

산림경영기반의 임도개설이 부유사 발생에 미치는 영향

이 성 기

한국산림기술인협회

(2002년 12월 10일 접수; 2003년 3월 21일 채택)

Effect of forest road establishment based on forest management on occurrence of suspended sediment

Sung-Gie Lee

Korea Forest Engineer Association, Seoul 140-013, Korea

(Manuscript received 10 December, 2002; accepted 21 March, 2003)

Forest management starts from forest road facility, which is designated as generation source of muddy water in mountain stream during initial stage of establishment. Therefore, this study reviewed the effect of suspended sediment generated in forest road surface on the muddy water in mountain stream with respect to marsh area of forest. As a result, characteristics of outflow of suspended sediment was understood, and it was judged that generation of suspended sediment due to establishment of forest road is diluted by mountain stream this charged from drainage area so as to have small effect on muddy water in total mountain stream.

Key Words : Forest management, Base facility, Forest road, Suspended sediment, Remaining suspended Sediment quantity

1. 서 론

산림시대에서 계류 탁수의 발생원은 자연적인 현상과 인위적인 행위에 의한 것으로 대별할 수 있는데, 인위적인 행위에 의한 원인은 임도개설에 따른 노면과 질토 및 성토사면이 지적되고 있다.^{1,2)} 그 곳에서는 고농도 탁수의 부유사가 발생할 것으로 예측되어 수원과 생태계의 악영향을 일으킬 가능성이 있는 것으로 제기되었다. 특히 사리도의 노면침식에 의한 부유사의 유출은 미립자로 유하 거리가 길고, 탁수 형태로 하류에 미치는 영향이 크기 때문에 주요 연구의 대상^{3~5)}이 되고 있지만, 임도를 대상으로 한 연구 중에서 직접적으로 시료를 채취하여 검토한 예는 소수^{6,7)}에 불과한 정도이다.

Kurashige⁷⁾에 의하면 임도개설 당시 성토사면에서 발생한 미세립토가 임내에서 여과되어 계류에 유출되는데, 이때에 미세립토유출농도와 유량과의 관계가 Hysteresis현상으로 지적되었다. 따라서 이 특이성으로 노면에서 발생된 부유사농도가 어느 정도

계류농도에 영향을 미치고 있는지는 불명확하였다.

그리고 토사농도의 자연발생적인 메커니즘에 대해서는 산림 소 유역을 대상으로 연구가 진행되어 그 발생원은 수원지 상류에 있는 것으로 지적⁸⁾되고 있다. 그러므로 본 연구에서는 상류수원지에서 다수 개설되고 있는 임도노면, 계류에서 유출하는 부유사 농도 그리고 양자가 합류할 때의 농도 변화를 계속하여 인위적 산지개발행위에 의한 부유사유출이 계류의 유출부유사량에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 대상지 및 방법

2.1. 실험 대상지 현황

부유사의 계측 대상지는 일본 도쿄 상류의 하찌오지시 근교로 도쿄영림국 히라쓰카영림서 내 타카오 우메노키 키히라유역으로 하였다. 이 지역은 실험자의 수시 접근이 용이한 곳에 위치하며 주변의 산림공원과 동경 내 주요하천의 수원 발생지로 지형과 면적 그리고 위치적으로 목적 실험에 적합한 것으로 판단되었다.

유역전체면적은 82.7ha(Fig. 1)로 그림에서 NO. 252~254의 3개 임반으로 구성되어 있는데 이중 252임반 38.7ha내에 개설된 임도를 주요대상으로 하

Corresponding Author : Sung-Gie Lee, Korea Forest Engineer Association, Seoul 140-013, Korea
Phone : +82-02-702-5697
E-mail : sulee@kku.ac.kr

였다.

대상지는 6개의 소유역으로 구분되어 있고, 임분 구성은 기본적으로 삼나무와 편백으로 산림율은 거의 100%이며, 임령은 11~85년생의 인공림으로 부분적으로 활엽수가 분포하고 있다. 임도의 현황은 1968년에 개설된 비포장도로로 대상지 임도의 전체 연장은 890.5m이며, 이용차량은 통상 4~6대/일 정도이고 노면은 정기적으로 정비되어 양호하게 유지되고 있다.

대상유역의 작업로는 745.8m이고 노면상태는 부분적으로 Rill과 Gully가 발달하였다. 임도와 작업도를 합한 도로밀도는 19.8m/ha이며, 그 밖에 방화선과 보도가 5,878m설치되어 있다. 지질적 기반은 중고생대층의 사암과 니암의 교층으로 풍화작용이 진행되고 있으며, 임도는 계곡을 따라 개설되어 있는 관계로 완만하며 절토사면의 높이는 1~2m정도이다.

2.2. 계측방법

대상지의 면적과 부유사의 계측위치는 산림기도에서, 그리고 수종구성은 영림계획서를 참조하여 결정하였다. 부유사의 계측위치는 Fig. 1의 임도, 작업도, 계류의 번호로 13개소, 그 중에서 기본적으로 시간계측은 실시한 지점은 임도 2개소(林道-1, 2), 작

업도 3개소(作業道-1, -2, -3), 개발되지 않은 계류 1개소(溪流-2), 노면과 계류가 합류하는 지점 1개소(溪流-1)의 합계 7개소에서 유량과 부유사량을 계측하였으며, 유량은 유속과 계류의 폭, 수심 계측으로 추정하였다(Table 1)

부유사량은 0.074mm의 공업용 체를 통과한 유수를 2000ml병에 채취하여 실내에서 유형보류 1 μ m의 유리필터에 여과시켜 건조하고, 필터 무게를 제외한 유출토의 중량을 유출부유사량으로 취급하였으며, 부유사 농도는 채취한 부유사량과 유량의 환산으로 산출하였다. 시료의 채취는(溪流-1)~(溪流-2)~(作業道-1, -2, -3)~(林道-1, -2)의 순서로 하였으며, 약 1시간 간격으로 채취하였다.

강우의 자료는 현지에 우량계를 설치하여 데이터로 사용하였으며 계측기간은 1996년 7월 10일~10월 8일 중 5회 실시하였다. 강우 데이터의 특성을 연속우량(총강우량), 조사기간 중의 최대시간우량은 Table. 2와 같다.

이 기간 중에는 태풍의 자료(태풍 17호. 9월 22일)도 포함되어 있다. 그 외에 유량과 부유사량 측정의 노면 및 계류의 횡단면은 Fig. 2와 같으며, 계류의 단면형상과 노면의 횡단면의 유사한 형태를 지니고 있어 유량증가에 따른 나지 면적의 변화를 추정에 활용하였다.

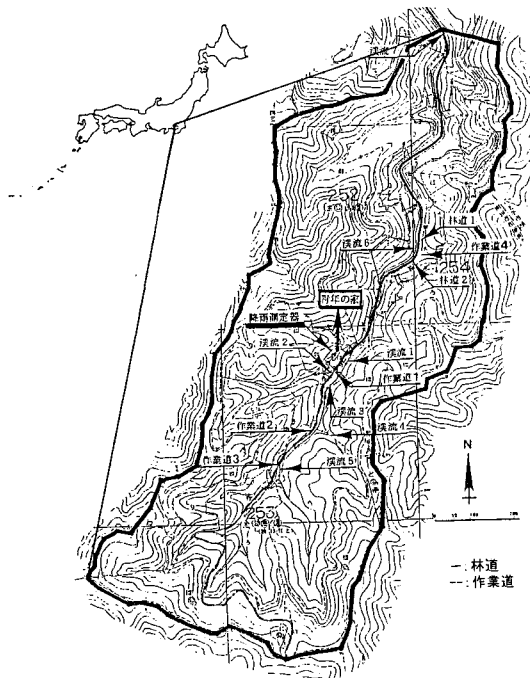


Fig. 1. Location of examination place and location of examination point.

Table 1. Situation of measurement point

	catchment area A(ha)	road surface area Ae(m ²)	length L(m)	Average gradient So(%)	Forest ratio (%)	Species composition	regeneration year
溪流-1	38.0724	7465	911	16.5	98.84	삼,편백	'35~84
溪流-2	6.5232	0	432	16.4	98.77	삼,편백	'35~66
作業道-1	0.5736	354	130	6.8	93.83	삼,편백	'84
作業道-2	0.5744	215	84	8.6	95.76	삼,편백	'48~71
作業道-3	1.5850	554	259	12.0	96.51	삼,편백	'71
林道-1	0.0537	65	27	6.0	87.90	삼,편백	'74
林道-2	0.8912	414	156	5.1	95.35	삼,편백	'74

Table 2. Rainfall amount at examination place

Data	Total precipitation Σr (mm)	Maximum rainfall r(mm/h)	Note
1996.07.10	109.0	2.5	
1996.09.09	27.0	5.5	
1996.09.22	180.5	39.0	Typhoon.17
1996.09.30	36.5	9.0	
1996.10.08	23.5	15.0	

산림경영기반의 임도개설이 부유사 발생에 미치는 영향

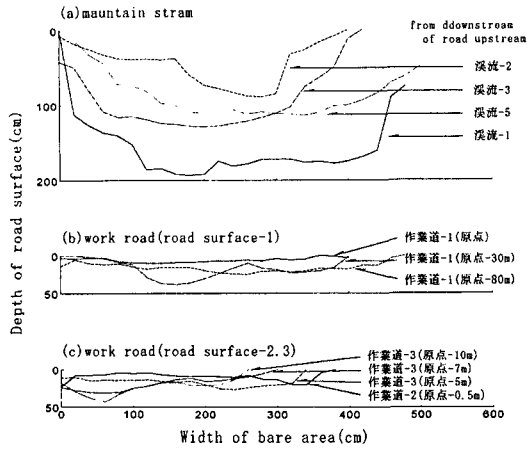


Fig. 2. Cross section situation in flow route of examination place.

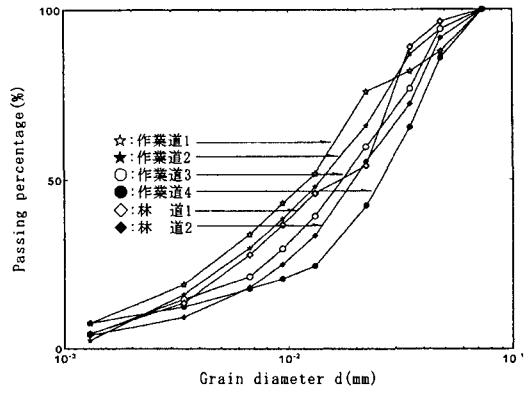


Fig. 3. Particle size distribution of suspended sediment in work road and forest road.

노면에서 유출하는 부유사($d < 0.074\text{mm}$)의 입경분포를 나타낸 것이 Fig. 3으로 임도와 작업도와의 입경분포의 차이는 나타나지 않았다. 또한 동년 9월 22일의 현지 계측을 실시할 때에 연속우량의 최고치보다 2시간 후인 12시경부터 2시 사이에 산측에서 지중수의 유출이 발생하였다. 위치는 作業道-2와 作業道-3 사이의 절취사면에서 파이프류가 발생하였고, 측정점 作業道-1, 溪流-1, 溪流-2의 유수가 배수구를 월류하여 결측하게 되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 부유사의 유출특성

임도와 작업도의 발달이 진행되지 않는 계류와 그것이 합류된 계류의 유출부유사를 대상으로 한 유량, 그리고 임도개발로 인하여 발생하는 영향을

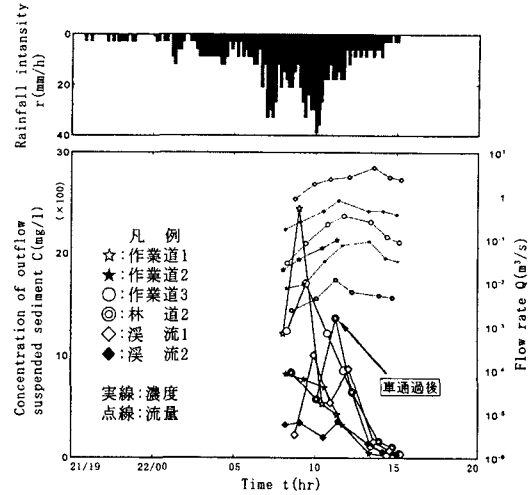


Fig. 4. Relation between rainfall strength, flow rate and concentration (Typhoon No. 17, 1996. 9. 22).

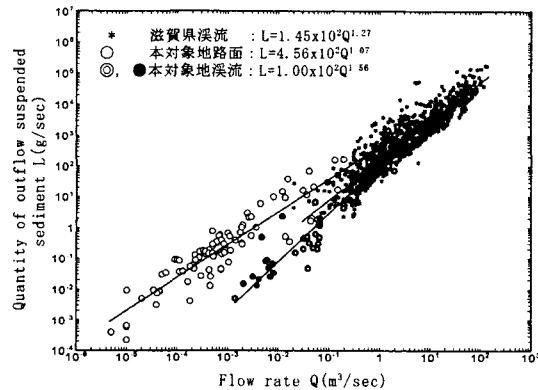


Fig. 5. Outflow of suspended sediment in forest marsh area.

검토하였다. 본 조사기간내의 강우강도, 유량 및 부유사농도의 유출자료를 대응시키면 Fig. 4가 된다.

일반적으로 부유사의 유출은 유량증가의 시간적 차이에 의하여 Hysteresis현상으로 표현되는 것으로 알려져 있다. 여기서 명확한 예로 1996년 9월 22일 발생한 태풍 17호의 자료를 참고하면 Fig. 5에서 나타난 것과 같이 최대부유사농도는 최고 수위와 일치하지 않고 강우최대와 거의 일치하며 최대유량은 강우최대 후 1~3시간 늦은 경향이 있다.

3.2. 유량이 부유사농도에 미치는 영향

조사지에서 구한 자료의 해석은 경험식으로 알려져 있는 다음의 식을 이용하였다.

$$C = KoQ^n \quad (1)$$

식을 단위시간당 부유사량 L(g/sec)로 환산하면

다음과 같이 된다.

$$L = KoQ^2 \quad (2)$$

단위 시간당의 부유사량 L (g/sec)과 유량 Q (m³/sec)와의 관계는 Fig. 5와 같이 표현된다. 그림 중 기존의 계류와 하천의 자료⁹⁾는 *표이며, 본 조사지에서 임도가 개설되어 있는 계류자료는 ◎표, 임도가 개설되어 있지 않은 자연 계류의 자료는 ●표, 노면에서 유출하는 부유사 자료는 ○표로 표현하였다. 본 그림에서 알 수 있는 것처럼 본 대상지의 계류자료는 기존의 자료 하측에 위치하지만 같은 경향을 나타내고 있는데 이때의 관계는 다음과 같다.

$$\text{시가현계류} : L = 1.45 \times 10^2 Q^{1.27} \quad (3)$$

$$\text{본대상계류} : L = 1.00 \times 10^2 Q^{1.56} \quad (4)$$

$$\text{본대상노면} : L = 4.56 \times 10^2 Q^{1.07} \quad (5)$$

유출하는 토사농도는 계류와의 사이에는 기존자료의 상위에 위치하는 것으로 유출농도에는 차이가 있는 것을 알 수 있다.

해석지는 소유역이면서 유량이 적기 때문에 부유사량은 위식의 지수부에서 나타난 것과 같이 소유

역측이 크게 된다. 이 결과 유량이 적게 되면 유출한계유량의 영향을 고려하여 소유역에 가까운 유역에서 생산되는 부유사는 급격히 감소하는 가능성을 나타내고 있다.

더욱이 이곳에서도 부유사농도 C 는 유량 Q 의 $n=1$ 로 비례하는 것에 의문이 남는다. 여기서 대상지의 자료만으로 나타낸 것이 Fig. 6(a, b)이다. 위의 a가 농도 C 를 유량 Q 로 표현하여 나타낸 것이며, 아래의 Fig. 6(b)는 부유사량 $L=CQ$ 이다. 부유사농도는 (1)식으로 나타낸 것과 같이 유량에 비례한다고 하지만, 노면과 계류의 자료에서 나타난 농도는 지수부가 1보다 적은 수치가 된다.

특히, 노면에서 발생하는 부유사농도는 20~2500 ppm의 사이로 분산이 크고 평균적으로는 유량의 증가에 대하여 거의 관계를 인정하기 어려워 타 인자가 영향을 미치는 것으로 생각되어 진다.

임도노면과 계류에서 유출하는 부유사는 독자적인 유출 형태를 지니고 있는 것이 아니라 유량이 증가하면 회귀선이 일치하는 조건에서 22.1 m³/sec일 때에 노면과 계류에서 생산되는 부유사량이 일치하고, 노면에서 유출하는 농도가 계류농도에 영향을 미치기 시작하는 한계유량으로 생각되어 진다.

하지만, 유량 22.1 m³/sec에 대하여 노면에서의 부유사농도유출 방법을 시간적으로 추적해보면 최대 유량이 약 0.2 m³/sec정도의 적은 양으로 하나의 유출 형태에는 한계가 있고, 단순하게 회귀한 유량의 특성치로서 정하는 것에 불과하다. 즉, 유출형태는 개별적으로 독립된 Hysteresis현상으로 나타난다 (Fig. 7). 조사지의 Hysteresis현상은 시계방향의 일반적인 경향과 일치하기 때문에 원인의 하나는 자료 분산에 있는 것을 알 수 있다.

따라서 부유사 유출 상황을 증가 과정과 감소과

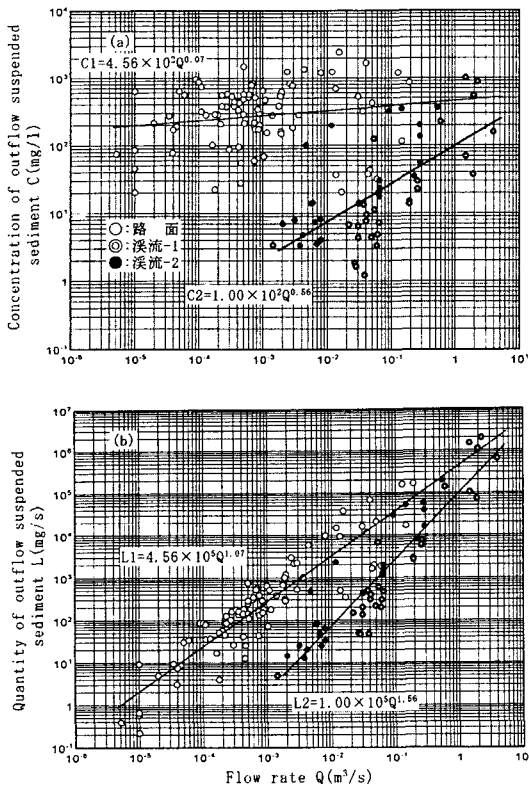


Fig. 6. Outflow suspended sediment for flow rate.

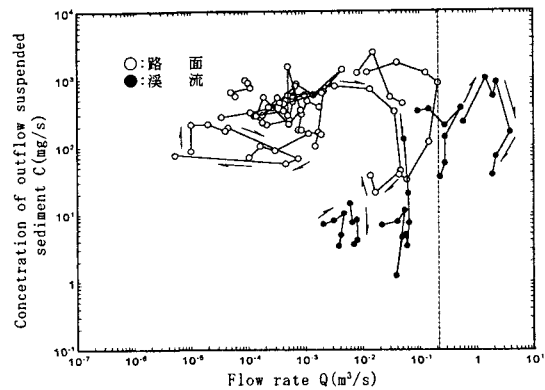


Fig. 7. Example of suspended sediment outflow type which shows hysteresis phenomenon.

산림경영기반의 임도개설이 부유사 발생에 미치는 영향

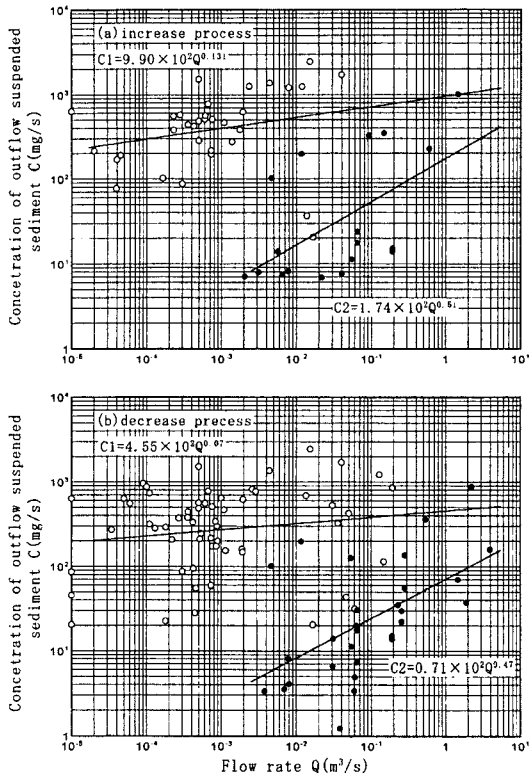


Fig. 8. Concentration of outflow suspended sediment in the process of increase and decrease with respect to flow rate.

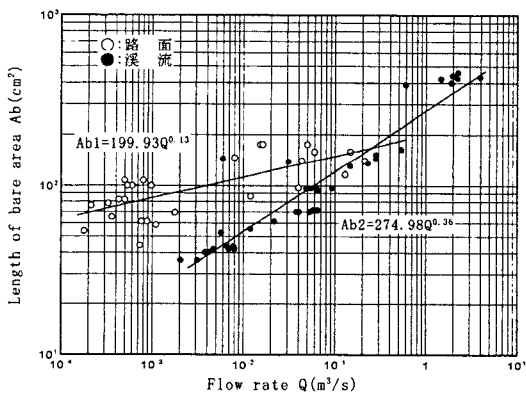


Fig. 9. Change of bare area pursuant to increase of flow rate.

정도로 구분하여 나타낸 것이 Fig. 8(a, b)이다. 여기에서도 자료의 분산이 있지만 부유사의 증가과정의 방법과 감소과정에 의해 유량에 영향을 받는 경향이 있어, 부유사 감소 과정에 있어 노면에서 유출은 거의 유량에 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다.

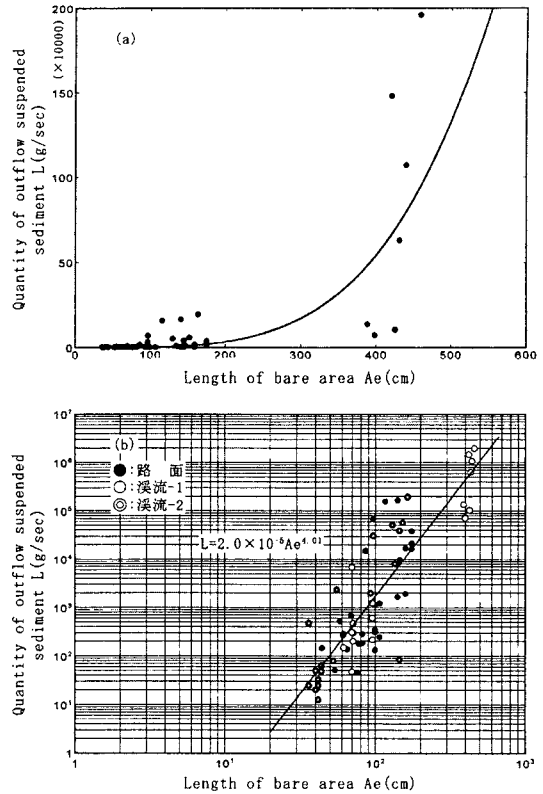


Fig. 10. Outflow of suspended sediment pursuant to change of bare area.

유량이 증가할 때에 발생하는 수위의 증감은 나지면적(운변)의 증감상태와 노면 및 계상의 형태 (Fig. 2)별로 수위상승에 의해 나타났다. 이 관계를 부유사의 발생원이 되는 나지면적 $Ab(Ae \times 1)$ 와 유량 Q 의 관계로 나타낸 것이 Fig. 9이다. 유량에 대한 나지면적의 변화는 부유사와 유량(Fig. 10)에 매우 비슷한 형태를 나타낸다. 또한 계류와 노면의 나지면적이 일치하면 유량은 약 0.25 m³/sec이 되고, 노면에서 유출하는 Hysteresis 유량에도 일치한다.

유출하는 부유사량 L 은 나지길이 Ae 와의 관계는 Fig. 10이고 (6)식에 의해 양자는 양호한 상관관계를 나타내며 노면과 계류에서 생산되는 부유사의 발생원에 상이한 것을 알 수 있었다.

$$L = 2.0 \times 10^{-5} Ae^{4.01} \quad (6)$$

Fig. 5에서 노면과 계류의 유출량차이는 유량증가에 따른 나지면적의 차이로서 표현되었다. 여기서 부유사농도와 나지면적의 관계는 Fig. 11에서 부유사발생원별로 상이한 결과로 나타났다.

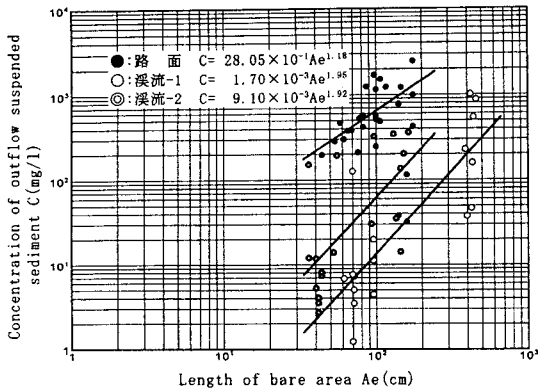


Fig. 11. Change of suspended sediment concentration with respect to length of bare area.

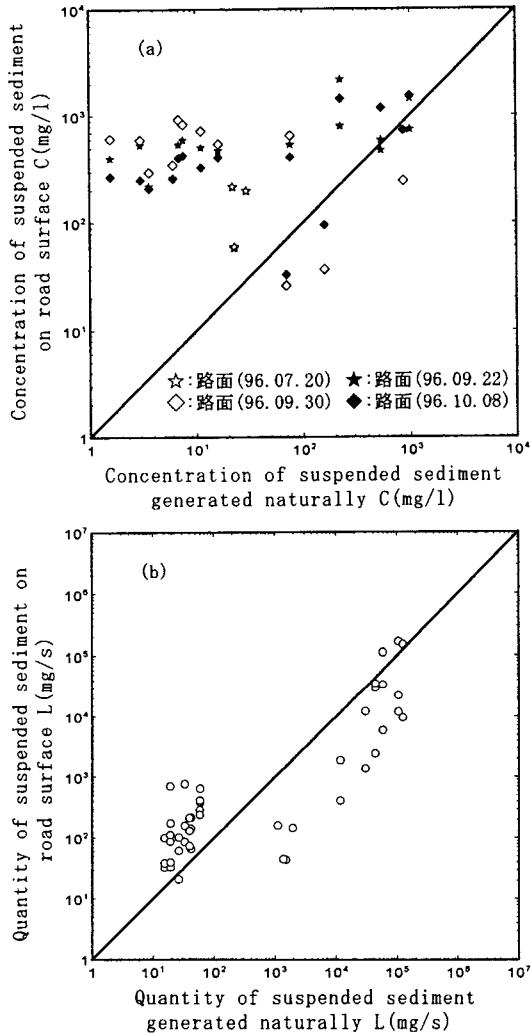


Fig. 12. Comparison of outflow suspended sediment in road surface and natural occurrence.

노 면 : $C = 28.05 \times 10^{-1} Ae^{1.18}$ (7)

계류-1 : $C = 1.07 \times 10^{-3} Ae^{1.96}$ (8)

계류-2 : $C = 9.10 \times 10^{-3} Ae^{1.92}$ (9)

더욱이, 노면과 계류에서는 면적 Ae의 지수항에 차이가 있고, 노면의 경우 단순히 비례하여 증가하지만 계류의 경우는 2승에 비례하여 증가하는 것을 나타내고 있는데, 그 차이는 Fig. 6과 상이한 것으로 이는 유출부유사발생의 초기 또는 잔존부유사량의 차이에 원인이 있는 것으로 설명된다.¹⁰⁾

이러한 결과에서 유출부유사농도는 전체적으로 비례한다고 하는 관계가 성립되지 않고 유량증가에 따라 유출 가능한 초기의 양에 영향을 받으며, 더욱이 부유사량은 유출의 나지면적에 비례하는 것이 되며 유량의 유출형태가 크게 영향을 미치는 것을 나타낸다.

3.3. 임도개설에 의한 부유사가 계류농도에 미치는 영향

임도를 포함한 산지개발행위가 이루어지지 않은 곳에서 발생하는 부유사를 자연발생적인 부유사라 하면, 그곳에서 생산되는 부유사와 임도 노면에서 발생하는 부유사를 비교하여 그 정도를 검토한 양자의 관계로 농도 및 부유사량별로 나타낸 것이 Fig. 12(a, b)이다. 해석에는 각 계측장소의 시계열 자료에서 동일시각의 농도 및 부유사량을 계측하여 사용하였다.

농도의 관점은 노면에서의 유출과 자연발생적인 유출 사이에는 유출형태가 명확한 상관관계가 성립되었음을 알았다. 자연발생적인 부유사농도는 저농도에서 고농도까지 넓은 범위(1.5~1000 mg/l)로 분포하는 것에 대하여, 노면에서 유출하는 농도는 평균적으로 400 mg/l 부근에서 일정 농도를 유지하며, 일부 자연발생과 같은 농도에 위치하는 것을 제외하면 200~1000 mg/l 정도의 좁은 범위에서 생산되는 특징을 가진다.

그 최대치(1000 mg/l)부근의 유출과 같은 농도로 유출하는 것으로 밝혀졌다. 여기서 농도에 유량을 고려하여 얻어진 부유사량으로 비교하면 부유사량이 적을수록 노면에서 많이 생산하고 그 양이 많아짐에 따라 계류에서 생산되는 양이 많은 것을 나타낸다. 또한 발생량이 증가될수록 자연발생과 노면발생의 유출의 차이는 사라지는 현상을 알 수 있다.

이러한 경향은 자연발생부유사농도(C_{T2})를 기본으로 노면발생농도와 유량 Q와의 비(Q_{T2})를 나타내면 Fig. 13(a)와 같이 되어 약 0.6 m³/sec에서 일치하게 된다. 더욱이 일반적인 논의로서 농도를 집수면적에 의한 단위면적으로 표현하면 Fig. 13(b)로 되

산림경영기반의 임도개설이 부유사 발생에 미치는 영향

어 그 감소과정은 Fig. 13(a, b)에서 알 수 있는 것과 같이 지수가 $-0.80 \sim -0.87$ 로 큰 차이가 없으며, 농도 발생원에 배수면적의 영향은 생각할 수 없고 양자의 차이는 정수부의 상이가 되어 유량의 증가에 따라 발생하는 초기 또는 잔존부유사의 유출가 능량으로 예를 들면 계안침식에 커다란 영향을 받는 것을 나타내고 있다. 노면과 계류의 농도가 일치하기 위해서는 약 $98\text{m}^3/\text{sec}$ 를 필요로 한다.

다음으로 인위적인 개발행위인 임도와 작업도의 노면에서 발생하는 부유사 농도가 계류농도에 미치는 영향은 노면 및 지류(溪流-2)에서 유출하여 본류(溪流-1)에 합류 후의 농도로 판단한다. 그때의 관계는 Fig. 14, 15(a, b)와 같다.

Fig. 14(a)에서 알 수 있듯이 본 해석지의 노면에서 생산되는 농도는 합류후의 농도에 1:1의 대응관계가 아닌 독립된 농도가 되어 자연발생적 농도에서 서술한 바와 같이 합류 후 농도(溪流-1)에 영향을 미치지 않는다. 이는 노면에서 유입된 고농도의 부유사도 유역에서 유출하는 유량에 희석되는 것을 의미한다.

하지만, 노면농도의 시간적 변화를 추적하면 합류

농도는 $100\text{mg}/\ell$ 의 이상이 되면 노면의 농도는 합류농도에 가까운 변화가 일어나고 약 $1000\text{mg}/\ell$ 의 농도에서는 양자가 일치하게 된다.

그리고 노면의 농도는 그 후 합류농도와 같은 움직임을 하며 감소하지만 $20\text{mg}/\ell$ 정도에서 합류농도에 영향을 미치지 않게 된다. 그림 중 ●으로 표시된 자연발생적인 농도(溪流-2)는 합류농도와 동일한 농도를 발생시켜, 자연 발생하는 계류로부터의 농도와 유출도 무시할 수 없는 것을 나타내고 있다.

부유사량(mg/sec)으로 나타내면 자연발생적인 부유사는 합류후의 부유사량과 평행으로 추이되고 같은 비율로 생산하며, 임도노면에서의 유출은 부유사량이 많아지므로 계류로부터 생산량은 커다란 비율

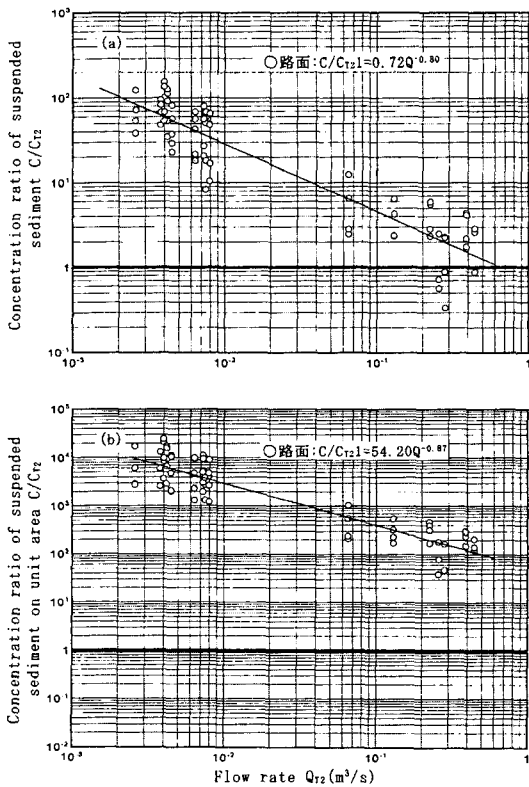


Fig. 13. Concentration ratio of suspended sediment by natural occurrence.

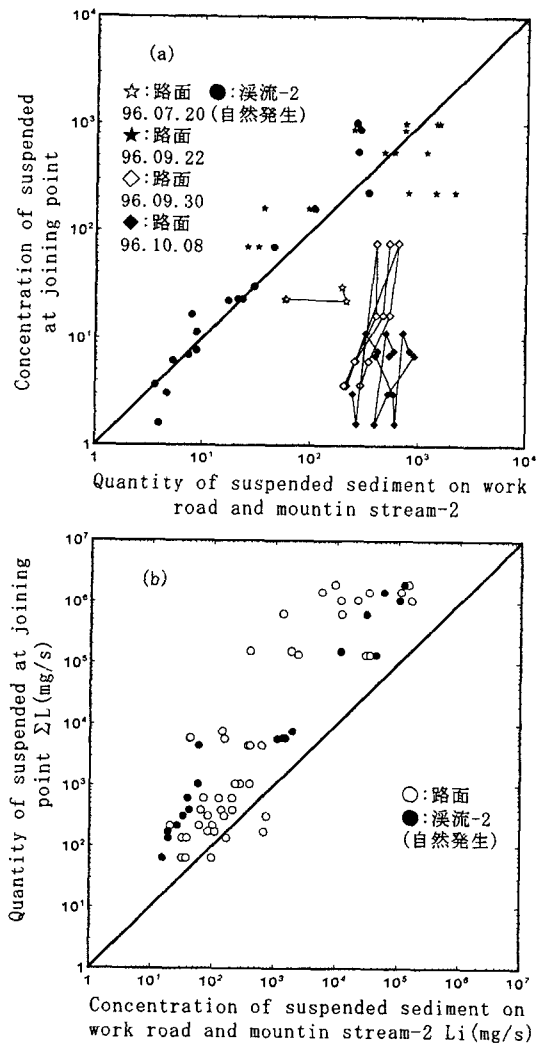


Fig. 14. Effect of suspended sediment discharged from road surface and mountain stream-2.

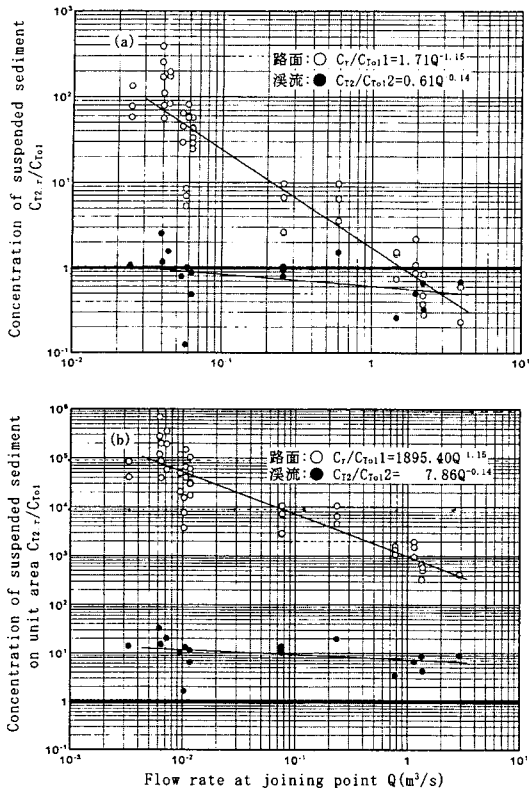


Fig. 15. Effect of suspended sediment in road surface on the mountain stream.

로 생산되는 것을 나타내는데 본 대상지에서는 3000 mg/sec 정도로 생산량이 역전된다.

농도변화를 농도비($C_{T2,r}/C_{T01}$)와 유량 Q 로 나타낸 것이 Fig. 15(a, b)이다. 지류(溪流-2)에서 생산되는 농도(C_{T2})는 거의 같은 농도로 유출하는 것을 나타내며, 노면의 경우 C_r 은 유량이 감소할 때 그 상이는 크며, 평균적으로는 약 100배 정도의 차이가 있다. 또한 농도를 각 대상지의 집수면적으로 나누어 할 때에 합류($A=38.2$ ha)와 자연발생적인 계류($A=6.6$ ha)와는 약 10배 차이가 있으며, 토사생산원에 가까운 소유역에서 생산되는 농도가 높음을 나타내고 있다. 노면의 경우($A=0.2\sim 1.1$ ha)는 이보다 매우 높은 농도비로 발생한다.

이상의 결과에서 임도개발에 의한 농도가 계류에 미치는 영향을 합류유역의 농도비 및 유량비로 나타내면 Fig. 20과 같이 되어 Fig. 14(a)에서도 서술한 것처럼 $C_{T2,r}/C_T > 1$ 일 때 계류에의 영향은 발견되지 않으며, $C_{T2,r}/C_T < 1$ 일 때 영향이 나타나는데 유량비로 10배~100배 이하가 되면 그 영향은 무시할 수 없다. 이렇게 커다란 범위가 되는 것은

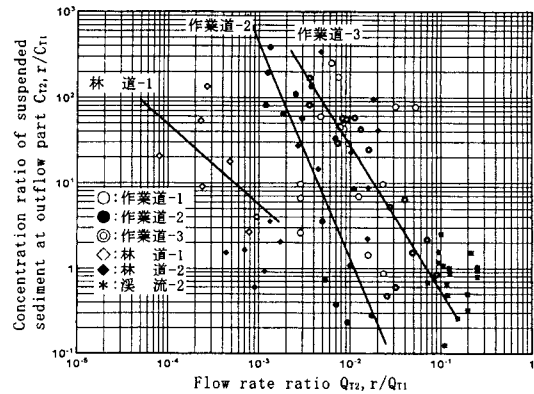


Fig. 16. Concentration ratio of outflow suspended sediment with respect to flow rate ratio of combined mountain stream.

Fig. 15에서 언급하였듯이 농도가 부유사의 초기 유출가능량에 의존하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 산지경영을 위해 필수적으로 개설되고 있는 임도가 하류의 오탁농도에 미치는 변화를 검토한 결과 부유사의 유출 특성은 유량증가에 시간적 차이가 밝혀졌다. 또한 기존의 경험식⁹⁾에 의한 해석이 소 유역에서는 그 적용에 무리가 있으며, 유량이 부유사농도에 미치는 영향은 유출 가능한 초기의 잔존부유사량에 영향을 받고, 부유사량은 유출의 나지면적에 비례하게 되며 유량의 유출형태가 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

또한 임도개설에 의한 부유사가 계류농도에 미치는 영향에 대하여 본 해석지의 노면에서 생산되는 농도는 합류후의 농도에 1:1의 대응관계가 아닌 독립된 농도가 되어 영향을 미치지 않는다. 이는 노면에서 유입된 고농도의 부유사도 유역에서 유출하는 유량에 희석되는 것을 의미한다.

본 연구의 수행은 자연 상태를 최대한 활용하고 인력에 의한 계측으로 일정범위 이상의 강우에 대한 대책이 미흡하였는데, 이를 계측자동화를 통한다면 보다 충실한 자료수집이 가능하여 부유사의 유입과 유출량 추정으로 담과 유역관리에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문을 수행하는데 있어 도움과 자문을 주신 동경농공대학 미네마쓰교수와 장소를 제공해주신 히라쓰카영림서 관계자, 그리고 도움을 주신 많은 분들에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 江頭進治, 芦田和男, 1981, 山岳地域における微細土砂の生産現場と流出過程に関する研究, 京都大學防災研究所年報24B-2, 1-12.
- 2) 松梨順三郎, 1993, 環境流体汚染, 森北出版, 5-72.
- 3) 堀高夫·市原恒一譯, 1972, 林道より流出する土砂防止のためのガイド, 森林利用研究會資料, 82.
- 4) Kohenderfer, J.N., 1970, Erosion control on logging roads in Appalachians, U.S.D.A. Forest Service Research, Paper, NE-158.
- 5) 市原恒一, 堀高夫, 1973, 林道へ流入する降雨水量に関する研究, 日林中部支部論, 63-70.
- 6) 福島義宏, 1982, 林道建設による浮遊砂土砂濃度の上昇, 文部省科研(総合研究A), 98-103.
- 7) Kurashige, Y., 1993, Mechanism of Suspended supply to Headwater River-sand its Seasonal Variation in West Central Hokkaidou, Japan., J. Jpn. of Limology, 54(5), 305-315.
- 8) Terajima, T., T. Sakamoto, Nakai and K. Kitamura, 1996, Subsurface Discharge and Suspended Sediment Yield Interactions in a Valley Head of a Small Forested Watershed, Journal of Forest Research, 3(1), 131-137.
- 9) 福島義宏, 鈴木雅一, 1982, 若女谷試験地の水文観測と裸地域における土砂生産移動観測, 田上山地土砂生産流出解析(V-B)報告書, 近畿地方建設局琵琶湖工事事務所, 65-105.
- 10) 李成基, 峰松浩彦, 1997, 林道路面から流出する浮遊砂の流出特性に関する実験的研究, 森利誌, 12(2), 111-120.