

대형 목재운송차량 통행에 적합한 토목섬유 활용 임도 노반조성 효과분석

황진성¹ · 지병윤^{1*} · 권형근² · 이관희¹

¹국립산림과학원 산림기술경영연구소, ²충남대학교 산림환경자원학과

A Study on Sub-base Composition Effect of Forest Road Using Geosynthetics for Passage of Large Logging Trucks

Jin-seong Hwang¹, Byoung-yun Ji^{1*}, Hyeong-keun Kweon² and Kwan-hee Lee¹

¹Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science,
Pocheon 11187, Korea

²Department of Forest Environment & Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

요약: 본 연구는 본격적인 목재수확시기에 대응하여 대형화되어 가는 목재운송차량의 원활한 통행과 노체 피해 방지를 위해 산림기술경영연구소 관내 연약지반을 대상으로 토목섬유를 활용한 노반 조성 후 시간경과에 따른 노면지지력 변화와 대형 목재운송차량의 통행 횟수 증가에 따른 노면지지력 및 침하량 변화를 분석하였다. 그 결과, 노반 조성구간의 경우 약 1년의 시간경과 후 노면지지력이 양호관정기준인 CBR 15% 이상으로 안정화 되어 가는 것으로 나타났으며, 토목섬유별 처리효과는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 또한 노반 조성구간에서 대형 목재운송차량의 통행이 최대 300회 이루어진 이후에는 침하량이 허용기준 50 mm 이하로 안정되고, 노면지지력 또한 CBR 20% 이상으로 향상되는 것으로 나타났으며 노반의 두께별로는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 토목섬유를 활용한 노반을 조성하지 않은 구간에서는 허용기준 이상의 침하와 함께 노면의 지지력은 대형 목재운송차량의 통행이 불가능한 것으로 나타났다. 따라서 대형 목재운송차량의 통행을 위한 연약지반의 노면지지력 보강을 위해서는 토목섬유를 부설하고 노반을 최소 0.2 m 이상 조성하는 것이 필요하다.

Abstract: This study was carried out to provide surface bearing capacity reinforcement of forest road by sub-base facilities based on a soft ground use of geosynthetics to prevent the damage of the road surface passing heavy logging trucks and to pass smoothly heavy truck against growing timber harvesting. The analysis of the road surface bearing capacity as progressing time and the increase of the number of passage of heavy logging trucks were conducted experimental section of forest road on the soft ground in the Forest Technology and Management Research Center. As a result, it was found that the road surface bearing capacity were stabilized at CBR of 15% or more, the effect of reinforcement by type of geosynthetics showed no significant difference after the lapse of about 1 year. After reaching the passage of 300 times for the heavy logging trucks on the sub-base construction section, the settlements was stabilized below the allowable standard of 50 mm, road surface bearing capacity also improved to more than CBR 20% and there was no significant difference in the thickness of the sub-base. However, in the section where the sub-base is not constructed, it is found that the lack of surface bearing capacity with the settlements more than the allowable standard is not possible to pass the heavy logging trucks. Therefore, in order to reinforce the road surface bearing capacity of the soft ground for the passage of the heavy logging trucks, it is necessary to construct a sub-base of at least 0.2 m when using geosynthetics.

Key words: bearing capacity, geosynthetics, heavy logging trucks, settlement, sub-base

* Corresponding author
E-mail: by83700@korea.kr

ORCID
Byoung-yun Ji  <https://orcid.org/0000-0001-7645-1981>

서론

우리나라의 산림은 1990년대부터 숲가꾸기를 통해 경제림을 육성하여, 2016년 말 기준 ha당 임목축적은 150 m³으로 증가하여 점차 우량목재 생산이 가능한 주벌수확 단계로 전환이 예상되고 있다. 이에 대량의 목재를 효율적으로 운송하기 위하여 대형 목재운송차량의 임도 진입이 점차 증가하고 있다. 하지만 연약지반의 경우 대형 목재운송차량 통행에 대비한 노면 지지력 강화 기준이 마련되어 있지 않아 대형차량 통행 시 기존 목재운송차량보다 총 중량 증가로 인한 노면 침하와 노체 파괴가 발생하여 운송 효율이 낮아질 수 있다. 따라서 임도는 생산된 목재를 생산지에서 소비처까지 원활히 운송하기 위한 시설로서 대형 목재운송차량의 원활한 통행을 위해서는 임도 선형 개선뿐만 아니라 노면지지력을 강화시킬 필요가 있다(NIFOS, 2017).

대형 목재운송차량의 원활한 통행을 위해서는 비용 부담이 적은 골재를 이용한 노반 조성을 통하여 임도 노면에 작용하는 하중의 응력을 분산시키고, 노면의 변형을 방지해 임도 노면지지력을 확보할 수 있다(Fairbrother, 2011). 또한 연약지반위의 도로 시공에서 노반의 지지력 강화를 위하여 토목섬유를 사용하는 것은 과거 30년 동안 성공적으로 활용되어져 오고 있다(Sprague and Cioff, 1993). 토목섬유의 주요 기능은 이질층의 분리, 보강, 여과, 배수 등을 들 수 있다(Al-Qadi et al., 1994; Korner and Koerner, 1994; Zornberg, 2012). 토목섬유로는 크게 지오텍스타일(Geotextile), 지오그리드(Geogrid)로 구분한다. 지오텍스타일은 서로 다른 입자층의 분리 기능, 보강재 기능과 여과재 기능 등으로 그 우수성이 입증된 토목용 합성재의 대표적인 자재이며, 지오그리드는 격자형의 구멍이 뚫려 있고, 비교적 견고하여 사면 및 옹벽 등의 지반 보강재로 많이 사용된다(Yang, 2006).

토목섬유를 활용하여 노반을 조성하면 골재층과 하부 연약지반층과의 뒤섞임을 방지하고 골재의 흐트러짐을 방지하는 효과가 있으며, 이러한 효과는 토목섬유 부설 시 노반의 층두께가 얇을수록 효과가 큰 것으로 나타나 노반 조성 시 층두께를 줄일 수 있고 노면의 침하를 방지할 수 있어 임도개설비, 유지관리비 등의 비용적인 측면에서도 유리하기 때문에 연약지반 보강에 효과적이다(Fannin and Sigurdsson, 1996; Leng, 2002; Giroud and Han, 2004; Maxwell et al., 2005; Hufenus et al., 2006).

임도 개설시 연약지반에 관목류의 가지, 밀 슬래브 등 별채부산물과 통나무를 적용한 지지력 보강효과에 관한 연구(Alnord and Graddum, 1995)가 이루어진바 있으며, 미국, 남아프리카 등은 토목섬유를 활용한 노면지지력

강화방법에 대한 임도 시설 및 유지관리 지침을 마련하고 있다(COFORD, 2004; FESA, 2012). Rien et al.(2011)은 임도를 대상으로 지오그리드를 활용한 시공사례를 소개한 바 있다. 그러나, 국내의 경우 대형 목재운송차량에 적합한 연약구간의 토목섬유를 활용한 임도의 노반 조성에 대한 연구는 전무한 실정으로 이에 관한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 토목섬유를 활용하여 노반을 조성한 노면에 대하여 대형 목재운송차량(25톤)의 통행에 따른 노면의 침하와 지지력 변화를 분석하여 대형 목재운송차량의 통행에 적합한 임도 노반 시설 기준을 마련하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시험시공지 조성

임도의 노면지지력 강화방법 개발을 위한 시험시공지는 Figure 1과 같이 산림기술경영연구소 관내 농내로 구간 중 연약지반 구간에 적정 골재배합비와 토목섬유를 적용하고 노반 포설두께를 0.3 m, 0.2 m 및 미포설구간으로 구분하였으며, 각각 구간의 길이는 12 m로 시험시공지를 조성하였다.

시험시공지의 시공 과정은 Figure 2와 같다. Figure 2의 ①과 같이 시험시공지에 노반 깊이 조건별(0.3 m, 0.2 m, 미포설)로 터파기를 실시하였으며, ②와 같이 노반 깊이 별로 각각 4종류의 토목섬유(부직포형 지오텍스타일 2종, 지오그리드 2종)를 3 m 간격으로 부설하였다. 토목섬유 부설 후 ③과 같이 골재(25 mm 15%, 40 mm 15%, 75 mm 30%, 150 mm 30%)와 현장토사 10%를 교반하여 노반을 각각의 깊이별로 포설하였으며, ④와 같이 다짐 후에는 ⑤와 같이 표층 골재(25 mm 50%, 40 mm 35%)와 현장토사 15%를 교반하여 전 구간을 두께 0.2 m로 포설하여 다짐하였다. 다짐은 10톤 진동롤러(CS-531C, Caterpillar, Inc.)를 이용하여 농로를 대상으로 실시한 농림축산부의 연구결과를 기준으로 보조기층의 최소 다짐횟수인 5회까

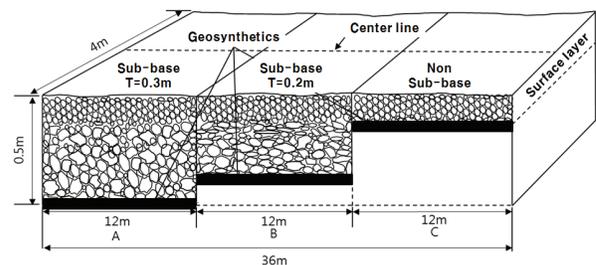


Figure 1. Sectional view by treatment of sub-base and surface layer.



Figure 2. Test construction process.

Table 1. Type of geosynthetics applied to test construction.

Type of geosynthetics	Cost (won/m ²)	Specification	Tensile strength (T/M)	Tensile elongation (%)	Quality of the material
Geogrid 4T	2,750	4T	4	MD ¹⁾ : 12	polyester (PE)+
Geogrid 10T	4,400	10T	10	CD ²⁾ : 14	polyvinyl resin
Non-woven fabric type geotextiles 200	770	200g/m ²	1.0	50 or more	polyester (PE)
Non-woven fabric type geotextiles 1000	2,970	1,000g/m ²	9.0		

¹⁾ MD : Machine Direction, ²⁾ CD : Cross Direction

Table 2. Total weight and volume of a transport by heavy logging trucks.

Classification	Truck weight (t)	Wood weight (t)	Total weight (t)	Volume of a transport (m ³) ¹⁾
Heavy logging trucks	15.0	25.6	40.6	28.4

¹⁾ Mean value (0.9t/m³) application of softwood (0.8t/m³) and hardwood (1.0t/m³) (Korea Forestry Promotion Institute. 2017)

지 다짐을 실시하였다(MAFRA, 1997).

시험시공지에 부설한 토목섬유는 분리재 및 보강재 기능이 우수한 부직포형 지오텍스타일 2종과, 사면 등의 지반 보강재로 활용되는 격자형의 지오그리드 2종을 활용하였으며, 그 제원은 Table 1과 같다.

2. 조사 방법

조성된 시험구는 시공 직후 흐트러졌던 토양이 안정상태에 이르기까지 노면지지력 변화를 파악하기 위하여 시공 직후(2015년 10월)와 1년 경과 후(2016년 9월)의 노면지지력을 측정하였으며, 1년 경과 후 노면지지력을 기준으로 대형 목재운송차량 통행에 따른 노면지지력 변화를 측정하였다. 대형 목재운송차량의 통행에 따른 지지력과 침하상태의 변화를 측정하기 위하여 벌채현장에서 생산된 원목을 적재한 25톤 트럭을 이용하였으며, 목재를 적

재한 트럭의 총 중량은 Table 2와 같이 총 40.6톤으로 1회 운송량은 28.4 m³이다. 최대 통행 횟수는 모두베기가 가능한 최대 면적 50 ha를 기준으로 우리나라 국유림의 ha당 평균축적인 170.9 m³(Korea Forest Service, 2017)를 적용하여 최대 300회(8,520 m³)까지 통행한 후 노면지지력 및 침하량을 측정하였다.

노면지지력과 침하량은 Figure 3과 같이 노폭 4 m로 조성된 시험구의 측점에서 측정하였다. 측정의 폭은 일반적인 운송트럭의 운거 2.1 m를 기준으로 임도 중심으로 양쪽 1.05 m 간격으로 배치하여 운송트럭이 통행한 타이어의 중심에서 측정하였으며, 노반 깊이별로 각각 4종류의 토목섬유를 부설하였기 때문에 토목섬유별로는 양쪽 2개씩, 노반 조건별로는 각각 8개씩 총 24개의 측점에서 노면지지력 및 침하량의 변화를 측정하였다. 침하량은 음(-)의 값으로 표현하였다.

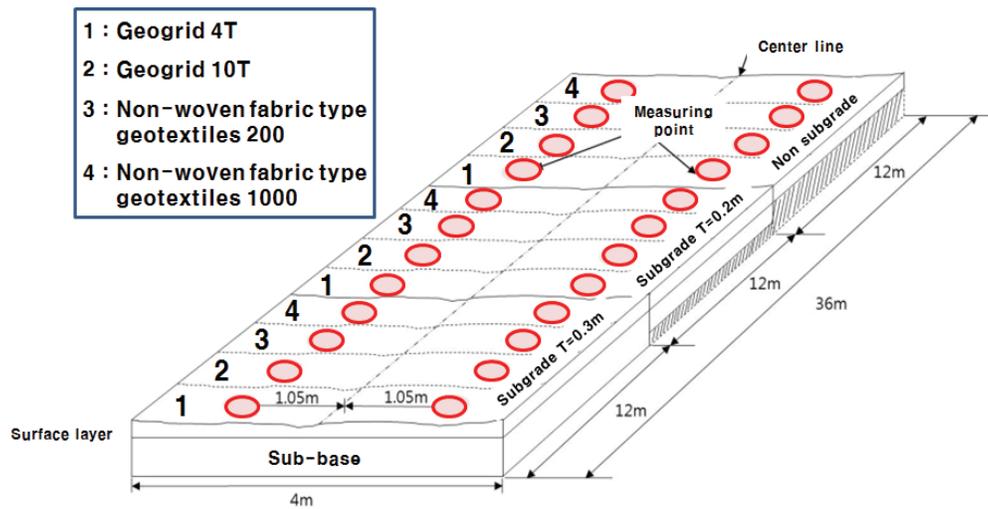


Figure 3. Measuring point.

노면지지력은 동적평판재하시험기(ZFG 2000, Zorn instruments)를 이용하여 CBR(California Bearing Ratio)을 측정하였으며, 침하량의 측정은 토탈스테이션(CX-103, SOKKIA)을 이용하여 측정하였다. 대형 목재운송차량 통행 후 노반 포설 깊이 및 토목섬유 종류별 노면지지력 특성에 대하여 통계프로그램 SAS 9.4(SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 분산분석을 실시하였고, 던컨의 다중 검정을 통해 $p < 0.05$ 수준에서 처리별 차이를 검증하였다. 노면지지력은 일반적으로 노반의 CBR이 15% 이상인 경우에 대형 목재운송차량 통행에 충분한 노면지지력으로 판정하며(DTTAS, 2014), 침하량의 허용기준은 대형 목재운송차량 통행 후 발생된 바퀴자국 깊이(rut depth)를 기준으로 침하량 50 mm 이내로 하였다(USFS, 1996).

결과 및 고찰

1. 시간경과에 따른 노면지지력 변화

시간경과에 따른 노면지지력 변화는 Table 3과 같다. 시간경과에 따른 노반 깊이별 노면지지력 변화는 노반을 0.3 m, 0.2 m로 포설한 두 구간의 경우 시공 후 각각 평균 CBR 13.9%, 14.0%에서 1년 경과 후 각각 평균 CBR 28.0%, 25.8%로 1.8~2.0배 증가하였으며, 노반을 포설하지 않은 구간의 경우 시공 후 평균 CBR 6.2%에서 1년 경과 후 평균 CBR 10.2%로 1.6배로 노반 조성구간에 비해 다소 미흡한 노면지지력 증가를 나타냈다. 노반 포설 깊이별 시간경과에 따른 노면지지력 변화는 표층으로부터 전달된 하중을 하부 지반으로 적절하게 분산시키는 역할을 하는 노반의 깊이가 깊어질수록 하중 분산효과가 커 노면지지력 보강효과가 큰 것으로 판단되며, 경제적

이면서도 효과적인 적정 노반 깊이 결정을 위해서는 토목섬유의 활용 등의 다양한 조건들을 고려가 필요할 것으로 사료된다.

노반 깊이별 토목섬유 종류에 따른 노면지지력 변화에서는 노반을 0.3 m 조성한 구간에서는 부직포형 지오텍스타일 200과 1000이 시공 후 각각 평균 CBR 18.7%, 11.7%에서 1년 경과 후 각각 평균 CBR 34.7%, 35.7%로 증가하여 높은 노면지지력을 나타냈으며, 노반을 0.2 m 조성한 구간에서는 지오그리드 4T와 10T가 시공 후 각각 평균 CBR 19.0%, 15.7%에서 1년 경과 후 각각 평균 CBR 35.1%, 30.9%로 증가하여 높은 노면지지력을 나타냈다. 이는 노반 두께가 0.2 m를 초과할 경우 골재층과 하부 연약지반층과의 뒤섞임을 방지하는 부직포형 지오텍스타일의 분리기능에 의한 지지력 보강효과가, 노반 두께가 0.2 m 이하인 경우 그물형으로 골재의 흐트러짐을 방지하는 지오그리드의 보강재 기능에 의한 지지력 보강효과가 크게 작용하기 때문인 것으로 사료된다.

이상과 같이 전체적으로 시공 후 1년이 경과하면서 강우 등 기상조건과 다소의 차량통행으로 인하여 노반이 안정되어 지지력이 향상된 것으로 판단되며, 노반을 포설한 구간의 경우 모두 CBR 15% 이상으로 양호한 노면지지력을 나타냈지만, 노반을 포설하지 않은 C 구간의 경우 시간 경과 후에도 미흡한 노면지지력을 나타냈다.

2. 대형 목재운송차량 통행에 따른 노면지지력 및 침하량 특성

1) 노반 포설 깊이별 대형 목재운송차량 통행 후 노면 지지력

노반 포설 깊이별 대형 목재운송차량 통행 후의 노면지지력을 측정된 결과는 Figure 4와 같다. 대형 목재운송

Table 3. Change of surface bearing capacity by lapse of time

(Unit : CBR, %)

Type of geosynthetics	Sub-base T=0.3m		Sub-base T=0.2m		Non sub-base	
	After construction	A year later	After construction	A year later	After construction	A year later
Geogrid 4T	14.9	27.5	19.0	35.1	7.6	12.5
Geogrid 10T	10.3	14.3	15.7	30.9	6.6	9.3
Non-woven fabric type geotextiles 200	18.7	34.7	10.3	15.9	6.9	10.6
Non-woven fabric type geotextiles 1000	11.7	35.7	10.9	21.4	3.7	8.4
Avg. by type of sub-base depth	13.9	28.0	14.0	25.8	6.2	10.2

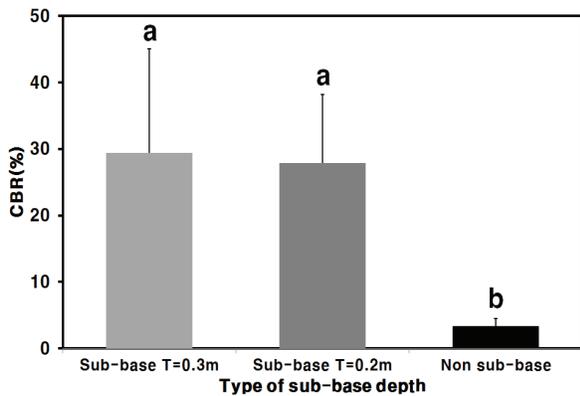


Figure 4. Surface bearing capacity by type of sub-base depth after passage of large logging trucks. Same letter are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

차량 통행 후 노면지지력은 노반을 0.3 m 포설한 구간에서 평균 CBR 29.4%로 가장 높은 노면지지력을 나타냈으며, 노반을 0.2 m 포설한 구간은 최소 CBR 15.7%에서 최대 50.3%의 범위에서 평균 CBR 27.9%의 노면지지력을 나타냈다. 노반을 포설하지 않은 구간은 최소 CBR 1.9%에서 최대 CBR 5.8%의 범위에서 평균 CBR 3.4%으로 가장 낮은 노면지지력을 나타냈으며, 대형 목재운송차량 통행 후 노면지지력은 노반을 포설한 구간과 포설하지 않은 구간에서 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 노반을 포설한 구간의 경우 노면지지력이 대형 목재운송차량 통행 전보다 1.4~2.1%p가 소폭 증가하였지만 노면지지력의 큰 변화는 없었으며, 노반을 포설하지 않은 구간에서는 CBR 6.8%가 감소한 것으로 나타났다. 이에 노반을 포설한 구간은 대형 목재운송차량 통행 후에도 노면지지력 양호판정기준인 CBR 15% 이상으로 대형 목재운송차량의 통행에 문제가 없을 것으로 판단된다.

2) 노반 포설 깊이별 토목섬유 종류에 따른 대형 목재운송차량 통행 후 노면지지력

노반 포설 깊이별 토목섬유 종류에 따른 대형 목재운송차량 통행 후 노면지지력 측정 결과는 Figure 5와 같다. 노반을 0.3 m 포설한 구간에서 토목섬유 종류별 노면지지력은 지오그리드의 경우 4T는 운송 전 CBR 27.5%에서 4.3%p 증가한 CBR 31.7%, 10T는 운송 전 CBR 14.3%에서 6.9%p가 증가하여 CBR 21.2%였으며, 부직포형 지오텍스타일의 경우 200은 운송 전 CBR 34.7%에서 4.6%p 감소한 CBR 30.1%, 1000은 운송 전 CBR 35.7%에서 1.0%p가 감소한 CBR 34.7%인 것으로 나타났지만 대형 목재운송차량 통행 후 토목섬유 종류별 노면지지력의 유의적 차이는 없는 것으로 나타났다. 노반을 0.2 m 포설한 구간에서 토목섬유 종류별 노면지지력은 대형 목재운송차량 통행 후 토목섬유 종류별 노면지지력의 유의적 차이가 있는 것으로 나타났으며, 지오그리드 4T의 경우 운송 전 CBR 35.1%에서 1.1%p가 증가하여 CBR 36.2%로 가장 높은 노면지지력을, 부직포형 지오텍스타일 1000은 운송 전 CBR 21.4%에서 2.0%p 감소하여 CBR 19.4%로 가장 낮은 노면지지력을 나타냈다. 지오그리드 10T는 운송 전 CBR 30.9%에서 0.9%p가 감소한 CBR 30.0%, 부직포형 지오텍스타일 200은 운송 전 CBR 15.9%에서 10.0%p 증가한 CBR 25.9%인 것으로 나타났다. 노반을 설치하지 않은 구간에서의 토목섬유 종류별 노면지지력은 지오그리드의 경우 4T는 운송 전 CBR 12.5%에서 8.6%p 감소하여 CBR 3.9%, 10T는 운송 전 CBR 9.3%에서 5.0%p 감소한 CBR 4.3%, 부직포형 지오텍스타일의 경우 200은 운송 전 CBR 10.6%에서 8.0%p 감소한 CBR 2.6%, 1000은 운송 전 CBR 8.4%에서 5.7%p 감소한 CBR 2.7%를 나타냈다.

토목섬유를 부설하고 노반을 포설한 구간의 경우 대형 목재운송차량 통행 후 전체적으로 노면지지력이 증가하

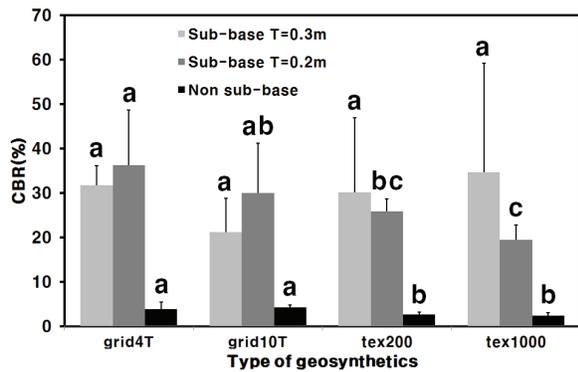


Figure 5. Surface bearing capacity by type of geosynthetics after passage of large logging trucks. Same letter are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

거나 소폭 감소하는 경향을 나타냈지만 CBR 15% 이상으로 대형 목재운송차량의 통행에 문제가 없는 것으로 판단된다. 이와 비슷한 연구결과로 Visser et al.(2017)에 의하면 지오그리드를 부설하고 노반 포설로 보강된 임도는 노면지지력에는 전반적으로 큰 차이를 보이지 않지만 시간이 지남에 따라 보다 많은 통행이 가능하다고 보고하였다. 하지만 토목섬유만 부설하고 노반을 미포설한 구간의 경우 대형 목재운송차량 통행 후 전체적으로 노면지지력이 감소하여 더 이상 대형 목재운송차량의 통행이 불가능한 것으로 나타났다.

3) 노반 포설 깊이 및 토목섬유별 대형 목재운송차량 통행 후 침하량

대형 목재운송차량의 통행 후 침하량 측정 결과, 노반을 0.3 m 포설한 구간의 경우 토목섬유 종류별로 부직포형 지오택스타일 1000에서 최소 17.0 mm, 지오그리드 4T에서 최대 30.0 mm로 평균 24.1 mm의 침하가 발생하였으며, 노반을 0.2 m 포설한 구간의 경우 지오그리드 4T에서 최소 9 mm, 부직포형 지오택스타일 200에서 최대 38 mm로 평균 24.1 mm의 침하가 발생한 것으로 나타났다. 노반 포설구간의 경우 자갈도의 특성상 목재운송 시 운송차량 타이어의 구름저항으로 인해 타이어 주변의 압착과 이완에 의하여 최대 38 mm이내의 침하가 발생하였으나 통행에 따른 일상적인 침하량으로 판단되며, 운송횟수 300회까지 모든 처리구에서 허용 침하량 50 mm(USFS, 1996) 이내의 양호한 수준을 나타냈다. 하지만 노반을 포설하지 않은 구간의 경우에는 운송횟수가 증가함에 따라 지속적으로 침하량이 증가해 운송횟수 75회에서 노면지지력 상실과 함께 토목섬유 종류별로 부직포형 지오택스타일 1000에서 최소 112.0 mm, 지오그리드 10T에서 최대 181.5 mm로 허용기준 50 mm보다 큰 평균 150.8 mm의 침하량이 발생하여 더 이상 대형 목재

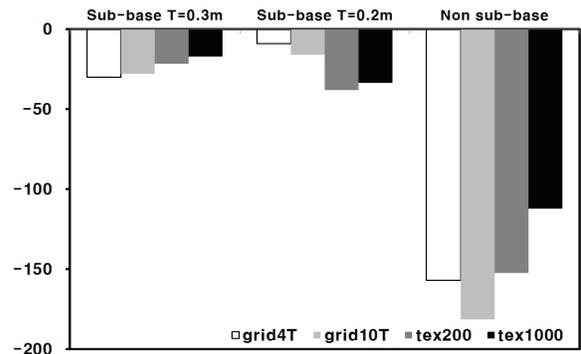


Figure 6. Settlements by type of sub-base depth and geosynthetics after passage of large logging trucks.

운송차량의 통행이 불가능한 것으로 나타났다. 따라서 연약지반에서 대형 목재운송차량의 원활한 통행을 위해서는 토목섬유를 활용하더라도 표층 포설만 실시할 경우 노체의 훼손이 심각하게 발생할 수 있어 반드시 토목섬유의 활용과 함께 노반의 조성이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

이상과 같이 토목섬유를 활용하여 노반을 조성하는 경우 토목섬유의 종류와 상관없이 노반을 0.2 m 이상 조성한 경우에는 시간경과 및 대형 목재운송차량의 통행 후에도 노면의 지지력이 15% 이상, 침하량 50 mm 이하로 대형 목재운송차량의 통행에 문제가 없는 것으로 나타났으며, 이는 토목섬유를 활용하여 노반을 조성할 경우 노반 골재층의 두께를 감소시킬 수 있고, 침하를 방지할 수 있다는 USACE(2003), Latha et al.(2010)의 연구결과와 유사하였다.

결론

최근 목재 생산량이 점차 증가함에 따라 효율적 목재운송을 위하여 대형화되어 가는 목재운송차량의 원활한 통행과 노체 피해 방지를 위해서는 노면지지력의 보강이 필요하다. 이에 산림기술경영연구소 관내 연약지반 구간에 대하여 토목섬유를 활용하고 노반을 조성하고, 목재를 적재한 대형 목재운송차량의 통행 후 노면지지력 및 침하량 변화를 분석하였다. 연구결과, 전체적으로 시공 후 1년이 경과하면서 강우 등 기상조건과 다소의 차량통행으로 인하여 노반이 안정되어 노면지지력이 향상된 것으로 나타났지만, 노반을 조성하지 않은 구간의 경우 시간 경과 후에도 미흡한 노면지지력을 나타냈다. 시험시공 1년 경과 후 원목을 적재한 대형 목재운송차량(총 중량 40.6톤)의 운송횟수(최대 300회)에 따른 노면지지력 및 침하량 변화는 노반 조성구간의 경우 CBR 15% 이상, 침하량 50 mm 이하로 대형 목재운송차량의 통행에 문제

가 없었지만, 노반 미조성 구간의 경우 노면지지력이 미흡하고 침하량 역시 과대(최대 182 mm)하게 발생하여 대형 목재운송차량(25톤)이 통행하는 것은 불가능하였다. 결과적으로 연약지반의 경우 토목섬유를 활용하여 0.2 m 이상의 노반을 조성한다면, 허용 침하량 범위 내에서 토목섬유 종류와 상관없이 충분한 노면지지력(CBR 20% 이상)의 확보가 가능한 것으로 나타났다.

References

- Al-Qadi, I.L., Brandon, T.L., Valentine, R.J. and Smith, T.E. 1994. Laboratory evaluation of geosynthetic reinforced pavement sections. Transportation Research Board., No. 1439, 73rd Annual meeting, Washington DC, pp. 25-31.
- Arnold, G. and Graddum, G. 1995. Corduroy for Forest Roads. Logging Industry Research Organisation Report 20(4): 1-12.
- COFORD (National Council for Forest Research & Development). 2004. Forest Road Manual, Guidelines for the design construction and management of forest roads. pp. 170.
- DTTAS (Department of Transport, Tourism and Sport). 2014. Guidelines on the Depth of Overlay to be used on Rural Regional and Local Roads. pp. 16.
- Fairbrother, S. 2011. Estimating Forest Road Aggregate Strength by Measuring Fundamental Aggregate Properties in proceedings Council for Forest Engineering, Quebec City. pp. 1-9.
- Fannin, R. J. and Sigurdsson, O. 1996. Field observation on stabilization of unpaved roads with geosynthetics. Journal of Geotechnical Engineering 122(7): 544-553.
- FESA (Forest Engineering Southern Africa). 2012. South Africa Forest Road Handbook. pp. 47-51.
- Giroud, J.P. and Han, J. 2004. "Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads. Parts I and II." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 130(8): 775-797.
- Hufenus, R., Rueegger, R., Banjac, R., Mayor, P., Springman, S.M. and Bronnimann, R. 2006. Full-Scale Field Tests on Geosynthetic Reinforced Unpaved Roads on Soft Subgrade. Geotextiles and Geomembranes 24(1): 21-37.
- Koerner, R.M. and G.R. Koerner. 1994. Separation: Perhaps the most underestimated geotextile function. Geotechnical Fabrics Report, Industrial Fabrics Association International, St. Paul, pp. 4-10.
- KFS (Korea Forest Service). 2017. Statistical yearbook of forestry. pp. 441.
- Korea Forestry Promotion Institute. 2017. The quarterly market prices of domestic timber. pp. 104.
- Latha G.M., Nair, A.M. and Hemalatha, M. S. 2010. Performance of geosynthetics in unpaved roads. International Journal of Geotechnical Engineering 4: 337-349.
- Leng, J. 2002. Characteristics and Behavior of Geogrid-Reinforced Aggregate Under Cyclic Load. PhD Thesis. North Carolina State University. p. 164.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 1997. Development of Roller-Compacted Concrete Pavement for Construction of Agricultural Roads. pp. 125.
- Maxwell, S., Kim, W.H., Edil, T.B. and Benson, C.H. 2005. Effectiveness of Geosynthetics in Stabilizing Soft Subgrades. Wisconsin Highway Research Program, Final Report No. 0092-45-15, p. 88.
- NIFOS (National Institute of Forest Science). 2017. Study on Systematic Network and Optimal Structure of Forest Road for Forest Production Infrastructure. pp. 89.
- Visser, R., Brown, K. and Tinnelly, B. 2017. Geogrid for unsealed forest roads: installation considerations and bearing capacity testing in New Zealand. International Journal of Forest Engineering 28(2): 106-115.
- Sprague, C.J. and Cicoff, G.A. 1993. A Study of the Cost-Effectiveness of Using Geotextiles in Permanent Road Structures. Geosynthetics '93, Vancouver, Canada, pp. 49-63.
- USACE (U.S. Army Corps of Engineers). 2003. ETL-1110-1-189 Use of Geogrids in Pavement Construction. pp. 7-18.
- USFS (United States Forest Service). 1996. Earth and aggregate surfacing design guide for low volume roads. pp. 302.
- Yang, S.H. 2006. Effect of using Geotextiles in Flexible Pavements: Life-cycle Cost Analysis. MS thesis, the Virginia Polytechnic Institute and State University. pp. 99.
- Zornberg, J.G. 2012. Geosynthetic-reinforced Pavement Systems. Keynote paper, Fifth European Geosynthetics Conference, EuroGeo5, 16-19 September, Valencia, Spain, Keynote Lectures Volume. pp. 49-61.

Manuscript Received : May 3, 2018

First Revision : August 21, 2018

Second Revision : September 6, 2018

Accepted : September 7, 2018