용되고 있는 동상방지층과 노상토층에 대한 토질역학적 시험을 실시하며, 활주로 포장보강에 적합한 지오그리드에 대한 선정시험을 실시한다. 두 번째 연구단계에서는 지오그리드의 최적 포설위치를 선정하기 위하여 시공성을 고려한 후, 지오그리드의 위치를 변화시키며 실내지력 시험을 수행한다. 또한 지오그리드가 시멘트 안정처리층에 포설 될 경우 수화반응에 대한 화학적 안정성에 대하여 시험을 실시한다. 최종 세 번째 연구단계에서는 시공조건에 적합한 설계 및 시공을 위하여 인천국제공항 활주로 구간에 시험시공을 실시한 후 시공성 및 시공 시 손상도에 대하여 연구를 수행하였다.

3. 시험방법

3.1 지오그리드의 선정시험

일반적으로 지오그리드는 폴리프로필렌(PP)이나 고밀도 폴리에틸렌(HDPE), 폴리에틸렌 등의 고분자 합성재료로 리브사이의 간격이 대략 1~10cm를 가진 격자형 평면구조의 토목섬유이다. 이러한 지오그리드 제조방법에 따라 강성지오그리드와 연성지오그리드로 크게 분리할 수 있다. 또한 강성그리드 중 양축 방향연신인 Biaxial 지오그리드와 일축 방향연신인 Uniaxial 지오그리드가 있다. Biaxial 지오그리드는 주로 연약지반 보강용으로서 도로, 포장, 구조물 및 절·성토 보강용으로 사용되며, Uniaxial 지오그리드는 보강토 옹벽, 급사면 보강용으로 사용된다. 또한 지오그리드의 방향은 생산라인의 방향에서 롤(Roll)이 진행되는 방향이 MD(Machine direction)이고, 이와 직교하는 방향이 TD(Transverse direction)이다. 지오그리드는 각각의 제품 및 방향에 따라 다양한 특성과 강도특성을 보이므로 실제 현장에 적용 시, 지오그리드의 선정은 설계목적과 현장조건, 경제성을 고려하여 선택하여야 한다. 강성지오그리드의 연신 방향에 따른 형상은 그림 3.1과 3.2에 나타낸 바와 같다.

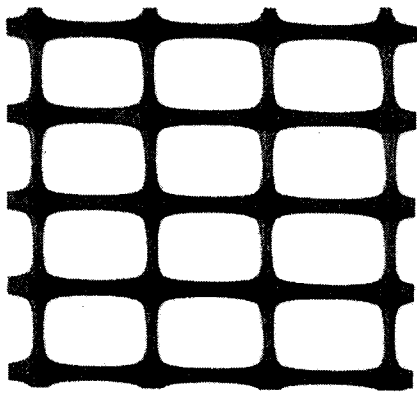


그림 3.1 양축방향 연신 지오그리드

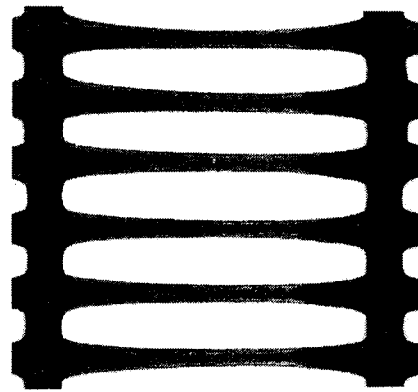


그림 3.2 일축방향 연신 지오그리드

이 연구에서는 지오그리드의 선정시, 판상(강성) 지오그리드와 직물상(연성)지오그리드의 지지력특성을 분석하기 위하여 2개 회사 제품을 선정하였다. 판상(강성) 지오그리드는 국내 업체에서 수입 판매하고 있는 제품이며, 직물상(연성) 지오그리드는 최근 국내 개발을 통하여 생산중에 있는 H사 제품을 사용하였다. 2종류 지오그리드의 기본 물성특성은 사용용도에 따라 크게 다르며, 특히 최대인장강도에 따른 비교가 어려우며 제품방향(MD), 직각방향(CD)등 시공방향에 따른 강도영향에 대한 고려도 반드시 수행되어야 한다. 따라서 설계 및 시공요건에 맞는 지오그리드의 선정은 상당히 중요한 문제이다. 이 연구에서 지오그리드의 선정시험은 실내모형 지지력시험을 수행하였으며, 사용한 지오그리드의 기본 특성은 표 3.1에 나타낸 바와 같으며, 지지력시험을 위한 지반조성은 그림 3.3에 나타낸 바와 같다.

표 3.1 지오그리드의 특성 값

특성 제품	구조	재질	단위 중량 (g/m ²)	제품 사이즈 (m)	격자 치수 (mm)	최대 인장강도 (kN/m)	5%신장시 인장강도 (kN/m)
A제품(강성)	일축신장타원구조	HDPE	600	1×50	220×13/17	90	50
B제품(강성)	양축신장 격자구조	P.P	230	4×100	41×31	CD: 20.5 MD: 14.5	CD: 15.0 MD: 9.5
C제품(연성)	양방향 집합	P.E	280	3.5×50	19×22	CD: 22.6 MD: 69.2	CD: 5.7 MD: 23.5

3.2 지오그리드 포설위치 선정을 위한 지지력시험

이 연구의 실내 지지력시험은 선정된 지오그리드에 대하여 보강심도 및 보강방향에 대한 보강효과를 분석하기 위하여 표 3.2와 같은 방법으로 시험을 수행하였다.

표 3.2 실내지지력 시험 종류

시험종류	보강재의 위치	보강방향
Test 1	린콘크리트 하부	MD방향
Test 2	동상방지층 내 (-5cm)	MD방향
Test 3	린콘크리트 하부	CD방향

3.2.1 실험장치

실내 장비는 크게 하중재하 장치, 모형 기초 및 토조로 구분되며, 하중 재하방법은 일정하중 및 일정 침하율 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 3.4에 나타낸 바와 같다.

3.2.2 지반조성

실내 지지력 시험에 사용된 토조의 크기는 25cm×100cm×70cm이며, 모형 지반은 크게 준설토 매립층, 동상방지층, 린콘크리트층으로 구분된다. 기초의 크기는 12cm×7.5cm로 하중재하에 따른 린콘크리트층 관입 시 기초의 변형을 고려하여 강성 직사각형 기초를 사용하였다.

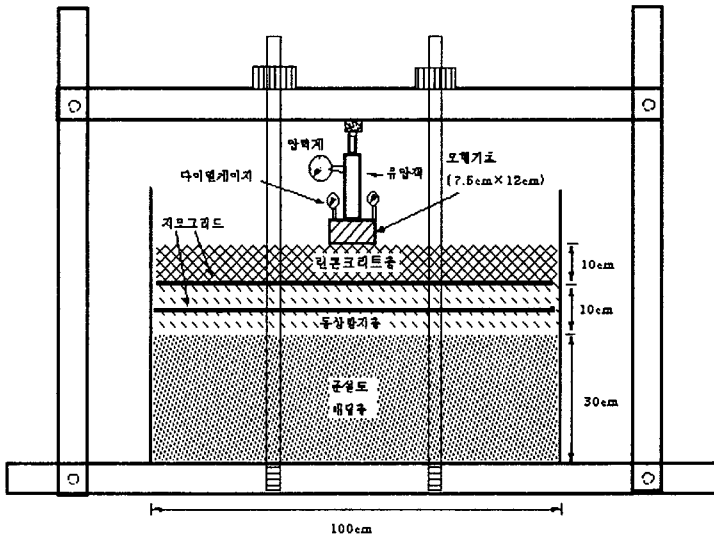


그림 3.3 실내지지력시험 지반조성 및 시험장치

(1) 준설토 매립층

준설토매립토층은 현장조건과 동일하게 현장에서 사용되고 있는 준설토 매립토를 포설하여 시험을 실시하였다. 다짐은 최대건조 밀도 1.72g/cm³의 95%인 1.634g/cm³, 최적함수비 13.3%로 다짐을 실시하였다.

(2) 린콘크리트층

린콘크리트층의 배합설계는 시방기준에 맞추어 시멘트함량 185kg/m³으로 7일 압축강도가 50kg/cm²의 강도로 발휘하도록 배합설계를 실시하였다. 또한 린콘크리트층의 단위 부피 당 시방에 규정된 중량만큼 다짐을 실시하였다. 본 연구에 사용된 린콘크리트층의 시방배합은 표 3.3에 나타낸 바와 같다.

표 3.3 린콘크리트층의 시방배합표 (1배치)

강도 (kg/cm ²)	굵은 골재 최대치수 (mm)	단위시멘트량 (kg)	단위시멘트량 (kg)	모래 (kg)	부순모래 (kg)	굵은 골재량 (kg)
50	50	3.575	4.625	11.18	13.2	29.1

(2) 동상방지층

이 연구에 사용된 동상방지층(쇄석기층)의 토질역학적 특성치는 표 3.4에 나타낸 바와 같으며 다짐시험 결과, 최대건조밀도는 2.23g/cm³, 최적함수비는 5.5%를 나타내었다. 동상방지층 시료에 대한 다짐곡선은 그림 3.4와 같다.

표 3.4 동상방지층 시료의 토질역학적 특성치

구분	시험항목	단위	시방기준	시험결과
동상방지층	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

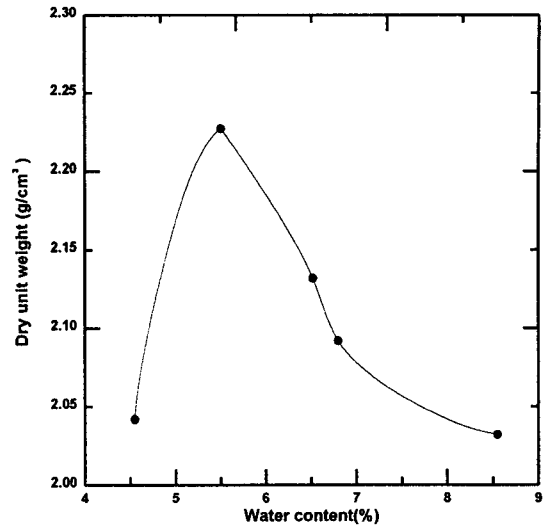
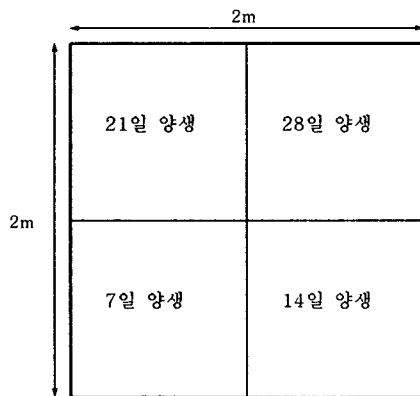


그림 3.4 동상방지층 재료의 다짐곡선

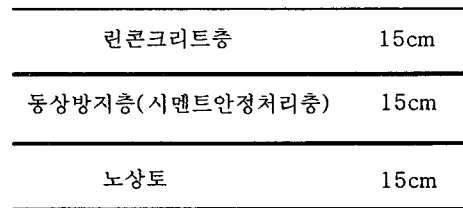
이 연구에서는 동상방지층의 다짐도를 다짐시험결과에 따라 최대건조밀도 2.23g/cm³의 95%인 2.15g/cm³과 함수비는 그림 3.4에서 나타낸 바와 같이 최적함수비 5.5%에 맞추어 동상방지층을 조성하였다.

3.3 수화반응에 대한 화학적 안정성 시험

지오그리드 최적포설위치가 린콘크리트 바로 밑으로 결정됨에 따라 린콘크리트 양생 시 발생하는 수화열이 지오그리드의 내구성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 그림 3.5과 같이 현장포설을 실시함으로써 지오그리드의 화학적 반응에 대한 안정성을 검토하였다. 시험시공 현장조성은 가로 2m, 세로 2m의 정방형 구간으로 노상토층을 15cm, 동상방지층(시멘트안정처리층)을 15cm로 하여 최대건조밀도의 95% 다짐을 하였다. 린콘크리트층은 15cm로 단위부피당 시방에 규정된 중량만큼 다짐을 하여 조성하였다.



(a) 양생일별 지오그리드의 포설



(b) 시험시공현장 단면도

그림 3.6 지오그리드와 콘크리트와의 화학적 반응시험 시공현장 모식도

3.4 현장시험시공을 통한 시공 시 손상(Construction damage)시험

지오그리드의 시공 시 손상을 조사하기 위하여 인천 국제공항 활주로 공사현장에서 동상방지층 사이에 지오그리드를 길이 10m, 폭 1.2m로 포설하고, 마캐덤롤러, 타이어롤러, 진동롤러 등의 다짐장비를 이

용하여 다짐을 실시한 다음, 상부 동상방지층을 제거하고 지오그리드를 꺼내어 인장강도 변화를 분석하였다. 현장 시험시공에 사용된 지오그리드의 물리적 특성은 표 3.5에 나타낸 바와 같다.

표 3.5. 현장시험시공에 사용된 지오그리드의 물성치

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

4. 실험결과 및 분석

4.1 지오그리드 선정시험 결과

이 연구의 지오그리드 선정시험은 뒷채움 지역의 다짐도가 부족할 경우에 대한 고려를 위하여 준설토 매립층과 동상방지층의 다짐도를 최대건조밀도의 80%로 다짐한 후 지지력시험을 실시하였으며 시험결과는 그림 4.1에서 보는바와 같다.

현재 설계 항공기 단위하중이 15Ton/m²일 때 무보강지반의 경우, 침하가 3.5cm 이상 발생되어 일반적인 구조물 허용침하량 기준치인 2.5cm 발생 이전에 지반의 파괴가 발생됨을 알 수 있다. 그러나, 상대적으로 지오그리드로 보강된 지반의 경우 강성지오그리드 중 Uniaxial type인 A제품의 경우 1.5cm, 연성 지오그리드인 C제품의 경우 2.45cm가 발생되었으며, 강성지오그리드 중 Biaxial type인 B제품의 경우 최소값인 0.7cm의 침하량을 보였다. 또한 허용침하량 2.54cm에서의 지지력 증가비(BCR_u)는 A, B, C제품 각각 1.20, 1.66, 1.10을 나타내었다. 즉, 무보강지반에 비하여 지오그리드로 보강하였을 경우, 지지력 확보 및 부등침하량을 최소화할 있는 최적 보강재는 B제품으로 판단된다.

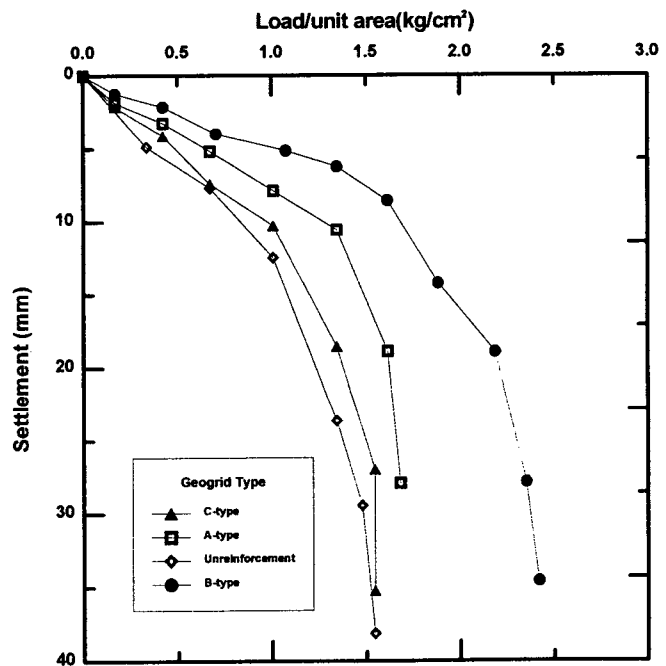


그림 4.1 지오그리드 선정시험결과 (다짐도 80%)

4.2 지오그리드 포설위치 선정을 위한 지지력시험 결과

지오그리드의 보강위치에 따른 실내지지력시험 결과는 그림 4.2와 그림 4.3에 나타낸 바와 같다. 그림 4.2에서 보는 바와 같이 린콘크리트층 바로 밑에 보강했을 경우, 항복강도가 114kg/cm²으로 동상방지층에 포설했을 때 보다 약 1.04배의 지지력 증가효과를 보였다. 즉 지오그리드를 린콘크리트 바로 밑에 포설했을 경우, 지오그리드의 인장력에 의해 상부하중에 의한 린콘크리트의 선행파괴를 지연시키기 때문에 지지력이 크게 나타난 것으로 판단된다. 상기의 실험결과 지오그리드의 포설은 동상방지층 내에 포설하는 것보다 린콘크리트층 바로 밑에 설치하는 것이 더 큰 보강효과를 낼 것으로 판단된다.

또한 지오그리드의 포설방향에 따른 지지력특성을 분석하기 위하여, 포설심도는 포설위치 결정시험을 통하여 결정된 린콘크리트 하부에 지오그리드를 MD방향과 CD방향으로 각각 포설하여 실내지지력 시험을 수행하였다. 포설방향에 따른 지지력시험 결과는 그림 4.3에 나타낸 바와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 지오그리드의 시공방향(MD)방향으로 보강재를 포설하였을 경우가 시공방향에 직각(CD)방향으로 포설한 경우에 대하여 약 1.01배의 지지력 보강효과를 나타내었다. 지오그리드의 포설방향에 따른 지지력 변화가 경미하여 시공 시 용이한 방향으로 지오그리드의 포설을 실시하여도 지지력 확보 및 부등침하방지에 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.

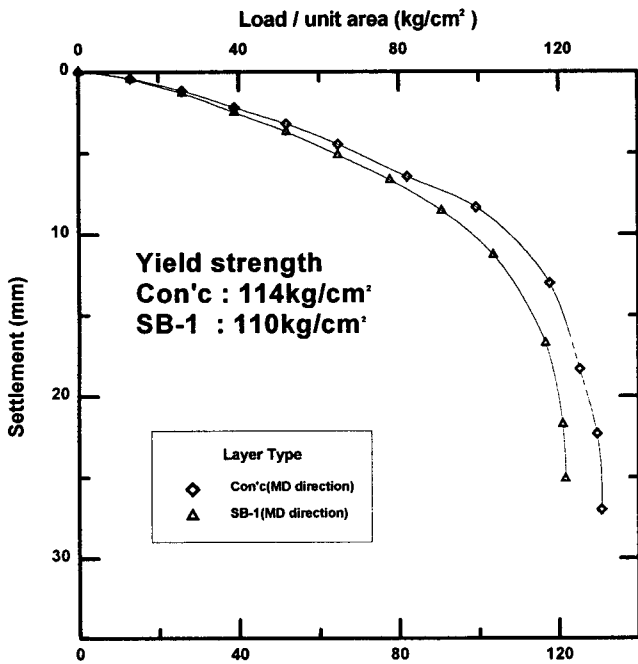


그림 4.2 지오그리드 위치에 따른 지지력시험 결과

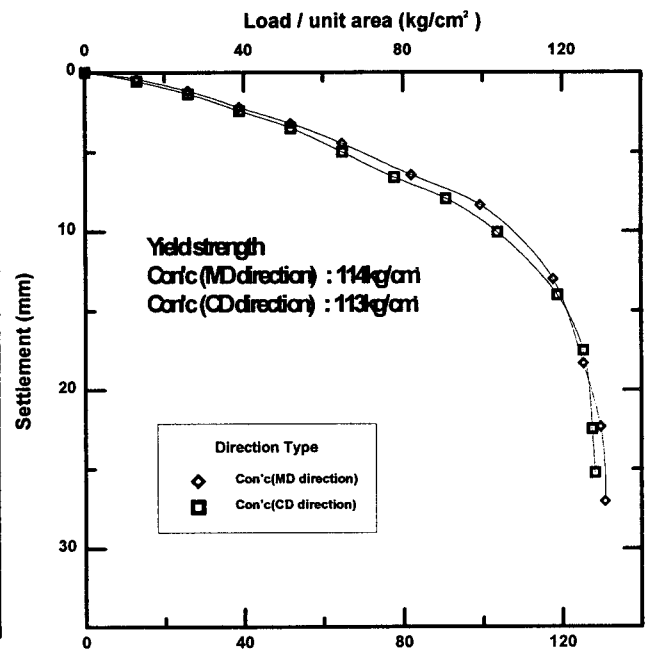


그림 4.3 지오그리드 방향에 따른 지지력시험결과

4.3 수화반응에 대한 화학적 안정성 시험 결과

양생일에 따른 지오그리드의 인장강도 시험결과 중 7일 양생, 28일 양생시료에 대하여 그림 4.4~4.5에 도시하였다. 지오그리드의 인장시험 결과 양생 7일 경과한 시료의 인장강도는 원래강도보다 9.4% 감소하였으며, 양생 14일 경과시료의 경우 6.43% 강도감소 현상을 나타내어 감소폭이 양생 7일 경과시료보다 줄어들었다. 양생 21일 경과 시료에 대한 인장강도는 원래강도보다 2.48% 증가된 값을 나타내었으며, 양생 28일 경과시료는 원래 지오그리드의 인장강도보다 3.84% 증가되어 다소 크게 나타났다. 이러한 결과는 양생일 초기에는 수화열등 여러 요인에 의하여 지오그리드의 강도가 감소되었으나 양생일이 경과할수록 수화열이 감소하고 외부온도가 콘크리트 내부온도보다 높아 지오그리드의 강도가 다소 증가된 것으로 판단된다. 물론 인장강도 시험 수행 시 시험오차가 다소 있을 수 있다.

시방서에 규정된 지오그리드의 5%신장 시 인장강도는 28이상이므로 양생일별에 따른 모든 시료가 품질기준을 만족하므로 당 현장에 사용된 지오그리드는 린콘크리트와의 수화열로 인한 화학적 반응에 큰 문제가 없이 설계인장강도 이상의 값을 유지하는 것으로 나타났다.

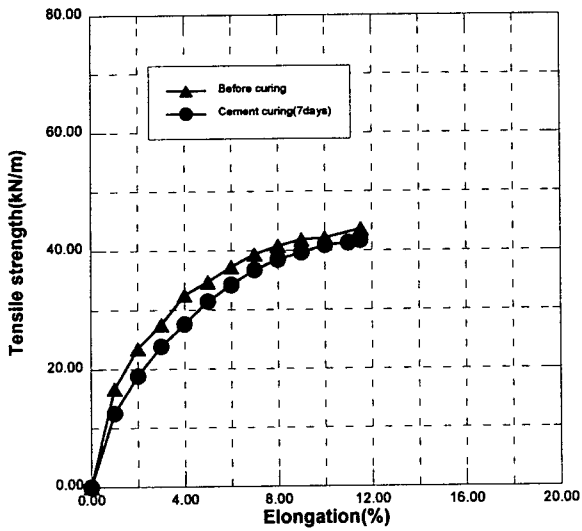


그림 4.4 7일 경과 후 지오그리드의 인장강도

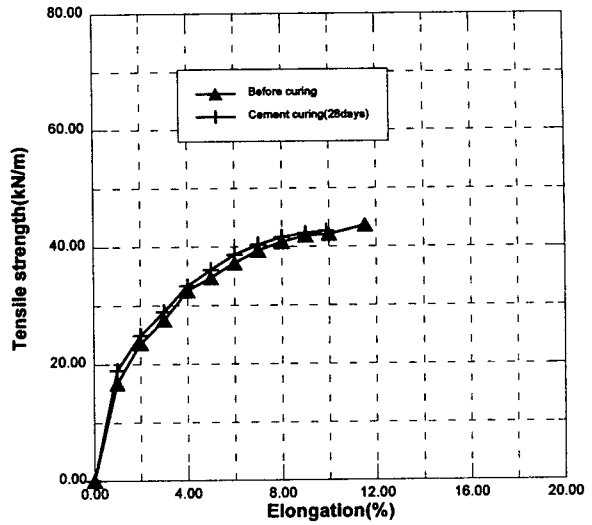


그림 4.5 28일 경과 후 지오그리드의 인장강도

4.4 시공 시 손상(Construction damage)시험

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 4.1 및 그림 4.6, 그림 4.7에 나타낸 바와 같다.

표 4.1. 시공 전·후의 인장강도 변화 및 손상을

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

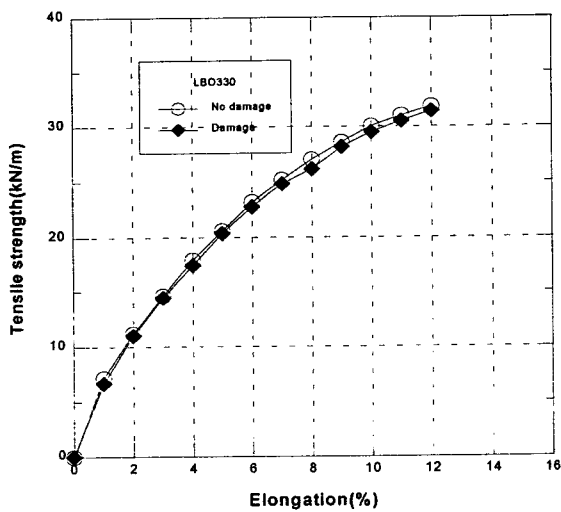


그림 4.6 시공 전·후의 MD방향 인장강도

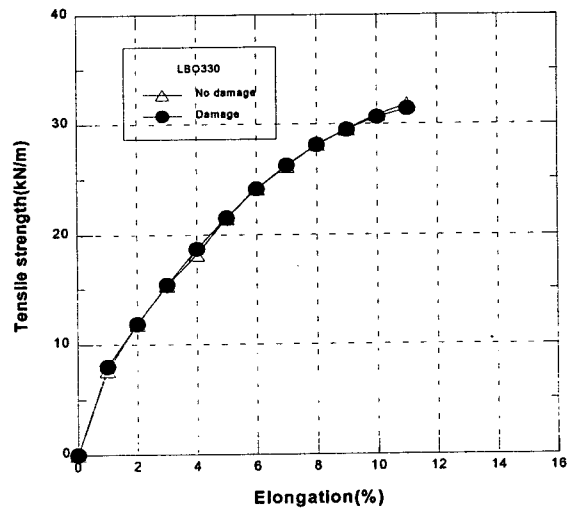


그림 4.7 시공 전·후의 CD방향인장강도

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 4.1에 나타난 바와 같이 시공에 따른 지오그리드의 손상율은 모두 2%미만으로 나타났다.

5. 결론

활주로 및 유도로, 계류장 하부 지하 구조물 횡단구간의 포장보강재(지오그리드)의 특성시험을 실시하였다. 첫 번째로 지오그리드의 종류에 따른 선정시험을 실시하였으며, 두 번째 보강심도 및 포설방향에 따른 실내지지력시험을 실시하였으며, 또한 콘크리트의 수화반응에 대한 화학적 안정성시험을 실시하였다. 마지막으로 시공 시 발생할 수 있는 손상 대한 분석을 통하여 정확한 설계 및 시공 방안을 도출하였다. 상기의 시험결과 및 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 연약지반보강 및 도로·활주로 포장 보강공법에 사용되는 지오그리드는 크게 강성지오그리드와 연성지오그리드로 구분되며, 지오그리드의 선정은 설계목적 및 현장조건, 경제성 등을 고려하여 선정하여야 한다. 지오그리드의 특성은 일반적으로 신율과 인장강도를 기본으로 하고 있으나 현실적으로 지오그리드의 선정은 단순한 인장강도에 따른 비교선정이 아닌 지오그리드의 사용목적 및 설계목적에 따른 정확한 분석이 필요하다.
2. 강성지오그리드가 연성지오그리드 보다 인장강도는 작은 값을 가지고 있지만, 보강토옹벽이나 사면 보강과는 달리 연직하중(륜하중)을 받는 지반 내에 포설 될 경우, 강성지오그리드와 쇄석의 강한 결속력으로 인하여 동일하중에 대하여 부등침하량이 적게 발생되기 때문에 설계목적 상 부등침하 방지와 소요의 지지력을 확보하기 위해서는 강성지오그리드를 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.
3. 지오그리드의 포설심도에 대한 실내지지력 시험 결과, 린콘크리트층 바로 밑에 보강했을 때 항복강도가 114kg/cm^2 으로 동상방지층에 포설했을 때 보다 약 1.04배의 지지력 증가효과를 보였다. 즉 지오그리드를 린콘크리트 바로 밑에 포설했을 경우, 지오그리드의 상부하중의 직접적인 분산효과를 통하여 린콘크리트의 선행파괴를 지연시키기 때문에 지지력이 크게 나타난 것으로 판단된다. 상기의 실험결과 지오그리드의 포설은 동상방지층 내에 포설하는 것보다 린콘크리트층 바로 밑에 설치하는 것이 시공성에서 더 편리할 것으로 판단된다.
4. 지오그리드의 포설방향에 따른 지지력 변화가 경미하여 시공 시 용이한 방향으로 지오그리드의 포설을 실시하여도 지지력 확보 및 부등침하방지에 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.
5. 지오그리드의 수화반응에 대한 화학적 안정성 시험 결과, 린콘크리트와의 수화열로 인한 화학적 반응에 큰 문제가 없이 설계인장강도 이상의 값을 유지하는 것으로 나타났다.
6. 시공 시 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

이 연구를 수행하는 동안, 현장시험에 도움을 주신 현대건설(주)의 박정복 공사부장과 기술적인 지원을 주신 유신코퍼레이션의 최인걸 이사와 인천국제공항공사의 김학철 대리에게 감사드립니다.

참고문헌

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. Yarger, T.L., Harrison F.E. , Mayberry E.W. (1991), "Geogrid Reinforcement and Stabilization of a Highway Subgrade" Geosynthetics 91' Conference Atlanta, USA
5. Groot, M.B., Hoedt G.D., Termaat R.J.(1996), "Geosynthetics : Application, Design and Construction, AA Balkema
6. Tensar, Technical Note : BR 5 "Design Guideline for Subgrade Improvement under Dynamic Loading with Tensar Geogrids, 1988
7. Terzaghi, K and Peck, R. B.(1967) "Soil Mechanics in Engineering Practice", John Wiley and Sons, New York
8. Rodin, S.(1965), "Ability of a Clay Fill to Support Construction Plant", Journal of Terramechanics, Vol. 2, No. 4
9. Chaddock, B. C. J. 1988. Deformation of Road Foundations with Geogrid Reinforcement. Transport and Road Research Laboratory Research Report 140, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, England.
10. Giroud, J. P., Ah-Line, C., and Bonaparte, R. 1985. "Design of Unpaved Roads and Trafficked Areas with Geogrids, "Polymer Grid Reinforcement - Conference Proceedings. Published by Thomas Telford Limited, London, England.
11. Jarrett, P. M. 1986. "Load Tests on Geogrid Reinforced Gravel Fills Constructed on Peat Subgrades, "Proceedings. Third International Conference on Geotextiles. Vienna, Austria.
12. Milligan, G. W. E., and Love, J. P. 1985. "Model Testing of Geogrids under an Aggregate Layer on Soft Ground, "Polymer Grid Reinforcement - Conference Proceedings. Published by Thomas Telford Limited, London. England.
13. Tensar Corporation. 1986a (Mar). Granular Base Reinforcement of Flexible Pavements Using Tensar Geogrids. Tensar Technical Note TTN: RR1, Morrow, GA.