

林道開設에 따른 浮遊土砂量 變化(I)

-對照流域法을 中心으로-

金敬鎮¹⁾ · 全權雨²⁾

A Study on Change of Suspended Solids by Forest Road Construction(I)

-Parallel Watersheds Method-

Kyoung-Jin Kim¹⁾ and Kun-Woo Chun²⁾

要 約

本 研究은 江原大學校 林科大學 附屬演習林의 林道開設流域을 중심으로 雨期의 溪流水에 함유되어 있는 浮遊土砂量을 측정하므로써 林道開設에 따른 土砂流出 變化를 파악하고자 進行하였다. 이를 위해 林道開設流域의 降雨量과 流出量, 流出量과 浮遊土砂量의 關係를 규명하였으며, 아울러 林道開設 流域과 未開設流域의 降雨量에 따른 浮遊土砂量의 變化에 대하여 비교, 분석하였다.

1. 林道開設流域에 있어서 雨期의 降雨量과 流出量의 關係는 Table 3 및 Fig. 3와 같이 水文曲線의 Peakpoint는 降雨強度 및 前降雨量 등에 따라 形成時間과 높이가 상이하였다. 즉 6月12日의 降雨(a)(20mm이상이 4시간 지속)에서는 3시간 경과 후에 $1514\text{m}^3/\text{hour}$, 8月 8日의 降雨(b)(最大 時雨量 40mm)의 경우는 同一 時間帶에서 $1246\text{m}^3/\text{hour}$, 그리고 8月 20日의 降雨(c)(最大 時雨量 17.2mm)의 경우는 2시간 경과 후에 $1245\text{m}^3/\text{hour}$ 의 Peak point가 형성되었다.
2. 林道開設流域에서 流出量과 浮遊土砂量의 關係는 流出量에 비례하여 浮遊土砂量도 증가하였다 (Table 4 및 Fig. 4). 즉 降雨(a)는 最大流出量이 $1514\text{m}^3/\text{hour}$ 일 때 浮遊土砂量 $1261\text{mg}/\text{l}$ 가 1시간 후에 나타났고, 降雨(b) 및 (c)는 각각 最大流出量 $1246\text{m}^3/\text{hour}$ 과 $1245\text{m}^3/\text{hour}$ 일 때 最大浮遊土砂量 $4952\text{mg}/\text{l}$ 와 $472\text{mg}/\text{l}$ 가 同一時間帶에서 나타났다.
3. 降雨中의 浮遊土砂量의 濃度는 降雨強度에 강하게 영향받고 있으며, 특히 降雨強度가 강할수록 曲線回歸의 形態로 증가하였다. 林道開設流域과 未開設流域에서의 浮遊土砂濃度의 Peak point는 降雨(a)의 경우 $1261\text{mg}/\text{l}$ 와 $125\text{mg}/\text{l}$, 降雨(b)는 $4952\text{mg}/\text{l}$ 와 $44\text{mg}/\text{l}$, 그리고 降雨(c)는 $472\text{mg}/\text{l}$ 와 $4\text{mg}/\text{l}$ 로서 流域間에 현격한 차이가 나타났다.

Abstract

This study was carried out to clarify the sediment export by measuring suspended solids included in streamflow during the rainy season. The study area is located in Experimental Forests, Kangwon National University, where the forest road is under construction. For this purpose, the forest watershed with construction of forest road was compared with normal forest watershed in amount of rainfall and discharge, suspended solids and discharge, and the amount of rainfall and suspended solids. The results were shown as followings.

1)江原大學校 大學院 林學科 Department of Forestry, Graduate School, Kangwon National University.

2)江原大學校 林科大學 林學科 Department of Forestry, College of Forestry, Kangwon National University.

1. The relationship of discharge and the amount of rainfall was shown as Table 3 and Fig. 3. The delay time of peak point observed in hydrograph was changed by rainfall intensity and amount of previous rainfall. That is, when there was a rain on 12. Jun(more than 20mm/hour for four hours), the peak point began three hours after the rainfall intensity over 20mm/hour, and showed 1514m³/hour in automatic water level recorder. In case of the 8th of Aug.(maximum rainfall intensity: 40mm/hour), the peak point of discharge was 1246m³/hour in the same time with maximum rainfall intensity. And on the 20th of Aug.(the maximum rainfall intensity: 17.2mm/hour), the peak point of discharge was 1245m³/hour two hours after the maximum rainfall intensity.

2. On watershed under forest road construction, the relationship between discharge and suspended solids is that suspended solids was proportionately increased by raising discharge. That is, on the 12th of Jun, the maximum of discharge per hour was 1514m³/hour and 1261mg/l of suspended solids was observed an hour after peak point of discharge. And in case of 8th and 20th of Aug., each of peak points is 1246m³/hour and 1245m³/hour by measuring time. The maximums of suspended solids measured within two watersheds were examined in value of 4952mg/l and 472mg/l at the same time.

3. During the rainy season, the concentration of suspended solids was influenced by rainfall intensity and indicated especially curve-regressional increase in case of strong rainfall intensity. In each of watersheds, the maximums of suspended solids were 1261mg/l and 125mg/l, 4952mg/l and 44mg/l, and 472mg/l and 4mg/l by the order of rain(a), (b), and (c). Two watersheds showed a remarkable difference.

Key words : forest road construction, hydrograph, rainfall intensity, discharge, suspended solids, normal forest watershed

I. 緒 論

山村地域의 노동력 감소, 노임 상승 및 3D 기피현상 등으로 종래의 森林經營 방식에 대한 문제점이 제기되어 왔으며, 이를 해결하기 위한 방법의 일환으로 전국적으로 林道開設이 추진되고 있다. 그러나 林道開設은 설치장소가 급준한 지역이 대상이므로 일반도로에 비하여 切, 盛土斜面의 면적이 증대되지만, 낮은 施工費의 책정으로 방치되고 있다. 이로 인해 불안정한 斜面이 夏期의 集中豪雨에 노출되면 다량의 土砂가 流出될 뿐만 아니라 自然植生の 침입에 의한 斜面安定化를 기대하기 어렵게 된다^{2,3)}. 한편 流出된 다량의 不安定 土砂는 山地急流河川의 河床을 상승을 시키기도 한다.

이상의 河床變動은 降雨의 地表流出이 주원인이 되어 土砂를 山地急流河川으로 운반하는 장기간에 걸친 불규칙한 과정이며, 이로 인해 이동되어 堆積된 河床構成材料는 土砂 및 土石 등의 비

교적 큰 粒子의 형태로 河床에 분포한다^{6,10,11,14,15)}. 그러나 流出水의 増水에 의한 단시간내에 流出하는 Colloid상태의 土粒子는 流出水量에 비례하는 규칙성을 나타내고 있을 뿐 만 아니라 無有機形態의 浮遊土砂를 포함하고 있으므로^{1,4,5,8,12,13)} 중요한 연구대상임에도 우리나라의 山地防災分野에서 거의 진행되지 못한 실정이다.

따라서 본 연구는 江原大學校 林科大學 附屬演習林內의 林道開設流域를 중심으로 雨期의 集中豪雨에 의한 流出量 증가가 浮遊土砂量에 미치는 영향을 조사, 분석하여 森林生態系 및 水邊環境의 保全^{9,16)}을 전제로 한 林道開設에 대한 기초자료를 제공하는데 목적을 두고 진행하였다.

II. 材料 및 研究方法

1. 調査地 概要

研究對象地는 江原道 春川郡 東山面에 위치한 江原大學校 林科大學 附屬演習林內 1林班의 林道 開設流域인 가, 나小班과 未開設流域인 자, 차 및 카小班이다(Fig. 1).

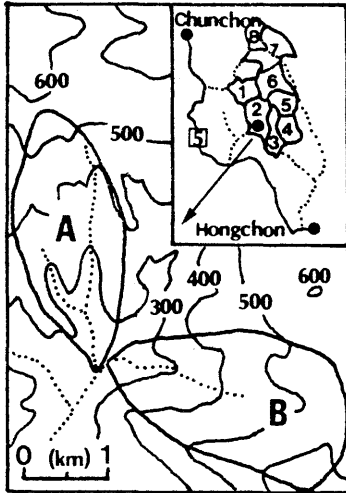


Fig. 1. The location of study area.

— : the division of watershed

----- : the road of flow

A is the watershed under forest road construction

B is the watershed having not construction

林道開設流域인 가와 나小班중에서 山地急流河川을 중심으로 林道通過地의 반대방향에 위치한 가小班的 면적은 42.2ha이며, 平均 斜面傾斜는 30%이다. 또한 林道가 開設되어 있는 나小班的 면적은 43.1ha이며, 平均 斜面傾斜는 18%이다. 한편 林道가 開設되지 않은 자, 차 및 카小班的 면적은 각각 37.5, 43.8 및 32.5ha이며, 平均 斜面傾斜는 각각 29, 37 및 20%이다.

調査對象 小班의 林況 및 地況은 Table 1과 같다. 전체적인 流域形狀은 林道開設流域이 南北方向으로 縱長形이며, 未開設流域은 東西方向으로 縱長形이다.

2. 研究方法

研究의 進行은 두 단계로 구분하여 실시하였다. 우선 林道가 開設中인 流域에서의 降雨 및 流出變化에 따른 浮遊土砂量 變化를 분석하였으며, 이어서 이상의 자료를 林道 未開設流域의 浮遊土砂量 결과와 대조하여 林道開設이 溪流水質 및 濁度에 미치는 영향을 규명하였다.

1) 流域解析

森林內의 물循環에 관계하는 인자 중 流出過程

Table 1. Topographical and geological condition of the experimental watersheds in survey area.

	Geological condition				Stand condition				
	Area (ha)	Direction of slope	Gradient of slope (%)	Origin of forest	Forest type	Volume of stand (m ³ /ha)	Lesser vegetation	Coverage of crown (%)	Dominant Species*
Ga	42.2	SE	25	N.F.	B.F.	12.532	Shrub	93.7	Qa
		SW	30	A.F.	M.F.	203.264	Shrub	100.0	Ll
		SW	35	N.F.	B.F.	82.225	Shrub	99.5	So
Na	43.1	SW	21	N.F.	M.F.	100.540	Weed	91.7	Qd, Fr
		NE	16	N.F.	B.F.	40.521	Winder	66.7	Qa, Fr
Ja	37.5	NW	29	A.F.	C.F.	30.832	---	98.6	Pd
Cha	43.8	W	37	N.F.	B.F.	148.628	Shrub	98.6	So, Fr
Ka	32.5	NW	20	N.F.	B.F.	121.890	Shrub	77.3	Qm, Qd

Ga, Na, Ja, Cha, Ka: Subcompartment.

A.F.: Artificial forest, N.F.: Natural forest,

B.F.: Broadleaved forest, M.F.: Mixed forest, C.F.: Coniferous forest,

* Fr: *Fraxinus rhynchophylla*, Ll: *Larix leptolepis*, Pd: *Pinus densiflora*,

Qa: *Quercus aliena*, Qd: *Quercus dentata*, Qm: *Quercus mongolica*

So: *Stylax obassia*

에 직·간접적으로 관여하는 地形要因은 해당 試驗地域의 1/5,000 地形圖를 참고로 해석하였다 (Table 2).

2) 降雨量 測定

林外雨量은 試驗流域內에서 적당한 空開地를 선정 한 후, 직경 20cm x 높이 60cm의 圓筒形 簡易雨量計를 이용하여 측정하였다. 測定時期는 雨期인 6月 12日 13時부터 13日 5時 30分까지(降雨 a), 8月 8日 21時부터 9日 17時 30分까지(降雨 b) 및 8月 20日 21時 30分부터 21日 17時 30分(降雨 c)까지이며, 測定時間單位는 時間別로 하였다.

3) 流出量 測定

流出量 算定을 위해 林道開設流域의 下流部에 自己水位計를 설치하여 水位의 變化를 지속적으로 관측한 후, Manning公式을 이용하여 平均流速을 산정하였다. 이어서 平均流速을 流路의 通水斷面積(Fig. 2)에 곱하여 流出量을 계산하였다.

4) 浮遊土砂量 分析

浮遊土砂量을 측정하기 위하여 林道開設流域의 流路에서 降雨開始 1시간전부터 降雨가 終了된 후 溪流水의 물이 맑아질 때까지 採水하였다. 採水의 時間間隔은 1시간을 원칙으로 하였으나, 降雨終了 후 육안으로 관찰하여 溪流水가 降雨前의 상태로 회복되는 시간대부터는 2~3시간 간격으로 採水하였다. 따라서 降雨(a), (b) 및 (c)의 採水時間은 각각 38시간, 21시간 및 20시간이었다.

浮遊土砂의 測定原理는 實驗開始前에 미리 무게를 파악한 유리纖維濾過紙를 濾過機에 부착하여 250ml의 試料를 濾過시킨 다음, 항량으로 건조하여 유리纖維濾過紙의 무게를 측정함으로써 濾過前, 後의 유리纖維濾過紙의 무게차로 浮遊土砂量을 구하는 방법이다. 浮遊土砂量의 分析에 사용한 機具는 Vacuum Filter Assembly이며, 濾過紙는 GLASS MICROFIBRE FILTERS이다.

Table 2. Topographic condition of watersheds.

Topographic factor	unit	A	B
Basin area	ha	63.75	84.38
Altitude	m	200-850	250-750
Main stream length	m	1067	965
Circumference length	m	5575	4050
Mean gradient of main stream	%	15	25
Mean gradient of relief	%	250	300
Mean basin width	m	5.97	8.74
Shape factor		5.23	4.19
Compactness factor		0.50756	0.80382
Drainage densit	m/ha	1.155 x 10 ⁻³	1.155 x 10 ⁻³

* A-watershed is under forest road construction.

B-watershed is not constructed.

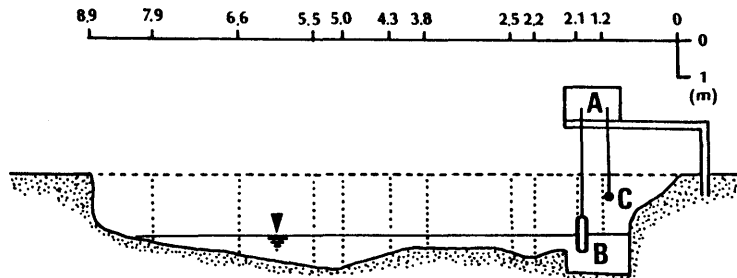


Fig. 2. The shape of channel at gauging station (A: Automatic water level recorder, B: Buoy, C: Plummet).

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 林道開設流域의 降雨量과 流出量

일반적으로 森林地에 林道가 開設되면 路線通過地를 중심으로 물循環에 크게 관계하는 浸透 및 透水機能이 저하되며, 특히 降雨強度가 높을 수록 이러한 현상은 현저하게 나타난다⁷⁾. 따라서 山地流域에서는 급격히 表面流出量이 증가하며, 이로 인해 불안정한 林道의 切, 盛土斜面을 중심으로 생산된 土砂가 下流로 流出하게 되어 河床面을 상승시킨다.

森林流域에 있어서 流水의 流出特性을 규명하기 위하여 雨期의 일부 降雨를 선택하여 降雨別 流出量의 變化特性을 測定하였다(Table 3 및 Fig. 3).

Table 3. The variation data of the discharge according to rainfall.

Time	Discharge (m ³ /hour)	Rainfall (mm)
(Jun. 12)		(101.6)
0	1210.93	---
1	1216.76	0.8
2	1217.06	---
3	1222.59	---
4	1222.59	0.6
5	1224.54	1.6
6	1222.59	---
7	1271.18	4.0
8	1271.18	---
9	1271.18	2.4
10	1284.79	---
11	1284.79	23.4
12	1380.03	23.6
13	1514.15	22.6
14	1432.51	20.8
15	1430.57	1.6
16	1418.91	0.2
17	1411.13	---
18	1403.36	---
19	1378.09	---
20	1362.54	---
21	1345.05	---
23	1330.21	---
25	1325.61	---
27	1325.61	---
29	1321.72	---
31	1321.72	---
33	1321.72	---
35	1321.72	---
38	1277.02	---
(Aug. 8)		(75.4)
0	1105.97	---

1	1109.86	7.6
2	1117.63	1.2
3	1115.69	1.4
4	1119.58	7.8
5	1137.07	5.6
6	1119.58	3.5
7	1119.58	---
8	1115.69	---
9	1115.69	---
10	1111.80	---
12	1110.43	---
15	1245.92	40.5
19	1208.99	7.8
20	1187.61	---
21	1172.06	---
(Aug. 20)		(55.4)
0	1146.79	---
1	1146.79	0.4
2	1154.56	2.4
3	1160.39	4.0
4	1172.05	6.4
5	1220.66	16.4
6	1288.68	17.2
7	1245.92	7.0
8	1232.32	1.6
9	1224.54	---
10	1220.65	---
11	1216.76	---
13	1208.99	---
14	1205.10	---
17	1203.16	---
20	1199.27	---

--- : No rain, (): Total rainfall,

Missing numbers are not calculated

測定 結果, 降雨(a)의 流出量 Peak point는 降雨開始後 13時間만에 형성(降雨強度 20mm 이상이 있는 후로부터는 2~3시간 경과)되었는데, 이는 초기의 적은 降雨는 林地內에 貯留되어 流出水에 별로 영향을 미치지 않았음을 의미한다. 또한 流出量이 상대적으로 높은 수준(약 1250 m³/hour)이었던 것은 前降雨의 유무에 의한 것으로 사료된다. 그리고 流出量이 降雨(a)보다 상대적으로 낮은 降雨(b)의 경우는 약 40mm의 降雨가 있는 후에 거의 同一時間帶에서 Peak point가 形成되었고, 降雨(c)의 경우에는 낮은 降雨強度(17.2mm/hour)에 의해 1시간이 지연되어 작은 Peak point(1110→1250m³/hour)가 형성되었다.

이상과 같이 總降雨量과 降雨強度 및 前降雨量이 流出量의 Peak point 형성에 크게 작용하고 있었다. 즉 降雨強度가 강하고 總降雨량이 많게 되

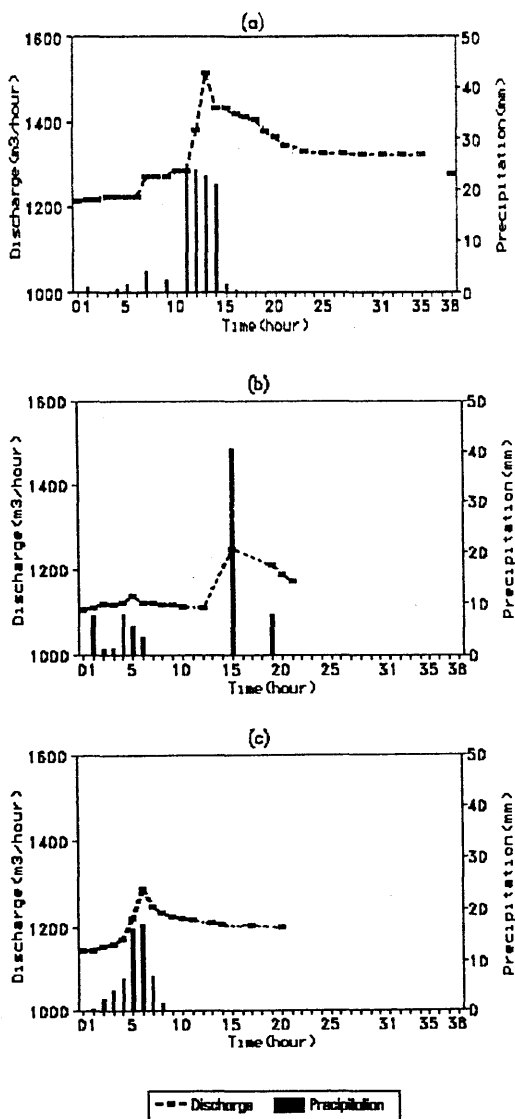


Fig. 3. The relationship of the rainfall and discharge.

면 水文曲線의 上昇部는 급하고 또한 높게 형성되며, 前降雨에 의해 영향을 받는 流出量의 크기에 따라 Peak point의 지연시간이 길어진다.

2. 流出水量 變動에 따른 浮遊土砂量 變化

降雨條件에 따라 流出水의 流出形態가 변화하며, 流出水의 流出形態에 따라 浮遊土砂量이 영향을 받는다(Fig. 4). 流出水量과 浮遊土砂量의 관

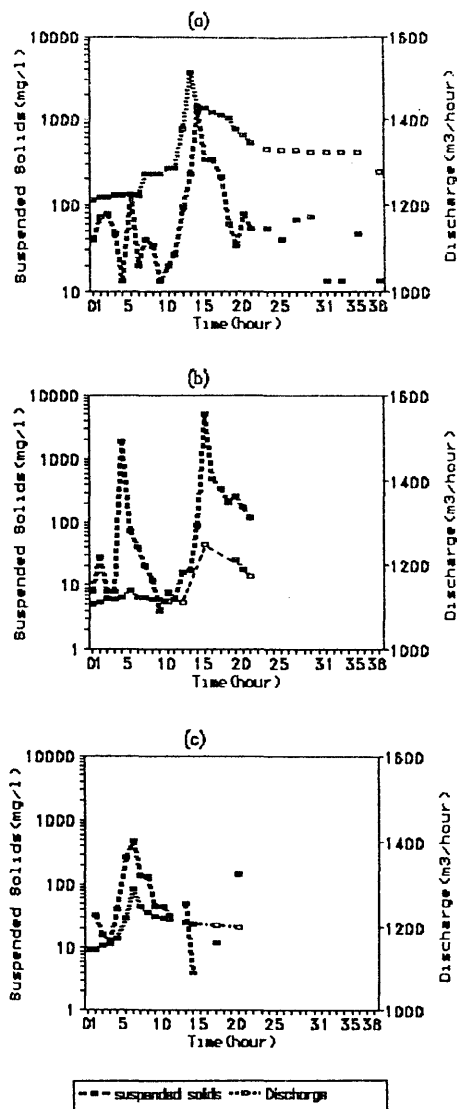


Fig. 4. The relationship of discharge and suspended solids.

계를 시간적으로 해석하면, 降雨(a)에서는 流出水量의 Peak point에 비해 浮遊土砂量의 Peak point는 1시간이 지연되었으나 降雨(b) 및 (c)에서는 流出水量의 Peak point와 浮遊土砂量의 Peak point는 같은 時間帶에 나타났다. 이는 流出水量과 浮遊土砂量의 變化가 시간적으로 거의 일치하는 것을 의미하며, 따라서 流出水量이 浮遊土砂量의 變化에 강하게 작용하고 있음을 나타낸다.

한편 각 降雨別 流出水量과 浮遊土砂量의 量的

關係를 해석하면, 降雨(a)의 경우 流出水量은 크기는 다르지만 流出形態에 있어서는 降雨(c)와 유사하였으며, 따라서 浮遊土砂量의 변화 역시 量的으로는 차이가 있으나(浮遊土砂量의 Peak point 濃度는 降雨(a) 및 (c)가 각각 1261mg/l와 472mg/l임) 유사한 분포양상을 나타냈다. 그러나 降雨(b)의 流出水量은 降雨(a) 및 (c)와는 流出形態가 상이하며, 浮遊土砂量의 濃度도 큰 차이를 나타내고 있다. 특히 降雨(b)의 流出量의 Peak point는 약 40mm/hour의 降雨強度에 의해 형성되었기 때문에 水文曲線이 降雨(a)와 (c)의 경우와는 상이한 형태를 나타냈으며, 따라서 浮遊土砂量의 Peak point도 4952mg/l로 높게 검출되었다.

이상과 같이 浮遊土砂量과 流出量사이에는 밀

접한 상관관계가 있으며, 특히 流出水量의 Peak point의 정도가 浮遊土砂量의 Peak point 형성에 강하게 작용하고 있었다. 즉 浮遊土砂量의 含量은 단순히 전체적인 流出水量의 크기에 영향을 받는 것이 아니라, 降雨集中度에 의해 山地의 地表流出을 일으키는 급격한 流出水量의 증가에 강하게 영향받는다.

3. 降雨量 變動에 따른 浮遊土砂量 變化 (林道開設流域과 未開設流域)

降雨量의 變動에 따른 林道開設流域과 未開設流域의 浮遊土砂量 變化는 Table 4 및 Fig. 5와 같다.

Table 4. The suspended solids variation during the rainy season(unit:mg/l).

Time	Rain(a)			Rain(b)			Rain(c)		
	A	B	R	A	B	R	A	B	R
0	40	33	—	8	16	—	+	+	—
1	73	13	193	28	8	60	32	8	100
2	79	13	—	8	0	48	16	+	96
3	46	106	—	8	4	8	12	+	16
4	13	7	577	1904	24	+	40	4	+
5	132	20	10750	72	0	4	260	8	4
6	20	20	—	40	8	20	472	4	+
7	40	152	290	20	0	—	136	0	8
8	33	13	—	12	0	—	132	0	28
9	13	13	204	4	4	—	44	+	—
10	20	20	—	0	4	—	44	+	—
11	26	13	73	—	—	—	32	+	—
12	92	57	13	4	8	—	—	—	—
13	231	33	251	—	—	—	48	8	—
14	1261	125	33	—	—	—	4	+	—
15	337	92	119	4902	44	12	—	—	—
16	337	20	370	—	—	—	—	—	—
17	211	33	—	—	—	—	12	12	—
18	59	20	—	—	—	—	—	—	—
19	33	13	—	264	80	13	—	—	—
20	79	20	—	172	36	—	144	+	—
21	53	13	—	120	12	—	—	—	—
23	53	13	—	—	—	—	—	—	—
25	40	205	—	—	—	—	—	—	—
27	66	59	—	—	—	—	—	—	—
29	73	218	—	—	—	—	—	—	—
31	13	165	—	—	—	—	—	—	—
33	13	58	—	—	—	—	—	—	—
35	46	99	—	—	—	—	—	—	—
38	13	112	—	—	—	—	—	—	—

(a): Jun. 12, (b): Aug. 8, (c): Aug. 20.

+: a little of suspended solids, — : No rain,

Missing numbers are that don't analysis

A is the concentration of watershed under forest road construction.

B is the concentration of watershed having not construction.

C is the concentration of suspended solids in rainfall.

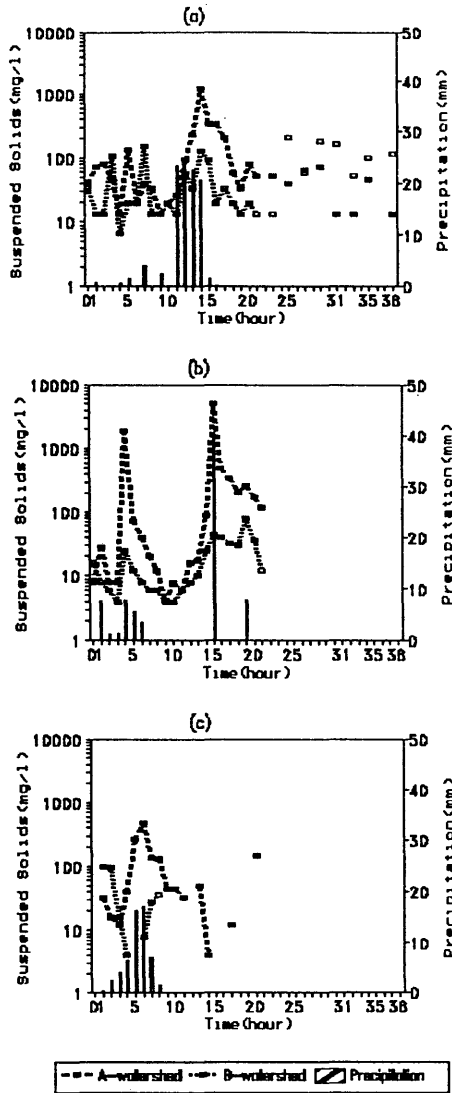


Fig. 5. The variation of suspended solids between watersheds according to rainfall.

Table 4 및 Fig. 5에서 알 수 있듯이 降雨量의 증가에 따라 浮遊土砂量이 일정한 간격을 두고 정비례하여 증가하였다. 즉 浮遊土砂量의 증감이 약한 降雨強度에서는 거의 변화가 나타나지 않았으나, 降雨強度가 地表流出을 일으키는 強度를 초과하면 浮遊土砂量이 급격히 증가하였다. 이러한 현상은 특히 林道開設流域에서 강하게 나타났으며, 降雨強度別로는 降雨(a)의 경우 20mm/hour 이상의 降雨부터 浮遊土砂濃度가 증가하기

시작하여 林道開設流域의 경우 1261mg/l의 Peak point를 형성하였다. 또한 降雨(b)는 40mm/hour 이상의 降雨에 의해 4952mg/l를 나타냈으며, 降雨(c)는 약 15mm/hour 정도의 降雨에 의해 위의 두 시기와는 상대적으로 낮은 472mg/l의 浮遊土砂量을 나타냈다. 그러나 林道 未開設流域은 降雨(a), (b) 및 (c)의 경우 같은 시간대에서 각각 125, 44 및 4mg/l으로 상대적으로 낮은 浮遊土砂含量을 나타냈다.

이상과 같이 林道 未開設流域의 浮遊土砂量 分布는 林道開設流域과 형태적으로는 유사하였지만, 含有濃度가 林道開設流域에 비해 월등히 낮아 降雨強度에는 상대적으로 영향을 적게 받고 있음을 알 수 있었다. 이를 환언하면, 林道開發에 의해 開發地域의 山地急流河川水에는 浮遊土砂量이 증가되며, 이에 따라 각종 水質變化를 발생시키고 있다고 할 수 있다.

IV. 結 論

森林의 효율적인 관리와 합리적인 경영을 위한 林道가 전국적으로 施工되고 있으나 낮은 시공비의 책정 등으로 流域環境保全面에서 많은 문제점을 안고 있다. 특히 斜面保護를 위한 植生工 및 土工이 거의 실시되지 못하므로 夏期의 集中豪雨에 의해 林道開設地를 중심으로 土砂災害가 발생하고 있다.

이와같은 현상을 森林水文學의 입장에서 규명하고자 1992년 초부터 전반적인 水質分析을 진행하던중 금번에 浮遊土砂量을 중심으로 한 溪流水의 濁度變化에 대한 결과를 정리하였다. 그 결과 林道開設에 의해 浮遊土砂量이 증가하고 있음을 확인할 수 있었으며, 이러한 점에서 현재의 林道開設은 森林生態系는 물론 森林流域의 水文環境에 많은 문제점을 야기시키고 있음을 알 수 있었다. 따라서 앞으로의 林道는 이러한 점을 고려하여 施工함으로써 多自然形에 알맞는 보다 안정된 山地急流河川을 유지할 수 있도록 진행되어야 할 것이다. 이를 위해서는 林道開設에 따른 不安定斜面의 安定化와 土砂流出 防止를 위한 防災施設計劃 등이 병행되어야 할 것이며, 동시에 이상의 현상에 대한 山地水源地帶의 水質管理 次元에서의 研究 및 管理가 진행되어야 할 것이다.

參考文獻

1. Bormann, F. H., G. E. Likens, T. G. Siccama, R. S. Pierce, and J. S. Eaton. 1974. The effect of deforestation on ecosystem export and the steady-state condition at Hubbard Brook. *Ecol. Monogr.*, 44(3): 255-277.
2. 全 權雨・吳 在萬. 1992. 林道斜面の 土砂流出과 植生侵入에 관한 研究(I) -切土斜面の 木本侵入에 대하여-. 江原大學校 林科大學 演習林研究報告 12: 39-57.
3. 全 權雨・吳 在萬. 1993. 林道斜面の 土砂流出과 植生侵入에 관한 研究(II) -盛土斜面の 木本侵入을 중심으로-. 韓國林學會誌 82(4): 354-365.
4. Collins, D. N. 1988. Suspended sediment and solute delivery to meltwaters beneath an Alpine glacier. *Eidg. Tech. Hochschule, Zurich, Versuchsant. Wasserbau, Hydrol., Glazio. Mitt.* 94: 147-161.
5. Collins, D. N. 1989. Seasonal development of subglacial drainage and suspended sediment delivery to meltwaters beneath an Alpine glacier. *Ann. Glaciol.* 13: 45-50.
6. 東 三郎. 1983. 石れき指標に關する砂防學的研究. 北海道大學農學部演習林研究報告 40(1): 197-232.
7. 細江 一之・本多 潔・川邊 洋・林 拙郎. 1989. 三重大學附屬演習林における量水觀測と流出特性. 三重大學農學部演習林報告 17: 173-186.
8. 藤田 陸博・長谷川 和義・山岡 勳. 1982. 有珠山における泥流災害とその對策に關する研究 -泥流災害對策に關する水工學的研究-. 文部省科學研究費 自然災害特別研究成果: 100-118.
9. 井上 千晶・天田 高白・絲賀 黎. 1992. 矢出川上流部における土地利用と水環境の關係. 筑大演報 8: 73-89.
10. 木村 正信・綱本 皓二・市岡 三明. 1981. 河床礫粒徑特性からみた扇狀地の土砂移動. 岐阜大學農學部研究報告 45: 67-75.
11. 越路 雄祐・清水 收. 1992. 日本海沿岸送毛川における細粒土砂の分布と流出實態に關する考察. 日本林學會北海道支部論文集 40: 193-196.
12. Likens, G. E., F. H. Bormann, N. M. Johnson, D. W. Fisher and R. S. pierce. 1970. The effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. *Ecol. Monogr.* 40(1): 24-47.
13. 中尾 欣四郎・瀬戶口 泰史・知北 和久. 1982. 有珠山における泥流災害とその對策に關する研究 -洞爺湖に流入した泥流の擴散-. 文部省科學研究費 自然災害特別研究成果: 74-85.
14. 清水 宏. 1982. 線格子法による河床礫の分布特性の解析. 新砂防 122: 27-35.
15. 鈴木 建夫・勝井 義雄・鎌田 耕太郎. 1986. 北海道駒ヶ岳1929年火碎流の堆積地形と堆積物の粒度分布. 文部省科學研究費自然災害特別研究報告書: 61-90.
16. 鈴木 雅一. 1991. 水に關わる森林機能とモデル化. 森林科學 3: 32-35.