韓國林學會誌 84(3) : 319 - 332, 1995
Jour. Korean For. Soc. 84(3) : 319 - 332, 1995

新設林道의 初期浸蝕量에 關한 硏究[1]

鄭 道 鉉[2]

Studies on Erosion Amount of the Newly-Constructed Forest Road[1]

Do-Hyun Jung[2]

要 約

이 연구는 林道構造 및 降雨 特性이 新設林道에서의 初期浸蝕에 미치는 影響을 究明하고, 林道新設 區域에서의 浸蝕量을 把握하기 위하여 서울大學校 農生大 附屬 南部演習林 白雲山 地區에 林道가 開設된 區域을 대상으로 林道新設 직후 2년동안 切·盛土斜面, 路面, 側溝 등 林道 各 構造部에서 發生되는 浸蝕量과 降雨 및 林道構造 因子와의 關係를 調査·分析하였다.

林道 各 構造部의 設計 因子 및 降雨 因子의 組合으로 이루어진 多重回歸式들은 林道 各 構造部別 浸蝕量 變動의 說明에 有意하였다.

이 林道開設區域에서 林道新設後 2年間(1993~1994)의 林道 1㎞當 總浸蝕量은 658.51㎥/㎞였으며, 林道 初期浸蝕量의 약 21.9%(144.27㎥/㎞)는 切土斜面에서, 39.8%(261.89㎥/㎞)는 盛土斜面에서, 8.1%(53.33㎥/㎞)는 路面에서, 30.2%(199.02㎥/㎞)는 側溝에서 발생되었다.

ABSTRACT

This research was carried out to investigate the influences of forest road chracteristics and rainfalls on the amount of erosion on the newly-constructed forest road in the Research Forests of Seoul National University located in Mt. Backwoon-san, Kwangyang. Amount of soil erosion on the newly-constructed forest road was measured for 2 years since the forest road construction.

Using the stepwise multiple regression method, amount of soil erosion from cut-slopes, fill-slopes, road surfaces, and side-ditches were seperately expressed as a function of statistically significant road design and rainfall factors, and multiple regression models to estimate the amount of soil erosion were significant to explain the variance in erosion by each structures.

According to results of this study, amount of erosion from the newly-constructed forest road was estimated as much as 658.51㎥/㎞ for 2 years. Out of total amount of soil erosion, 21.9%(144.27㎥/㎞) from cut-slopes, 39.8%(261.89㎥/㎞) from fill-slopes, 8.1%(53.33㎥/㎞) from road surfaces, and 30.2%(199.02㎥/㎞) from side-ditches were occurred.

Key words : Erosion from newly-constructed forest road, Cut-slope erosion, Fill-slope erosion, Road surface erosion, Side-ditch erosion

[1] 接受 1995年 4月 27日 Reiceived on April 27, 1995.
[2] 林業硏究院 中部林業試驗場 Forestry Research Institute, Pochon, Korea.

緖 論

林道의 開設은 산림에 대한 개발행위로서 周邊環境에 대하여 影響을 주게 된다. 그러나 山林開發과 環境保全이 모두 인간생활과 밀접한 관계가 있으므로 어느 하나에 치중할 수 없다. 따라서 환경보전의 관점에서 경제적·기술적 상황을 감안한 최선의 개발방안을 모색하여야 한다. 이러한 관점에서 볼 때, 林道開設이 周邊環境에 負의 影響을 준다고 하여 부정적인 시각에서 바라보기보다는 林道의 計劃·設計·施工 및 維持管理함에 있어서 임도개설이 인근지역에 미칠 환경적 문제를 충분히 고려한 적절한 環境影響 低減策을 마련하여야 할 것이다.

林道의 開設이 周邊環境에 미치는 影響으로는 지형의 변형, 산림미기상의 변화, 식생변화 및 야생동물의 감소, 토양침식 및 토사유출 등이 있으며, 특히 이들중 불량한 임도개설로 인한 침식은 임도의 기능을 약화시킬 뿐만 아니라 산지를 황폐시키고, 나아가서는 산지유역 밖으로 많은 양의 토사를 유출시켜 수질오염 및 농경지를 매몰시키는 등의 피해를 유발시키게 되므로 매우 중요한 문제인 것이다.

林道開設區域에서의 浸蝕은 林道開設로 인해 형성된 裸地部, 즉 切·盛土斜面, 路面, 側溝에서 주로 발생하며, 이러한 浸蝕은 주로 降雨에 의하여 발생하게 되지만, 浸蝕量은 林道의 構造的 特性과 林道開設地域의 立地的 特性 등에 따라 많은 차이가 있다.

林道開設區域에서의 浸蝕은 발생부위에 따라 斜面 浸蝕(切土 및 盛土斜面 浸蝕), 路面 浸蝕, 側溝 浸蝕 등으로 구분하는데, Burroughs와 King (1989)은 林道開設에 의한 浸蝕의 약 60%는 盛土斜面에서, 약 25%는 路面에서, 그리고 약 15%는 切土斜面과 側溝에서 발생된다고 보고한 바 있다.

斜面 浸蝕에 대한 연구를 살펴보면, 斜面의 安定 및 浸蝕의 설명에 유의한 因子로 切土斜面의 경우 李峻雨(1987)는 사면길이, 식물피복도, 표고, 사면경사도, 모암의 종류, 사면방위 등을, 金鍾閏 등(1990)은 식물상태, 토양층, 시공후 경과년수, 사면경사도, 사면길이 등을 제시한 바 있으며, 盛土斜面의 경우 金鍾閏 등(1990)은 모재층, 사면경사도, 사면방위, 노면 및 사면의 토양경도, 사면길이 등을 제시한 바 있다. 또한 菊地政泰와 橫井正美(1973), 井內祥人(1980), 佐佐木功(1982) 등은 斜面傾斜度가 클수록 斜面 浸蝕이 용이하고 崩壞의 위험성이 크다고 하였으며, 吳在萬(1990)은 사면붕괴에 안정한 斜面傾斜度로서 切土斜面은 35° 이하, 盛土斜面은 40° 이하를 제시한 바 있다. 吉田博宣(1982)은 切土斜面길이가 길수록 풍화되어 浸蝕되는 細粒土砂量이 증가한다고 보고한 바 있으며, 新谷融 등(1980)은 斜面길이가 짧을수록 植生被覆度가 증가하여 斜面崩壞의 위험성이 감소된다고 하였다. 斜面方位와의 關係에 있어서 新谷融 등(1980)은 南向斜面이 北向斜面에 비해 일교차가 크고 일상적인 風化現象을 보다 강하게 받아 더 많은 浸蝕을 유발하게 된다고 보고하였으며, 井上源基 등(1982a)은 北向斜面에서의 浸蝕率이 다른 사면에 비하여 적다고 보고한 바 있다. 斜面 浸蝕과 土壤因子와의 關係에서 井上源基 등(1982a, b)은 土壤硬度가 높을수록 斜面의 崩壞率은 적어진다고 하였으며, 江崎次夫(1984)는 土壤空隙率 및 粒徑分布가, Tavenas 등(1980)은 粘土含量이, Packer(1963)는 土壤의 比重이, 山本仁志(1982)은 含水量이 斜面 浸蝕에 밀접하게 기여한다고 하였다. 이 밖에 Paker(1963)는 地質에 따라, 菊地政泰와 橫井正美(1973)는 斜面型에 따라 斜面 浸蝕量에 차이가 있다고 하였다.

路面 浸蝕에 관한 硏究에서 Packer(1967), 伏見知道(1980), 市原恒一(1981), 酒井徹郎 등(1982a, b), 權台鎬(1986) 등은 浸蝕量과 縱斷물매간에는 밀접한 관계가 있다고 보고한 바 있으며, 權台鎬(1986), 金鍾閏(1987) 등은 縱斷물매가 12% 이상이 되면 路面流水에 의한 被害發生이 급증한다고 하였고, Kochenderfer(1970), 金鍾閏(1987) 등은 임도의 유지관리상 적정 종단물매는 5~7%라고 보고한 바 있다. 또한 權台鎬(1986)는 側溝의 有無에 따라 路面 浸蝕量의 차이가 있다고 하였으며, 路面의 橫斷面型과의 관계에 있어서 Trimble과 Weitzman(1953)과 Kochenderfer(1970)는 路面의 橫斷물매를 盛土部쪽으로 하는 outslope형이, Haupt 등(1963)은 側溝쪽으로 하는 inslope형이 路面 浸蝕量의 감소에 보다 효과적이라는 서로 다른 의견이 제시된 바도 있다. 市原恒一(1981)은 土質別로 路面 浸蝕量이 차이가 난다고

하였는데, 특히 粘土含有率과의 相關이 크다고 하였다. Trimble과 Weitzman(1953), Haupt (1959), Rice와 Furbish(1984) 등은 土性, 透水性 등의 土壤의 物理的 特性과 石礫含有率, 有機物含量 등이 路面 浸蝕에 影響을 준다고 보고하였다. 그 밖에 權台鎬(1986), Packer(1967), Rice와 Furbish(1984) 등은 林道의 平面線形, 起點으로부터의 距離, 山腹에서의 位置, 林道開設이나 集材作業後 經過期間, 山地斜面傾斜度, 方位, 山地斜面型, 標高 등에 따라 路面 浸蝕量에 차이가 있다고 하였다. 또한 路面 浸蝕量에 관한 보고에 있어서 權台鎬(1986)는 3년 이내의, 佐佐木功(1982)은 5년 이내의 新設林道에서 각각 2.5~12.0㎥/㎞와 12.4㎥/㎞의 路面 浸蝕이 발생한다고 하였으며, 金鍾聞과 盧載厚(1989)는 土砂道인 경우 路幅 5m를 基準으로 할 때 약 85㎥/㎞의 路面 浸蝕이 발생한다고 하였다.

側溝 浸蝕에 관한 연구는 斜面 浸蝕이나 路面 浸蝕에 비하여 활발하지 않았다. Packer(1967)는 側溝의 流水量이 많을수록, 木村剛一(1980, 1981)은 側溝始點부터 終點까지의 距離가 멀수록, 土壤比重과 土壤硬度가 낮을수록, 側溝의 浸蝕現象이 심해진다고 하였다. O'Loughlin(1985)은 不完全한 側溝는 높은 浸蝕率을 초래한다고 보고하였다. 馬相圭(1987)는 側溝 浸蝕이 斜面崩壞에 많은 영향을 준다고 報告한 바 있다. 鄭道鉉(1989)은 側溝 浸蝕에 影響을 미치는 因子를 構造因子와 立地因子로 나누어 이들 因子와 側溝 浸蝕과의 關係에 있어서 側溝始點으로부터의 距離, 縱斷勾配, 土壤含有率, 山地斜面上의 位置, 開設後 經過年數 등의 因子와 側溝 浸蝕간에 유의한 相關關係를 나타내었다고 하였다. 또한, 金鍾聞 등(1993)은 流下距離, 縱斷勾配, 路面의 土壤硬度, 開設位置, 曲線반지름, 側溝의 크기 등의 因子가 側溝 浸蝕量 變動의 설명에 유의한 因子로 나타났다고 報告한 바 있다.

이와 같이 林道開設로 인한 浸蝕은 林道의 質的 低下를 초래하며, 나아가서는 山地流域 밖으로 土砂를 流出시켜 하부지역의 河川環境을 훼손, 오염시킨다. Megahan과 Kidd(1972), Leaf (1974), 中野雅光(1975), 佐佐木功(1982), Swift (1984) 등은 林道開設에 의한 각종 周邊環境要因의 變化에 대하여 보고한 바 있다.

이상에서 볼 때, 林道開設區域에서의 浸蝕은 각 유형별로 많은 인자들이 관여하고 있으며, 각각의 침식양상 및 침식정도에 차이가 있는 것을 알 수 있다. 浸蝕은 여러 인자들이 동시에 침식발생과정에 관련하는 總體的인 現象이기에 林道浸蝕을 파악하기 위하여 다변량해석이 요구된다. Packer(1967), Diseker와 McGinnis(1967), 權台鎬(1986), Rice와 McCashion(1983, 1985), 鄭道鉉(1989) 등은 이러한 방법을 이용하여 林道의 각 구조부에서 발생하는 浸蝕量을 산정한 바 있다.

그러나 지금까지의 林道開設區域에서의 浸蝕에 관한 연구들은 각 구조부별 침식현상에 대해서는 활발히 진행되어 왔으며, 總浸蝕量 및 初期浸蝕量에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 이 硏究의 目的은 林道新設區域에서의 전반적인 初期浸蝕現象을 究明하고, 林道新設區域에서의 初期浸蝕量을 把握함에 있다.

材料 및 方法

1. 硏究對象地의 槪況

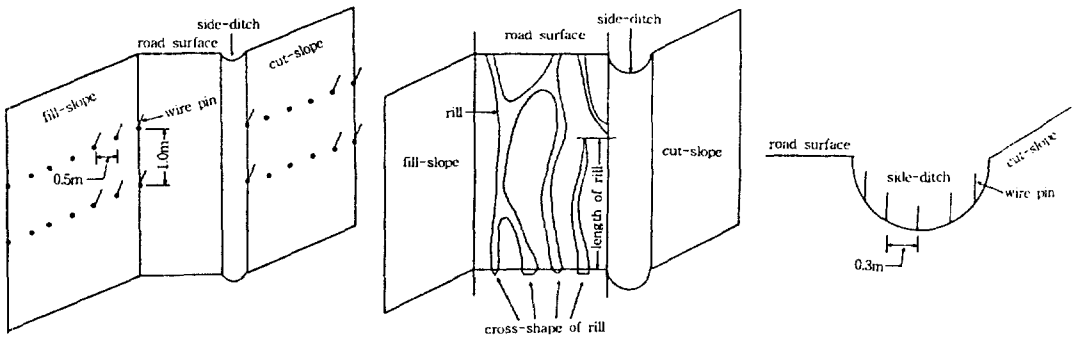
이 硏究는 서울大學校 農生大 附屬 南部演習林 白雲山 地區에 1993년 3월에 준공된 1.7㎞의 林道가 開設된 區域을 硏究對象地로 선정하여 수행하였다.

硏究對象地 내에 開設된 林道는 성숙임목의 수확을 주목적으로 하여 준공된 2급 임도로서 平均路幅은 약 4m이며, 切·盛土斜面 및 路面, 側溝 등에 浸蝕減少施設 등이 거의 設置되어 있지 않으며, 개설후 2년이 경과한 新設林道이기 때문에 初期浸蝕現象을 究明하기 위한 이 硏究에 적합한 것으로 판단되었기에 硏究對象地로 선정하였다.

2. 浸蝕量 調査

現地調査는 임도개설후 첫 해인 1993년 4월부터 1994년 10월까지 실시하였으며, 林道 浸蝕量을 조사하기 위하여 切土斜面 및 盛土斜面에 각각 27개, 路面에 86개, 側溝에 17개의 浸蝕 調査區를 설치하였으며, 切土斜面, 盛土斜面, 側溝 浸蝕 調査區에는 그림 1에 나타낸 바와 같이 길이 80cm의 철사핀을 땅속에 약 40~50cm정도 박아 놓았다.

浸蝕量의 測定에 있어서 路面 浸蝕量은 조사구내에 발생한 浸蝕溝의 단면형태, 너비 및 깊이와



(a) cut - and fill - slope plot (b) road surface plot (c) side - ditch plot

Fig. 1. Schematic diagram of road surface, cut - slope, fill - slope and side - ditch plot

길이를 측정하여 각 조사구의 路面 浸蝕量을 구한 후, 이를 임도시설규정의 2급 임도의 노폭인 4m로 환산하여 각 조사구의 單位距離當 路面 浸蝕量을 산출하였으며, 切土斜面 浸蝕量 및 盛土斜面 浸蝕量은 조사구에 설치한 철사핀의 지상부 노출길이의 변화량과 조사구내에 발생한 浸蝕溝의 단면형태, 너비, 깊이, 길이를 측정하여 산출한 面狀 浸蝕量과 溪溝 浸蝕量을 더하여 각 조사구의 單位面積當 斜面 浸蝕量을 산출하였고, 側溝 浸蝕量은 철사핀의 지상부 노출길이의 변화량을 측정하여 側溝 斷面積 變化量을 구한 후, 각 조사구의 單位距離當 側溝 浸蝕量을 산출하였다.

3. 浸蝕 因子의 調査

浸蝕 因子의 調査는 降雨因子와 各 構造部別 構造因子로 구분하여 조사하였다.

降雨因子 調査는 연구대상지 내에 표준우량계를 설치하여 측정한 降雨量, 降雨發生日, 降雨回數 등의 降雨資料를 이용하여 각 기간별로 ①總降雨量(mm) ②最大日雨量(mm/day) ③降雨日當平均降雨量(mm/day) ④最大1回降雨量(mm/storm) ⑤平均1回降雨量(mm/storm) 등 5종의 降雨特性을 산출하였다.

切土斜面 및 盛土斜面 構造因子로는 ①斜面길이(m) ②斜面上 位置 ③斜面傾斜度( ) ④斜面方位 ⑤土壤硬度(kg/㎠) ⑥모래含有率(%) ⑦粘土含有率(%) ⑧土壤濕度(%)를 조사하였고, 路面 構造因子로는 ①起點으로부터의 距離(m) ②縱斷물매(%) ③路幅(m) ④平面線形 ⑤橫斷面型 ⑥土壤硬度(kg/㎠) ⑦모래含有率(%) ⑧粘土含有率(%)을 조사하였으며, 側溝 構造 因子로는 ①側溝始點으로부터의 距離(m) ②縱斷물매(%) ③平均側溝너비(m) ④隣接切土斜面길이(m) ⑤平面線形 ⑥土壤硬度(kg/㎠) ⑦모래含有率(%) ⑧粘土含有率(%)를 조사하였다. 또한 浸蝕量을 推定하기 위하여 林道 測量을 실시하였다.

4. 資料의 分析

조사자료를 기간별로 정리하고, SAS(Statistical Analysis System) 통계패키지를 이용하여 構造部別 浸蝕에 影響을 미치는 因子들에 대한 相關分析 및 多重回歸分析을 실시하였다. 多重回歸分析에 있어서 因子의 選擇方法으로는 段階別 追加法(stepwise method)을 적용하고, 변수선택의 기준은 F값이 10%수준에서 유의할 경우로 하였다. 또한 多重回歸分析 結果 및 林道測量 資料를 이용하여 林道開設區域에서의 浸蝕量을 산정하였다.

結果 및 考察

1. 降雨 및 林道構造 特性

가. 降雨 特性

조사기간 동안의 降雨 特性은 表 1과 같다.

표 1에서와 같이 調査期間 동안 總 2,259.3mm ('93년 963.7, '94년 1,295.6, 平均 1,129.7)의 降雨가 발생하였으며, 最大日雨量은 304.0mm/day ('93년 145.0, '94년 304.0), 降雨日當 平均日雨量은 28.6mm/day('93년 45.9, '94년 22.3)였고, 最大1回降雨量은 353.0mm/storm('93년 145.0, '94년 353.0), 平均1回降雨量은 48.2mm/storm ('93년 48.2, '94년 46.3)이었다.

나. 浸蝕 調査區의 特性

表 2는 各 構造部別 浸蝕 調査區의 特性을 나

Table 1. Precipitation data for investigation period(1993. 3~1994. 10)

	Total	1993 (March~September)	1994 (April~October)
Total precipitation(TTPRE)	2,259.3mm	963.7	1,295.6
Mean daily precipitation(MNDPRE)	28.6mm/day	45.9	22.3
Max. daily precipitation(MXDPRE)	304.0mm/day	145.0	304.0
Mean precipitation per storm(MNFPRE)	47.1mm/storm	48.2	46.3
Max. precipitation per storm(MXFPRE)	353.0mm/storm	145.0	353.5

Table 2. The characteristics of the plots on each structures

Variables	Unit	Road structures			
		Cut-slope	Fill-slope	Road surface	Side-ditch
Length of slope or side-ditch	m	5.8 5.50 ~ 6.50	6.5 5.0 ~ 10.5	—	150 120 ~ 180
Degree of slop		36 30.0 ~ 40.0	35 33 ~ 38	—	—
Aspect of slope	EA	East : 18 South : 9	East : 18 South : 9	—	—
Soil hardness	kg/㎠	2.24 0.08 ~ 5.03	1.24 0.15 ~ 3.72	4.67 2.80 ~ 9.24	3.02 0.89 ~ 7.78
Proportion of sand (0.2~2 mm)	%	63.0 54.6 ~ 81.0	61.9 53.8 ~ 78.0	64.5 54.6 ~ 81.8	64.8 54.6 ~ 82.3
Proportion of clay (<0.002 mm)	%	11.2 6.4 ~ 16.2	10.7 6.2 ~ 15.3	10.2 6.1 ~ 16.0	13.2 6.8 ~ 23.4
Soil moisture	%	19.5 7.8 ~ 39.8	14.2 8.0 ~ 26.8	—	—
Gradient of road or side ditch	%	—	—	12.7 0.0 ~ 25.0	8.5 0.0 ~ 12.5
Width of road or side ditch	m	—	—	4.74 3.25 ~10.95	2.07 1.61 ~ 2.61
Alignment of road or side ditch	EA	—	—	Straight : 59 Curved : 27	Straight : 10 Curved : 7
Cross-section shape of road	EA	—	—	Flat : 55 Inslope : 31	—
Length of adjacent cut-slope	m	—	—	—	3.70 1.00 ~ 6.00

타낸 것이다.

切土斜面 浸蝕 調査區의 斜面길이는 약 5.8m (5.5~6.5), 斜面傾斜度는 약 36° (30~40), 斜面方位는 東向 18개소, 南向 9개소였으며, 土壤硬度는 약 2.24㎏/㎠(0.08~5.03), 모래含有率은 약 63.0%(54.6~81.0), 粘土含有率은 약 11.2% (6.4~16.2)였고, 土壤濕度는 약 19.5%(7.8~39.8)였다.

盛土斜面 浸蝕 調査區의 斜面길이는 약 6.5m (5~10.5), 斜面傾斜度는 약 35 (33~38)로 나타났다. 斜面方位는 東向 18개소, 南向 9개소였고, 土壤硬度는 약 1.24㎏/㎠(0.15~3.72), 모래含有

率과 粘土含有率은 각각 61.9%(53.8~78.0)와 10.7%(6.2~15.3), 土壤濕度는 약 14.2%(8.0~26.8)로 나타났다.

路面 浸蝕 調査區의 縱斷물매는 약 12.7%(0~25), 路幅은 4.74m(3.25~10.95, 대피소 포함)로 비교적 路幅은 넓고 縱斷물매는 급한 것으로 나타났다. 또한 平面線形은 59개소가 直線部에, 27개소가 曲線部에 위치하고 있고, 路面의 橫斷面型은 平面型(flat 型)이 55개소, 側溝쪽으로 편물매를 준 inslope 型이 31개소였으며, 土壤硬度는 약 4.67kg/㎠(2.80~9.24)로서 切·盛土斜面에 비해 현저히 높은 것으로 나타났는데, 이는 차량등의 통행으로 인하여 路面이 다져졌기 때문인 것으로 생각되며, 모래含有率과 粘土含有率은 각각 64.5%(54.6~81.8)와 10.2%(6.1~16.0)로서 切·盛土斜面과 유사한 값을 나타내었다.

側溝의 區間길이는 약 150m(120~180), 側溝의 平均너비는 약 2.07m(1.61~2.61)로서 비교적 길고 넓은 것으로 나타났다. 또한 側溝始點부터 각 조사구까지의 縱斷물매는 약 8.5%(0.0~12.5)이고, 조사구에 인접한 切土斜面의 길이는 약 3.7m(1.0~6.0)이며, 平面線形은 直線部 10개소, 曲線部 7개소로 나타났다. 土壤硬度는 약 3.02kg/㎠(0.89~7.78)로 斜面 및 路面에 비해 높은 것으로 나타났는데, 이는 側溝가 주로 切土斜面의 下端部, 즉 母材層에 위치하고 있기 때문인 것으로 생각되며, 또한 모래含有率과 粘土含有率은 각각 64.8%(54.6~84.3)와 13.2%(6.8~24.3)로 나타났다.

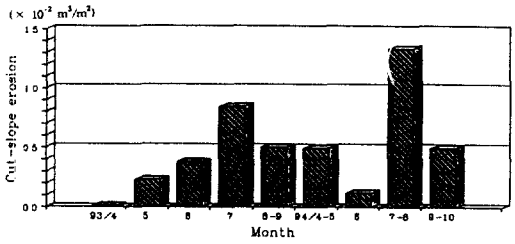


Fig. 2. Cut - slope erosion by each period

2. 林道 構造部別 浸蝕 因子

가. 切土斜面 浸蝕 因子

(1) 切土斜面 浸蝕量

그림 2는 各 期間別 單位面積當 切土斜面 平均浸蝕量을 나타낸 것이다.

單位面積當 切土斜面 浸蝕量은 林道開設 當該年度에는 1.95×10^{-2}m/m, 그 다음 해에는 2.68×10^{-2}m/m로 總調査期間중 4.63×10^{-2}m/m의 切土斜面 浸蝕이 발생한 것으로 나타났다. 이는 林道開設 當該年度에 약 1.95㎝, 그 다음 해에는 약 2.68㎝ 두께의 切土斜面 浸蝕이 발생하여 林道開設後 2年間 總 4.63㎝ 두께의 切土斜面 浸蝕이 발생한 것을 의미한다.

(2) 切土斜面 浸蝕에 미치는 切土斜面 因子의 影響

表 3은 單位面積當 切土斜面 浸蝕量과 切土斜面 因子와의 相關關係를 나타낸 것이고, 表 4는 切土斜面 浸蝕量과 切土斜面 因子와의 stepwise method에 의한 多重回歸分析 결과이다.

Table 3. Correlation coefficient between cut - slope erosion and cut - slope variables.

		Cut - slope erosion (CTERO)	Significance
Elapsed time since road was constructed	(CONYEAR)	0.2936	0.0001
Cut - slope length	(CTLENGTH)	0.4560	0.0001
Relative position on cut - slope — Upper	(CTUPPER)	0.3331	0.0001
Relative position on cut - slope — Middle	(CTMIDDLE)	-0.0662	0.3040
Relative position on cut - slope — Low	(CTLOW)	-0.0471	0.4652
Cut - slope degree	(CTDEGREE)	0.1133	0.0780
Cut - slope aspect — East	(CTEAST)	0.2805	0.0001
Cut - slope aspect — South	(CTSOUTH)	-0.2805	0.0001
Max. precipitation per storm	(MXFPRE)	0.6224	0.0001
Cut - slope soil hardness	(CTHARD)	0.0730	0.2569
Cut - slope sand proportion	(CTSOIL)	-0.0056	0.9307
Cut - slope clay proportion	(CTCLAY)	-0.1024	0.1113
Cut - slope soil moisture	(CTMOIST)	0.0345	0.5923

Table 4. Multiple regression equation for cut - slope erosion($\times 10^{-2}m^3/m^2$).

Variables	Reg. coef.	Partial R^2	Model R^2	Significance
Constant	-5.1186			0.0001
Max. precipitation per storm (MXFPRE)	0.0034	0.3874	0.3874	0.0001
Cut - slope length (CTLENGTH)	0.3860	0.1465	0.5839	0.0001
Cut - slope degree (CTDEGREE)	0.0889	0.0457	0.5796	0.0001
		Multi - R=0.7613		

表 3과 4에서 보면 最大1回降雨量, 切土斜面길이, 切土斜面傾斜度 등 3개 因子는 切土斜面 浸蝕量과 유의한 相關關係를 보였는데, 이는 岩垣雄一과 土屋義人(1956), 吉田博宣(1982), 佐佐木功(1982), 李峻雨(1987) 등의 硏究結果와 일치한다.

또한 多重回歸分析 결과, 이들 3개 因子만이 切土斜面 浸蝕量의 설명에 유의한 것으로 나타났고, 多重回歸式의 重相關係數는 0.7613이었으며, 偏相關係數는 最大1回降雨量 0.6224, 切土斜面길이 0.4560, 切土斜面傾斜度 0.3331의 순이었다. 切土斜面 浸蝕量 變動의 설명에 기여하는 各 因子의 相對的 寄與度에 있어서도 最大1回降雨量이 0.3874로 가장 높았으며, 切土斜面길이와 切土斜面傾斜度는 각각 0.1465와 0.0457인 것으로 나타났다. 이는 降雨 因子가 切土斜面 浸蝕量 變動의 설명에 있어서 매우 중요한 因子임을 의미하는 것이다.

多重回歸式으로 조합된 3개의 切土斜面 因子를 검토하여 볼 때, 切土斜面길이와 切土斜面傾斜度의 2개 因子는 設計 및 施工에 있어서 變更할 수 있는 것임에 비해 降雨 因子는 變更이 困難한 因子로 볼 수 있다. 따라서 多重回歸式에 나타난 變更可能因子의 相對的 寄與度의 合은 약 0.19가 되므로 切土斜面 浸蝕量 變動의 說明域 58%中 약 19%중의 일부는 適切한 設計 및 施工을 통해 新設林道의 切土斜面 浸蝕을 減少시킬 수 있을 것으로 생각된다.

經過期間, 切土斜面 方位 등 2개 因子도 切土斜面 浸蝕量과 유의한 相關關係를 보였으나 多重回歸分析 결과, 이들 2개 인자는 切土斜面 浸蝕量을 설명에 유의하지 않은 것으로 나타났다.

斜面上 位置, 모래含有率, 粘土含有率, 土壤濕度와 切土斜面 浸蝕量과의 相關關係는 비교적 크지 않은 것으로 나타났는데, 이는 이 연구에 있어서 調査區 土壤의 物理的 化學的 特性이 유사하기 때문인 것으로 생각된다.

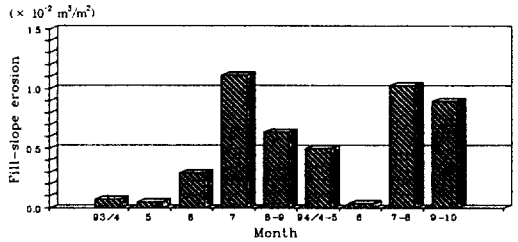


Fig. 3. Fill - slope erosion by each period

나. 盛土斜面 浸蝕 因子

(1) 盛土斜面 浸蝕量

그림 3은 各 期間別 單位面積當 盛土斜面 平均 浸蝕量을 나타낸 것이다.

單位面積當 盛土斜面 浸蝕量은 林道開設 當該年度에는 $2.17\times10^{-2}m^3/m$, 그 다음 해에는 $2.46\times10^{-2}m^3/m$로 總調査期間중 $4.63\times10^{-2}m^3/m$의 盛土斜面 浸蝕이 발생한 것으로 나타났다. 이는 林道開設 當該年度에 약 2.17㎝, 그 다음 해에는 약 2.46㎝ 두께의 盛土斜面 浸蝕이 발생하여 林道開設後 2年間 總 4.63㎝ 두께의 盛土斜面이 浸蝕되었음을 의미하는 것이다.

(2) 盛土斜面 浸蝕에 미치는 盛土斜面 因子의 影響

表 5와 6은 각각 單位面積當 盛土斜面 浸蝕量과 盛土斜面 因子에 대한 相關分析 및 多重回歸分析 결과를 나타낸 것이다.

最大1回降雨量, 盛土斜面길이, 盛土斜面傾斜度 등 3개 인자는 盛土斜面 浸蝕量과 유의한 相關關係를 보였는데, 이는 岩垣雄一과 土屋義人(1956), 菊地政泰와 橫井正美(1973), 吉田博宣(1982), 佐佐木功(1982), 吳在萬(1990) 등의 硏究結果와 일치한다.

또한 多重回歸分析 結果, 이들 3개 因子는 盛土斜面 浸蝕量의 설명에 유의한 것으로 나타났고, 多重回歸式의 重相關係數는 0.7749로 나타났

Table 5. Correlation coefficient between fill - slope erosion and fill - slope variables.

		Fill - slope erosion (FLERO)	Significance
Elapsed time since road was constructed	(CONYEAR)	0.1213	0.0639
Fill - slope length	(FLLENGTH)	0.5229	0.0001
Relative position on Fill - slope — Upper	(FLUPPER)	0.0583	0.3745
Middle	(FLMIDDLE)	0.0926	0.1581
Low	(FLLOW)	-0.1518	0.0209
Fill - slope degree	(FLDEGREE)	0.4222	0.0001
Fill - slope aspect — East	(FLEAST)	0.0868	0.1860
South	(FLSOUTH)	-0.0868	0.1860
Max. precipitation per storm	(MXFPRE)	0.5874	0.0001
Fill - slope soil hardness	(FLHARD)	-0.1213	0.0639
Fill - slope sand proportion	(FLSOIL)	-0.0344	0.6007
Fill - slope clay proportion	(FLCLAY)	0.0613	0.3509
Fill - slope soil moisture	(FLMOIST)	0.0763	0.2450

Table 6. Multiple regression equation for fill - slope erosion($\times 10^{-2} m^3/m^2$).

Variables	Reg. coef.	Partial R^2	Model R^2	Significance
Constant	-5.7593			0.0001
Max. precipitation per storm (MXFPRE)	0.0037	0.3450	0.3450	0.0001
Fill - slope length (FLLENGTH)	0.1687	0.1783	0.5233	0.0001
Fill - slope degree (FLDEGREE)	0.1447	0.0571	0.6004	0.0001
		Multi - R =	0.7749	

으며, 偏相關係數는 最大1回降雨量 0.5874, 盛土斜面길이 0.5229, 盛土斜面傾斜度 0.4222의 순이었다. 切土斜面 浸蝕量 變動의 설명에 기여하는 各 因子의 相對的 寄與度에 있어서도 最大1回降雨量이 0.3450으로 가장 높았으며, 盛土斜面길이와 盛土斜面傾斜度는 각각 0.1783과 0.0571인 것으로 나타났는데 이는 降雨 因子가 切土斜面 浸蝕에서와 같이 盛土斜面 浸蝕量 變動의 설명에 있어서도 매우 중요한 因子임을 의미하는 것이다.

多重回歸式으로 조합된 3개의 盛土斜面 因子를 검토하여 볼 때, 設計因子인 盛土斜面의 길이와 傾斜度에 의한 盛土斜面 浸蝕量 變動의 說明域은 약 23%정도로 나타났다. 그러나 林道의 施工에 있어서 盛土斜面傾斜度는 자연적으로 安息角을 유지하려 하기에 盛土斜面의 길이 및 傾斜度의 변경이 쉽지 않다는 문제점을 안고 있다. 따라서 盛土斜面길이와 傾斜度의 조절을 통하여 盛土斜面 浸蝕量을 減少시키는 것은 곤란하므로 斜面安定·綠化 工法의 施工에 의한 安定 및 綠化를 통하여 盛土斜面 浸蝕量의 減少 效果를 기대하는 方案의 마련이 적합할 것으로 판단된다.

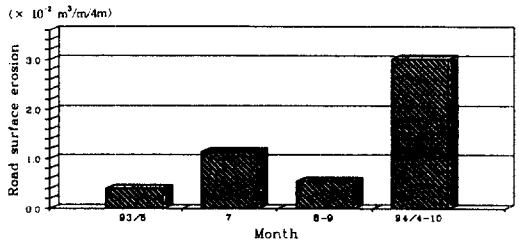


Fig. 4. Road surface erosion by each period

斜面上 位置도 盛土斜面 浸蝕量과 유의한 相關關係를 보였으나 多重回歸分析 결과, 이들 2개 인자는 盛土斜面 浸蝕量을 설명에 유의하지 않은 것으로 나타났다.

經過期間, 盛土斜面 方位, 모래 및 粘土含有率, 土壤濕度와 切土斜面 浸蝕量과의 相關關係는 비교적 크지 않은 것으로 나타났다.

다. 路面 浸蝕 因子

(1) 路面 浸蝕量

그림 4는 各 期間別 單位距離當 路面 平均浸蝕量(路幅 4m基準)을 나타낸 것이다.

單位距離當 路面 浸蝕量은 林道開設 當該年度

Table 7. Correlation coefficient between road surface erosion and road surface variables.

		Road surface erosion (ROERO)	Significance
Road surface gradient	(ROGRADE)	0.7215	0.0001
Distance from the beginning point of road	(RODISTN)	0.2338	0.0001
Road Width	(ROWIDTH)	0.2019	0.0001
Road alignment — Straight	(ROSTRT)	-0.1369	0.0608
Road alignment — Curved	(ROCURVE)	0.1369	0.0608
Surface cross-sectional shape — Flat	(ROFLAT)	-0.1973	0.0001
Surface cross-sectional shape — Inslope	(ROINSLOP)	0.1973	0.0001
Total precipitation	(TTPRE)	0.3541	0.0001
Road surface soil hardness	(ROHARD)	0.0420	0.5895
Road surface sand proportion	(ROSAND)	-0.0152	0.8772
Road surface clay proportion	(ROCLAY)	-0.0104	0.9293

Table 8. Multiple regression equation for road surface erosion($\times 10^{-2}$m³/m).

Variables		Reg. coef.	Partial R^2	Model R^2	Significance
Constant		-26.3106			0.0001
Road surface gradient	(ROGRADE)	1.5049	0.5206	0.5206	0.0001
Total precipitation	(TTPRE)	0.0187	0.1254	0.6460	0.0001
Road width	(ROWIDTH)	2.5202	0.0883	0.7343	0.0001
			Multi-R=0.8569		

에는 2.11×10^{-2}m³/m/4m(노폭 4m 기준)였으며, 그 다음 해에는 3.02×10^{-2}m³/m/4m로 나타나 林道開設後 2年間 總 5.13×10^{-2}m³/m/4m의 路面 浸蝕이 발생한 것으로 나타났는데 이는 林道開設後 2年間 總 1.28cm 두께의 路面이 浸蝕되었음을 의미하는 것이다.

(2) 路面 浸蝕에 미치는 路面 因子의 影響

單位距離當 路面 浸蝕量과 路面 因子와의 相關關係 및 多重回歸分析 결과는 각각 表 7과 8에 나타낸 바와 같다.

縱斷勾配, 總降雨量, 起點으로부터의 距離 등 3개 인자는 路面 浸蝕量과 유의한 相關關係를 보였는데, 이는 伏見知道(1980), 市原恒一(1981), 酒井徹郎과 佐佐木功 등(1982a, b), 權台鎬(1986) 등의 硏究結果와 일치한다.

또한 多重回歸分析 결과, 이들 3개 인자는 路面 浸蝕量 變動을 설명하는데 유의한 因子로 나타났고, 多重回歸式의 重相關係數는 0.8569로 나타났으며, 偏相關係數는 縱斷勾配가 0.7215로 가장 높았고, 總降雨量 0.3541, 路幅 0.2019의 순으로 나타났다. 路面 浸蝕量의 설명에 기여하는 各 因子의 相對的 寄與度에 있어서도 縱斷勾配가 0.5206으로 가장 높았으며, 總降雨量 0.1254, 路幅 0.0883의 순으로 나타나 縱斷勾配가 路面 浸蝕量의 설명에 있어서 매우 중요한 因子임을 알 수 있다.

多重回歸式으로 조합된 3개의 路面 因子중 變更可能因子인 縱斷勾配와 路幅의 相對的 寄與度의 합은 0.6089이므로 路面 浸蝕量 變動의 說明域 74%중 약 61% 이내는 金鍾閏 등(1987)이 제시한 적정 縱斷勾配 5~7%를 유지하고, 2급임도의 노폭 4m를 초과하지 않음으로써 감소시킬 수 있으리라 생각된다.

起點으로부터의 距離, 橫斷面型 등 2개 인자는 路面 浸蝕量과 유의한 相關關係를 보였으나 多重回歸分析 결과, 이들 2개 인자는 切土斜面 浸蝕量을 설명에 유의하지 않은 것으로 나타났다.

그러나 平面線形, 土壤硬度, 모래 및 粘土含有率과 路面 浸蝕과의 相關關係는 비교적 크지 않은 것으로 나타났다.

라. 側溝 浸蝕 因子

(1) 側溝 浸蝕量

그림 5는 各 期間別 單位距離當 側溝 平均浸蝕

量을 나타낸 것이다.

單位距離當 側溝 浸蝕量은 林道開設 當該年度에는 11.33×10^{-2}m/m였으며, 그 나음 해에는 24.34×10^{-2}m/m로서 林道開設後 2年間 總 35.67×10^{-2}m/m의 側溝 浸蝕이 발생한 것으로 나타났는데 이는 路面 浸蝕量의 약 7배에 해당되는 량이다.

(2) 側溝 浸蝕에 미치는 側溝 浸蝕 因子의 影響

表 9는 單位距離當 側溝 浸蝕量과 側溝 因子와의 相關分析, 表 10은 多重回歸分析 결과이다.

표 9와 10에서 보면 側溝始點으로부터의 距離(側溝길이), 縱斷물매, 最大1回降雨量의 3개 인자는 으로 나타났는데, 이는 鄭道鉉(1989), 金鍾閏 등(1993), 木村剛一(1980, 1981)의 보고와 일치하는 것이다.

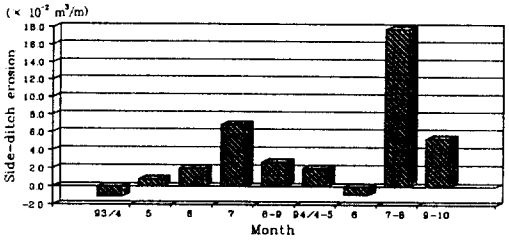


Fig. 5. Side-ditch erosion by each period

또한 多重回歸分析을 실시한 결과, 이들 3개 因子는 側溝 浸蝕量의 설명에 유의한 것으로 나타났고, 多重回歸式의 重相關係數 0.7843으로 고도의 相關關係를 나타났으며, 偏相關係數는 總降雨量이 0.6359로 가장 높았고, 側溝始點으로부터의 距離 0.4500, 縱斷물매 0.3815의 순으로 나타났다.

側溝 浸蝕量 變動의 설명에 기여하는 各 因子의 相對的 寄與度에 있어서도 總降雨量이 0.4044로 가장 높았고, 側溝始點으로부터의 距離가 0.1415, 縱斷물매가 0.0692로 나타났다. 따라서 이들 因子로서 側溝 浸蝕量 變動을 약 71% 정도 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

多重回歸式으로 조합된 3개의 側溝 因子 가운데 側溝始點으로부터의 거리, 즉 側溝길이와 縱斷물매는 變更可能因子이므로 林道의 計劃·設計·施工시에 暗渠施設의 配置間隔을 적절히 調節하여 側溝의 區間길이가 길어지지 않도록 하며, 또한 路面과 함께 側溝에 있어서도 적정 縱斷물매를 適用함으로써 側溝 浸蝕을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Table 9. Correlation coefficient between side-ditch erosion and side-ditch variables.

		Side-ditch erosion (ROERO)	Significance
Elapsed time since road was constructed	(CONYEAR)	0.1734	0.0714
Distance from the beginning point of ditch	(DIDISTN)	0.4500	0.0001
Side-ditch gradient	(DIGRADE)	0.3815	0.0001
Side-ditch width	(DIWIDTH)	0.0619	0.5223
Cut-slope length	(DICTLENG)	0.1739	0.0705
Side-ditch alignment — Straight	(DISTRT)	-0.0278	0.7741
Side-ditch alignment — Curved	(DICURVE)	0.0278	0.7741
MAx. precipitation per storm	(MAXPRE)	0.6359	0.0001
Side-ditch soil hardness	(DIHARD)	0.0846	0.3819
Side-ditch sand proportion	(DISAND)	0.1394	0.1482
Side-ditch clay proportion	(DICLAY)	-0.0676	0.4848

Table 10. Multiple regression equation for side-ditch erosion($\times10^{-2}$m²/m).

Variables	Reg. coef.	Partial R^2	Model R^2	Significance
Constant	-57.5934			0.0001
Max. precipitation per storm (MAXPRE)	0.0375	0.4044	0.4044	0.0001
Distance of beginning point (DIDISTN)	1.6872	0.1415	0.5459	0.0001
Side-ditch gradient (DIGRADE)	1.4471	0.0692	0.6151	0.0012
		Multi-R = 0.7843		

그러나 經過期間, 側溝幅, 隣接切土斜面길이, 平面線形, 土壤硬度, 모래 및 粘土含有率 등은 側溝 浸蝕量과 유의한 相關關係를 나타내지 않았다.

3. 林道開設區域에서의 浸蝕量의 算定

林道 總浸蝕量을 算定하기 위하여 林道 全區間을 20m간격으로 測量을 실시하여 各 構造部別 浸蝕 說明因子들에 대하여 조사하였다. 林道의 構造部別 浸蝕 說明因子에 대한 測量 結果는 表 11에 나타내었다.

單位面積當 切土斜面 浸蝕量을 算定하기 위한 說明因子인 切土斜面길이, 切土斜面傾斜度는 각각 3.45m(0.0~6.7m), 38.3°(30.0~47.0°)였으며, 切土斜面의 總斜面積은 약 5,755㎡였다.

또한 單位面積當 盛土斜面 浸蝕量을 算定하기 위한 說明因子인 盛土斜面길이, 盛土斜面傾斜度는 각각 5.35m(2.0~16.0m), 37.9°(32.0~45.0°)로서 切土斜面에 비해 상대적으로 斜面길이는 길고, 斜面傾斜度는 완만한 것으로 나타났으며, 總斜面積은 약 8,960㎡였다.

單位距離當 路面 浸蝕量과 側溝 浸蝕量을 算定하기 위한 說明因子로 路面의 縱斷물매와 路幅, 側溝의 區間길이를 조사하였는데, 縱斷물매는 平均 11.0%(0.0~25%)였으며, 路幅은 平均 4.45m(3.1~11.0m)로 임도의 縱斷물매와 路幅의 변화가 심하였으며, 側溝의 區間길이는 128.8m(40.0~200.0m)로 나타났다. 또한 全區間에서의 路面 浸蝕量 및 側溝 浸蝕量을 算定하기 위하여 측정한 林道 總延長은 1,675m였다.

또한 林道의 構造部別 單位面積當(單位距離當) 浸蝕量 算定式은 多重回歸分析을 통하여 얻어진 多重回歸式(表 4, 6, 8, 10 참조)을 이용하였다.

各 構造部別 面積(또는 길이) 및 浸蝕量 算定結果를 이용하여 林道開設區域에서의 總浸蝕量을 算定하였다. 表 12는 林道開設後 2年間 林道開設

Table 11. Surveying data of main factors influencing on the erosion of each structures.

Variables		Unit	Average	Maximum	Minimun
Main factors influencing on the cut - slope					
Cut - slope length	(CTLENGTH)	m	3.45	6.7	0.0
Cut - slope degree	(CTDEGREE)	°	38.30	47.0	30.0
Cut - slope area		㎡	5,755.00	-	-
Main factors influencing on the fill-slope erosion					
Fill - slope length	(FLLENGTH)	m	5.35	16.0	2.0
Fill - slope degree	(FLDEGREE)	°	37.90	45.0	32.0
Fill - slope area		㎡	8,960.00	-	-
Main factors influencing on the road surface erosion					
Road surface gradient	(ROGRADE)	%	11.00	25.0	0.0
Road width	(ROWIDTH)	m	4.45	11.0	3.1
Total road length		m	1,675.00	-	-
Main factors influencing on the side - ditch erosion					
Sectional length of side - ditch	(DILENGTH)	m	128.80	40.0	200.0
Total side - ditch length		m	1,675.00	-	-

Table 12. Estimation of erosion in forest road construction site for 2 years after construction.

	Total	1st year	2nd year	per 1km	Remarks
Total	1,103.03㎡ (100.0%)	473.17㎡ (42.9%)	629.86㎡ (57.1%)	658.51㎡/km	100.0%
Cut - slope erosion	241.66	87.42	154.24	144.27	21.9
Fill - slope erosion	438.66	218.26	220.42	261.89	39.8
Road surface erosion	89.33	33.21	56.12	53.33	8.1
Side - ditch erosion	333.36	134.28	199.08	199.02	30.2

區域에서의 浸蝕量을 算定한 結果이다.

林道 各 構造部別 浸蝕量 算定 資料를 종합한 결과, 이 林道開設區域에서 2年間 總 1,103.03m (林道 km당 658.51m/km)의 浸蝕이 발생된 것으로 산정되었다.

各 構造部別로는 盛土斜面 浸蝕量이 總浸蝕量의 약 39.8%인 438.66m(261.89m/km)로 가장 많았고, 側溝 浸蝕量은 약 30.2%인 333.36m (199.02m/km), 切土斜面 浸蝕量은 약 21.9%인 241.66m(144.27m/km), 路面 浸蝕量은 약 8.1%인 89.33m(53.33m/km)의 순으로 나타났으며, 期間別로는 林道開設 當該年度에 總浸蝕量의 약 42.9%인 473.17m(282.49m/km), 그 다음 해에는 약 57.1%인 636.51m(376.02m/km)가 浸蝕된 것으로 算定되었다.

謝 辭

이 연구를 수행함에 있어서 현장조사시 모든 편의를 제공해 준 서울大學校 南部演習林 관계자 여러분께 감사드린다.

結 論

林道開設區域에서 林道 各 構造部別 浸蝕量을 測定하여 林道開設區域에서의 浸蝕에 관련하는 主要 因子와 그 影響을 究明한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 切土斜面 浸蝕量 變動의 說明에 유의한 因子는 最大1回降雨量, 切土斜面길이, 切土斜面傾斜度도 등 3개 因子였으며, 이들 因子의 조합으로 이루어진 多重回歸式의 說明域은 약 58%으로 나타났고, 이중 약 19%는 切土斜面길이와 切土斜面傾斜度 등의 林道設計因子에 의해 說明할 수 있는 것으로 解析되었다.
2. 盛土斜面 浸蝕量 變動의 설명에 유의한 因子는 最大1回降雨量, 盛土斜面길이, 盛土斜面傾斜度 등 3개 因子였으며, 이들 因子의 조합으로 이루어진 多重回歸式의 說明域은 약 60%으로 나타났고, 이들 因子중 盛土斜面길이와 盛土斜面傾斜度 등 林道設計因子들의 說明域의 合은 약 23%인 것으로 解析되었다.
3. 路面 浸蝕量 變動의 설명에 유의한 因子는 縱斷물매, 總降雨量, 路幅 등 3개 因子로 나타났으며, 이들 因子의 조합으로 이루어진 多重回歸式의 說明域은 약 74%으로 나타났고, 이들 因子중 縱斷물매, 路幅 등 林道設計因子들의 說明域의 합은 약 61%으로 높게 나타났다.
4. 側溝 浸蝕量 變動의 설명에 유의한 因子는 역시 總降雨量, 側溝始點으로부터의 距離, 縱斷물매 등 3개 因子였으며, 이들 因子의 조합으로 이루어진 多重回歸式의 說明域은 약 62%으로 나타났고, 이중 약 20%는 林道設計因子에 의해 설명될 수 있는 것으로 解析되었다.
5. 이 林道開設區域에서 2年間의 林道 總浸蝕量은 1,103.03m(林道 km당 658.51m/km)였으며, 構造部別로는 切土斜面에서 241.66m(144.27m/km), 盛土斜面에서 438.66m(261.89m/km), 路面에서 89.33m(53.33m/km), 側溝에서 333.36m(199.02m/km), 期間別로는 林道開設 當該年度에 473.17m(282.49m/km), 그 다음 해에 636.51m(376.02m/km)가 浸蝕된 것으로 算定되었다.
6. 이 林道開設區域에서 浸蝕의 약 39.8%는 盛土斜面에서, 약 30.2%는 側溝에서, 약 21.9%는 切土斜面에서, 약 8.1%는 路面에서 발생되었다.

引 用 文 獻

1. 權台鎬. 1986. 道路構造 및 立地要因이 林道의 路面浸蝕에 미치는 影響에 關한 硏究. 서울大學校 博士學位論文. 39pp.
2. 金鍾聞. 1987. 林道路面被害에 미치는 構造因子의 限界規格 推定에 관한 硏究. 江原大學校 碩士學位論文. 44pp
3. 金鍾聞·盧載厚. 1989. 임도피해 사례분석에 의한 한계구배 추정에 관한 연구. 임연연보 41 : 36~62
4. 金鍾聞·李海周·李鳳洙·吳世元. 1990. 數量化에 의한 林道 被害原因 分析. 林硏硏報 39 : 126~134
5. 金鍾聞·鄭榮敎·李峻雨. 1993. 路面施工構造改善. 1993年度 林業硏究報告書(4-II). 205~224.
6. 馬相圭. 1987. 山岳地林道의 路肩 斜面崩壞와 側溝浸蝕에 關한 硏究. 韓國林學會誌 76(2)

: 161 - 168.
7. 吳在萬. 1990. 林道斜面의 崩壞에 關한 硏究. 江原大學校 碩士學位論文. 24pp.
8. 李峻雨. 1987. 林道에 있어서 切取斜面의 安定性 分析에 關한 硏究. 서울大學校 碩士學位論文. 43pp.
9. 鄭道鉉. 1989. 林道構造 및 立地要因이 側溝浸蝕에 미치는 影響에 關한 硏究. 서울大學校 碩士學位論文. 37pp.
10. 江崎次夫. 1984. 林道のり面の保全に關する硏究. 愛媛大演習林報告 21 : 1~116.
11. 菊地政泰・横井正美. 1973. 林道の法面崩壞に關する硏究(1) - 調査方法及びその實態. 林業試驗場硏究報告 313 : 175~208.
12. 吉田博宣. 1982. 道路切取りのり面の含水量の推定. 日本林學會誌 64(9) : 352~355.
13. 木村剛一. 1980. 素堀側溝の計劃限界. 第15回林道硏究發表會論文集 : 26~29.
14. 木村剛一. 1981. 素堀側溝の計劃限界. 第16回林道硏究發表會論文集 : 18~22.
15. 伏見知道. 1980. 林道路面の保全と横斷排水構の配置間隔について. 瀨戸內マサ土地域の例. 愛媛大演習林報告 17 : 9~14.
16. 山本仁志. 1982. 赤外線寫眞による林道切取のり面の含水量の推定. 日本林學會誌 64(9) : 352~355.
17. 三原義秋. 1951. 雨滴と土壤侵蝕. 農業技術硏究所報告 A1 : 1~59.
18. 市原恒一. 1981. 林道路面の耐侵蝕性について(豫報). 第92回日本林學會大會發表論文集 : 197~199.
19. 新谷融・矢島崇・內藤滿. 1980. 林道法面における植生變化に關する硏究. 北海道大演習林報告 37 (1) : 165~208.
20. 岩垣雄一・土屋義人. 1956. 水滴による地面侵食に關する二, 三の實驗. 土木學會論文集 35 : 55~63.
21. 田中茂. 1952. 急傾斜土壤侵蝕量に關する一實驗公式. 土木學會誌 37(2) : 1~5
22. 井內祥人. 1980. 奄美大島における林道の法面崩壞. 第15回林道硏究發表會論文集 : 31~39.
23. 井上源基・福原光正・福田章史・市原恒一. 1982a. マサ土切取法面の崩落パターンとその要因. 第34回日本林學會關東支部大會論文集 : 261~262.
24. 井上源基・福原光正・福田章史・市原恒一. 1982b. 林道法面工法の評價檢討. 昭和56年度國有林野事業特別會計技術開發試驗成績報告書 : 137~171.
25. 佐佐木功(硏究代表者). 1982. 林道建設が自然植生, 景觀, 土砂生産量に及ぼす影響とその對策に關する硏究. 文部省 科學硏究(總合硏究A)報告書. 167pp.
26. 酒井徹郎・佐佐木功・藤井憘雄・古谷士郎. 1982a. 林道の路面侵蝕について(I) 横斷排水構の間隔について. 第93回日本林學大會發表論文集 : 539~540.
27. 酒井徹郎・佐佐木功・藤井憘雄・古谷士郎. 1982b. 林道の路面侵蝕について - 侵蝕構の實態調査. 林道建設が自然植生, 景觀, 土砂生産量に及ぼす影響とその對策に關する硏究報告書 : 35~45.
28. 中野雅光. 1975. 林道開發と山林の公益性 - 林道開設における切取の問題. 第10回林道硏究發表會論文集 : 7~10.
29. Burroughs, E.R.Jr. and J.G. King. 1989. Reduction of soil erosion on forest roads. USDA For. Ser. General Technical Report INT - 264 : 1~21.
30. Haupt, H.F. 1959. Road and slope characteristics affecting sediment movement from logging roads. J. For. 57 : 329~332.
31. Kochenderfer, J.N. 1970. Erosion control on logging roads in the Appalachians. USDA For. Ser. Research Paper NE - 158. 28.
32. O'Loughlin, C. 1985. The influence of forest roads on erosion and stream sedimentation comparisons between temperate and tropical forests. Environment and Policy institute, East West Center, Hawaii. 28.
33. Packer, P.E. 1963. Soil stability requirements for the gallatin elk winter range. J. Wildlife Management 27(3) : 401~410.
34. Rice, R.M. and D.J. Furbish. 1984. Erosion and soil displacement related to timber harvesting in northwestern California. 99~109. In Contributions to research on torrent

erosion and avalanches, Vol. 5. Wien, Austria : Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuch Sanstalt.
35. Tavenas, F., B. Trak and S. Leroueil. 1980. Remarks on the validity of stability analysis. Can. Geotech. J. 17(1) : 61~73.
36. Trimble, G.R. and S. Weitzman. 1953. Soil erosion on logging roads. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17 : 152~154.