

임도 횡단배수구의 유출구 피해 예측에 관한 연구

김명환¹ · 황진성² · 유영민¹ · 차두송^{1*}

¹강원대학교 산림경영학과, ²국립산림과학원 산림기술경영연구소

A Study on Outlet Damage Prediction of Pipe Culverts in Forest Road

Myung Hwan Kim¹, Jin Seong Hwang², Young Min Yu¹ and Du Song Cha^{1*}

¹Department of Forest Management, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Korea

요약: 본 연구는 강원대학교 학술림 임도를 대상으로 횡단배수구의 유출구 피해 유무에 영향을 미치고 있는 총 10개 인자를 조사하여 피해특성을 파악하였다. 그 결과는 다음과 같다. 임도횡단배수구 피해유무에 영향을 미치지 않은 인자는 배수구의 종단위치, 횡단위치, 토질 및 관암거 높이며, 피해영향에 관련된 인자는 유출구 위치, 도수로 유무, 관암거 직경, 관암거 경사, 집수정 크기 등의 순으로 영향을 미치고 있다. 또한 이들 인자를 이용하여 임도횡단배수구 유출구 피해유무 예측을 위한 판별함수식을 도출하였으며, 판별적중률은 68.8%로 산출되었다.

Abstract: This study examined the damage characteristics through investigation for a total of 10 factors (longitudinal position, crossing position, soil type, collecting well volume, outlet position, water apron material, waterway existence, pipe culvert diameter, pipe culvert gradient, pipe culvert height) affecting outlet damages of forest road cross drainage for forest roads in the Research Forest of Kangwon National University. We predicted outlet damages of forest road cross drainage for forest roads using a discriminant analysis. Results showed that longitudinal position, crossing position, soil type and pipe culvert height did not affect damages caused to forest road cross drainage. Most influential factors affecting outlet damages were outlet position, waterway existence, pipe culvert diameter, pipe culvert gradient and collecting well volume, respectively. The discriminant ratio calculated from the developed discriminant function was 68.8% which is reasonably reliable.

Key words: discriminant analysis, cross drainage, damage rate, forest road

서론

임도는 산림경영활동을 위하여 산림지역의 접근성을 제공하는 역할을 담당하는 시설물로서, 특히 우리나라는 전체 산림의 약 70% 이상을 차지하고 있는 IV영급 이상의 산림을 벌채하여 영급구조를 개선하려는 산림청 정책에 발맞추어 중·대경재를 수확해야 하는 시대를 맞이하고 있다. 그러나, 이러한 생산재를 운송하기 위한 기반시설인 임도는 2017년도말 현재 임도밀도 3.3 m/ha로서 매우 미흡한 실정므로, 산림청에서는 2030년까지 임업선진

국 수준인 8.5 m/ha를 목표로 임도확충정책을 추진하고 있다(KFS, 2017).

임도개설은 산림 유수의 흐름을 일순간에 바꿀 수 있으며, 산지를 황폐화시키고, 하천의 수질환경 및 소생물권에 직접적인 영향을 미치게 된다(FAO, 1992; Choi, 2010). 우리나라도 강우 특성상 연 강수량의 70% 정도가 여름에 집중되고 있으며, 특히 최근 이상기후로 인하여 계절성 집중호우가 증가하고 있는 추세로 볼 때, 임도의 피해를 최소화시키기 위해서는 배수시설물의 역할이 매우 중요하다. 배수시설은 임도 노체의 보호를 위하여 임도에 물이 유입되는 것을 막거나 유입된 물을 신속히 임도 외부로 배수시키는 시설로서, 배수가 제대로 이루어지지 않아 임도 노체로 물이 침투되면 시공체의 중량 증대 및 토양 입자간의 결합력 약화로 임도의 지지력이

* Corresponding author

E-mail: dscha@kangwon.ac.kr

ORCID

Du Song Cha  https://orcid.org/0000-0003-2184-9532

저하되어 임도 붕괴의 원인이 된다(Ji et al., 2006).

지금까지의 연구결과를 살펴보면 임도 절·성토사면의 붕괴특성 및 예측에 관한 연구가 대부분을 차지하고 있다. Cha et al.(2002)과 Baek et al.(2014)은 집중호우에 의한 대부분의 임도피해는 사면경사, 사면방위, 토질 등이 원인으로 조사되었으며, 또한 GIS 속성정보인 산림환경인자, 토양인자, 지형인자와 로지스틱 회귀분석을 이용하여 임도붕괴위험도 평가를 실시하였다(Baek et al., 2016). 그리고 수량화 II류 및 퍼지함수로 임도구조 및 입지요인을 이용하여 임도성토사면의 붕괴요인 평가 및 예측을 실시하였으며(Cha et al., 2000; Cha and Ji, 2001, 2002), 이 결과를 활용하여 붕괴위험판정표를 제작하였다(Ji et al., 2003). 그리고 Kim et al.(2014)은 임도성토사면의 안정화를 위하여 포켓식 지오그리드 공법을 적용한 사면안정성 분석을 실시하여 재해에 강한 임도개설 가능성을 확인하였다.

임도배수시설에 대한 연구는 국내에서 Choi et al.(2009, 2011)은 GIS프로그램을 이용한 유출량과 통수량을 산출하여 배수관의 최소직경을 산출하였으며, Bang et al. (2014)은 AHP법을 활용하여 임도재해에 영향을 미치는 인자들 중에서 임도의 구성요소로서 배수시설이 가장 높은 가중치를 점하는 것으로 보고하였으며, Ji et al.(2016)은 임도에 대한 관리자 집단간의 인식성향으로 임도유지 관리작업의 주요 내용으로서 배수시설의 정비가 중요하다는 결과를 도출하였다. 국외 연구에서는 임도재해의 원인을 제공하는 임도배수시설물의 주요 요인으로 옆도랑, 암거 경사 및 수평각, 암거 간격 및 위치, 암거 직경 등이 연관되어 있다고 보고되고 있으나(FAO, 1992; Park et al., 2007; Piehl et al., 1988; Scandari et al., 2011), 임도 배수시스템에서 중요한 횡단배수구의 피해에 대한 연구는 아직 부족한 실정으로 이에 대한 연구의 중요성이 대두되고 있다.

따라서 본 연구에서는 상기의 문제점에 착안하여 강원대학교 학술림 임도노선중에서 지금까지 임도복구사업을 실시하지 않은 노선을 대상으로 임도횡단배수구(관암거)의 피해 유무 및 위치인자 등의 10개 인자를 조사하여, 유출구 피해발생비를 산출하여 피해특성을 파악하였다. 또한 교차분석을 통한 피해유무와 관련된 인자를 도출한 후, 판별함수를 이용하여 피해유무 판별식을 도출하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

연구대상지는 강원도 춘천시 동산면에 위치한 강원대학교 학술림내의 임도 총 8개 노선, 총임도길이 41.26 km 중에서 임도구조개량사업 및 산사태 복구사업이 실시되지 않은 6개 노선, 총 임도길이 18.65 km를 대상으로 임도횡단배수구 총 135개소를 조사하였다(Table 1).

2. 조사항목

조사항목은 Table 2와 같이 횡단배수구의 종단위치, 횡단 위치, 토질, 집수정 크기(m²), 관암거높이(집수정 저면에 대한 관암거 위치)(cm), 관암거 직경(mm), 관암거 경사(%), 유출구 위치, 물받이 재료 및 도수로 유무 등 총 10개 요인을 선정하였으며, 배수구 피해의 직접적 원인인 경우는 임도노선이 전부 동일지역으로 판단되어 해석요인으로부터 제외하였다.

3. 분석방법

이상의 10개 요인을 임도횡단배수구의 피해군과 미피해군으로 구분하여 각 요인별 카테고리별 Table 2와 같이 각 카테고리별 상대빈도율(%)을 산출하였다. 식 1에 의해 임도횡단배수구 피해발생비로 산출하여 횡단배수구 피해특성을 검토하였다(Cha and Ji, 2001).

Table 1. General description of the study forest roads in the Research Forest of Kangwon National University.

Line	Construction year	Total road length (km)	Survey route (km)	Survey point (No)
1	1993	4.46	1.30	10
2	1994	7.33	-	-
3	1997	5.82	3.30	13
4	1998	7.20	7.20	50
5	2007	9.60	-	-
6	2014	3.55	3.55	34
7	2015	1.44	1.44	14
8	2016	1.86	1.86	14
Sum		41.26	18.65	135

Table 2. Factors and categories to evaluate culvert outlet damage in forest road.

Factor	Category					
	1	2	3	4	5	6
Longitudinal position	mountain foot	hillside	hilltop	-	-	-
Crossing position	valley	slope	ridge	-	-	-
Soil type	gravelly soil	weathered soil	soft rock	hard rock	-	-
Collecting well volume (m ³)	≤5	6~10	11~15	16~25	26~ 30	31≤
Outlet position	existing grade	fill slope	-	-	-	-
Water apron material	circular gabion	dry pitching	rectangular gabion	wet pitching	no apron	-
Waterway	existence	no existence	-	-	-	-
Pipe culvert diameter (mm)	400	600	800	1,000	-	-
Pipe culvert gradient (%)	≤5	6~15	16~25	26≤	-	-
Pipe culvert height from the bottom (cm)	≤10	10<	-	-	-	-

Table 3. Culvert outlet damage distribution by longitudinal position.

Category	Damage condition		DR	p-value
	Existence	No existence		
Longitudinal position	mountain foot	- (0.0%)	1 (1.1%)	0.00
	hillside	47 (100%)	87 (98.9%)	1.01
	hilltop	-	-	-
	sum	47 (100%)	88 (100%)	-

$$\text{피해발생비 (damage rate, DR)} = \frac{\text{피해 발생에 대한 각 카테고리의 상대빈도율(\%)}}{\text{피해 미발생에 대한 각 카테고리의 상대빈도율(\%)}} \quad (1)$$

임도 횡단배수구 피해발생비는 피해 미발생에 대한 피해 발생의 상대비율로서 피해발생비가 1보다 크면 피해 위험도가 높고, 1보다 작으면 피해 위험도가 낮다.

또한 임도 횡단배수구 피해인자와 피해유무와의 연관성을 파악하기 위하여 5%의 유의수준(p< 0.05)에서 교차분석을 실시하여 임도 횡단배수구 피해에 관련된 인자를 선정하였다. 그리고 선정된 인자를 이용, 식 2와 같이 판별함수식을 도출하여 어떠한 요인이 피해에 영향을 미치는가에 대한 예측을 실시하였다. 통계프로그램은 SPSS PC+(20.0)을 이용하였다.

$$Z = ax_1 + bx_2 + \dots + yx_{n-1} + zx_n \quad (2)$$

결과 및 고찰

1. 임도횡단배수구의 피해요인 특성

임도횡단배수구 피해유무 조사개소는 총 135개소로서 피해지는 47개소, 미피해지는 88개소로서, 피해유무는 유출구에서 침식, 세굴 및 붕괴 등이 발생되면 피해로 조사하였다.

1) 종단위치

횡단배수구는 산록부 1개소를 제외하고 대부분 산복부에 위치하고 있으며, 피해발생비는 1.01로서 상대적으로 피해유무에 영향이 그다지 미치지 않은 것으로 판단되며, 또한 교차 분석 결과에서도 종단위치와 피해유무간에는 통계적으로 연관성이 없는 것으로 나타났다(p=0.463) (Table 3).

2) 횡단위치

대부분 계곡과 사면에 위치하고 있으며, 피해발생비를 검토하면, 계곡부보다는 사면부에 위치하고 있는 횡단배수

구에서 피해발생위험도가 높은 것으로 예측되었다. 이것은 사면부에서는 유출구 위치가 원지반보다는 성토사면에 위치하고 있는 이유로 사면붕괴현상이 발생하는 것으로 사료되며, 계곡에서의 피해는 소계곡 위주의 침식 및 세굴 현상이 발생되고 있다. 또한 횡단 위치와 피해유무 간의 교차 분석 결과는 유의성이 없는 것으로 나타났다($p=0.058$) (Table 4).

3) 토질

사면을 구성하고 있는 재료는 역질 토사와 경암이 주로 구성되어 있으며, 피해지는 역질 토사사면이 30개소, 경암사면이 15개소 조사되었으며, 붕괴발생비도 역질토사에서 1.25로 가장 높게 발생되어 피해위험이 높은 것으로 나타났다. 교차분석 결과, 토질과 피해유무 사이에

는 통계적으로 연관성이 없는 것으로 나타났다($p=0.336$) (Table 5).

4) 집수정 크기

집수정 크기는 $5m^3$ 이하에서 피해가 35개소수(74.5%)로서 가장 많이 발생되었으며, 또한 피해발생비도 1.77로서 피해위험도가 매우 높은 것으로 나타났다. 피해가 발생한 곳은 대부분 관암거 직경 400 mm의 집수정이며, 종단위치로는 산복에서, 횡단위치로는 사면에서 발생되었다. 집수정 크기와 피해유무 간의 교차 분석결과는 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다($p=0.015$) (Table 6).

5) 유출구 위치

유출구 피해 47개소 중에서 성토사면에서 43개소(91.5%)

Table 4. Culvert outlet damage distribution by crossing position.

Category	Damage condition		DR	p-value
	Existence	No existence		
Crossing position	valley	15 (31.9%)	43 (48.9%)	0.65
	slope	32 (68.1%)	45 (51.1%)	0.058
	ridge	-	-	
	sum	47 (100%)	88 (100%)	

Table 5. Culvert outlet damage distribution by soil type.

Category	Damage condition		DR	p-value
	Existence	No existence		
Soil type	gravelly soil	30 (63.8%)	45 (51.1%)	1.25
	weathered soil	- (0.0%)	3 (3.4%)	0.00
	soft soil	2 (4.3%)	7 (8.0%)	0.54
	hard soil	15 (31.9%)	33 (37.5%)	0.85
	sum	47 (100%)	88 (100%)	-

Table 6. Culvert outlet damage distribution by collecting well volume.

Category	Damage condition		DR	p-value
	Existence	No existence		
Collecting well volume (m^3)	≤ 5	35 (74.5%)	37 (42.0%)	1.77
	6~10	7 (14.9%)	31 (35.2%)	0.42
	11~15	2 (4.3%)	6 (6.8%)	0.63
	16~25	2 (4.3%)	4 (4.6%)	0.93
	26~30	- (0.0%)	3 (3.4%)	0.00
	31 \leq	1 (2.1%)	7 (8.0%)	0.26
	sum	47 (100%)	88 (100%)	-

Table 7. Culvert outlet damage distribution by outlet position.

Category	Damage condition		DR	p-value
	Existence	No existence		
Outlet position	existing grade	4 (8.5%)	38 (43.2%)	0.20
	fill slope	43 (91.5%)	50 (56.8%)	1.61
	sum	47 (100%)	88 (100%)	-

Table 8. Culvert outlet damage distribution by water apron materials.

Category	Damage condition		DR	p-value
	Existence	No existence		
Water apron material	circular gabion	7 (14.9%)	22 (25.0%)	0.60
	dry pitching	- (0.0%)	12 (13.6%)	0.00
	rectangular gabion	5 (10.6%)	6 (6.80%)	1.56
	wet pitching	27 (57.5%)	26 (29.6%)	1.95
	no apron	8 (17.0%)	22 (25.0%)	0.68
	sum	47 (100%)	88 (100%)	-

Table 9. Culvert outlet damage distribution by waterway.

Category	Damage condition		DR	p-value
	Existence	No existence		
Waterway	existence	1 (2.1%)	25 (28.4%)	0.07
	no existence	46 (97.9%)	63 (71.6%)	1.37
	sum	47 (100%)	88 (100%)	-

가 발생되었으며, 원지반에서는 4개소(8.5%)만 발생되었다. 유출구 피해발생비도 성토사면에서 1.61로서 피해위험도가 매우 높은 것으로 나타났다. 이것은 성토사면에 있어서 침투수의 영향으로 사면피해가 발생하는 경우로서 유출구 보호공과 토사와의 경계면에서 빈번하게 발생되고 있는 것으로 판단된다. 따라서 성토사면에서의 유출구 피해를 방지하기 위해서는 원지반까지 도수로 등을 설치하여 배수해야 할 것이다. 또한 유출구 위치와 피해유무 간의 교차 분석은 통계적으로 매우 연관성이 있다는 것으로 나타났다($p=0.000$)(Table 7).

6) 물받이 재료

유출구 피해 47개소 중에서 물받이가 있는 개소에서 83.0%(39개소)가 발생되었으며, 그중에서도 특히 물받이가 돌찰붙임인 경우가 27개소(57.5%)로서 가장 많이 점유하고 있으며, 피해발생비도 1.95로서 피해위험도가 가장 높은 것으로 나타나, 물받이의 돌찰붙임은 적극적으로 고려해야 할 것으로 사료된다. 또한 계비온 시공도 피해발생비가 1.56으로서 높게 나타났다. 이것의 시공지역

을 살펴보면, 유출구의 위치와 밀접한 관련을 갖고 있어서 대부분 성토사면에 위치하고 있으며, 돌찰붙임은 유수의 분산이 불량하며, 계비온의 경우에는 원지반과 접촉하는 사면의 세굴로 인한 계비온의 밀림 및 전도현상에 발생되기 때문인 것으로 판단된다.

물받이 재료와 피해유무의 관계 간에는 통계적으로 유의미한 차이가 있어 연관성이 있다는 것으로 나타났다($p=0.004$)(Table 8).

7) 도수로 유무

유출구 피해지 47개소 중에서 46개소(97.9%)가 도수로가 없는 사면에서 발생하였으며, 피해발생비도 1.37로서 피해위험도가 높게 산출되었다. 도수로는 일반적으로 사면부위의 암거배수에서 원지반보다는 성토사면에 유출구가 위치하는 관계로 원지반까지 수로를 시공하여 배수하는 것이 일반적인 배수체계이지만, 사면길이가 긴 경우에는 이를 만족시키지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 상기의 물받이 재료와 연계하여 사면에서도 분산 배수하는 방법을 강구해야 할 것이다. 도수로 유무와 피

Table 10. Culvert outlet damage distribution by pipe culvert diameter.

Category		Damage condition		DR	p-value
		Existence	No existence		
Pipe culvert diameter (mm)	400	15 (31.9%)	8 (9.1%)	3.51	0.004
	600	9 (19.1%)	13 (14.8%)	1.29	
	800	18 (38.3%)	47 (53.4%)	0.72	
	1000	5 (10.6%)	20 (22.7%)	0.47	
	sum	47 (100%)	88 (100%)	-	

Table 11. Culvert outlet damage distribution by pipe culvert gradient.

Category		Damage condition		DR	p-value
		Existence	No existence		
Pipe culvert gradient (%)	≤5	8 (17.0%)	11 (12.5%)	1.36	0.014
	6~15	25 (53.2%)	25 (28.4%)	1.87	
	16~25	10 (21.3%)	36 (40.9%)	0.52	
	26≤	4 (8.5%)	16 (18.2%)	0.47	
	sum	47 (100%)	88 (100%)	-	

해유무 간의 교차 분석한 결과는 통계적으로 매우 연관성이 있다는 것으로 나타나(p=0.000), 도수로 미시공 개소에서는 피해가 발생하는 것으로 나타났다(Table 9).

8) 관암거 직경

유출구 피해지 관암거 직경은 800 mm에서 18개소(38.3%)로서 가장 많은 피해를 입었으며, 400 mm에서 31.9%(15개소), 600 mm에서 19.1%(9개소), 1,000 mm에서 10.6%(5개소) 순으로 피해가 나타났다. 그러나 피해 발생비를 살펴보면, 400 mm에서 3.51로 가장 높게, 1,000 mm에서 0.47로 가장 낮게 산출되어 직경이 작으면 작을수록 피해발생비가 높게 나타나, 피해위험도가 높은 것으로 나타났다. 관암거 직경과 피해유무 간의 교차 분석 결과는 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(p=0.004)(Table 10).

9) 관암거 경사

유출구 피해지의 관암거 경사는 6~15%에서 25개소(53.2%), 16~25%에서 10개소(21.3%)로 피해가 높게 발생하였으며, 암거경사가 26% 이상인 지역에서는 피해가 4개소(8.5%)로서 가장 낮게 산출되었다. 피해발생비를 살펴보면, 암거경사가 6~15%에서 1.87, 5% 이하인 곳에서 1.36으로 높게 나타났다. 이 개소를 살펴보면 대부분 유출구가 성토사면에 위치하는 관계로 피해를 입었으며, 반면에 암거경사가 급한 개소에서는 피해발생비가 0.47로서 가장 낮게 나타났다. 이것은 산지경사가 급한 지역

에서는 관암거를 산지사면과 동일한 경사로 설치하는 것으로 피해가 예상되었으나, 반대의 결과가 도출되어, 좀 더 신중한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 관암거 경사와 피해유무 간의 관계에는 통계적으로 유의미한 차이가 있어 연관성이 있다는 것으로 나타났다(p=0.014)(Table 11).

10) 관암거 높이

집수정에서 관암거의 높이에 대한 유출구의 피해는 높이가 10 cm 이하에서 대부분 피해가 발생되었으나, 피해 발생비는 높이가 10 cm 초과인 곳에서 1.12로 피해위험도가 높은 것으로 나타났다. 집수정 저면과 암거 위치에 대한 단차는 옆도랑에서 흘러오는 유수의 낙차로 인하여 와류가 발생되므로 유속의 감속을 도모하고자하는 의미로 설정되었으나, 현지조사결과로는 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 또한 관암거의 높이와 피해 유무에는 통계적으로 연관성이 없는 것으로 나타났다(p=0.869)(Table 12).

이상의 총 10개의 인자를 교차분석한 결과, 횡단배수구 유출구 피해와 연관성 있는 인자는 집수정 크기, 유출구 위치, 물받이 재료, 도수로 유무, 관암거 직경, 관암거 경사로 분석되었다.

집수정의 크기는 5 m³ 이하의 피해 위험도가 가장 높으며, 크기가 작을수록 피해가 발생하는 것으로 나타났으며, 유출구의 위치는 성토사면에 위치하는 경우, 관암거 경사는 낮을수록 피해위험도가 높은 것으로 나타났

Table 12. Culvert outlet damage distribution by pipe culvert height from the bottom.

Category		Damage condition		DR	p-value
		Existence	No existence		
Pipe culvert height (cm)	≤10	44 (93.6%)	83 (94.3%)	0.99	0.869
	10<	3 (6.4%)	5 (5.7%)	1.12	
	sum	47 (100%)	88 (100%)	-	

Table 13. Developed discriminant function.

Factor	Damage condition	
	Existence	No existence
Collecting well volume	-0.51	-0.40
Outlet position	12.01	11.03
Wateway existence	11.28	9.94
Pipe culvert diameter	4.86	5.19
Pipe culvert gradient	1.42	1.52
constant	-30.65	-27.91

Table 14. Discrimination cross table of damage factors on forest road culvert outlet.

Discrimination	Samples with damage	Samples without damage
Discriminated to samples with damage	38 (80.9%)	35 (39.8%)
Discriminated to samples without damage	9 (19.1%)	53 (60.2%)
Total	47 (100%)	88 (100%)

다. 이것은 관암거 경사가 낮다는 것은 성토사면 길이가 짧고, 산지지형이 완만하다는 것을 의미한다. 물받이 재료는 돌찰붙이기인 경우와, 도수로는 설치가 되지 않았을 때 피해가 많이 발생하는 경향이 보였다. 이것은 물받이 재료로서 찰붙이기 공법만으로는 유출구의 피해가 예상되므로, 사면으로 분산 침투되는 메붙이기 공법 등과 연속적으로 시공하는 것이 유출구 피해를 감소시킬 것으로 예상된다. 또한 관암거 직경은 작으면 작을수록 피해 위험도가 높은 것으로 나타났으며, 유역 크기 등 다양한 인자에 의해서 배수관의 크기가 결정되지만, 가능한 관암거 직경이 800 mm 이상을 시공하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

2. 임도횡단배수구의 피해발생 판별 및 예측

상기의 교차분석을 이용하여 피해와 연관성 있는 6개 인자를 이용하여 Fisher의 선형 판별예측함수를 이용하여 판별함수식을 도출하였다.

1차 집단평균의 동질성에 대한 검정을 실시한 결과, 물받이 재료는 유의확률 ($p < 0.05$) 내에 포함되어 있지 않아서 ($p = 0.83$), 이 인자를 제거한 후 5개 인자(집수정 크기,

유출구 위치, 도수로 유무, 관암거 직경, 관암거 경사)를 이용하여 Table 13과 같이 판별함수식을 도출하여 유의성 검증을 실시한 결과, 유의미한 것으로 나타났으며 ($p = 0.000$), 새로운 변수 값을 두 판별함수식에 대입하여 판별점수가 높은 값의 집단으로 분류하였다(Park et al., 2016). 임도횡단배수구 유출구 피해에 영향을 미치는 인자로서는 유출구 위치(0.767), 도수로 유무(0.673), 관암거 직경(-0.648), 관암거 경사(-0.470), 집수정 크기(-0.451) 순으로 분석되었으며, 이 값은 보통 ± 0.3 이상인 경우 유의한 것으로 판단하고 있다.

이 판별함수예측식을 이용한 소속집단의 분류 결과는 전체 135개소에서 피해지 47개소 중 38개소(80.9%)가 정분류 되었고, 9개소(19.1%)가 오분류 되었으며, 피해가 없는 88개소 중 정분류와 오분류는 각각 53개소(60.2%)와 35개소(39.8%)로 분류되었으며, 전체 대상지에 대한 분류 정확도는 68.8%로 나타났다(Table 14). 이 결과는 기존 연구보다는 낮은 값을 보이고 있어서 추후 자료를 보완하여 검토해야 할 것이다(Cha et al., 2000; Cha and Ji, 2001, 2002).

결 론

본 연구는 임도재해, 특히 횡단배수구 유출구 피해에 의한 성토사면의 붕괴를 방지하고, 견고한 임도를 시공하기 위한 자료를 제공하기 위하여 강원도 춘천시에 위치한 강원대학교 학술림 임도 6개 노선을 대상으로 임도 횡단배수구 유출구 피해요인 10개 인자를 선정하여 피해 특성 및 평가를 실시하였다.

횡단배수구 유출구 피해에 가장 영향을 미치는 인자는 유출구 위치, 도수로 유무, 관암거 직경, 관암거 경사, 집수정 크기의 순으로 나타났으며, 판별함수식의 분류 정확도는 68.8%로 산출되었다. 이들 5개 인자의 관계를 살펴보면, 집수정 크기가 클수록 관암거 직경은 크게 시공되고 있으며, 피해위험도는 낮게 산출되어 임도설계에 적극적으로 반영되어야 할 것으로 판단된다. 또한 유출구 위치는 원지반에 시공하는 것이 피해발생이 적었으며, 성토사면에 유출구가 위치한다면 반드시 도수로를 시공하여 원지반까지 배수를 유도하는 것이 피해를 줄이는 것으로 사료된다. 관암거 경사는 일반적으로 성토사면에 위치하면 경사는 완만하게 시공되며, 원지반에 위치한 경우에는 관암거 경사가 급함에도 불구하고 피해발생이 적은 것으로 분석되었다. 따라서 대규모 사토장에서 관암거를 시공하는 경우, 기존의 성토사면에 유출구가 위치시켜 도수로로서 원지반까지 유도하는 방법과, 관경사가 급하고 길이가 길어도 원지반에 시공하는 방법도 검토해야 할 것으로 판단된다. 이렇게 시공되면, 급경사지에의 관암거의 길이는 수십 m로 길어지는 경향이 나타나지만, 메블이기 등의 물받이를 활용하여 유수를 분산시키면 침식 및 세굴현상 등의 피해발생이 없을 것으로 판단되며, 추후 연구검토가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 2017년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비(관리번호-520170352)와 한국임업진흥원 ‘융복합기반 임산업의 신산업화 기술개발 사업(과제번호: 2018129B10-1819-AB01)’의 지원에 의하여 연구되었음.

References

Baek, S.A., Cho K.H., Hwang, J.S., Jung, D.H., Park, J.W., Choi, B.K. and Cha, D.S. 2016. Assessment of Slope Failure Potential in Forest Roads using a Logistic regression Model. *Journal of Korean Forest Society* 105(4): 429-434.
Baek, S.A., Lee, J., Ji, B.Y., Yeo, U.S., Lee, J.W. and Cha,

D.S. 2014. Forest Road Damages associated with Heavy Rainfall Event in Hongcheon, Gangwon Province. *Proceeding of the 2014 Meeting of the Korean Forest Society*. pp. 281.
Bang, H.S., Kweon, H.K., Lee J.W. and Kim, M.J. 2014. A Study on Classification of Disaster Risk rating for Forest Road using AHP Methodology. *Journal of Korean Forest Society* 103(2): 258-263.
Cha, D.S. and Ji, B.Y. 2001. Development of Prediction Model for Fill Slope Failure of Forest Road. *Journal of Korean Forest Society* 90(3): 324-330.
Cha, D.S. and Ji, B.Y. 2002. Development of Prediction Model for Cutting Slope Failure in Forest Road. *Journal of Korean Forest Society* 91(3): 412-419.
Cha, D.S., Ji, B.Y. and Oh, J.H. 2000. Evaluation of Slope Failure Possibility on Forest Road using Fuzzy Theory (I)-On the Fill Slope of the Metamorphic Rock Area-. *Journal of Korean Forest Society* 89(1): 33-40.
Choi, Y.H. 2010. A Study on the Planning of Forest Road Drainage System. Thesis of Doctor. Graduate School, Chungnam National University. pp. 213.
Choi, Y.H., Kim, M.J., Kweon, H.K., Lee, J.W., and Kim, T.K. 2009. Development of Application for Forest Road Drainage System using GIS(I). *Proceeding of the 2009 Summer Meeting of the Korean Forest Society*. 308-309.
Choi, Y.H., Lee, J.W. and Kim, M.J. 2011. A Study on development Standard Calculation Program of Forest Road Drainage Facilities. *Journal of Korean Forest Society* 100(1): 25-33.
Food and Agricultural Organization (FAO). 1992. Irrigation and Drainage Paper No. 46, CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management.
Ji, B.Y., Cha, D.S., Jung D.H. and Oh, J.H. 2003. Manufacture of Failure Prediction Table of Fill Slope on Forest Road in Igneous Rock Area. *Journal of Korean Forest Society* 92(4): 340-347.
Ji, B.Y., Jeon, K.S., Jung D.H., Lee, J.W., Cha, D.S., Ma, H.S. and Park, J.M. 2006. Evaluation of Damage Factor on Forest Road Surface. *Proceeding of the 2006 Autumn Meeting of the Korean Forest Society*. 383-385.
Ji, B.Y., Kweon, H.K., Hwang, J.S. and Jung D.H. 2016. Preference Analysis between Two Administrator Groups on Forest Road Facilities. *Journal of Korean Forest Society* 105(4): 449-455.
Kim, M.I., Lee, M.S., Kim, M.S. and Gho, G.B. 2014. Development of vulnerable slope protection method around forest road and its stability analysis. *KSFE-P16* 278.
Korea Forest Service (KFS). 2017. Forest road facilities. Accessed in <http://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/Html>

- Page.do? pg=/conser/conser_0301.html&mn=KFS_02_01_05_01. [in Korean]
- Park, J.J., Seo, I.K., Kang, D.Y. and Lee, J.H. 2016. A Safety Evaluation of Shoulder Rumble Strips on Expressway using Discriminant Analysis. *Journal of Korean Society of Safety* 31(1): 95-104.
- Park, J.M., Lee, J.W. and Ji, B.Y. 2007. Culvert installation and size on low-volume roads in U.S.A. *Journal of Korea Society of Forest Engineering and Technology* 5(1): 45-57.
- Piehl, B.T., Beschta, R.L. and Pyles, M.R. 1988. Ditch-relief Culverts and Low-volume Forest Roads in the Oregon Coast Range. *Northwest Science* 62(3): 91-98.
- Scandari, S. and Hosseini, S.A. 2011. Evaluation of drainage system of forest road on Iran: Darabkola forest roads. *Journal of Development and Agricultural Economics* 3(16): 703-708.
-
- Manuscript Received : June 19, 2018
First Revision : July 30, 2018
Accepted : July 31, 2018