

개설시기에 따른 임도 노반의 지지력 변화분석

천형욱¹ · 김동현¹ · 이관희² · 김동근^{1*}

¹경북대학교 생태환경시스템학과, ²국립산림과학원 산림기술경영연구소

Analysis of Bearing Capacity Change of Forest Roadbed by Opening Year

Hyeong-Uk Chen¹, Dong-Hyeon Kim¹, Kwan-Hee Lee² and Dong-Geun Kim^{1*}

¹Department of Ecology and Environment System, Kyungpook National University, Sangju 37224, Korea

²Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11187, Korea

요약 본 연구는 임도 유지관리 및 보수를 위한 기초자료를 제공하기 위하여 경상북도 영양군 임도를 대상으로 동평판재하시험(light drop weight test), 들밀도 시험 및 입도분석을 이용하여 개설시기 및 횡단위치별(성토부 차륜부(T0), 노면 중앙부(C), 절토부 차륜부(T1))에 따른 임도노반 지지력 분석을 실시하였다. 들밀도 및 입도분석결과, 들밀도는 2011년 개설임도가 2.0694 g/cm³으로 가장 높은 값을 나타냈으며, 2017년 개설임도가 1.7443 g/cm³으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 입도분석은 2017년 개설임도에서 큰 골재의 비율이 가장 높게 나타났으며, 시기가 늦어질수록 큰 골재의 비율이 줄어드는 경향을 나타냈다. 동평판재하시험결과, 2011년 개설임도 E_{vd}가 평균 35.9 MN/m², 2014년은 평균 31.1 MN/m², 2016년은 평균 26.7 MN/m², 2017년은 평균 23.7 MN/m²로 2011년 개설임도가 가장 높은 E_{vd}를 나타냈다. 또한 성토 차륜부는 평균 21.2 MN/m², 절토 차륜부는 평균 36.71 MN/m² 그리고 중앙부는 평균 29.8 MN/m²로 절토 차륜부가 가장 높은 E_{vd}를 나타냈다.

Abstract: The purpose of this study was to provide basic data for maintenance and repair of the forest road surfaces using the light drop weight test (LDWT), density test, and grain size analysis at four sites in Yeongyang-gun Mt. (2011y, 2014y, 2016y, and 2017y). In terms of the density test results, the opening density in 2011 was the highest at 2.0694 g/cm³, and the opening density in 2017 was the lowest at 1.7443 g/cm³. The grain size analysis showed that the proportion of large aggregates washighest at the opening in 2017, and the proportion of large aggregates decreased with the delay of opening date. From the LDWT results, E_{vd} (the dynamic deformation coefficient) of the 2011y forest road was 35.7 MN/m², 2014y was 30.5 MN/m², 2016y was 28.6 MN/m², and 2017y was 23.5 MN/m². The E_{vd} value for the oldest forests opened with the 2011y forest road was the highest, the average E_{vd} value of the center portion was 21.45 MN/m², the average E_{vd} value of the wheel portion of the banking part was 31.31 MN/m², and the average E_{vd} value of the wheel portion of the cut part was 36.71 MN/m².

Key words: forest road surface, bearing capacity, light drop weight test, four site, E_{vd}

서론

임도는 「임도설치 및 관리 등에 관한 규정」 제26조 “임도의 보수·관리”에 의거하여 임도노선별로 점검하고 보

수하여야 한다. 임도시공·관리 업무 매뉴얼(2015)에 따르면 임도점검의 주안점은 배수시설의 상태, 지하수 용출, 통수능력의 확보 등으로, 배수기능에 대한 점검이 주를 이루며, 지지력 약화로 인한 세굴, 침하에 따른 명확한 유지보수 내용은 나타나있지 않다.

특히 사용년도가 오래된 임도 또는 일부 연약구간의 경우 대형차량의 통행 및 교통량 누적에 따라 노반과 노상의 재료가 뒤섞여 노면의 지지력이 저하되고 이로 인

* Corresponding author

E-mail: dgkim96@knu.ac.kr

ORCID

Dong-Geun Kim  https://orcid.org/0000-0002-9841-1187

한 세굴, 침하가 발생하여 토사재해 발생확률이 높아진다. 이를 방지하기 위해 우리나라의 경우 임도노선별로 노면 및 절·성토면 기타 시설물의 상태를 매년 2회 이상 점검하고 그 결과에 따라 임도를 보수하여야 하지만 보수에 대한 기준이 명확하지 않으며, 임도의 지지력 강화 기준 또한 마련되어 있지 못한 실정이다. 임도 노면의 지지력은 노반 및 노체의 구성에 따라 많은 영향을 받으며, 올바른 노반 구성은 노면의 변형을 방지하고 임도 노면 지지력을 확보할 수 있다(Fairbrother, 2011).

미국의 경우 임도를 신설하거나 구조개량 시 토목섬유를 활용하여 노면의 지지력을 보강하고 골재의 양을 줄여 공사비용을 절감시키고 있으며(United States Department of Agriculture, 2011), 이에 따라 국내에서도 노반 조성 시 토목섬유를 활용한 노면지지력 강화 분석에 관한 연구가 진행 된 바 있다(Lee et al., 2015; Hwang et al., 2018a; 2018b). 그러나 임도 모두에 토목섬유를 적용하는 것은 현실적으로 불가능하며, 임도 노면의 지지력 평가를 통해 개설시기, 토성 등에 따라 노면에 대하여 적절한 임도의 유지관리가 이루어져야 한다.

임도의 지지력을 평가하기 위한 방법으로 평판재하시험(Plate Bearing Test; PBT), 표준관입시험(Standard Penetration Test; SPT), 캘리포니아 지지력 비율(California Bearing Ratio; CBR) 시험 등이 일반적으로 사용되고 있으나, 측정에 대형장비가 필요하며, 측정시간에 많은 시간이 소요되는 제약을 극복하기 위해, 최근에는 무게가 가볍고 측정방법이 간단한 동평판재하시험(Light Drop Weight Test; LDWT)을 이용하여 다짐평가를 실시하고 있다(Hoffmann et al., 2003; Choi et al., 2008; Horak et al., 2008; Kang et al., 2008; Yoon and Oh, 2013).

그러나 LDWT은 %로 단위하중을 구하는 CBR과는 달리 평균 침하량(Settlement; mm)과 동적변형계수(Dynamic Deflection Modulus; $E_{vd}=MN/m^2$)로 노면의 다짐도를 측정한다. 이에 따라 LDWT 측정값의 신빙성 확보를 위해 CBR 시험과 LDWT의 상관관계에 대한 연구가 많이 수행되고 있는 실정이며(Livneh and Goldberg, 2001; Park and Chung, 2003; Choi et al., 2011; Lee et al., 2015), Park and Chung(2003)이 현장과 토조에 동적 변형계수를 측정하고 동일한 지반에서 실시한 평판재하시험 결과의 정적 변형계수와의 상관성을 분석한 결과, 모형토조의 지반조건에서는 상관성이 떨어졌으나, 현장 지반조건에서는 90%이상의 상관성을 가진다고 언급하였다.

따라서 본 연구는 개설시기에 따라 횡단위치별의 E_{vd} (동적변형계수; Dynamic Elastic Modulus; MN/m^2) 값을 측정하여, 임도의 개설시기 및 노면의 횡단위치별 노반

지지력의 변화를 분석하고, 적절한 유지관리 방법을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

본 연구는 기온, 강수량 및 토질 등의 입지인자가 동일한 경상북도 영양군 일월면 문암리 지역의 임도개설시기가 상이한 4개소 임도노선(2011년, 2014년, 2016년 및 2017년)을 대상으로 실시하였다. 조사지를 선정 시 고려사항으로는 최대한 동일한 조건의 실험진행을 위하여 동일 시공자가 연차별로 시공한 한 개의 노선을 선택하였으며, 곡선부가 아닌 직선부, 종단기울기가 10% 이하로 종단기울기가 급하지 않으며, 절·성토를 실시한 편절편 성형의 노선을 조사지역으로 선정하였다(Figure 1).

2. 연구방법

1) 들밀도 시험 및 입도분석

개설시기에 따른 노반의 다짐력과 골재의 크기분포를 규명하기 위하여 모래치환법에 의한 들밀도 시험(KS F 2311)과 입도분석(KS F2302) 시험을 수행하였다. 시험위치는 동평판재하시험을 수행한 지점과 인접한 지점에서 약 7 cm 깊이의 구멍을 파고 들밀도 시험을 진행하였으며, 노반시료는 테스트 홀에서 개소별로 15개, 총 60개를 채취하였다.

채취한 시료는 경북대학교 건설방재공학부 부속실험실 내 토양건조용 건조기에서 110°C의 온도로 24시간 건조작업을 수행하여 건조밀도를 산정하였으며, 24시간 건조작업을 거친 토양은 #4(4.750 mm), #10(2.000 mm), #20(0.850 mm), #40(0.425 mm), #60(0.250 mm), #100(0.150 mm), #200(0.075 mm)체를 사용하여 입도분석을 실시하였다(Figure 2).

2) 동평판재하시험

동평판재하시험은 별도의 하중체 및 시간이 필요없이 30 cm 원판에 10 kg 혹은 15 kg의 추를 자유낙하 시켜, 가속도계가 이를 감지하고, 감지된 값을 활용하여 동적 변형계수(Dynamic Deflection Modulus; E_{vd})를 얻어냄으로써, 다짐도를 구하는 기계이다. 이때 E_{vd} 값은 동적변형계수라 하며, 동적변형계수는 시간적 단위응력(σ)당 변형률(ϵ)을 의미한다.

본 연구에서는 동평판재하시험을 통해 4개소 임도노선에 노면의 골재층을 걷어내고 노반을 대상으로 횡단위치

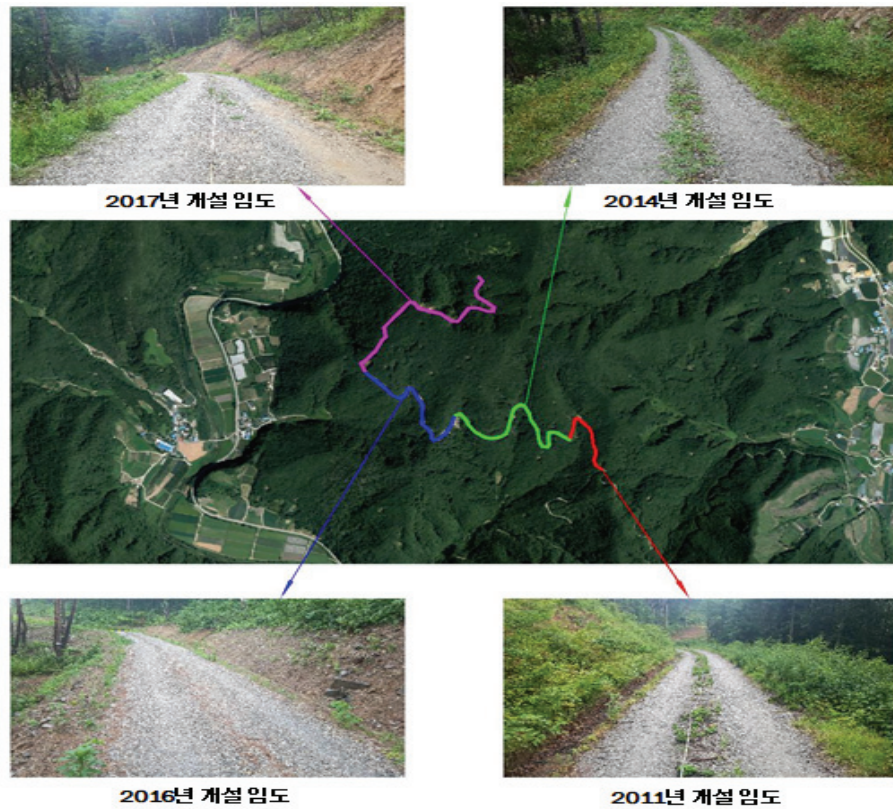


Figure 1. Study site.

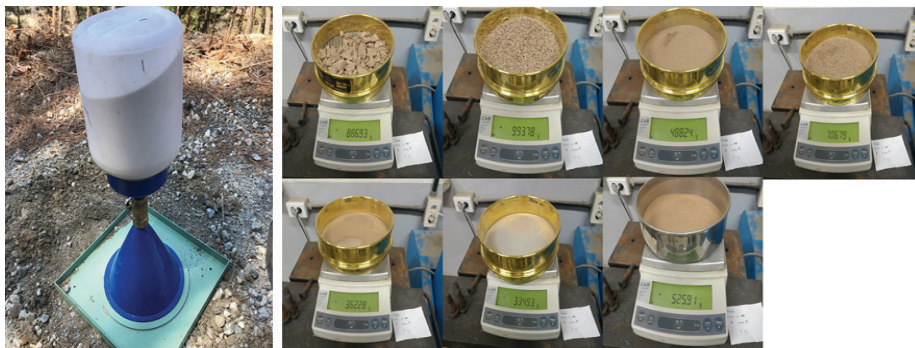


Figure 2. Field density test (left) and Grain size analysis (right).

별(성토 차륜부(T0), 중앙부(C), 절토 차륜부(T1))에 따라 1개 노선 당 5개 구역으로 나누고 15회씩 총 60회의 동평판재하시험을 수행하였다(Figure 3).

3) CBR(%) 추정식의 적용

동평판 재하시험의 E_{vd} 값 고찰을 위해 동평판재하시험기의 제조사인 Zorn Instruments에서 제시한 CBR (%) 추정식을 이용하여 E_{vd} (MN/m^2) 값을 통한 노반의 지지력을 고찰하였다(Table 1).

결과 및 고찰

1. 연구대상지

4개소 임도는 모두 혼합석과 모래를 사용하여 노면이 조성되었으며, 초기 골재층 두께는 10 cm로 구성된 임도이다. 노폭은 3 m로 모두 동일하였고, 종단기울기는 2016년 개설임도의 경우 8%로 가장 급하였으며, 2014년 임도가 4%로 가장 완만하였다. 또한 골재층의 두께는 2017년 임도가 8.5 cm로 가장 두꺼웠으며, 2011년 임도가 3.5 cm로 가장 얇았고, 산림토양은 통일분류법(USCS)에 의해 SW로 조사되었다(Table 2).

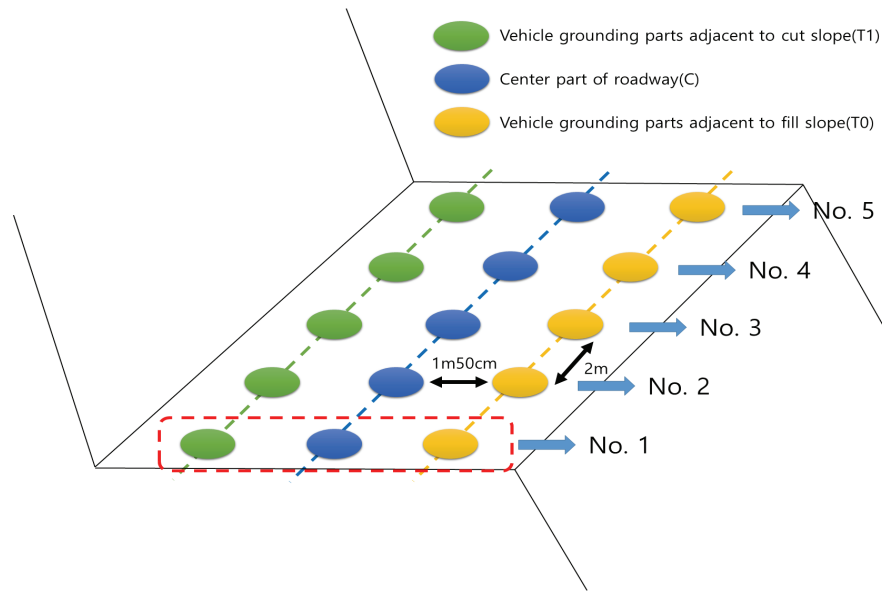


Figure 3. LDWT measurement position.

Table 1. Estimation Equation of CBR(%) value.

Division	Equation
Zorn Instruments	$CBR (\%) = (0.0039 * E_{vd}^2) + (0.4078 * E_{vd}) - 0.2588$

Table 2. Characteristic of Study site.

Region	Mt. 36-1, Munam-ri, Irwol-myeon, Yeongyang-gun, Gyeongsangbuk-do			
Opening year	2011	2014	2016	2017
Width (mean)			3 m	
Longitudinal slope (mean)	5%	4%	8%	5%
Beginning aggregate depth (mean)			10 cm	
Present aggregate depth (mean)	3.5 cm	4.8 cm	7.0 cm	8.5 cm
Soil type (USCS)			SW	

2. 노반 지지력 평가

1) 들밀도 시험과 입도분석

들밀도 시험결과, 개설시기별로 2011년 개설입도의 경우 2.0694 g/cm³으로 가장 높은 값을 나타냈으며, 2017년 개설입도가 1.7443 g/cm³으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 횡단위치별로는 T1이 2.0942 g/cm³으로 가장 높은 값을 보였으며, 가장 낮은 부분은 1.7159g/cm³로 중앙부(C)로 조사되었다(Table 3). 이와 같이 들밀도는 개설시기가 오래될수록 높은 값을 나타내었으며, 건조들밀도 또한 개설시기와 비례하는 현상을 나타냈다.

테스트 홀에서 채취한 노반시료의 입도분석 결과, 2017년 개설입도의 경우 입도가 큰 골재의 비율이 가장 높게 나타났으며, 개설시기가 오래될수록 큰 골재의 비율이 줄어드는 경향을 나타냈다. 공통적으로 차량의 하중이 직접 전달

되는 성토차륜부(T0), 절토차륜부(T1)의 경우 중앙부(C)에 비해 잔골재가 많이 분포하고 있었다. 이러한 결과는 들밀도 시험에서도 나타난 것과 같이 개설시기가 오래될수록 교통량의 누적에 따라 큰 골재가 파괴되고 골재 사이의 공극을 매워 다짐이 이루어진 것으로 판단된다(Table 4).

2) 동평판재하시험과 CBR(%) 추정식의 적용

4개소 입도노선을 대상으로 성토 차륜부(T0), 중앙부(C), 절토 차륜부(T1)에 대해 LDWT를 실시한 결과는 Table 5와 같다.

입도개설시기별로 보았을 때 2011년 개설입도의 E_{vd}값이 평균 35.7 MN/m², 2014년은 30.5 MN/m², 2016년은 28.6 MN/m² 그리고 2017년은 23.5 MN/m²로 측정되었다. 개설시기가 오래된 입도 일수록 E_{vd}값이 높게 측정되었다. 횡단위치에 따른 E_{vd}값도 비교한 결과 중앙부(C)의

Table 3. Results of field density test.

Division	Field density (g/cm ³)			mean	Dry density (g/cm ³)			mean
	T0	C	T1		T0	C	T1	
2011	1.9865	1.8681	2.3536	2.0694	1.9706	1.8472	2.3355	2.0511
2014	1.9493	1.7997	2.0635	1.9375	1.9293	1.7789	2.0432	1.9171
2016	1.7937	1.6541	2.1020	1.8499	1.7722	1.6246	2.0802	1.8256
2017	1.8335	1.5417	1.8578	1.7443	1.8078	1.5157	1.8346	1.7193
mean	1.8907	1.7159	2.0942	1.9002	1.8699	1.6916	2.0733	1.8782

T0 : Vehicle grounding parts adjacent to fill slope

C : Center parts of roadway

T1 : Vehicle grounding parts adjacent to cut slope

Table 4. Results of grain size analysis.

Division	(unit: %)											
	2011			2014			2016			2017		
	T0	C	T1	T0	C	T1	T0	C	T1	T0	C	T1
#4 (4.750 mm)	28.2	31.0	27.3	25.9	26.9	24.8	36.2	36.8	33.7	37.3	37.6	37.0
#10 (2.000 mm)	31.2	28.6	32.0	23.8	25.9	26.2	21.2	23.2	20.8	19.2	22.4	19.5
#20 (0.850 mm)	17.7	15.4	18.9	18.3	19.1	17.1	13.0	14.3	12.7	10.9	9.8	11.2
#40 (0.425 mm)	9.8	5.7	10.2	9.5	8.5	8.0	6.0	5.8	7.5	5.8	5.7	6.0
#60 (0.250 mm)	2.4	3.4	3.2	6.0	5.0	6.2	4.5	3.7	6.0	4.4	3.2	4.7
#100 (0.150 mm)	1.5	1.8	1.8	4.3	2.4	3.2	2.7	2.1	3.7	4.4	3.0	3.2
#200 (0.075 mm)	2.0	2.4	2.1	5.2	3.5	4.5	3.4	3.1	4.5	8.0	3.5	4.0

T0 : Vehicle grounding parts adjacent to fill slope

C : Center parts of roadway

T1 : Vehicle grounding parts adjacent to cut slope

Table 5. Results of LDWT and Correlation Analysis between CBR (%) & E_{vd} (MN/m²).

Site		2011		2014		2016		2017	
		E _{vd} (MN/m ²)	CBR (%)	E _{vd} (MN/m ²)	CBR (%)	E _{vd} (MN/m ²)	CBR (%)	E _{vd} (MN/m ²)	CBR (%)
No.1	T0	37.9	20.8	33.8	18.0	23.2	11.3	25.9	12.9
	C	29.1	14.9	23.3	11.3	17.4	8.0	21.9	10.6
	T1	50.2	30.0	44.5	25.6	31.9	16.7	26.9	13.5
No.2	T0	36.0	19.5	40.8	22.8	30.0	15.5	26.9	13.5
	C	29.8	15.4	19.1	9.0	18.3	8.5	14.1	6.2
	T1	52.6	31.9	36.8	20.0	31.1	16.2	22.5	10.9
No.3	T0	42.7	24.3	29.8	15.3	27.3	13.8	22.5	10.9
	C	27.1	13.6	24.8	12.3	18.8	8.8	13.8	6.1
	T1	30.3	15.7	37.7	20.6	33.8	18.0	23.2	11.3
No.4	T0	33.8	18.0	34.0	18.1	33.6	17.8	31.4	16.4
	C	28.3	14.4	21.0	10.0	17.4	8.0	13.7	6.1
	T1	37.9	20.8	34.3	18.3	45.3	26.2	32.0	16.8
No.5	T0	30.2	15.6	27.5	13.9	30.0	15.5	29.1	14.9
	C	27.6	14.0	14.4	6.4	18.3	8.5	16.5	7.6
	T1	43.0	24.5	35.3	19.0	53.2	32.5	32.1	16.9
mean		35.8	19.6	30.5	16.0	28.6	15.0	23.5	11.6

T0 : Vehicle grounding parts adjacent to fill slope

C : Center parts of roadway

T1 : Vehicle grounding parts adjacent to cut slope

평균 E_{vd} 값은 21.5 MN/m^2 , 성토 차륜부(T0)는 29.8 MN/m^2 그리고 절토 차륜부(T1)는 36.7 MN/m^2 로 차륜부가 중앙부에 비해 높은 E_{vd} 값을 보였으며, 2011년도 개설임도의 경우 절토 차륜부(T1)와 성토 차륜부(T0)의 E_{vd} 값 차이가 극명하게 들어났으나, 2017년도는 크게 차이가 나지 않았다.

E_{vd} 값을 토대로 CBR값을 분석한 결과 2011년 개설임도는 19.6%, 2017년도는 11.6%로 분석되었으며, 횡단위치별로는 2011년 개설임도의 노면 중앙부(C) 부분이 13~15%로 성토 차륜부(T0)과 절토 차륜부(T1)에 비해 현저히 낮은 CBR값을 나타내었다. 이는 본 연구대상지의 임도노선은 모두 임도시공시 진동롤러 등 다짐장비를 이용하여 충분한 다짐을 하지 않고, 굴삭기의 궤도로만 다짐작업을 수행하였을 뿐만 아니라 목재운송차량의 통행 즉, 차량하중에 의한 차륜부 다짐현상에 기인한 것으로 판단된다.

DTTAS(2014)에 따르면 노면지지력은 일반적으로 노반의 CBR이 15%이상인 경우에 대형 목재운송차량 통행에 충분한 노면지지력으로 판정한다고 언급하고 있다. 이처럼 개설 후 8년 동안 지속적인 차량의 운행 및 자연적 물다짐과 중력에 의한 자연전압에 노출될 경우 높은 CBR값을 나타냄을 확인할 수 있었다. 그러나 시간의 흐름에 따라 노면에 부설된 골재의 양이 줄어들고 이로 인해 강우 시 세굴이 일어나거나 중앙부와 차륜부간의 높이 차이로 인한 물웅덩이가 발생함으로써 노반의 지지력이 약화 될 수 있으므로, 개설 후 임도 중앙부에 대한 다짐과 개설 후 3년이 경과한 임도의 경우 골재의 충전이 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 LDWT를 이용하여 임도 노반의 지지력을 분석하기 위해 개설시기별, 횡단위치별로 다짐도를 측정하였으며, LDWT의 E_{vd} 값을 이용하여 CBR값을 추정함으로써 개설시기와 횡단위치에 따른 다짐도 변화를 분석하였다.

개설시기별 LDWT 시험결과는 2011년 개설임도는 E_{vd} 가 평균 35.9 MN/m^2 , 2014년은 평균 31.1 MN/m^2 , 2016년은 평균 26.7 MN/m^2 , 2017년은 평균 23.7 MN/m^2 로 개설시기가 가장 빠른 2011년 개설임도가 가장 높은 E_{vd} 를 나타냈으며, 성토 차륜부(T0)는 평균 21.2 MN/m^2 , 절토 차륜부(T1)는 평균 36.7 MN/m^2 그리고 중앙부(C)는 평균 29.8 MN/m^2 로 절토 차륜부가 가장 높은 E_{vd} 를 나타냈다. 2017년 개설임도의 경우 성토 차륜부와 절토 차륜부의 E_{vd} 값이 0.2 MN/m^2 로 아주 근소한 차이를 보였으나,

2011년 개설임도의 경우 6.7 MN/m^2 의 차이를 보였다.

CBR값에서도 2011년 개설임도가 19.6%로 가장 높았으며, 횡단위치에서는 중앙부(C) 부분이 전체적으로 성토 차륜부(T0), 절토 차륜부(T1)부분에 비해 낮은 값을 나타내었다. 개설시기가 오래될수록 E_{vd} 값이 높아지는 것은 우수로 인한 자연적 물다짐과 교통량의 차이로 판단된다. 또한 차륜부가 중심부에 비해 높은 E_{vd} 값을 가지는 것은 임도 개설 후 목재운송 차량의 통행이 영향을 준 것으로 판단된다. 중앙부(C)에 대한 충분한 다짐이 이루어지지 않을 경우 강우에 의한 세굴, 물웅덩이 형성으로 인한 노반의 지지력이 약화 될 수 있을 것으로 예상되며, 이를 방지하기 위해 3년이 경과한 임도의 경우 중앙부의 다짐과 골재의 충전이 필요할 것으로 사료된다.

References

- Choi, C.Y., Kim, H.K. and Bae, J.H. 2008. LFWD deformation modulus changes which follows in compaction energy from tentative embankment section. *Journal of the Korean Society for Railway* 2008(6): 1823-1830.
- Choi, C.Y., Lee, S.H., Bae, J.H. and Park, D.H. 2011. Evaluation of correlation between strain modulus (E_v) and deformation modulus (ELFWD) using cyclic plate loading test and LFWD. *Journal of Korean Geosynthetics Society*. 10(3): 33-41.
- 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.
- Hoffmann, O.J.-M., Guzina B.B. and Drescher, A. 2004. Stiffness estimates using portable deflectometers. *Journal of the Transportation Research Board*. 1869(1): 59-66.
- Horak, E., Maina, J.W., Guiamba D. and Hartman, A. 2008. Correlation study with the light weight deflectometer in south africa. <http://hdl.handle.net/10204/2437> (2008. 7. 11).
- Hwang, J.S., Ji, B.Y., Kweon, H.G. and Lee, K.H. 2018b. A study on sub-base composition effect of forest road using geosynthetics for passage of large logging trucks. *Journal of Korea Society of Forest Science*. 107(3): 287-293.
- Hwang, J.S., Ji, B.Y., Lee, K.H., Kweon, H.G. and Kim, M.H. 2018a. Bearing capacity reinforcing effect of forest road surface by construction of sub-base using geosynthetics. *Journal of Korea Society of Forest Science*. 107(2): 166-173.
- Kang, H.B., Kim, K.J., Park, S.K. and Kim, J.R. 2008. A study

- on the relation between dynamic deflection modulus and in-situ CBR using a portable FWD. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection* 12(2): 149-155.
- Korea Forest Research Institute. 2017. Study on system atic network and optimal structure of forest road for forest production infrastructure. pp. 39-55.
- Korea Forest Service. 2015. Manual on the management of forest road. pp. 117-154.
- Korea Forest Service. 2018. Statistical yearbook of forestry. pp. 248.
- Lee, K.H., Oh, S.W., Ko, C.U. and Kim, D.G. 2015. Preliminary analysis of stabilization of forest road surface using geosynthetics. *Journal of the Korea Dociety of Environmental Restoration Technology*. 18(6): 51-60.
- Livneh, M. and Goldberg, Y. 2001. Quality assessment during road formation and foundation construction: Use of falling-weight deflectometer and light drop weight. *Journal of the Transportation Research Board*. 1755(1): 69-77.
- Park, Y.B. and Chung, H.S. 2003. A comparison of static and dynamic deformation modulus by dynamic plate test. *Journal of Korean Geotechnical Society*. 19(5): 335-342.
- United States Department of Agriculture Forest Service. 2011. Road Reconstruction Handbook. FSH 7709, 56: 67-72.
- Youn, I.R. and Oh, S.W. 2013. Estimate of the bearing capacity on subbase and subgrade with dynamic plate bearing test. *Journal of the Korean Geo-environmental Society* 14(8): 53-60.
- Zorn Instruments. 2005. Operating manual for light drop weight tester ZFG 2000. Maschinenbauingenieur bernd Zorn, Stendal Germany.

Manuscript Received : December 19, 2018

First Revision : April 16, 2019

Second Revision : May 23, 2019

Accepted : May 29, 2019