

성숙임목수확벌채가 토양의 화학성분과 계류수질에 미치는 영향

박재현 · 우보명* · 김우룡** · 안현철** · 김재수***

임업연구원 임지보전과 · 서울대 산림자원학과* ·

진주산업대 산림자원학과** · 충북대 산림과학부***

적 요: 이 연구는 성숙활엽수림 개별수확지에서 벌채로 인한 토양의 화학성분 및 계류수질에 미치는 영향을 구명할 목적으로 1993년부터 1998년까지 전남 광양 백운산 지역 천연활엽수림 벌채지(서울대학교 농업생명과학대학 부속 남부연습림내 제 26 임반)에서 수행하였다. 이 연구를 위하여 1993년에 벌채한 13 ha의 벌채지와 이와 연결한 비벌채지를 조사·연구대상지로 선정하였다. 이 조사지에서 1993년부터 1998년까지 토양의 화학성분과 계류수질을 측정·분석한 결과, 벌채후 1년, 2년이 경과되는 동안 전질소, 치환성 이온인 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 등은 벌채전 보다 양적으로는 감소하였으며, 벌채후 5년이 경과된 뒤에는 벌채 2년 경과후 보다 유의적으로 증가하였으나, 토양의 화학성분은 변화하지 않았다. 또한, 벌채 당해년도와 그 다음 해, 그리고 벌채후 5년이 경과되었을 때 벌채지 계류수의 BOD, pH 등은 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급 기준에 도달하였으며, Cd, Pb, Cu 등 중금속과 유기인은 검출되지 않았다. 계류수의 색도, 탁도, 냄새, 맛, NH_4^+-N , $NO_3^- -N$, 일반세균수, 대장균군 등 8개 항목은 먹는 물 수질기준에 적합하여 벌채지 인근지역 주민들이 음용수로 이용하는 데에는 영향이 없는 것으로 해석되었다. 그러나 계류수 질평가항목 중 BOD는 벌채후 1년, 2년이 경과되는 동안 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급 기준의 최고치인 1 ppm에 도달하는 등 수질이 악화될 우려가 있기 때문에 대규모 산림 벌채계획은 계류수질보전을 고려하여 시행하여야 할 것으로 생각된다.

검색어: 개별, 계류수질, 생물화학적 산소요구량, 토양화학성분

서 론

수질오염이란 인간과 인간이 만든 화학적, 물리적, 생물적 요인 및 방사능이 물을 오염시키는 것이라 정의되는데, 산림지는 가장 높은 質의 물을 생산해 낸다 (Megahan and Kidd 1975, Brown and Binkley 1994). 이러한 산림 지역에서 대규모 벌채를 시행하게 되면, 이를 위하여 필수적으로 개설되는 임도 및 운재로에는 인위적인 절토·성토사면, 노면, 측구 등이 형성됨으로써 이들 지역으로부터 토양침식이 발생된다. 이렇게 침식된 토사는 산지 계곡 주변에 퇴적되거나 계곡과 만나는 강으로 유입되어 부영양화를 일으킴으로써 수계생태를 오염시키고 수질을 변화시키게 하며, 나아가서는 계류수나 강물을 상수원으로 이용하는 주민들에게 악영향을 미치는 원인(Brooks *et al.* 1994)이 되기도 한다. 특히 벌채지역에서 토양침식의 원인이 되는 부적당한 집재작업은 운재로부터 발생되며(Fredriksen 1970, Beasley *et al.* 1986), 이로 인하여 침식된 토사의 유출·퇴적은 수질에 가장 큰 영향요인이다 (Vaughan 1984).

이와 같이 산지 계류에 수질오염을 발생시키는 요인에 대하여 U.S. Environmental Protection Agency Region and Water Division(1975)는 토성, 토양경도, 암석상태, 사면방위, 경사도, 사면침식과 사면에 따른 산사태활동, 강수량과 유출특성, 지중수조건, 표면배수량, 토양비옥도와 절토·성토사면 침식, 식생유형, 수온 등의 영향이 크다고 보고

하였다. 이러한 수질오염의 근원은 산림에서의 인간 활동에 의한 결과로(Packer 1967) 우수한 수질을 포함하여 산림으로부터 최대의 이득을 얻기 위하여는 산림유역관리자의 끊임없는 주의와 노력이 필요하다 (Fredriksen 1970, Larse 1971, Gonsior and Gardner 1971, Crown Zellerbach Corporation 1971). 아울러 산림의 벌채방식에 의하여도 수질은 보전될 수 있는데, Brown과 Binkley(1994)는 대상개벌(strip cutting) 또는 소규모 개별이 이러한 작용을 하고 있으며, 이를 위하여 상수원지역 산림의 10%이상 벌채는 지양하여야 한다고 보고하였다.

한편, 산림벌채로 인한 토양의 화학성분 변화에 관한 연구로 Alban 등(1978), Mann 등(1988), Johnson 등(1991) 등은, 산림벌채는 일시적인 유기물 손실을 유도하여 단기간에 토양의 환경을 변화시키고 장기간에는 토양생산성에 영향을 미치며, 벌채로 인한 산림토양에서의 양분유실은 N, K, Ca 등에서 현저하였다고 보고하였다. 또한, Park(1993)은 토양층 상부 50 cm의 토양산도는 벌채후 증가하는데 이는 침출(leaching)에 의한 양이온의 유실 때문이며, 벌채후 2년이 경과되어도 토양의 화학성분의 변화나 이온의 성질 변화는 없고, 벌채후 6년이 경과되어야 질소-질산태가 벌채전의 상태로 회복된다 (Park 1993, Brown and Binkley 1994)고 하였다. 그러나 Martin과 Herrmann(1998)은 벌채후 2, 3년이 경과되면 질소유출은 벌채 전으로 회복된다고 하였다.

한편, Bacumler와 Zech(1998)는 임목축적의 40% 간벌후

토양내 질소의 변화가 가장 빠르게 나타나고, 토양수에는 SiO_2 와 SO_4 의 집적이 증가하여 간벌후 토양의 화학성은 간벌전의 조건으로 1년만에 회복되었으나, 개벌의 경우에는 장시간이 소요된다고 보고하였다.

이러한 산림벌채로 인한 환경변화에 대하여 미국, 일본 등을 비롯한 선진 외국에서는 토양생산성의 변화, 야생동·식물의 변화, 식생의 천이과정을 통한 장래의 식생구조분석, 토양유기물의 유출, 수문현상 등의 장기적이고도 지속적인 환경모니터링 등의 연구를 통하여 대규모 벌채사업에 따른 악영향을 저감하기 위한 환경보전적 관점에서의 노력이 끊임없이 이루어지고 있다 (山田과 佐佐 1990, Johnson *et al.* 1991, Adams *et al.* 1991, Neal and Fisher 1992).

그러나, 현재까지 우리 나라에서는 대규모 산림벌채로 인하여 발생하는 산림환경변화에 미치는 영향에 관한 연구는 미진한 상태에 있으며, 최근 강조되는 환경보전문제를 고려해 볼 때 이에 대한 기초적이고도 종합적인 연구는 시급한 상황에 있다. 따라서 이 연구는 대규모 벌채로 인한 환경변화가 토양의 화학성분 및 계류수질에 미치는 영향을 수량화함으로써 대규모 벌채사업에 대한 환경영향을 저감하기 위한 대책과 지속적 산림경영을 위한 성숙임목수확계획에 활용할 수 있는 과학적 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

연구대상지의 개황

이 연구는 영림계획에 의하여 1989년부터 1994년까지 약 200 ha의 대면적 산림을 벌채한 서울대학교 농업생명과학대학 부속 남부연습림(광양군, 구례군) 백운산(해발 1,217 m) 지역 중 1993년 4월에 벌채한 제 26임반의 벌채지(벌채면적 약 13 ha)와 이와 연결한 비벌채지에서 수행하였다.

이 지역의 최근 10년간 연평균강수량은 조사지 부근 답곡에서 1,927 mm인데, 강수량 중 60% 이상이 장마기간인 6~8월 중에 집중되는 집중강우 형태를 나타내고 있고 지형은 해발 800~1,000 m가 전체의 53.7%를 차지하고 있으며, 700~800 m와 1,000~1,100 m가 각각 11.8%, 12.2%를 점유하고 있다.

연구대상지는 해발 600~800 m에 위치하고 경사도는 북사면이 남사면보다 급하고, 연구대상지인 비벌채지가 $27.5(20.0\sim 35.0)^\circ$, 벌채지가 $27.5(25.0\sim 30.0)^\circ$ 이었으며, 파리봉을 최고봉으로 하여 주계류는 섬진강으로 향하고 있다. 벌채지의 유역면적은 약 30 ha이었고, 이중 수림대의 면적은 약 17 ha, 개벌면적은 약 13 ha이었으며, 천연림의 유역면적은 약 13 ha이었다.

이 연구대상지역의 대부분은 화강암 또는 편마암이며, 토양통의 분포는 행산~무등~청산 토양군이 주로 분포하고, 표고가 낮은 지역은 운곡~칠곡~안릉 토양군이 분포하며, 전체적으로 배수가 양호한 식·사양질 토양으로 특히 연구대상지 조사구의 토성은 미사질양토이었다. 지질은 중생대 백악기의 퇴적물이 선캄브리아기에 화강암의 관입으로 변

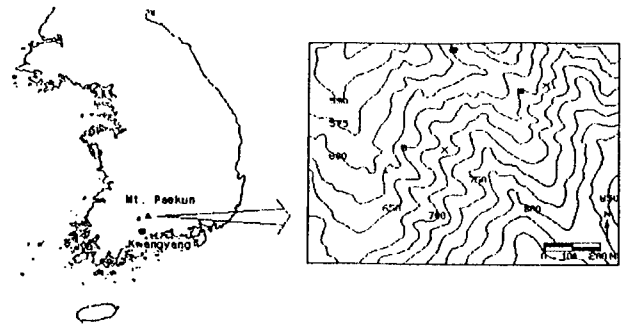


Fig. 1. Location map of sampling points for soil chemical ingredients and stream water quality (■: Harvested site, □: Non-Harvested site, ●: Upstream region of the Seomjin river, X: Soil chemical ingredients).

성된 지리산 변성복합체에 속하며, 반상변정 화강암질 편마암이 주류를 이루고 있고, 화강암은 부분적으로 분포한다. 지리적으로는 온대남부지역에 위치하고 있으며, 산림대의 수직적 분포가 잘 나타나고 식생 구성도 비교적 다양하다. 천연림 임상은 참나무류, 서어나무, 들메나무, 단풍나무류 등 낙엽활엽수가 대부분을 차지하고 있으며, 신갈나무, 고로쇠나무 등이 분포한다. 남사면에는 신갈나무, 고로쇠나무, 때죽나무, 비목나무, 느티나무 등이, 북사면에는 신갈나무, 고로쇠나무, 노린재나무, 물푸레나무 등이 분포한다 (환경처 1991). 조사·연구대상지인 제 26임반의 천연림 식생은 교목층에서는 졸참나무, 서어나무가 우점종을 이루며, 비목나무, 노각나무는 수반종을 이루고, 계곡부에는 졸참나무와 서어나무가 발달하고 있다.

이 연구대상지에서 실행한 벌채작업방법은 2명이 1개조로 인력작업하였으며, 1명은 기계톱(chain saw)을 이용하여 성숙임목을 벌채하여 가지치기한 후 2 m 간격으로 작동하고, 1명은 벌목을 산지사면의 하부방향으로 굴러놓고 운재로에 집제하면서 가능하면 낙엽층 등 임지에 대한 피해가 적도록 하였다. 벌채계획은 1993년 4월부터 5월초까지 산정부의 7~8부 능선(나비 10~80 m)과 계곡부(나비 10~20 m), 그리고 2~3부 능선(나비 150~200 m)에 수림대를 남기고 수령 30년에서 70년생(DBH 30~50 cm)의 성숙임목을 개별하였다. 계곡부의 수림대는 고로쇠나무의 보호를 목적으로 하였고, 능선 주위는 경관보존을 위하여, 그리고 2~3부 능선의 입도가 통과하는 상부지역의 수림대는 입도의 보호와 자연훼손면적을 최소화할 목적으로 남겨 놓았다. 운재로는 수확된 임목의 반출을 주목적으로 하여 개설되었으며, 평균노폭은 약 4.5 m이었고, 절·성토사면 및 노면 등에 침식 및 토사유출 감소시설 등이 거의 설치되지 않았다. 수확된 임목의 반출은 8 톤 트럭을 이용하여 1994년 5월에 완료하였고, 운재로의 노면에는 1995년 4월에 잣나무 묘목을 조림하였다. 연구대상지에서 토양의 화학성 조사 및 계류수질 측정위치는 Fig. 1에서와 같다.

비벌채지와 벌채지 토양의 화학성분분석

토양의 화학성분 분석은 벌채전인 1993년 3월 조사지역 내에서 토양채취지점을 선정하고 그 지역에서 A층 토양을 3반복하여 500gram씩 채취하고 벌채후 3, 4년이 경과한 1996년, 1997년과 토양이 얼어 조사가 곤란한 동계기간을 제외하고 선정된 지점 인근에서 동일한 방법으로 계절별로 채취·분석하였다. 이때 Total-N은 Semi-Micro Kjeldahl 방식을 이용하여 측정하였다. 유기물의 측정은 Walkley-Black 과정법을 이용하였고, 유효인산은 Bray-I 용액으로, 치환성 이온인 K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ 등은 Atomic Absorption Spectrophotometer를 사용하여 측정하였다. 벌채후에는 계절별로 동일하게 측정·분석하였다.

비벌채지, 벌채지 유역에서의 계류수질

1993년에 성숙임목을 벌채수확한 벌채지와 비벌채지의 계류수질에 대하여 제 26임반 벌채지와 이와 연결한 비벌채지(천연림) 유역, 그리고 인근 농지나 마을(도장동, 중한치)로부터 영향을 받지 않는 지역인 섬진강으로 유입되는 계류수는 계절별로 1회 계류를 횡단하여 3지점에서 채수 혼합하여 4씩 한 개의 시료로 채수하고, 수질오염의 지표인 pH, BOD 등 2개 항목과 여기에 기계톱 등 벌채작업으로 유출될 수 있는 Cd, Pb, Cu 등 3개 항목과 유기인을 합한 6개 항목에 대하여 계류수의 화학성분을 분석하였다(환경처 1983). 또한, 연구대상유역 계류수의 음용수 여부를 설명하는 자료로 이용하기 위하여 색도, 탁도, 냄새, 맛, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, 일반세균수(1 cc 중), 대장균군(50 cc 중) 등 8개 항목을 포함한 총 15개 항목에 대하여 수질분석하였다(성문기술 1995).

결과 및 고찰

비벌채지와 벌채지 토양의 화학성분 변화

산림토양내 양료는 공급과 손실에 있어서 균형이 필요하며, 산불, 병충해, 폭풍, 벌채, 방목 등과 같은 자연적 또는 인위적인 활동에 의해 그 균형이 깨어지는데, 조사기간 동안 비벌채지와 벌채지에서 토양의 화학성분 분석결과를 평균한 값은 Table 1에서와 같다.

벌채전 산림토양의 토양산도는 5.04로 산성 토양이었으

며, 유기물함량은 16.06%, 총질소는 0.78% 이었다. 유효인산은 137.42 ppm으로 일반 산림토양보다 높은 값을 나타내었다. 또한 양이온치환용량은 17.93 me/100 g, K⁺는 0.86 me/100 g, Na⁺는 0.15 me/100 g, Ca²⁺는 4.67 me/100 g 이었으며, Mg²⁺는 1.43 me/100 g 이었다.

벌채 당년도에 벌채지에서 토양산도는 벌채전 보다 높아졌는데, 이는 벌채작업으로 인한 낙엽, 낙지 등의 광물질화가 촉진되었기 때문이라 생각된다. 그러나 벌채후 1년, 2년이 경과되면서 토양산도는 벌채전보다 낮은 결과를 나타내었는데, 이는 토양유기물의 광물질화 속도가 감소되었기 때문이라 생각되나, 벌채후 5년이 경과되면서 토양산도는 벌채후 2년이 경과될 때 보다 증가하였는데, 이는 벌채지의 자연식생 회복으로 인한 토양유기물의 광물질화 속도가 증가하였기 때문이라 생각된다(Baumler and Zech 1998).

벌채로 인한 환경변화가 계류수질에 미치는 영향

생물화학적 산소요구량(BOD)의 변화 : 조사기간 동안 비벌채지와 벌채지 그리고 섬진강으로 유입되는 마을로부터 영향을 받지 않는 지역의 계류수의 BOD변화는 Fig. 2에서와 같다.

우리 나라의 하천수질 환경기준에 의한 상수원수 1급은 그 적용대상이 자연환경보존지역인 경우에는 생물화학적 산소요구량(BOD, mg/l, ppm)이 1이하이어야 하고, 상수원수 2급은 BOD가 3 이하이어야 한다(유와 서 1990). 벌채 당해년도 8월에 비벌채지 유역에서는 BOD가 평균 0.3 ppm 이었으나, 벌채지 및 벌채지와 비벌채지 유역의 물이 합류하여 섬진강으로 유입되는 계류에서는 비벌채지보다 높은 0.5 ppm이었다.

이와 같이 벌채지가 비벌채지보다 BOD가 높은 것은 산림을 벌채함으로써 발생하는 벌목찌꺼기나 토양유기물의 유출, 산지침식으로 인하여 발생된 토사가 계류에 유입되어 유기물의 상승에 기인한 결과로 생각된다. 또한 전 조사기간 섬진강으로 유입되는 계류수는 비벌채지와 벌채지의 BOD 보다 높았는데, 이는 이 지역이 벌채지와 비벌채지 유역의 합류점이기 때문에 대부분 유역으로부터 발생하는 낙엽, 낙지, 유출토사 등에 의한 질소 및 유기물 오염원이 유입되어 BOD 상승의 원인이 되었기 때문인 것으로 생각된다.

Table 1. Soil chemical ingredients at the harvested site

Category	Year	pH	Organic Matter (%)	Total N (%)	Available P ₂ O ₅ (ppm)	C.E.C. (me/100 g)	Exchangeable (me/100 g)			
							K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Before harvesting	1993	5.04	16.06	0.78	137.42	17.93	0.86	0.15	4.67	1.43
	1993	5.98	13.10	0.62	110.27	17.48	0.40	0.12	0.69	0.44
Harvested site	1994	4.58	12.30	0.34	18.27	16.50	0.27	0.07	1.49	0.98
	1995	4.31	11.21	0.41	38.40	19.58	0.19	0.22	0.98	0.17
	1998	4.65	12.21	0.45	40.46	19.60	0.20	0.25	1.22	0.55

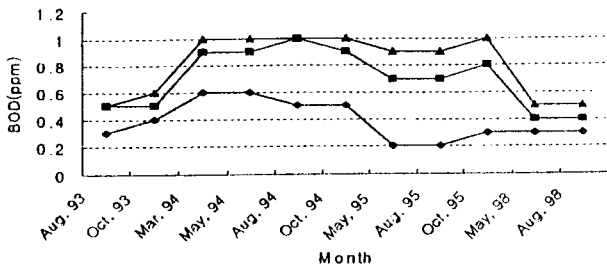


Fig. 2. Variations of BOD of the study sites from 1993 to 1998 (▲: Upstream region of the Seomjin river, ■: Harvested site, ◆: Non-Harvested site).

한편, 벌채 당해년도에 벌채지와 섬진강으로 유입되는 계류수의 BOD는 벌채전 보다 높아졌으나 비벌채지, 벌채지 그리고 섬진강으로 유입되는 계류수질은 모두 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급 기준에 도달하여 조사지역의 계류수는 자연환경보전을 위한 지역으로 수질등급의 의미상 인위적 오염이 거의 없는 물인 것으로 해석되었다. 즉, 자연환경 및 수생태계 보호상태가 양호한 수질의 유지를 목표로 하는 수질을 나타내어 여과 등 간이정수처리후 사용이 가능하기 때문에 이 계류수를 음용수로 이용하는 벌채지 인근지역 주민들에게는 산림벌채에 따른 수질오염의 피해는 없는 것으로 판명되었다.

또한, 1994년 3월 비벌채지에서 BOD는 0.6 ppm으로 1993년 8월보다는 약 0.3 ppm 만큼 증가하였으며, 10월보다는 0.2 ppm 만큼 증가하였다. 그러나 벌채 후 1년이 경과한 벌채지 계류의 BOD는 0.9 ppm으로 벌채 당해년도 보다 약 0.55(0.4~0.7) ppm이 증가하였다. 이때 섬진강으로 유입되는 계곡 상부지역에서의 계류 수질도 BOD가 1.0 ppm으로 벌채 당해년도 보다 약 0.65(0.5~0.8) ppm이 증가하였다. 즉, 벌채후 1년이 경과한 1994년 3월에는 조사대상지역의 계류수 모두 벌채 당해년도 보다 BOD는 높은 값을 나타내었는데, 이는 계류에 퇴적된 토사의 영향 및 유량의 감소에 기인한 결과 때문이라 생각된다.

또한, 1994년 5월에 BOD는 3개 조사지역 모두 3월의 조사값과 유사하였으며, 8월에 비벌채지의 BOD는 5월에 조사된 값과 유사하였으나 벌채지와 섬진강으로 유입되는 계류수의 BOD는 1.0 ppm으로 5월보다 높아졌다. 이는 엘니뇨 현상에 의한 가뭄으로 계류수의 유량 감소와 벌채지에서의 계류내 유기물의 증가에 기인한 결과 때문으로 생

각된다. 1994년 10월에 벌채지에서 BOD는 약 0.1 ppm이 감소하였으나, 비벌채지와 섬진강으로 유입되는 계류수의 BOD는 변화가 없었다. 이와 같이 벌채후 1년이 경과된 1994년에 벌채지 유역 계류수의 BOD는 약 0.85(0.7~1.0) ppm으로 수질이 악화되었으나, 이렇게 상승된 BOD의 수치는 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급 기준에 도달하여 이를 음용수로 이용하는 벌채지 인근 주민들에게는 벌채에 따른 과도한 수질악화의 영향은 적은 것으로 해석되었다.

그러나 벌채지 유역이나 섬진강으로 유입되는 계류 수질이 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급 기준의 최고치인 1 ppm에 도달되는 등 벌채 당해년도와 그 다음 해에는 계류 수질이 악화되기 때문에 이러한 수질오염을 저감시키기 위하여는 계류가 흐르는 지역에는 수림대를 조성하여 산지에서 침식되어 유출되는 토사가 계류에 유입되지 않도록 저지하여야 할 것으로 사료된다. 한편, 1995년 5월에 벌채지 유역 계류수의 BOD는 0.7 ppm으로서 전년도 5월보다 BOD는 0.2 ppm이 감소하여 수질이 회복되는 경향을 보였으며, 비벌채지 내 계류수의 경우, 전년도 5월에 비해 BOD는 0.3 ppm이 감소하여 두 유역간의 차이는 증가되었다. 그러나 벌채후 5년이 경과한 1998년 5월과 8월에 비벌채지, 벌채지, 섬진강으로 유입되는 계류수 모두 BOD는 벌채전과 유사한 값을 나타내었는데, 이는 계류수질에 대한 벌채작업의 영향이 해소되었음을 의미하는 것이다. 즉, 이와 같은 결과는 벌채후 5년이 경과되면서 백운산 벌채지에는 인위적인 간섭이 전혀 없었기 때문에 자연적인 식생회복과 함께 계류수질이 안정되어졌음을 의미하는 것이다.

수소이온농도(pH), 중금속(Cu, Pb, Cu), 유기인, 색도, 탁도, 맛, 냄새, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, 일반세균수, 대장균군의 변화 : 비벌채지와 벌채지, 그리고 농지와 마을로부터 영향을 받지 않는 섬진강으로 유입되는 계류수의 pH, 중금속(Cu, Pb, Cu), 유기인, 색도, 탁도, 냄새, 맛, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, 일반세균수, 대장균군 등 13개 항목에 대하여 수질분석한 결과는 Table 3에서와 같다.

전 조사기간 동안 Cd, Pb, Cu 등 중금속과 유기인은 검출되지 않았으며, 대장균군도 전 조사계류에서 검출되지 않았다. 또한, 색도, 탁도, 맛, 냄새, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N 등은 먹는 물 수질기준에 적합하였다. 특히 NO₃⁻-N은 벌채후 증가하였는데, 이는 Remy(1985)와 生原(1992)의 연구결과와 유사하였으나, 전 조사기간 평균값은 3개 지역 모두 1.5 mg/l를 넘지 않았다. 한편, 평균 pH는 비벌채지에서

Table 2. t-values for the mean differences in soil chemical ingredients between harvested and non-harvested sites

Variables	pH	Organic matter	Total N	Avail P ₂ O ₅	C.E.C.	Exchangeable			
						K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
t-value	-5.00	-1.19	-2.98	-1.47	-1.52	-14.23	-6.07	-7.14	-43.32
Probability	0.001**	0.269	0.017*	0.181	0.166	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**

Note: * means statistically significant at 5% level and ** stands for statistically significant at 1% level.

Table 3. The results of suitability analysis of water from 1993 to 1998, in terms of chemical properties for water source

Distribution	Year	pH	Cd	Pb	Org.P	Cu	Color	Turbi.	Odor	Taste	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Standard	
													plate count	Coliform count
			mg/l				≤5°	≤2°	Odorless	Tasteless	mg/l		1cc 100	negative in 50cc
Non-harvested site	1993	6.5	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	0.5	40	negative
	1994	6.3	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	0.6	54	negative
	1995	6.5	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	0.5	50	negative
	1998	6.5	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	0.5	40	negative
Harvested site	1993	6.5	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	0.8	70	negative
	1994	6.3	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	1.0	69	negative
	1995	6.5	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	0.8	57	negative
	1998	6.5	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	0.6	50	negative
Upstream region of the Seomjin river	1993	6.5	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	0.8	78	negative
	1994	6.3	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	0.8	79	negative
	1995	6.5	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	0.7	70	negative
	1998	6.5	0	0	0	0	1	passed	passed	passed	0	0.6	62	negative

전 조사기간 중 약 6.5를 나타내었으나, 벌채지의 계류수에서는 벌채 다음 해에 평균 6.3을 나타내었으나, 벌채후 2년이 경과된 1995년에는 6.5로, 벌채후 5년이 경과된 1998년에는 비벌채지 내 계류수와 유사한 값인 평균 6.5를 나타내었으며, 섬진강으로 유입되는 계류수에서도 벌채지 내 계류수와 유사한 경향을 나타내었다. 즉, 벌채후 계류수 pH는 차이가 거의 없었으며, 5년이 경과되는 동안 벌채지 내 계류수의 pH는 벌채전의 상태로 안정되는 것으로 분석되어, Brown과 Binkley(1994)의 연구결과와 유사하였다.

이들 13개 항목 중 산림내 계류수에서 검출되기 쉬운 일반세균(박 1995)은 벌채지에서 벌채 다음해에는 평균 69 CFU/ml이었으며, 그 다음해인 1995년에는 57 CFU/ml로 벌채 다음해인 1994년보다 낮은 값을 나타내었으나, 벌채후 5년이 경과한 1998년에는 평균 50 CFU/ml로 벌채후 시간의 경과에 따라 일반세균수가 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 벌채지에서의 식생회복에 따른 유기물 이용 등 일반세균의 먹이 공급원의 감소에 기인한 결과라 생각된다. 그러나 비벌채지 내 계류수에서는 전 조사기간 동안 평균 46 CFU/ml로 먹는 물 수질기준에 적합한 것으로 나타났다. 한편, 마을로부터 영향받지 않는 섬진강으로 유입되는 계류수에서는 전 조사기간 동안 평균 약 72 CFU/ml로 비벌채지와 벌채지 내 계류수보다 높은 값을 나타내었는데, 이는 벌채로 인하여 발생하는 침식토사의 유입 등 세균이 서식하기에 좋은 환경조건이 이루어졌기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 이들 값들은 모두 먹는 물 수질기준의 범위 내의 값이었다. 즉, USDA Forest Service(1990)는 수림대가 없는 개별지역에서는 수림대가 있는 지역보다 계류수질은 악화된다고 하였는데, 이 연구에서도 이와 유사한 결과를 나타내어 계류수질보전을 위하여는 수림대가 중요하다고 생각된다.

또한, 벌채로 인하여 교란된 토양에서는 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, 유효인산, 치환성이온 등 토양의 양료가 강수에 의하여 쉽게 유출되어 계류에 유입되기 때문에 계류수질을 변화시키는 요인으로 작용하는데(Packer 1967, Brown and Binkley 1994), 이 연구에서는 양료유출에 대한 영향은 파악하지 못하였다. 따라서 양료의 유출로 인한 계류수질변화의 메커니즘은 벌채작업으로 인한 계류수질 변화의 파악에 중요한 영향을 미치므로 이에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

인용문헌

박재현. 1995. 산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰(I). 자연보존 92: 23-38.
 성문기술. 1995. 수질오염공정시험방법. 439 p.
 유순호, 서운수. 1990. 우리나라 농업용수의 수질과 토양오염 실태. "환경오염과 농업에 관한 국제심포지움"에서 pp. 96-111.
 이천용. 1992. 산림환경토양학. pp. 1-80.
 환경처. 1983. 수질분석시험.
 환경처. 1991. '91 자연생태계 지역조사-광양 백운산 조사-. 235 p.
 中野秀章. 1971. 森林伐採および伐跡地の植被變化が流出に及ぼす影響. 林試研報 240: 1-251.
 山田健, 佐佐木尚三. 1990. 機械導入跡地における土壤攪亂. 第101回日林論. pp. 667-668.
 生原喜久雄. 1992. 森林土壤水の溶存養分の動態. 森林土壤の無機元素の動態と土壤溶液中での移動特性に関する研究報告書. pp. 8-14.
 Adams, P.W., A.L. Flint and R.L. Fredriksen. 1991.

- Long-term patterns in soil moisture and revegetation after a clearcut of a Douglas-fir forest in Oregon. *Forest Ecology and Management* 41: 249-263.
- Alban, D.H., D.A. Parala and B.E. Schlaegel. 1978. Biomass and nutrient distribution in aspen, pine and spruce stands on the same soil type in Minnesota. *Canadian Journal of Forest Research* 8: 290-299.
- Baumler, R. and W. Zech. 1998. Soil solution chemistry and impact of forest thinning in mountain forests in the Bavarian Alps. *Forest Ecology and Management* 108: 231-238.
- Beasley, R.S., A.B. Granillo and V. Zillmer. 1986. Sediment losses from forest management: Mechanical versus chemical site preparation after clearcutting. *Journal of Environmental Quality* 15: 413-416.
- Brooks, K.N., P.F. Ffolliott, H.M. Gregersen and J.L. Thames. 1994. Hydrology and the management of watersheds. 392 p.
- Brown, T.C. and D. Binkley. 1994. Effect of management on water quality in North American forests. *In* United States Department of Agriculture Forest Service, General Technical Report RM-248. pp. 1-27.
- Crown Zellerbach Corporation. 1971. Environmental guide, northwest timber operations. 32 p.
- Fredriksen, R.L. 1970. Erosion and sedimentation following road construction and timber harvest on unstable soils in three small Oregon watersheds. Research Paper PNW-104. USDA Forest Service, 15 p.
- Gonsior, M.J. and R.B. Gardner. 1971. Investigation of slope failures in the Idaho Batholith. Research Paper INT-97. USDA Forest Service, 34 p.
- Johnson, C.E., A.H. Johnson and T.G. Siccama. 1991. Whole-tree clearcutting effects on exchangeable cations and soil acidity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 502-508.
- Larse, R.L. 1971. Prevention and control of erosion and stream sedimentation from forest roads. Proceedings of a symposium on forest land uses and environment. Oregon State University.
- Mann, L.K., D.W. Johnson and D.C. West. 1988. Effects of whole-tree and stem-only clearcutting on postharvest hydrologic losses, nutrient capital, and regrowth. *Forest Science* 34: 412-428.
- Martin, E.L. and R.B. Herrmann. 1998. Harvest impacts on forest outflow in coastal North Carolina. *Journal of Environmental Quality* 27: 1382-1395.
- Megahan, W.F. and W.J. Kidd. 1975. Effects of logging roads on sediment production rates in the Idaho Batholith. Research Paper INT-123. USDA Forest Service.
- Neal, C. and R. Fisher. 1992. The effects of tree harvesting on stream-water quality at an acidic and acid-sensitive spruce forested area: Plynlimon, mid-Wales. *Journal of Hydrology* 135: 305-319.
- Packer, P.E. 1967. Criteria for designing and locating logging roads to control sediment. *Forest Science* 13: 2-18.
- Park, H. 1993. Timber harvesting impacts on aspen productivity on two contrasting soils in Northwestern Wisconsin. Ph. D. Thesis. University of Wisconsin, 61 p.
- Remy, J.C. 1985. Quelques 1 ments pour une amelioration de la question desx fertilisants. *In* F.P.W. Winteringham (ed.), Environment and Chemicals in Agriculture. Proceeding of Symposium, Dublin.
- U.S. Environmental Protection Agency Region and Water Division. 1975. Logging roads and protection of water quality. EPA 910/9-75-007. 313 p.
- USDA Forest Service. 1990. Vegetation strips control erosion in watersheds. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station Research Note 499: 1-5.
- Vaughan, L. 1984. Logging and the environment. N.Z. Logging Industry Research Association. 73 p.

(1999년 3월 24일)

The Effects of Timber Harvesting on Soil Chemical Ingredients and Stream Water Quality

Park, Jae-Hyeon, Bo-Myeong Woo*, Oue-Ryong Kim**,
Hyun-Chul Ahn** and Je-Su Kim***

Korea Forest Research Institute, Seoul, 130-012, Korea

*Dept. of Forest Resources, Seoul National University, Suwon, 441-744, Korea**

*Chinju National University, 660-280, Korea***

*Chungbuk National University, Cheongju, 360-763, Korea****

ABSTRACT: The effects of clearcutting on soil chemical ingredients and stream water quality have been investigated at a natural deciduous forest catchment within the Seoul National University Research Forest in Mt. Paekun, Chunnam province during the periods of 1993 to 1998. Soil chemical ingredients and stream water qualities were monitored at a 13 ha clearcutting site and a non-treatment site nearby. During the first and second years after harvesting, the levels of total-N, and exchangeable ions (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) decreased compared to the values of before harvesting. During the fifth years after harvesting, these levels were significantly higher than those during the first and second years after harvesting. But the chemical characteristics of soil were not changed at all. pH of water in the harvesting area was 6.5 in stream water. Among the nutrients, Cd, Pb, Cu, and phosphate were not found, and the level of BOD reached at the level of the domestic use suitable for drinking. Turbidity, odor, taste, NH_4^+-N , NO_3^--N , standard plate count, and coliform were also low enough to be used as the domestic use for drinking by the near villagers. During the first and second years after harvesting, BOD increased to about 1 ppm. For that reason, the harvesting planning should be built in the harvesting area in consideration of the control of water quality in the stream.

Key words: BOD, Clearcutting, Soil chemical ingredients, Stream water quality
