

# 지오그리드를 이용한 보강사면의 현장 계측 연구

## Site Monitoring and Analysis of the Reinforced Slope with geogrid

\*1김진만 Kim, Jin-Man  
\*2조삼덕 Cho, Sam-Deok  
\*3최봉혁 Choi, Bong-Hyuck

### Abstract

Geosynthetics as a reinforcing material for earth structures have ever increased due to their excellent economy, fine external appearance, and easy construction. Geogrids are high-strength, orientated-polymer grid structures used to reinforce soil. This paper deals with the construction and site monitoring for a 5.1m high-reinforced slope with 75° steep. The purpose of site monitoring is to evaluate the applicability of reinforced slope with geogrid. Full scale field performance during and after construction was monitored by incorporating instrumentation including strain gauges on the geogrid, and horizontal and vertical movements.

### 요 지

본 연구에서는 Jewell의 설계도표에 의해 설계된 보강사면의 시험시공을 통한 현장계측을 실시하여 현장 성토체의 다짐특성, 사면의 변형특성, 침하특성 등을 분석함으로써 지오그리드를 이용한 보강 사면의 적용성과 전체적인 안정성을 평가를 수행하였다. 안정성 평가 결과, Jewell의 설계도표에 의해 설계된 보강사면은 전체적으로 안정한 것으로 평가되었으며, 식생매트 포설에 따른 식생의 활착은 현재의 경과 시간만을 고려하면 외관상 안정된 식생 발아 상태를 보이나, 식생의 발아가 경사면에 비해 시공 포설 경계층에 집중되어 이에 대한 보완이 요구된다.

**Keywords :** Geogrid, Geosynthetics, Reinforced slope, Monitoring

### 1. 서론

전 세계적으로 최근 들어 환경보호 또는 공비절감이라는 측면에서 자연 혹은 인공사면의 경사를 급하게 시공하여야 하는 경우가 발생하고 있다. 이러한 경우에 사면의 안정성이 확보되어야 하므로 사면의 활동 파괴를 방지하기 위한 적절한 방안 중의 일환으로서, 다층의 지오그리드 혹은 지오텍

스타일과 같은 토목섬유를 사면내에 포설하는 보강 사면 공법이 적용되고 있다. 일반적으로 보강 사면은 전면경사가 70°이내인 토사 사면의 구조체에 평면 보강재를 설치하는 역학적 보강토 구조물의 일종으로 간주된다.

보강 사면 공법의 적용은 사면의 정상 혹은 선단에서 여유부지 및 성토량 경감 등의 잇점이 있으며, 또한 역학적으로 다소 미흡한 성토재를 사용할 수

\*1 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원(Member, Senior Research, Geotechnical Research Dept., KICT)  
\*2 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원(Member, Research Fellow, Geotechnical Research Dept., KICT)  
\*3 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원(Member, Research, Geotechnical Research Dept., KICT)

있다는 장점도 있다. 보강 사면의 주 적용 분야는 도로 제방, 임시 홍수 조절 구조물, 임시 우회도로, 붕괴 사면 및 철도 복구, 옹벽 대안 등이다.

한편, 국내에서도 사면안정의 차원에서 녹화 및 사면보호공법이 활발히 적용되고 있으나, 이들에 대한 대체 제품의 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 이런 상황에서 국내에서 개발된 제품인 지오그리드(TRIGRID)를 사면안정분야에 적용하여 그 효용성을 검토해 볼 필요성이 있다. 따라서, 본 연구에서는 보강 사면의 적용성과 안정성 평가를 위해서 직접 시험시공을 실시하고 보강 사면 현장에 침하계, 수평변위계, 스트레인 게이지, 경사계 등의 각종 계측기를 매설하여 보강 사면 구조물에 작용하는 지오그리드에 발현되는 변형 형태 및 인장력의 크기와 침하특성, 식생 발아특성 등을 비교·분석하여 국산 지오그리드를 이용한 보강 사면의 적용성과 전체적인 안정성을 평가하고자 하였다.

## 2. 현장 시험시공

### 2.1 현장 개요

지오그리드를 이용한 보강사면의 안정성 평가를 위한 시험시공 및 계측 현장은 경기도 광주시 “(주)기성 콘크리트 공장부지 조성공사”의 사면구간 이다. 본 현장의 계측대상 보강사면의 시공높이는 1개소로 5.1m이며, 기초지반은 기반암이 풍화된 풍화암층으로 구성되어 있다. 보강사면의 뒤채움재로 사용된 흙은 본 현장에 넓게 분포되어 있는 화강풍화토를 사용하였으며, 현장 자연함수비 14.5%, 현장 단위중량 2.03t/m<sup>3</sup> 정도 이다.

본 현장의 보강사면 설계는 Jewell의 설계도표법을 이용하였다. 설계시 사용된 설계정수는 보강토 옹벽에 사용되는 블록 제작 공장의 야적시설을 감안하여, 흙의 내부마찰각,  $\phi$  30°, 흙의 단위중량 1.9t/m<sup>3</sup>, 상재하중 5.0t/m<sup>2</sup>으로 하였다.

### 2.2 평가 항목

본 연구를 위한 보강사면의 주요 평가항목은 표 1과 같고, 현장계측에 사용된 주요 장비는 플라스틱 계측용 스트레인 게이지, 경사계 등이다. 또한, 본 연구에서 보강사면의 안정성 검토를 위하여 설치된 계측기는 그림 1과 같이 스트레인 게이지 부착 보강재 5단 (한단에 스트레인 게이지 총 5개 부착), 침하판 4개, 변형측정을 위한 기준틀 3개를 매설하여 시공후의 계측을 수행하였다.

### 2.3 계측기 매설 및 시공 방법

스트레인 게이지 설치는 그림 2(a)와 같이 지오그리드의 부착면을 깨끗하게 한 후, 스트레인 게이지 전용접착제(CN)로 접착시키고 방수처리를 위해 방수테이프를 붙인 후 그 주변을 다시 우레탄 수지로 밀봉하여 이중 방수처리하는 방식으로 수행되었다. 한편, 지중침하를 측정하는 침하판은 그림 2(b)와 같이 40cm×30cm의 강성판, 강성봉, 연결핀, P.V.C관 등으로 구성되어 시공중 수평을 유지하면서 설치하였다. 보강사면의 토체내 수평변위 측정을 위한 경사계 설치는 그림 2(c)와 같이 케이싱을 풍화암반 지반에 1m 관입시킨 후 시멘트 그라우팅 처리를 통하여 고정 시키는 방법으로 수행되었으며, 변형측정을 위

표 1. 시험시공시 평가항목

평가항목	사용 장비	계측기 설치 현황
보강재의 인장변형률	스트레인 게이지	벽체저면으로 부터 0, 1.2, 2.4, 3.6, 4.8m지점에 총 5단 설치 (한단에 벽체저면으로 부터 0.1, 0.6, 1.6, 3.1, 5.1m에 총 5개의 스트레인 게이지 부착)
지중침하	침하판	기초저면으로 부터 0.0, 2.4, 3.6, 4.8m 총 4개 설치
벽체 전면의 수평변위	기준틀 설치	사면 연장방향의 3 단면 설치
현장다짐 밀도	RI장비	다짐틀 배면 및 성토체 중앙에서 각 3개소

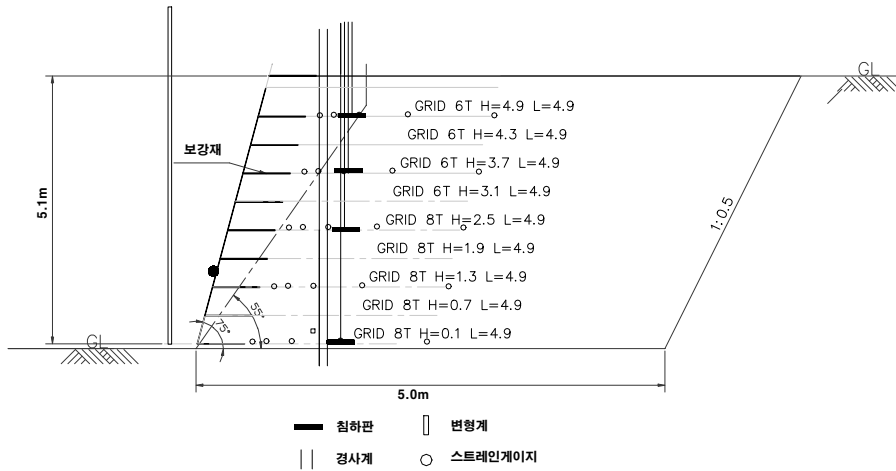


그림 1. 계측기 매설도

한 기준틀은 그림 2(d)와 같이 보강사면의 전면에 설치되었다.

보강사면의 시공은 지오그리드를 60cm 간격으로 포설한 후 매층마다 30cm 이하로 흙을 성토 다짐하고 이때 그림 2(e)와 같이 다짐틀을 2층 간격으로 설치하였다. 현장 다짐판리는 RI계기를 이용하여 다짐 정도를 다짐틀 배면과 성토체 중앙 부위에서 위치를 달리하여 3회 반복 측정하는 방식으로 수행하였다 (그림 2(f) 참조).

### 3. 계측 결과 및 분석

#### 3.1 현장다짐특성

현장 다짐은 사면경사면에서 1m 지점까지의 경우 1t 롤러를, 1m 이후의 지점의 경우 4.5t 롤러를 이용하여 수행되었다. 이때 사면경사면은 가설 다짐틀을 이용하게 됨으로써 다짐틀 배면에 다짐 취약부위가 발생된다.



(a) 스트레인게이지 부착



(b) 침하판 설치



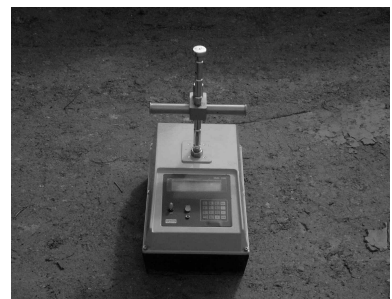
(c) 경사계 설치



(d) 변형측정을 위한 기준틀 설치



(e) 다짐틀 2층간격 설치



(f) RI 계기측정

그림 2. 계측기 설치 장면

표 2. 다짐틀 배면 및 성토체 중앙 부위의 다짐밀도 비교

측정위치	다짐층수									
	1단	2단	3단	4단	5단	6단	7단	8단	평균	
다짐틀 배면 (t/m <sup>3</sup> )	1.91	1.84	1.87	-	1.81	1.83	-	1.87	1.85	
성토체 중앙 (t/m <sup>3</sup> )	1.99	2.01	1.99	-	2.04	2.12	-	2.02	2.03	

표 2에서는 RI계기를 이용하여 측정된 다짐틀 배면과 성토체 중앙 부위의 다짐밀도를 비교하여 보여 준다. 표 2에서 보듯이 현장 다짐밀도는 평균적으로 다짐틀 배면의 경우 1.85t/m<sup>3</sup> 정도이고, 성토체 중앙 부위의 경우 2.03t/m<sup>3</sup> 정도로 평가 되었다. 즉, 다짐틀 배면의 다짐은 성토체 중앙부위 다짐밀도의 91% 정도인 것으로 평가되어, 다짐틀에 의한 영향이 크지 않은 것으로 평가 되었다. 또한, 다짐틀을 사용할 경우, 다짐장비는 본 현장과 같이 1t 롤러의 사용하는 것 보다는 진동램머를 사용하는 것이 바람직 할 것으로 여겨진다.

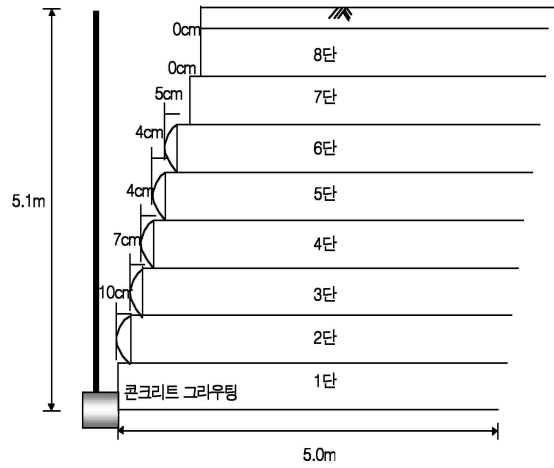


그림 3. 보강사면 높이에 따른 배부름 변화

### 3.2 보강사면의 변위특성

#### (1) 경사면 배부름 특성

사면경사면의 배부름 변화형태는 다음의 그림 3과 같이 지오그리드 포설단면별로 포설단면의 중앙에서 가장 크게 발생되고, 높이별로 보면 사면경사면의 하단에서 다소 그 크기가 큰 것으로 평가되었다. 이때 사면경사면의 배부름은 4~10cm 정도인 것으로, 사면높이, H의 0.78~1.96%가 발생하는 것으로 나타났다.

이러한 배부름 특성은 성토에 따른 자중 및 다짐에 의한 영향으로서 성토 자중이 커질수록 다짐틀의 제거에 따른 사면경사면의 구속효과가 없어짐으로써 발생된다. 일반적으로 성토 후 보강사면은 침식방지를 위한 사면식생을 수행함으로써 사면경사면의 안정이 확보되고, 위에서 언급된 사면경사면의 배부름은 식생의 성장에 따라 감추어져 구조물의 미관적 안정성에 영향을 미치지 않는다. 이때 다짐틀의 형상 및 설치방법은 경사면 배부름 특성에 영향을 미치지므로 잘 선정해야 한다. 시공결과, 70°이상의 급경사 사면은 임시 가설 다짐틀 보다는 고착형 다짐틀의 설치

가 요구된다.

#### (2) 보강토체내 변형특성

일반적으로 보강사면은 급경사에 따른 지반보강의 필요성에 의한 것으로 설치되며, 설계의 경우 현재 보강사면 설계의 최대 경사도는 90°임으로써 보강토 옹벽과 같은 역할을 수행한다고 볼 수 있다. 본 계측은 Jewell의 설계도표에 의한 적합성 평가라는 측면에서 보강토체내 변위특성을 평가함으로써 안정성을 평가하고자 하였다.

그림 4에서는 경사계에 의한 보강사면내 토체변위 특성을 보여준다. 그림 4에서 보듯이 보강사면내 토체변위는 시공완료 후 1m 정도에서 2.9mm의 변형이 발생되어 안정된 것으로 평가 되었다. 따라서 Jewell 설계 방법은 토체 변형만을 고려할 경우 안정한 것으로 평가 되었다.

### 3.3 침하특성

시간경과에 따른 보강사면의 침하특성은 그림 5

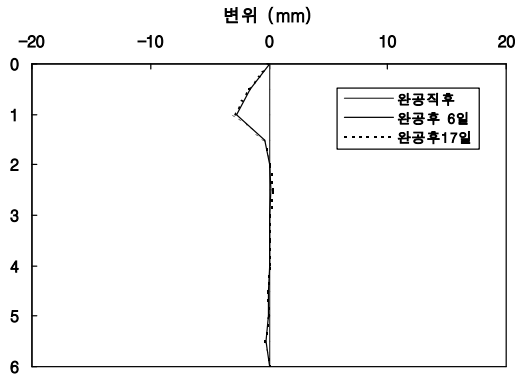


그림 4. 보강사면 토체내 수평변위의 변화

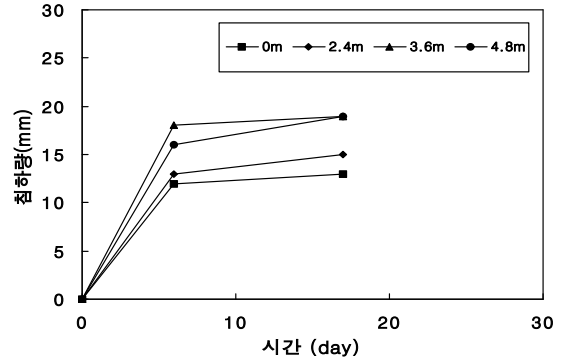


그림 5. 시공완료 후 시간경과에 따른 보강사면의 침하량 변화

에서 보듯이 시공완료 초기에 약간의 침하가 진행된 후 시간경과에 따라 큰 변화없이 일정한 값을 나타내는 경향을 보인다. 보강사면의 침하는 경우 기초지반에서 13mm, 계측된 최대높이인 4.8m에서 19mm 정도의 침하가 발생하였음을 알 수 있다.

이러한 보강토층의 침하는 흙의 성토 및 다짐에 따른 흙 입자간의 안정화에 기인하며 시간경과에 따라 급격히 감소되고 그 크기는 성토층 높이, H 에 대해 0.4% 정도가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 현재 보강사면과 유사한 보강토 옹벽에서 침하는 길이 방향에 대한 부등침하량의 비율이 1%이내가 되도록 하여야 한다. 따라서 본 현장의 침하는 부등침하 형태가 아니지만 발생된 침하량 모두를 부등침하라 가

정하여도 1% 미만으로 안정한 것으로 평가된다.

### 3.4 보강재 유발변위 특성

사면높이별 보강재의 유발된 인장 변형특성은 그림 6에서 보듯이 전면벽체에서 다소 변형률이 크고 그 이후로는 일정한 경향을 보이는 블록형 보강토 옹벽과 달리 사면높이(성토하중)에 무관하게 변형률이 일정한 경향을 보였다. 또한, 보강재의 변형특성은 초기 다짐 및 성토(대략 60cm 다짐시공)에 의해 유발된 보강재 인장변형과 크기를 비교해 볼 때 큰 차이가 없어, 성토하중에 의한 영향이 작은 것으로 평가되었다.

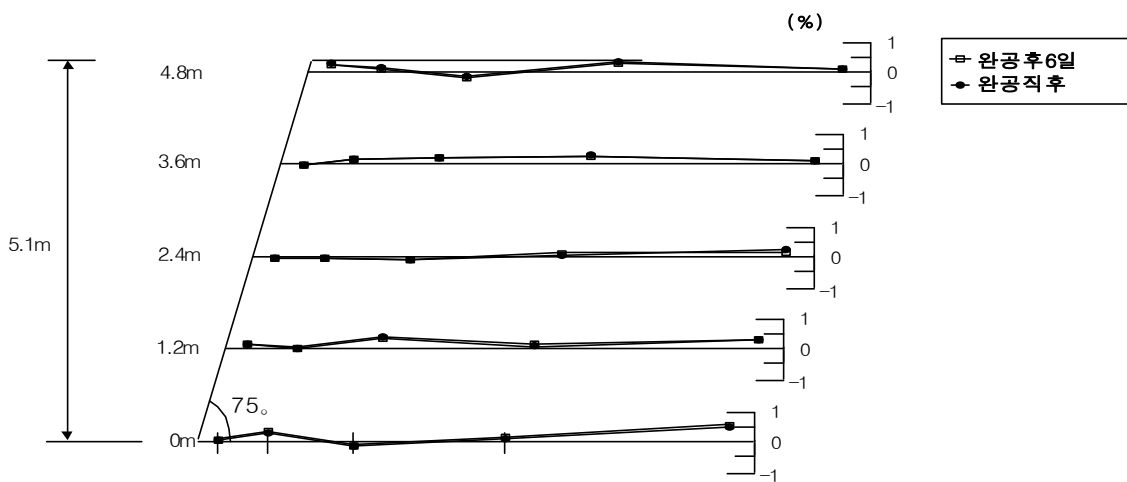


그림 6. 사면높이별 보강재의 유발변위 변화

한편, 보강재의 변형정도는 사면성토높이 상관없이 0.01~0.56% 정도로 보강재의 변형이 작게 나타났다. 일반적으로 블록형 보강토 옹벽의 보강재에 고려되는 설계인장변형은 광폭인장시험시 보강재의 변형률 5% 정도 이므로, 본 현장에서 사용한 보강재의 인장변형률은 설계인장변형에 못미치는 것으로, 보강재의 인장변형만을 놓고 볼 때 현 보강사면은 안정한 것으로 평가할 수 있다.

### 3.5 식생 발아 특성

본 현장 지오그리드 보강사면 식생의 발아 상태는 다음의 그림 10에 나타난 바와 같이 재령 2주일이 지난 경우 발아되어 싹이 나고 뿌리가 사면 토체로 자리잡게 되는 것을 알 수 있다. 또한, 발아 순서는 다짐층 사이의 뒷물림층의 수평면에 취부된 경우 3주일 정도면 발아가 시작되지만, 경사면의 경우 최소 4주 이상이 더 걸리고 발아속도가 느린 것으로 나타났다. 이러한 식생 발아 특성은 지표 경사 및 다짐에 따른 지반 강성의 영향에 의해서 나타난다. 또한, 식생의 성장상태는 본 현장의 경우 그림 10의 (c) 및

(d)에서 보듯이 시간경과에 따라 성장이 촉발되어 보강토체의 경계층을 덮는데 최소 50여일 정도가 소요되며, 1년경과 후 사면 전체로 식생이 안정적으로 활착되는 것으로 평가되었다.

한편, 그림 11에서는 식생매트 포설에 따른 식생 뿌리의 활착 정도를 보여준다. 그림 11에서 보듯이 시공된 식생매트는 식생용 퇴비나 일반 흙에 대한 침식을 방지할 뿐만 아니라 식생의 활착을 방해하지 않는 것으로 평가되었다. 한편, 식생매트 포설에 따른 식생의 활착은 현재의 경과 시간만을 고려하면 외관상 안정된 식생 발아 상태를 보이거나, 식생의 발아가 경사면에 비해 시공 포설 경계층에 집중되어 이에 대한 보완이 요구된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 지오그리드를 이용한 보강사면에 대하여 각종 계측기를 매설하여 보강사면의 다짐특성, 변위특성, 지중 침하특성, 보강재의 인장변형률 등에 대해 평가하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

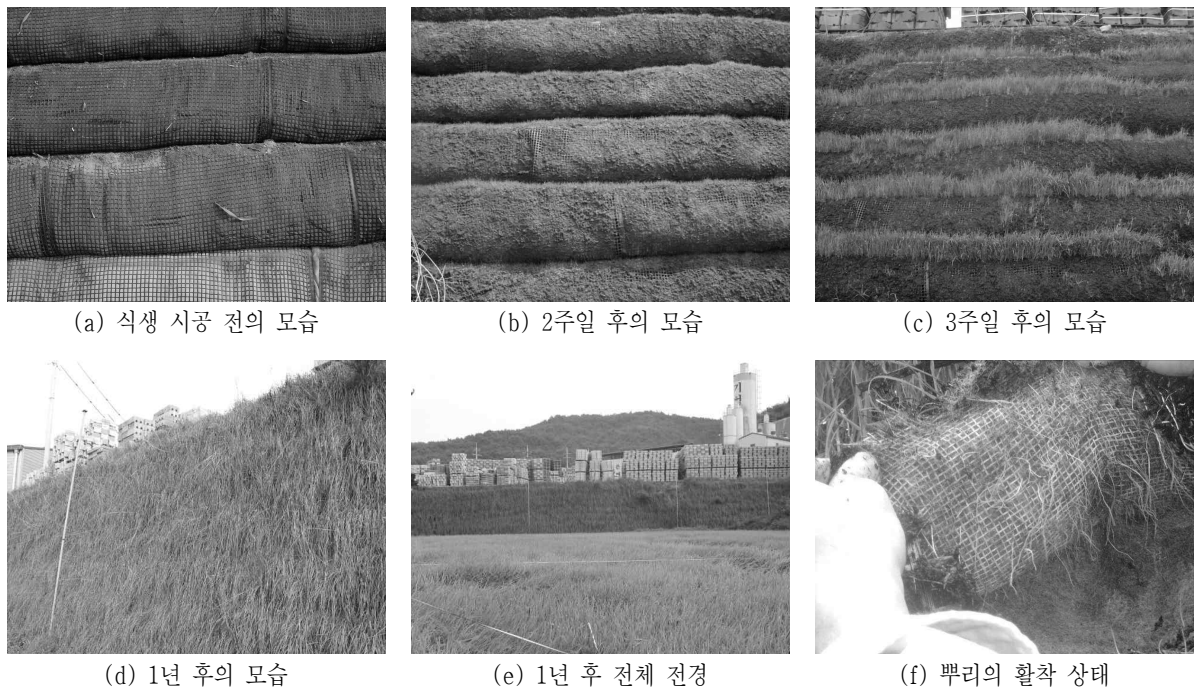


그림 7. 시간 경과에 따른 식생 상태

1. 계측현장에 각종 계측기를 매설하여 보강사면의 다짐특성, 변위특성, 지중 침하특성, 보강재의 인장변형률 등을 측정·분석하였다.

(i) 보강사면의 다짐률 배면의 다짐은  $1.85t/m^3$  정도로 성토체 중앙 부위  $2.03t/m^3$ 의 91% 정도인 것으로 평가되어, 다짐률에 의한 영향이 크지 않은 것으로 평가 되었다. 또한, 다짐률을 사용할 경우, 다짐장비는 본 현장과 같이 1t 롤러의 사용하는 것 보다는 진동램머를 사용하는 것이 바람직 하다.

(ii) 사면경사면의 배부름 특성은 지오그리드 사면 포설단면의 중앙에서 가장 크게 발생되고, 그 크기가 4~10cm 정도로 사면높이, H의 0.78~1.96%가 발생되며, 또한, 다짐률은 70°이상의 급경사 사면의 경우 임시 가설 다짐률 보다는 고착형 다짐률의 설치가 요구된다.

(iii) 보강사면의 침하는 흙의 성토 및 다짐에 따른 흙 입자간의 안정화에 기인하는 것으로 판단되며, 최대 침하량은 성토층 높이, H에 대해 0.4% 정도가 발생하여 매우 안정한 것으로 평가되었다.

(iv) 사면높이별 보강재의 유발된 인장 변형특성은 초기 다짐 및 성토(대략 60cm 다짐시공)의 영향에 의해 유발된 보강재 인장변형이 사면높이

(성토하중)에 무관하게 변형률이 0.01~0.56% 정도로 일정한 경향을 보였다.

(v) 식생매트 포설에 따른 식생의 활착은 현재의 경과 시간만을 고려하면 외관상 안정된 식생 발아 상태를 보이나, 식생의 발아가 경사면에 비해 시공 포설 경계층에 집중되어 이에 대한 보완이 요구된다.

2. 이상의 시험시공 결과로부터 보강사면의 다짐특성, 변위특성, 지중 침하특성, 보강재의 인장변형률 등을 고려해 볼 때 Jewell의 설계도표에 의해 시공된 보강사면은 전체적으로 안정한 것으로 평가되었다.

## 참 고 문 헌

1. 한국지반공학회 (1998), 토목섬유, 한국지반공학회 지반공학시리즈 9, pp. 11.
2. Jewell, R. A.(1987), "Reinforced soil wall analysis and behaviour", Application of polymeric reinforcement in soil retaining structures, NATO ASI Series E, Applied Science, Vol. 147, pp. 365~408.
3. Schlosser, F.(1990), "Mechanically stabilized earth retaining structures in Europe", Design and Performance of Earth Retaining Structures, ASCE Geotechnical Special Publication No. 25, pp. 347~378.
4. Leshchinsky, D. and Perry, E. B.(1989), "On the design of geosynthetic -reinforced walls", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 8, pp. 311~323.