

## 林道開設이 溪流水質에 미치는 影響( I )<sup>1\*</sup>

- 林道開設에 따른 浮遊土砂量의 變化 -  
全權雨<sup>2</sup> · 金玟植<sup>2</sup> · 江崎次夫<sup>3</sup>

## Effects of Forest Road Construction on Stream Water Qualities( I )<sup>1\*</sup>

- The Variation of Suspended Sediment by Forest Road Construction -  
Kun-Woo Chun<sup>2</sup>, Min-Sik Kim<sup>2</sup> and Tsugio Ezaki<sup>3</sup>

### 要 約

江原大學校 林科大學 附屬演習林내의 임도밀도가 상이한 3유역(流域 A : 6.67m/ha, B : 5.52m/ha 및 C : 未開設)의 산지급류하천을 대상으로 임도개설 전·후인 1994년 및 1995년의 강우량 변화에 따른 부유토사의 유출량 변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 日降雨量이 적은 5~6월 사이에는 1994년과 1995년 모두 日流出量이  $0.25 \times 10^4 \text{m}^3/\text{day}$  이하였으나, 豪雨期인 7~8월에는 일강우량에 비례하여 강우기간 중에는  $5.0 \times 10^4 \text{m}^3/\text{day}$  이상을 나타내는 등 일유출수량은 일강우량의 증감에 민감하게 반응하였다. 그러나 일유출량이  $25 \times 10^4 \text{m}^3/\text{day}$  이상은 1994년에는 2회였으나, 1995년에는 7회로 강우량이 풍부하였다.
2. 부유토사량은 임도개설전의 日降雨量 74mm, 92mm 및 120mm와 임도개설후의 일강우량 21mm 및 47mm에는 3유역 모두 河川水 규제기준인 25mg/l 이하였다. 그러나 192mm의 강우에는 C유역은 변화가 없었으나, A와 B유역의 평균 부유토사량은 1,525mg/l 및 775mg/l으로 하천수 규제기준의 61배 및 31배였으며, 강우종료후 35시간동안 지속적으로 유출되었다.
3. 最大浮遊土砂量 역시 임도개설전의 강우와 임도개설후의 적은 강우에서는 하천수 규제기준 이하였다. 그러나 일강우량 192mm인 경우에 A, B유역의 최대부유토사량은 하천수 규제기준의 526배와 108배인 13,150mg/l 및 2,690mg/l을 기록하여 토사유출에 따른 수질오염을 시각적으로 파악할 수 있었다.

이상과 같이 임도개설이 부유토사 유출에 크게 영향을 미치며, 특히 임도밀도가 높은 유역일수록 강우량이 증가함에 따라 다량의 토사가 유출되고 있음이 확인되었으므로 부유토사의 生産源인 임도비탈면 보호를 위한 植生工 및 土工은 물론 沈砂池와 같은 防災施設에 대한 대책을 강구해야 할 것이다.

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the export rate of suspended sediment by different precipi-

<sup>1</sup> 接受 1996年 1月 11日 Received on January 11, 1996.

<sup>2</sup> 江原大學校 林科大學 林學科 Department of Forestry, College of Forestry, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

<sup>3</sup> 日本 愛媛大學 農學部 附屬演習林 University Forest, College of Agriculture, Ehime University, Matsuyama, Ehime 790, Japan

\* 이 論文은 1994年度 韓國科學財團 研究費 支援에 의한 研究結果의 一部임(과제번호 941-0600-045-2)

tation intensity after forest road construction for torrential streams on three different watersheds with various forest road density(Watershed A : 6.67m/ha, Watershed B : 5.52m/ha, and Watershed C : control) in the Experimental Forest of Kangwon National University. The results were as follows.

1. Closely related to the the amount of rainfall in both 1994 and 1995, the average streamflow rate was less than  $0.25 \times 10^4 \text{m}^3/\text{day}$  during May and June and  $5.0 \times 10^4 \text{m}^3/\text{day}$  during July and August. More than  $25 \times 10^4 \text{m}^3/\text{day}$  of streamflow rate was occurred twice in 1994 and seven times in 1995.
2. The amount of suspended sediment in three watersheds was less than standard of drinking water(25mg/l) before road construction with daily rainfall of 74mm, 92mm, and 120mm in 1994, also after road construction with daily rainfall of 21mm and 47mm in 1995. But, under the 192mm of daily rainfall, Watershed C did not show the difference in the amount of suspended sediment, however, Watershed A and B produced 1,525mg/l and 775mg/l, respectively, which is 61 and 31 fold of standard of drinking water, and construction to export for 35 hours after rainfall.
3. The maximum amount of suspended sediment was less than the standard of drinking water with light rainfall before and after road construction. Under the 192mm of daily rainfall, the maximum amounts of suspended sediment in Watershed A and B were 13,150mg/l and 2,690mg/l, of 526 and 108 fold of standard of drinking water, respectively, showing obvious water pollution by sedimentation.

Results of the study indicated that the forest road construction had great influence on the sedimentation, and getting increased by higher road density and heavier rainfall. Therefore such practices as vegetation covering and soil erosion control facility should be established accompanying with forest road construction to prevent from sedimentation.

*Key words* : suspended sediment, torrential stream, forest road construction, precipitation, discharge, drinking water standard

## 1. 緒 論

삼림의 효율적 관리 및 산촌지역의 균형발전을 위해 전국적으로 임도사업이 추진되고 있으며, 특히 農漁村 特別稅 投資計劃에 의하면 임업분야에는 林業技能人訓練院과 林道建設費가 책정되어 임도사업의 경우 1994년 현재의 林道密度 1.1m/ha를 2004년까지 3.150억원의 예산으로 1.9m/ha로 확대할 계획이다. 그러나 임도개설지는 시공 대상지가 급경사이므로 일반도로에 비해 대규모의 切·盛土 비탈면이 조성되며, 특히 현재의 낮은 시공비로는 비탈면의 불안정 토사를 방지할 수밖에 없는 실정이다. 따라서 임도 비탈면은 여름철의 집중호우에 노출되어 각종 土砂災害가 발생하고 있으며, 또한 임도 비탈면 침식은 비탈면을 물리적으로 불안정하게 하여 植生の 자연침입에 의한 비탈면 안정에도 나쁜 영향을 미치고 있다(全權雨·吳在萬, 1992, 1993).

한편 임도개설유역에서 생산된 불안정 토사는 下流域에 유출되어 산지급류하천의 河床을 상승

시켜 각종 재해를 일으킬 뿐만 아니라, 河川水의 부유토사량을 증대시켜 하천수의 탁도증가에 의한 각종 민원을 발생시키기도 한다. 따라서 환경부에서는 현재 각종 토목 공사장에서 무방비 상태로 유출되고 있는 부유토사를 억제시키기 위해 부유물질이 하천수의 규제수준인 25mg/l를 2배 이상 초과하는 공사장에는 부과금을 부과하는 등 토사유출의 규제 근거를 水質環境保全法 改正案에 새롭게 도입하며, 동시에 비탈면 보호공, 배수로 및 대형 침사지 건설 등을 의무화할 방침을 계획하고 있다.

지금까지 우리 나라에서 진행된 임도 개설에 따른 각종 토사재해에 대한 연구는 주로 土砂流出의 原因과 特性究明(全權雨, 1990; 金鍾閔 등, 1990) 및 浸蝕量 調査(馬相圭, 1987; 鄭道鉉, 1995)가 중심이 되어 진행되어 오고 있을 뿐, 山地急流河川水의 부유토사에 대한 연구는 거의 진행되고 있지 않은 실정이다. 그러나 외국의 경우에는 이전부터 이 분야에 대한 연구가 시작되어 浮遊土砂의 生産과 流出機構 特性把握(Beschta, 1978; 羽田 守夫, 1979; 江頭 進治 등, 1981;

Collins, 1988 ; 朴鍾瑄, 1991 ; Kurashige, 1993) 과 流出 現況調查(大貫 靖浩 등, 1992 ; 坂本 知己 등, 1993 ; 川島 茂樹·清水 收, 1988), 森林의 浮遊土砂 抑制機能 把握(大倉 陽一 등, 1994 ; 柳井 清治·寺澤 和彦, 1995), 山地開發에 따른 浮遊土砂 移動(長澤 徹明, 1986) 및 保全對策(野島 虎治, 1969 ; 松浦 茂樹·谷本 光司, 1987 ; 谷口 直幸·古畑 義隆, 1995) 등에 대한 연구가 폭 넓게 進行되고 있다.

따라서 본 연구는 山地에서 進行되는 각종 개발행위중 임도사업이 토사유출 및 계류수질에 미치는 영향과 비탈면 안정이 주변환경에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구의 일환으로, 여름철의 집중호우에 의해 증가하는 부유토사의 양적 변화과정을 조사, 분석하여 현재의 임도사업의 문

문제점을 파악하고, 이를 해결하기 위한 임도시공법의 기초자료를 제공하기 위하여 進行하였다.

II. 調査地 및 研究方法

1. 調査地 概要

연구대상지는 江原大學校 林科大學 附屬演習林 내 5林班의 임도개설유역의 산지급류하천으로 행정구역상으로는 江原道 洪川郡 北方面 北方1里 山61-1에 위치하며, 水源發生源으로부터 약 2.1km 를 남동진한 후 北方川에 유입된다. 본 구간에는 1994년 11월부터 1995년 10월까지 약 12개월에 걸쳐 약 3억 8천여만원의 예산으로 개설된 7.333 km의 임도중 0.9km가 통과하고 있으며, 채수장소는 본 산지급류하천과 북방천이 합류하는 지점으로부터 약 0.7km의 상류지점으로 본류와 2개의 支流가 합류하고 있다(그림 1).

본 유역의 삼림은 대부분이 굴참나무를 주체로 하는 천연림이나, 상·하류의 일부 지역에는 잣나무, 낙엽송 인공림이 조성되어 있다. 또한 삼림지대의 물 순환에 관계하는 인자중 유출과정에 직·간접적으로 관여하는 지형요인을 해당지역의 1/25,000지도를 참조하여 파악한 결과, 조사대상 유역의 유역특성은 표 1과 같다.

2. 研究方法

임도개설에 따른 降雨量別 浮遊土砂量의 時間的 變化를 파악할 목적으로 임도개설 전·후의 일강우량이 상이한 경우에 3회씩 총 6회(1994년의 7월 16일 21시 17분~17일 17시 10분, 8월 1일 10시 15분~2일 9시 45분 및 8월 10일 14시 55분~11일 19시 40분과 1995년의 5월 13일 18시 30분~14일 12시, 5월 19일 20시 30분~20일 18시 30분 및 7월 8일 11시~9일 17시 30분)에 걸쳐 측정하였으며, 또한 임도밀도에 따른 변화과

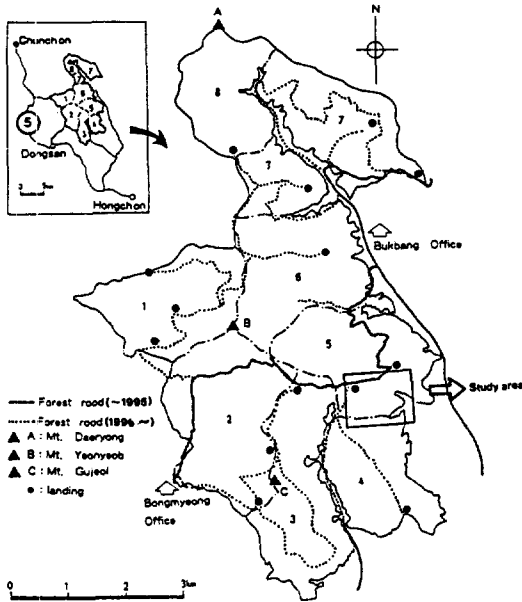


Fig. 1. Location of experimental watershed.

Table 1. Topographic conditions of three watersheds.

Topographic factor	A Watershed	B Watershed	C Watershed
· Basin area(ha)	120.0	18.1	8.1
· Altitude(m)	260~680	260~510	260~530
· Main stream length(km)	1.5	0.75	0.7
· Circumference length(km)	4.25	2.0	1.6
· Mean gradient of relief(%)	5.36	3.47	3.03
· Shape factor	2.83	2.67	2.29
· Compactness factor	0.91	0.75	0.63

정을 파악하기 위해 임도밀도가 상이한 3개소(유역 A : 6.67m/ha, B : 5.52m/ha 및 C : 미개설)를 채택하여 부유토사량을 측정, 대조하여 보았다.

降雨解析은 江原大學校 林科大學 附屬演習林內 鳳鳴書院의 空開地에 설치된 직경 20cm×높이 60cm의 圓筒型 自記雨量計의 연중 측정결과를 시간단위별로 계산한 후, 해석방법에 따라 日降雨量과 時雨量으로 구분하여 사용하였다. 流出水는 自記水位計를 설치하여 연중 水位變化를 측정하여 통수단면적을 산정함과 동시에 Manning식을 이용하여 평균유속을 산정한 후, 이를 기초로 유출수량을 계산하였다.

採水時期는 平水에는 격주로 토요일마다 채수하였으며, 강우기간 중의 채수간격은 강우개시부터 종료까지는 2~3시간을, 강우종료후는 3~4시간을 각각 기본간격으로 육안으로 관찰하여 하천수의 탁도가 강우 이전의 상태로 회복되는 시각까지 채수하였다. 채수량은 200ml를 채수하였으며, 채수후 즉시 아이스박스에 보관한 후 실험실로 운반하여 측정할 때까지 일정 온도가 유지되도록 하였다.

부유토사의 농도측정은 우선 玻璃纖維濾紙(GF/C)를 증류수로 세척한 다음 105~110℃의 건조기 안에서 2시간 건조시킨 후 무게를 정밀하게 달고 여과기에 부착시켰다. 부착후 즉시 일정량의 시료를 여과시킨 다음 유리섬유여지를 다시 105~110℃의 건조기 안에서 2시간 건조하여 다음의 식 (1)과 같이 여과전·후의 유리섬유여지의 무게 차로 부유토사량을 산출하였다.

$$S.S. = (b - a) \cdot \frac{1,000}{V} \quad \text{식 (1)}$$

여기서, S.S.는 부유토사량(mg/l)이며, a와 b는 각각 여과 전·후의 유리섬유여지 무게이고, V는 시료의 양(ml)이다.

### III. 結果 및 考察

#### 1. 日降雨量과 日流出水量的 關係

채수가 실시되었던 1994년 및 1995년 5월 1일부터 9월 30일까지 각 5개월간의 일강우량과 일유출량의 관계는 그림 2와 같다.

그림 2의 (a) 및 (b)에서 알 수 있듯이 일강우량이 1994년에는 100mm를 넘는 강우가 4회 발

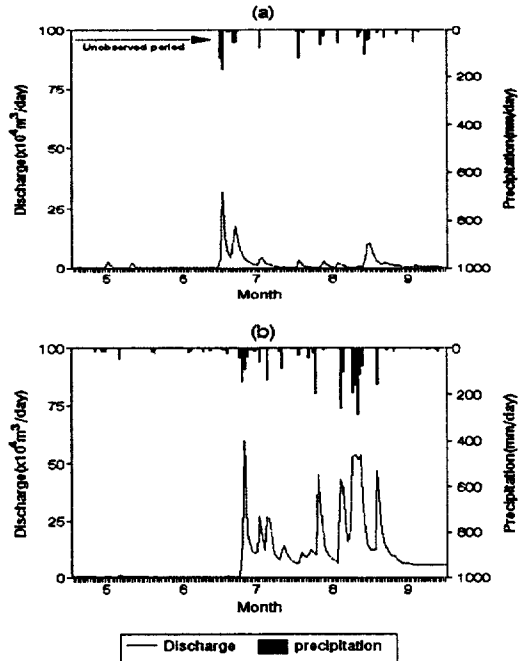


Fig. 2. The relationship of daily rainfall and discharge on the experimental watershed from July to September in 1994(a) and 1995(b).

생한데 비해 금년도에는 9회나 발생하였으며, 특히 200mm 이상의 집중호우는 작년도에는 한차례도 발생하지 않았으나 금년도에는 2회(8월 18일 : 262mm, 25일 : 286mm)나 발생하였다. 따라서 조사기간중의 총강우량은 1994년의 경우는 예년과 거의 비슷한 1,136mm였으나, 금년도의 강우량은 2,595mm로 예년의 년평균강우량 1,278mm (1968년~1991년의 년평균강우량의 평균치)의 2배 이상이었으며, 이로 인해 임도개설유역을 중심으로 각종 토사유출 흔적이 곳곳에서 발견되었다.

한편 일유출수량은 일강우량의 증감에 민감하게 반응하였다. 즉 일강우량이 적은 5~6월 사이에는 두해 모두 일유출량이  $0.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{day}$  이하였으나, 호우기인 7~8월에는 일강우량의 증감에 비례하여 강우기간 중에는 거의가  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{day}$  이상을 나타냈다. 특히 작년도의 경우 일유출량이  $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{day}$  이상을 나타낸 경우는 7월 1일(6월 30일 강우 ; 122mm, 7월 1일 강우 ; 169mm) 뿐이었으나, 금년도의 경우는 7월 9~10일, 16일, 19일과 8월 8~9일, 18~19일, 23~27일 및

9월 2일 등 7회의 피이크 유량을 기록하였다.

이상의 결과로부터 본 유역의 조사기간중의 最大日流出量과 最小日流出量은 각각 1995년 7월 10일의  $600,862\text{m}^3/\text{day}(6.95\text{m}^3/\text{s})$ 와 갈수기의  $2,508\text{m}^3/\text{day}(0.03\text{m}^3/\text{s})$ 로, 渇水期와 豊水期의 유량차가 상당히 크게 나타났다.

2. 降雨量과 浮遊土砂量

1) 採水日의 降雨特性

1994년 및 1995년의 여섯 차례의 채수일의 時雨量 變化는 그림 3과 같다. 일강우량은 그림 3에서 알 수 있듯이 21(1995. 5. 13), 47(1995. 5. 19), 74(1994. 7. 16), 92(1994. 8. 10), 120(1994. 8. 1) 및 192mm(1995. 7. 9)로 다양했으나, 강우강도는 일강우량에 비례하지는 않았다. 즉 1994년 7월 16일의 일강우량(74mm)은 전체가 시우량으로 강우강도가 높았으나, 이외의 시우량이 40mm 이하로 강우강도가 높지 않았다. 또한 지표유출에 의해 토사이동이 발생하기 용이한 강우강도인 最大時雨量 20mm를 초과하는 횟수는 1994년 8월 1일 강우와 1995년 7월 9일 강우가 각각 3회를 기록했을 뿐 그 외의 강우는 집중호

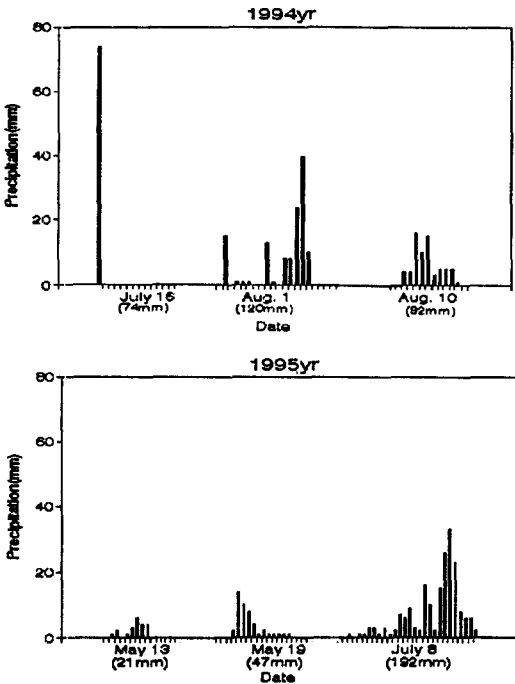


Fig. 3. The distribution of the rainfall per one hour during the study period.

우라고는 할 수 없는 강우였다.

2) 降雨強度別 浮遊土砂量의 時間的 變化

임도가 개설되기 전인 1994년도의 강우별 부유토사량의 시간적 변화에 대한 관측사례는 그림 4의 (a), (b), (c)와 같으며, 개설 후인 1995년의 관측사례는 그림 5의 (d), (e) 및 (f)와 같다. 여기서 강우량은 채수간격을 기준으로 하였으므로 2시간 동안의 강우량을 의미한다.

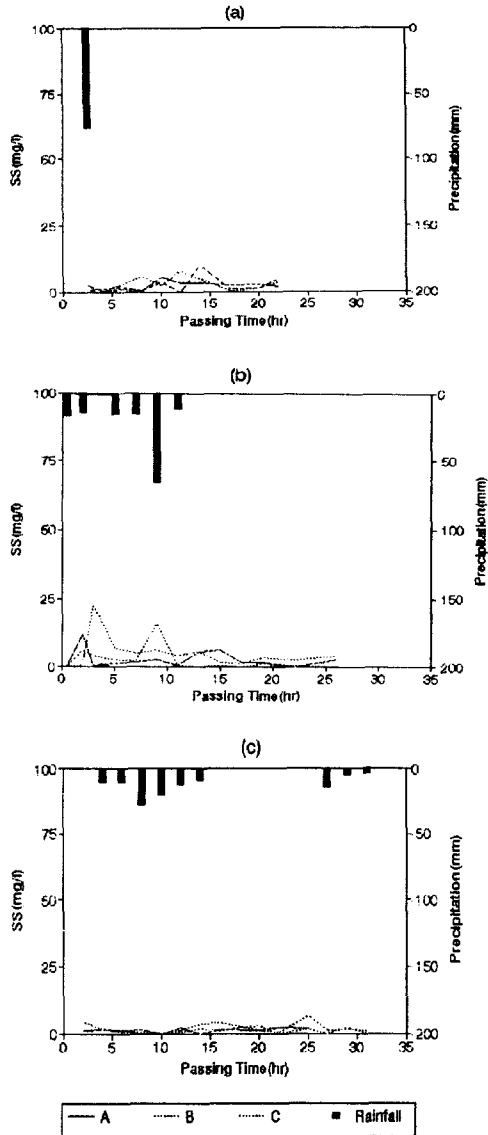


Fig. 4. The variation of suspended sediments between three watersheds according to rainfall in 1994.

임도개설전인 그림 4의 (a), (b) 및 (c)의 일강우량은 각각 74mm, 120mm 및 92mm이며, 특히 그림 4의 (a)는 최대시우량이 74mm로 높았으나, 전체적으로 보아 부유토사량은 하천수의 규제기준인 25mg/l 이하였다. 다만 一降雨量 74mm인 그림 4의 (a)와 92mm인 그림 4의 (c)에 비해 120mm인 그림 3의 (b)의 경우에는 다소 높은 수치를 나타내었을 뿐 강우강도에 따른 명확한 상관관계는 발견되지 않았다. 즉 임도개설 이전에는 100mm 이하의 강우에서는 강우강도에 상관없이 부유토사가 거의 유출되지 않아 안정되어 있었으며 [그림 4의 (a), (c)], 120mm의 경우에도 강우중에 피이크 점이 형성되었으나 그 양이 적을 뿐 아니라 강우 종료와 함께 즉시 원래의 상태로 안정화하고 있다[그림 4의 (b)].

한편 임도개설후인 그림 5의 (d)와 (e)와 같이 일강우량이 각각 21mm와 47mm로 적은 경우에는 1994년도의 경우와 유사하게 거의 부유토사가 유출되지 않았으나, 일강우량이 192mm인 그림 5의 (f)의 경우는 다량의 부유토사가 유출되었다.

즉 임도가 개설되지 않은 시기인 1994년의 경우와 강우량이 적은 금년도의 일부의 경우에는 유역 A, B 및 C 모두가 하천수 규제기준인 25mg/l 이하를 나타내고 있지만, 임도가 개설된 1995년의 높은 강우강도(최대시우량 33mm)를 나타낸 기간중에는 임도가 개설된 A와 B유역의 부유토사량이 1,525mg/l 및 775mg/l으로 하천수 규제기준의 61배 및 31배였으며, 강우종료후 35시간 동안 지속적으로 유출되어 원래의 상태로 회복하기 위해 상당한 시간이 소요되었다. 그러나 임도가 전혀 개설되지 않은 C유역의 부유토사량은 강우량에 전혀 영향을 받지 않아 전체적으로 15mg/l 이하를 유지하였으며, 강우종료후에는 즉시 10mg/l 이하로 회복되었다.

여기서 집중강우시인 그림 5의 (f)에 있어 강우개시후 18시간이 경과할 때까지 상당한 강우가 발생하였음에도 불구하고 유출수의 부유토사량이 적었던 것은 본 강우 이전이 갈수기였기 때문에 유역의 토양조건이 건조하여 하천유량이 증가하지 않은 것에 기인한 것이다. 또한 강우종료후 부유

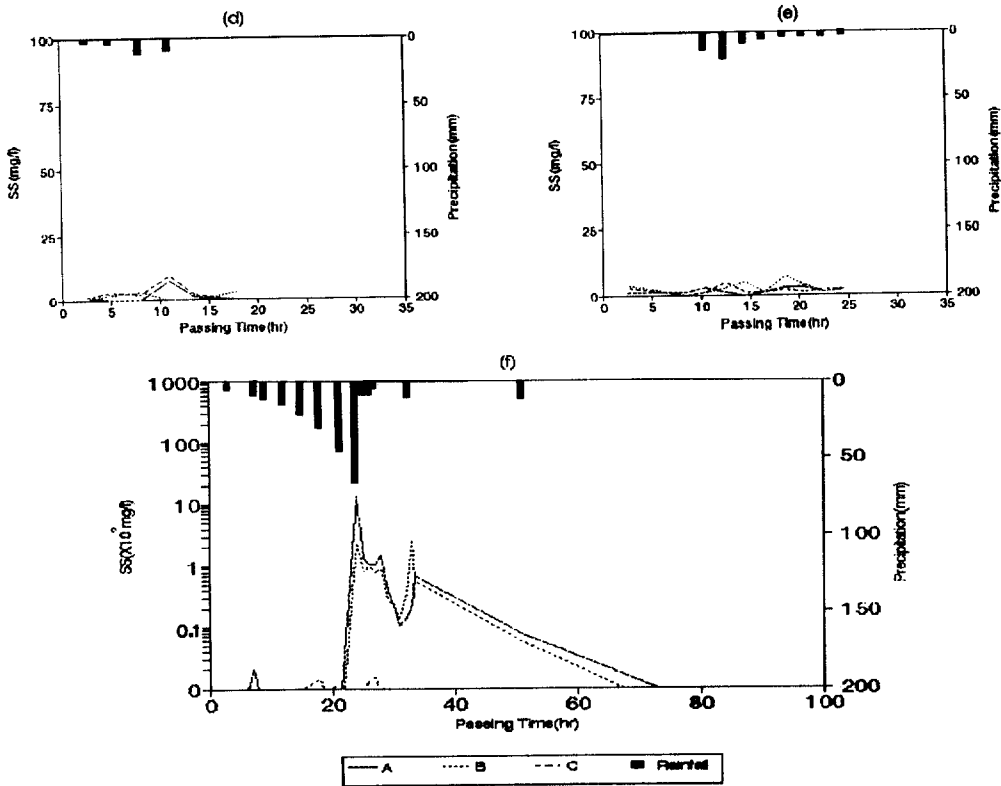


Fig. 5. The variation of suspended sediments between watersheds according to rainfall in 1995.

토사의 농도가 급격히 감소하다 재차 강우가 발생하였을 경우에 소규모의 강우량에도 부유토사 농도가 급증한 이유는 전강우에 의해 임도 비탈면으로부터 이동되었으나 流出水의 減水現象에 의해 미처 유출되지 못하고 河岸에 集積해 있던 불안정한 토사가 유출한 것이라 생각된다. 이상의 현상은 임도 개발에 의해 형성되고 있는 불안정한 절·성토 비탈면으로부터 생산된 토사가 임도개설 초년도에 집중호우와 강우의 반복에 의해 산지급류하천으로 신속하게 유출되고 있는 것을 나타내는 것으로, 현재 시공되고 있는 임도사업의 시공상의 문제점을 나타내는 좋은 예라 할 수 있다.

### 3) 流域別 最大浮遊土砂量 變化

부유토사량은 갈수기에는 미량이 유출되나 호수기에는 시우량에 비례하여 증가하며, 강우량에 따라 강우종료후 상이한 감소형태를 나타낸다. 따라서 평균 및 특정 시간의 부유토사량이 一降雨를 대표하는 데에는 한계가 있으므로 이를 보완하기 위해 최대부유토사량을 파악하여 보았다. 즉 임도개설 상황이 상이한 A, B 및 C 유역에 있어서 임도 미개설 시기인 1994년도와 임도개설 후인 1995년도의 降雨別 最大浮遊土砂量의 특징을 파악한 결과 그림 6과 같았다.

임도가 시공되기 이전의 최대부유토사량은 그림 6의 (a)에서 알 수 있듯이 총강우량에 크게 영향을 받지 않아 A, B 및 C 유역은 각각 12mg/l, 16mg/l 및 23mg/l였으며, 또한 그림 6의 (b)와 같이 임도개설후에도 총강우량이 적은 경우에는 각각 7mg/l, 7mg/l 및 9mg/l으로 모두 하천수 규제기준인 25mg/l 이하를 유지하였다. 그러나 강우량이 많은 경우에 임도개설지인 A 및 B 유역의 최대부유토사량은 각각 13,150mg/l 및 2,690mg/l을 기록하는 등 하천수 규제기준의 526배와 108배를 기록하였으나, 임도가 개설되지 않은 C 유역의 경우는 15mg/l을 기록하여 크게 변화하지 않았다.

이상의 현상으로 보아 임도개설이 부유토사 유출에 크게 영향을 미치며, 특히 임도밀도가 높은 유역을 중심으로 강우량이 증가하였을 때 다량의 부유토사가 유출되고 있음이 확인되었다. 이는 임도개설로 인해 생산된 절·성토 비탈면의 불안정 토사가 집중호우에 의해 산지급류하천을 경로로 하여 下流域으로 이동하는 과정에서 유출되기 쉬운 細粒土砂가 壅水에 의해 우선 이동하는 것이라 생각되며, 따라서 하천수의 부유토사량이

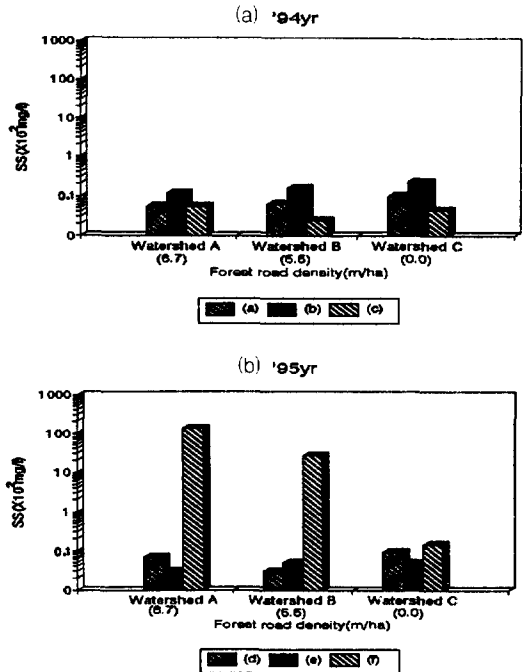


Fig. 6. The relationships between peak of suspended sediments concentration and rainfall.

임도 비탈면의 初期 安定度의 주요 判讀指標로 사용될 수 있을 것이다.

## IV. 結 論

분석 결과, 산지급류하천의 부유토사는 임도개설에 민감하게 반응하는 것이 확인되었으며, 임도 밀도가 높은 유역일수록 강우량에 비례하여 부유토사 농도가 증가하는 경향이 뚜렷하였다. 즉 192mm의 강우시 自然的 浸蝕輪廻에 의해 유출되는 부유토사(C유역 : 14.7mg/l)에 비해 임도개설지내 산지급류하천의 부유토사량(A유역 : 13,150mg/l)이 최대 894배나 유출되는 것이 확인되었으므로 앞으로의 임도사업의 확대를 고려할 때 간과해서는 안될 문제이며, 특히 지금의 임도시공비로는 비탈면 보호를 위한 식생공 및 토목공이 거의 불가능한 실정으므로 시공단가의 상향 등에 대한 방비책이 적극적으로 강구되어야 할 것이다.

한편 본 논문은 부유토사의 양적 변화를 중심으로 해석하였기 때문에 土砂, 실트 및 유기물을

일괄적으로 취급하였으나, 앞으로는 부유토사에 다량으로 함유된 유기물 등의 질적 해석도 병행할 예정이다. 또한 이상과 같은 현상 파악을 기초로 임도사업을 비롯한 각종 산지개발사업지의 수질보전대책을 수립하기 위한 비탈면 處理工, 水路工, 沈砂池 및 淨化施設 등과 같은 防災施設에 대한 연구도 지속적으로 진행할 예정이다.

引用 文 獻

1. 金鍾閔·李海周·李鳳洙·吳世元. 1990. 數量化에 의한 林道 被害原因 分析. 林研研報 39 : 126-134.
2. 馬相圭. 1987. 山岳地林道の 路肩 斜面崩壞와 側溝浸蝕에 關한 研究. 韓國林學會誌 76(2) : 161-168.
3. 全權雨. 1990. 1990年 6, 9月 集中豪雨에 의한 洪川郡 北方地域의 斜面崩壞와 土砂流出. 江原大 演習林研究報告 10 : 17-26.
4. 全權雨·吳在萬. 1992. 林道斜面的 土砂流出과 植生侵入에 關한 研究(I) - 切土斜面的 木本侵入에 대하여 -. 江原大 演習林研究報告 12 : 39-57.
5. 全權雨·吳在萬. 1993. 林道斜面的 土砂流出과 植生侵入에 關한 研究(II) - 盛土斜面的 木本植物侵入을 中心으로 -. 韓國林學會誌 82(4) : 354-365.
6. 鄭道鉉. 1995. 新設林道の 初期浸蝕量에 關한 研究. 韓國林學會誌 84(3) : 319-332.
7. 江頭 進治·芦田 和男·金屋敷 忠儀. 1981. 微細土砂의 流出解析法とその適用に關する 研究. 日本 水理講演會論文集 25 : 481-487.
8. 谷口 直幸·古畑 義隆. 1995. 治山工事における 水質保全對策について. 林業技術 642 : 25-27.
9. 大貫 靖浩·寺園 隆一·生澤 均·平田 功. 1992. 南西諸島における 林地からの 赤土流出 (I) - 豫報 -. 日本林學會論文集 103 : 273-274.
10. 大倉 陽一·北原 曜·三森 利昭. 1994. 森林土壤의 浮遊土砂濾過機能. 日本林學會論文集 105 : 597- 598.
11. 朴鍾瑄. 1991. 浮游砂濃度의 變動 패턴에

ら見た山地河川における 土砂流出特性. 地形 12(1) : 51-67.

12. 松浦 茂樹·谷本 光司. 1987. 雨天時汚濁流出とその抑制對策に關する 研究. 日本土木研究所報告 174 : 1-65.
13. 野島 虎治. 1969. 濁水溪の河川改修と砂防. 水利科學 12(6) : 37-54.
14. 羽田 守夫. 1979. 雄物川の浮遊物質の流出機構. 第16回 自然災害科學綜合シンポジウム : 205-208.
15. 柳井 清治·寺澤 和彦. 1995. 北海道南部沿岸山地流域における 森林が河川および海域に及ぼす影響(I) - 山地流域から津輕海峽に流出する浮遊土砂と有機物 -. 日林誌 77(5) : 408-415.
16. 長澤 徹明. 1986. 草地開發小流域における浮遊土砂流送運動. 日本農業土木學會論文集 125 : 89-94.
17. 川島 茂樹·清水 收. 1988. 山地流域における浮遊土砂の流出 - 豊平川上流小川・白水川の比較 -. 日本林學會北海道支部論文集 36 : 170-172.
18. 坂本 知己·中井 裕一郎·北原 曜·寺嶋 智巳. 1993. 山地小流域からの浮遊土砂の流出. 日本林學會論文集 104 : 725-726.
19. Beschta, R.L.. 1978. Long-term patterns of sediment production following road construction and logging in the Oregon Coast Range. Water Resources Res. 14 : 1011-1016.
20. Collins, D.N.. 1988. Seasonal development of subglacial and suspended sediment delivery to meltwaters beneath an Alpine glacier. Ann. Glaciol. 13 : 45-50.
21. Kurashige, Y.. 1993. Mechanism on Delayed Appearance of Peak Suspended Sediment Concentration in a Small River. Transactions, Japanese Geomorphological Union 14(4) : 385-405.
22. Kurashige, Y.. 1993. Mechanism of suspended sediment supply to headwater rivers and its seasonal variation in west central Hokkaido, Japan. Jap. J. Limnol. 54 : 305-315.