

山林環境變化가 土壤內 水貯留能力과 流出에 미치는 影響

南 怡*, 朴承基

*농협중앙회 영농자재부
충남대 농업과학연구소

Effect of change in forest environment on water storage capacity in soil and streamflow

Yi Nam* , Seung Ki Park

*Department Of Federation Farm Inputs, N.A.C.F**
Institute of Agri. Sci., Chung Nam University

ABSTRACT

To clarify the effect of forest environmental changes (forest type difference and clearcut) on water storage capacity in soil and stream flow, watershed had been investigated in Pyungchang, Kangwon-Do during 1983 ~ 1993. Hydrological datas such as runoff, monthly ratio of runoff to precipitation, runoff-duration, monthly runoff(by plenty, ordinary, low and scanty duration), total runoff, direct runoff by runoff components, bulk density, porosity, coarse pore, fine pore, permeability and effective water storage were obtained from Backokpo and Yimokjong watersheds. The monthly ratio of runoff to precipitation, runoff and runoff-duration were higher in Yimokjong than in Backokpo due to forest type difference. On compararing pre-treatment with trement period in two experimental watersheds, pre-treatment period was lower than treatment period. Physical properties of soil such as bulk density, porosity, permeability, and effective water storage capacity conditions were better during the pre-treatment period than treatment period in the two experiment plots.

Key word : runoff, direct runoff, porosity, permeability, effective water storage.

요 약 문

江原道 平昌郡 蓬坪面과 龍坪面 일원에 위치한 白玉浦流域과 梨木亭流域에서 산림의 환경변화(임상 차이 및 피해목 벌채)가 유출과 토양내 수저유능력에 미치는 영향을 구명하기 위하여 1983~1993년의 流出量, 流出率, 流況曲線등을 분석하였다. 또한 유출 구성성분중 총유출량, 직접유출량, 토양내 가비중, 전공극량, 조공극, 세공극, 투수성, 유출가능수량을 분석하였다. 유출율, 유출량, 유황곡선은 임상이 불량한 이목정유역이 임상이 양호한 백옥포유역보다 높게 나타났으며, 두시험유역모두에서 전처리기간이 처리기간보다 낮게 나타났다. 또한 벌채에 의한 산림환경변화에 따라 응설축진 현상이 처리기간에 크게 일어났으며, 응설지연 현상으로 인한 산림효과가 전처리기간에 나타났다. 산림환경변화에 따른 토양의 물리적 성질중 가비중, 전공극량(조공극,세공극), 투수성, 유출가능수량에서도 백옥포유역이 이목정유역보다 양호하였으며, 두 시험유역 모두에서 전처리기간이 처리기간보다 양호한 결과를 나타내어 산림환경 변화에 따른 수자원함양기능의 중요성을 제시하였다.

주제어: 유출량, 직접유출량, 공극율, 투수성, 유출가능수량

1. 서 론

국토의 2/3를 차지하는 우리나라의 산림은 대부분 소유역을 형성하고 있기 때문에 用地用水 保存 차원에서 유역관리와 함께 수자원확보 측면에 중요한 위치를 차지하고 있으며, 연중 강수량의 분포가 계절적으로 하기에 집중되어 있어 유역관리 측면에서 산림의 역할이 지대한 영향을 미친다고 할 수 있다. 따라서 산림이 갖는 공익적 기능 중 수자원 함양기능은 산림의 임상 변화에 의한 유출의 차이, 벌채나 산화전후에 대한 유출의 변화 등을 조사하여 산림환경변화와외의 관계로부터 산림의 수자원 함양기능을 명확히 밝힐 수가 있다.

이러한 산림내 수자원 함양기능 중 산림토양은 물이 통과하는 통로로 존재하는 동시에 물을 저유하는 기능을 하고 있다. 일반적으로 산림유역에 내리는 강수의 대부분은 수관 및 하층식생 등에 의해 일시적으로 차단, 저유되었다가 일부는 대기중으로 증발되며 다른 일부는 지표에 떨어

진다. 지표에 떨어진 강수는 토양공극을 통하여 토층중에 침투하게 되어 강우강도가 토양의 침투능보다 크게 되면 지표유출이 발생한다. 이때 산림은 임지의 토양공극을 증가시킴으로써 강수의 침투 기회를 증가시킨다. 이와 같은 작용은 홍수 완화와 수자원 증대효과를 주는 것으로 이는 산림의 가장 중요한 기능인 것이다.

산림환경 변화에 따른 산림수문학적 연구에서 Bosch와 Hewlett(1982)가 세계적인 규모의 90개소 유역을 관측한 결과 벌채율이 많을수록 유출 증가 수량이 많았으며, 임상으로서는 침엽수림의 증가량이 가장 많았고, 벌채에서는 약 40mm, 활엽광엽수림이 25mm, 혼효림에서는 10mm의 증가가 있었다고 보고하였으며, 中野(1971)는 산림 벌채가 평상시 유출의 20~40%의 증가를 가져오며, 침엽수조림지가 활엽수림이 있을 때보다 연간 200mm의 유출감소를 가져와 침엽수림이 많은 물을 이용한다고 보고하였다. 또한 金載水(1987)는 사방지유역을 기준으로 하였을 때, 홍수량비가 침엽수림에서 49%, 활엽수림에서 36%

이었고, 직접유량비는 각각 53%와 55%라고 하면서 건전한 산림의 홍수경감효과를 구체적으로 밝힌 바 있다.

산림의 벌채에 따른 토양의 변화를 조사한 사례를 보면 小林(1982)이 벌채 전후의 54개 지점에서의 토양표층의 형태와 이화학적성을 비교한 결과에서는 퇴적유기물층이나 A층의 깊이가 감소하며, 그것에 따라서 이화학적성의 변화가 사면의 각 부위에서 나타났는데, 특히 토양의 물리적 변화는 모든 사면에서 벌채 전후의 전공극량은 크게 변하지 않았지만, 조공극량이 감소하고 세공극량이 증가함을 밝힌 바 있으며, 竹下(1981)는 산림토양을 대상으로 그 값을 측정된 결과 조공극이 A1층에 특히 많으며 이하 A層 > B層 > C層의 순으로 많고, 凹斜面이 凸斜面보다 대공극이 풍부하고 배수성이 높으며 수저유는 불리한 것으로 보고했다. 有光(1987)은 토양공극해석도를 이용하여 공극분포가 토양모재와 토양형의 차이에 따라 크게 변화하는 것으로 발표했으며 조공극량이 많을수록 투수율이 높아진다고 했다.

李憲浩와 李稔雨(1994)는 임지의 수저유능을 평가하는 데 있어서 가장 중요한 인자는 토양의 공극분포이며, 공극분석에 의한 實際利用可能水量的 평가를 통해 산지로부터 수자원 확보를 위한 관리대책수립에 기초자료로 제공한 바 있다.

따라서 본 연구는 國際水文開發計劃(IHP)에 의해 1983년부터 수위가 관측된 강원도 평창군 백옥포유역과 이목정유역의 유출량 자료를 기초로 산림환경변화(솔잎혹파리 피해정도와 벌채면적)에 따른 산림내 수원함양 기능을 정량적으로 해석하기위해 유출량, 유출율, 총유출량, 직접유출량을 비교, 분석하였으며. 이러한 분석 결과를 통하여 산림의 수저유능력을 정성적으로 평가하기 위해 산림내 토양의 물리적 성질중 假比重,

全孔隙量(粗孔隙, 細孔隙), 浸透能, 流出可能水량을 비교,평가하여 산림환경변화 특히 벌채가 산림토양의 수저유능력 차이를 일으키며, 궁극적으로 산림의 수원함양기능에 미치는 영향을 구명하고자 시도하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 試驗流域 選定 및 概況

본 시험유역은 솔잎혹파리 피해가 심각한 江原道 平昌郡 蓬坪面과 龍坪面 일원의 白玉浦와 梨木亭(동경 128° 25', 북위 37° 40')으로 국제수문개발계획(IHP)에 의해 1983년부터 수위 관측이 이루어진 곳이며, 본 시험유역은 화강편마암을 모재로 한 적황색 산림토양과 화강암이 모재인 갈색산림토양으로 구성되어 있으며(李天龍, 1993), 지질적 구조가 단순하고 안정적인 형상이고 하천을 중심으로 협소의 충적층이 분포하고 있다(韓國資源研究所, 1995) 본 시험유역의 위치와 지형적인 특성은 그림 1, 표 1과 같다.

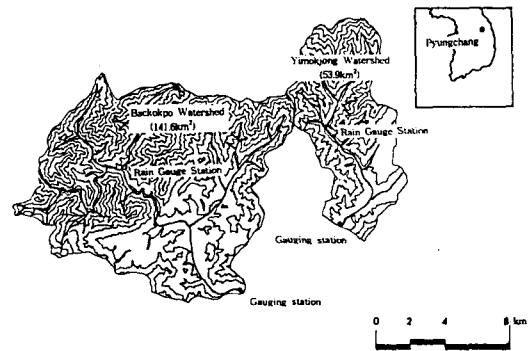


Fig.1. Location of two experimental watersheds in Pyungchang, Kangwon- Do

전체면적의 85.0%와 90.0%를 산림이 차지하고 있는 백옥포유역과 이목정유역의 임상을 보

Table 1. Topographic data of two experimental watersheds.

Topographic factor	Unit	Watershed	
		Backokpo	Yimokjong
Watershed area	km ²	141.6	55.9
Stream order		4	2
Main stream length	km	23.8	14.5
Total stream length	km	149.5	22.5
Circumference length	km	54.6	35.0
Stream central length	km	11.3	7.5
Maximum altitude	m	1334.7	1577.4
Minimum altitude	m	506.0	592.0

면 백옥포유역에서는 침엽수림이 41.8 %, 활엽수림이 43.0%이었고, 이목정유역에서는 각각 46.0%, 44.0%를 차지하고 있으며, 두 지역에서 침엽수림은 대부분 소나무(Pinus densiflora)림이고, 활엽수림은 신갈나무(Quercus mongolica)군락, 떡갈나무(Quercus dentata)군락, 떡갈-신갈나무(Quercus mongolica-Quercus dentata)군락, 신갈-졸참나무(Quercus mongolica-Quercus serrata)군락, 졸참나무(Quercus serrata)군락 등이 주로 분포하고 있다(環境處, 1990). 두 시험유역의 토지이용 현황을 분석하기 위하여 1992년 11월과 1994년 4월의 Landsat Thematic Mapper 인공위성영상 자료를 이용하여 분석한 결과 표 2와 같다.

Table 2. Classification of landuse in two experimental watersheds

Landuse type	Site	Backokpo watershed		Yimokjong watershed	
		Area(km ²)	Rate(%)	Area(km ²)	Rate(%)
Forested	Coniferous	59.20	41.8	24.80	46.0
	Deciduous	60.80	43.0	23.20	44.0
Agricultural		20.46	14.5	5.09	9.4
The others		1.09	0.7	0.29	0.6
Total		141.55	100.0	53.38	100.0

두 시험유역에서 산림지는 전체 유역면적의 86%로 나타났으며, 지역별로는 백옥포유역이 84.8%, 이목정유역은 90%가 산림지로 나타났다. 농경지는 이목정유역보다 백옥포유역에서 다소 많았고, 기타항목에는 산재되어 있는 촌락과 하천유역 및 나지가 함께 분류되었는데, 이들의 분포는 두유역이 비슷하게 나타났다.

2-2. 降水資料 收集 및 分析

본 시험유역의 강수량은 백옥포유역은 무이초등학교 흥정분교에서 관측한 자료를, 이목정유역은 계방초등학교 속시분교에서 관측한 각각 자료를 이용하였다.

2-3. 流量資料 收集 및 分析

본 시험유역에서는 1983~1985년을 전처리기간(pre-treatment period)으로 1991~1993년(백옥포)과 1989~1991년(이목정)을 처리기간(treatment period)으로 구분하였으며, 두 시험유역을 비교, 분석하기위해 日流出深(daily runoff depth)으로 환산하여, 유허곡선 및 수평분리법을 이용 총유출량과 직접유출량을 산출하였다.

$$\text{日流出深(mm/day)} = \text{일유량}(m^3/sec) \times 86.4 / \text{유역면적}(km^2)$$

2-4. 土壤物理性 調査

두 시험유역에 대해서 토양공극 조성조사를 soil core sampler를 이용하여 고도와 토심별로 산림지 및 벌채지를 구분하여 3회 반복으로 전공극량(식 1), 조공극량, 세공극량, 토양수분함량(식 2), 유출기능수량(식 3)을 측정하였다. 세공극량은 토양이 중력에 견디어 저장할 수 있는 최대

의 수분함량(최대용수량)으로 24시간 자연 배수 후 측정하였으며, 조공극량은 전공극량에서 세공극량을 차감하였다.

$$P = 100 - Sv \dots\dots\dots 1)$$

(P : 孔隙率(%), Sv : 固相率(%))

$$Mv(\%) = 100 (St - S) / V \dots\dots\dots 2)$$

(Mv : 토양수분함량(%), St : 시료의 전중량(g)

S : 건토의 전중량(g), V : Core의 부피(cm^3))

$$\text{流出可能水量}(\%) = \text{最大容水量} - \text{細孔隙} \dots\dots 3)$$

본 연구에서 투수성 측정은 Guelph Permeameter(Model 2800K1)를 사용하였고, 그림 2는 투수계의 구조를 나타낸 것이다. 구조를 보면 공기주입관, 수저유관, 보조관으로 구성되어 있으며, 공기주입관에 압력수두가 5cm와 10cm로 calibration되어 물이 주입되는 일정속도를 측정하게 된다. 본 연구에서는 유역내 산림을 고도별로 산정, 산복, 산록으로 구분하여 토심별로 15, 30, 45, 60cm의 범위에서 각각 측정하였다.

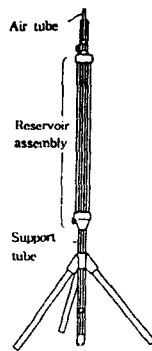


Fig. 2. Structure of Guelph permeameter(Model 2800K1) for measuring of permeability

또한 토양견밀도는 penetrometer (CI-700)를 이용하여 산정, 산복, 산록에 대해 토심별로 각각 3회 반복 측정하여 평균값을 이용하였으며, 토양가비중은 식 4와 같이 구하였다(趙成眞 등,

1985).

$$da = s / v \dots\dots\dots 4)$$

(da : 假比重(g/cm^3), s : 乾土의 무게(g), v : 土壤을 채운부피(cm^3))

3. 결과 및 고찰

3-1. 山林環境 變化

본 연구에서의 두 시험유역은 솔잎혹파리에 의한 피해정도를 분석하기 위하여 Landsat TM에 의해서 시험유역의 소나무림 지역만을 추출한 후, 1994년 4월의 인공위성 자료에서 정규식생지수로 계산된 식생활력도를 도출하였다. 그림 3은 피해정도가 정확히 구분되는 5~8개의 Training set를 설정한 후 최대우도법의 감독분류 방법을 적용하여 건전(Healthy), 경(Light), 중(Medium), 심(Heavy) 및 기타(활엽수림지역, 농경지 및 나지)로 분류한 영상 결과이다. 표 3은 두 유역에서의 솔잎혹파리에 의한 피해정도별 면적과 비율을 나타냈다. 전체 산림면적 중 백옥포유역은 32.8%인 39.3 km^2 가, 이목정유역은 22.9%인 11.1 km^2 가 고사목이거나 벌채면적으로 나타났다. 특히 이러한 현상은 산정 부근보다 산록 부근의 경사가 완만하고 평탄한 지역에서 피해



Fig. 3. Damage classes of forest by pine-gall midge in two experimental watersheds

양상이 심하였는데 이는 산정에 활엽수인 신갈 나무가 산록에는 소나무가 분포해있기 때문으로 해발고 400~700m에서 피해가 극심했다.

Table 3. Analysis of pine forests damaged by pine-gall midge in two experimental watersheds

Damage level	Site	Backokpo watershed		Yimokjong watershed	
		Area(km ²)	Rate(%)	Area(km ²)	Rate(%)
Healthy		0.32	0.6	0.36	1.5
Light		4.66	7.8	4.31	17.4
Medium		14.92	25.2	9.26	37.3
Heavy		39.29	66.4	10.87	43.8
Total		59.19	100	24.80	100

3-2. 降水資料 特性

두 시험유역에서 1983년부터 1985년까지를 전처리기간으로 하고, 백옥포유역에서는 1991년부터 1993년까지를, 이목정유역에서는 1989년부터 1991년까지를 처리기간으로 하여 강수량을 본 결과 백옥포유역에서의 전처리기간과 처리기간의 강수량 분포를 보면 전처리기간 연평균강수량은 1,680mm로 처리기간의 연평균강수량 1,631mm보다 3.0%(49mm)가 많았으며, 전처리기간 월평균강수량중 7월~9월의 강수량이 전체 강수량의 60%(1,013mm)를 차지하였고, 처리기간 7월~9월의 강수량도 전체 강수량의 54.9%(896mm)를 차지하였다. 백옥포유역의 처리기간 강수량이 전처리기간보다 적은 것은 1992년도에 전국적인 한발의 영향에 기인된 것으로 사료된다.

월평균강수량을 비교해 보면 전처리기간 7월에 25.7%(432mm)로 가장 많았으며, 1월에 1.5%(25mm)로 가장 적게 나타났다. 또한 처리기간에서도 7월에 27.4%(446mm)로 가장 많았으며, 1월에 1.5%(25mm)로 가장 적게 나타났는데, 이

는 백옥포유역의 11년간 연평균강수량과 비슷한 양상을 보이고 있으며, 전체 강수량 분포에서 전처리기간이 처리기간보다 강수량이 많았다. 이목정유역에서의 전처리기간과 처리기간의 강수량 분포를 보면 연평균강수량이 전처리기간은 1,414mm, 처리기간은 1,652mm로 처리기간이 16.8%(238mm) 많았다. 3개년 월평균강수량을 비교해 보면 전처리기간의 7월~9월의 강수량이 전체 강수량의 62.9%(889mm)로 처리기간의 강수량이 51.5%(851mm)로 전처리기간이 많이 차지한 것도 1992년도의 한발의 영향으로 사료된다. 월별 연평균강수량을 비교해 보면, 이목정유역의 7월에 전처리기간이 25.0%(353mm), 처리기간은 9월에 363mm로 가장 많았으며, 전처리기간에서는 1월에 2.0%(28mm), 처리기간에서는 10월에 1.4%(22mm)로 가장 적게 나타났다.

3-3. 試驗流域의 流出量 變化

3-3-1. 年平均 流出率 變化

두 시험유역에서의 6년간 연평균 유출율을 비교해 보면 백옥포유역이 68.5%, 이목정유역이 78.4%로 이목정유역이 9.9%가 높았다. 이는 임상의 良否의 차이로 백옥포유역이 이목정유역보다 건전한 산림상태를 유지하고 있었다. 또한 두 시험유역에서의 전처리기간과 처리기간의 유출율을 비교하면 백옥포유역에서는 처리기간이 전처리기간보다 16.1%의 증가를 보였으며, 이목정유역에서는 처리기간이 전처리기간보다 4.2%의 증가를 보였다. 연평균 유출율 증가의 차이가 이목정유역보다 백옥포유역이 큰 이유는 솔잎혹파리의 피해에 의해 수목이 제 기능을 못하는, 즉 고사목과 같은 양상을 띄고 있는 면적과 벌채면적이 전체 산림면적에서 백옥포유역은 32.8%, 이목정유역은 22.9%로 산림의 상태가 백옥포유

역이 건진하였으나 솔잎혹파리 피해목에 의한 벌채면적의 증가가 이목정유역보다 9.9% 증가했기 때문에 판단된다. 이러한 현상은 尹豪重(1995)이 포천군내 광릉시험림에서 3개의 산림소유역에서 10년간의 강우-유량자료를 이용하여 유출율을 비교한 결과 식생 및 토양조건이 양호한 유역에서는 연강수량과 정의 상관관계가 있었고, 식생 및 토양조건이 불량한 유역에서는 조건이 양호한 유역보다 연간 유출율이 상대적으로 크다는 결과와 일치하고 있다.

3-3-2. 벌채에 의한 季節別, 月別 流出量 變化

두 시험유역의 계절별 유출량 변화는 그림 4와 5에서와 같이 봄, 여름, 가을, 겨울 동안에 뚜렷한 차이가 있었다. 백옥포유역에서는 전처리기간과 처리기간의 비교에서 봄에 170.7mm, 여름에 356.1mm, 겨울에 28.6mm의 유출량 증가를 보였으며, 이목정유역에서는 봄에 56.8mm, 여름에 224.7 mm, 가을에 13.9mm, 겨울에 45.5mm의 증가를 나타냈다. 또한 계절별 유출량 차이도 두 시험유역 역시 강수집중기간인 여름에 가장 큰 영향을 나타냈는데, 이러한 현상은 산림환경 변화에 의한 유출량 차이중 증발산량의 감소에 따른 유출량증가와 집중강수기간인 여름에 강우강도가 높아 산림효과에 의한 차단량이 감소되고, 이에 따른 우적에 의한 지면도달속도가 커져 토양속으로 스며들어가야 할 水가 그대로 유출되었기 때문이며, 유출성분 중 직접유출이 차지하는 부분이 기저유출량보다 압도적으로 많이 유출되었음을 의미한다(森林水資源問題檢討委員會, 1990).

또한 백옥포유역보다 이목정유역에서 계절별 유출량 증가가 크게 나타났는데, 이는 산림의 상태가 백옥포유역이 양호함을 의미하며 벌채에 의한 산림환경 변화가 유출량 특히 홍수조절기

능에 영향을 미치며 수목생장기간에 직접유출의 차이가 벌채에 의한 것임을 알 수 있다. 이러한 결과는 中野 등(1956)이 보고한 벌채전보다 벌채후가 3월의 용설출수가 증가하며, 4~5월에 감소한다는 결과와 丸山 등(1952)이 3월에는 강설에 의한 出水가 증가하고, 4월에는 出水가 감소하여 벌채후가 용설축진이 크다는 결과와 일치하는 경향을 보이고 있다. 뿐만 아니라 유출량은 직접유출과 기저유출을 합한 것으로서 벌채에 의한 영향을 가장 민감하게 받는 것이 직접유출이며, 임상이 양호한 산림에서는 직접유출보다 기저유출이 압도적으로 많지만, 벌채와 병충해의 영향을 받아 임상이 악화되고 있는 산림에서는 기저유출보다 직접유출이 많다는 것을 의미하고 있다. 그리고 백옥포유역과 이목정유역을 비교하면 이목정유역의 유출량이 백옥포유역보다 많은 이유는 임상의 상태가 백옥포유역이 양호하다는 것을 의미하며, 전처리기간과 처리기간을 비교하면 산림의 상태가 백옥포유역이 양호했지만, 벌채면적의 증가 및 고사목면적의 증가에 따라 백옥포유역의 산림환경이 급속도로 악화되어 가고 있는 현상을 나타내고 있다.

벌채에 의한 벌채후의 월별 유출량은 그림 6과 7에서 보는 바와 같이 백옥포유역에서는 1월에서 8월까지 벌채전보다 증가하고 있으나, 9월, 10월, 12월의 유출량은 감소경향을 나타냈다. 이목정유역에서는 6개월을 제외하고는 감소추세를 보였다. 이러한 현상은 강수집중기간인 7월과 8월에 이미 직접유출량 자체가 압도적으로 많은 유출을 보여 산림내 수저유량이 빈약한 상태에서 일어난 현상이며, 이목정유역은 강수후 곧바로 직접유출이 일어나 월별의 차이가 심하게 나타나 이목정유역의 임상이 조악하다는 것을 보여주고 있다.

산림환경의 변화에 가장 큰 영향력은 벌채에 의한 것으로 산림벌채에 따른 직접유출의 증가

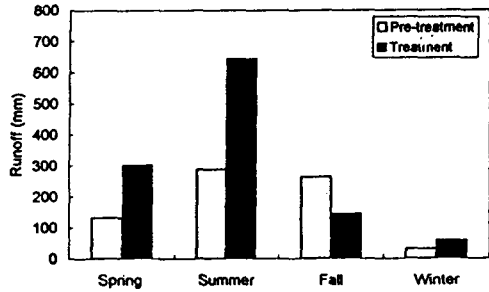


Fig. 4. Seasonal differences of runoff between pre-treatment period and treatment period in Backokpo watershed

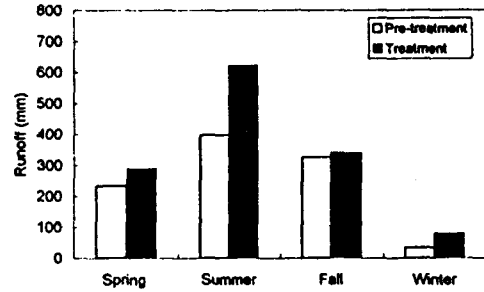


Fig. 5. Seasonal differences of runoff between pre-treatment period and treatment period in Yimokjong watershed

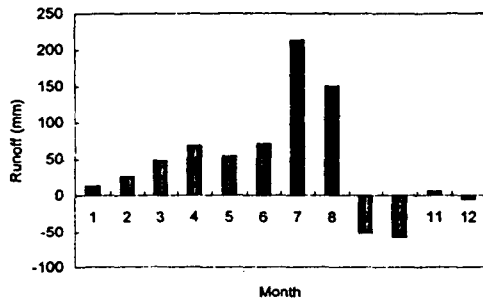


Fig. 6. The difference of monthly runoff between pre-treatment period and treatment period in Backokpo watershed

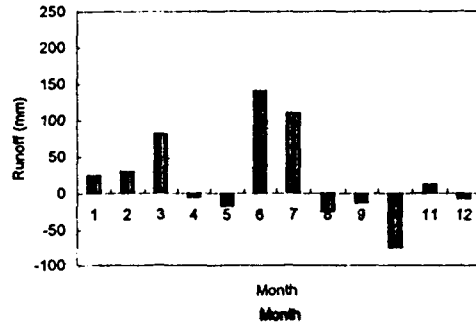


Fig. 7. The difference of monthly runoff between pre-treatment period and treatment period in Yimokjong watershed

가 가장 심하며 이에 따라 침투능이 저하되어 결국 토양속으로 침투되어야 할 강수가 직접유출로 나타난다는 보고(George, 1991)로 미루어 볼 때, 본 시험유역에서 나타낸 결과는 임상의 제거로 인하여 직접유출의 증가와 산림토양의 변화에 지대한 영향을 미친 것으로 사료된다.

3-4. 試驗流域의 流況曲線에 의한 流出特性

본 두 시험유역에서는 그림 8, 9와 같이 풍수, 평수, 저수, 갈수유량이 전체적으로 전처리기간보다 처리기간이 높은 경향을 나타냈다. 일유량

자료를 이용하여 두 시험유역에서의 유황곡선을 비교해 보면, 이목정유역이 백옥포유역보다 풍수유량이 1.05mm, 평수유량이 0.65mm, 저수유량이 0.15mm, 갈수유량이 0.05mm 높게 나타났는데, 이는 이목정유역의 산림상태가 불량함에 기인하는 것으로 생각된다. 또한 백옥포유역에서의 처리기간은 전처리기간보다 풍수유량이 1.2mm, 평수유량이 0.5mm, 저수유량이 0.3mm, 갈수유량이 0.1mm 높게 나타났고, 이목정유역에서는 각각 0.5mm, 0.3mm, 0.4mm, 0.2mm 높게 나타났다. 이와 관련하여 中野(1976)는 풍해 또는 피해목 벌채와 같은 식생량의 변화와 각종 작업에

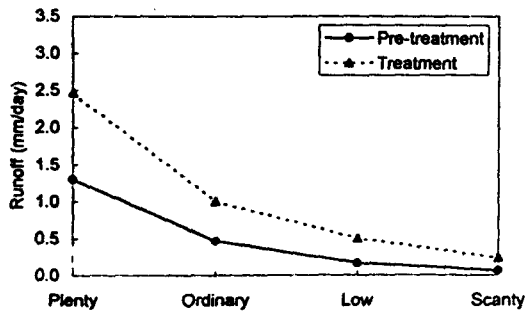


Fig. 8. Changes of runoff-duration curve between pre-treatment period and treatment period in Backkokpo watershed

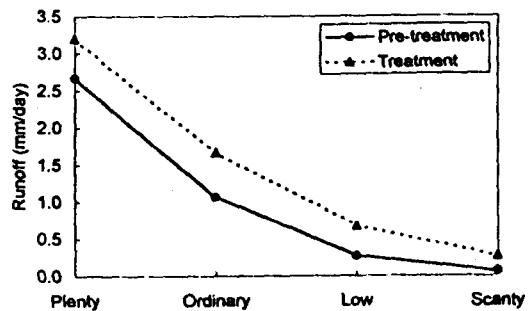


Fig. 9. Changes of runoff-duration curve between pre-treatment period and treatment period in Yimokjong watershed

의한 지표면 교란 등으로 지표변화가 심한 3~5년의 풍수유량의 변화를 주며, 또한 벌채 등에 의한 산림환경 변화에 풍수와 갈수유량의 영향이 크다고 보고한 바 있다. 또한 李憲浩(1990)는 장기간에 걸쳐서 수문관측이 행해지고 있는 東京大學 愛知演習林의 4개의 시험유역 가운데 임상이 불량한 穴宮流域이 임상이 양호한 東山流域보다 풍수유량이 높았다고 보고한 바 있으며, 따라서 본 시험유역에서도 이러한 증가 차이가 이목정유역보다 백옥포유역에서 더 큰 것은 산림환경 변화의 차이때문인 것으로 사료된다.

3-5. 總流出量 과 直接流出量 變化

백옥포유역과 이목정유역의 전처리기간과 처리기간에서 각 사상마다의 유출량을 분리하여 강우사상에 대한 총유출량과 직접유출량의 변화를 그림 10~13에 나타내었다.

각 강우사상에 대한 총유출량과 직접유출량은 백옥포유역과 이목정유역 모두에서 전처리기간이 처리기간보다 낮게 나타났으며, 두 시험유역 간의 총유출량 비교에서는 전처리기간과 처리기간 모두에서 백옥포유역이 이목정유역보다 낮게 나타났다. 이러한 현상은 전처리기간에는 백옥포

유역의 산림상태가 상당히 양호했기 때문으로 판단되며, 벌채에 따른 산림환경 변화가 이목정유역보다 백옥포유역에서 더 심하여 백옥포유역의 산림이 급격히 조악해졌음을 의미한다.

이러한 현상은 禹保命(1993)이 보고한 바에 의하면 산림상태가 양호하면 직접유출이 감소하는 반면 기저유출은 증가하고, 이와 함께 수저유능력이 커져 홍수시에는 유출량을 경감시키며 갈수시에는 수자원을 공급하는 수자원증진기능을 하는 것과 일치하고 있다.

3-6. 試驗流域의 土壤物理性 變化

산림토양의 수저유능력을 평가하기 위해 산림지를 전처리기간으로 벌채지를 처리기간으로 구분하여, 각 시험구를 산정, 산복, 산록으로 나누어 토심별로 토양물리성을 분석한 결과는 다음과 같다.

3-6-1. 土壤孔隙 과 透水性 變化

토양공극은 전공극, 조공극, 세공극으로 구분하여 측정된 결과는 그림 14~16과 같다. 전공극량은 백옥포유역의 전처리기간에서 산록 55.5%,

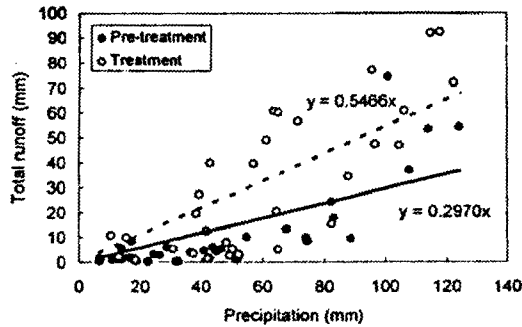


Fig. 10. Changes of total runoff by precipitation for storm events between pre-treatment period and treatment period in Backokpo watershed.

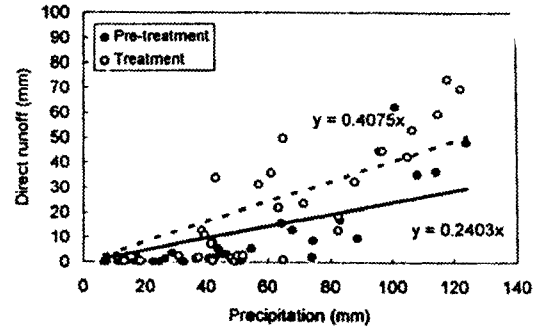


Fig. 12. Changes of direct runoff by precipitation for storm events between pre-treatment period and treatment period in Backokpo watershed

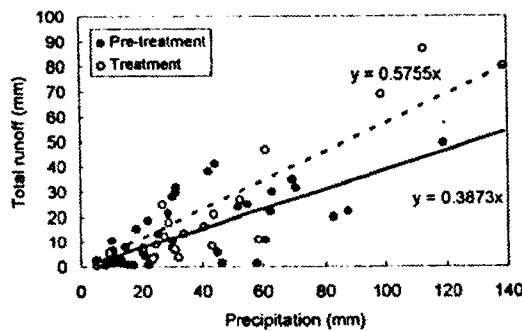


Fig. 11. Changes of total runoff by precipitation for storm events between pre-treatment period and treatment period in Yimokjong watershed

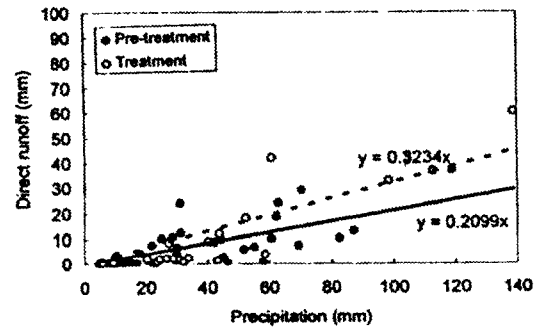


Fig. 13. Changes of direct runoff by precipitation for storm events between pre-treatment period and treatment period in Yimokjong watershed.

산정 49.0%, 산복 44.6%로 나타났고, 처리기간에서는 산록 42.7%, 산정 39.8%, 산복 39.3%로 산록 >산정 >산복의 순으로 나타났으며, 전처리기간이 처리기간보다 더 많은 전공극량을 나타내었다. 이목정유역의 전처리기간에서는 산록 48.3%, 산정 45.2%, 산복 39.8%로 나타났고, 처리기간은 산록 46.7%, 산정 41.5%, 산복 37.1%로 산록 >산정 >산복의 순으로 나타났으며, 전처리기간과 처리기간의 차이가 나타났다. 전반적으로 별채전에는 백옥포유역이 이목정유역보다 많은 전공극량을 나타냈으나, 별채후에는 이목정유역보다 약간 감소하였다.

또 조공극량은 백옥포유역의 전처리기간에서는 산록이 29.4%, 산정이 26.0%, 산복이 23.5%로 나타났으며, 처리기간에서는 산록이 22.6%, 산정이 21.1%, 산복이 20.7%의 범위를 보였다. 그리고 이목정유역의 전처리기간에서는 산록 25.6%, 산정 23.8%, 산복 21.0%로 나타났으며, 처리기간에서는 산록 24.6%, 산정 21.9%, 산복 19.6%의 분포를 보여 조공극량의 분포는 산록 >산정 >산복의 순으로 나타났다. 이러한 현상은 투수성의 변화와 일치하는 것으로 有光(1987)의 연구결과에서 투수성은 조공극량이 많을수록 높다는 분석결과와 일치하고 있다.

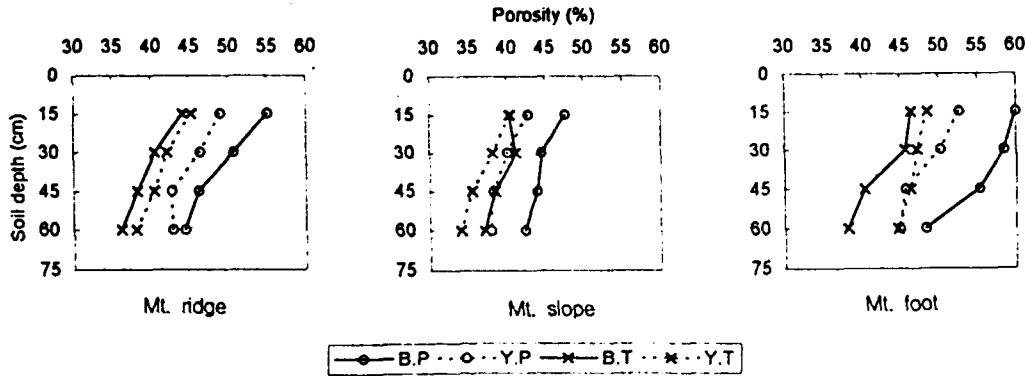


Fig. 14. Porosity by soil depth on ridge, slope, and foot of mountain in two experimental watersheds

B.P : Backkokpo Pre-treatment Watershed
 Y.P : Yimokjong Pre-treatment Watershed
 B.T : Backkokpo Treatment Watershed
 Y.T : Yimokjong Treatment Watershed

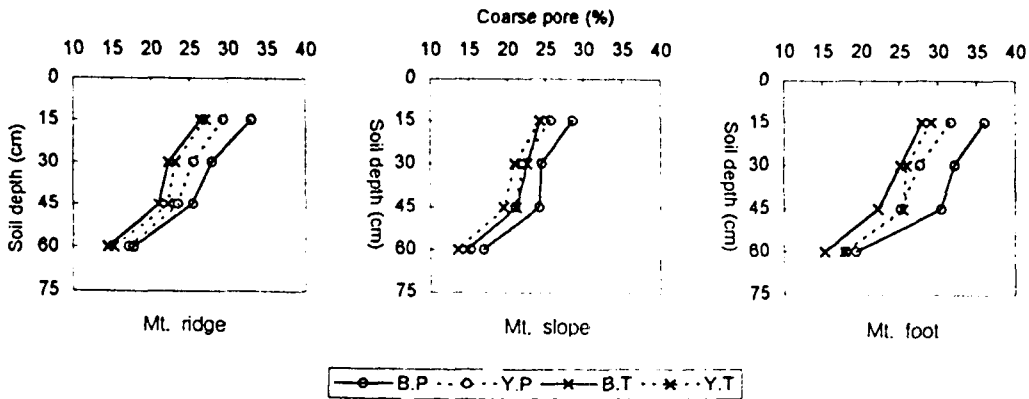


Fig. 15. Coarse pore ratio by soil depth on ridge, slope, and foot of mountain in two experimental watersheds.

또한 표층 15cm에서는 공극량 분포가 전공극 > 조공극 > 세공극 순으로 나타나 표층의 유기물함량과 토양구조가 잘 발달되어 있음을 보여주고 있으며, 토심 30cm와 45cm, 그리고 60cm층에서는 조공극량의 감소가 있으나 세공극량은 증가함을 나타내었다.

竹下(1981)는 표층에서 토양표면에 퇴적한 낙엽층이나 토양층에서 고사한 식물의 근계 등이 미생물이나 소동물의 활동에 의해 부식화된 상태이고, 토심이 증가할수록 토양의 조성이 치밀하기 때문에 공극의 형성이 상대적으로 어렵다

고 보고한 바 있다.

또한 Guelph permeameter를 이용한 투수성 측정은 두 시험구역에서 전처리기간과 처리기간으로 구분하여 산정, 산복, 산록에 의한 고도별 및 토심별로 그림 17에 나타냈다.

전처리기간과 처리기간에서의 고도별 투수성 변화는 전처리기간이 높게 나타났으며, 고도별로는 산록 > 산정 > 산복의 순으로 나타났고, 특히 전처리기간과 처리기간의 차이가 있는 산록부근에서 투수성이 높게 나타났다. 이는 산립의 지형적인 차이에 의해서 수저유능력이 산록부근에서

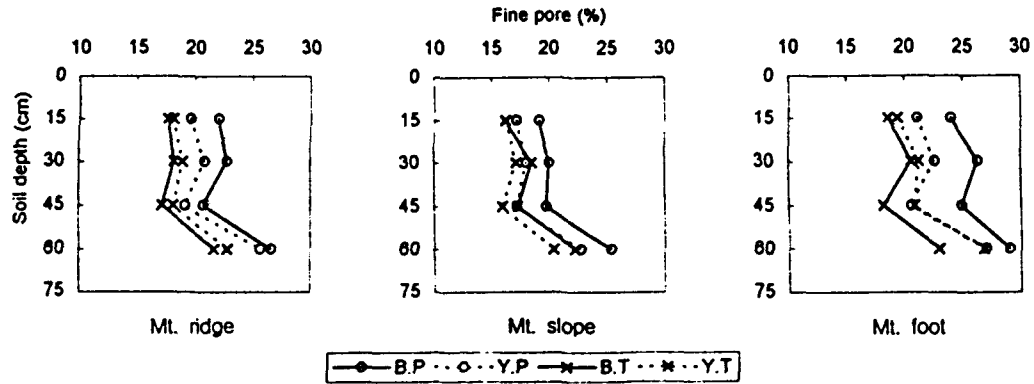


Fig. 16. Fine pore ratio by soil depth on ridge, slope, and foot of mountain in two experimental watersheds.

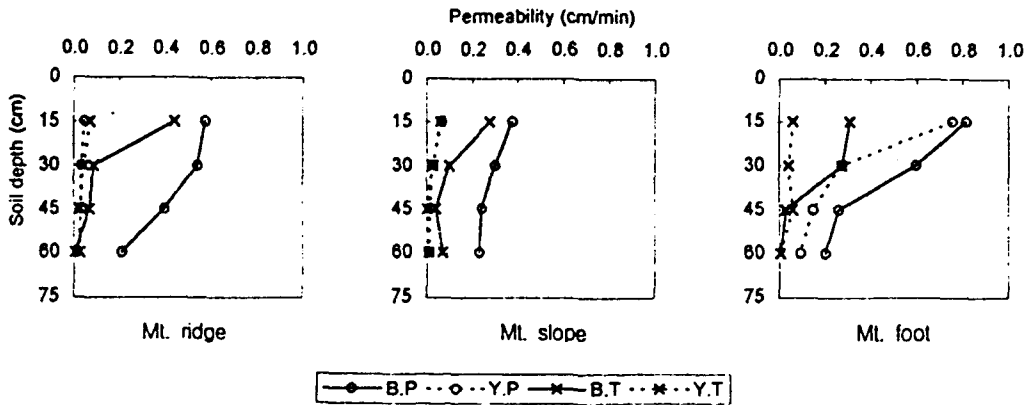


Fig. 17. Permeability by soil depth on ridge, slope, and foot of mountain in two experimental watersheds.

큰 것으로 사료된다. 또한 이목정유역에서는 산정과 산복의 차이는 크지 않았으나 산록부근에서 투수성이 높게 나타났다.

토심별로는 백옥포유역의 전처리기간과 처리기간을 비교해 볼때 15cm, 30cm, 45cm, 60cm층에서 토심이 증가할수록 감소경향을 보이고 있으며, 산록, 산복, 산정 모두 뚜렷한 차이를 보였다. 그러나 이목정유역에서는 전처리기간과 처리기간의 비교에서 산복과 산정의 차이는 없었으나 산록부근의 15cm, 30cm에서 차이가 인정되었다. 이는 벌채에 의한 토양물리성 변화의 영향력이 토심 15cm층에서 가장 민감하게 반응하고 있음을 보여주는 것으로 판단된다.

이와 관련하여 村井(1975)은 임지가 다른 지피

보다 명확히 높은 침투능을 갖고 있다고 밝혔는데, 임지가 시간당 258mm, 벌채적지가 158mm, 초지가 127.7mm, 나지가 79.2mm의 침투능을 보였으며, 임지에서는 활엽수림이 침엽수림보다 침투능이 양호하다고 밝힌 바 있다.

3-6-2. 土壤水分含量, 流出可能水量 및 土壤堅密度 變化

본 연구에서 토양수분함량과 유출가능수량을 분석한 결과는 그림 18~20에서 보는 바와 같이 토양수분함량은 백옥포유역의 전처리기간에서 산록, 산정, 산복별로 각각 31.2%, 28.2%, 24.4%로 나타났으며, 처리기간에서는 각각 28.4%, 25.

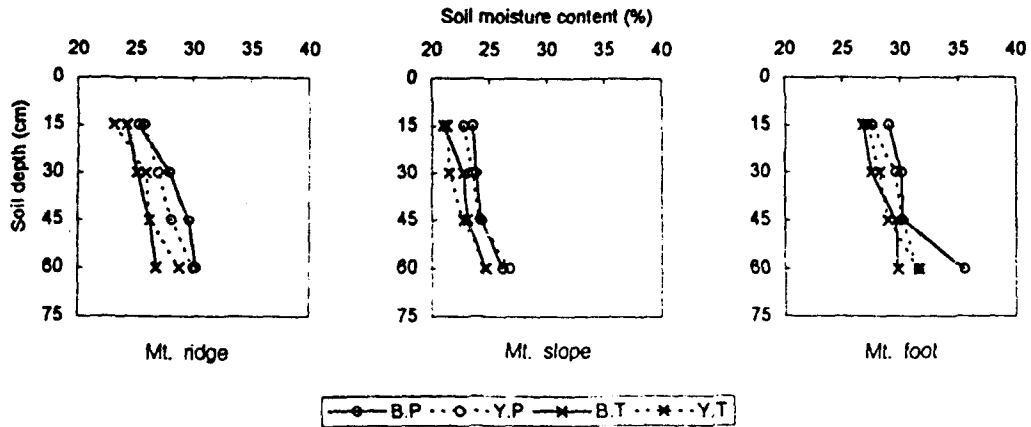


Fig. 18. Soil moisture content *in-situ* by soil depth on ridge, slope, and foot of mountain in two experimental watersheds.

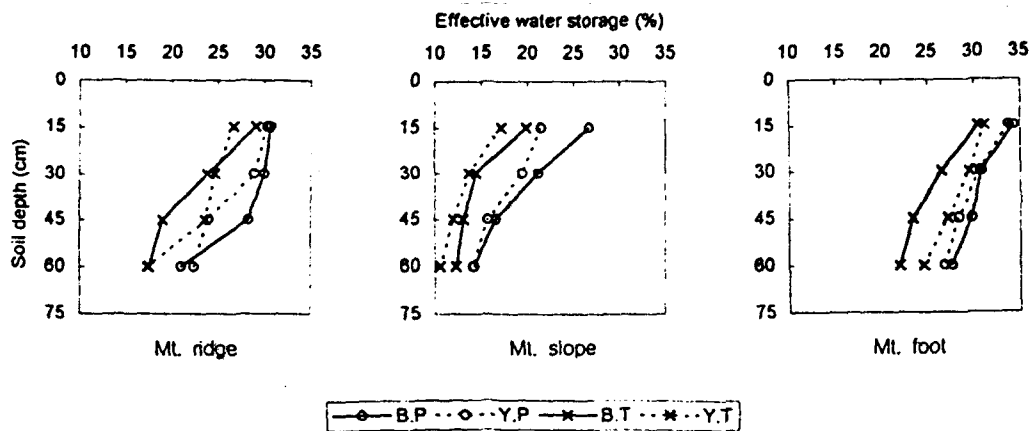


Fig. 19. Effective water storage by soil depth on ridge, slope, and foot of mountain in two experimental watersheds.

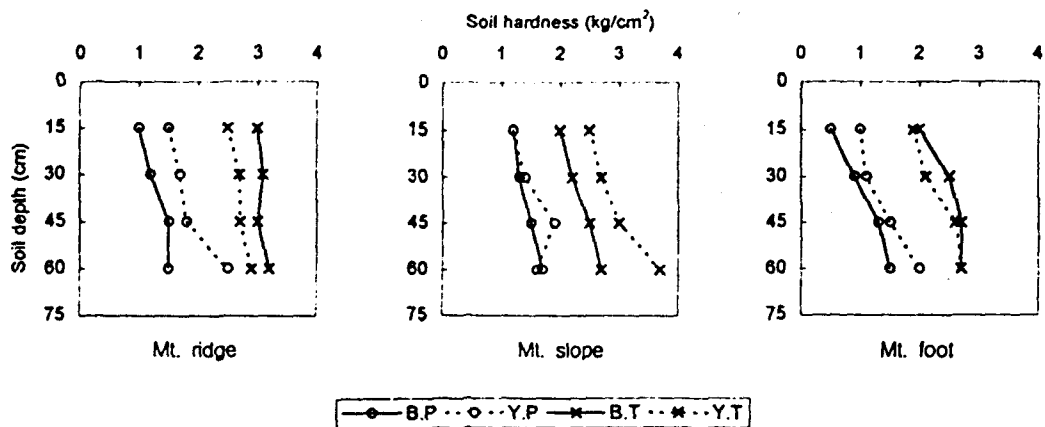


Fig. 20. Soil hardness by soil depth on ridge, slope, and foot of mountain in two experimental watersheds.

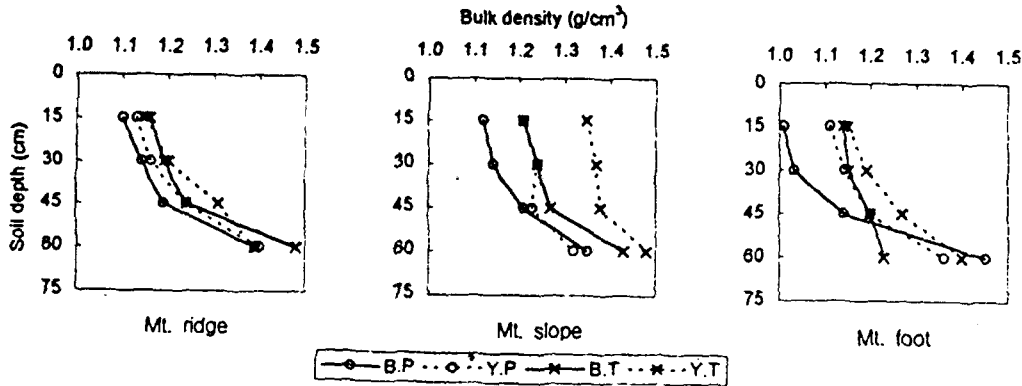


Fig. 21. Bulk density by soil depth on ridge, slope, and foot of mountain in two experimental watersheds.

6%, 22.6 %로 나타났다. 그리고 이목정유역의 전처리기간에서는 각각 29.7%, 27.7%, 24.3%로 나타났으며, 처리기간에서는 29.0%, 26.0%, 22.9%로 나타났다.

또한 유출가능수량을 분석한 결과 백옥포유역의 전처리기간에서의 산록, 산정, 산복의 분포를 보면 각각 22.5%, 21.6%, 19.7%를 보이고 있으며, 처리기간은 각각 17.4%, 15.6%, 14.9%를, 또 이목정유역에서의 전처리기간에서는 21.4%, 19.9%, 17.7%로 나타났고, 처리기간에서는 각각 18.1%, 18.1 %, 13.4%로 나타났다.

토심별로는 토양수분함량은 토심이 증가할수록 증가하고, 유출가능수량은 토심이 증가할수록 감소현상이 나타났다. 이는 토양수분함량을 많이 함유할수록 세공극량이 많으며, 토양의 수분보유능이 높아 식물이 이용할 수 있는 양일 뿐만 아니라 유출가능수량은 수원함양기능에 의한 수저유능력을 나타내는 것을 의미하는 것으로써 산림토양의 공극분포 중 조공극량이 산림토양의 수저유능력에 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다. 그림 19에서의 토양전밀도는 토양의 퇴적양식, 임목의 생육조건을 판정하는 역할과 생물의 생육환경을 판단하는 지표로서, 토양전밀도가 증가함에 따라 조공극량이 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 金景河(1994)의 연구결

과와 같은 경향으로서 토양이 낙엽으로 피복되지 않고 노출될 경우 빗방울의 충격에 의해 토양 표면의 단립구조가 파괴되어 침투능이 저하되므로 토양전밀도는 침투능과 밀접한 관계에 있다고 밝힌 바 있다. 또한 李憲浩(1994)도 유사한 결과로 토양전밀도는 침투능 및 조공극량과 고도의 相關이 있음을 밝힌 바 있다.

3-6-3. 土壤假比重 變化

토양의 구조, 공기유통, 물의 저유능력을 나타내는 지표인 가비중은 본 연구에서 그림 21과 같이 백옥포유역이 이목정유역보다 낮게 나타났으며, 전처리기간과 처리기간의 비교에서 전처리기간이 처리기간보다 전체적으로 낮게 나타났다. 고도별로는 산록 > 산정 > 산복의 순으로 나타났으며, 이는 산록이 사면하부에 있는 凹형 崩積土, 산복은 匍行土, 산정은 사면상부에 있는 凸형 殘積土로 구성되어 산복의 가비중이 높게 나타난 것은 토심이 얇고, 토양구조의 발달이 빈약하다는 것을 의미하며, 산록은 봉적토로서 가비중이 낮은 결과로 볼 때 토심이 깊고, 토양구조가 안정되어 있다는 것을 의미하고 있는 것으로 생각된다.

3-6-4. 土壤物理性的 相關分析

산림의 수저유능력을 평가하기 위한 토양물리성의 상관분석 결과는 표 4와 같다. 표 4에서 보는 바와 같이 전공극량은 조공극, 세공극, 투수성, 토양수분함량과 유출가능수량에서 고도의 正의 相關을 보였으며, 가비중과는 負의 相關을 나타내었다. 또 조공극은 투수성 및 유출가능수량과 고도의 正의 상관을 갖는 반면, 가비중과 토양건밀도와는 負의 상관을 갖고 있었다. 또한 세공극량은 토양수분함량과 正상관을 토양건밀도와는 負의 상관을 보였다. 그리고 투수성이 유출가능수량과 正의 상관을 가비중과 토양건밀도와는 負의 상관을 보였고, 가비중은 유출가능수량과 토양수분함량 및 토양건밀도와 正의 상관을 토양건밀도와는 負의 상관을 보였다.

이러한 현상은 침투능의 증가에 따라 토양내의 조공극 혹은 전공극이 많이 존재하므로써 토양내 유출가능수량도 증가한다는 李憲浩(1994)의 조사 결과와 일치하는 경향으로서 따라서 임지에서의 토양 수저유능력을 평가함에 있어 침투능이 중요한 인자임을 알 수 있다.

즉 임상에 따른 식생의 변화에 의한 산림의 수저유능력을 평가하는 데는 여러가지 인자 중 가장 큰 영향을 받는 것이 산림토양부분이며, 이중 토양의 공극분포가 가장 민감한 영향력을 가지고 있다고 보여진다. 또한 임지의 수원함양기능은 토양의 보수용량, 보수특성, 침투능과 깊은 관계가 있으며, 표층토양의 구조의 良否는 중요한 인자가 된다. 따라서 산림토양의 공극조성과 퇴적부식의 형상 차이가 산림토양에서의 강수침투, 산림토양중에서의 水의 유동, 저유상태 등을 좌우한다고 사료된다.

Table 4. Correlation matrix between soil properties in experimental watersheds

Variables	C.P.	F.P.	P.B.	B.D.	S.C.	E.S.	S.H.
P.S.	0.832**	0.427**	0.762**	-0.700**	0.414**	0.710**	-0.756
C.P.		-0.146	0.690**	-0.886**	-0.043	0.681**	-0.637**
F.P.			0.235	0.197	0.808**	0.155	-0.309*
P.B.				-0.618**	0.135	0.505**	-0.640**
B.D.					0.061	0.628**	0.592**
S.C.						0.317*	-0.203
E.S.							-0.421**

P.S. : Porosity, C.P. : Coarse pore,

F.P. : Fine pore, P.B. : Permeability,

B.D. : Bulk density, S.C. : Soil moisture content, E.S. : Effective water storage,

S.H. : Soil hardness

* : Significant at 5% level

** : Significant at 1% level

4. 결 론

江原道 平昌郡 蓬坪面과 龍坪面 일원에 위치한 白玉浦流域과 梨木亭流域에서 산림의 환경변화(임상차이 및 피해목 별채)가 유출과 토양내 수저유능력에 미치는 영향을 구명하기 위하여 1983~1993년의 流出量, 流出率, 流況曲線등을 분석하였다. 또한 유출 구성성분중 총유출량, 직접유출량, 토양내 가비중, 전공극량, 조공극, 세공극, 투수성, 유출가능수량을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 두 시험유역의 전처리 기간과 처리기간동안 평균유출율을 비교한 결과, 백옥포유역보다 임상이 불량한이목정유역이 9.9% 높게 나타났으며, 별채에 따른 유출을 변화는 백옥포유역에서 처리기간이 전처리기간보다 16.1% 증가하였고, 이목정유역은 4.2%의 유출을 증가를 보였다.
2. 산림 환경변화에 따른 계절별 유출량 변화를

- 분석한 결과, 강수집중기간인 여름에 가장 큰 변화를 보였으며, 토양수 재충전기간인 가을에 변화가 가장 적게 나타났다. 이는 강수집중기간인 여름동안 벌채작업에 의해 총유출성분 중 직접유출량이 압도적으로 많아 상대적으로 가을기간의 유출이 감소되었기 때문으로 사료된다. 이러한 현상은 벌채후 월별 유출량변화의 분석 결과와 같은 양상으로 나타나 이목정유역이 백옥포유역보다 임상이 불량하다는 것을 의미한다. 또한 벌채에 의한 산림 환경변화에 따라 용설축진현상이 처리기간에 일어났으며, 전처리기간에는 용설지연현상으로 인한 산림효과가 나타났다.
3. 두 시험유역에서의 유허곡선을 비교한 결과, 이목정유역이 백옥포유역에 비해 풍수유량이 1.05mm, 평수유량이 0.65mm, 저수유량이 0.15mm, 갈수유량이 0.05mm 증가하였으며, 백옥포유역의 처리기간이 이목정유역의 전처리기간과 유허곡선이 유사한 경향을 보이고 있는데, 이는 임상의 良否 차이로 사료된다.
 4. 두 시험유역에서 산림의 환경변화에 따른 각 사상별 총유출량과 직접유출량을 비교, 분석한 결과, 백옥포유역이 이목정유역보다 벌채 전·후 모두 낮게 나타났으며, 두 시험유역의 전처리기간과 처리기간을 비교하면 전처리기간이 처리기간보다 낮게 나타났다. 이는 직접유출이 벌채에 의한 산림의 환경변화를 나타내는 중요한 인자인 것으로 사료된다.
 5. 산림의 환경변화에 따른 토양 물리적 성질 중 가비중, 전공극량(조공극, 세공극), 투수성, 유출가능수량 모두에서 전처리기간이 처리기간보다 양호하였다. 또한 토양의 수저유능력을 크게 좌우하는 인자 중 가비중과 공극분포는 전처리기간과 처리기간 모두에서 산록 >산정 >산복의 순으로 나타났다. 이는 산복의 지형적인 영향으로 토양구조발달이 빈약했기 때문

이며, 산록은 토심이 깊고 유기물함량이 많아 토양의 구조가 안정되어 있기 때문이다.

6. 토양 투수성을 분석한 결과, 유역별로는 백옥포유역이 이목정유역보다 높았고, 두 시험유역 모두 전처리기간이 처리기간보다 높았으며, 토심이 증가함에 따라 투수성이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 투수성은 토양의 수저유능력을 판단하는 지표로서 유출가능수량과는 정의 상관을, 가비중과 토양전밀도과는 부의 상관으로 나타났다.
7. 산림유역에서 경년적 환경변화가 토양내 수저유능력에 미치는 영향 중 토양수분함량과 유출가능수량을 분석한 결과, 두 시험유역 중 산림환경이 양호한 백옥포유역의 전처리기간에서 가장 높게 나타났다.

VI. 引用文獻

1. Bosch., J.B. and J.D. Hewlett. 1982 : A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. of Hydrology* 55:3-23.
2. George, W. 1991. *Forestry and Water Quality*. College of Forestry, Oregon State University. 142pp.
3. 森林水資源問題檢討委員會. 1990. 森林と水資源. 日本治山治水協會. 340pp.
4. 小林敏男. 1982. 森林の伐採と土壤孔隙組成の變化. 農林水産省林試年報 p55-62.
5. 有光一登. 1987. 森林土壤の保水のしくみ. 創文株式會社. 東京. 199pp.
6. 竹下敬司. 1981. 森林土壤の水源保全機能に関する解析と評價. *IUFRO論文集* 17:53-57.
7. 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. *日本林試研報* 240:

- 1-251.
8. 中野秀章. 1976. 森林水文學. 共立出版. 東京. 228pp.
 9. 中野秀章, 菊谷昭雄. 1956. 森林伐採と融雪. 日本林學會誌. 38(8):314-316.
 10. 村井宏. 1975. 地被區分別の浸透能. 静岡大學林試研報 274:73-81.
 11. 丸山岩三, 猪瀬寅三. 1952. 釜淵森林理水試驗-第1回報告. 日本林試研報 53:1-41.
 12. 金景河. 1994. 針葉樹人工林의 水源涵養機能增進方案. 林業情報 39:22-25.
 13. 金載水. 1987. 山林이 洪水量에 미치는 影響과 小流域內 蒸發散量 推定. 林業研究院研究報告 35:69-78.
 14. 禹保命. 1993. 森林環境이 水資源 涵養機能에 미치는 影響에 관한 研究. 韓國林學會誌 82(3):283-291.
 15. 尹豪重. 1995. 山林 小流域에서의 流出 特性과 單位流量圖에 관한 研究. 서울大學校 博士學位論文. 105pp.
 16. 李天龍. 1993. 山林環境土壤學. 普成文化社. 350pp
 17. 李憲浩. 1994. 山林土壤의 空隙分布分析에 의한 水貯留量의 推定. 嶺南大資源問題研究 13:141-149.
 18. 李憲浩. 1990. 林相의 經年變化가 水流出特性에 及ぼす 影響. 東京大學 博士學位論文. 195pp.
 19. 李憲浩, 李昶雨. 1994. 地被狀態에 따른 林地의 水貯留 特性(I). 韓國林學會誌 83(3):391-399.
 20. 趙成真, 朴天緒, 嚴大翼. 1985. 三訂土壤學. 鄉文社. 396pp.
 21. 韓國資源研究所. 1995. 창동도폭 지질조사보고서. 27pp.
 22. 環境處. 1990. 現存植生圖(江原道). 環境處. 123pp.