

## 토목섬유를 이용한 임도 노면의 안정성 예비 분석\*

이관희<sup>1)</sup> · 오세욱<sup>2)</sup> · 고치웅<sup>3)</sup> · 김동근<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> 경북대학교 대학원 임학과 · <sup>2)</sup> 경북대학교 건설방재공학부

<sup>3)</sup> 경북대학교 대학원 생태환경시스템학과 · <sup>4)</sup> 경북대학교 생태환경시스템학부

## Preliminary Analysis of Stabilization of Forest Road Surface Using Geosynthetics\*

Kwan-Hee Lee<sup>1)</sup> · Se-Wook Oh<sup>2)</sup> · Chi-Ung Ko<sup>3)</sup> and Dong-Geun Kim<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Forestry, Graduate School, Kyungpook National University,

<sup>2)</sup> Department of construction and disaster prevention engineering, Kyungpook National University,

<sup>3)</sup> Department of Environment and Environmental System, Graduate School, Kyungpook National University,

<sup>4)</sup> Department of Environment and Environmental System, Kyungpook National University.

### ABSTRACT

This study conducted shear strength test and plate bearing test to look into the characteristics of bearing capacity using geosynthetics case on forest road surface. The shear strength test showed that the internal friction angle at the time when geosynthetics was used was measured larger on average than that in the unreinforced case. Therefore, using geosynthetics case produced more bearing capacity reinforcement effect. The result from the comparison test of internal friction angle by geosynthetics type revealed that the internal friction angle at the time when geotextile case was used was measured larger. That was attributable to the difference between the area of the total cross section of geotextile made in type of non-woven fabric and its material. Plate bearing test showed that the settlement at the time when geosynthetics was used was measured smaller than that in the

---

\* 본 연구는 2013학년도 경북대학교 학술연구비와 ‘산림청 자유공모과제(S121315L180120)’의 지원에 의해 수행되었음.

**First author** : Kwan-Hee Lee, Department of Forestry, Graduate School, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea,

Tel : +82-54-536-0545, E-mail : dlrhksgml29@naver.com

**Corresponding author** : Dong-Geun Kim, Department of Environment and Environmental System, Kyungpook National University, Sangju 742-903, Korea,

Tel : +82-54-530-1241, E-mail : dgkim96@knu.ac.kr

**Received** : 30 September, 2015. **Revised** : 11 November, 2015. **Accepted** : 13 November, 2015.

unreinforced case. Therefore, using geosynthetics produced more bearing power reinforcement effect. The result from the comparison test showed that geogrid case was measured smaller than geotextile case. Henceforth, It is seemed that it will be necessary to keep studying the reinforcement engineering and process of forest road surface which fits the characteristics and conditions of geosynthetics to prevent forest road damage.

Key Words : *Shear strength test, Loading test, Geogrid, Geotextile, Bearing capacity.*

## I. 서 론

최근 우리나라 임도는 2014년까지 19,077km를 개설하였고, 2030년까지 54,000km 개설을 목표로 하고 있으며, 향후 임도밀도를 8.5m/ha를 목표로 하고 있다. 또한, 이미 조성된 임도 중 피해 발생이 우려되는 구간에 필요한 공종을 보강하여 임도의 구조를 개량하는 사업을 ‘임도구조개량사업’이라고 하는데, 이러한 임도구조개량사업 역시 2014년까지 구조개량 실적률 100% 달성을 목표로 활발히 진행하고 있다(KSF, 2014).

그러나 초창기 우리나라 임도는 미흡한 기술 수준과 저예산으로 시설되어 최근 여름철 우기에 게릴라성 집중호우로 인한 산사태 발생 빈도가 증가하여 임도에 여러 형태의 피해가 자주 발생하고 있는 실정이며, 이로 인한 토석류, 산사태 등의 2차 재해의 가능성도 증가하고 있다(KSF, 2012).

미국의 경우 이러한 피해를 줄이기 위해 미국 산림청(USFS)에서 발간한 임도 시공 핸드북에 임도를 신설하거나 구조개량 할 때 토목섬유를 노면에 적용하여 노면의 지지력을 보강하고, 골재의 양을 줄여 공사비용을 절감시키는 적용 규정이 구체적으로 명시되어있고, 이러한 규정에 따라 임도를 개설하거나 구조개량사업을 수행하고 있다(USDA, 2011).

이와 같은 토목섬유를 이용한 도로 노면 지지력 보강효과에 관한 연구 중 토목섬유 사이 접촉면의 마찰특성에 관한 연구는 1988년에 미국

Kettleman Hills 매립지의 파괴사례가 보고되면서 그 중요성이 더욱 부각(Mitchell JK et al., 1990; Seed RB et al., 1990)되었으며, 이 시기를 전후로 토목섬유 접촉면의 마찰특성에 대하여 많은 연구가 수행되었다(Jones DRV and Dixon N, 1998a; Jones DRV and Dixon N, 1998b). 또한, 시공비용 절감 등 경제성을 비교, 분석한 연구사례가 활발히 수행되었다(USDA, 2009).

그러나 우리나라의 경우 일반 토목에서는 토목섬유를 이용한 규정과 연구는 활발히 이루어지고 있으나, 현재 임업분야에서는 임도 설치 및 관리 등에 관한 규정 등 신설임도를 개설하거나 임도구조개량사업 시 토목섬유를 이용하여 노면 보강작업 따로 수행하지 않고, 다짐작업 또한 잘 이루어지지 않으며, 토목섬유를 이용하여 임도 노면 보강에 관한 규정이 미비한 실정이다.

국내의 경우에는 일반 토목분야에서는 토목섬유를 이용하였을 경우 접촉면의 전단특성을 알아보기 위한 연구를 활발히 수행하였으며(Shin EC et al., 2000, Seo MW et al., 2006, Ju JW et al., 2003, Ahn HH et al., 2007), 토목섬유를 이용하여 노면의 지지력 보강 효과를 알아보기 위한 지지력 특성에 대한 연구는 지오그리드로 보강된 단일지반과 이중지반의 지지력 특성에 대하여 연구를 수행하는 등(Shin BW et al., 2000) 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 임도에서는 임도의 성토사면 안정화공법 개발 이외 임도 노면에 토목섬유를 이용한 보강에 관한 연구가 아직 미비

한 실정이다(Kim MI et al., 2014).

이러한 측면에서 본 연구에서는 자연 재해로부터 입도의 피해를 절감하기 위한 방안으로 입도 노면의 지지력을 보강 효과를 알아보기 위해 두 종류의 토목섬유를 이용하여 전단강도시험과 재하시험을 실시하여 입도 노면의 안정성을 예비 분석하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구재료

본 연구에 사용된 흙 시료는 2013년 경상북도

상주시 개운동 인근 토취장에서 채취한 화강풍화토를 이용하였고, 보강 재료는 사면보강이나 일반적으로 노면 보강에 흔히 사용되는 지오그리드(Geogrid)와 지오텍스타일(Geotextile)을 이용하였다.

#### 1) 흙 시료의 물리적 특성

흙 시료는 우리나라 산지 특성상 대표적 토양인 화강풍화토를 이용하였고, 물리적 성질을 알아보기 위하여 기본물성시험을 실시하였다. 기본물성시험을 통한 결과는 다음 Table 1과 같으며, 통일분류법(USCS)으로 분류하였을 때 입도

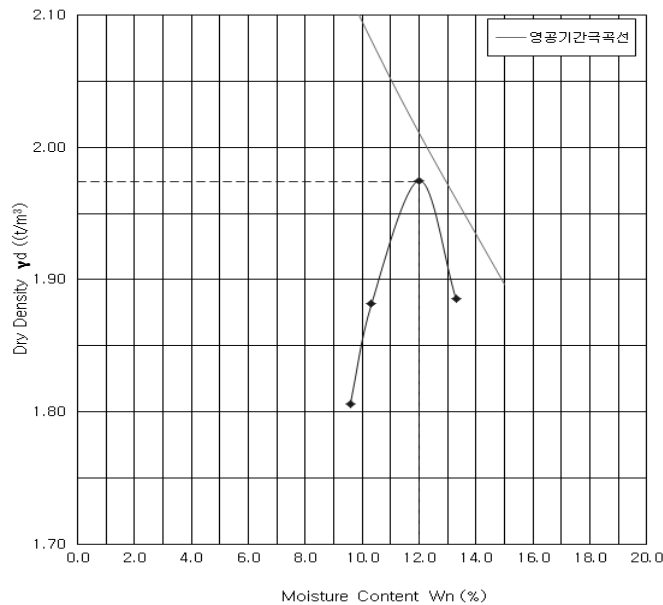


Figure 1. Results of indoor compaction test of the foundation layer (D-compaction).

Table 1. Physical properties of the samples.

Property	Symbol	Unit	Soil Type
			Weathered granite soil
Soil classification (USCS)	SW	-	Particle size is of sand
Liquid limit	$W_L$	%	28.2
Plastic limit	$P_L$	%	NP
Plasticity index	$I_P$	-	NP
Weight	$G_s$	-	2.613

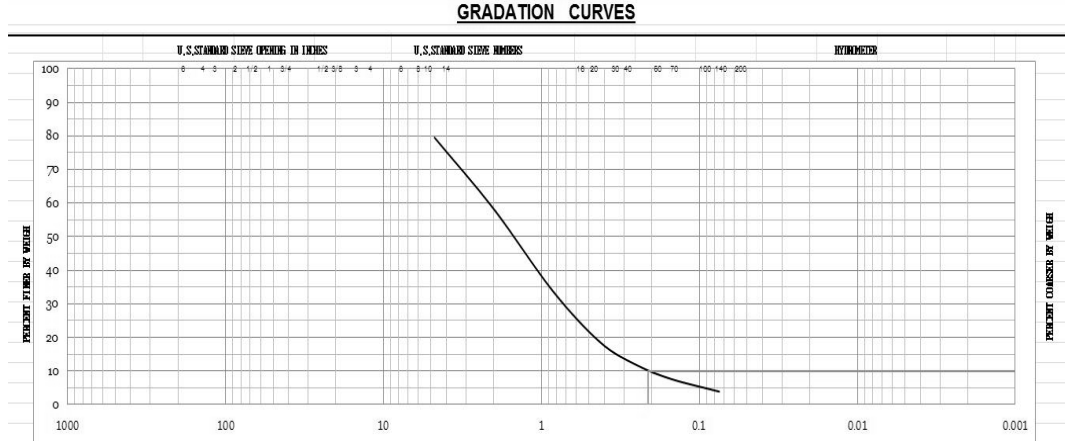


Figure 2. Particle size distribution curve of soil samples.

가 양호한 모래인 SW로 분류되었다.

시료의 실내다짐 시험결과 최대건조단위중량은  $1.974\text{t/m}^3$ 으로 나타났으며, 최적함수비는 12%로 측정되었다(Figure 1). 따라서 지지력을 측정하기 위한 채하시험에서 지반의 상대밀도는 각각 최대 건조단위중량의 85%수준에서 결정하여 조성하였다.

## 2) 토목섬유

본 연구에 사용된 토목섬유는 토양구조 강화 기능을 가진 지오그리드(CH8/2)와 토양구조 분리기능을 가진 지오텍스타일(DWF-200) 두 종류의 토목섬유를 사용하였다(Figure 3). 지오그

리드의 종 방향 격자 크기(MD)는  $44\pm 2\text{mm}$ , 횡 방향 격자 크기(CD)는  $17\pm 2\text{mm}$ , 단위중량은  $460\text{g/m}^2$ 이며, 지오그리드와 지오텍스타일의 물리적 특성은 Table 2, 3과 같다.

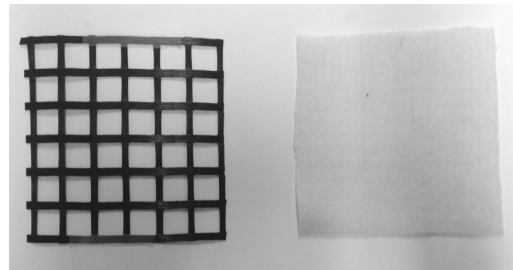


Figure 3. Geogrid and Geotextile.

Table 2. Geogrid physical properties.

Physical characteristics		Unit	CH8/2
Power to break (ASTM6637 KS K 0743)	MD	kN/m	80
		t/m	8
	CD	kN/m	20
		Tt/m	2
Elongation at break (ASTM6637 KS K 0743)	MD	%	$10\pm 2$
	CD	%	$11\pm 2$

\* MD : machine direction (forward direction of the roll) / CD : width direction (transverse direction of the roll)

Table 3. Geotextile physical properties.

Name/ Property	Tensile strength kgf(t/m)	Tensile (%)	Weight (g/m <sup>2</sup> )	Seam strength N(kgf)	Permeability coefficient (cm/sec)	Material quality
DWF-200	26 or more (1.0)	50 or more	200	255 or more (26)	$\alpha \times 10^{-1}$ ( $\alpha: 1-9$ )	polyester or polypropylen
Test method	KSK 0743	KSK 0743	KSK ISO 9864	KSK 0530	KSK ISO 11058	Textile fibers identification

## 2. 시험방법

본 연구에서는 임도 노면의 지지력 보강효과를 알아보기 위하여 KS F 2343 규정에 따라 전단강도시험과 재하시험을 실시하였다.

### 1) 전단강도시험

토목섬유를 이용한 임도 노면의 마찰특성을 알아보기 위하여 2013년 8월 경북대학교 산림환경자원학과 산림공학연구소에서 중형전단장치를 이용하여 전단강도시험을 실시하였다(Figure 4).

본 연구에 이용된 중형 직접전단 장치 및 제원은 Table 4와 같고, 토목섬유는 지오그리드와 지오택스타일 두 종류를 이용하였다.

전단강도시험을 위한 시험케이스는 흙-흙(무보강), 지오그리드-흙, 지오택스타일-흙과 같이 크게 3가지로 분류하고 흙 시료에 대한 상대밀도를 85%, 95%, 구속응력은 0.4kg/cm<sup>2</sup>, 0.8kg/cm<sup>2</sup>, 1.2kg/cm<sup>2</sup>으로 하여 총 18회의 전단강도시험을 실시하였다(Table 5).



### 2) 재하시험

본 연구에서는 토목섬유를 이용한 임도 노면과 무보강의 경우의 침하량을 비교해봄으로서 전단강도시험의 목적과 동일하게 토목섬유를 이용하였을 경우 지지력 보강효과를 알아보기 위하여 2013년 8월 경북대학교 건설방재공학부 지반공학연구소에서 재하시험을 실시하였으며, 재하시험에 이용한 모형 토조의 제원은 L : 100cm × W : 30cm × H : 65cm이다(Figure 5, Figure 6).

흙 시료와 토목섬유는 전단강도시험 재료와 동일하고, 모형토조 내 흙 시료의 기준높이와 상대밀도는 일반적으로 임도를 조성할 때 노상과 노반의 높이인 30cm, 조밀한 지반 상태의 85%로 조성하고, 함수비는 최적함수비인 12.4%로 하였다.

토목섬유를 적용하였을 경우에는 간격비를 기초 폭의 0.5배의 경우와 기초 폭의 1.0배로 하였을 경우로 분류하였는데, 기초 폭의 0.5배의 경우는 토목섬유를 10cm, 20cm 지점에 각 1개



Figure 4. Photographs of the conduct of shear strength test.

**Table 4.** Midsize shear test equipment specifications.

Specifications	
Model	GTS 41 - No1
Max Horizontal Load	50 kN (5ton)
Max Vertical Load	50 kN (5ton)
Horizontal Load	Loadcell 3 Point
Vertical Load	Loadcell 1 Point
Horizontal Load System	Servo Motor (0.4 kw)
Vertical Load System	Servo Motor (0.4 kw)
Horizontal Speed	Max. : 62.5mm/min    Min. : 1/1000 mm/min
Vertical Speed	Max. : 62.5mm/min    Min. : 1/1000 mm/min
Upper Box Size	300(W) × 300(D) × 100(H) (mm)
Lower Box Size	300(W) × 300(D) × 100(H) (mm)
Shear Box Space	3mm
Box Friction Reduction	Ball Bearing
Apparatus Size	1640(W) × 630(D) × 1500 (H) (mm)
Pressure Plate Size	296(W) × 296 (W) × 20(H) (mm)
Apparatus Weight	600 Kg
Control System	Touch Pannel PC

**Table 5.** Shear strength test cases.

Case	Relative density (%)	Restraint stress ( $\sigma_3$ )
Soil (weathered granite soil)	85%	0.4kg/cm <sup>2</sup> , 0.8kg/cm <sup>2</sup> , 1.2kg/cm <sup>2</sup>
	95%	0.4kg/cm <sup>2</sup> , 0.8kg/cm <sup>2</sup> , 1.2kg/cm <sup>2</sup>
Soil / geogrid	85%	0.4kg/cm <sup>2</sup> , 0.8kg/cm <sup>2</sup> , 1.2kg/cm <sup>2</sup>
	95%	0.4kg/cm <sup>2</sup> , 0.8kg/cm <sup>2</sup> , 1.2kg/cm <sup>2</sup>
Soil / geotextile	85%	0.4kg/cm <sup>2</sup> , 0.8kg/cm <sup>2</sup> , 1.2kg/cm <sup>2</sup>
	95%	0.4kg/cm <sup>2</sup> , 0.8kg/cm <sup>2</sup> , 1.2kg/cm <sup>2</sup>

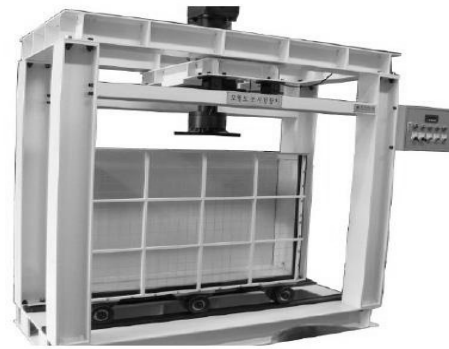
**Figure 5.** Photograph of the conduct of load test.**Figure 6.** Soil block model test equipment.

Table 6. Load test cases.

Case	Relative density (%)	Space ratio
Soil (weathered granite soil)	85%	-
Soil / geogrid	85%	0.5B
	85%	1.0B
Soil / geotextile	85%	0.5B
	85%	1.0B

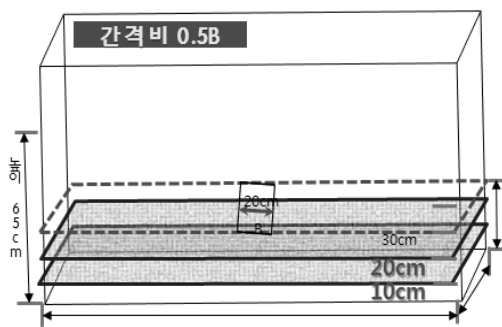


Figure 7. Load test of geosynthetics with space ratio of 0.5B.

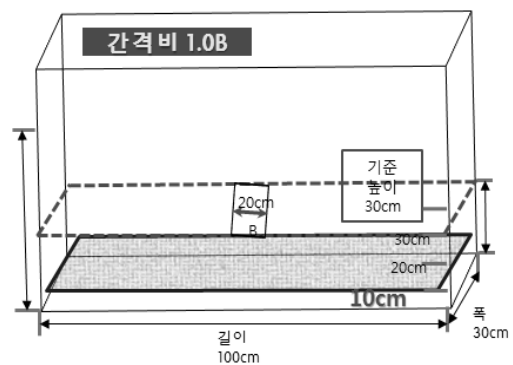


Figure 8. Load test of geosynthetics with space ratio of 1.0B.

씩 총 2개의 토목섬유를 적용하였고, 기초 폭의 1.0배의 경우에는 10cm 지점에 1개의 토목섬유를 적용하여 시험을 실시하였다(Table 6, Figure 7, Figure 8).

또한, 재하시험 시 침하량을 알아보기 위하여 각기 다른 3지점에 변위계를 설치하여 각 지점의 침하량을 측정하였다. 모형토조 내 가장자리 부분에 1번 변위계를 설치하고, 수직하중을 직접적으로 받는 기초의 가장 근접한 부분에 2번 변위계를 설치하였으며, 가장자리와 기초의 중간지점에 3번 변위계를 설치하여 각 지점의 침하량을 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 전단강도시험

입도노면에 토목섬유를 이용한 전단강도시험 결과는 흙-흙(무보강)일 때 상대밀도 85%의 경

우 내부마찰각( $\phi$ )은 29°이며, 95%일 경우 내부마찰각( $\phi$ )은 39°으로 측정되었고(Figure 9), 지오그리드-흙일 때 상대밀도 85%의 경우 내부마찰각( $\phi$ )은 39°이며, 상대밀도를 95%로 하였을 때 내부마찰각( $\phi$ )은 36°로 측정되었다(Figure 10). 그리고, 지오텍스타일-흙일 때 상대밀도 85%의 경우 내부마찰각( $\phi$ )은 37°이며, 상대밀도 95%의 경우 내부마찰각( $\phi$ )은 48°로 측정되었다(Figure 11).

토목섬유를 적용했을 때와 무보강일 경우의 내부마찰각을 비교해본 결과 토목섬유를 적용하였을 때가 무보강일 경우보다 내부마찰각( $\phi$ )의 값이 평균적으로 더 크게 측정되었으므로 토목섬유를 적용할 경우 지지력보강효과가 있음을 알 수 있었고, 토목섬유의 종류별로 내부마찰각( $\phi$ )을 비교해본 결과 지오텍스타일을 적용하였을 때가 내부마찰각( $\phi$ )값이 크게 측정되었다. 이는 부직포형태로 만들어진 지오텍스타일

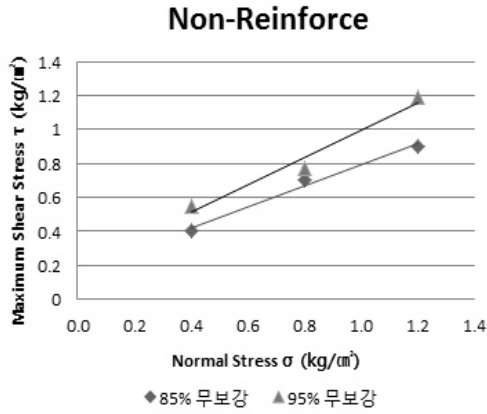


Figure 9. Internal friction angle( $\phi$ ) of soil (non-reinforce) with 85% and 95% relative density.

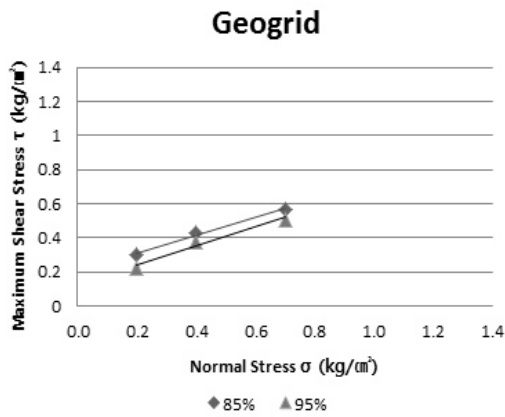


Figure 10. Internal friction angle( $\phi$ ) of soil-geogrid with 85% and 95% relative density.

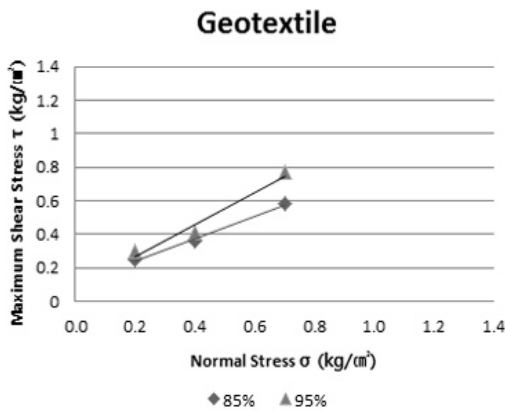


Figure 11. Internal friction angle( $\phi$ ) of soil-geotextile with 85% and 95% relative density.

의 전단면의 재질 및 면적의 특성 때문임을 알 수 있었다.

지오그리드-흙일 때 상대밀도 95%의 경우 내부마찰각( $\phi$ )은 상대밀도 85%의 경우보다 내부마찰각( $\phi$ )이 작게 측정되었는데, 이는 향후 반복실험에 의해 이러한 이유를 규명할 필요가 있다고 판단된다.

선행연구(Ju JW et al., 2003)와 비교한 결과 본 연구에서의 모든 케이스에서 내부마찰각( $\phi$ )이 더 높게 측정되었다. 이는 토목섬유의 종류, 상대밀도, 흙 시료, 수직응력의 차이라고 판단되며, 향후 다양한 토양을 대상으로 토목섬유를 이용한 전단강도시험이 계속되어야 할 것이라 사료된다.

## 2. 재하시험 결과

임도 노면에 토목섬유를 적용하였을 경우 지지력 보강 효과를 알아보기 위하여 동일한 하중을 가하였을 때 가장 큰 차이를 보인 2번 변위계의 침하량을 비교하였다.

시험결과 무보강일 경우 침하량이 약 4mm로 측정되었다. 지오그리드를 간격비 0.5B로 하여 2개 적용하였을 경우 침하량이 약 1mm로 측정되었고, 간격비 1.0B로 하여 총 1개 적용하였을 경우 침하량은 약 1.3mm로 측정되었다.

그리고 지오텍스타일을 간격비 0.5B로 하여 총

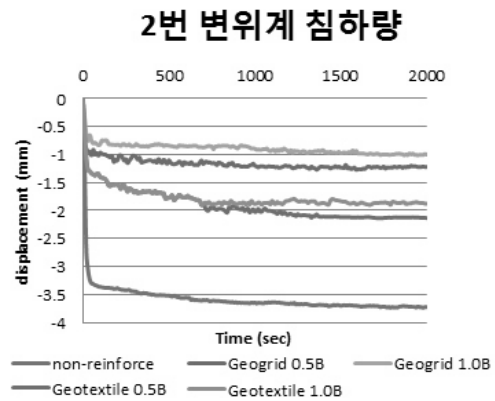


Figure 12. Graph of subsidence for Loading Test.



2개를 적용하였을 경우 약 2mm, 간격비 1.0배로 하여 1개의 지오텍스타일을 적용하였을 경우에는 약 2.3mm의 침하량이 측정되었다(Figure 12).

토목섬유 종류별로 침하량을 비교해 본 결과 지오그리드를 적용하였을 경우가 지오텍스타일을 적용하였을 경우보다 더 큰 지지력보강효과를 나타내었고, 모든 시험케이스를 비교해본 결과 지오그리드를 간격비 0.5B로 하여 2개를 적용하였을 경우가 가장 큰 지지력 보강효과를 나타내었다.

지지력 보강 효과는 지오그리드 간격비 0.5배, 지오그리드 간격비 1.0배, 지오텍스타일 간격비 0.5배, 지오텍스타일 1.0배, 무보강 순으로 측정되었다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 자연 재해로부터 임도의 피해를 절감하기 위한 방안으로 임도 노면의 지지력을 보강 효과를 알아보기 위해 두 종류의 토목섬유를 이용하여 전단강도시험과 재하시험을 실시하여 임도 노면의 안정성을 예비 분석하였다.

전단강도시험의 결과 무보강의 경우보다 토목섬유를 이용하였을 경우의 내부마찰각 값이 평균적으로 더 크게 측정되었고, 토목섬유의 종류별로 비교하였을 때 지오텍스타일을 이용하였을 경우 지오그리드를 이용한 경우보다 내부마찰각 값이 크게 측정되었다.

재하시험의 결과 지오그리드를 이용하고 간격비를 기초폭을 0.5배로 하여 2개를 이용하였을 경우가 침하량이 약 1.0mm로 측정되어 가장 큰 지지력 보강 효과를 나타냈다. 이에 향후 신설임도 개설 또는 임도 구조개량 사업을 수행할 경우 임도 노면의 안정성을 위해 토목섬유를 적용하여 지지력을 보강하여야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 전단강도시험의 결과는 내부마찰각을 비교하였고, 재하시험의 결과는 침하

량을 비교하여 도출된 결과 값을 통계적 분석을 수행하지 않았으므로 반복실험을 통하여 토목섬유를 이용하여 임도노면의 지지력 보강효과를 알아보기 위한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료되며, 토목섬유의 특성과 다양한 조건에 맞는 임도노면의 지지력 보강을 위한 공법 및 공정에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

#### References

- Ahn HH · Lee SW · Shim SH and Shim JB. 2007. Friction Behavior at the Soil/Geosynthetic Interface in Respect of Efficiency. Journal of The Korean Geotechnical Society, Vol. 23(10): 65-72.
- Jones DRV and Dixon N. 1998a. The Stability of geosynthetic landfill Lining systems - Geotechnical engineering of landfill, Proceeding of the symposium at the Nottingham Trent University, Department of civil and structural engineering on 24 September. 99-117.
- Jones DRV and Dixon N. 1998b. Shear Strength properties of geomembrane/geotextile interface, Geotextile and Geomembranes. 16: 45-71.
- Ju JW · Park JB and Chang YC. 2003. Friction characteristics on Interface Between Reinforcement and Sand by Direct Shear Test. Journal of Korean Geosynthetic Society. 2(1): 87-93.
- Kim MI · Lee SW · Lee MS · Kim MS and Gho GB. 2014. Development of Filling Slope Stabilization Method and Its Experimental Construction for Mountainous Forest Road. Proceeding of Korean Geo-Environmental Society. 209-212.
- Korea Forest Service. 2012. Standard construction research on accident-free forest road facilities. 3-5.

- Korea Forest Service. 2014. Statiscal Yearbook of Forestry. 45: 248-249.
- Mitchell JK · Seed RB and Seed HB. 1990. Kettleman Hills waste landfill slope failure I: Liner system properties. Journal of Geothchnal Engineering. ASCE 116(4): 647-668.
- Seed RB · Mitchell JK and Seed HB. 1990. Kettleman Hills waste landfill slope failure II: Stability analysis, Journal of Geothchnal Engineering. ASCE 116(4): 669-690.
- Seo MW · Oh MH · Yoon HS and Park JB. 2006. Comparison on the Interface Shear Strength of Geosynthetics Evaluated by Using Various Kinds of Testing. Journal of The Korean Society of Civil Engineers C 26(2C): 73-80.
- Shin BW · Oh SW · Lee BJ and Kim KI. 2000. Bearing capacity characteristics of single or double soil layer reinforced with geogrid. Journal of The Korean Society of Civil Engineers C 20(4C): 367-380.
- USDA Forest Service. 2009. Stabilization Selection Guide for Aggregate and Native-surfaced Low Volume Roads. 0877 1705-SDTDC.
- USDA Forest Service. 2011. Road Reconstruction Handbook. FSH 7709. 56: 69-72.