

작업로 노면의 피해가능성 평가에 관한 연구

지병윤¹ · 정도현¹ · 오재현¹ · 차두송^{2*}

¹국립산림과학원 산림생산기술연구소, ²강원대학교 산림환경과학대학

Evaluation of Surface Damage Possibility on Strip Roads

Byoung-Yun Ji¹, Do-Hyun Jung¹, Jae-Heun Oh¹ and Du-Song Cha²

¹Forest Practice Research Center, Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

²College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

요 약: 본 연구는 숲가꾸기 작업을 위하여 개설된 작업로를 대상으로 노면피해에 영향을 미치는 요인을 평가하여 작업로 노면의 피해예방을 위한 적정 시설기준의 기초자료를 제공하고자 실시하였다. 작업로 노면피해에 영향을 크게 미치는 요인은 시설위치, 종단기울기, 겹보기토질, 산지사면형상, 노폭의 순으로 나타났다. 따라서 종단기울기, 노폭 등 도로 구조적인 요인과 시설위치, 산지사면형상 등 입지적 요인 그리고 겹보기 토질과 같은 도로 구성물질이 노면 피해 발생과 밀접한 연관이 있는 것으로 나타났다. 또한 작업로의 피해발생은 계곡부, 종단기울기 24%이상, 마사토 토질, 요형사면, 노폭 3.0 m이상에서 심한 것으로 나타났고, 안정성은 능선부, 종단기울기 4~24%, 토사지역, 직선형(一)사면, 노폭 3.0 m이하에서 큰 것으로 나타났다. 수량화II류의 판별식의 판별적중률은 79.4%로 상당히 양호한 값으로 나타나 작업로 노면의 양부관정에 활용이 가능할 것으로 사료된다.

Abstract: This study is carried out to minimize the damage to the forest road when locating strip roads in the future for stability of timberland after afforestation by assessing the factors that affect the damage on the forest road surface and making appropriate constructing standards. Major factors that influence damage to the strip road surface were location, longitudinal gradients, soil types, cross-section shape in order of influence on damage. it is considered that structural road factors like longitudinal gradients, road width, location factors such as construction location, slope gradients and road material like soil types were greatly related to occurrence of road surface damage. Damage occurrences in the forest road were severe at the valley, longitudinal gradients of over 24%, weathered granite soil, concave of road position, road width of over 3.0 m. stability was high at longitudinal gradients of 4~24%, road width of under 3.0 m, ridge of road position, straight slope, soil materials. The evaluation table of damage possibility on forest road was manufactured by discriminant analysis using Quantification theory(II). The results showed that the discriminant ratios was 79.4% and this table was available for forest manager.

Key words : strip road, surface damage, longitudinal gradients, Slope gradients, road width, surface-flow distance, soil types

서 론

현재 우리나라 산림은 IV영급이하가 약 90% 정도를 차지하고 있기 때문에 적극적인 시업을 통하여 경제림으로 육성하여야 할 중요한 시기이다. 이에 산림청에서는 숲가꾸기 사업을 대대적으로 실행하여 보다 가치있는 산림자원을 육성하려고 노력하고 있다. 이러한 사업을 효율적으로 수행하기 위하여는 산림작업지내에 임업기계·장비의 이동통로 및 작업공간으로 활용할 수 있는 작업로 개설이 사업실행 이전에 적절하게 계획되어야 한다.

그러나 무계획적으로 작업로를 개설할 경우, 사업의 효율성을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 노면의 세굴 및 침식 등의 노면피해를 발생시킬 수 있기 때문에 신중하게 계획하여야 한다. 특히, 노면피해는 여러 요인이 복합적으로 작용하여 발생하기 때문에 계획단계에서 이들 요인에 대한 검토를 충분히 실시하여 피해가 발생되지 않도록 하는 것이 중요하다.

목재수확작업을 실행할 때 임지는 사면, 임지특성, 작업방법, 작업로의 계획, 생산시기와 같이 많은 요인에 의해 지면상태가 영향을 받아 광범위하게 토양의 교란이 발생되게 되고 이로 인한 유출량의 증가와 세굴 및 침식 등의 피해를 발생시킨다(Demir et al., 2008).

*Corresponding author
E-mail: dscha@kangwon.ac.kr

임내도로의 피해를 발생시키는 주요한 원인으로는 종단기울기, 산지경사, 토질, 사면의 형상 등이 보고되고 있다(近藤과 神谷, 1995; 吉村 等, 1995, 1996; 車斗松과 池炳潤, 1999). 특히, 노면피해와 가장 밀접하게 관련이 있는 요인으로는 종단기울기로써 기울기가 12% 이상 되면 노면유하수에 의한 피해발생이 급증(Kochenderfer, 1970; Pestal, E., 1975; 金鍾閏, 1987; 權台鎬, 1987; 峰松과 南方, 1982; 中尾, 1980 등)하기 때문에 종단기울기는 2~8%사이가 적정하다고 보고하고 있다(近藤, 1994; 金鍾閏 等, 1990; 李海周 等, 2000). 또한 노면유수가 노면의 요부를 따라 유하하면서 침식구를 만들게 되고, 이것이 점차 확대되면서 침식이 가속화될 뿐만 아니라 유하거리가 길수록 노면유수와 그에 포함된 토양이 갖는 운동에너지가 커진다고 하였다(古谷士郎 等, 1982; Packer, 1967). 그리고 무측구 작업로의 유지관리를 위하여 횡단기울기는 2~5%로 하고, 성토부로 자연스럽게 배수가 이루어지도록 외향경사로 시설하는 것이 바람직하다고 보고하였다(김기원, 2002; Keller and Sherar, 2003). 그러나 대부분의 연구가 임도피해에 초점을 맞추어 수행되고 있으며, 작업로의 피해에 대한 요인의 평가 및 피해예측에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 작업로는 사면의 붕괴로 인한 피해보다는 노면의 유출수로 인한 세굴 및 침식 등으로 인한 토사유출이 더욱 문제시되고 있기 때문에 목재수확작업지의 작업로 노면의 피해가능성을 평가하여 적절한 피해기준을 마련함으로써 피해발생을 최소화할 수 있도록 하여야 할 것이다.

본 연구는 숲가꾸기 작업을 위하여 개설되어지는 작업로를 대상으로 노면피해에 영향을 미치는 요인을 평가하여 작업로 노면의 피해예방을 위한 적정 시설기준의 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 및 조사방법

조사대상지는 Table 1과 같이 강원도 홍천군과 평창군

Table 1. Location and plot numbers of strip road surface investigated.

District	Road length (km)	No. of Plots
Hongcheon	5.2	151
Pyeongchang	4.1	207
Yeongyang	3.0	151
Total	12.3	509

그리고 경북 영양군 소재의 숲가꾸기 작업을 위하여 개설한 작업로의 노면을 대상으로 12.3 km에 대하여 총 509개소(안정구간 387개소, 피해구간 122개소)를 대상으로 조사를 실시하였다.

조사요인으로서 작업로 노면피해와 관련이 깊은 산지경사, 노폭, 종단기울기, 유하거리, 토질, 산지사면형상, 작업로 위치 등 7개요인이며, 조사방법은 작업로 시점에서 서부터 능선부, 사면부, 계곡부로 구분하여 조사를 실시하였고, 유하수로 인한 노면의 세굴 및 침식 등이 발생한 피해구간에 대하여는 별도로 조사하였다. 산지경사와 종단기울기는 경사계를 이용하여 측정하였고, 노폭과 유하거리는 줄자를 이용하여 분수령으로부터 배수지점까지의 거리를 측정하였다. 또한 토질은 토사, 마사토, 호박돌 섞인토사, 암, 산지사면형상은 직선형, 철형, 요형, 작업로 통과구간의 위치는 능선, 사면, 계곡으로 구분하여 조사하였다.

2. 분석방법

작업로 노면 피해요인 평가를 위한 분석하기 위하여 정성적, 정량적 자료를 모두 이용하여 피해가능성 판별이 가능한 수량화II류를 이용하였다.

작업로 노면피해에 관여하는 7개 요인을 노면의 상태가 양호한 안정군과 노면의 세굴 및 침식이 발생한 피해군으로 조사하였고, 각 요인 별로 카테고리를 Table 2와 같이 산지경사와 산지사면형상 그리고 작업로 통과위치는 3단계, 토질은 4단계, 작업로 노폭과 유하거리는 5단계, 종단기울기는 10단계로 각 요인의 특성이 잘 반영되

Table 2. Factors and categories related to damage occurrence of strip road surface.

Factors	Category									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Slope gradients (°)	<15	15~30	30≤							
Road width (m)	<2.5	2.5~3	3~3.5	3.5~4	4.0≤					
Longitudinal gradients (%)	<4	4~8	8~12	12~16	16~20	20~24	24~28	28~32	32~36	36≤
Surface-flow distance (m)	<40	40~80	80~120	120~160	160≤					
Soil types	soil	weathered granite soil	soil with boulders	rock						
Cross-section shape	straight (-)	concave (凹)	convex (凸)							
Road position	ridge	slope	valley							

도록 적절히 구분하여 분석을 실시하였다. 수량화이론 분석은 ESUMI사의 EXCEL 수량화이론 Ver 1.0을 이용하였다.

피해가능성에 대한 각 요인의 기여정도를 평가하는 척도로는 각 요인내의 범주에 부여된 수량의 범위값(Range)과 각 요인들의 편상관계수(Partial correlation coefficient)를 이용하였다. 또한 요인별 카테고리에 반응한 상대점수(Category weight)로서 노면피해에 관여하는 각 요인의 기여도를 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 작업로 노면의 피해요인 평가

작업로의 피해발생에 대한 요인의 영향은 외적기준에 대한 각 요인의 범위(Range)값과 편상관계수 값이 클수록 크다고 할 수 있다. 이에 대한 범위값과 편상관계수값을 산출한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3에서 보면 노면의 피해위험예지에 영향을 주는 범위값과 편상관계수 값은 시설위치, 종단기울기, 결보기 토질, 산지사면형상, 노폭 순으로 나타났고, 요인의 범위값과 편상관계수값이 일치하는 경향을 보였다. 특히, 피해위험예지와 밀접하게 관련을 보이는 범위값 0.3이상의 것만을 기준으로 보았을 때 종단기울기, 노폭 등 도로 구조적인 요인과 시설위치, 산지사면형상 등 입지적 요인 그리고 결보기 토질과 같은 도로 구성물질이 노면 피해 발생과 밀접한 연관이 있는 것으로 판단된다.

상대점수(Category weight)의 값에 따른 작업로 피해유무에 작용하는 각 요인의 카테고리별 기여도는 Figure 1~Figure 7과 같다. 여기서 각 요인의 범주에 반응한 점수가 음의 값은 피해측에, 양의 값은 안정측에 작용하며, 음의 값의 최소값에서 양의 값의 최대값을 뺀 절대치가 클수록 피해에 미치는 영향정도가 크다고 할 수 있다.

시설위치는 Figure 1에서와 같이 계곡부에서는 피해측, 능선부와 사면부에서는 안정측에 기여하는 것으로 나타났고 특히, 능선부에서 상대점수가 0.339으로 가장 높게 나타났다. 이와 같이 계곡부는 유출수가 집수되는 곳으

Table 3. Ranking list of range value and partial correlation coefficient by factors.

Factors	Range value	Partial correlation coefficient	Order
Road position	0.8522	0.3009	1
Longitudinal gradients	0.7152	0.2456	2
Soil types	0.4055	0.2232	3
Cross-section shape	0.3881	0.1478	4
Road width	0.3122	0.1425	5
Slope gradients	0.1492	0.1009	6
Surface-flow distance	0.0980	0.0465	7

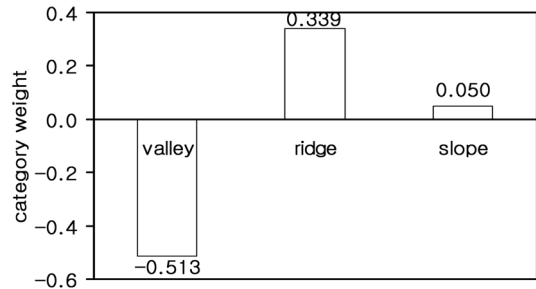


Figure 1. Category weight of road position.

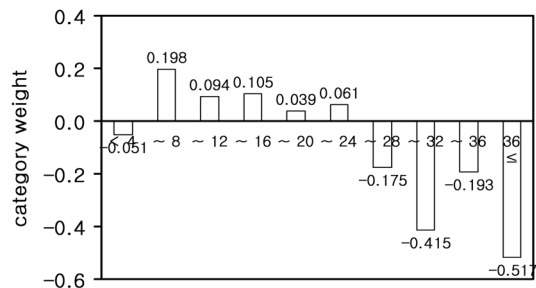


Figure 2. Category weight of longitudinal gradients.

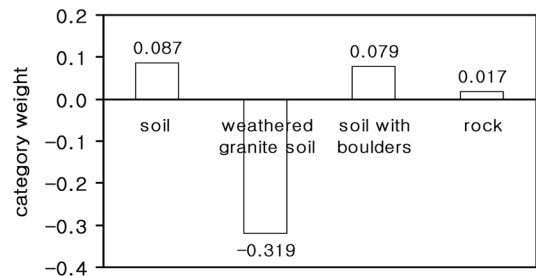


Figure 3. Category weight of soil type.

로 피해위험이 높고, 능선부는 유출수가 분수되는 지점으로 안정한 것으로 사료된다.

종단기울기는 Figure 2에서와 같이 4%이하와 24%이상에서는 피해측, 4~24%에서는 안정측에 기여하는 것으로 나타났다. 특히, 피해측은 36%를 초과하는 경우 상대점수가 -0.517으로 가장 낮았고, 안정측은 4~8%에서 0.198로 가장 높게 나타났다. 이것은 임도의 경우 종단기울기 2~8%가 적정한 수준(近藤, 1994; 金鍾閔 等, 1990; 李海周 等, 2000)이지만 작업로의 경우 이보다는 다소 급하게 시설하여도 큰 피해가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 일반적으로 종단기울기가 급할수록 유출수에 의한 세굴 및 침식 발생위험이 높기 때문에 횡단배수 시설을 가급적 많이 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

결보기 토질은 Figure 3에서와 같이 마사토에서는 피해측에, 일반토사, 호박돌섞인토사, 암으로 구성된 경우에 안정측에 기여하는 것으로 나타났고, 특히 일반토사의 상대점수가 0.087으로 가장 높게 나타났다. 이와 같이 마사토의 특성상 점착력이 떨어져 세굴 및 침식에 취약

하기 때문에 영구적인 손치가 필요한 작업로에 대해서는 점질성분의 토양과 혼합하여 노면의 보강처리를 실시하여 주는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

산지사면형상은 Figure 4에서와 같이凹형에서는 피해측, 一형과凸형에서는 안정측에 기여하는 것으로 나타났고, 특히 一형 사면에서 상대점수가 0.042로 가장 높게 나타났다. 주로 산지가凹형인 경우, 유수의 흐름이 급속하게 바뀌어 피해발생이 높게 되므로 간벌재 등을 이용하여 직접적으로 유수가 노면으로 유입되지 않도록 횡단배수시설을 설치하여 주는 것이 필요할 것으로 판단된다.

노폭은 Figure 5에서와 같이 3.0 m이하에서는 안정측, 3.0 m이상의 경우에는 피해측에 기여하는 것으로 나타났다. 특히, 상대점수가 안정측은 노폭 2.5~3 m에서 0.075로 가장 높았고, 피해측은 노폭 4 m를 초과하는 경우 -0.237로 가장 낮았다. 따라서 무측구로 시설되는 작업로의 노면안정을 위하여는 필요이상으로 노면이 넓게 시설되지 않도록 주의의 기울일 필요가 있다.

산지경사는 Figure 6에서와 같이 15°이하와 30° 이상에서는 피해측에 기여하는 것으로 나타났고, 특히 15° 이하

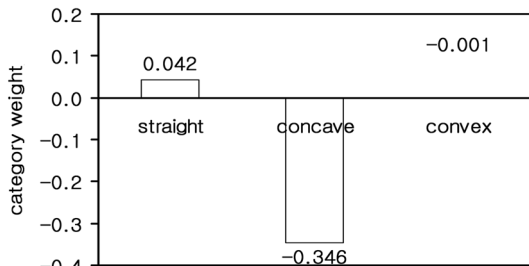


Figure 4. Category weight of cross-section shape.

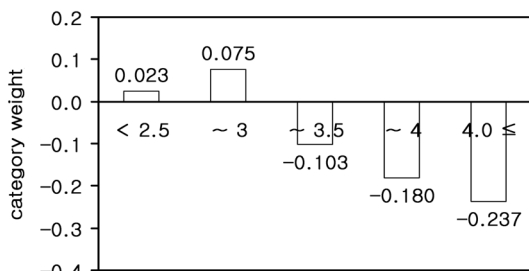


Figure 5. Category weight of road width.

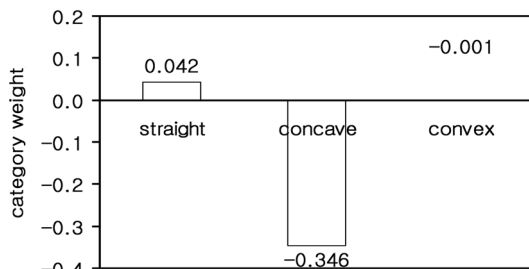


Figure 6. Category weight of slope gradients.

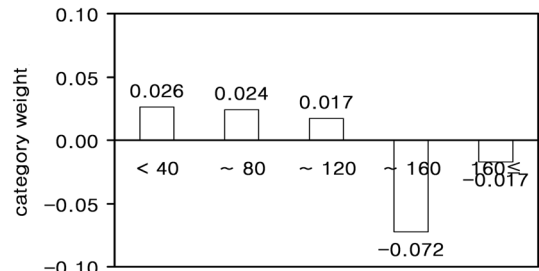


Figure 7. Category weight of surface-flow distance.

에서 상대점수가 -0.081로 가장 낮게 나타났다. 또한 산지경사 15~30°에서는 안정측에 기여하는 것으로 나타났다. 이는 15°이하의 경사에서는 대부분 토질이 연약하므로 침식의 위험이 높고, 30°를 초과하는 경우 유속의 흐름이 급하게 됨으로써 침식 등의 피해발생이 크기 때문으로 판단된다.

종단유하거리는 Figure 7에서와 같이 120 m이하에서는 안정측, 120 m이상의 경우에는 피해측에 기여하는 것으로 나타났다. 특히, 상대점수가 안정측은 종단유하거리 40 m이하에서 0.026로 가장 높았고, 피해측은 120~160 m에서 -0.072로 가장 낮았다. 따라서 종단유하거리가 100 m를 초과하는 경우에는 노면의 침식발생이 높기 때문에 가급적 많은 횡단배수구를 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

이상을 정리하면 작업로 노면의 피해는 시설위치가 계곡부, 종단기울기는 24%이상, 걸보기 토질은 마사토, 산지사면형상은凹형, 노폭은 3.0 m이상, 산지경사는 15°이하, 종단유하거리는 120 m이상의 경우에 피해위험이 있는 것으로 나타났다. 또한 노면의 안정은 시설위치가 능선부, 종단기울기는 4~24%, 걸보기 토질은 일반토사, 산지사면형상은 一형사면, 노폭은 2.5~3 m, 산지경사 15~30° 그리고 종단유하거리는 120 m이하에서 안정한 것으로 나타났다.

2. 작업로의 피해요인평가 정도

작업로 피해의 판별정도는 Table 4와 같이 안정군의 평균은 0.1503, 분산 0.1189, 표준편차 0.3448, 피해군은 평균이 -0.4768, 분산 0.2128, 표준편차 0.4613으로 나타났으며, 상관비는 0.3363으로 산출되었다. Figure 8에서와 같이 안정군과 피해군의 판별적중점은 -0.0460이었으며,

Table 4. Average, variance and standard deviation of without and with road surface.

	Average	Variance	Standard deviation
Without road surface damage	0.1503	0.1189	0.3448
With road surface damage	-0.4768	0.2128	0.4613
Total	0.0000	0.2130	0.4616

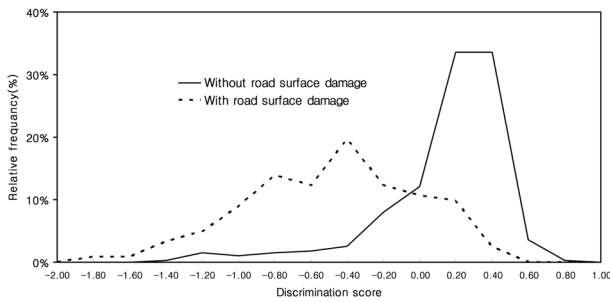


Figure 8. Discrimination graphs for road surface damage.

Table 5. Summary of discrimination by potential road surface damage.

	Samples without road surface damage	Samples with road surface damage
Without road surface damage	305(78.8%)	23(18.9%)
With road surface damage	82(21.2%)	99(81.1%)
Total	387(100%)	122(100%)

판별적중점 이상이던 안정, 이하이면 피해로 판별한다. 즉, 가로축의 수치가 클수록 피해위험은 낮고, 작을수록 피해위험이 높게 된다.

이상과 같이 작업로의 피해유무 판별치를 이용하여 안정군과 피해군의 실측치와 추정치로 재분류한 결과, 오분류율은 Table 5와 같이 안정군의 경우 총 387개소중 82개가 오분류되어 오분류율은 21.2%였고, 피해군의 경우는 총 122개소중 23개소가 오분류되어 18.9%의 오분류율이 나타나 전체적인 판별적중률은 79.4%로 상당히 양호한 값으로 나타났다.

결론

본 연구는 숲가꾸기 작업지의 작업로 총 12.3 km내의 509개소를 조사하였고, 작업로 노면의 피해에 영향을 미치는 요인을 평가하여 향후 작업로 개설시 피해를 최소화하는 적정 시설기준의 기초자료를 제공하고자 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 작업로 노면피해에 영향을 크게 미치는 요인은 시설 위치, 종단기울기, 걸보기토질, 산지사면형상, 노폭 순의 순으로 나타났다. 따라서 종단기울기, 노폭 등 도로 구조적인 요인과 시설위치, 산지사면형상 등 입지적 요인 그리고 걸보기 토질과 같은 도로 구성물질이 노면 피해 발생과 밀접한 연관이 있는 것으로 사료된다.

2. 작업로의 피해발생은 계곡부, 종단기울기 24% 이상, 마사토 토질, 요형사면, 노폭 3.0 m이상에서 심한 것으로 나타났다, 안정성은 능선부, 종단기울기 4~24%, 토사지역, 직선형(—)사면, 노폭 3.0 m이하에서 큰 것으로 나타났다.

3. 수량화II류의 판별식의 판별적중률은 79.4%로 상당히 양호한 값으로 나타나 작업로 노면의 양부판정에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

인용문헌

- 권태호. 1987. 임도구조 및 입지요인이 임도의 노면침식에 미치는 영향에 관한 연구. 서울대 박사학위논문. 39pp.
- 김기원. 2002. 신속한 배수와 토공절약을 위한 외향경사 임도의 적용 가능성에 관한 연구. 한국임학회지 91(1): 128-141.
- 김중윤, 이해주, 이봉수, 오세원. 1990. 수량화에 의한 임도 피해원인 분석. 임업연구원연구보고 41: 36-62.
- 김중윤. 1987. 임도노면 피해에 미치는 구조인자의 한계규격 추정에 관한 연구. 강원대학교 석사학위논문. 44pp.
- 이해주, 지병윤, 정도현, 김중윤, 차두송. 2000. 임도 옆도랑의 침식요인 평가와 안정성 판별에 관한 연구. 한국임학회지 89(3): 379-404.
- 차두송, 지병윤. 1999. 수량화II류에 의한 임도 성토사면의 붕괴요인 평가 및 예측. 한국임학회지 88(2): 168-169.
- 古谷士郎, 藤井禧雄, 酒井撤郎, 佐佐木功. 1982. 林道の路面浸蝕について(III). 路面の流出解析. 日林論 93: 545-546.
- 近藤惠市, 神谷信按. 1995. 赤石山地南部における林道災害危険個所の要因分析. 森林利用學會誌 10(3): 205-212.
- 近藤惠市. 1994. 溪流横断部における林道災害の研究. 静岡大學農學部演習林報告 18: 45-75.
- 吉村哲彦, 赤羽 元, 宮崎裕之, 神崎康一. 1996. Fuzzy積分による林道のり面の崩壊危険度判定法. 森林利用學會誌 11(3): 165-172.
- 吉村哲彦, 赤羽 元, 神崎康一. 1995. Fuzzy理論を用いた林道のり面の崩壊危険度判定法. 森林利用學會誌 10(3): 195-204.
- 峰松浩彦, 南方康. 1982. 横断排水溝の間隔に 關する研究. 日林誌. 64: 193-197.
- 中尾博美. 1980. 林道の構造と路面侵食について. 日林論 91: 455-456.
- Demir, M., Makineci, E. and Gungor, B.S. 2008. Plant Species Recovery on a Compacted Skid Road. Sensors (8): 3123-3133.
- Keller, G. and Sherar. J. 2003. Low-Volume Roads Engineering -Best Management Practices Field Guide-. USDA Forest Service. 158pp.
- Kochenderfer, J.N. 1970. Erosion control on logging roads in the Appalachians. USDA For. Serv. Res. Pap. NE-158. 28pp.
- Packer. P.E. 1967. Criteria for designing and locating forest roads to control sediment. For. Sci. 13: 2-18.
- Pestal, E. 1975. The routing and the use of forest roads in the mountains: 23-30, Technical report of FAO/Austria Training Course on Forest Roads and Wood Harvesting in Mountainous Forests, F. A. O: 313pp.