

임도개설후 경과년수에 따른 임도 성토비탈의 토사침식 특성¹

우보명 · 최형태 · 이승현

서울대학교 산림자원학과

Characteristics of Soil Erosion on the Fill-slope of Forest Road by Elapsed Years after Road Construction¹

Woo, Bo-Myeong, Choi, Hyung-Tae and Lee, Seung-Hyun

Department of Forest Resources, Seoul National University

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the characteristics of soil erosion on the fill-slope of forest road by elapsed years after road construction. Thirteen plots were established on the fill-slope of the newly-constructed forest road, and surveyed for two years(1997~1998). In these plots, the data about soil erosion, surface runoff, vegetation coverage, slope structural characteristics and rainfall were collected.

In 1997, the major causes for soil erosion were found by the correlation coefficients with the amount of surface runoff from the fill-slope, vegetation coverage, slope length, slope degree, total rainfall and max. 1 hour rainfall. But, in 1998, the major causes for soil erosion were vegetation coverage and slope degree.

Using the stepwise multiple regression method, in 1997, the amount of soil erosion from the fill-slope was complexly expressed as a exponential function of statistically significant the amount of surface runoff from the fill-slope, total rainfall, slope degree of fill-slope and vegetation coverage, but, in 1998, simply expressed as a exponential function of vegetation coverage.

Key words : Soil erosion, Fill-slope of forest road Exponential function

1. 서론

1997년말 현재 임도시설연장은 총 12,413km로 이 중 국유임도가 3,662km, 민유임도 8,751km가 시설되어 임도밀도는 약 1.92m/ha이다(山林廳, 1998). 이는 임업선진국과 비교하여 매우

열악한 실정으로 산림청에서는 2010년까지 약 3조원을 투자하여 임도밀도를 선진국 수준으로 높이기 위한 장기적인 임도계획을 1988년에 수립하였으며, 제1단계 사업으로 7,692km, 제2단계 사업으로 11,400km, 제3단계 사업으로 29,794km를 시설할 계획을 수립하고 있다. 이러한 장기

1) 이 연구는 농림기술관리센터 지원의 '96~'99 농림기술개발사업 『산원수자원의 종합적 관리시스템의 개발』 과제 일부임.

계획이 실현되면 임도연장 총 56,000km, 임도밀도는 ha당 10m의 임업선진국 수준에 도달할 것으로 예상되고 있다(禹保命 等, 1997).

그러나, 임도의 개설은 산림에 대한 개발행위로서 대부분의 개발행위가 주변환경에 영향을 미치듯이 임도의 개설 역시 주변환경에 대하여 영향을 주게 된다. 1964년 Packer와 Christensen이 임도 개설로 인한 환경 피해 문제를 처음 제기한 이후, 1970년 Kochenderfer가 미국 Appalachian 산맥의 임도개설 유역에서 계류탁도의 증가로 위협받는 상류 담수어종의 서식처에 대한 연구를 시작함으로써 본격적으로 임도개설로 인한 환경문제에 대해 연구가 시작되었다(李成基, 1997).

임도개설이 환경에 미치는 영향으로는 지형의 변형, 산림 미기상의 변화, 식생변화 및 야생동물의 감소, 토양침식 및 토사유출 등이 있으며, 특히 이들 중 불량한 임도개설로 인한 침식은 임도의 제거능을 약화시킬 뿐만 아니라 산지를 황폐시키고 나아가서는 산지유역 밖으로 다량의 토사를 유출시켜 수질오염 및 농경지 매몰, 생태계 훼손 등의 피해를 유발시키게 되므로 매우 중요한 문제인 것이다(佐佐木, 1982; 近藤 等, 1983; 鄭道鉉, 1994).

특히, 연강수량의 대부분이 6~8월 사이에 집중적으로 내리는 우리나라의 기상특성상 여름철의 집중강우로 인해 발생하는 임도 비탈면의 침식·붕괴 및 토사유출과 절·성토 비탈면의 과대한 노출로 인한 자연경관의 훼손 등에 대한 사회적인 비판이 강하게 대두되고 있는 실정하에서 임도사업은 임업경영적인 측면, 지역교통의 개선 측면 등과 함께 환경보전 측면을 고려하여 합리적인 임도사업을 실시해야 한다는 과제를 내포하고 있다.

이에 따라, 현재까지의 임도 개설로 인한 환경영향에 관한 연구는 주로 임도의 노면, 측구, 절토비탈, 성토비탈 등을 대상으로 기상조건 및 토양조건, 주변환경요인과 기하구조인자 등에 따른 침식현상 및 침식량의 구명(鄭道鉉, 1994; 朴在鉉, 1995)과 산지유역을 중심으로 임도개설로 인한 부유사의 유출과정을 파악하고

부유사농도와 유량 또는 강우와의 관계 해석(李成基, 1997; 吳在萬 等, 1999) 등을 시도함으로써 견고하고 합리적인 환경친화적 임도 개설을 위한 기초 자료의 수집과 분석에 중점을 두어왔다.

그러나, 현재까지의 연구는 임도개설로 인한 토양침식 및 토사유출 메커니즘에 대한 연구에 중점을 두고 있으며, 실제적인 임도개설로 인한 환경피해의 저감방안에 대한 연구는 병행되지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 이 연구는 임도개설로 인한 환경피해의 저감방안에 대한 실질적인 연구로서, 임도 개설로 인해 조성되는 성토비탈을 대상으로 지표유출수의 발생 상황 및 토사침식·유출 상황을 파악하고 강우특성 및 식생피복도와 성토비탈 구조인자 등에 따른 성토비탈 토사침식량의 변화를 분석함으로써 효과적인 임도 환경피해저감대책을 위한 기초자료를 얻고자 수행하였다.

II. 연구대상지 및 방법

1. 연구대상지

이 연구는 경기도 양평군 단월면 명성 2리 지역의 산지유역에 1996년 11월에 준공된 5,580m의 임도가 개설된 구역을 연구대상지로 선정하여 수행하였다.

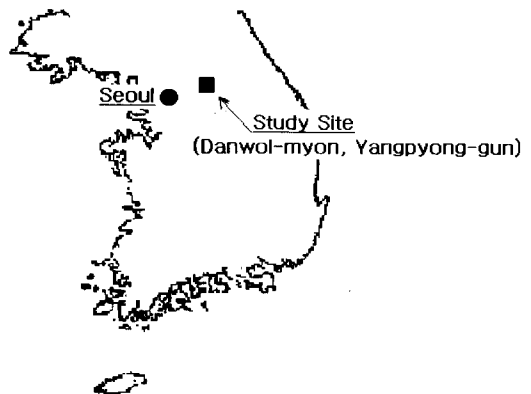


Fig. 1. Location map of study site

이 연구대상지는 지리적으로는 경기도와 강

원도의 접경지역으로서, 동경 127° 37' 28"~127° 39' 01", 북위 35° 32' 43"~35° 37' 42"에 위치하며, 해발고도 651.8m, 657.6m의 두 봉우리로부터 북쪽으로 약 3km 연장되고, 이어서 북동쪽으로 약 1km 더 연장되어, 총 4km의 길이에 폭이 약 1.5km로, 길고 좁은 유역을 형성하고 있으며, 유역면적은 약 519ha에 달한다.

해발고도 분포는 최저 150m에서 최고 657.6m의 범위에 있으며, 평균 해발고도는 322m로서 산지유역의 특성을 가지고 있으며, 임상분포는 천연활엽수림 임지에 1973년 이후 일부 면적에 잣나무와 낙엽송 등을 조림하여 현재는 잣나무, 낙엽송, 자작나무, 소나무, 현사시의 인공림과 참나무류의 천연림이 혼재해 있는 상태이다.

2. 연구방법

1) 측정방법

(1) 강우량의 측정

강우량의 측정은 연구대상지내의 조사구의 분포를 고려하여 연구대상지내 중앙부에 위치한 공지에 자기우량계(tipping bucket recording rain gauge) 1대를 설치하여 강우량을 측정하였으며, 측정된 강우자료를 이용하여 총강우량[각 기간별 강우량의 합계(mm)], 최대일우량[각 기간의 24시간 지속 최대일우량(mm/day)] 및 최대시우량[각 기간의 1시간 지속 최대시우량(mm/hr)] 등 3종의 강우특성을 산출하였다.

(2) 지표유출 발생량 및 토사침식량의 측정

임도 성토비탈의 지표유출 발생량 및 토사침식량을 조사하기 위하여 연구대상지내에 1996년 11월에 준공된 신설임도를 대상으로 그림 2에서 보는 바와 같은 임도 성토비탈 조사구를 총 13개소 설치하였다. 조사구는 임도의 노면으로부터 성토비탈을 따라 5~6m 하단까지의 비탈을 조사대상으로 설정하였으며, 특히 조사구내로 임도 노면으로부터의 유수유입이 없도록 임도 노면의 횡단물매가 측구쪽으로 시공된 구간을 선정하여 설치하였다. 조사구의 설치는 1997년 4월에 완료하였다. 총 13개 성토비탈 조사구의 평균면적은 약 12.0m²(9.4~15.4m²)이

었으며, 평균 경사는 약 37°(30°~45°), 평균 비탈길이는 4.7m(3.5~6.9m)이었다. 한편, 조사구의 토성분포는 모두 사양토로서 큰 차이를 보이지 않았다.

그림 2에서와 같이 임도 성토비탈 조사구에는 임도 성토비탈에서 발생하는 지표유출수 및 침식토사를 수집하기 위하여 임도 성토비탈 하단에 길이 3,500mm, 지름 100mm의 반원형 지표유출수 수집장치를 시설하고, 이를 이용하여 지표유출수 및 토사침식량을 집수통에 집수하였다. 지표유출수가 첫번째 집수통의 용량을 초과하는 경우 초과 수량중 부피비 1/4을 두번째 집수통에 수집하였다. 현장관측에서는 두 집수통에 수집된 침식토사가 포함된 유출수의 부피를 측정하였으며, 집수통내에 퇴적된 침식토사는 눈금 0.05mm 망을 이용하여 토사를 수거한 후 oven-dry 후 건조중량을 측정하고, 이 값에 수집통내 잔존 수량을 채수하여 분석한 잔존 수량의 부유사량을 더하여 침식토사량을 측정하였다. 또한, 수집한 토사의 진비중을 분

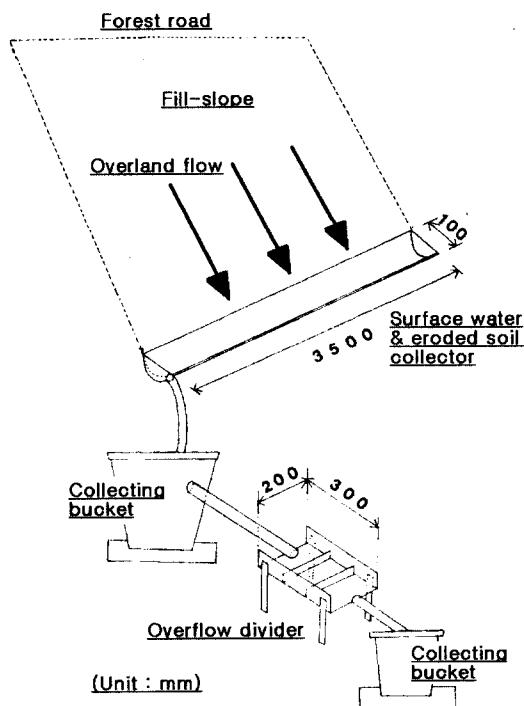


Fig. 2. Schematic diagram of fill-slope plot

석하여 현장 관측한 성토비탈 유출수량에서 침식토사의 부피를 제한 유출수량의 부피를 산출하였다.

(3) 성토비탈 식생피복도의 측정

연구대상 임도 노선의 성토비탈 표면에는 비탈안정녹화를 위하여 Tall fescue와 Orchard grass 등의 외래 초종을 이용한 줄씨뿌리기 공법을 1996년 10월에 시공한 바 있다. 이 연구에서는 임도 성토비탈의 토사안정에 대한 식생녹화의 효과를 분석하기 위하여 성토비탈의 식생피복도를 측정하였다. 이를 위하여 각 임도 성토비탈 조사구내 비탈을 상, 중, 하로 구분하고 특별히 제작한 격자틀을 사용하여 각각의 식생피복도를 측정 후 조사구내의 평균적인 식생피복도를 측정하였으며, 성토비탈에서의 지표유출수량 및 침식토사량의 측정시기와 일치되도록 관측하였다. 식생피복도는 비탈 토양이 노출되지 않고 식생에 의해 피복되어 있는 정도를 측정하였다.

2) 관측시기 및 분석방법

관측은 1997년 6월부터 9월 및 1998년 5월부터 8월까지 하절기를 중심으로 2년에 걸쳐 실시하였으며, 이 기간동안 1997년 5회, 1998년 5회로 총 10회 관측을 수행하였다(Table 1). 관측기간중 기간강우량은 최소 43.5mm(1998년 5월 17일~6월 6일), 최대 341.0mm(1998년 6월 7일~7월 5일)의 분포를 보였으며, 최대일우량은 155.0mm/day(1998년 6월 25일 06시~26일 05시)이었다.

한편, 경과년수에 따라 임도 성토비탈에서 비탈형상 및 강우인자와 식생피복도 등의 환경인자가 토양침식량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 상관분석을 실시하였으며, 각각 인자의 토사침식량에 대한 설명여부를 측정하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석에서는 각 인자들을 독립변수, 토사침식량을 종속변수로 보고 stepwise방법을 이용하여 다중회귀분석을 하였으며, 통계처리를 위하여 SAS(Statistical Analysis System) 프로그램을 사용하였다.

Table 1. Introduction of rainfall for observation events

Date	Rainfall(mm)		
	Max. 1 hour	Max. 1 day	Total
June 28, 1997	17.0	84.5	95.5
July 8, 1997	24.5	153.5	221.0
July 24, 1997	23.0	108.5	119.5
Aug. 8, 1997	31.5	94.5	185.0
Sept. 6, 1997	42.5	60.0	133.0
May 9, 1998	17.0	57.5	60.0
May 16, 1998	8.0	25.5	47.5
June 6, 1998	6.0	34.0	44.5
July 5, 1998	34.0	155.0	341.0
Aug. 2, 1998	18.5	79.0	272.5

III. 결과 및 고찰

1. 임도 성토비탈에서의 지표유출수량 및 토사침식량

연구기간동안 총 13개 임도 성토비탈 조사구에서 측정된 관측시기별 평균 지표유출수량 및 토사침식량은 표 2에서와 같다.

관측시기별로 분석한 13개 임도 성토비탈 조사구에서의 평균 지표유출 발생량은 표 2에서 보는 바와 같이 임도 개설후 1년이 경과되지 않은 1997년의 경우에는 관측시기별로 최소 9.4mm에서 최대 29.6mm였던 것으로 조사되었다. 이를 이용하여 기간강우량 중 지표유출 발생율을 산출한 결과 최소 9.8%에서 최대 21.8%의 범위를 가지는 것으로 분석되었다. 그러나, 임도 개설후 1년이 경과한 1998년의 경우에는 기간강우량에 대한 지표유출 발생율이 최소 2.1%에서 최대 6.7%로 크게 감소하였던 것으로 나타났다. 특히, 1998년의 경우에는 기간강우량 341mm의 집중호우가 발생하였음에도 불구하고 지표유출수량은 전년도에 비해 크게 감소하였던 것으로 분석되었다. 이는 개설 직후 답압되고 교란되어 있던 성토비탈이 개설후 1년이 경과한 후에 지표토양의 침투능이 어느 정도 회복되었기 때문인 것으로 판단되었다.

임도 성토비탈 조사구에서의 토사침식량 관측결과에 있어서도 1997년도의 경우 단위면적당 토사침식량이 관측시기별로 최소 108.5g/m²

Table 2. Amounts of overland flow and soil erosion on the fill-slope plots

Date	Total rainfall(mm)	Surface runoff		Amount of Soil erosion(g/m ²)
		Amount(mm)	Amount/Total rainfall(%)	
June 28, 1997	95.5	9.4	9.8	108.5
July 8, 1997	221.0	23.1	10.5	441.8
July 24, 1997	119.5	25.5	21.3	289.6
Aug. 8, 1997	185.0	29.6	16.0	703.3
Sept. 6, 1997	133.0	29.0	21.8	373.3
Total	754.0	116.6	15.5	1,916.5
May 9, 1998	60.0	2.6	4.3	0.1
May 16, 1998	47.5	3.2	6.7	0.1
June 6, 1998	44.5	2.0	4.5	1.0
July 5, 1998	341.0	7.1	2.1	2.6
Aug. 2, 1998	272.5	7.2	2.6	2.2
Total	765.5	22.1	2.9	6.0

에서 최대 703.3g/m²로서 많은 토사침식량을 보인 반면, 1998년도의 경우에는 최소 0.1g/m²에서 최대 2.6g/m²으로 토사침식이 거의 발생되지 않았던 것으로 나타났다.

특히, 1997년도의 총 토사침식량은 6월말에서 9월초까지 약 3개월 동안에 1,916.5g/m²으로서 ha당 약 19ton의 토사가 침식되었던 것으로 나타나, 임지를 인공초지 및 나지로 전환하였을 경우 강우집중기인 5월에서 11월간에 인공초지 및 나지에서 토양침식량이 각각 6.31ton/ha, 10.18ton/ha에 달하였다는 村井(1972)의 연구결과에 비하여 약 2배의 토양침식량이 발생하였던 것으로 분석되었다. 그러나, 1998년도에는 토사침식이 거의 발생되지 않음으로 인하여, 임도 성토비탈의 경우 임도 개설후 1차년도 토사침식현상이 극심한 것으로 조사되었다.

이는 개설후 1차년도의 임도 성토비탈의 경우, 시공작업으로 인하여 불안정화된 토사가 다량 존재하여 비교적 약한 강우에도 토사입자의 분리·이탈현상이 쉽게 발생되며 또한, 교란된 지표 침투구조로 인하여 대량으로 발생된 지표유출수에 의해 이동·유출되기 때문인 것으로 판단된다. 반면에 개설후 2차년도에는 성토비탈의 불안정 토사가 전년도에 이미 상당부분 침식·유출되었고, 지표침투구조가 안정화되어 상대적으로 지표유출수의 발생량이 적어

토사침식량이 크게 감소하였던 것으로 분석되었다.

2. 임도 성토비탈의 식생피복도 변화

관측시기별 13개 임도 성토비탈 조사구의 평균 식생피복도는 그림 3에서와 같다. 그림 3에서 보는 바와 같이 전체 조사구내의 평균 식생피복도는 조사기간동안 평균 약 40%에서 약 60%의 범위를 보였던 것으로 나타났다. 조사구가 설치된 임도 성토비탈에는 1996년 가을에 Tall fescue와 Orchard grass를 이용한 비탈방향으로 20cm의 간격의 줄씨뿌리기공법이 시공된 바 있는데, 초기생장이 왕성한 외래초종의 특성상 1997년 봄에 대부분의 풀씨가 발아하여 연구개시초에 이미 약 40%의 식생피복도를 보

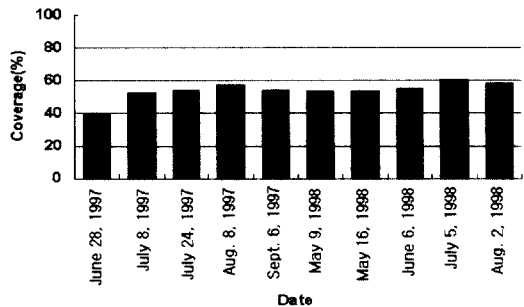


Fig 3. Variation of vegetation coverage on the fill-slope plots

Table 3. Correlation coefficients of environmental factors influencing the soil erosion in 1997

Variables	Amount of surface runoff	Vegetation coverage	Slope length	Slope degree	Total rainfall	Max. 1 hour rainfall
Amount of soil erosion	0.2615**	-0.3905***	0.2281*	0.2361*	0.3420***	0.2834**

Significance : ***($\geq 99\%$), **($99 > S. \geq 95\%$), *($95 > S. \geq 90\%$)

였던 것으로 사료된다. 한편, 연평균 식생피복도에 있어서 1997년에는 52%, 1998년에는 56%로서 1997년에 비해 1998년에 평균 식생피복도가 약 4% 증가한 것으로 나타났는데, 이는 외래초종이 주로 파종지점에 국한되어 생육하고 비탈 전체로 확산되지 못하기 때문인 것으로 조사되었다.

한편, 각 조사구별 식생피복도는 관측시기에 따라 최저 6%에서 최고 95%의 범위를 보였다.

3. 임도 성토비탈의 토사침식량과 환경인자와의 관계

1) 임도 성토비탈의 토사침식량과 환경인자와의 상관관계

분석에 사용한 임도 성토비탈의 환경인자로는, 강우인자로서 기간강우량(mm), 최대일우량(mm/day), 최대시우량(mm/hr), 임도 구조인자로서 성토비탈의 길이(m), 경사도($^{\circ}$), 그리고 식생피복도(%) 및 성토비탈에서의 지표유출수량(mm) 및 성토비탈에서의 기간강우량 대비 지표유출수 발생율(%) 등 총 8개 인자였다.

1997년도에 관측된 임도 성토비탈의 토사침식량과 환경인자와의 상관관계를 분석한 결과는 표 3과 같다. 1997년도 관측자료를 이용하여 분석한 결과, 임도 성토비탈의 토사침식량과 유의한 상관관계를 보이는 환경인자로는 임도 성토비탈에서의 지표유출수량, 식생피복도, 성토비탈의 길이, 성토비탈의 경사도 및 기간강우량과 최대시우량이었다. 특히, 식생피복도 및 기간강우량은 임도 성토비탈의 토사침식량과 고도의 상관관계를 가지고 있는 것으로 분석되었다.

한편, 1998년도 관측자료를 이용하여 임도 성토비탈의 토사침식량과 환경인자와의 상관관계를 분석한 결과, 1998년도에는 표 4에서 보

Table 4. Correlation coefficients of environmental factors influencing the soil erosion in 1998

Variables	Vegetation coverage	Slope degree
Amount of soil erosion	-0.7123***	0.6559**

Significance : ***($\geq 99\%$), **($99 > S. \geq 95\%$)

는 바와 같이 식생피복도가 임도 성토비탈의 토사침식량과 고도로 유의한 상관관계를 보였으며, 이밖에는 성토비탈의 경사도만이 유의한 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다.

1997년도 및 1998년도의 임도 성토비탈의 토사침식량과 환경인자와의 상관관계를 분석한 결과, 1997년도에는 기간강우량과 성토비탈의 길이, 성토비탈에서의 지표유출수량 등이 토사침식량과 상관관계를 보였으나, 1998년도에는 상관관계를 가지지 않는 것으로 나타났다. 특히, 1998년도의 경우, 기간강우량과 성토비탈에서의 지표유출수량이 토사침식량과 상관관계를 가지지 않는 것으로 나타난 것은, 임도 개설당시 성토비탈의 조성단계에서 지표침투조건이 교란되었던 상황에서 임도 개설후 1년이 경과한 1998년도에는 성토비탈이 안정화되어 지표침투능이 상당히 회복되고 이로 인해 지표유출수량이 현저히 감소하였기 때문으로 사료된다. 이는 지표유출수량의 관측결과 1998년도의 기간강우량 대비 지표유출수량 발생율이 1997년도에 비해 1/5 이하로 줄어들었던 것에서도 확인할 수 있었다.

2) 임도 성토비탈 토사침식량에 대한 환경인자의 기여도

임도 성토비탈 토사침식량에 영향을 미치는 환경인자를 밝히기 위하여 stepwise method를

이용하여 다중회귀분석한 결과는 표 5 및 표 6
 에서와 같다. 일반적으로 다중회귀분석을 위한
 기본식으로는 직선회귀식을 사용하고 있으나,
 이 연구에서는 토사침식량이 환경인자들과 직
 선비례관계를 이루는 것으로 가정하지 않고,
 식(1)과 같은 지수함수적인 비례 혹은 반비례관
 계를 가지는 것으로 상정하여 다중회귀분석을
 실시하였다. 이는 범용 토양유실방정식(Univer-
 sal Soil Loss Equation) 등과 같은 기존 토양침
 식 및 토양유실 모델에서 토사침식과 각 환경
 인자들간의 관계를 대수함수(logarithm) 및 지수
 함수(exponential function)로 설정하여 산출하고
 있음에 근거한 것이다(Ward and Elliot, 1995 ;
 Schwab et al., 1996).

$$Y = e^{(a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + \dots + nX_n)} \quad \text{or} \quad \ln Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + \dots + nX_n \quad (1)$$

Y : Amount of soil erosion on the fill-slope of
 forest road
e : exponent(Euler's number)
a, b, c, ... n : Regression coefficients
X₁, X₂, ... X_n : Environmental variables

표 5에서 보는 바와 같이 1997년도의 경우,
 임도 성토비탈의 토사침식량에 영향을 미치는
 중요한 인자는 식생피복도, 성토비탈에서의 지
 표유출수량, 기간강우량, 성토비탈의 경사도 등
 4개 인자이었으며, 중상관계수는 0.7438로서 고
 도로 유의하였다. 즉, 식생피복도가 높을수록,
 그리고 지표유출수량 및 기간강우량, 비탈의
 경사도가 적을수록 토사침식량이 감소하는 것

으로 나타났다. 이를 다중회귀식으로 나타낸
 결과는 식(2)에서와 같았다.

$$Y = e^{(4.3914 - 0.0407X_1 + 0.0726X_2 + 0.0081X_3 + 0.0651X_4)} \quad (2)$$

Y : Amount of soil erosion on the fill-slope of
 forest road(g/m²),
e : exponent(Euler's number)
X₁ : Vegetation coverage of the fill-slope(%),
X₂ : Amount of surface runoff from the fill-
 slope(mm),
X₃ : Total rainfall(mm),
X₄ : Slope degree of the fill-slope(°)

한편, 표 6에서 보는 바와 같이 1998년도에
 는 식생피복도만이 임도 성토비탈의 토사침식
 량에 영향을 미치는 중요 인자이었으며, 중상
 관계수는 0.6972이었다. 이를 다중회귀식으로
 나타내면 식(3)에서와 같았다.

$$Y = e^{(3.8152 - 0.0073X)} \quad (3)$$

Y : Amount of soil erosion on the fill-slope of
 forest road(g/m²),
X : Vegetation coverage of the fill-slope(%),
e : exponent(Euler's number)

이상의 결과를 종합해볼 때 식생피복도는
 1997년도 및 1998년도 분석결과 모두에서 중요
 인자로서 선정되어 임도 성토비탈에서의 토사
 침식량 억제를 위한 효과적인 조절인자인 것으
 로 나타났다. 그러나, 1998년도의 분석결과에서

Table 5. Multiple regression equation for soil erosion with environmental variables resulting from stepwise method in 1997

Variables	Regression coefficient	Partial R ²	Model R ²	F	Significance
Constant	4.3914				
Vegetation coverage	-0.0407	0.3065	0.3065	56.079	0.0000
Surface runoff	0.0726	0.3355	0.6420	95.862	0.0000
Total rainfall	0.0081	0.0644	0.7064	3.845	0.0549
Slope degree	0.0651	0.0374	0.7438	1.675	0.2009

Table 6. Multiple regression equation for soil erosion with environmental variables resulting from stepwise method in 1998

Variables	Regression coefficient	Partial R ²	Model R ²	F	Significance
Constant	3.8152				
Vegetation coverage	-0.0730	0.6972	0.6972	25.330	0.0004

는 1997년도와는 달리 성토비탈에서의 지표유출수량 및 기간강우량과 성토비탈의 경사도 등이 성토비탈의 토사침식량에 중요한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났는데, 이는 임도 개설공사 직후인 1997년도의 경우 성토비탈이 매우 낮은 침투율을 가짐으로 인하여 지하로 침투되지 못하는 초과강우량의 발생이 많았고, 이 초과강우량이 경사가 급한 성토비탈을 유하하며 지표토양을 대량으로 침식시켰으나(Vanvliet and Hall, 1995 ; Ziegler and Giambelluca, 1997), 1998년도에는 상대적으로 성토비탈이 안정화되고 지표 침투능이 증대되어 초과강우량의 발생이 적음으로 인해 토사침식에 큰 영향을 주지 못했기 때문인 것으로 사료되었다.

IV. 결 론

경기도 양평군 단월면 명성 2리 소재 산지유역의 신설임도(1996년 11월 준공)를 대상으로 1997년 및 1998년에 걸쳐 임도개설후 경과년수에 따른 임도 성토비탈의 토사침식 특성에 관한 연구를 수행한 결과, 임도 성토비탈에서의 토사침식량은 1997년도의 경우 단위면적당 토사침식량이 관측시기별로 최소 108.5g/m²에서 최대 703.3g/m²로서 많은 토사침식량을 보인 반면, 1998년도의 경우에는 최소 0.1g/m²에서 최대 2.6g/m²으로 토사침식이 거의 발생되지 않았던 것으로 나타났다.

또한, 임도 성토비탈에서의 지표유출 발생량은 임도 개설후 1년이 경과되지 않은 1997년의 경우에는 관측시기별로 최소 9.4mm에서 최대 29.6mm였으나, 임도 개설후 1년이 경과한 1998년의 경우에는 기간강우량에 대한 지표유출 발생율이 최소 2.1%에서 최대 6.7%로 크게 감소

하였던 것으로 나타났다. 따라서, 임도 성토비탈에서의 지표유출 발생 및 토사침식현상은 개설직후의 하절기가 가장 크게 발생하며, 이후에는 크게 감소하였던 것으로 나타났다.

한편, 임도 성토비탈의 토사침식량과 환경인자와의 상관관계를 분석한 결과, 1997년도에는 임도 성토비탈에서의 지표유출수량, 식생피복도, 성토비탈의 길이, 성토비탈의 경사도 및 기간강우량과 최대시우량 등의 환경인자가 성토비탈의 토사침식량과 유의한 상관관계를 보였으며, 1998년도에는 식생피복도와 성토비탈의 경사도가 임도 성토비탈의 토사침식량과 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

이와 함께, 임도 성토비탈 토사침식량에 영향을 미치는 환경인자를 밝히기 위하여 stepwise method를 이용하여 다중회귀분석을 실시한 결과, 1997년도의 경우, 임도 성토비탈의 토사침식량에 영향을 미치는 중요한 인자는 식생피복도, 성토비탈에서의 지표유출수량, 기간강우량, 성토비탈의 경사도 등 4개 인자이었으며, 중상관계수는 0.7438로서 고도로 유의하였다. 그러나, 1998년도에는 식생피복도만이 임도 성토비탈의 토사침식량에 영향을 미치는 중요 인자이었으며, 중상관계수는 0.6972이었다.

이상의 결과를 종합해볼 때 임도 성토비탈에서 토사침식을 억제하고 이로 인한 환경피해를 저감하기 위해서는 임도 개설 당시부터 성토비탈의 경사가 급하지 않도록 설계·시공하고, 이와 아울러 성토비탈에 대한 우수 침투촉진 공법을 적용하여 성토비탈에서의 과도한 지표유출수의 발생을 억제하며, 비탈면에 대한 조기녹화 및 유지대책을 수립하여야 할 것으로 사료된다.

V. 인용문헌

- 朴在鉉. 1995. 白雲山 成熟闊葉樹林 皆伐收穫地에서 伐出直後의 環境變化와 運材路浸蝕에 關한 研究. 서울大學校 博士學位論文. 137pp.
- 山林廳. 1998 임업통계연보 제28호. 웃고문화사. 406pp.
- 吳在萬 · 井上章二 · 江崎次夫 · 全權雨. 1999. 山地 小流域에 開設된 林道가 浮遊砂 流出에 미치는 影響. 韓國林學會誌 88(4) : 477-484.
- 禹保命 等. 1997. 山林工學. 光一文化社. 454pp.
- 李成基. 1997. 林道開設に伴う細粒土의 流出特性에 關する 研究. 東京農工大學大學院 博士學位論文. 102pp.
- 鄭道鉉. 1994. 林道構造 및 降雨特性이 土壤浸蝕 및 土砂流出에 미치는 影響 - 백운산 지구의 신설임도를 대상으로 -. 서울大學校 博士學位論文. 110pp.
- 近藤惠市 · 岩川治 · 神利男. 1983. 林道災害に關する 研究(Ⅱ) - 昭和57年10號, 19號台風による被害. 制94回日本林學會大會發表論文集 707-708.
- 佐佐木功. 1982. 林道開設が自然植生, 景觀, 土砂生産量に及ぼす影響とその對策に關する 研究. 文部省 科學研究(總合研究)報告書. 167pp.
- 村井宏. 1972. 林地の草地轉換が水および土砂流出に及ぼす影響. 80回 日林講. 358-361.
- Schwab, G.O., D.D. Fangmeier and W.J. Elliot. 1996. Soil and water management systems 4th edition. John Wiley & Sons Inc. 371pp.
- Vanvliet, J.P. and J.W. Hall. 1995. Effects of Planting Direction of Brussels-Sprouts and Previous Cultivation on Water Erosion in Southwestern British-Columbia, Canada. Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 50, Iss. 2, pp.188-192.
- Ward, A.D. and W.J. Elliot. 1995. Environmental hydrology. Lewis Publishers. 462pp.
- Ziegler, A.D. and T.W. Giambelluca. 1997. Importance of Rural Roads as Source Areas for Runoff in Mountainous Areas of Northern Thailand. Journal of Hydrology, Vol. 196, Iss. 1-4, pp.204-229.

接受 2000年 2月 25日