J. Korean For. Soc. Vol. 104, No. 4, pp. 598~606 (2015)
http://dx.doi.org/10.14578/jkfs.2015.104.4.598

한국임학회지
JOURNAL OF KOREAN FOREST SOCIETY
ISSN 0445-4650(Print), ISSN 2289-0904(Online)
http://e-journal.kfs21.or.kr

전라북도 지역의 임도 재해발생 및 위험지 특성분석

박지혁[1] · 박종민[2]*
[1]전북대학교 임학과, [2]전북대학교 산림환경과학과

Analysis of the Characteristics of the Disaster Occurrence and the Disaster-prone Zones on the Forest Roads in the Jeollabuk-do Area

Ji-hyuck Park[1] and Chong-Min Park[2]*
[1]Department of Forestry, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea
[2]Department of Environmental Science Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

요 약: 전라북도 임도의 재해발생 및 위험지 85개소를 대상지로 선정하여 강우의 특성 및 다양한 산림환경인자 별로 조사하여 임도재해발생지 및 위험지 특성을 분석하였다. 조사를 통한 임도재해유형은 절토비탈면 붕락 54.1%, 성토비탈면 붕락 35.3%, 절・성토비탈면 복합붕락 9.4%, 노면훼손 1.1%로 나타났다. 위치별로는 종적 위치는 산복부, 횡적 위치는 비탈면부에서 가장 많은 재해가 발생하였다. 임도재해에 영향을 미치는 산림인자별로는 절토비탈면 경사 31°~40°, 성토비탈면 경사 21°~30°, 토성은 미사질식양토, 임상은 침엽수림, 비탈면 방향은 북동, 임령은 조림(벌채)지, 연간누적강우 1601~1700 mm에서 가장 많은 재해가 발생되었다. 전라북도 임도재해발생과 산림환경인자와의 상관분석을 실시한 결과 절토비탈면 경사 31°~40°와 연간누적강우량 1601~1700 mm이 1% 유의수준 내에서 정(+)의 상관관계를 보였다. 횡적 위치로 비탈면, 임상은 침엽수림, 임령은 조림(벌채)지, 비탈면 길이 20 m 이상, 토성 미사질양토 등은 5% 유의수준 내에서 정의 상관관계를 보였다.

Abstract: This study analyzed the characteristics of the disaster occurrence and disaster-prone zones on the 85 forest roads in the Jeollabuk-do area by referring to their forest environment factors. The on-site survey reveal the types of forest road disasters as follows: erosions of cutting slopes 54.1%, erosions of the filling slope 35.3%, collapses of cutting slopes with filling slope 9.4%, and erosions of road surface 1.1%. Disasters most frequently occurred in the vertical location (the hillside) and the horizontal location (the slope), and the forest factors affecting the road disasters were degree of cutting slopes in 31°~40°, degree of filling slopes in 21°~30°, and the soil texture of SiL. The most significant factors on the most frequent occurrence of forest road disasters were forest type of coniferous, slope aspect northeast, forest age of plantation and felling area, and rainfall in 1601~1700. An analysis of the occurrence of the forest road disasters in the Jeollabuk-do area showed a positive correlative relationship with the following factors of the forest environment within a 1% error: degree of cutting slope in 31°~40°, annual accumulation rainfall in 1601~1700. and showed a positive correlative relationship with the following factors of the forest environment within a 5% error: horizontal location of valley, forest type of coniferous, length of slope more than 20 m, forest age of plantation and felling area, soil texture of SiL.

Key words: *characteristics of the disaster, correlation analysis*

서 론

임도는 산림경영을 위한 기반시설임과 동시에 농・산촌을 잇는 교통로, 휴양 및 산악레포츠 기반 등의 다양한 기능을 하고 있다. 그러나 임도의 개설과정에서 절・성토에 의한 지형의 변화를 수반하게 되고, 이러한 지형개변은 산지재해를 유발하는 원인이 되기도 한다. 최근 국내에서는 국지성 집중호우 및 태풍에 동반된 호우로 인해 임도에서 발생하는 재해가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 산림청(KFS, 2014)의 통계자료에 따르면 1988년부터 2013년까지 임도의 수해복구 사업량은 총 2,378.69 km로 집계되었으며, 최근 10년간 임도의 수해복구 사업량은 634,73 km로 집계되었다. 또한 비탈면의 붕괴 및 배수시설의 문제, 비탈면의 녹화불량에 따른 2차적 피해도 증가하고 있으며, 이로 인한 재산 및 인명 피해 등 피해규모도 대형화되고 있는 실정이다.

*Corresponding author
E-mail: cmpark@jbnu.ac.kr

특히 2011년 경상남도 밀양시 양지마을에서 발생한 산사태, 2013년 강원도 홍천과 춘천 등지에서 발생한 산사태, 2014년 고창 성송면에서 임도유실에 의한 산사태와 같이 최근에 발생하는 산지의 토사재해 원인이 임도로부터 유발됨에 따라 임도의 유지관리와 안정성에 대한 문제가 이슈화되고 있다. 하지만 우리나라의 임도정책은 관리규정이 미비하고 체계화되어 있지 않아 피해를 예방하기보다는 피해복구에 치중되어 있다(Bang, 2014).

산사태와 임도재해의 발생은 다양한 범위에서 동시다발적으로 일어나며 토양, 지질 및 지형적 요인으로 한 번 재해가 발생했던 곳이나 그 주변에서 재발하는 특성이 있다. 그러므로 산지 토사재해의 발생 원인을 정확하게 파악하고 피해를 최소화하기 위해서는 산사태 및 임도재해가 산지의 환경인자와 관련된 특성을 파악하는 것이 필요하다(Park et al., 2010).

따라서 본 연구는 전라북도 지역의 임도재해발생지역 및 재해위험지역을 대상으로 인자별 발생빈도 및 재해발생에 영향을 미치는 산림환경인자의 특성을 분석하여 향후 위험지 예측 및 관리방안 수립에 필요한 기초적 자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역 및 방법

전라북도 지역에서 2012년에 태풍과 집중호우 등으로 인하여 임도에서 재해가 발생한 곳과 위험지로 판정된 지역 총 85개소를 조사대상으로 하였다. 재해위험지는 비탈면 녹화의 불량, 비탈면의 침식 및 포락, 측구의 매몰 등의 상태를 기준으로 향후 재해위험성이 있다고 판정된 개소이다. 조사대상지의 지역분포는 군산시 11개소, 정읍시 18개소, 장수군 30개소, 순창군 14개소, 완주군 12개소였다.

임도재해 발생특성은 지형을 기준으로 재해발생유형, 재해발생지의 종적 위치, 재해발생지의 횡적 위치 등 3가지에 대하여 다음과 같은 방법으로 조사하였다.

1) 재해발생유형 : 절토비탈면 붕락, 성토비탈면 붕락, 절・성토비탈면의 복합적 붕락, 노체 및 노면의 유실 등으로 구분

2) 재해발생지의 종적 위치 : 산록부, 산복부, 산정부로 구분

3) 재해발생지의 횡적 위치 : 능선부, 계곡부, 비탈면으로 구분

또한 산지재해의 특성과 산림환경인자의 분석한 연구(Park et al., 2010; Ma and Jeong, 2007), 토석류와 산림환경인자를 분석한 연구(Jeong, 2001), AHP기법을 활용하여 임도의 재해위험 등급구분에 관한 연구(Bang et al., 2014), 절토비탈면의 적정 기울기에 관한 연구(Choi, 2010) 등을 참고하여 임도재해와 관련이 있는 것으로 알려진 11가지 산림환경인자를 선정하고(Table 1), 각 인자에 대하여 다음과 같이 조사하였다.

1) 절토 및 비탈면 경사 : Clinometer를 활용하여 경사를 측정

2) 비탈면 길이 : 재해발생지 및 위험지의 비탈면의 거리를 측정

3) 비탈면 방위 : 북동, 북서, 남서, 남동의 4방위로 구분

4) 임상 : 침엽수림, 활엽수림, 혼효림으로 구분

5) 임령 : 조림지(벌채), 유령림, 성숙림, 노령림으로 구분

6) 표고 : 고도계 및 지형도 상에서 재해발생지 및 위험지의 고도를 측정

7) 토성 : 국제토양학회법에 의해 사질식양토(SCL), 미사질양토(SiL), 미사질식양토(SiCL) 등으로 구분

8) 강우특성 : 국가수자원관리종합정보시스템을 활용하여 전라북도지역 36개 관측소의 연간누적 강우량, 평균강우량, 월 최대강우량을 산출

2. 분석방법

임도재해 발생지 및 위험지를 대상으로 임도재해 특성

Table 1. Characteristics of the disaster occurrence on the forest road.

Factors	Category				
	1	2	3	4	5
Cutting Slope of degree	0°~20°	21°~30°	31°~40°	41°~50°	50°<
Filling Slope of degree	0°~20°	21°~30°	31°~40°	41°~50°	50°<
Slope length	≤5 m	6~10 m	11~15 m	16~20 m	20 m<
Aspect	NE	NW	SW	SE	
Soil texture	SiCL	SiL	SCL		
Forest type	Deciduous	Mixed	Coniferous		
Forest age	Plantation (Felling)	Young forest	Matured forest	Over-matured forest	
Altitude	≤300 m	301 m~400 m	401 m~500 m	501 m~600 m	600 m<
Cumulative rainfall	≤1500 mm	1501 mm~1600 mm	1601 mm~1700 mm	1701 mm~1800 mm	1800 mm<
Annual mean rainfall	≤120 mm	121 mm~140 mm	140 mm<		
Max-rainfall	≤550 mm	551 mm~650 mm	650 mm<		

을 판정한 다음 재해에 영향을 미치는 산림환경인자를 조사하여 임도재해와 각 인자와의 상관관계를 분석하였다. 상관관계 분석의 통계 분석프로그램은 Package SAS program을 활용하였다.

결과 및 고찰

1. 임도 재해발생지 및 위험지의 특성

전라북도 지역의 임도 재해발생지 및 위험지 85개소를 대상으로 지형에 따른 재해발생 유형 및 위치적 특성을 분석한 결과는 Table 2와 같다.

재해발생지 20개소 중에서 임도 재해발생 유형은 절토비탈면의 붕락이 9개소(45%), 성토비탈면의 붕락이 5개소(25%), 절・성토비탈면의 복합적 붕락이 6개소(30%), 노체 및 노면의 유실은 없는 것으로 나타났다. 임도재해위험지 65개소 중에서는 절토비탈면 붕락이 37개소(57%), 성토비탈면 붕락이 25개소(39%), 절・성토비탈면 복합적 붕락이 2개소(3%), 노체 및 노면의 유실이 1개소(1%)로 나타났다. 전체 조사지역에서 절토비탈면의 피해는 46개소(54.1%), 성토비탈면의 피해는 30개소(35.3%), 절・성토비탈면의 복합피해는 8개소(9.4%), 노체 및 노면의 피해는 1개소(1.1%)를 차지하는 것으로 나타났다.

Cha et al.(2009)의 연구 결과에 따르면, 임도피해 지역을 성토부와 절토부로 조사하였을 때에 총 임도피해지역 310개소에서 성토사면은 298개소(96%), 절토사면은 12개소로(4%)로 대부분의 피해가 성토비탈면에서 발생하였음을 보고하였다. 이와는 다르게 본 연구결과에서 절토비탈면의 재해빈도가 많은 이유는 조사대상 임도의 시공년도가 10년 내외로서 절토비탈면의 녹화가 상당히 불량하였고, 산복임도가 많고 산복부에서 재해가 많이 발생한 것과 관련이 있는 것으로 판단된다.

임도재해 발생지 및 위험지의 종적 위치를 분석한 결과 재해 발생지에서는 산복부가 12개소(60%), 산정부가 7개소(35%), 산록부가 1개소(5%)로 나타났다. 재해 위험지에서는 산복부가 49개소(75.4%), 산정부가 12개소(18.5%), 산록부에서 4개소(6.1%)로 나타났다. 전체 조사지역에서 산복부는 61개소(71.7%)로 가장 많은 비중을 차지하였고, 산정부는 19개소(22.3%)이고, 산록부는 5개소(6%)로 낮은 비중을 차지하였다.

Park et al.(2010)은 전라북도에서의 산사태 발생특성을 분석한 결과에서 산사태 발생빈도는 산복부에서 53%, 산정부에서 35%, 산록부에서 11%의 비율을 차지하였다는 보고한 바 있다. 본 연구에서 발생위치의 빈도순위는 Park et al.(2010)의 연구와 유사하나, 산복부의 비중이 상당히 높게 나타났다. 그 이유는 임도의 경우 적정물매를 유지하는 것이 중요하기 때문에 노선이 산복부에 많이 설계・시공되므로 산사태의 경우보다 더 많이 산복부에서 재해가 발생하는 것으로 분석된다.

임도재해가 발생한 횡적 위치는 계곡부・능선부・비탈면으로 구분하였는데, 재해발생지에서는 비탈면에서 14개소(70%), 계곡부과 능선부에서 각각 3개소(15%)씩 나타났다. 재해위험지에서는 비탈면이 45개소(69.2%), 계곡부가 16개소(24.6%), 능선부가 4개소(6.2%)로 나타났다. 전체 조사지역에서는 비탈면부가 59개소(69.4%), 계곡부가 19개소(22.3%), 능선부가 7개소(8.3%)로 나타났다.

Cha and Ji(2001)은 임도의 성토비탈면 붕괴요인 가운데 임도의 위치를 횡적인 개념으로 구분하였으며, 퍼지이론을 활용하여 붕괴위험 분석을 실시하였다. 분석결과 능

Table 2. Characteristics of forest road disaster occurrence and disaster-prone zones.

Classification		Disaster occurrence zone			Disaster-prone zone			Total
		National forest road	Private forest road	Sub-total	National forest road	Private forest road	Sub-total	
Disaster type	Cutting slope	4	5	9	10	27	37	46
	Filling slope	-	5	5	10	15	25	30
	Cut+Filling slope	1	5	6	1	1	2	8
	Road base & surface	-	-	-	-	1	1	1
	Total	5	15	20	21	44	65	85
Vertical position of	Foot of mountain	-	1	1	1	3	4	5
	Hillside	4	8	12	20	29	49	61
	Hill top	1	6	7	0	12	12	19
	Total	5	15	20	21	44	65	85
Horizontal position of	Valley	-	3	3	3	13	16	20
	Mountain ridge	-	3	3	1	3	4	7
	Slope	5	9	14	17	28	45	59
	Total	5	15	20	21	44	65	85

선부에서 붕괴위험이 가장 높게 나타났으며 계곡부에서는 붕괴위험이 낮은 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 비탈면부가 가장 높게 나타났으며, 능선부가 가장 낮게 나타서 이들의 연구결과와는 차이를 나타내었다.

2. 임도 재해발생 및 위험지와 관련된 산림인자의 특성

1) 비탈면 경사

전라북도 지역의 임도 재해발생지 및 위험지 85개소의 비탈면경사와 길이의 특성을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 재해발생지에서 절토비탈면 경사는 41°~50°에서 10개소(50%), 31°~40°에서 6개소(30%), 21°~30°에서 3개소(15%), 51° 이상에서 1개소(5%)로 나타났다. 재해위험지는 31°~40°에서 43개소(66%), 41°~50°간에서 13개소(20%), 21°~30°에서 6개소(9%), 0°~20°에서 3개소(5%)로 나타났다. 조사지역 전체로는 31°~40°에서 49개소(58%), 41°~50°에서 23개소(27%), 21°~30°에서 9개소(10%), 0°~20°에서 3개소(4%), 51° 이상에서 1개소(1%)로 나타났다. 이 결과는 Cha and Ji(2001)의 연구결과 성토비탈면의 경사도가 30° 이하에서는 붕괴가 발생하지 않았으며, 30°~35° 사이에서 붕괴가 발생하고, 40° 이상인 경우 붕괴위험이 가장 높다는 결과와 유사하였다.

재해발생지에서 성토비탈면의 경사는 41°~50°에서 11개소(55%), 31°~40°에서 4개소(20%), 50° 이상에서 3개소(15%), 21°~30°와 0°~20°에서 각각 1개소(5%)로 나타났다. 재해위험지에서 성토비탈면의 경사는 21°~30°에서 29개소(46%), 31°~40°에서 20개소(30%), 41°~50°에서 13개소(20%), 50° 이상에서 3개소(4%)로 나타났다. 조사지역 전체로는 21°~30°에서 30개소(35%), 31°~40°와 41°~50°에서 각각 24개소(28%), 50° 이상에서 7개소(8%), 0°~20°에서 1개소(1%)로 나타났다.

Kim et al.(2005)은 보은지역에서의 산사태를 대상으로 지질공학적 특성을 분석한 결과 경사가 20° 미만인 완만한 비탈면과 40° 이상의 급한 비탈면에서는 각각 6% 및 9%로서 낮은 발생빈도를 보인 반면, 20~30°와 30~40°의 비탈면에서 각각 36% 및 49%의 발생빈도를 보임으로써 비교적 급한 비탈면에서 발생빈도가 높은 것으로 보고하였는데, 임도의 성토비탈면 재해의 경우 이와 유사한 경향을 나타내었다.

2) 비탈면 길이

재해발생지에서는 비탈면 길이 20 m 이상에서 9개소(45%), 16~20 m에서 5개소(25%), 5 m 이하에서 3개소(15%), 6~10 m에서 2개소(10%), 11~15 m에서 1개소(5%)로 나타났다. 재해위험지에서는 비탈면 길이 20 m 이상에서 32개소(49.2%), 16~20 m에서 11개소(17%), 11~15 m에서 9개소(13.8%), 6~10 m에서 8개소(12.3%), 5 m 이하에서 5개소(7.7%)로 나타났다. 조사지역 전체로는 비탈면 길이 20 m 이상에서 41개소(48.2%), 16~20 m에서 16개소(18.8%), 11~15 m와 6~10 m에서 각각 10개소(11.8%), 5 m 이하에서 8개소(9.4%)로 나타났다(Table 4).

Cha and Ji(2002)의 연구에 따르면 절・성도사면의 길이는 4m 미만에서 붕괴위험이 가장 낮으며, 8 m 이상일 경우 붕괴의 위험이 높아지고, 특히 12 m 이상일 경우 붕괴위험이 가장 높은 것으로 분석을 제시하였다. 또한 KFRI(2006)에서는 절・성토 비탈면의 길이가 5 m 이하일 때 피해위험이 적고, 10 m 이상부터 사면의 피해가 발생하며, 15 m 이상일 때에 비탈면의 피해가 가장 많이 발생하는 것으로 나타났고, 본 연구에서 비탈면 길이가 길어질수록 위험이 높아지는 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

Table 3. Occurrence frequency of forest road disasters by slope factors.

Classification		Disaster occurrence zone			Disaster-prone zone			Total
		National forest road	Private forest road	Sub-total	National forest road	Private forest road	Sub-total	
Cutting Slope of degree	0°~20°	-	-	-	-	3	3	3
	21°~30°	-	3	3	1	5	6	9
	31°~40°	-	6	6	12	31	43	49
	41°~50°	5	5	10	8	5	13	23
	51°<	-	1	1	-	-	-	1
	Total	5	15	20	21	44	65	85
Filling Slope of degree	0°~20°	1	-	1	-	-	-	1
	21°~30°	1	-	1	1	28	29	30
	31°~40°	1	3	4	10	10	20	24
	41°~50°	2	9	11	7	6	13	24
	50°<	-	3	3	3	-	3	6
	Total	5	15	20	21	44	65	85

Table 4. Occurrence frequency of forest road disasters by slope length.

Classification		Disaster occurrence zone			Disaster-prone zone			Total
		National forest road	Private forest road	Sub-total	National forest road	Private forest road	Sub-total	
Slope length	≤ 5 m	2	1	3	1	4	5	8
	6~10 m	-	2	2	3	5	8	10
	11~15 m	-	1	1	4	5	9	10
	16~20 m	1	4	5	5	6	11	16
	20 m<	2	7	9	8	24	32	41
	Total	5	15	20	21	44	65	85

Table 5. Occurrence frequency of forest road disasters by soil texture.

Classification		Disaster occurrence zone			Disaster-prone zone			Total
		National forest road	Private forest road	Sub-total	National forest road	Private forest road	Sub-total	
Soil texture	SiCL	-	1	1	-	3	3	4
	SiL	2	7	9	9	24	33	42
	SCL	3	7	10	12	17	29	39
	Total	5	15	20	21	44	65	85

Table 6. Occurrence frequency of forest road disasters by forest type.

Classification		Disaster occurrence zone			Disaster-prone zone			Total
		National forest road	Private forest road	Sub-total	National forest road	Private forest road	Sub-total	
Forest type	Deciduous	-	3	3	13	13	26	29
	Mixed	5	1	6	1	10	11	17
	Coniferous	-	11	11	7	21	28	39
	Total	5	15	20	21	44	65	85

3) 토성

임도 재해발생지 및 위험지에서 토성과 재해의 관계를 분석한 결과는 Table 5와 같다. 토성의 상태를 사질식양토(SCL)와 미사질양토(SiL), 미사질식양토(SiCL)로 구분하여 조사 및 분석한 결과 재해발생지에서는 사질식양토 50%, 미사질양토가 45%, 미사질식양토가 5%의 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 재해위험지에서는 사질식양토 45%, 미사질양토가 50%, 미사질식양토가 5%의 분포를 나타내었다. 조사지역 전체로는 미사질양토 49%, 미사질양토 46%, 미사질식양토 5%의 분포를 나타내었다.

KFRI(2006)에 의하면 일반적으로 급경사지에서 모래 함량이 많은 토양이 점토함량이 많은 토양보다 침식과정이 크고, 점토질의 경우에는 완경사 비탈면에서도 지속적인 비가 내릴 경우 산사태가 발생하기 쉽다고 하였는데, 본 연구의 경우 모래 함량이 많은 구역에서 재해비율이 많이 나타났다.

4) 임상

재해발생지의 주변 임상으로 침엽수림이 11개소(55%), 침활혼효림이 6개소(30%), 활엽수림이 3개소(15%)로 나타났다. 재해위험지에서는 침엽수림이 28개소(43%), 활엽수림이 26개소(40%), 침활혼효림이 11개소(17%)로 나타났다. 조사대상 전체로는 침엽수림이 39개소(46%), 활엽수림이 29개소 (34%), 침활혼효림이 17개소(20%)로 나타났다(Table 6).

Park et al.(2010)은 산사태 발생지점의 주변 임상으로 침엽수림 68%, 침활혼효림 21%, 활엽수림 11%의 결과가 나타남으로써 침엽수림에서 산사태 발생빈도가 높다고 보고하고 있다. 본 연구에서도 침엽수림에서 재해가 가장 많이 나타났지만, 침활혼효림보다 활엽수림에서 임도재해발생 및 재해위험이 높게 나타났는데, 이는 조사대상지의 임상이 침활혼효림보다 활엽수림이 더 많이 분포되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

5) 임령

임령은 재해발생지에서는 성숙림 7개소(35%), 조림(벌채)지 6개소(30%), 노령림 4개소(20%), 유령림 3개소(15%)로 나타났다. 재해위험지역에서는 조림(벌채)지 22

Table 7. Occurrence frequency of forest road disasters by forest age.

Classification		Disaster occurrence zone			Disaster-prone zone			Total
		National forest road	Private forest road	Sub-total	National forest road	Private forest road	Sub-total	
Forest age	Plantation (Felling)	-	6	6	1	21	22	28
	Young forest	2	1	3	11	8	19	22
	Matured forest	-	7	7	5	8	13	20
	Over-matured forest	3	1	4	4	7	11	15
	Total	5	15	20	21	44	65	85

Table 8. Occurrence frequency of forest road disasters by altitude.

Classification		Disaster occurrence zone			Disaster-prone zone			Total
		National forest road	Private forest road	Sub-total	National forest road	Private forest road	Sub-total	
Altitude	≤ 300 m	1	4	5	4	16	20	25
	301 m~400 m	2	1	3	6	1	7	10
	401 m~500 m	1	-	1	5	1	6	7
	501 m~600 m	1	9	10	5	24	29	39
	600 m<	-	1	1	1	2	3	4
	Total	5	15	20	21	44	65	85

개소(34%), 유령림 19개소 (29%), 성숙림 13개소(20%), 노령림 11개소(17%)로 나타났다. 조사지역 전체에서는 조림(벌채)지가 28개소(33%), 유령림이 21개소(25%), 성숙림이 20개소(24%), 노령림이 15개소(18%)로 나타났다 (Table 7).

Lee(2007)에 의하면 임지의 임령이 높아질수록 산사태 발생빈도가 낮아진다고 보고하였다. 본 연구에서도 조림지(벌채)가 34%, 유령림이 29%로서 임령이 낮아질수록 재해발생과 재해발생 위험이 높아지고 있는 것을 확인 할 수 있다. 특히 조림지(벌채)의 경우 국유림보다 사유림에서 재해빈도가 높게 나타났는데, 이것은 임도의 시공과 유지관리의 차이와 벌목・조림 시업과정에서 임도재해를 유발시키는 요인의 제공 여부와 관련이 있는 것으로 분석된다.

6) 표고

표고는 재해발생지에서 501~600 m 구간에서 10개소(50%), 300 m 이하에서 5개소(25%), 301~400 m 구간에서 3개소(15%), 401~500 m 구간과 600 m 이상에서 각각 1개소(5%)로 나타났다. 재해위험지에서는 표고 501~600 m 구간에서 29개소(44%), 300 m 이하 구간에서 20개소(30%), 301~400 m 구간에서 7개소(11%), 401~500 m 구간에서 6개소(9%), 600 m 이상에서 3개소(4%)로 나타났다(Table 8).

전체 조사지역 전체에서 표고는 501~600 m 구간에서 39개소(45.8%)로 가장 높게 나타났고, 300 m 이하 구간에서 25개소(29.4%)로서 두 번째로 높게 나타났다. 구간의 범위가 가장 낮은 300 m 이하 구간의 개소가 높게 나온 이유는 군산조사지역의 다소 낮은 표고와 산복에 중점적으로 개설된 임도의 특성이라 판단된다.

7) 비탈면 방위

비탈면 방위별 임도재해현황은 재해발생지에서는 북동 9개소(45%), 북서 1개소(5%), 남서 1개소(5%), 남동 9개

Table 9. Occurrence frequency of forest road disasters by aspect.

Classification		Disaster occurrence zone			Disaster-prone zone			Total
		National forest road	Private forest road	Sub-total	National forest road	Private forest road	Sub-total	
Aspect	NE	2	7	9	8	23	31	31
	NW	1	-	1	3	17	20	20
	SW	-	1	1	5	13	18	18
	SE	2	7	9	5	11	16	16
	Total	5	15	20	21	44	65	85

Table 10. Occurrence frequency of forest road disasters by rainfall factors.

Classification		Disaster occurrence zone			Disaster-prone zone			Total
		National forest road	Private forest road	Sub-total	National forest road	Private forest road	Sub-total	
Cumulative rainfall	≤ 1500 mm	4	5	9	8	-	8	17
	1501 mm~1600 mm	-	-	-	-	14	14	14
	1601 mm~1700 mm	-	1	1	13	12	25	26
	1701 mm~1800 mm	1	7	8	-	12	12	20
	1800 mm<	-	2	2	-	6	6	8
	Total	5	15	20	21	44	65	85
Annual-mean	≤ 120 mm	4	5	9	8	14	22	31
	121 mm~140 mm	-	1	1	-	12	12	13
	140 mm<	1	9	10	13	18	31	41
	Total	5	15	20	21	44	65	85
Month-Max rainfall	≤ 550 mm	-	12	12	-	24	24	36
	551 mm~650 mm	5	3	8	21	9	30	38
	650 mm<	-	-	-	-	11	11	11
	Total	5	15	20	21	44	65	85

소(45%)로 나타났고, 재해위험지에서는 북동 22개소(34%), 북서 17개소(26%), 남서 19개소(29%), 남동 7개소(11%)로 나타났다(see Table 9). 조사지역 전체로는 북동 31개소(31.36%), 남서 20개소(20.24%), 북서 18개소(18.21%), 남동 16개소(16.19%)로서 북동방향의 재해비율이 높았다.

Ma(1994)와 KNPS(2001)는 산지붕괴 발생면적과 경사도를 분석한 결과 강우의 진행방향인 남서 방향과 북동방향이 불완전하다고 보고한 결과와 유사하게 나타났다.

8) 강우특성

전라북도지역의 임도재해 발생지 및 위험지역의 강우특성을 분석한 결과는 Table 10과 같다. 연간 누적강우량과 임도재해와의 관계를 보면, 재해발생지에서는 1500 mm 이하에서 9개소(45%), 1601~1700 mm에서 1개소(5%), 1701~1800 mm에서 8개소(40%), 1800 mm 이상에서 2개소(10%)로 나타났다. 재해위험지에서는 1500 mm 이하에서 8개소(12%), 1501~1600 mm에서 14개소(22%), 1601~1700 mm에서 25개소(38%), 1701~1800 mm에서 12개소(19%), 1800 mm 이상에서 6개소(9%)로 나타났다. 조사지역 전체로는 연간 누적강우량 1500 mm 이하에서 17개소(20%), 1501~1600 mm에서 14개소(16%), 1601~1700 mm에서 26개소(32%), 1701~1800 mm에서 20개소(23%), 1800 mm 이상에서 8개소(9%)로 나타났다.

연평균강우량과 임도재해와의 관계를 보면, 재해발생지에서는 140 mm 이상에서 10개소(50%), 120 mm 이하에서 7개소(35%), 121~140 mm 3개소(15%)로 나타났다. 재해위험지에서는 140 mm 이상에서 31개소(36.5%), 121~140 mm에서 18개소(28.5%), 120 mm 이하에서 16개소(25%)로 나타났다. 조사지역 전체로는 140 mm 이상에서 41개소(48%), 120 mm 이하에서 23개소(27%), 121~140 mm에서 21개소(25%)로 나타났다.

월 최대강우량과 임도재해와의 관계를 보면, 재해발생지에서는 451~550 mm에서 12개소(60%)로, 551~650 mm에서 8개소(40%)로 나타났다. 재해위험지에서는 550 mm 이하에서 24개소 (37%), 551~650 mm에서 30개소(46%), 650 mm 이상에서 11개소(17%)로 나타났다. 조사지역 전체로는 월 최대강우량 551~650 mm에서 38개소(44.7%), 451~550 mm에서 36개소(42.3%), 650 mm 이상에서 11개소(13%)로 나타났다.

3. 임도재해와 산림환경인자간의 상관분석

전라북도 지역의 임도재해 발생지역 및 위험지역과 산림환경인자 사이의 상관분석을 한 결과는 Table 11과 같다. 임도 절토비탈면의 재해는 비탈면 경사 31°~40°에서 1% 유의수준 내에서 정(+)의 상관관계를, 횡적 위치 주에서 비탈면이 5% 유의수준 내에서 정(+)의 상관관계를 나타내었다. 성토비탈면의 재해는 비탈면의 경사 31°~40°, 비탈면의 길이 20 m 이상에서 5% 유의수준 내에서 정의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Cha and Ji(2001)의 연구결과 성토비탈면의 경사도가 30°~35°의 범위에서 붕괴가 발생하며, 40° 이상인 경우 붕괴위험이 가장 높다는 결과를 제시한 것과 유사하였다.

또한, 표고가 501~600 m 구간, 토성이 미사질양토인 구간에서 5% 유의수준 내의 정의 상관관계를 나타내었다. 이러한 결과는 점토의 함유율이 12~13% 내외이며 모래함유율이 높고 투수성이 높은 지역에서는 표면침식 및 붕

Table 11. Correlation analysis between forest road disaster type and factors.

Factor	Degree of slope (Cutting)					Disaster Verticality		
	0°~20°	21°~30°	31°~40°	41°~50°	50°<	Valley	Mountain ridge	Slope
Disaster of C-S	0.0654	0.0962	0.4486**	0.1035	0.0475	0.0545	0.1245	0.3965*

Factor	Degree of slope (Filling)					slope length (m)				
	0°~20°	21°~30°	31°~40°	41°~50°	50°<	≤ 5	6~10	11~15	16~20	20<
Disaster of F-S	0.0654	0.2824	0.3486*	0.0435	0.0962	-0.0736	0.0472	0.0132	0.1642	0.2605*

Factor	Altitude (m)					Soil Texture		
	≤ 300	301~400	401~500	501~600	600<	SiL	SCL	SiCL
Disaster of F-S	0.0253	-0.1405	0.0452	0.3756*	0.1543	0.3132*	0.0923	-0.1285

Factor	Forest type			Forest age			
	Deciduous	Mixed	Coniferous	Plantation (Felling)	Young forest	Matured forest	Over-matured forest
Disaster of C+F-S	-0.3425	0.0124	0.3843*	0.3425*	0.1345	0.0421	-0.0812

Factor	Precipitation (Cumulative: mm)					Aspect			
	≤ 1500	1501~1600	1601~1700	1701~1800	1800<	E~NE	N~NW	W~SW	S~SE
Disaster of C+F-S	0.0785	0.1211	0.4345**	0.0246	-0.1245	0.3432*	-0.0253	0.2542	0.3254

**Means statistically significant at 1% level, *means statistically significant at 5% level
C-S: Cutting slope, F-S: Filling slope, C+F-S: Cut+Filling slope

괴현상이 발생할 가능성이 높고, 산지비탈면의 붕괴발생을 토성별로 분석한 결과 사양토에서 가장 많은 붕괴가 발생한다는 연구보고(Kang, 1971; Wilson, 1985)와 유사한 경향이다.

절・성토비탈면 복합재해의 경우 연간누적강우량 1601~1700 mm 구간이 1% 유의수준 내의 정의 상관관계를 가지고, 임상은 침엽수림, 임령은 조림(벌채)지일 때 5% 유의수준 내의 정의 상관관계를 나타내었다. 이러한 결과는 침엽수・활엽수・침활혼효림 등 임상에 따른 산지 비탈면 붕괴발생에 영향을 미치는 기여도를 분석한 결과 침엽수와 활엽수는 비탈면 붕괴에 영향을 미치는 불안정적인 측에 기여하고 혼효림은 안정적인 측에 기여한다는 보고(JCEI, 1979)와 유사한 경향이었다.

Wu and Swanston(1980)의 연구에 따르면, 임령이 높을수록 수관에 의한 강우차단량이 많고 수관통과우량이 적어 표면유출수 및 지중수에 의한 붕괴 발생률 및 면적이 적게 나타났으며, 뿌리의 생육 또한 노령림이 유령림에 비하여 왕성하고 분포 범위도 넓어 토양긴박력 및 토사억지능력이 크다고 하였다. 이는 본 연구에서 임령과 임도재해 빈도의 분석결과와 유사한 경향이었다.

이상의 결과를 종합하면, 전라북도 지역에서 임도의 위치(종적 위치: 산복부, 횡적 위치: 비탈면부), 표고 501 m 이상, 임상이 침엽수, 임령이 조림(벌채)지일 때에 임도재해 발생과 매우 관련성이 있는 것으로 나타났다. 또한, 임도재해 위험지역의 경우 비탈면의 녹화불량, 벌채 후 운재로의 방치 및 부산물의 방치로 인하여 배수로의 매몰과 구조물의 파괴 등 임도 시공 후에 2차적인 피해들이 일어나는 것으로 나타났다. 따라서 임도에서 2차적 피해를 예방하기 위하여 비탈면 녹화와 벌채 후의 작업장 정리 등에 관한 보완대책이 필요한 것으로 생각된다.

결 론

전라북도 지역의 임도재해 발생지 및 위험지 85개소를 대상으로 유형별 발생빈도 및 발생특성을 분석한 결과, 절토비탈면의 피해는 46개소(54.1%), 성토비탈면의 피해는 30개소(35.3%), 절・성토비탈면의 복합피해는 8개소(9.4%), 노체 및 노면의 피해는 1개소(1.1%)로 나타났다. 종적 위치는 산복부가 61개소(71.7%), 산정부가 19개소(22.3%), 산록부는 5개소(6%)로 나타났다. 횡적 위치는 비탈면부가 59개소(69.4%), 계곡부가 19개소(22.3%), 능선부가 7개소(8.3%)로 나타났다.

산림환경인자별 임도재해의 발생빈도는 절토비탈면 경사는 31°~40°, 성토비탈면 경사는 21°~30°, 토성은 미사질양토, 임상은 침엽수림, 임령은 조림(벌채)지, 비탈면 방위는 북동, 표고는 501~600 m, 연간누적강우량은 1601~1700 mm, 연평균강우량은 140 이상, 월 최대강우량은 551~650 mm에서 가장 높게 나타났다.

임도재해 유형과 산림환경인자와의 상관관계를 분석한 결과 절토비탈면의 재해는 비탈면 경사 31°~40°에서 1% 유의수준 내에서 정(+)의 상관관계를, 횡적 위치 중 비탈면부에서 5% 유의수준 내의 정(+)의 상관관계가 나타내

었다. 성토비탈면의 재해는 비탈면 경사 31°~40°, 비탈면 길이 20 m 이상, 표고 501~600 m, 토성 미사질양토에서 5% 유의수준 내의 정의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 절・성토비탈면 복합재해의 경우에는 연간누적강우량 1601~1700 mm가 1% 유의수준의 정의 상관관계를 나타냈으며, 임상 침엽수림, 임령 조림(벌채)지, 방위 북동 등이 5% 유의수준에서 정의 상관관계를 나타내었다.

전라북도 지역에서의 임도재해는 지역적으로 매우 편중되어 있는데, 특히 급경사의 산지(장수군, 순창군)와 미사질양토 지역(남원시, 정읍시)에서 임도재해가 많이 발생하고 있다. 임도재해 위험지의 경우 비탈면의 녹화불량, 목재생산 후 운재로와 부산물의 방치에 기인한 배수구 매몰과 구조물 파손 등에 의해 2차적인 피해가 발생할 것으로 예측되었다. 따라서, 임도재해에 대한 지속적인 자료의 축적이 필요하며, 이를 바탕으로 임도에 대한 새로운 관리지침과 구조개량 및 유지관리기술을 개발함으로써 임도재해를 예방하고 임도의 효율성을 높이도록 노력해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘임업연구기술개발사업(No.S111214L150110)’의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

Bang, H.S. 2014. A Study on categorization of disaster risk rating for forest road using AHP. A MS thesis at Graduate School, Chungnam National University. pp. 2. (in Korean with English abstract)

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. (in Korean with English abstract)

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. (in Korean with English abstract)

Cha, D.S. and Ji, B.Y. 2002a. Development of prediction model for cutting slopes failure in forest road. Journal of Korean Forest Society 91(3): 412-419. (in Korean with English abstract)

Cha, D.S. and Ji, B.Y. 2002b. Development of prediction model for cutting slopes failure factors on cutting slopes of forest road by quantification Theory(II). Journal of Kangwon National University Forest Science 18:7-14. (in Korean with English abstract)

Cha, D.S., Ji, B.Y., and Jeon, G.W. 2009. Relation analysis of landslide and forest road by severe rain storm. 2009's Summer announcement Papers of Korean Forest Society. pp. 343-344.

Choi, S.G. 2010. A study on the appropriate slope of cutting areas in forest road : with national forest road in Ulsan, Sangbuk. A MS thesis at Graduate School, Sangji National University. pp. 16. (in Korean with English abstract)

JCEI (Civil Engineering Institute, Ministry of Construction, Japan). 1979. Research paper on failure of natural slopes and its countermeasures (No.1). pp. 136. (in Japanese)

Jeong, W.O. 2001. Studies on the selection of suitable site for erosion control dam by the characteristics of forest watershed. A PhD. thesis at Gyeongsang National University. pp. 44. (in Korean with English abstract)

Ji, B.Y., KFRI. 2006. Improvement of reconstruction method for existing forest road. pp. 65. (in Korean with English abstract)

Kang, W.P., Hiroshi, M., Hiroshi, O., and Ma, H.S., 1986. On the determination of slope stability to landslide by quantification(II). Journal of Korean Forest Society 75: 32-37. (in Korean with English abstract)

KFS (Korea Forest Service). 2014. Statistical Yearbook of Forestry. (in Korean)

Kim, K.S., Kim, W.Y., Chae, B.G., Song, Y.S., and Cho, Y.C. 2005. Engineering geological analysis of landslides on natural slopes induced by rainfall. Journal of Engineering Geology 15: 105-121. (in Korean with English abstract)

Lee, C.O. 2007. Landslides prevention effect of the roots of trees. http://www.forest.go.kr (2014. 10. 15).

Ma, H.S. and Jeong, W.O. 2007. Analysis of landslides characteristics in Korean national parks. Journal of Korean Forest Society 96(6): 611-619. (in Korean with English abstract)

Ma, H.S. 2001. Direction of recovery and landslide occurrence characteristics of the main national parks. National Park 27: 17-21. (in Korean with English abstract)

Ma, H.S., KFNP. 2001. Research for the national park landslide restoration measures. pp. 106. (in Korean with English abstract)

Park, C.M., Ma, H.S., Kang, W.S., Oh, K.W., Park, S.H., and Lee, S.J. 2010. Analysis of landslide characteristics in Jeollabuk-do, Korea. Journal of Agriculture & Life Science 44(4): 9-20. (in Korean with English abstract)

WAMIS (Water Management Information System). 2012. http://www.wamis.go.kr/(2014. 11. 12).

Wu, T.H. and D.N. Swanston. 1980. Risk of landslides in shallow soil and its relation to clearcutting in southeastern Alaska. Forest Science 26(3): 495-510.

(Received: July 22, 2015; Accepted: August 3, 2015)