

白雲山 成熟闊葉樹林 皆伐收穫地에서 伐出直後의 環境變化¹

朴 在 錄²

Environmental Changes after Timber Harvesting in (Mt.) Paekunsan¹

Jae-Hyeon Park²

要 約

이 연구는 成熟闊葉樹林 皆伐收穫地에서 伐採로 인한 山林環境變化量을 조사하여 山林環境을 構成하는 인자들에 미치는 伐出의 영향을 定量的으로 分析함으로써, 山林環境에 미치는 林木收穫作業의影響을 究明할 목적으로 1993년부터 1994년까지 全南 光陽 白雲山 地域 天然闊葉樹林 伐採地(서울大學 農業生命科學大學 附屬 南部演習林內 第 26林班)에서 수행되었다. 이 연구를 위하여 1993년에 벌채한 13ha의 伐採地와 이와 연접한 非伐採地, 그리고 伐採地에開設한 약 2.6km의 運材路를 調査·研究對象地로 선정하였다. 이 研究地에서 1993년부터 1994년까지 植生, 土壤微小動物, 降水量, 土壤의 理化學成分, 表面流出水量, 溪流水質, 山地斜面 浸蝕量 등을 測定·分析하여 얻은 結果를 要約하면 다음과 같다.

伐採後 2년간 下層植生의 種數와 種多樣度指數는 증가하였으며, 종구성 상태는 非伐採地와 相異하였다. 또한, 伐採地 土壤에서 容積密度와 土壤硬度는 增加하였으며, 이期間 동안 伐採地에서 土壤有機物, 全窒素, 有效磷酸, 양이온置換容量, 置換性이온인 K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ 등은 伐採前보다 감소하여 토양의 緩衝能力은 감소하는 것으로 解析되었다. 伐採地의 土壤微小動物中 特특이류나 응애류의 個體數는 非伐採地보다 당년도에 平均 5배 증가하였다. 반면, 다음 해에는 伐採 당년도보다 감소하였지만, 非伐採地보다는 많은 경향을 보였다. 한편, 土壤微小動物의 变화에 有意한 영향을 미치는 주요인자는 土壤水分, 土壤의 容積密度, Mg⁺⁺ 이온, 양이온 친用량, 그리고 토양깊이 5(0~10)cm에서의 地中溫度 順이었다.

降水의 表面流出水量은 伐採 당년도에는 非伐採地보다 28%, 다음 해에는 24.5%가 증가하였다. 이期間 동안 伐採地 流域 溪流水의 BOD, COD, pH 등은 上水源水 1급 基準의 범위내였고, Cd, Pb, 有機燐, Cu 등 重金屬은 檢出되지 않았으며, 飲用水 8개 항목은 먹는 물 水質基準 1급의 범위내에 있었다. 또한, 伐採地에서 山地斜面 浸蝕量은 伐採 당년도에는 非伐採地의 0.73ton/ha/yr 보다 약 7배, 다음 해에는 非伐採地의 0.48ton/ha/yr 보다 약 2배 많은 것으로 나타났다.

이상의 結果를 종합해 볼 때, 大規模 伐出作業으로 인한 環境變化는 環境構成因子들에 영향을 미칠 뿐만 아니라 이들 영향인자들은 상호간에 밀접한 相關關係를 이루고 있음을 알 수 있다. 따라서 大規模 林木收穫計劃時에는 環境變化에 대한 영향을 고려한 殘存樹林帶 配置, 土壤浸蝕, 水質保全 등의 研究가 지속적으로 遂行되어야 할 것이다.

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the impacts of large-scale timber harvesting on the

¹ 接受 1995年 7月 27日 Received on July 27, 1995

² 서울大學 山林資源學科 Dept. of Forest Resources, Seoul Nat'l Univ., Seoul, Korea

environment of a mature hardwood forest. To achieve the objective, the effects of harvesting on forest environmental factors were analyzed quantitatively using the field data measured in the study sites of Seoul National University Research Forests [(Mt.) Paekunsan] for two years(1993-1994) following timber harvesting. The field data include information on vegetation, soil mesofauna, physicochemical characteristics of soil, surface water runoff, water quality in the stream, and hillslope erosion. For comparison, field data for each environmental factor were collected in forest areas disturbed by logging and undisturbed, separately.

The results of this study were as follows : The diversity of vegetational species increased in the harvested sites. However, the similarity index value of species between harvested and non-harvested sites was close to each other. Soil bulk density and soil hardness were increased after timber harvesting, respectively. The level of organic matter, total-N, avail P₂O₅, CEC(K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) in the harvested area were found decreased. While the population of *Colembola* spp., and *Acari* spp. among soil mesofauna in harvested sites increased by two to seven times compared to those of non-harvested sites during the first year, the rates of increment decreased in the second year. However, those members of soil mesofauna in harvested sites were still higher than those of non-harvested sites in the second year. The results of statistical analysis using the stepwise regression method indicated that the diversity of soil mesofauna were significantly affected by soil moisture, soil bulk density, Mg⁺⁺, CEC, and soil temperature at soil depth of 5(0~10)cm in the order of importance.

The amount of surface water runoff on harvested sites was larger than that of non-harvested sites by 28% in the first year and 24.5% in the second year after timber harvesting. The level of BOD, COD, and pH in the stream water on the harvested sites reached at the level of the domestic use for drinking in the first and second year after timber harvesting. Such heavy metals as Cd, Pb, Cu, and organic P were not found. Moreover, the level of eight factors of domestic use for drinking water designated by the Ministry of Health and Welfare of Korea were within the level of the first class in the quality of drinking water standard. The study also showed that the amount of hillslope erosion in harvested sites was 4.77 ton/ha/yr in the first year after timber harvesting. In the second year, the amount decreased rapidly to 1.0 ton/ha/yr. The impact of logging on hillslope erosion in the harvested sites was larger than that in non-harvested sites by seven times in the first year and two times in the second year.

The above results indicate that the large-scale timber harvesting cause significant changes in the environmental factors. However, the results are based on only two-year field observation. We should take more field observation and analyses to increase understandings on the impacts of timber harvesting on environmental changes. With the understandings, we might be able to improve the technology of timber harvesting operations to reduce the environmental impacts of large-scale timber harvesting.

Key Words : The mature hardwood forests, Timber harvested area, Environmental change, Soil nutrients, Soil mesofauna, Water quality

緒 論

伐期齡에 달한 成熟林木을 伐採收穫하거나 형질이 우수한 임목을 육성하기 위한 間伐 등 적절한 林木伐採를 통한 山林의 개발과 이용계획은 지속적인 林業經營과 山林資源保全을 위하여 매

우 중요한 요인이 된다. 그러나, 大規模 山林伐採는 山林의 각종 公益的 機能을 약화시키는 요인으로 작용할 수 있으며, 또한 山林土壤을 扰亂시킴으로써 양료손실과 토양침식을 야기시키고, 산림내에 서식하는 각종 山林構成種을 변화시키는 등 山林生態系에 적지 않은 영향을 미치게 되기도 하며, 林木伐採를 위하여 林道 및 運材路의

開設量이 급격히 증가하는 추세에 있어 이들 역시 山林環境에 영향을 미치는 주요한 林業活動인 것이다(Adamovich 等, 1971; Adams, 1981). 더욱이 이러한 山林伐採 등의 開發行爲는 氣象, 地形, 動植物 등의 自然環境과 土地利用, 大氣, 水質, 廢棄物, 騷音 등의 生活環境, 그리고 人口, 產業 등의 社會經濟環境 등에도 적지 않은 영향을 미침으로써 주민 또는 환경단체와도 사회적 갈등의 소지를 내포하고 있다(環境處, 1991).

大規模 山林을 伐採함으로써 발생되는 山林環境에 미치는 영향에 관하여는 植生, 土壤의 物理·化學的 性質, 野生動物, 土壤內 微小動物, 流出水量, 溪流水質의 變化, 環境影響 低減對策 등으로 나눌 수 있다. Foil과 Ralston(1967), Hatchell 等(1970)은 土壤硬化에 의한 테다소나무의 성장효과에 대하여 많은 종자들이 경화된 토양(土壤硬度 7kg/cm^2 , 容積密度 1.33g/cm^3 혹은 그 이상)에서는 발아하지 못하였으며, 土壤硬度 3.5kg/cm^2 (容積密度 1.2g/cm^3) 혹은 그 이상의 양토나 점질 토양에서는 생육이 감소하였고, 容積密度의 증가는 土性과 관계없이 식생의 생육을 저해하는 원인이라고 하였다. Mann 等(1988)은, 山林伐採는 단기간내에 有機物 損失을 유도하여 토양내 전질소와 K^+ , Na^+ , Ca^{++} 등 양이온의 유실을 초래하고, 장기적으로 土壤生產性에 영향을 미친다고 하였다.

또한, 中野秀章(1971)은 伐採量에 따라서 流出水量의 변화는 皆伐地에서 가장 크고, 그 다음이 산림면적의 50% 벌채, 소규모 群狀皆伐의 순이었다고 하였으며, Megahan과 Kidd(1975), Brown 과 Binkley(1994) 등은 교란되지 않은 산림지역에서는 식생에 의하여 유기물이 적게 유출되고 부유퇴적물이 적어 水質이 좋으나, 산림을 벌채하면 이러한 식생의 기작이 파괴되고 山地浸蝕이 발생하여 계류에서의 堆積物에 의한 부영양화로 水質이 악화된다고 하였다.

미국, 일본 등을 비롯한 선진 임업국에서는 山林伐採로 인한 土壤生產性의 변화, 野生動·植物의 변화, 植生의 遷移過程을 통한 장래의 植生構造分析, 土壤有機物의 流出, 水文現象 등의 장기적이고도 지속적인 환경모니터링 등의 연구를 통하여 大規模 伐採事業에 따른 環境影響을 低減하기 위한 노력이 계속되고 있다(山田健과 佐佐木尚三, 1990). 그러나, 우리나라에서는 大規模 伐

採事業으로 인하여 발생되는 植生, 土壤의 物理的·化學的 性質, 土壤微小動物, 降水의 表面流出水量, 溪流水質, 山地斜面 浸蝕量, 流出土砂量 등 環境構成因子들의 변화 및 그에 미치는 영향에 관한 종합적인 연구는 부족한 상태에 있고, 최근 강조되는 環境保全 문제를 고려해 볼 때 이에 대한 기초적이고도 종합적인 연구는 시급한 상황에 있다.

따라서 이 研究는 成熟闊葉樹林 皆伐收穫地에서 발생되는 植生, 土壤의 物理的·化學的 性質, 土壤微小動物, 山地斜面 浸蝕量, 降水의 表面流出水量, 溪流水質, 流出土砂量 등 山林環境變化量을 定量의 으로 調查·分析함으로써 山林環境에 미치는 林木收穫作業의 影響을 究明하는데 있다.

材料 및 方法

1. 研究對象地의 概況

이 研究는 서울大學校 農業生命科學大學 附屬南部演習林(光陽郡, 求禮郡) 白雲山(海拔 1,217m) 地域中 1993년 4월에 벌채한 第 26林班의 伐採地(伐採面積 약 13ha)와 이와 연접한 非伐採地에서 수행하였다. 이 지역의 최근 10년간 年平均降水量은 조사지 부근 畦谷에서 1,927mm인데, 降水量中 60% 이상이 장마기간인 6~8월 중에 집중되는 集中降雨 形態를 나타내고 있으며, 1993년의 總降雨量은 2,113mm로 최근 10년 동안의 平均降雨量과 유사하였고(109%), 장마기간인 6월에서 8월까지의 강우가 總降雨量의 74% 이었다. 1994년의 總降雨量은 1,590mm로 1993년에 내린 總降雨量의 약 75% 이었으며, 장마기간인 6월에서 8월까지 내린 강우는 1993년 동기간 降雨量의 약 46%로 매우 적은 강우이었다. 畦谷에서 年平均氣溫은 1993년에는 11.3°C , 1994년에는 12.1°C 이었다. 日平均最高氣溫은 1993년에 23.5°C , 1994년에 28.5°C , 日平均最低氣溫은 1993년에 -4°C , 1994년에 -6°C 로 年較差는 1993년에 27.5°C , 1994년에는 34.5°C 이었다. 伐採地와 非伐採地에서 4월과 5월에 地上溫度差(地上 1.2m 높이)는 $7(0\sim 14)^\circ\text{C}$ 이었고, 地表溫度差는 $18(5\sim 31)^\circ\text{C}$ 이었다. 地中溫度差는 地中 5(0~10)cm 깊이에서 $8.3(4.5\sim 12)^\circ\text{C}$ 이었으며, 地中 15(10~20)cm 깊이에서는 $3.0(0.5\sim 6.5)^\circ\text{C}$ 이었다. 研究對象地는 해발 600~800m에 위치하고 있으며, 傾斜度는 北斜面

이 南斜面보다 高하고, 研究對象地인 非伐採地가 27.5(20.0~35.0°), 伐採地가 27.5(25.0~30.0°)이었으며, 땅이 높을 최고봉으로 하여 主溪流는 塵津江으로 향하고 있다.

미국 농무성 토양분류법에 따른 研究對象地 調查區의 土性은 미사질양토이었고, 地理的으로는 溫帶南部地域에 위치하고 있으며, 山林帶의 垂直의 分布가 잘 나타나고 植生構成도 비교적 다양하다. 天然林 林相은 참나무류, 서어나무, 들에나무, 단풍나무류 등 落葉闊葉樹가 대부분을 차지하고 있으며, 신갈나무, 고로쇠나무 등이 분포한다. 調査·研究對象地인 第 26林班의 天然林 식생은 島木層에서는 줄참나무, 서어나무가 優占種을 이루며, 비목나무, 노각나무는 수반종을 이루고, 계곡부에는 줄참나무와 서어나무가 발달하고 있다. 이 研究對象地에서 실행한 伐採作業方法은 2명이 1개조로 人力作業하였으며, 1명은 체인톱(chain saw)을 이용하여 成熟林木를 伐採하여 가지치기한 후 2m 간격으로 작동하고, 1명은 伐倒木을 山地斜面의 하부방향으로 굴려놓고 運材路에 集材하였다. 伐採區劃은 1993년 4월부터 5월 초까지 山頂部의 7~8부 條線(나비 10~80m)과 溪谷部(나비 10~20m), 그리고 2~3부 條線(나비 150~200m)에 樹林帶를 남기고 平均林齡 40(30~50)년 생의 成熟林木를 皆伐하였다. 溪谷部의 樹林帶는 고로쇠나무의 保護를 목적으로 하았고, 條線 주위는 景觀保存을 위하여, 그리고 2~3부 條線의 林道가 통과하는 上部地域의 樹林帶는 林道의 保護와 自然毀損面積을 최소화할 目的으로 남겨 놓았다. 白雲山 전체 平均林木蓄積은 약 53.3m³/ha이며, 이중 第 26林班에서 收穫한 平均林木蓄積은 약 76m³/ha 이었다. 運材路는 收穫된 林木의 搬出을 主目的으로 하여 開設되었으며, 平均路幅은 약 4.5m 이었고, 切·盛土斜面 및 路面 등에 浸蝕 막 土砂流出 減少施設 등이 거의 설치되지 않았다.

2. 研究方法

調查地의 植生分析을 위하여 木本植物 調査區(가로 20m × 세로 20m = 400m²)는 非伐採地와 伐採地에 각 5개소씩 총 10개소를 설치하였으며, 木本植物 調査區에서는 2m 이상의 목본을 每木調査하였고, 草本植物 調査區는 木本植物 調査區內에 격자형(가로 1m × 세로 1m = 1m²)으로 각 5

개소씩, 총 50개소를 설치하여 草本植物 調査區내에서는 수고 2m 이하의 木本植物과 草本植物을 조사하여 相對優占值, 林木密度, 種多樣度(H'), 最大種多樣度(H'_{max}), 均在度(J'), 優占度(1-J') 그리고 類似度指數를 구하였다.

非伐採地, 伐採地, 그리고 運材路 路面의 容積密度(bulk density, g/cm³)는 토양의 表層(토양 깊이 0~7.5cm)과 속층(토양 깊이 7.5~15cm)으로 구분하고(Froehlich 等, 1985), soil core sampler로 처리당 3반복 채취, 전조하여 계절별로 측정하였다(Adams, 1981). 要因分析은 土壤의 容積密度에 영향을 미치는 중요한 인자(Froehlich 等, 1985; Brown, 1991)인 土壤硬度, 土壤中의 모래含有率, 토양 깊이(0~7.5cm, 7.5~15cm), 調査區의 位置, 土壤水分含有率, 總降雨量, 降雨회수 등 총 7종의 環境因子에 대하여 SAS를 이용하여 相關分析 및 多重回歸分析하였다.

土壤의 化學的 性質分析은 별채전·후에 계절별, 처리별로 3반복 토양을 채취하여 전질소는 Semi-Micro Kjeldahl 방식으로, 有機物은 Walkley-Black 과정법으로, 有效燐酸은 Bray-I 용액으로, 치환성이온인 K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ 등은 Atomic absorption spectrophotometer를 사용하여 측정하였다. 土壤微小動物은 계절별로 伐採地와 非伐採地의 농선부, 계곡부, 산복부에서 각각 3반복하여 토양(가로 30cm × 세로 30cm × 깊이 20cm)을 채취한 후, 이중 100cc 씩을 표본으로 선정하고, 土壤에 포함되어 있는 0.1mm 이상 크기의 土壤微小動物을 Berlese 裝置(Southwood, 1966)로 採集하여 동정하였다. 地上溫度는 地上 1.2m 높이에 溫度計를 설치하였고, 地表溫度는 地表에 온도계를 고정하여 설치하였으며, 地中溫度는 地中溫度計를 토양 깊이 5(0~10)cm, 15(10~20)cm 등에 3반복하여 설치하고 매월 1~2일간 매시간마다 측정하였다. 要因分析은 山林伐採가 土壤微小動物에 영향을 미치는 중요한 요인(Covington, 1981; Entry 等, 1986; 郭峻洙 等, 1989)인 土壤水分, 土壤有機物, 土壤酸度, 양이온 치환용량, 치환성이온인 K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ 등의 양, 전질소의 양, 土壤의 容積密度, 토양 깊이 5(0~10)cm와 15(10~20)cm의 地中溫度 등 총 12종의 土壤因子에 대하여 SAS 통계 package를 이용한 相關

分析 및 多重回歸分析을 실시하였다.

伐採地와 非伐採地에서 降水의 表面流出水量은 浸蝕土砂收集裝置(너비 1m × 길이 4m = 4m²)를 설치하여 단위강우후 집수통에 수집된 降水의 表面流出水量을 測定하였으며, 山地斜面 浸蝕量은 浸蝕土砂收集裝置에 수집된 土砂를 채취하여 건중량으로 계산하였다. 山地斜面에서 降水의 表面流出水量과 山地斜面 浸蝕量에 영향이 크다고 보고된 土壤의 容積密度(Likens 等, 1969), 土壤硬度, 土壤中의 노래含有率, 植生被覆度, 降水의 表面流出水量(山地斜面 浸蝕量), 土壤水分含有率, 單位降雨횟수, 累加降雨횟수, 單位降雨量, 累加降雨量 등 총 10종의 環境因子에 대하여 SAS 통계 package를 이용하여 相關分析 및 多重回歸分析하였다.

溪流水質은 第 26林班 伐採地와 이와 연접한 非伐採地(天然林)流域, 그리고 인근농지나 마을(도장동, 중한치)로부터 영향을 받지 않는 지역인 蠻津江으로 유입되는 溪流水를 2L 씩 채수하여 水質污染의 指標인 pH, BOD(생물화학적 산소요구량), COD(화학적 산소요구량) 등 3개 항목과 여기에 Cd, Pb, 유기인, Cu 등 4개 항목을 합한 7개 항목에 대하여, 溪流水의 化學成分은 環境處의 水質分析試驗에 의하여 분석하였다. 또한, 색도, 탁도, 냄새, 맛, NH₄-N, NO₃-N, 일반세균수(1cc중), 대장균군(50cc중) 등 8개 항목을 포함한 총 15개 항목에 대하여 분석하였다(保社部 飲用水 水質基準, 1994).

山地溪流에서의 流出土砂量은 非伐採地와 伐採地에서 山地斜面 浸蝕에 의한 浸蝕土砂가 山地溪流에 流入되어 山地流域 밖으로 流出되는 土砂量으로 非降雨時와 降雨時에 각 溪流에서 채수된 부유토사는 무게를 측정한 거름종이에 걸러 건조시킨 후 전자식 정밀저울로 무게를 측정하여 單位 l當 平均流出土砂量으로 계산하였다.

結果 및 考察

1. 調查對象地의 植生構造

1) 林分構造와 相對優占值

非伐採地와 伐採豫定地에서 上層·中層植生의 胸高直徑級別 個體數, 胸高斷面積, 林木密度를 조사하였다.

非伐採地 單位調查區(2,000m²)에서 胸高直徑

2cm 이상되는 樹木의 種數와 個體數는 각각 33 수종, 314주이었고, 단풍나무(40주), 때죽나무(38주), 비목나무(34주), 졸참나무(28주), 서어나무(26주) 순으로 많았다. 그러나 胸高直徑 20cm 이상되는 個體數는 서어나무(11주), 졸참나무(3주), 고로쇠나무(2주)와 굴피나무(2주) 순으로 많았고, 胸高斷面積도 서어나무, 졸참나무, 고로쇠나무 순으로 크게 나타났다.

伐採豫定地 單位調查區(2,000m²)에서 胸高直徑 2cm 이상되는 樹木의 種數와 個體數는 각각 23 수종, 285주이었고, 樹種別 個體數는 때죽나무(67주), 서어나무(43주), 졸참나무(35주) 순으로 많았다. 그러나 上層樹冠을 형성하는, 胸高直徑 20cm 이상되는 個體數는 서어나무(8주), 졸참나무(4주)와 층층나무(4주), 물푸레나무(3주) 순으로 많았으며, 胸高斷面積도 서어나무, 졸참나무, 층층나무, 물푸레나무 순으로 크게 나타났다. Ha當 林木密度는 非伐採地에서는 1,570주이었으며, 伐採豫定地에서는 1,425주로 非伐採地가 많았는데, 이는 胸高直徑이 2cm 이상되는 上層植生과 中層植生의 種數와 個體數가 많았기 때문이다. 相對優占值은 졸참나무가 11.6%로 가장 높았고, 다음으로는 서어나무(10.0%), 비목나무(9.3%), 단풍나무(8.4%), 때죽나무(8.3%), 물푸레나무(6.0%), 느티나무(5.9%) 등의 순이었다. 伐採豫定地에서 相對優占值은 때죽나무가 16%로 가장 높았고, 다음으로는 졸참나무(14%), 서어나무(9.5%), 비목나무(7.1%), 노린재나무(5.3%), 노각나무(5.0%), 물푸레나무(4.8%) 등의 순이었다. 즉, 非伐採地는 上層樹冠層에서 졸참나무와 서어나무가, 中層樹冠層에서 비목나무, 단풍나무, 때죽나무 등이 우세한 植生構造였고, 伐採豫定地에서는 上層樹冠層에서 졸참나무와 서어나무가, 中層樹冠層에서 때죽나무가 우세한 植生構造를 나타내었다. 上層樹冠層의 植生構造는 非伐採地와 伐採豫定地는 類似하였으나, 中層·下層의 植生構造는 약간 상이하였다.

2) 種多樣性

非伐採地와 伐採豫定地(차후 伐採地)에서 木本植物의 種數, 種多樣度, 最大種多樣度, 均在度, 그리고 優占度는 表 1에서와 같다.

非伐採地의 각 조사구(400m²)에서 木本植物의 平均種多樣度指數(H')는 1.0091, 平均最大種多樣度指數(H'_{max})는 1.1405, 平均均在度(J')는 0.8854

Table 1. Comparisons of the pre-harvest conditions in the indices of diversity of woody species between the non-harvested and harvested plots

Site number	Number of species	Species diversity(H')	Evenness (J')	Dominance ($1 - J'$)	Maximum H (H'_{\max})
N- 1	21	1.0617	0.8629	0.1371	1.2304
N- 2	13	1.0024	0.9289	0.0711	1.0792
N- 3	22	1.1142	0.8713	0.1287	1.2788
N- 4	16	1.0080	0.9049	0.0951	1.1139
N- 5	15	0.8591	0.8591	0.1409	1.0000
H- 6	14	0.9114	0.8752	0.1248	1.0414
H- 7	15	0.9015	0.8354	0.1646	1.0792
H- 8	12	0.6690	0.6424	0.3576	1.0414
H- 9	15	1.1005	0.9358	0.0642	1.1761
H-10	15	1.0554	0.9475	0.0525	1.1139
Average	N 33	1.0091	0.8854	0.1146	1.1405
	H 23	0.9276	0.8473	0.1527	1.0904

* N means non-harvested sites and H stands for harvesting sites

Table 2. Comparisons of the pre-harvest conditions in the similarity indices of woody species between the non-harvested and harvested plots

	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	H-6	H-7	H-8	H-9
N- 2	.5373								
N- 3	.3484	.2917							
N- 4	.3727	.3474	.6370						
N- 5	.6290	.4859	.4515	.4841					
H- 6	.3356	.3320	.3368	.4160	.4875				
H- 7	.5652	.4360	.3376	.4068	.6122	.4629			
H- 8	.4355	.4599	.2030	.2959	.4457	.3223	.6313		
H- 9	.4682	.3821	.3978	.5155	.5041	.3605	.6471	.4046	
H-10	.5039	.5458	.4721	.4920	.6796	.5305	.5832	.4271	.5925

* N means non-harvested sites and H stands for harvesting sites

이었으며, 이들은 伐採豫定地(차후 伐採地)에서의 平均種多樣度指數(0.9276), 平均最大種多樣度指數(1.0904), 平均均在度(0.8473)보다 모두 높은 값을 나타내었다.

3) 類似度指數

非伐採地와 伐採豫定地의 각 조사구에서 木本植物의 類似度指數를 분석한 결과는 表 2에서와 같다.

非伐採地 調查區間의 類似度指數는 0.2917~0.6370, 伐採豫定地間의 類似度指數는 0.3223~0.6313, 非伐採地와 伐採豫定地의 調查區間의 類似度指數는 0.2030~0.6796으로 큰 폭의 차이를 나타내었다.

4) 林床植生의 相對優占值와 種數

調查期間中 非伐採地와 伐採地에서 草本植物

調査區內에 出現한 木本植物의 相對優占值와 種數를 分析하였다.

非伐採地의 각 調查區($5m^2$)에서 伐採 당년도에 출현한 어린 나무는 16樹種이었으며, 다음 해에는 19樹種으로 증가하였다. 伐採地에서는 伐採 당년도에 出現한 어린 나무는 24樹種이었으며, 다음 해에는 25樹種이 출현하여 種數는 非伐採地보다 증가하였다. 伐採 당년도에 非伐採地 調查區域에서 出現한 수목들의 相對優占值은 졸참나무가 33.6%로 가장 높았고, 다음으로는 비목나무(16.0%), 청미래덩굴(10.2%), 조릿대(8.1%) 등의 順이었으며, 다음 해에는 졸참나무(31.3%), 비목나무(12.3%), 산수국(9.0%), 조릿대(6.7%) 등의 順이었다.

伐採 당년도에 伐採地에서 出現한 樹木들의 相

對優占值는 비목나무가 19.0%로 가장 높았고, 다음으로는 산수국(11.3%), 청미래덩굴(9.0%), 조릿대(7.6%) 등의順이었다. 伐採後 다음 해에는 비목나무가 23.2%로 가장 높았고, 陽樹系列樹種인 산딸기(12.4%), 두릅나무(7.8%), 산초나무(7.4%) 등의順이었다.禹保命等(1994)은 伐採作業으로 林地가 開豁되면 陽樹系列인 산딸기, 산벚나무 등의 相對優占值가 높다고 보고하였는데, 이는 이 研究結果와 일치하는 것이다.

調查期間中 非伐採地와 伐採地에서 草本植物調查區內에 出現한 草本植物의 相對優占值와 種數를 分석하였다.

非伐採地에서 伐採 당년도 5월에 出現한 草本植物은 17種, 7월에는 19種, 10월에는 13種이 出現하였다. 그러나, 다음해 5월에는 14種, 7월에는 15種, 10월에는 13種이 出現하여 種數가 감소하였으며, 1994년 10월에는 1993년 같은 시기의 出現種數와 변화가 없었다. 伐採地에서는 伐採 당년도 5월에 9種, 8월에는 12種, 10월에는 15種이 出現하여 出現種數가 증가하였다. 伐採地에서 다음해 5월에 出現種數는 16種, 7월에는 21種이 出現하였다. 10월에는 19種이 出現하여 伐採後 草本植物 出現種은 非伐採地보다 증가하였는데, 이는 伐採作業에 따른 上層植生 및 灌木의 제거로 光量이 증가하면서 陽樹先驅種의 出現이 활발하였기 때문인 것으로 생각된다.

伐採地에서 平均相對優占值는 대사초가 22.5%로 가장 높았고, 다음으로는 고사리(19.3%), 김의털(8.6%), 애기나리(7.7%), 모시물통이(6.7%) 등의順이었다. 非伐採地에서는 은분취의 相對優占值가 17.4%로 가장 높았고, 다음으로는 주름조개풀(14.3%), 대사초(8.4%), 멀가치(8.1%), 모시물통이(8.1%) 등의順이었다. 깨풀, 등글

레, 방동사니, 비짜루, 쇠별꽃, 큰개별꽃 등 6種은 非伐採地에서만 出現하였으며, 거북꼬리, 고들빼기, 금취, 꿀풀, 닭의장풀, 물봉선, 사위질빵, 산국, 쑥, 쑥부쟁이, 오리방풀, 용담, 이질풀, 자귀풀, 질경이, 참나물, 투구꽃 등 17種은 光이 풍부한 伐採地에서만 出現함으로써 好陽性種으로 생각된다.

5) 林床植生의 種多樣性

非伐採地와 伐採地에서 林床植生의 種多樣度, 最大種多樣度, 均在度, 그리고 優占度는 表 3에서와 같다. 伐採地에서 伐採 당년도 5월과 7월의 種多樣度와 最大種多樣度는 非伐採地보다 낮았으나, 伐採 당년도 10월부터 다음해 10월까지의 기간중 伐採地의 種多樣度와 最大種多樣度는 非伐採地보다 높은 값을 나타내어 伐採後 2년간 下層植生을 이루는 木本植物과 草本植物의 種多樣性은 증가하는 것으로 解析되었다. 상대적인 種多樣度를 나타내는 均在度도 伐採 당년도보다 다음해에 높은 값을 나타내어 시간이 경과할수록 점차 種構成은 均質해지는 것으로 나타났다.

2. 土壤의 物理的·化學的 性質 및 土壤微小動物의 變化

1) 土壤의 物理的 性質 變化

伐採前에 調查區에서 토양깊이를 토양의 겉층(토양깊이 0~7.5cm)과 속층(토양깊이 7.5~15cm)으로 구분하여 산출한 容積密度는 각각 0.694g/cm^3 , 0.773g/cm^3 이었다. 非伐採地에서 伐採 당년도 7월과 10월에 조사된 容積密度는 토양의 겉층, 속층에서 모두 伐採前과 類似하였으며, 伐採地에서 伐採 당년도 7월에 容積密度는, 토양의 겉층에서는 伐採前보다 약 11%, 속층에서는 약 10%가 증가하였는데 이는 별채후 별도

Table 3. Comparisons of the species diversity of floor vegetation between the non-harvested and harvested plots

Year	Site	Non-Harvested				Harvested			
		H'	J'	1-J'	H' _{max}	H'	J'	1-J'	H' _{max}
1993	May	0.8979	0.5726	0.4274	1.5682	0.7803	0.5813	0.4187	1.3424
	Jul.	0.9602	0.5915	0.4085	1.6232	0.9158	0.5931	0.4069	1.5441
	Oct.	0.7619	0.5158	0.4842	1.4771	0.8567	0.5312	0.4688	1.6128
1994	May	0.9389	0.6131	0.3869	1.5315	1.0106	0.6149	0.3851	1.6435
	Jul.	0.8797	0.5899	0.4101	1.4914	0.9469	0.5728	0.4272	1.6532
	Oct.	0.7772	0.5118	0.4882	1.5185	1.0460	0.6327	0.3673	1.6532

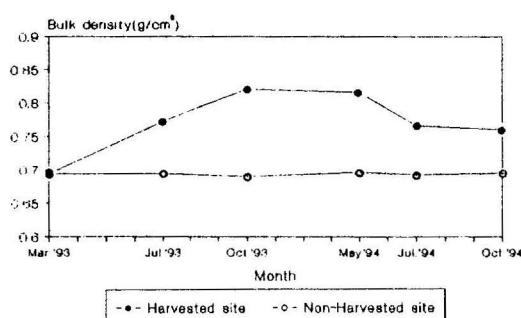
목줄리기 등 집재작업에 의한 영향때문인 것으로 생각된다. 伐採 당년도 10월에 토양의 결층에서 容積密度는, 伐採地에서는 伐採前보다 약 18%, 속층에서는 약 8%가 증가하였다. 伐採後 1년이 경과한 1994년에 非伐採地에서 容積密度는 토양의 결층과 속층에서 모두 伐採前과 類似하였다. 그러나, 伐採地 土壤의 결층에서 容積密度는 伐採前보다 5월에는 약 18%, 7월에는 약 12%, 10월에는 약 10%가 증가하였다. 토양의 속층에서 1994년 5월과 7월에는 伐採前보다 약 7%, 10월에는 약 6%가 증가하였다(그림 1 참조).

土壤의 容積密度에 영향을 미치는 인자를 밝히기 위하여 stepwise를 이용하여 多重回歸分析한 결과 土壤의 容積density에 영향을 미치는 중요한 인자는 調查區의 位置, 土壤中의 모래含有率, 土壤硬度 등 3개 인자이었으며, 중상관계수는 0.6087로 유의하였다. 이때 多重回歸式은, 土壤의 容積density = $0.3658 + 15.4394 \cdot L + 4.9929 \cdot RS +$

$4.1792 \cdot SH(R^2=0.61)$ 이었으며, 이 式에서 L은 調查區의 位置, RS는 모래含有率, SH는 土壤硬度를 나타낸다. 非伐採地에서 伐採前인 1993년 3월에 土壤硬度는, 토양의 결층에서는 0.51(0.08~0.94)kg/cm², 속층에서는 0.65(0.11~1.18)kg/cm²으로 결층보다 높은 값을 나타내었으나, 7월과 10월의 조사에서 土壤硬度는 伐採前과 유사하였다. 伐採地에서 1993년 7월에 土壤硬度는, 토양의 결층에서는 0.76(0.28~1.24)kg/cm²으로 伐採前보다 약 1.5배 증가하였으며, 속층에서는 0.73(0.32~1.14)kg/cm²으로 伐採前보다 약 1.1배 증가하였다. 10월에 토양의 결층에서는 伐採前의 土壤硬度보다 약 1.6배, 토양의 속층에서는 1.2배가 증가하여 7월에 측정된 값과 유사하였다.

伐採後 1년이 경과한 1994년 3월 非伐採地의 土壤硬度는 토양의 결층, 속층 모두 伐採前과 유사하였으나, 伐採地에서 토양의 결층은 0.79(0.28

Soil depth(0~7.5cm)



Soil depth(7.5~15cm)

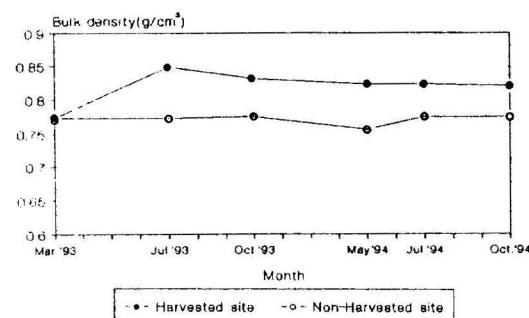
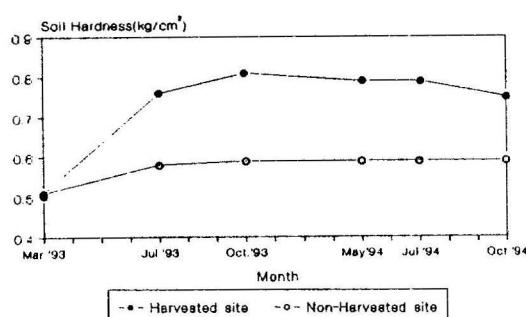


Fig. 1. Changes in soil bulk density at different soil depth in harvested and non-harvested sites

Soil depth(0~7.5cm)



Soil depth(7.5~15cm)

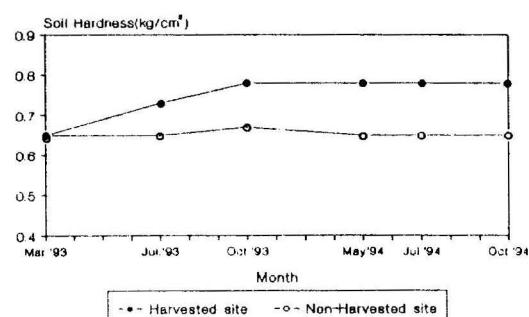


Fig. 2. Changes of soil hardness

$\sim 1.30 \text{ kg/cm}^2$ 으로 伐採前보다 약 1.5배, 속층에서는 $0.78(0.30 \sim 1.26) \text{ kg/cm}^2$ 으로 伐採前보다 약 1.2배 증가하였다. 1994년 7월과 10월에 측정된 非伐採地의 土壤硬度는 伐採前과 유사하였으며, 伐採地에서 7월에 측정된 土壤硬度는 3월以後 변화하지 않았다(그림 2 참조).

2) 土壤의 化學的 性質 變化

伐採前에 山林土壤의 土壤酸度는 5.04로 酸性 토양이었으며, 전질소는 0.78% 이었다. 有機物 含量은 16.06%, 유효인산은 137.42 ppm 으로 일반 산림토양보다 높은 값을 나타내었다. 양이온 치환용량은 17.93 me/100g , K^+ 는 0.86 me/100g , Na^+ 는 0.15 me/100g , Ca^{++} 는 4.67 me/100g 이었으며, Mg^{++} 는 1.43 me/100g 이었다. 伐採後 2년 동안 伐採地에서의 유기물, 유효인산은 伐採前보다 감소하였으며, 非伐採地에서는 조사기간 동안 전질소, 유효인산, 양이온치환용량, 치환성 이온 등의 양적인 변화는 적었다. 伐採後 2년이 경과되는 동안 양이온치환용량은 伐採前보다 감소하였다(表 4 참조).

土壤化學成分中 伐採로 인하여 변화하는 代表의 指標(Likens 等, 1969)라 할 수 있는 전질소는 伐採前보다 감소하였으며, 統計分析結果 5% 수준에서 有意하였다. 치환성이온인 K^+ , Na^+ 등도 伐採前보다 감소하였으며, 통계분석 결과 1% 수준에서 有意한 결과를 나타내었다. 酸性土壤 이온을 緩衝시켜 주는 치환성이온인 Ca^{++} , Mg^{++} 등은 伐採前보다 감소하였고, 統計分析結果 1% 수준에서 고도로 有意한 결과를 나타내어, 伐採後 2년이 경과되는 동안 伐採地 土壤의 緩衝能力은 감소되는 것으로 解析되었다.

3) 土壤微小動物의 變化

지렁이와 노래기 등 土壤大形動物은 조사기간 모두 非伐採地($1\sim 4 \text{ 마리}/100\text{cc}$)가 伐採地($1\sim 2 \text{ 마리}/100\text{cc}$)보다 個體數가 많았으나, 출현된 개체

수가 매우 적고 統計分析結果 有意하지 않았다. 벌채 당년도에 조사된 土壤微小動物의 個體數는 伐採地와 非伐採地 모두 지름 1mm, 길이 2mm 이하의 크기인 톡톡이류와 응애류가 가장 많았다. 非伐採地에서 건조기(5월), 강우기(7월)와 동면기(10월)를 합하여 톡톡이류와 응애류의 平均個體數는 능선부가 70 : 20 : 30, 계곡부가 15 : 10 : 15, 산복부가 25 : 17 : 17마리/ 100cc 이었으며, 統計分析結果 地域에 따른 差異는 有意하지 않았다. 伐採地에서는 건조기(5월), 강우기(7월), 그리고 동면기(10월)를 합하여 톡톡이류와 응애류의 平均個體數는 능선부가 80 : 54 : 127, 계곡부가 91 : 192 : 37, 산복부가 216 : 76 : 61로 나타났으나, 統計分析結果 地域에 따른 유의차는 없었다. 非伐採地와 伐採地에서 계절별 톡톡이류와 응애류의 평균개체수는 벌채 당년도 5월에는 36.7 : 127, 7월에는 58 : 109, 10월에는 20.7 : 76.4로 응애류가 톡톡이류보다 약 3배 많았다. 즉, 톡톡이류의 平均個體數는 벌채 당년도에는 伐採地가 非伐採地보다 약 4배, 응애류는 약 7배가 증가하였다. 1994년 5월에 伐採地에서 톡톡이류는 非伐採地보다 약 2배 많았으며, 응애류의 個體數는 類似하였다. 非伐採地에서는 7월에 톡톡이류나 응애류는 觀察되지 않았으며, 10월에는 伐採地와 非伐採地 모두 계곡부와 산복부에 미소한 個體數가 관찰되었다(그림 3 참조).

伐採地와 非伐採地에서 土壤微小動物의 個體數를 SAS를 이용하여 t-test한 결과 톡톡이류와 응애류는 1% 수준에서 有意한 결과를 나타내었다. 즉, 톡톡이류나 응애류 등은 山林을 伐採함으로써 발생되는 環境變化에 민감하게 반응하는 土壤微小動物로서(Covington, 1981; Entry 等, 1986; 郭凌洙 等, 1989) 大規模 山林伐採에 따른 環境影響評價時, 環境變化를 예측하는 指標로 이 용될 수 있을 것으로 생각된다. 土壤微小動物의

Table 4. Average soil chemical properties of before and after timber harvesting at the non-harvested and harvested sites

Category	pH	Organic matter (%)	Total N (%)	Avail P ₂ O ₅ (ppm)	C.E.C. me/100g	Exchangeable(me/100g)			
						K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Before harvesting	5.04	16.06	0.78	137.42	17.93	0.86	0.15	4.67	1.43
Average	H	5.34	12.43	0.51	73.43	17.23	0.36	0.11	1.02
	N.H	5.68	16.38	0.67	90.24	18.08	0.69	0.13	3.78

Note : H means harvested site and N.H stands for non-harvested site.

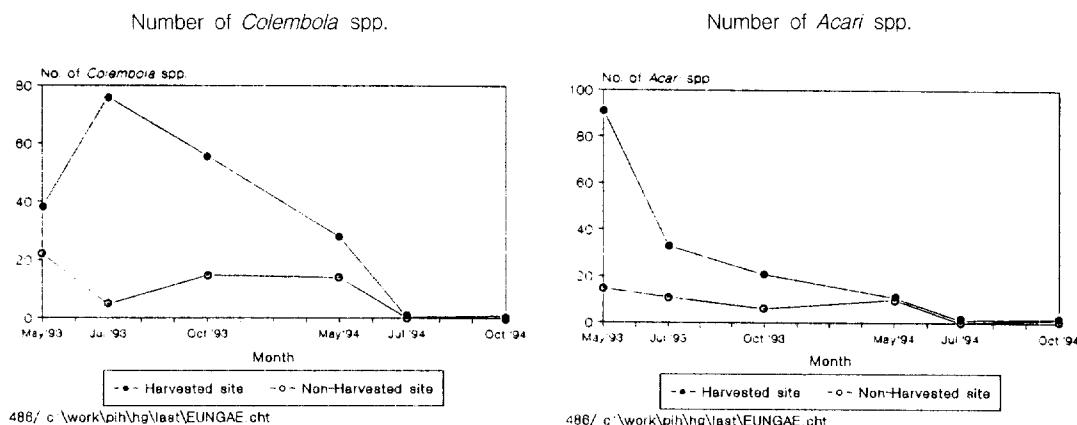


Fig. 3. Variations of number of *Colembola* spp. and *Acaris* spp. at the study site

개체수에 영향을 미치는 중요한 土壤因子에 대하여 stepwise를 이용한 多重回歸分析結果 土壤微小動物의 개체수에 영향을 미치는 중요한 土壤因子는 土壤水分, 土壤의 容積密度, 置換性이온인 Mg^{++} 의 양, 양이온치환용량, 토양깊이 5(0~10)cm에서의 地中溫度 등 5개 인자이었으며, 土壤微小動物의 변화에 有意한 영향을 미치는 인자들의 설명역은 약 76%로 매우 높은 편이었다. 이 중 土壤水分은 土壤微小動物의 변화에 약 27%의 높은 상대적 기여도를 나타내어, 토양미소동물의 변화에 매우 중요한 인자인 것으로 해석되었다. 이 때 多重回歸式은, $NCA = -285.8094 + 34.6292 \cdot SM - 20.5388 \cdot BD + 8.8537 \cdot AMG + 3.8284 \cdot C.E.C. + 3.6718 \cdot ST (R^2=0.76)$ 이었으며, 이 式에서 NCA는 特殊이류와 응애류의 個體數, SM은 土壤水分, BD는 土壤의 容積密度, AMG는 치환성이온인 Mg^{++} 의 양, C.E.C.는 양이온치환용량, ST는 토양깊이 5(0~10)cm에서의 地中溫度를 나타낸다.

3. 降水의 表面流出水量 및 溪流水質의 變化

1) 降水의 表面流出水量의 變化

伐採 당년도에 非伐採地와 伐採地에서 降水의 平均表面流出水量은 非伐採地가 $69.041 l/m^2$, 伐採地가 $88.394 l/m^2$ 로 伐採地가 非伐採地보다 28%가 많았으며, 非伐採地에서 總降雨量에 대한 降水의 表面流出水量은 3.4% 이었고, 伐採地에서는 4.3%로 非伐採地의 1.27배이었다. 1994년에 降水의 表面流出水量은, 非伐採地에서는 $49.798 l/m^2$ 로 伐採 당년도보다 감소하였으며, 伐採地에서는

$62.048 l/m^2$ 로 非伐採地보다 24.5%가 많았고, 總降雨量에 대한 降水의 表面流出水量은 非伐採地에서는 3.1%, 伐採地에서는 3.9%로 非伐採地보다 1.26배 많았다. 降水의 表面流出水量의 解釋에 유의한 인자를 밝히기 위하여 stepwise를 이용한 多重回歸analysis結果 降水의 表面流出水量에 영향을 미치는 중요한 인자는 單位降雨量, 單位降雨횟수, 山地斜面 浸蝕量, 土壤의 容積密度 등 4개 인자이었으며, 이들 인자의 조합으로 이루어진 降水의 表面流出水量의 영향을 설명하는 상대적 기여도는 약 91%로 매우 높은 설명력을 나타내었다. 이 때 多重回歸式은, 降水의 表面流出水量 = $5962.9662 + 23.6583 \cdot UR + 10.5650 \cdot NR + 25.1166 \cdot SR + 5.9644 \cdot BD (R^2=0.91)$ 이었으며, 이 式에서 UR은 單位降雨量, NR은 單位降雨횟수, SR은 山地斜面 浸蝕量, BD는 土壤의 容積密度를 나타낸다.

2) 溪流水質의 變化

伐採 당년도에 BOD와 COD는 非伐採地보다 높았으나 非伐採地, 伐採地 그리고 蟬津江으로 유입되는 溪流水質은 모두 상수원수 1급 기준의 범위내에 있었다. 즉, 自然環境 및 水生生態系 보호상태가 양호한 수질의 유지를 목표로 하는 수질을 나타내어, 여과 등 간이정수처리후 음용이 가능하기 때문에 이 계류수를 飲用水로 이용하는 伐採地 인근지역 住民들에게는 山林伐採에 따른 水質污染의 피해는 없는 것으로 解析되었다.

1994년 3월 非伐採地에서 BOD는 0.6ppm으로 伐採 당년도 8월보다는 약 0.3ppm 만큼 증가하였으며, COD는 伐採 당해 8월보다 0.4ppm으로

증가하였다. 벌채후 1년이 경과한 3월에 伐採地流域 溪流水의 BOD는 0.9ppm으로 伐採 당년도보다 약 0.55(0.4~0.7)ppm^o, COD는 0.8ppm으로 약 0.31(0.01~0.6)ppm^o 증가하였다. 嶺津江으로流入되는 溪谷 上部地域에서의 溪流水質은 BOD가 1.0ppm으로 벌채 당년도보다 약 0.65(0.5~0.8)ppm^o, COD는 0.9ppm으로 약 0.2(-0.09~0.4)ppm^o 증가하였다.

1994년 5월에 BOD와 COD는 3개 조사지역 모두 3월의 조사값과類似하였으며, 8월에 非伐採地流域 溪流水의 BOD와 COD는 5월에 조사된 값과 유사하였으나 伐採地流域과 섬진강으로 유입되는 계류수의 BOD와 COD는 1.0ppm으로 5월보다 높아졌다. 1994년 10월에 伐採地流域 溪流水의 BOD와 COD는 약 0.1ppm^o 감소하였으나, 非伐採地流域과 섬진강으로 유입되는 계류수의 BOD와 COD는 변화가 없었다. 이와 같이 벌채후 1년이 경과된 1994년에 伐採地流域 溪流水의 BOD와 COD는 약 0.85(0.7~1.0)ppm으로 水質이 悪化되었으나, 이렇게 상승된 BOD와 COD의 수치는 상수원수 1급 기준을 넘지 않아 이를 飲用水로 이용하는 데에는 지장이 없는 것으로 解析되었다. 伐採 당년도 8월과 10월에 伐採地와 非伐採地, 그리고 인근 농지나 마을로부터 영향받지 않는 嶺津江으로 유입되는 溪流水의 pH, Cd, Pb, Cu, 유기인을 分析한 결과 pH는 세 지역 모두 6.5 이었다. 伐採 당년도에 Cd, Pb, Cu, 유기인 등 중금속은 이들 세 지역의 溪流水에서 모두 검출되지 않아 조사대상지역의 溪流水는 모두 하천수질 환경기준에 의한 상수원수 1급 기준의 범위내에 있었다.

1994년 3월에 색도, 탁도, 냄새, 맛, NH₄-N, NO₃-N, 일반세균수, 대장균군 등 8개 항목에 대하여 수질분석한 결과, 색도는 調查對象流域의 溪流水 모두 1도로 기준에 적합하였고, 탁도, 냄새, 맛 등도 모두 保社部 飲用水 水質基準(1994)을 넘지 않는 값이었다. NH₄-N은 伐採地와 嶺津江으로 유입되는 溪流水에서는 검출되지 않았으나, 非伐採地流域의 溪流水에서는 0.01mg/l를 나타내었다. 일반세균수는 섬진강으로 유입되는 계곡의 상류 지역에서 62마리/cc로 세 지역中最 높은 값을 나타내었으나, 100마리/cc 이하의 保社部 飲用水 1급 基準을 넘지 않는 값을었다. 대장균수도 음성으로 나타났다. 1994년 5월

調査對象流域 溪流水는 색도, 탁도, 냄새, 맛, 일반세균수, 대장균군 등을 모두 保社部 飲用水 水質 基準을 넘지 않는 값이었다. NH₄-N은 세 지역 모두 검출되지 않았으며, NO₃-N은 3월보다 非伐採地에서는 약 0.4mg/l가 높아졌으나, 伐採地에서는 0.3mg/l가 낮아졌다. 농지와 마을로부터 영향받지 않는 嶺津江으로 유입되는 溪流水는 3월보다 0.8mg/l가 높은 값을 나타내었으나, 기준에는 모두 적합하여 조사대상 유역의 계류수는 모두 保社部 飲用水 1급 基準의 범위내에 있었다.

4. 山地斜面 浸蝕量의 變化

山地斜面 浸蝕量은 벌채 당년도에 非伐採地에서는 0.73ton/ha/yr, 伐採地에서는 4.77ton/ha/yr로 非伐採地보다 약 7배 많았으며, 그 다음해 非伐採地에서는 0.48ton/ha/yr, 伐採地에서는 1.0ton/ha/yr로 非伐採地보다 약 2배 많았다. 강우가 많은 6월에서 8월까지 伐採地에서의 山地斜面 浸蝕量은 伐採 당년도에는 總 山地斜面 浸蝕量의 약 90% 이었으며, 다음 해에는 약 63% 이었다. 非伐採地에서는 伐採 당년도에 山地斜面 浸蝕量은 總 山地斜面 浸蝕量의 약 83%, 다음 해에는 약 71%로 대부분의 山地斜面 浸蝕은 여름 강우기 때 발생하였다.

調查期間中 山地斜面 浸蝕量은 伐採地가 非伐採地보다 약 4.3(2.1~6.5)배가 많았는데, 이는 伐採作業으로 인한 下層植生이 破壞되고 토양이 교란되어 山林의 土壤浸蝕調節作用(Kostadinov 와 Mitrovic, 1994)이 恢復되었기 때문인 것으로 생각된다. 多重回歸分析結果 山地斜面 浸蝕量에 영향을 미치는 중요한 인자는 土壤의 容積密度, 降水의 表面流出水量, 單位降雨量 등 3개 인자이었으며, 重相關係數는 0.7417로 고도로 유의하였다. 이 때 多重回歸式은, 山地斜面 浸蝕量 = 988.4415 + 22.0885 · BD + 14.6914 · SRW + 7.6478 · UR($R^2=0.74$) 이었으며, 이 式에서 BD는 土壤의 容積密度, SRW는 降水의 表面流出水量, UR은 單位降雨量을 나타낸다. 山地斜面에서 浸蝕되어 산지유역 밖으로 流出된 土砂量은 伐採地流域에서는 伐採 당년도에 降水量이 모두 유출된다고 가정하였을 때 流出土砂量은 0.318ton/ha/yr 이었으며, 이는 山地斜面 浸蝕量의 6.7% 이었다. 그러나 인근 秋山 山林理水試驗場에서 추정된(李

Table 5. Correlation coefficients of influential factors affecting environmental variables

	HE	SP	WQ	SM	PC	SC	WR
HE	1.0000						
SP	.9929**	1.0000					
WQ	.8461*	.7843*	1.0000				
SM	-	-	-	1.0000			
PC	-.9617**	-.9331**	-.9453**	-.8476*	1.0000		
SC	-	-	-.8395*	.7635*	-	1.0000	
WR	.8846*	.8254*	.9752**	-	-.9502**	-	1.0000

Note : * means statistically significant at 5% level and

** means statistically significant at 1% level.

銓雄, 1992) 流出係數 0.4를 적용하여 算定한 流出土砂量은 0.127ton/ha/yr로, 이는 山地斜面 浸蝕量의 2.7% 이었다. 非伐採地 流域에서는 강수가 모두 유출된다고 가정하였을 때 流出土砂量은 0.007ton/ha/yr로, 이는 山地斜面 浸蝕量의 1.0% 이었다. 流出係數 0.4를 적용하였을 경우 流出土砂量은 山地斜面 浸蝕量의 0.4%로, 伐採 당년도에 伐採地의 山地斜面에서 침식되어 山地流域 뿐으로 流出되는 流出土砂量은 非伐採地보다 약 44(42~45)배 많았다. 伐採後 1년 경과된 1994년에 流出土砂量은 伐採地 流域에서 강수가 모두 유출된다고 가정하였을 때는 0.057ton/ha/yr로, 이는 山地斜面 浸蝕量의 5.7% 이었으며, 流出係數 0.4를 적용하였을 경우에는 0.023ton/ha/yr로, 이는 山地斜面 浸蝕量의 2.3% 이었다. 非伐採地 流域에서는 강수가 모두 유출된다고 가정하였을 때 流出土砂量은 0.009ton/ha/yr로, 이는 山地斜面 浸蝕量의 1.9% 이었으며, 流出係數 0.4를 적용하였을 경우에는 0.003ton/ha/yr로, 이는 山地斜面 浸蝕量의 0.6%로, 伐採後 1년 경과후에 발생된 流出土砂量은 伐採地가 非伐採地보다 약 7(6~8)배 많았다.

5. 伐採로 인한 環境變化가 環境構成因子들에 미치는 영향의 相互關係

山林伐採로 인한 環境變化는 環境構成因子들에 영향을 미치게 되는데(Adams, 1981; Brown과 Binkley, 1994), 이러한 環境構成因子들의 상호적인 영향을 밝히기 위하여 SAS 통계 package를 이용한 相關分析結果는 表 5에서와 같다.

表 5에서 HE는 山地斜面 浸蝕量의 변화, SP는 土壤物理性의 변화, WQ는 溪流水質의 변화, SM은 土壤微小動物의 변화, PC는 植生被覆度

의 변화, SC는 土壤化學成分의 변화, WR은 降水의 表面流出水量 변화를 나타낸다. 相關分析結果 植生被覆度와 土壤物理性은 相關係數가 -0.9331로 1% 수준에서 높은 負의 相關을 나타내었으며, 植生被覆度와 降水의 表面流出水量, 植生被覆度와 山地斜面 浸蝕量은 각각 相關係數가 -0.9502, -0.9617로 1% 수준에서 높은 負의 相關을 나타내었다. Brown(1991)은 植生被覆度가 높은 林地에서 山地斜面 浸蝕量은 伐採地보다 감소하였다고 보고하여 이 연구결과와 일치하였는데, 이는 植生被覆度가 높을수록 浸蝕을 억제하는 효과가 크다는 것을 의미하는 것이다.

成熟林木收穫으로 인한 伐採地의 開豁은 伐採地 토양의 온도를 높여 土壤有機物을 빠르게 분해시킴으로써 이들을 먹고사는 土壤微小動物의 개체수를 증가시켜 일시적으로 生態系의 균형을 변화시키는 등, 伐採地의 植生變化는 土壤微小動物의 변화에 영향을 미치는데(Entry 等, 1986; 郭峻洙 等, 1989), 相關分析結果 土壤微小動物과 植生被覆度는 相關係數가 -0.8476, 土壤微小動物과 土壤의 化學成分은 相關係數가 0.7635로 5% 수준에서有意한 正의 相關을 나타내어, 土壤微小動物의 변화에 有意한 相關을 나타낸 인자는 土壤의 化學成分(置換性이온인 Mg^{++} 의 양, 양이온 친화용량), 植生被覆度의 변화 등이었다.

降水의 表面流出水量과 山地斜面 浸蝕量은 相關係數가 0.8846, 降水의 表面流出水量과 土壤物理性은 相關係數가 0.8254로 5% 수준에서 有意한 正의 相關을 나타내었으며, 降水의 表面流出水量과 溪流水質은 相關係數가 0.9752로 1% 수준에서 고도로 有意한 正의 相關을 나타내어, 降水의 表面流出水量의 변화에 有意한 相關을 나타낸 인자는 土壤物理性, 山地斜面 浸蝕量, 植生被

覆度, 溪流水質 등이었다. 山地斜面 浸蝕量과 溪流水質은 相關係數가 0.8461로 5% 수준에서 有 意한 正의 相關을 나타내었고, 山地斜面 浸蝕量과 土壤物理性은 相關係數가 0.9929로 1% 수준에서 고도로 有 意한 正의 相關을 나타내었다. 溪流水質과 土壤物理性은 相關係數가 0.7843으로 5% 수준에서 有 意한 正의 相關을 나타내었고, 溪流水質과 土壤의 化學成分은 相關係數가 -0.8395로 5% 수준에서 有 意한 負의 相關을 나타내어, 溪流水質變化에 有 意한 相關을 나타낸 인자는 山地斜面 浸蝕量, 降水의 表面流出水量, 土壤의 化學成分, 土壤物理性, 植生被覆度의 變化 등으로, 環境構成因子들은 상호 연계되어 각각의 인자들에 영향을 미치는 것으로 해석되었다.

따라서 山林伐採로 인한 環境變化는 環境을 構成하는 각각의 인자들에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 개별적인 영향요인들은 상호간에 有 意한 相關을 나타냄으로써 環境變化에 복합적인 영향을 미치게 되므로, 成熟林木收穫伐採로 인한 다양한 環境變化 現象을 究明하기 위하여는, 環境構成因子들 각각에 대한 綜合의이고도 中·長期的의 研究가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

結論

成熟闊葉樹林 皆伐收穫地에서 植生, 土壤微小動物, 降水量, 土壤物理·化學成分, 降水의 表面流出水量, 溪流水質, 山地斜面 浸蝕量 등 山林環境變化量을 調査하여 山林環境을 구성하는 인자들에 미치는 伐出의 영향을 定量的으로 分析함으로써, 山林環境에 미치는 林木收穫作業의 영향을 究明한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 伐採後 2년간 伐採地에서 木本植物과 草本植物의 種數와 種多樣度指數는 증가하였으며, 伐採地와 非伐採地間に 上層 木本植物의 종 구성 상태는 유사하였으나, 下層植生은 相異하였다.
2. 伐採地에서 土壤의 容積密度와 土壤硬度는 伐採後 增加하였으며, 伐採地에서 토양유기물, 전질소, 유효인산, 양이온치환용량, 치환성이 온인 K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} 등은 伐採後 2년간에는 伐採前보다 감소하였고, 이중 토양 산도, 전질소, 치환성이 온인 K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} 등은 1% 수준에서 有 意하였다.

며, 伐採地 토양의 緩衝能力은 감소되는 것으로 解析되었다.

3. 土壤微小動物中 特특이류나 응애류의 個體數는 伐採地에서 伐採 당년도에는 非伐採地보다 약 5(2~7)배 증가하였다. 반면에 다음 해에는 伐採 당년도의 증가분보다는 감소하였지만, 非伐採地보다는 많은 경향을 보였다. 한편, 土壤微小動物의 变化에 有 意한 영향을 미치는 주요인자는 土壤水分, 土壤의 容積密度, 치환성이 온인 Mg^{++} , 양이온치환용량, 그리고 토양깊이 5(0~10)cm에서의 地中溫度順이었다.
4. 伐採地에서 降水의 表面流出水量은 伐採 당년도에는 伐採地가 非伐採地보다 28%, 다음 해에는 24.5%가 많았으며, 降水의 表面流出水量의 变化에 有 意한 影響을 미치는 주요인자는 單位降雨量, 單位降雨횟수, 山地斜面 浸蝕量, 그리고 土壤의 容積density 등이었다.
5. 伐採後 2년간 伐採地 流域 溪流水의 BOD, COD, pH 等은 上水源水 1급 基準의範圍內였고, Cd, Pb, 유기인, Cu 등 重金屬은 檢出되지 않았으며, 溪流水의 색도, 탁도, 냄새, 맛, NH_4-N , NO_3-N , 일반세균수, 대장균군 등 8개 項目은 保社部 飲用水 水質基準 1급의範圍內에 있었다.
6. 伐採地에서 山地斜面 浸蝕量은 伐採 당년도에는 非伐採地($0.73\text{ton}/\text{ha}/\text{yr}$)보다 약 7배($4.77\text{ton}/\text{ha}/\text{yr}$), 다음 해에는 非伐採地($0.48\text{ton}/\text{ha}/\text{yr}$)보다 약 2배($1.0\text{ton}/\text{ha}/\text{yr}$) 많았다.

謝辭

이 研究를 위하여 도움을 주신 서울大學 農業生命科學大學 附屬 南部演習林 직원 여러분에게 깊이 감사드립니다.

引用文獻

1. 郭浚洙·崔貞植·朴魯豐·崔星植·金泰興·金台榮. 1989. 서울大 光陽演習林內 土壤微小節肢動物에 관한 研究-4. 土壤微小節肢動物과 樓息環境과의 關係. 韓國生態學會誌 12(3): 203-208.
2. 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.
3. 保社部. 1994. 飲用水 水質基準. 80p.
 4. 山田健・佐佐木尚三. 1990. 機械導入跡地における土壤攪乱. 第101回日林講 : 667-668.
 5. 禹保命・吳求均・金慶勳・朴鍾英・朴貞昊. 1994. 白雲山 演習林内 伐採地域의 植生遷移에 關한 研究(I). 서울大學校 演習林 研究報告 30 : 15-25.
 6. 李銓雄. 1992. 山林小流域에서의 流出量測定에 關한 研究 -秋山 山林 理水試驗場을 對象으로-. 서울大學校 碩士學位論文. 73p.
 7. 環境處. 1991. '91 自然生態系 地域調査 -光陽 白雲山 調査-. 環境處. 235p.
 8. Adamovich, L., D.S. Lacate and R.P. Willington. 1971. The impact of forest roads on the environment. Faculty of Forestry. University of British Columbia : 16-22.
 9. Adams, P.W. 1981. Compaction of forest soils : a pacific northwest extension publication Oregon. USDA Forest Service. PNW-217. 23p.
 10. Brown, G.W. 1991. Forestry and water quality. Oregon State University. 142p.
 11. Brown, T.C. and D. Binkley. 1994. Effect of management on water quality in north American forests. USDA Forest Service. GTR RM-248 : 1-27.
 12. Covington, W.W. 1981. Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in northern hardwoods. Ecology 62 : 41-48.
 13. Entry, J.A., N.M. Stark and H. Loewenstein. 1986. Effect of timber harvesting on microbial biomass fluxes in a northern Rocky Mountain forest soil. Canadian Journal of Forest Research 16 : 1076-1081.
 14. Foil, R.R. and C.W. Ralston. 1967. The establishment and growth of loblolly pine seedlings on compacted soils. Soil Science Society American Proceeding 31 : 565-568.
 15. Froehlich, H.A., D.W.R. Miles and R.W. Robbins. 1985. Soil bulk density recovery on compacted skid trails at central Idaho. SSSAJ 49(4) : 1016-1017.
 16. Hatchell, G.H., C.W. Ralston and R.R. Foil. 1970. Soil disturbance in logging : Effects on soil characteristics and growth of loblolly pine in the Atlantic Coastal Plain. Journal of Forestry 68 : 772-775.
 17. Kostadinov, S.C. and S.S. Mitrovic. 1994. Effect of forest cover on the stream flow from small watersheds. Journal of Soil and Water Conservation 49(4) : 382-386.
 18. Likens, G.E., F.H. Bormann, and N.M. Johnson. 1969. Nitrification : Importance to nutrient losses from a cutover forested ecosystem. Science 163 : 1205-1206.
 19. Mann, L.K., D.W. Johnson and D.C. West. 1988. Effects of whole-tree and stem-only clearcutting on post-harvest hydrologic losses, nutrient capital, and regrowth. Forest Science 34(2) : 412-428.
 20. Megahan, W.F. and W.J. Kidd. 1975. Effects of logging roads on sediment production rates in the Idaho Batholith. USDA Forest Service. RP INT-123. 70p.
 21. Southwood, T.R.E. 1966. Ecological methods with particular reference to the study of insect populations. Methuen & Co. LTD : 145-150.