

## 개벌 재생림유역과 사방지 혼효림유역에서 강수시 계류수의 부유물질농도 및 전기전도도와 pH 변화

全宰弘\* · 金景河 · 劉在閔 · 權炯太 · 程龍鎬  
국립산림과학원 임지보전과

### Variation of Suspended Solid Concentration, Electrical Conductivity and pH of Stream Water in the Regrowth and Rehabilitation Forested Catchments, South Korea

Jaehong Jun\*, Kyongha Kim, Jaeyun Yoo, Hyung Tae Choi and Yongho Jeong  
Department of Forest Environment, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

**요 약:** 본 연구는 국립산림과학원 산림수문 유역시험지인 경기도 양주시에 위치한 개벌 재생림유역과 사방지 혼효림유역에서 2005년 6월에서 9월까지 3회의 강우사상에서 자동 물시료채취기(ISCO, 6712FR)를 이용해 채수한 계류수 시료에 대해 부유물질농도, 전기전도도 및 pH를 측정하여 강우시 계류수의 수질 변화와 개벌의 영향을 밝히고자 수행하였다. 부유물질농도는 강우에 의한 계류수 유출 증가와 함께 높아지기 시작하였으며, 침두유출이 나타나기 전 증수부에서 최고치를 보이다가 급격하게 감소하였다. 부유물질농도 최고치는 개벌 재생림유역에서만 채수된 event 1에서 420.89 mg/l로 가장 높았으며 두 유역에 같이 측정된 강우사상의 경우에는 8월 24일부터 채수된 event 3에서 개벌 재생림유역(212.8 mg/l), 사방지 혼효림유역(58.24 mg/l) 모두 높게 나타났다. 총강수량이 많거나 강우강도가 높으면 부유물질농도도 높은 것으로 나타났으며, 최대유출량과도 밀접한 관계가 있었다. 유출량에 대한 부유물질농도의 관계는 주로 시계방향의 이력현상(clockwise hysteresis)을 나타내었다. 전기전도도는 강우에 의해 유출량이 증가하면서 감소하기 시작하여 침두유출시에 최저치를 나타낸 후 유출량이 감소함에 따라 서서히 평시 수준으로 높아지는 경향을 보였다. pH도 전기전도도와 마찬가지로 강우시작과 함께 증수부에서는 감소하기 시작하여 침두유출 부근에서 최저치를 보인 후 유출량이 감소하면서 서서히 증가하기 시작하였다. 개벌 재생림유역 계류수의 부유물질농도가 사방지 혼효림유역에 비해 2.8~4.3배 높았으며 전기전도도도 사방지 혼효림유역에 비해 개벌 재생림유역에서 더 높게 나타났는데, 이는 개벌에 의해 교란된 산림토양의 영향이 현재까지도 나타나는 것이라 판단된다.

**Abstract:** This study was conducted to investigate how the qualities of the stream water vary during the event in the regrowth and rehabilitation catchments in Yangju, Gyeonggido, from June to September 2005. During the observation periods, we sampled the stream water continuously by an auto-sampler (ISCO, 6712FR). The sampled waters were analyzed for suspended solid concentration, electrical conductivity and pH. The suspended solid concentration during the event increased concurrently with the stream flow. The peak of suspended solid concentration usually precedes the peak flow. The maximum value of suspended solid concentration was 420.89 mg/l in the event 1 at the regrowth catchment. Among the events simultaneously sampled at both catchments, the maximum values of suspended solid concentration were 212.8 mg/l and 58.24 mg/l in the event 3 at the regrowth and rehabilitation catchment respectively. The maximum value of EC in each event showed in the early stage of rising limb. EC decreased during the rising limb, and then showed minimum value at peak flow. EC gradually increased to pre-event value after minimum one. pH varied in similar pattern with EC. The maximum value of suspended solid concentration during each event was 2.8 to 4.3 times higher at the regrowth catchment than at the rehabilitation catchment. And the EC during each event was higher at the regrowth catchment than at the rehabilitation catchment. This results indicate that a disturbed forest soil during clear cutting at regrowth catchment still has been unstable.

**Key words :** suspended solid concentration, electrical conductivity, pH, regrowth, rehabilitation

\*Corresponding author  
E-mail: junejh@naver.com

## 서 론

우리나라의 수자원은 전 국토의 65%인 산림유역을 거쳐서 공급된다. 산림유역에서 공급하는 수자원량은 1,267억톤의 약 65%인 823억톤에 달한다고 해도 과언이 아니다. 산림유역에 내리는 빗물은 수관에 의해 차단되거나 수관통과우나 수간유하수로 임지에 도달하여 토양 속으로 침투되고 최종적으로 계류수와 지하수의 형태로 유역을 빠져나간다. 빗물은 이러한 일련의 물 순환 과정을 거치는 동안 수량과 수질이 크게 변화된다. 즉, 계류수의 수질은 강우에 의해 유출량이 증가할 때는 평상시 기저유출에 의한 계류수의 수질과는 다른 수질 특성이 나타나므로 강우시 계류수의 수질변화를 파악하는 것은 수자원이용 측면에서 중요하다.

부유물질은 토양유실시 유출수와 함께 운반되어 수온 저하와 탁도 상승 현상을 일으키고, 흙 입자에 부착되어 운반되는 인에 의해 호수나 댐의 부영양화를 유발하는 등 수질, 수생식물, 수리구조물의 유지관리에 있어서 중요한 인자이다(Ryan, 1991; 허우명 등, 2005). 이러한 부유물질 문제는 자연유역에서 뿐만 아니라 특히 임도개설(안영상 등, 2003)과 산불(Kunze and Stednick, 2006; 정용호 등, 2004)과 토사재해 등 교란을 받은 임지에 그 중요성이 더 크다. 정용호 등(2004)은 산불에 의해 피해를 받은 산림의 계류수 수량 및 수질에 대한 조사를 통해 산불로 인해 토양의 물리적 성질이 악화되어 지표유출이 증가되고 표층 토양의 침식이 가속화되어 부유물질 농도가 크게 증가하였다고 보고하였다.

산지 계류를 통해 유출되는 부유물질량을 산정하기 위한 많은 연구가 진행 중인데 이러한 부유물질량 측정은 각 유출량별로 시료를 채취하는데 비용과 시간이 많이 들며, 저유량시에는 부유물질이 거의 없기 때문에 측정하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 특정 유역에서의 부유물질량은 탁도와 부유물질의 상관관계를 도출한 후 연속으로 탁도를 측정하여 추정할 수 있다(김진관 등, 2004).

전기전도도는 수질의 오염정도와 용액 중의 이온 총량을 쉽게 평가할 수 있는 지표인자이며 pH는 수질측정시 반드시 필요한 기본 인자로서 교란되지 않은 산지 계류수의 pH와 전기전도도는 거의 일정하게 유지되지만 병충해, 산불, 임도시공 등에 의해 영향을 받을 수 있다. Whitehead 등(1988)은 산림유역에서 계류수의 pH와 전기전도도를 조사한 결과 침엽수 조림에 의해 계류수의 산도가 개선되었다고 보고하였으며, 정용호 등(2000)은 산림사업에 의해 임내우와 토양수에서 pH는 높아지고 전기전도도는 낮아지는 시업효과를 구명한 바 있다.

산림지역에서 유출되는 수자원의 질적 가치를 평가하

기 위해서는 강우시 산지 계류수의 수질변화를 파악하고 산림 사업과 용도변경시에 나타날 수 있는 수자원변화를 구명하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구는 황폐지를 복구한 개별 재생림유역과 사방지 혼효림유역에서 강우시 유출량의 변화에 따른 부유물질농도와 전기전도도, pH의 변화 특성을 파악하여 산림상태에 따른 계류수질의 차이를 구명하기 위해 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사유역의 개황

본 연구는 경기도 양주시 울정동에 위치한 국립산림과학원 산림수문 유역시험지(37° 48' 49" N, 127° 06' 57" E)에서 실시하였다(Figure 1). 두 유역 모두 황폐지를 1974년에 사방조림한 유역으로 모암은 화강암이다. 유역의 특성은 Table 1과 같다. 특히 1974년 사방조림후 II에서 III영급의 혼효림으로 임분이 이루어져 있는 사방지 혼효림과는 달리 개별 재생림은 1996년에 모두베기를 실시하여 재생림으로 되어 있다. 식생이 활착되고 직사광선에 임지의 노출이 적으며 상층식생에서 낙엽 낙지의 형태로 유기물이 공급되어 부식층이 형성되고 있는 사방지 혼효림유역에 비해 개별 재생림 유역은 임지의 노출이 많고 부식층이 사면 하부의 일부 지역을 제외한 상부에는 거의 없다. 유역의 2005년 연강수량은 1,533.7 mm였다.

### 2. 조사방법

강수량은 양주 수문시험지 내의 개활지에 0.5 mm 전도형 자기우설량계를 설치하고 강우기록계에 기록하였다. 유출량은 각 유역의 출구에 90° 삼각위어를 가지는 양수댐을 설치하고 부자-엔코더수위계(OTT, Thalimedes)를 이용하여 10분단위로 측정할 수위를 수위-유량식에 대입하여 산출하였다. 부유물질농도, 전기전도도, pH 측정을 위한 물 시료의 채취는 각 유역에 설치된 자동 물시료채취기(ISCO, 6712FR)를 이용하여 15분당 3 mm 이상의 강우가 발생하였을 때 채수를 시작하여 500 ml씩 2시간 간격으로 24개 시료를 채수하였다. 채취된 시료는 실내에서 전기전도도와 pH를 측정하였으며 100 ml를 여과지(GF/C, Whatman)로 여과한 후 여과지를 오븐에 넣어 105°C에서 2시간 동안 건조한 다음, 여과 전과 후의 여과지 질량차이를 측정하여 부유물질 농도를 계산하였다.

## 결과 및 고찰

개별 재생림유역과 사방지 혼효림유역에서 강우에 의해 나타난 계류수질의 변화 특성을 관찰하기 위해 관측기간에 발생하였던 다수의 강우사상 중 자동채수 조건에 부

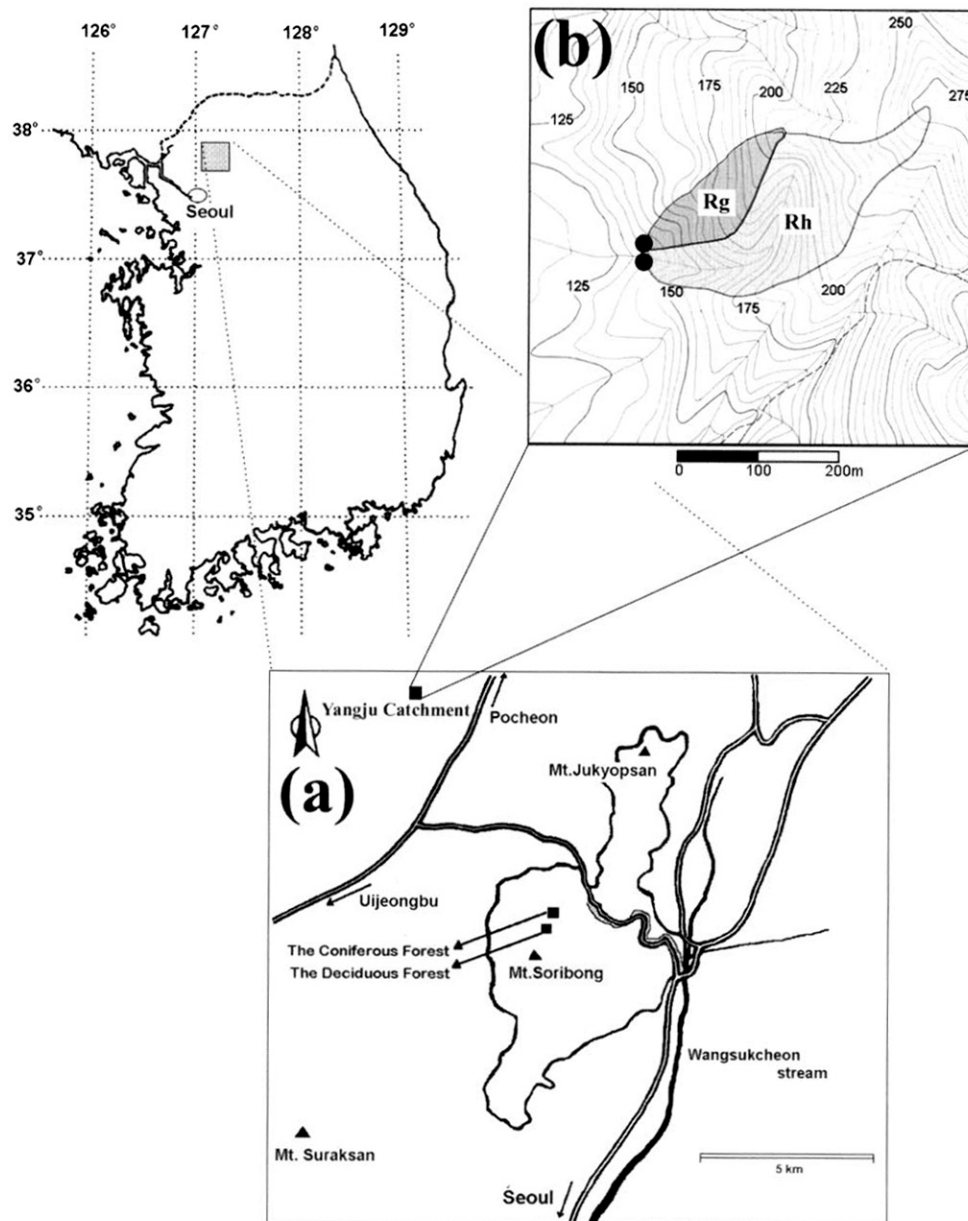


Figure 1. Location (a) and topography (b) of Yangju catchment. Rg and Rh mean regrowth and rehabilitation catchments respectively. ● in topography indicates gauging weirs and hydrological observation stations.

Table 1. Description of regrowth and rehabilitation catchments.

Catchment	Area(ha)	Elevation(m)	Slope(°)	Bed rock	Soil texture
Regrowth	1.01	135-210	20(18-25)	Granite	Sandy loam
Rehabilitation	4.23	135-275	28(20-40)	Granite	Sandy loam

합하여 물시료가 채수된 3회의 강우사상에 대해 부유물질 농도, 전기전도도, pH 분석을 실시하였다. 분석에 이용한 3회의 강우사상과 유출 특성을 Table 2에 나타내었고 각 강우사상에서 나타난 부유물질농도, 전기전도도, pH의 최고치와 최저치를 Table 3에 나타내었다. Figure 2에서 6은 각 강우사상에 의해 나타난 유출량, 부유물질농도, 전기전도도, pH의 유역별 변화를 나타내었다. event 1의 경우 기

기이상으로 인해 사방지 혼효림에서 채수가 되지 않아 개별 재생림유역에 대해서만 분석을 실시하였다.

### 1. 강우-유출 특성

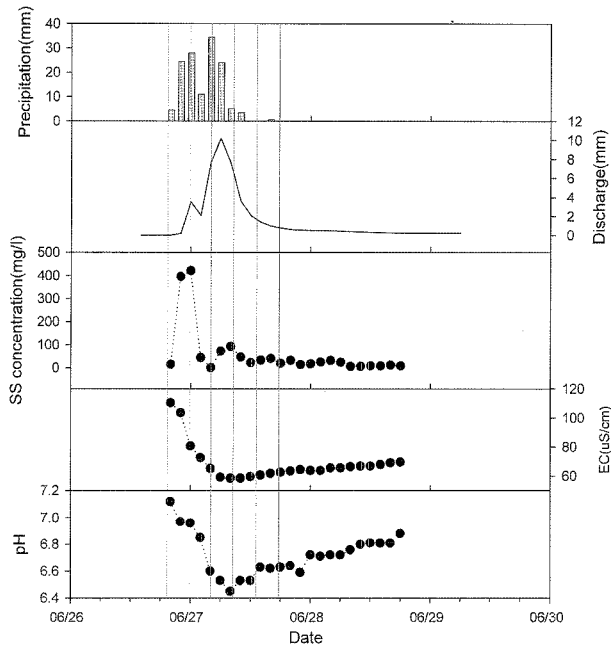
관측된 강우사상 중에서 event 1의 강수량이 135.5 mm로 가장 많았으며 선행강수량은 3.0 mm로 가장 적었다. 총강우시간이 22시간이며 중간에 비가 내리지 않는 시간

**Table 2. Event data for watershed obtained in 2005.**

Event	Date	Precipitation (mm)	Antecedent Precipitation Index, API <sub>10</sub> (mm)	Maximum rainfall intensity (mm/2hr)	Discharge before event (mm/2hr)		Maximum discharge (mm/2hr)	
					Rg	Rh	Rg	Rh
1	26-28 June	135.5	3.0	34.5	0.01	-	10.2	-
2	8-10 July	41.0	140.0	11.5	0.11	0.04	1.25	1.29
3	24-26 August	96.0	32.5	28.0	0.12	0.03	5.68	5.04

**Table 3. SS concentration, EC and pH for observed event obtained in 2005.**

Event		SS Concentration (mg/l)		EC (μS/cm)		pH	
		Rg	Rh	Rg	Rh	Rg	Rh
1	min.	0.59	-	58.4	-	6.45	-
	max.	420.89	-	110.3	-	7.12	-
2	min.	0.26	0.28	45.4	13.8	6.92	6.25
	max.	122.90	43.63	75.4	73.3	8.77	8.14
3	min.	2.10	0.06	40.2	43.6	6.76	6.31
	max.	212.80	58.24	74.3	63.4	7.06	6.97



**Figure 2. Observed precipitation, discharge, SS concentration, EC and pH of event 1 in the regrowth catchment.**

이 4시간에 달했으며 최대유출량은 강우 개시 후 12시간 경과시에 나타났다. event 2는 event 1과는 반대로 선행강수량은 140.0 mm로 가장 많았으나 총강수량은 41.0 mm로 가장 적어 최대유출량이 두 유역 모두 가장 적었다. 각 강우사상에서 강우기간 중 침투유출량은 event 3의 경우 1차례만 나타난 반면 event 1과 2는 2차례 이상 나타났다. 최대유출량은 선행강수량의 영향보다는 각 강우사상의 총강수량에 영향을 더 많이 받았다.

사방지 혼효림유역에 비해 개별 재생림유역이 강우에 대한 유출반응이 민감하여 침투유출이 일찍 나타났는데 이는 개별 재생림유역이 사방지 혼효림유역에 비해 토심

이 얇고 토양이 발달하지 못해 지하수대를 통한 기저유출 기여도가 낮기 때문인 것으로 판단된다.

## 2. 전기전도도와 pH 변화

모든 강우사상에서 계류수 전기전도도의 변화는 유출량이 증가하기 전에 최고치를 나타내고 유출이 증가하면서 낮아지기 시작하여 침투유출시에 최저치를 나타내었다. 이는 유출량 변화시 계류수 전기전도도의 전형적인 경향으로 증수부에서 급격하게 낮아져 침투유출시에 최저치에 도달한 후 유출량이 감소하면서 전기전도도가 서서히 증가한다. 이러한 경향은 Missouri주의 Meramec강에서 2000년의 홍수기에 전기전도도 변화양상을 관측한 선행 연구결과와 일치하는 것으로 홍수유출이 시작되기 전의 전기전도도에 비해 침투유출시의 전기전도도가 약 10 배 낮았다고 보고한 바 있다(Winston and Criss, 2002).

전기전도도 최대치는 개별 재생림유역에서만 측정된 event 1의 110.3 μS/cm을 제외하고는 총강우량, 최대강우강도, 선행강우량이 달랐던 event 2와 event 3에서 거의 비슷하게 나타났다. 최저치는 개별 재생림유역은 event 3에서 40.2 μS/cm, 사방지 혼효림유역은 event 2에서 13.8 μS/cm로 나타났다. event 2에서 사방지 혼효림유역의 전기전도도 최저치가 13.8 μS/cm이 나타난 것은 선행강수량이 가장 많아 지하수대를 통한 기저유출의 기여가 높았기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 개별 재생림유역에서 event 2의 전기전도도 최저치가 다른 강우사상에 비해 낮게 나타나지는 않았지만 전기전도도 최저치와 최고치의 편차가 가장 작은 것으로 판단할 때 선행강우의 영향이 있는 것으로 보인다.

각 강우사상에서 전기전도도가 사방지 혼효림유역에 비해 개별 재생림유역에서 더 높은 것으로 나타났는데, 이

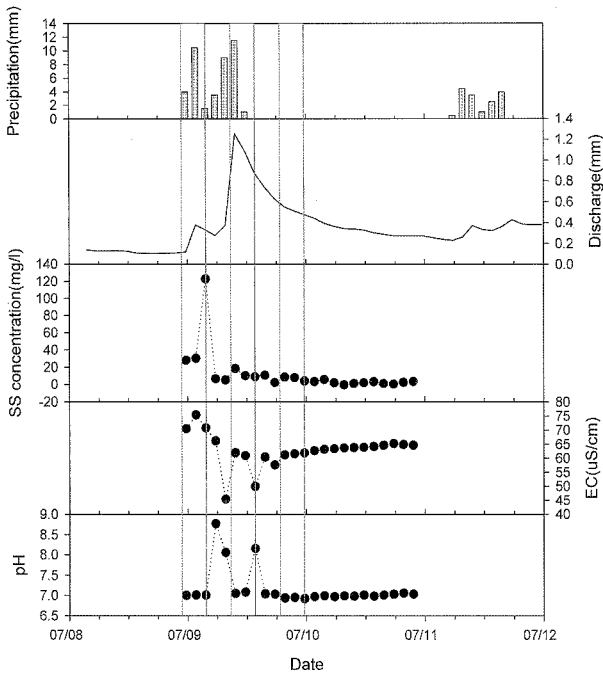


Figure 3. Observed precipitation, discharge, SS concentration, EC and pH of event 2 in the regrowth catchment.

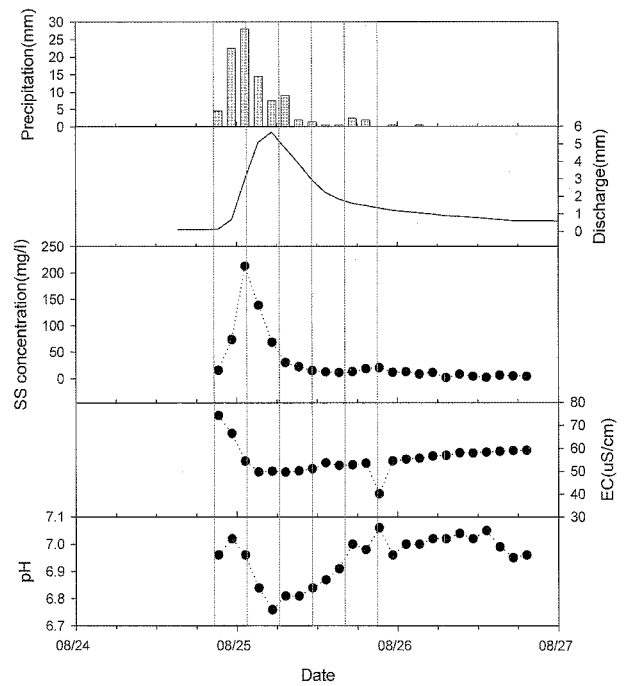


Figure 5. Observed precipitation, discharge, SS concentration, EC and pH of event 3 in the regrowth catchment.

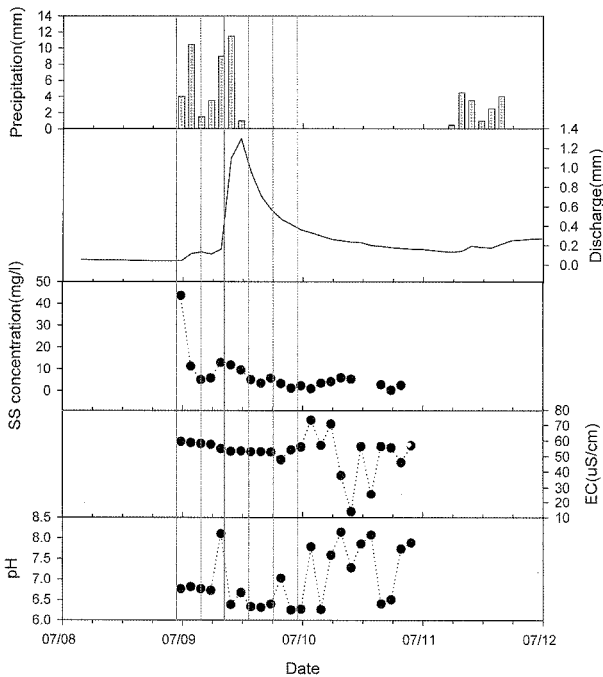


Figure 4. Observed precipitation, discharge, SS concentration, EC and pH of event 2 in the rehabilitation catchment.

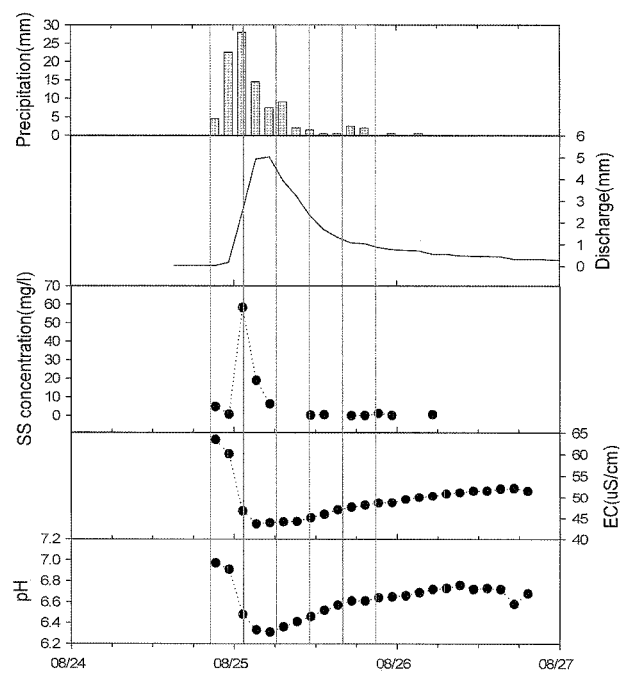


Figure 6. Observed precipitation, discharge, SS concentration, EC and pH of event 3 in the rehabilitation catchment.

는 개별로 인해 산림토양이 교란되어 용존이온물질이 더 많이 유출되는 것으로 판단된다. 평시 유출시에 측정된 전기전도도의 범위도 개별 재생림유역은 58.9~79.7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 사방지 혼효림유역은 47.4~64.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 개별 재생림유역이 더 높게 나타났다. 김수진 등(2004)이 2003년도에 강우유출시 개별 재생림유역에서 관측한 계류수의 전기전도도에 대한 선행연구와 비교했을 때 전기전도도의 범위

는 비슷하였으나 전기전도도 최저치가 나타나는 시기는 본 연구에서 침두유출시에 나타난 것과는 달리 침두유출시보다 5~11시간 정도 늦게 나타나는 경향을 보여 이에 대해 추가적인 관측이 필요할 것으로 생각된다.

유출량에 대한 pH 변화도 전기전도도 변화와 같은 경향을 보이고 있었는데 전기전도도의 최저치가 나타난 침두유출시에 pH도 최저치를 보였다. 하지만 낮아진 pH도

유출량이 감소하면서 높아지기 시작하여 유출초기의 pH로 환원되는 경향을 보였다.

3. 부유물질농도 변화

Figure 7에서 11은 각 강우사상에서 부유물질농도와 유량과의 관계를 유역별로 나타내었다. 연구유역에서 유량에 따른 부유물질농도는 대부분 시계방향의 이력현상을 나타내었다. 즉, 부유물질농도는 유출량이 증가하기 시작하면서 높아져 최고농도를 나타낸 후 침투유출에 도달하기 전인 증수부에서 낮아지기 시작하였다. 이는 열대우림 지역인 Bukit Tarek 수문 시험지에서 부유물질농도가 유출량의 증가와 함께 급격하게 높아지고 침투유출이 나타나기 전에 부유물질의 최고농도가 나타났다는 선행 연구결과와 일치하는 것이다(Sammori et al., 2004).

유량과 부유물질농도와의 관계는 대부분 이력현상을 나타내는데 이러한 이력현상에 있어서 반시계방향의 이력

현상은 일반적으로 주요 유출형성지역으로부터 퇴적물 공급처와의 거리가 멀거나 홍수파의 속도와 부유토사를 운반하는 평균유속의 차이로 설명될 수 있다. 반면 시계방향의 이력현상은 침투유출이 나타나기 전에 부유물질로 공급될 수 있는 침전물의 소진 등으로 설명된다(Williams, 1989). 이러한 이력현상의 크기는 총강수량, 선행강수량, 강우강도에 따라 달라진다.

Event 1에는 2차례의 유량 침두가 나타나고 있는데 첫 번째 유량 침두시 부유물질농도가 상승하면서 최대치에 이르고 두 번째 더 높은 침두유출시에는 부유물질농도가 유량변화를 따라 일시적으로 증가했다가 감소하는 형태를 보이고 있다(Figure 2와 7). Event 2의 경우 사방지 혼효림유역에서는 유량증가 초기에 나타난 최대치 이후에 시계 방향의 이력현상이 나타났으나 개별 재생림유역에

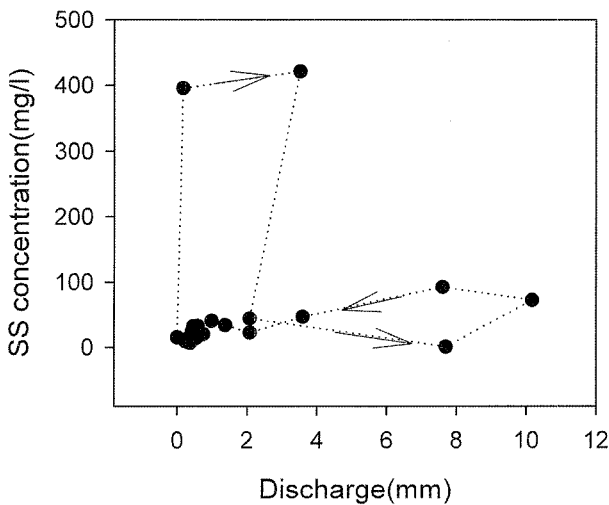


Figure 7. Relationship between discharge and SS concentration of event 1 in the regrowth catchment.

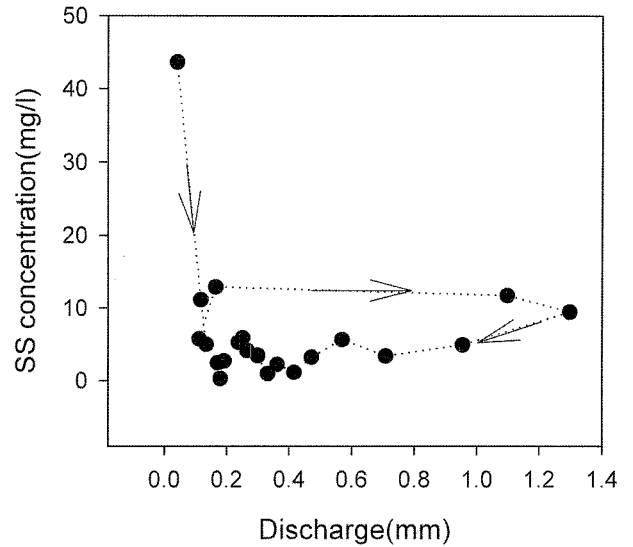


Figure 9. Relationship between discharge and SS concentration of event 2 in the rehabilitation catchment.

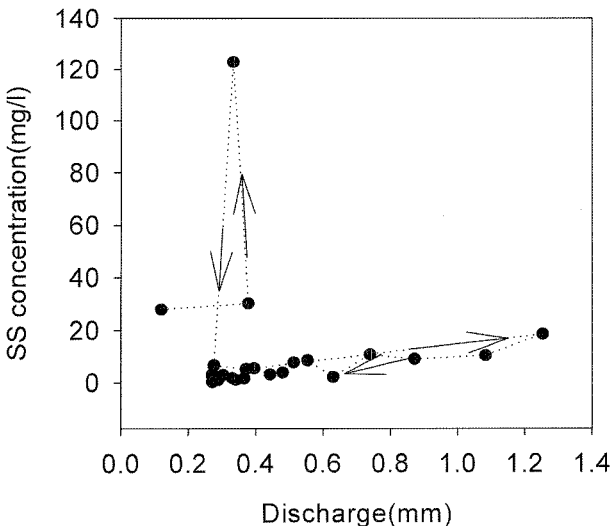


Figure 8. Relationship between discharge and SS concentration of event 2 in the regrowth catchment.

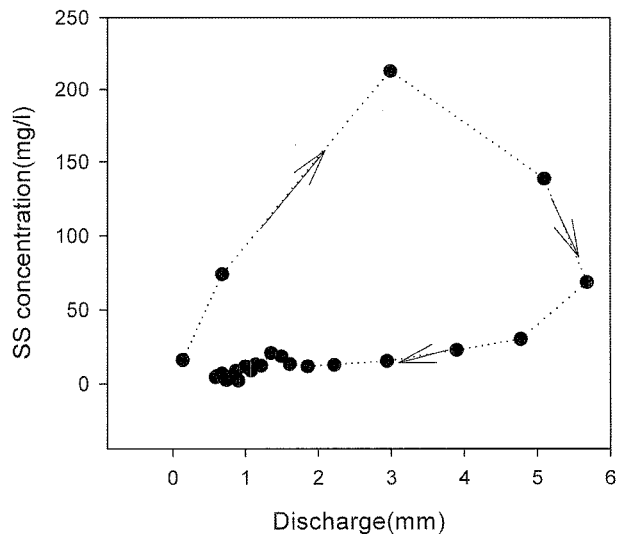


Figure 10. Relationship between discharge and SS concentration of event 3 in the regrowth catchment.

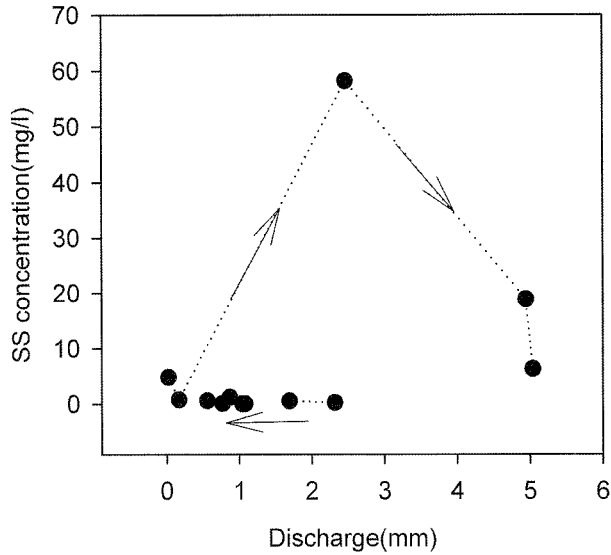


Figure 11. Relationship between discharge and SS concentration of event 3 in the rehabilitation catchment.

서는 뚜렷한 경향이 보이지 않았다(Figure 8과 9). Event 3은 유량곡선이 다른 강우사상에 비해 복잡하지 않게 한번의 침투유출만 나타나 이력현상을 가장 잘 보여주고 있는데 두 유역 모두에서 큰 규모의 시계 방향 이력현상이 명확하게 나타났다(Figure 10과 11).

강우와 유출특성과 부유물질농도의 관계를 고찰한 결과 총강수량이 많고 강우강도가 높을 경우에 부유물질농도가 높은 것으로 나타났으며 최대유출량과도 밀접한 관계가 있었다. 박종관(1994)은 강우량이 많을수록 증수시와 감수시에 이력효과가 뚜렷하게 나타나며 총강수량과 부유토사유출량간에 높은 상관관계가 있다고 하였다. 모든 강우사상에서 개별 재생림유역 계류수의 부유물질농도가 사방지 혼효림유역에 비해 2.8~4.3배 높은 것으로 나타났는데 이는 개별에 의한 토양침투능과 지표유출량의 차이에 기인하는 것으로 황폐지를 복구한 사방지 혼효림유역의 경우 식생이 활착되어 수원함양기능을 보이고 있으나 개별 재생림유역의 경우 현재까지도 개별의 영향으로 인해 토심이 얇고 토양의 저류능도 작아 쉽게 포화되어 지표유출이 증가하면서 부유물질농도가 높아지는 것으로 판단된다.

### 결론

강우시 유출량의 변화에 따른 계류수질 변화 특성을 파악하고 사방지에서 개별이 계류수질에 미치는 영향을 구명하기 위해 2005년 6월부터 9월까지 황폐지를 복구한 경기도 양주 개별 재생림유역과 사방지 혼효림유역에서 강우사상시에 계류수의 부유물질농도, 전기전도도, pH 변화를 분석하였다.

계류수 전기전도도는 강우에 의한 유출증가가 나타나기 전에 최고치를 나타내고 증수부로 가면서 낮아져 침투유출시에 최저치를 보인 후 다시 평시수준으로 증가하였다. pH도 침투유출 때 최저치를 보였으며 유량이 평시수준으로 감소하면 유량과 반대로 높아지기 시작하여 유출초기의 pH로 환원되는 경향을 보였다. 유량에 따른 부유물질농도는 대부분 시계방향의 이력현상을 나타내어 부유물질농도가 유출량의 증가가 시작되면서 급격하게 높아져서 최고농도를 나타낸 후 침투유출에 도달하기 전인 증수부에서 낮아지기 시작하였다. 총강수량이 많고 강우강도가 높을 경우에 부유물질농도가 높은 것으로 나타났으며 최대유출량과도 밀접한 관계가 있었다.

모든 강우사상에서 개별 재생림유역 계류수의 부유물질농도가 사방지 혼효림유역에 비해 2.8~4.3배 높았으며 전기전도도도 사방지 혼효림유역에 비해 개별 재생림유역에서 더 높게 나타났는데, 이는 개별에 의해 교란된 산림토양의 영향이 현재까지도 나타나는 것이라 판단된다. 즉, 개별에 의한 토양침투능과 지표유출량의 차이에 기인하는 것으로 황폐지를 복구한 사방지 혼효림유역의 경우 식생이 활착되어 수원함양기능을 보이고 있으나 개별 재생림유역의 경우 현재까지도 개별의 영향으로 인해 토심이 얇고 토양의 저류능도 낮아 쉽게 포화되어 지표유출이 증가하면서 부유물질농도가 높아지는 것으로 판단된다.

### 인용문헌

1. 김수진, 정용호, 김경하, 정창기, 전재홍, 유재윤. 2004. 황폐복구지의 강우유출이 계류수의 전기전도도 및 주요 음이온의 단기변화에 미치는 영향. 한국임학회지 93(7): 464-470.
2. 김진관, 양동윤, 김주용, 박종관. 2004. 유량-탁도 관계를 이용한 산지 소하천에서의 토사유출량 산정에 관한 연구. 한국지형학회지 11(3): 25-36.
3. 박종관. 1994. SRC Method에 의한 산지 소유역의 부유토사 유출량 산정. 한국지형학회지 1: 17-31.
4. 안영상, 조희두, 오광인, 채정기, 전근우. 2003. 산림 소유역에 개설된 입도가 부유토사량 변화에 미치는 영향. 한국임학회지 92(1): 19-26.
5. 정용호, 김경하, 정창기, 전재홍, 유재윤. 2004. 산림소유역에서 산불이 계류 수량 및 수질에 미치는 영향. 한국임학회지 93(7): 446-452.
6. 정용호, 박재현, 윤호중, 김경하. 2000. 전나무림, 잣나무림 유역에서 산림의 수질정화기능에 미치는 산림사업 영향(III) -임의우, 수관통과우, 수간류의 pH와 전기전도도를 중심으로-. 한국임학회지 89(2): 223-231.
7. 허우명, 권상용, 김영길, 이원호, 김범철. 2005. 용담호 소유역별 인 및 부유물질 유입부하량 산정. 한국육수학회지 38(3): 322-333.
8. Kunze, M.D. and J.D. Stednick. 2006. Streamflow and

- suspended sediment yield following the 2000 Bobcat fire, Colorado. *Hydrological Processes* 20: 1661-1681.
9. Ryan, P.A. 1991. Environmental effects of sediment on New Zealand streams: a review. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 25: 207-221.
10. Sammori, T., Z. Yusop, B. Kasran, S. Noguchi and M. Tani. 2004. Suspended solids discharge from a small forested basin in the humid tropics. *Hydrological Processes* 18: 721-738.
11. Whitehead, P.G., S. Bird., M. Hornung., J. Cosby., C. Neal. and P. Paricos. 1988. Stream acidification trends in the Welsh Uplands-A modelling study of the Llyn Brianne catchments. *Journal of Hydrology* 101: 191-212.
12. Williams, G.P. 1989. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. *Journal of Hydrology* 111: 89-106.
13. Winston, W.E. and R.E. Criss. 2002. Geochemical variations during flash flooding, Meramec River basin, May 2000. *Journal of Hydrology* 265: 149-163.
- 

(2006년 10월 12일 접수; 2006년 11월 8일 채택)