

山林의 立地環境因子가 表層土壤의 粗孔隙率에 미치는 影響因子 分析(I)^{1*}

- 針葉樹林을 中心으로 -

程龍鎭^{2*} · 朴在鉉^{2*} · 金景河² · 尹豪重²

Analysis of the Factors Influencing the Mesopore Ratio on the Soil Surface to Investigate the Site Factors in a Forest Stand(I)^{1*}

- With a Special Reference to Coniferous Stands -

Yongho Jeong^{2*}, Jae Hyeon Park^{2*}, Kyong Ha Kim² and Ho Joong Youn²

要 約

산림의 수원함양기능 지표로서 표층토양에서의 粗孔隙率(pF2.7)에 영향을 미치는 인자를 밝히기 위해 1993년 3월부터 10월까지 전국의 침엽수림 표본조사구를 대상으로 입지, 토양, 입분환경인자 등 총 23개 조사항목에 대하여 상관분석하였다. 표층토양에서의 조공극률에 영향을 미치는 유의한 인자는 표층토양에서의 粗大孔隙率(pF1.6), 경사도, 상층식생 울폐도, F층의 두께, 토양의 유기물함량비, 임목축적 등 6개 인자가 正의 상관관계를, 점토함량비, 표층토양의 견밀도, A층, B층 토양견밀도 등 4개 인자가 각각 5%, 1% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타내었다. 또한, stepwise를 이용한 다중회귀분석결과 표층토양에서의 조공극률에 영향을 미치는 인자는 표층토양의 견밀도, 상층임분 지하고, 임목축적, B층 토양의 견밀도, 토양의 유기물함량비 등 5개 인자이었다. 침엽수림의 수원함양기능 증진을 위한 시업은 표층토양의 조공극 발달이 촉진되도록 상층식생 울폐도가 80%를 넘게 되었을 때 실시해야 할 것으로 판단된다.

ABSTRACT

This study aimed to clarify the influencing factors of mesopore ratio on a pore geometry of surface soil in coniferous stands as an index of the water retention capacity. Twenty three factors including site conditions and soil properties were analyzed by spss/pc + for the data collected during March to October of 1993. The factors influencing the mesopore ratio(pF2.7) on the surface soil were as follows; macropore ratio(pF1.6), slope, crown-cover rates, thickness of F layer, organic matter contents, and the growing stock. And influencing factor on the ratio of mesopore in the soil surface was correlated with percentage of amount of clay, soil surface, A and B horizon soil hardness shows high negative significance. Also, multiple regression equations for mesopore ratios of surface soil and surface soil hardness, clear length, growing stock, B horizon of soil hardness, organic matter contents show high significance(R²; 0.80). In coniferous stands, it is effective in promoting development on the ratio of mesopore that forest practice for enhancing of the water resource retention capacity should be carried out when the crown-cover rates of stands are more than 80 percentages.

Key words : water retention capacity, mesopore ratio, macropore ratio, crown-cover rates, growing stock, soil hardness

¹ 接受 2001年 3月 10日 Received on March, 10, 2001.

審査完了 2001年 4月 12日 Accepted on April 12, 2001.

² 林業研究院 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-012, Korea.

* 이 연구는 첨단기술개발사업과제 "산원수자원의 종합적 관리시스템의 개발" 연구의 일부임.

* 연락처자 E-mail : yhjng@foa.go.kr, Jung7164@kornet.net

緒 論

현재까지 주요 상수원 지역인 산림유역 관리는 산림의 수원함양기능 증대를 위한 특별한 시업기준의 부족 그리고 산림지가 청정수역이라는 기본적인 인식 하에 별다른 수질관리대책 및 평가기준의 수립 없이 인간의 간섭 및 개발행위를 최소화하는 산림지의 현상유지 및 시설규제 등과 같은 소극적인 방법이 주도되어 왔다. 그러나 산림의 수원함양기능을 증진시키고 보전하기 위해서는 일련의 체계적인 시업이 필요하며, 이를 위해서는 산림토양에서의 조공극률 증대 및 표층토양의 공극구조를 활성화시키는 등 산림의 수원함양기능을 증대시키는 체계적이고 종합적인 연구가 시급하다.

산림의 수원함양기능에 대하여 吳斗泳(1986)은 소양강 다목적댐 유역을 대상으로 조사한 결과 산림축적의 증가가 산림수자원 증대에 영향한다고 보고하였으며, 柳澤圭(1986)는 평균토심과 토양의 저수량과의 관계를 밝혔고, 李宗學 등(1989)은 건기와 우기 때 산림유출량의 차를 비교하였다. 한편, Anderson 등(1976)은 산림시업에 따른 유출량의 차이를 분석하였다. 中野(1971)는 시업량에 따라서 유출수량이 변화를 보고하였고, King(1989)과 Brown(1991)은 대규모 벌채로 유출이 20~40% 증가한다고 보고하였다. 吉野와 菊谷(1985)도 벌채기간에 따른 유출량의 차이를 비교하였다. 朴在鉉(1995)은 벌채지에서 강수의 표면유출수량과 산지사면침식량을 비교·분석하였다.

水利科學研究所(1976)는 산림의 수원함양기능 증진을 위한 산림시업방법을 제시하였고, 小柏 등(1991)은 산림의 수원함양기능 증진량을 평가할 수 있는 지표인자인 표층토양에서의 조공극률과 임분밀도와와의 관계를 분석하여 보고하였다.

太田(1991)은 인공림의 경우 수원함양기능을 증진시키기 위해서는 장벌기시업을 통해 복층림을 조성해야 하며, 벌채는 가능한 택벌을 원칙으로 하고 개별이 불가피한 경우에는 소규모로 실시하되 표토가 유실되지 않도록 주의해야 한다고 하였다. 또한, 五所(1991)는 산림의 수원함양, 수자원 이용 및 환경보전기능에 관하여 산림률이 75%에서 90%로 높아짐에 따라 이용수자원량이 6백만톤 증가하였으며, 복층림시업을 통해 지하저유량은 7% 증가한 반면 최대유출량은 약 22% 감소하는 효과를 나타내었다고 하였다.

아울러 金泰勛 등(1993)은 침엽수림의 수원함양기능을 증진시키기 위한 제·간벌은 상층울폐도를 85% 이하로 유지하고 표준벌채량의 40% 한도로 실시하며, 가지치기는 음엽을 제거하는 정도로 하고 개별임분은 일반 임분의 적정 벌기에 15년 내지 20년 이상으로 주벌하고, 택벌임분은 수하식재가 될 정도로 택벌을 반복하여 실시해야 한다고 하였다.

이와 같이 몇몇 선진임업국에서는 산림시업에 따른 산림의 수원함양기능을 평가하고 이를 통해 산림의 수원함양기능을 증진시키기 위한 다양한 연구를 수행하고 있다(竹下, 1988; 小柏 등, 1991; 太田, 1991; 五所, 1991; Brown, 1991). 그러나 아직까지 우리 나라는 이에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 이 연구는 산림의 수원함양기능의 지표가 되는 표층토양에서의 조공극률(竹下, 1988; 金泰勳 등, 1993; 정용호, 1998)에 영향을 미치는 인자를 밝힘으로써 산림시업에 따른 침엽수림의 수원함양기능을 평가하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

材料 및 方法

각 임상별로 화성암, 변성암, 퇴적암 등 3개 모암지역에서 II영급 이하, III영급, IV영급 이상으로 구분하여 조사지를 선정, 전국을 대상으로 1993년 3월부터 1995년 10월까지 매년 임상에 따라 침엽수림, 활엽수림, 혼효림 지역으로 구분하여 조사하였는데, 이 연구에서는 1993년 3월부터 10월까지 침엽수림을 대상으로 조사항목이 결측된 조사지점을 제외한 66개소를 표본구로 선정·조사하였다.

각 조사지에서 표고, 지질, 지형, 방위, 경사 등 입지환경인자를 조사하였고, 토양층위(A, B층)별로 100cc 캔에 채취한 시료를 감압식 토양pF측정기(DIK 9211)를 이용하여 粗大孔隙率(pF1.6)과 粗小孔隙率(pF2.7)로 구분하여 측정하였다. 채취한 토양시료는 모래, 미사, 점토로 구분한 함량, 그리고 유기물함량을 분석하였다.

토양조사시 토양형, 퇴적양식, 토심, 각 층위별 토양건밀도를 측정하였으며, 임상, 임령, 임목축적, 수고, 흉고직경, 상층임분 지하고, 상층식생 울폐도, 하층식생 피복도, 수중, 부식층 및 낙엽층의 두께 등 임분환경인자는 10m × 10m 식생조사 표본구에서 각 항목별로 조사하였다. 또한, 산

Table 1. Stand characteristics of study sites.

Site name	Basic Rock	Important Tree	Elevation (m)	Slope(°)	Aver. of Tree Age	D.B.H. (cm)	Over tree density (no./100m ²)	Under tree density (no./100m ²)	Aver. of Tree Height(m)	% of sand	% of silt	% of clay	Organic matter content
Jangheon 1	Metamorphic	<i>P. thunbergii</i>	110	25	25	15.9	11	84	13.4	60.9	32.2	7.0	2.2
Jangheon 2	Metamorphic	<i>P. rigida</i>	90	18	28	15.0	14	52	13.0	55.3	29.3	15.4	1.8
Jangheon 3	Metamorphic	<i>P. rigida</i>	140	32	25	11.1	21	66	12.6	46.6	35.9	17.6	1.7
Jangsung	Igneous	<i>P. koraiensis</i>	190	21	29	13.8	19	30	8.9	47.0	40.3	12.7	1.8
Hoeam	Igneous	<i>P. rigida</i>	260	21	23	11.4	24	57	7.5	52.5	39.1	8.4	1.8
Gosung 1	Sedimentary	<i>P. banksiana</i>	70	34	17	5.8	55	90	6.2	35.3	51.3	13.4	2.2
Gosung 2	Sedimentary	<i>P. banksiana</i>	40	36	21	9.1	40	164	8.3	42.4	50.2	7.4	2.4
Gosung 3	Sedimentary	<i>P. banksiana</i>	130	28	26	14.3	40	103	11.0	29.0	52.8	18.2	7.1
Gosung 4	Sedimentary	<i>P. banksiana</i>	150	31	25	11.2	38	280	7.0	23.5	48.3	28.2	2.2
Gosung 5	Sedimentary	<i>P. banksiana</i>	70	36	24	15.0	28	196	10.5	38.8	40.6	20.6	2.7
Jinhae 1	Igneous	<i>C. obtusa</i>	150	32	17	11.5	35	251	9.0	49.0	39.2	11.8	3.1
Jinhae 2	Igneous	<i>P. banksiana</i>	150	26	40	12.4	35	58	9.2	19.5	73.1	7.4	3.6
Jinhae 3	Igneous	<i>C. obtusa</i>	340	27	19	14.9	34	3	8.6	25.0	61.6	13.4	4.2
Jinhae 4	Igneous	<i>C. japonica</i>	250	29	17	17.5	28	11	13.2	24.0	65.6	10.4	6.5
Pyengwha 1	Igneous	<i>P. rigida</i>	230	30	31	13.1	28	322	13.5	61.2	27.1	11.7	3.2
Pyengwha 2	Igneous	<i>L. leptolepis</i>	180	29	32	13.8	21	128	16.5	66.3	25.9	7.8	2.4
Pyengwha 3	Metamorphic	<i>P. koraiensis</i>	160	29	64	31.1	9	21	21.6	51.7	35.0	13.3	6.3
Pyengwha 4	Igneous	<i>P. rigida</i>	175	22	30	14.6	25	74	13.5	49.1	44.1	16.2	3.2
Pyengwha 5	Igneous	<i>P. thunbergii</i>	220	17	30	11.6	24	12	14.5	54.7	28.1	17.5	2.0
Pyengwha 6	Igneous	<i>P. thunbergii</i>	185	31	30	14.7	22	114	16.4	65.4	25.6	9.0	3.8
Yangpyeng 1	Igneous	<i>P. koraiensis</i>	180	33	22	11.6	23	21	8.4	45.9	38.7	15.4	1.6
Yangpyeng 2	Metamorphic	<i>L. leptolepis</i>	200	42	29	15.9	8	208	14.8	45.8	40.0	14.2	4.6
Yangpyeng 3	Metamorphic	<i>L. leptolepis</i>	190	25	23	11.2	13	156	14.7	46.2	36.9	16.9	4.4
Gapyeng 1	Metamorphic	<i>P. koraiensis</i>	200	33	21	11.2	27	18	7.4	65.0	23.0	12.0	2.0
Gapyeng 2	Igneous	<i>P. koraiensis</i>	130	42	52	18.8	14	23	15.2	63.6	28.3	8.1	3.6
Gapyeng 3	Sedimentary	<i>L. leptolepis</i>	120	26	27	16.6	17	106	17.5	34.1	24.6	26.3	3.9
Anhung	Metamorphic	<i>L. leptolepis</i>	820	20	28	21.0	11	20	16.0	34.1	60.0	5.9	2.5
Daehwa 1	Metamorphic	<i>P. densiflora</i>	560	35	52	29.5	5	228	12.0	30.8	59.5	9.7	3.1
Daehwa 2	Metamorphic	<i>P. densiflora</i>	660	35	53	26.7	9	252	9.0	62.9	30.9	6.2	3.5
Chungil 1	Metamorphic	<i>L. leptolepis</i>	450	40	25	18.4	8	392	13.0	39.2	49.7	11.1	3.1
Chungil 2	Metamorphic	<i>L. leptolepis</i>	380	25	25	23.5	6	107	18.0	34.6	57.0	8.4	3.3
Chungil 3	Metamorphic	<i>P. koraiensis</i>	550	30	26	18.3	13	148	9.0	32.3	53.1	14.6	3.1
Chungil 4	Metamorphic	<i>P. koraiensis</i>	420	40	26	21.6	9	63	12.0	37.6	58.2	4.2	3.0
Doonae 1	Igneous	<i>P. densiflora</i>	540	27.5	20	12.5	16	84	8.5	55.3	33.9	10.8	3.0
Doonae 2	Igneous	<i>P. densiflora</i>	600	26	18	11.6	18	95	7.4	66.6	25.9	7.6	3.0
Sinchon 1	Sedimentary	<i>C. obtusa</i>	390	32	35	17.6	21	24	9.5	38.0	52.7	9.3	3.0
Sinchon 2	Sedimentary	<i>P. rigida</i>	250	23	20	14.7	14	79	5.0	22.5	64.0	13.5	2.5
Sinchon 3	Sedimentary	<i>P. rigidaeda</i>	250	26	20	10.9	52	63	7.0	50.1	40.0	9.9	2.1
Sinchon 4	Sedimentary	<i>P. rigidaeda</i>	200	34	20	15.4	50	87	7.0	53.7	38.9	7.4	3.8
Sinchon 5	Metamorphic	<i>P. rigidaeda</i>	150	24	30	27.9	8	48	14.0	41.1	47.8	11.1	4.2
Sinchon 6	Metamorphic	<i>P. rigidaeda</i>	260	20	30	28.6	9	74	13.0	55.3	37.0	7.7	2.8
Masoo 1	Sedimentary	<i>P. rigida</i>	100	30	25	15.0	23	10	7.5	38.7	45.2	16.1	1.7
Masoo 2	Sedimentary	<i>P. rigida</i>	90	26	25	14.7	17	35	9.0	47.3	42.3	10.4	2.2
Kumsang	Sedimentary	<i>P. rigida</i>	100	38	25	14.6	29	28	7.0	32.1	61.1	6.8	6.2
Sedong 1	Sedimentary	<i>L. leptolepis</i>	380	32	20	15.2	18	22	11.0	33.0	52.7	14.3	3.4
Sedong 2	Sedimentary	<i>P. rigida</i>	440	38	18	14.3	30	38	8.0	41.9	49.1	9.0	4.9
Jamdong 1	Sedimentary	<i>L. leptolepis</i>	380	31	20	19.8	9	34	12.0	36.8	48.3	14.9	2.7
Jamdong 2	Sedimentary	<i>P. rigida</i>	390	30	22	12.6	16	47	9.0	41.2	47.6	11.2	2.5
Sinri 1	Sedimentary	<i>P. rigida</i>	325	20	28	17.3	19	51	11.0	49.0	42.5	9.0	2.0
Sinri 2	Sedimentary	<i>P. rigida</i>	350	20	28	16.4	13	47	10.0	41.6	45.6	12.8	2.8
Koobang 1	Sedimentary	<i>L. leptolepis</i>	340	32	25	18.6	15	45	14.0	11.3	71.5	17.3	3.1
Koobang 2	Sedimentary	<i>L. leptolepis</i>	300	30	25	21.4	13	27	11.0	15.9	73.1	8.4	1.7
Koobang 3	Sedimentary	<i>P. rigida</i>	325	28	25	14.4	26	40	11.0	17.5	64.1	18.4	1.8
Koobang 4	Sedimentary	<i>P. rigida</i>	310	18	25	13.6	21	60	11.0	16.3	70.9	12.8	3.4
Sochun 1	Metamorphic	<i>P. koraiensis</i>	520	24	15	15.2	24	148	7.4	45.6	44.4	10.0	4.9
Sochun 2	Metamorphic	<i>L. leptolepis</i>	450	27	20	14.9	29	40	17.2	64.1	28.7	7.2	2.2
Hyundong 1	Sedimentary	<i>L. leptolepis</i>	460	35	33	18.4	17	320	17.0	35.6	48.4	16.0	5.6
Hyundong 2	Sedimentary	<i>L. leptolepis</i>	400	45	33	22.1	16	124	16.0	42.2	46.2	11.6	5.5
Heebang 1	Igneous	<i>L. leptolepis</i>	530	35	18	12.5	18	84	12.5	49.4	45.4	5.2	9.4
Heebang 2	Igneous	<i>L. leptolepis</i>	570	38	18	15.7	20	84	14.5	58.8	39.4	1.8	6.1
Jookryung 1	Igneous	<i>L. leptolepis</i>	640	24	26	28.8	7	120	21.0	44.0	47.0	9.0	9.3
Jookryung 2	Igneous	<i>L. leptolepis</i>	640	43	26	15.6	16	168	13.5	52.9	41.3	5.8	8.7
Chilsung 1	Igneous	<i>L. leptolepis</i>	520	25	20	14.6	19	68	14.5	79.1	17.3	3.6	1.5
Chilsung 2	Sedimentary	<i>L. leptolepis</i>	150	41	24	15.9	14	188	16.0	31.4	54.4	14.2	4.1
Sosoo 1	Sedimentary	<i>L. leptolepis</i>	240	37	23	15.1	21	208	14.5	38.9	52.4	8.6	5.1
Sosoo 2	Sedimentary	<i>L. leptolepis</i>	220	37	23	17.1	22	216	16.0	38.9	51.0	16.0	3.9

림의 수원함양기능 상태를 평가할 수 있는 것은 토양의 공극상태인데, 특히 표층토양의 구조는 산림사업에 의해 개선되는데(정용호, 1998), 산림의 수원함양기능 증진량을 평가할 수 있는 지표인 표층토양에서의 조공극률에 영향을 미치는 인자인 입지 및 토양환경인자 16종, 임분환경인자 7종 등 총 23종에 대하여는 spss/pc+를 이용하여 상관분석 및 다중회귀분석을 실시하였다.

표본조사구로 선정된 66개 지점에 대한 임황은 Table 1과 같다. 조사대상지에서 모암의 분포비율은 화성암이 약 30%, 변성암이 약 27%, 퇴적암이 약 43%로 퇴적암이 가장 높았으며, 조사 표본구내 주요 수종은 곰솔(*P. thunbergii* PARL.), 잣나무(*P. koraiensis* S. et. Z.), 소나무(*P. densiflora* S. et. Z.), 낙엽송 [*Larix leptolepis* (S. et. Z.) GORDON], 리기다소나무(*P. rigida* MILL.), 편백 [*Chamaecyparis obtusa* (S. et. Z.) ENDL.], 리기테다소나무(*P. rigitaeda* L.), 방크스소나무(*P. banksiana* LAMBERT), 삼나무 [*Cryptomeria japonica* (L. fil.) D. DON] 등 9수종이었다.

전체 표본조사구의 평균 고도분포는 해발 40~660m 범위 내에 위치하고, 경사도는 17~45°로 우리 나라 산지에서의 평균경사와 유사하였다. 임령비율은 II영급이 약 14%, III영급이 약 64%, IV영급이 약 14%, V영급이 약 2%, VI영급이 약 5%, VII영급이 약 1%로 III영급이 가장 많았고, 우리 나라의 평균적인 임령인 II~III영급이 전체의 약 78%로 가장 높은 비율을 차지하였다.

또한, 평균흉고직경은 5.8~31.1cm의 범위를 나타내었으며, 표본조사구 100m²에서 상층식생에 대한 임목수는 5~55본의 범위로 나타났으며, 하층식생에 대한 임목수는 3~392본의 범위로 나타났다. 그리고 표본조사구에 대하여 평균수고는 5.0~21.6m의 범위로 나타났다.

結果 및 考察

1. 표층토양에서의 粗孔隙率에 영향을 미치는 인자 분석

1) 표층토양에서의 조공극률에 영향을 미치는 인자의 상관분석

토양의 조공극률에 영향을 미치는 인자를 분석하기 위해 입지 및 토양환경인자 16종, 임분환경인자 7종 등 총 23종에 대하여 spss/pc+를 이용한 상

관분석 결과는 Table 2와 같다.

상관분석 결과, 표층토양에서의 조공극률과 조대공극률은 편상관계수가 0.318로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내, 표층토양에서의 조공극률은 조대공극률에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한, 표층토양에서의 조공극률은 상층식생 울폐도와 편상관계수가 0.313으로 5% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내었는데, 이는 小柏 등(1991)의 연구결과를 뒷받침하는 결과이었다. 한편, 상층식생 울폐도와 하층식생 피복도와의 편상관계수는 -0.483으로 1% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타내어 하층식생 피복도는 상층식생 울폐도에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 산림의 수원함양기능 증진, 즉 표층토양에서의 조공극률을 증진시키기 위해서는 상층식생 울폐도를 조절할 필요가 있다는 선행 연구결과(小柏 등, 1991; 金泰勳 등, 1993)와 유사한 결과라 생각된다.

표층토양에서의 조공극률과 식물 조직이 분명한 유기물층인 F층의 두께와는 편상관계수가 0.254로 5% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내었는데, 이는 낙엽의 부식이 활발할수록 F층의 두께가 깊어지며 토양으로 유기물 공급이 원활해져 토양의 공극구조가 잘 발달된다는 의미를 갖는 것으로(정용호, 1998), 표층토양에서의 조공극률을 증진시키기 위해서는 토양미생물의 활동에 적당한 환경을 만들어 낙엽부식을 촉진시킬 필요가 있는 것으로 생각된다. 또한, 표층토양에서의 조공극률과 점토함량비 그리고 토양의 유기물함량비는 각각 편상관계수가 -0.303, 0.377로 5%, 1% 수준에서 유의한 負와 正의 상관관계를 나타내어 토양 중 점토함량이 많을수록 토양의 공극구조가 양호한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 F층의 두께와 표층토양에서의 조공극률과의 상관관계가 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타낸 결과와 일치하는 것으로 생각된다.

표층토양에서의 조공극률과 임목축적과의 편상관계수는 0.672로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내어 임목축적이 높을수록 산림의 수원함양기능이 높아지는 것으로 분석되었다. 이는 Figure 1의 직선회귀 분석결과를 뒷받침하는 결과인 것으로 생각된다. 한편, 표층토양에서의 조공극률과 표층토양의 견밀도, A층 토양의 견밀도, B층 토양의 견밀도는 각각 편상관계수가 -0.707,

Table 2. Correlation coefficients of site, soil and forest environmental factors influencing the mesopore ratio (pF2.7, %) of surface soil.

Distributions	Surface soil		B horizon soil		Slope	Tree age	Crown-Cover rate	Under vegetation coverage
	pF2.7	pF1.6	pF2.7	pF1.6				
Macropore porosity(pF1.6) of surface soil(%)	0.318**	1.000	-	1.000	-	-	-	-
Slope(°)	0.455**	-	-	-	1.000	-	-	-
Crown-Cover rate(%)	0.313*	-	-	-	-	-	1.000	-0.483**
Depth of F layer	0.254*	-	-	-	-	-	-	-
Ratio of clay(%)	-0.303*	-	-	-	-	-	-	-
Organic matter contents	0.377**	0.288*	-	-	0.334**	-	0.364**	-
Growing stock(m ³)	0.672**	0.262*	-	-	-	-	0.365**	-
Surface soil hardness(mm)	-0.707**	-0.283*	-	-	-0.446**	-	-0.378**	-
A horizon soil hardness(mm)	-0.574**	-	-	-	-0.435**	-	-	-
B horizon soil hardness(mm)	-0.458**	-	-	-	-0.329**	-	-	-
Mesopore porosity(pF2.7) of B horizon soil(%)	-	-	1.000	0.354**	-	-	-	-
D. B. H.(cm)	-	-	0.244*	-	-	0.592**	-	-
A horizon soil depth(cm)	-	-	0.283*	-	-	-	0.389**	-
Tree height(m)	-	-	-	-	-	0.358**	0.336**	-
Clear length of over story(m)	-	-	-	-	-	0.369**	-	-
B horizon soil depth(cm)	-	-	-	-	-	-0.279*	-	-
Under vegetation coverage(%)	-	-	-	-	-	-	-0.483**	1.000

Distributions	D. B. H.	Tree Height	Clear length of over story	Depth of L layer	Ratio of sand(%)	Ratio of silt(%)	Ratio of clay(%)	Organic matter contents
Clear length of over story(m)	0.376**	0.808**	1.000	-	-	-	-	-
Organic matter contents	0.2780*	0.365**	-	-	-	-	-	1.000
Growing stock(m ³)	0.283*	0.413**	-	-	-	-	-	-
Surface soil hardness(mm)	-0.260*	-0.408**	-	-	-	-	0.299*	-0.309**
B horizon soil hardness(mm)	-0.307*	-	-	-	-	-	0.362**	-0.262*
A horizon soil depth(cm)	0.256*	0.336**	0.254*	0.348**	-0.312*	0.297*	-	0.381**
Ratio of silt(%)	-	-	-0.270*	-	-0.912**	1.000	-	-
Ratio of clay(%)	-	-	-	-	-0.412**	-	1.000	-
A horizon soil hardness(mm)	-	-	-	-	-	-	0.336**	-
B horizon soil depth(cm)	-	-	-	-	-	-	-	-

Distributions	Growing stock	Surface soil hardness	A horizon of soil hardness	A horizon of soil depth
A horizon of soil hardness(mm)	-0.413**	0.657**	1.000	-
B horizon of soil hardness(mm)	-	0.397**	0.645**	-
A horizon of soil depth(cm)	-	-0.344**	-	1.000
B horizon of soil depth(cm)	-	-	-	0.264*

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

-0.574, -0.458로 1% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타내어 표층 및 A층, B층 토양의 견밀도가 높아질수록 산림의 수원함양기능에는 불리하게 작용하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 토양의 견밀도가 증가함으로 인해 강수에 의한 침식토양이 증가함과 동시에 토양의 공극률이 저하된다는 선행 연구결과(朴在鉉, 1995; 禹保命 등, 1995; 禹保命 등, 1998)와 유사한 결과이었다.

표층토양의 조공극률을 설명할 수 있는 인자로서 조대공극률과 토양의 유기물함량비, 임목축적, 표층토양의 견밀도는 자기 편상관계수가 0.288, 0.262, -0.283으로 5% 수준에서 유의한 正과 負의 상관관계를 나타냄으로써 표층토양의 조공극률과 마찬가지로 표층토양에서 조대공극률도 토양의 유기물함량비, 임목축적, 표층토양의 견밀도와 밀접한 관계를 갖는 것으로 분석되었다. 한편, B층 토양에서의 조공극률은 흉고직경, A층 토양깊이와 각각 편상관계수는 0.244, 0.283으로 5% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내어 표층토양에서의 조공극률과의 관계와 유사한 결과를 나타내었다.

상층식생 울폐도는 토양의 유기물함량비와 임목축적과는 편상관계수가 각각 0.364, 0.365로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내었고, 상층식생 울폐도와 표층토양 견밀도와는 편상관계수가 -0.378로 1% 수준에서 負의 상관관계를 나타내어 표층토양의 높은 견밀도는 임목축적뿐만 아니라 산림의 수원함양기능 증대에 負의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 상층식생 울폐도는 하층식생 피복도와 편상관계수는 -0.483으로 1% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타내어 Figure 2와 Figure 3의 직선희귀 분석결과와 유사한 결과를 나타내었다. 임분내 임목의 흉고직경은 수고, 상층임분 지하고, 토양의 유기물함량비, 임목축적, A층 토심 등과 각각 편상관계수는 0.518, 0.376, 0.278, 0.283, 0.256으로 1%, 5% 수준에서 유의한 正의 상관관계를, 표층토양견밀도, B층 토양 견밀도와는 자기 편상관계수가 -0.260, -0.307로 5% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타내었다. 즉, 임목의 성장상태는 토양의 견밀도에 영향을 주는 것으로서 결과적으로 산림의 수원함양기능에도 영향을 미치는 것으로 판단된다.

수고는 상층임분 지하고, 토양의 유기물함량

비, 임목축적, A층 토심 등과 편상관계수가 각각 0.808, 0.365, 0.413, 0.336으로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내었다. 또한, 표층토양 견밀도와는 편상관계수가 -0.408로 1% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타내어 상기의 결과와 유사한 결과를 나타내었다. 아울러 상층임분 지하고도 A층 토심과 편상관계수는 0.254로 5% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내어 유기물 등 영양분이 풍부한 A층 토심의 증대는 임목의 성장이나 산림의 수원함양기능 증대에 불리적인 영향(小柏 등, 1991)이 있는 것으로 분석되었다. 즉, 점토함량비의 표층토양견밀도와 B층 토양 견밀도와는 편상관계수는 각각 0.299, 0.362로 5%, 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를, 토양의 유기물함량비는 표층토양견밀도와 B층 토양 견밀도와는 편상관계수는 자기 -0.309, -0.262로 1%, 5% 수준에서 유의한 負의 상관관계를, A층 토심과는 편상관계수가 0.381로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 토양 중 점토함량이 증가할수록 토양견밀도가 상승하고, 강수 후 건조시 토양이 딱딱해져 공극구조 발달에 좋지 않은 영향(竹下, 1988; 朴在鉉, 1995)을 미치는 것으로 분석되었다.

한편, 임목축적과 표층토양견밀도, A층 토양 견밀도와는 편상관계수는 각각 -0.629, -0.413으로 1% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타내어 토양의 견밀도가 증대할수록 수목의 성장과 산림의 수원함양기능 증대에 불리하게 작용하는 것으로 분석되었다. 표층토양 견밀도와 A층, B층 토양 견밀도는 편상관계수가 자기 0.657, 0.397로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를, A층 토양의 견밀도에 대한 B층 토양견밀도의 편상관계수는 0.645로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내었다. 이와 같은 결과로 볼 때 표층토양의 견밀도는 A층 및 B층 토양에 유기적으로 영향하는 것으로 판단되며 강수 침투 및 저류구조 개선 내지 유지·보전을 위하여 표층토양의 관리가 중요한 것으로 사료된다.

2) 표층토양에서의 조공극률에 영향하는 인자의 다중회귀분석

표층토양에서의 조공극률에 영향한다고 판단되는 인자의 상관분석결과 유의한 영향을 미친 인자는 표층토양의 조대공극률, 경사도, 상층식생 울

Table 3. Multiple regression equations of environmental factors to determine the mesopore ratio (pF2.7, %) of surface soil.

Variables	Regression coefficient	Standard error	Beta	t	Significance
(Constant)	34.176	2.868		11.915	0.000**
Surface soil hardness(mm)	-0.595	0.137	-0.395	-4.338	0.000**
Clear length of over story	-0.693	0.140	-0.330	-4.935	0.000**
Growing stock(m ³)	2.914E-02	0.006	0.378	4.522	0.000**
B horizon soil hardness(mm)	-0.336	0.124	-0.195	-2.715	0.009*
Organic matter contents	0.595	0.219	0.190	2.711	0.009*
$R^2 = 0.80$					

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

폐도, F층의 두께, 점토함량비, 토양의 유기물함량비, 임목축적, 표층토양건밀도, A층, B층 토양의 건밀도 등이었으며, B층 토양의 조공극률 형성에 영향을 미치는 인자로는 흉고직경, A층 토심이 었다. 이상의 인자와 토양의 조공극률 형성에 영향을 미치는 선형 연구결과인(竹下, 1988; 小栢 등, 1991) 입지 및 토양환경인자, 임분환경인자 총 23종에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀 분석결과는 Table 3과 같다.

산림의 수원함양기능의 지표가 되는 표층토양에서의 조공극률(竹下, 1988; 金泰勛 등, 1993; 정용호 1998)에 영향을 미치는 인자는 stepwise를 이용한 다중회귀 분석결과, 표층토양의 건밀도, 상층임분 지하고, 임목축적, B층 토양의 건밀도, 토양의 유기물함량비 등 5개 인자이었으며, 이를 다중회귀 식으로 표시하면, 산림의 수원함양기능의 지표가 되는 표층토양에서의 조공극률(pF2.7, %) = $34.176 - 0.595 \times \text{표층토양의 건밀도} - 0.693 \times \text{상층임분 지하고} + 2.914E-02 \times \text{임목축적} - 0.336 \times \text{B층 토양의 건밀도} + 0.595 \times \text{토양의 유기물함량비}$ ($R^2=0.80$)이었으며, 1% 수준에서 고도로 유의하였다.

따라서 산림의 수원함양기능의 지표가 되는 표층토양에서의 조공극률(pF2.7, %)을 증대시키기 위해서는 표층토양의 건밀도가 높아지지 않도록 해 주거나(竹下, 1988; 小栢 등, 1991), 임목축적을 증진시키기 위한 산림사업(吳斗泳, 1986)이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 표층토양, A층, B층 토양의 건밀도는 상호 유기적으로 작용하므로 앞서 언급한 표층토양의 건밀도가 높아지지 않도록 표층토양의 유기물이 유실되지 않도록 하는 산림사업 방법을 강구해야 할 것으로 판단된다.

2. 표층토양에서의 조공극률에 영향을 미치는 인자의 직선회귀분석

1) 표층토양에서의 조공극률과 임목축적과의 관계

산림의 수원함양기능 증진을 위해서는 표층토양에서의 조공극률이 증대되어야 하는데(小栢 등, 1991), 상관분석 결과 표층토양에서의 조공극률과 1% 수준에서 유의한正的 상관관계를 나타낸 임목축적과의 관계를 직선회귀 분석한 결과는 Figure 1과 같다. 직선회귀 분석결과 표층토양의 조공극률에 대한 임목축적과의 관계는, 표층토양에서의 조공극률(%) = $0.0546 \times \text{임목축적} + 17.155$ ($R^2 = 0.47$)이었다. 그러나 결정계수(R^2)는 비교적 낮은 값을 나타내었는데 이는 입지 및 토양환경 인자 등 다른 인자에 의한 영향에 기인한 결과라 생각된다.

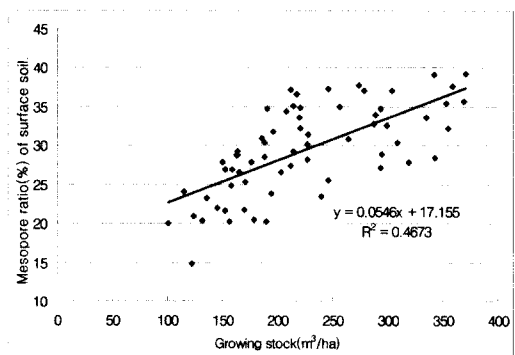


Figure 1. Linear regression equation of growing stock(m³) and mesopore ratio (pF2.7, %) in surface soil.

2) 표층토양에서의 조공극률과 상·하층식생과의 관계

(1) 상층식생 울폐도

상관분석 결과 표층토양의 조공극률과 5% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타낸 상층식생 울폐도와와의 관계로 산림사업 기준을 정하려고 할 때 통계적으로 결정계수가 가장 높게 되는 부분을 기준으로 정하는 것이 중요한데(小柏 등, 1991; 정용호, 1998), 표층토양의 조공극률과 상층식생 울폐도를 직선회귀 분석한 결과(Figure 2), 상층식생 울폐도를 40% 이상~80% 이하로 하였을 경우 결정계수는 0.65로 가장 높은 값을 나타내었다. 즉, 金泰助 등(1993)은 제·간벌을 위하여는 상층식생 울폐도를 85% 이하로 유지하여야 한다고 하였는데, 총 조사지역에서 결정계수(R²)는 상층식생 울폐도를 구분하지 않았을 경우에는 0.05이었고, 상층식생 울폐도를 85% 이하로만 하였을 경우에는 0.09이었으며, 상층식생 울폐도를 50% 이상~80% 이하로 하였을 경우에는 0.01이었으나, 상층식생 울폐도를 40% 이상~80%이하로 하였을 경우에는 0.65로 가장 높은 값을 나타내었다. 이를 직선회귀식으로 나타내면, 표층토양에서의 조공극률(%) = 0.2401 × 상층식생 울폐도(40~80%로 하였을 경우) + 16.071(R² = 0.65)이었다. 따라서 산림의 수원함양기능 증진을 위한 산림사업시 제·간벌은 상층식생 울폐도가 80%를 넘게 되었을 때 실시해야 할 것으로 생각되며, 이는 小柏 등(1991)의 연구결과와 유사한 결과이었다.

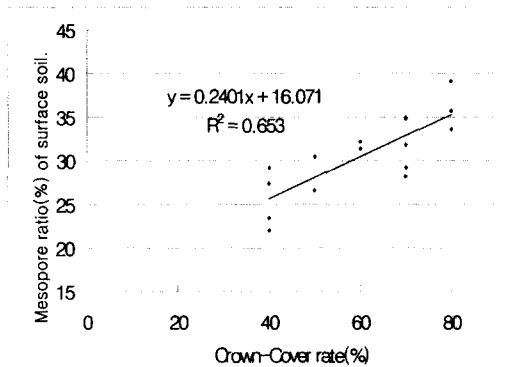


Figure 2. Linear regression equation of crown-cover rate(%) and mesopore ratio (pF2.7, %) in surface soil.

(2) 하층식생 피복도

표층토양의 조공극률에 대한 하층식생 피복도와의 관계를 직선회귀 분석한 결과(Figure 3) 직선회귀식은, 표층토양에서의 조공극률(%) = 0.2039 × 하층식생 피복도(20%~80%) + 18.566(R² = 0.332)으로 나타났다. 이때 하층식생 피복도는 하층식생이 미약한 상태와 전체가 완전히 피복되어 증발산에 의하여 수원함양기능이 저해(太田, 1991) 되는 울폐도인 20% 이하와 80% 이상인 부분을 제외한 결과로, 결정계수(R²)는 0.33으로 비교적 낮은 값을 나타내었는데, 이는 표층토양 조공극 형성에는 하층식생 피복도 뿐만 아니라 상층식생 울폐도 등 다른 임분환경 인자들이 복합적으로 영향하는 데 기인하기 때문이라 생각된다.

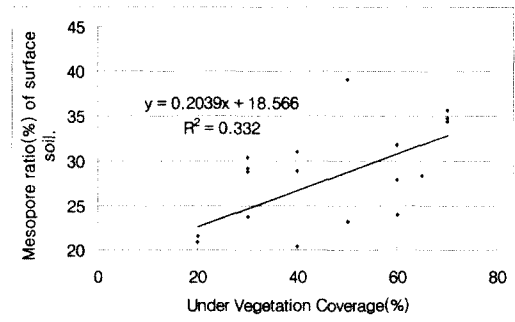


Figure 3. Linear regression equation of under vegetation coverage(%) and mesopore ratio (pF2.7, %) in surface soil.

3) 표층토양에서의 조공극률과 토양 유기물함량비, 전질도와 유기물함량비와의 관계

상관분석 결과 표층토양에서의 조공극률과 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타낸 토양의 유기물함량비와의 관계를 직선회귀 분석하였다(Figure 4). 직선회귀식은, 표층토양에서의 조공극률(%) = 1.8437 × 토양의 유기물함량비(%) + 22.195(R² = 0.42)로 나타나 토양의 유기물함량비가 높아질수록 공극 발달이 좋아져 토양의 강수침투 및 저류구조가 개선되는 것(정용호, 1998)으로 분석되었다.

상관분석 결과 표층토양에서의 전질도와 1% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타낸 토양의 유기물함량비와의 관계를 직선회귀 분석하였다(Figure 5). 직선회귀식은, 표층토양에서의 유기물함량비(%) = -0.3186 × 토양전질도 + 6.5976

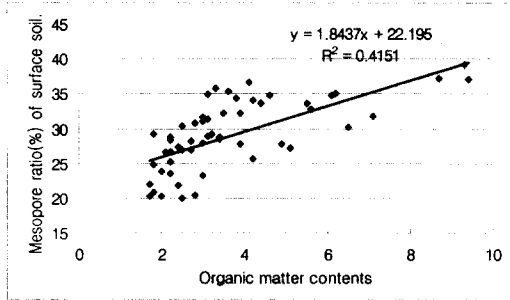


Figure 4. Linear regression equation of organic matter contents and mesopore ratio (pF2.7, %) in surface soil.

($R^2 = 0.32$)로 나타나 토양건밀도가 높을수록 유기물함량비가 낮아져 공극 발달에 불리하게 작용하는 것으로 분석되었다. 이는 앞서 언급한 토양의 강수침투 및 저류구조와 밀접한 관계가 있는 것(정용호, 1998)으로 생각된다.

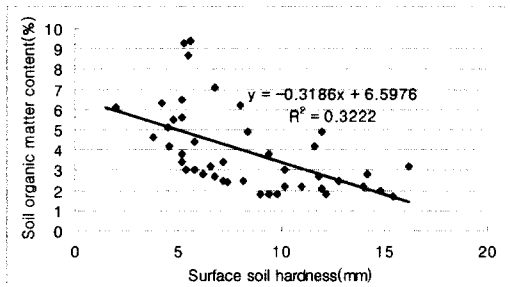


Figure 5. Linear regression equation of surface soil hardness(mm) and organic matter contents in surface soil.

4) 표층토양에서의 조공극률과 표층토양 건밀도와와의 관계

상관분석 결과 표층토양에서의 조공극률과 1% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타낸 표층토양 건밀도와와의 관계를 직선회귀 분석하였다 (Figure 6). 직선회귀식은, 표층토양에서의 조공극률(%) = $-1.1004 \times$ 표층토양건밀도(mm) + $37.518(R^2 = 0.55)$ 로 나타났는데, 이와 같은 결과는 표층토양의 건밀도가 높아질수록 산림의 수원함양기능에는 불리하게 작용함을 의미하는 것이다. 즉, 상관분석 결과 A층, B층 토양건밀도와 표층토양에서의 조공극률(%)과는 1% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타내었는데, 이와 같은 결과도 표층토양 건밀도와 표층토양에서의 조공극

률(%)과의 관계와 같은 관계를 의미하는 것이다. 따라서 침엽수림의 수원함양기능을 증대시키기 위한 산림사업은 표층토양의 건밀도가 높아지지 않도록 하는 사업 방법(森林水資源問題檢討委員會, 1991; 朴在鉉, 1995; 禹保命 등, 1995; 禹保命 등, 1998)이 강구되어야 할 것으로 생각된다.

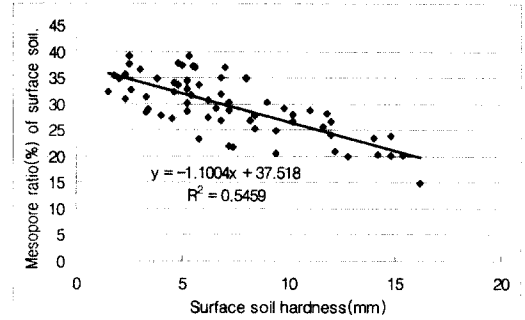


Figure 6. Linear regression equation of surface soil hardness(mm) and mesopore ratio (pF2.7, %) in surface soil.

結 論

침엽수림을 대상으로 산림의 수원함양기능의 지표가 되는 표층토양에서의 粗孔隙率(pF2.7)에 영향을 미치는 인자를 밝힘으로써 산림사업에 따른 산림의 수원함양기능을 평가하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 표층토양에서의 조공극률과 표층토양 조대공극률, 경사도, 상층식생 울폐도, F층 두께, 토양의 유기물함량비, 임목축적 등 6개 인자가 正의 상관관계를, 점토함량비, 표층토양건밀도, A층, B층 토양건밀도 등 4개 인자가 각각 5%, 1% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타내었다.
2. Stepwise를 이용한 다중회귀분석결과 산림의 수원함양기능 증대에 영향을 미치는 표층토양에서의 조공극률에 영향을 미치는 인자는 표층토양의 건밀도, 상층임분 지하고, 임목축적, B층 토양의 건밀도, 토양의 유기물함량비 등 5개 인자이었다.
3. 직선회귀분석결과 표층토양에서의 조공극률과 임목축적과는, 표층토양에서의 조공극률 = $0.0546 \times$ 임목축적 + $17.155(R^2 = 0.47)$ 의 관계로 산림의 수원함양기능 증대는 임목축적과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다.
4. 직선회귀분석결과 표층토양에서의 조공극률

과 상층식생 울폐도는, 표층토양에서의 조공극률 = $0.2401 \times$ 상층식생 울폐도(40~80%로 하였을 경우) + $16.071(R^2 = 0.65)$ 의 관계로 산림의 수원함양기능 증대는 상층식생 울폐도와 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다.

5. 따라서 침엽수림의 수원함양기능 증진을 위한 시업은 표층토양의 조공극 발달이 촉진되도록 상층식생 울폐도가 80%를 넘게 되었을 때 실시해야 할 것으로 판단된다.

引用文獻

1. 金泰勛·李天龍·金景河·程龍鎬. 1993. 水源涵養機能增進을 위한 施業技術. 林業研究院 1993年度 試驗研究報告書(4-1) : 493-501.
2. 朴在鉉. 1995. 白雲山 成熟闊葉樹林 皆伐收穫地에서 伐出直後의 環境變化와 運材路 浸蝕에 관한 研究. 서울大學校 博士學位論文. 137p.
3. 禹保命·朴在鉉·全起成·鄭道鉉. 1995. 熟林木伐採地에서 降雨水의 表面流出水量과 山地浸蝕에 미치는 環境要因의 影響. 韓國林學會誌 84(2) : 226-238.
4. 禹保命·金慶勳·朴在鉉·崔炯太. 1998. 伐採地內 運材路의 土壤物理性 및 植生의 回復過程. 韓國環境復元綠化技術學會誌 1(1) : 18-27.
5. 吳斗泳. 1986. 昭陽江 多目的댐 流域內 森林의 理水效果 推定. 高麗大學校 博士學位論文. 54p.
6. 柳澤圭. 1986. 森林에 있어서 물 收支에 관한 試驗研究. 江原大學校 博士學位論文. 28p.
7. 이원규·최경·오민영. 1988. 산화에 의한 토양 및 식생의 변화. 임업연구원 연구보고 37 : 35-49.
8. 李宗學·金泰勛·李元圭·崔敬·李天龍·朱鎭順. 1989. 山林의 流出調節에 관한 研究. 林業研究院 研究報告 38 : 98-111.

9. 정용호. 1998. 녹색댐의 수원함양기능증진을 위한 방안1. 산림 384 : 68-81.
10. 福岡縣. 1991. 福岡縣水源의 森基金. 福岡縣水源의 森基本調査報告書(12).
11. 五所直久. 1991. 森林のはたらき效用-水源涵養·水利用·環境保全. 山林 : 13-20.
12. 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. 林業試驗場研究報告 240 : 1-251.
13. 吉野昭一·菊谷昭雄. 1985. 高海拔流域における 森林伐採と暖候期間の流出量變化第1報-寶川試驗地の本流流域について(寶川森林治水試驗第4回報告). 林業試驗場研究報告 331 : 127-145.
14. 太田猛彦. 1991. 森林の水源涵養機能と森林施業のあり方法論. 水利科學 197 : 1-33.
15. 森林水資源問題檢討委員會. 1991. 森林と水資源. 日本治山治水協會. 340p.
16. 小栢一久·近藤次雄·眞下育久. 1991. 水量化 I類の手法を用いた森林土壤の粗孔隙率の要因分析(II)-スギ林における表層土壤の粗孔隙率と林分密度. 日本林學會誌 73(5) : 396-400.
17. 水利科學研究所. 1976. 森林の公益的機能計量化調査報告書. 425p.
18. 竹下敬司. 1988. 森林·土壤·水問題. 森林立地 30(2) : 26-32.
19. Anderson, H.W., D.H. Marvin and K.G. Reinhart. 1976. Forest and Water. 115p.
20. Brown, G.W. 1991. Forestry and water quality. Oregon State University. 142p.
21. King, J.G. 1989. Streamflow responses to road building and harvesting : A comparison with the equivalent clearcut area procedure. U. S. Department of Agriculture. Forest Service. Research Paper INT-401 : 1-14.