

## 地被狀態에 따른 林地의 水貯留 特性(II)<sup>1</sup>

李憲浩<sup>2</sup> · 李昶雨<sup>2</sup>

## Water Storage Characteristics of Surface Soil by the Different Forest Floor Conditions(II)<sup>1</sup>

Heon Ho Lee<sup>2</sup> and Chang Woo Lee<sup>2</sup>

### 要 約

본 연구는 임지의 수저류능력을 토양공극 구분에 의한 실제 이용가능수량으로 평가하여 지속적인 수자원의 확보를 위한 기초자료를 제공할 목적으로 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 조공극은 임지 > 임간나지 > 초지의 순으로 높았고, 토심이 깊을수록 전공극, 조공극, 이용가능수량은 감소하는 반면, 세공극은 점차 증가하는 것으로 나타났다.
2. 토양의 공극과 이학적 특성은 지피상태별로 표층(0~20cm)에서 고도의 유의차를 보이는 반면, 토심 20~40cm와 토심 40~60cm에서는 큰 차이가 없었다. 한편, 동일 시험구에서 표층(0~20cm)과 토심 20~40cm와는 큰 차이를 보이나 토심 20~40cm와 토심 40~60cm와는 큰 차이가 없었다.
3. 전 시험구에서 이용가능수량은 조공극과 고도의 상관관계를 나타냈다.
4. 조공극량과 토심을 이용하여 나타낸 이용가능수량으로 각 지피상태별 수저류량 추정모델을 산출할 수 있었다.

### ABSTRACT

This study was carried out to get the basic data for obtaining water resources continuously. Water storage of forest land was estimated by effective water storage based on classifying soil pore.

The results were summarized as follows :

1. Percentage of coarse pores were in the order : Forest > Bare land > Grasses. As soil depth increased, total pores, coarse pores, and maximum water content were decreased, while fine pores increased.
2. Soil pore percentage and physical properties of surface layer(0~20cm) were significantly different among forest floor condidions. However, there were no difference in soil pore percentage and physical properties in 20~40cm and 40~60cm according to forest floor conditions. In the same plot, on the other hand, soil pore percentage and physical properties were signigicantly different between surface layer(0~20cm) and 20~40cm, but there were no differences between 20~40cm and 40~60cm.
3. Effective water storage was highly correlated with coarse pore in all plots.
4. The model for water storage capacity of each forest floor condition expressed by effective water storage was produced using coarse pores and soil depth.

<sup>1</sup> 接受 1994年 5月 14日 Received in May 14, 1994.

<sup>2</sup> 영남대학교 농축산대학 산림자원학과 Department of Forest Resources, College of Agriculture and Animal Science, Yeungnam University, Kyongsan, Korea.

## 緒 論

산업화와 생활수준의 향상으로 물수요는 날로 증가하고 있으나, 우리나라의 경우 이용수자원은 전체 강우량의 약 21%에 지나지 않아 년간 약 21억ton의 물이 부족한 실정<sup>3)</sup>이므로 장래 물공급에 큰 차질을 가져올 것으로 예상된다. 최근 상수도원과 주요 하천의 수질오염 등으로 인해 지하수 개발이 확대되고 있으나, 사회적으로 환경 오염에 대해 심각한 문제를 야기시키고 있어 보다 안정되고 장기적인 양질의 수자원의 확보가 절실히 요구되고 있다.

다목적댐 등 구조물에 의한 수자원의 확보는 토지이용면적감소 및 생태계 파괴 등 많은 문제점<sup>1)</sup>을 내포하고 있으므로 緑의 댐이라 불리는 산림의 수자원함양기능을 고도로 발휘시켜 우리나라 전체의 물수요에 산림이 일익을 담당할 수 있도록 산림의 저수 수자원량을 정량화할 필요가 있다<sup>4,5)</sup>.

임지의 수저류능을 평가하는데 있어서 가장 중요한 인자는 토양의 공극분포이다. 산림토양의 공극과 수저류에 관련된 국내외 주요 연구성과를 보면, Zerman<sup>16)</sup>은 吸收板에 의한 산림토양의 脫水點을 pF 2 정도로 보고 토양공극을 毛管孔隙과 非毛管孔隙으로 나누었으나, 真下<sup>13)</sup>는 흡수판에 의한 탈수점이 pF 2.5~2.7에 상당하는 것으로 발표하고 토양공극을 세공극과 조공극으로 구분하였다. 竹下<sup>10,11)</sup>는 산림토양을 대상으로 그 값을 측정한 결과, 조공극이 A<sub>1</sub>층에 특히 많으며, 以下 A층>B층>C층의 크기순으로 많고, 凹사면이 凸사면보다 대공극이 풍부하고 배수성이 높으며 水貯留는 불리한 것으로 보고했다. 그는 토양층의 두께에 의해서 貯留量의 크기가 정해지고, 특히 토양중에 小動物의 활동으로 형성된 粒團構造가 수저류에 이상적인 것으로 발표했다. Beven 等<sup>15)</sup>은 산림토양 공극형성의 원인을 토양 동물과 식물군계의 활동, 토양의 收縮과 膨脹에 의한 틈의 발생, 토양내부에서 自體形成된 管 등의 4가지로 구분한 바 있다. 有光<sup>9)</sup>은 土壤孔隙解剖圖를 이용하여 공극분포가 土壤母材와 土壤型의 차이에 따라 크게 변화하는 것으로 발표하고, 조공극량이 많을수록 투수율이 높아진다고 했다. 국내에서도 산림토양의 수저류량을 最大水分貯留

量으로 생각하여 토양모재와 土深 등을 고려하여 산지의 수저류량에 대해 計量化를 시도<sup>2)</sup>한 바 있다. 이와같은 연구흐름 중에서도 산림토양의 공극분석에 의한 실제 이용가능수량의 평가가 산지로부터 수자원 확보 추면에서 시급한 연구과제로 판단되었다.

따라서 본 연구는 임지의 지피상태별로 수저류 능력을 토양공극구분에 의해 평가하고 이의 정량화를 시도함으로써 장래 산림사업은 물론 지속적인 수자원의 확보를 위한 관리대책수립에 기초자료로 제공하는 데에 그 목적이 있다.

## 材料 및 方法

### 1. 시험지 선정 및 토양시료의 채취

본 연구의 시험지와 시험기간은 前報<sup>6)</sup>와 같으며 참나무림지, 소나무림지, 초지, 임간나지의 시험구내에 토양공극분포, 최대수분량 및 토양 투수율을 측정하기 위해 다시 小試驗區를 각각 9개씩 설치하였다. 圓筒採土試料는 소시험구마다 표층(0~20cm), 20~40cm, 40~60cm의 土深別로 採土했다. 실내실험으로 108개(9×3×4)의 원통채토시료를 대상으로 土壤理學性 및 孔隙量을 측정하였다.

### 2. 연구방법

#### (1) 산림토양의 이학성 및 공극량 측정

토양의 투수율은 토양의 일정단면을 일정시간에 통과하는 수량으로 표현되며<sup>12)</sup>, 투수율 측정장치에 원통채토시료를 裝着시키고 급수한 물이 越水하기 시작한 후 5분 및 15분후 각 1분간의 투수량을 투수<sup>13)</sup>로 산출했다.

토양의 孔隙 수분량, 투수율 그리고 공극량 측정은 원통채토시료를 이용해서 연속적으로 실시하였다<sup>6,17)</sup>. 채토원통의 크기는 斷面積 100cm<sup>2</sup>, 높이 4cm, 容 150cc인 規格品을 사용했다.

산림토양의 공극량 측정은 特殊吸收板을 이용했다. 흡수판은 일본 大起(株)로 부터 주문 제작한 특수석고판(W=15.5cm, L=15.5cm, H=2cm)으로서 水分吸收容量이 약 150cc정도여서 조공극이 풍부한 토양에서도 측정이 가능하다. 측정원리는 pF 2.7을 기준으로 해서 그 이상의 힘으로 물을保持하고 있는 공극을 細孔隙, 그 이하의 공극을 粗孔隙으로 했다<sup>13)</sup>.

강한 毛細管力으로 保水되어 있는 세공극내의 물은 중력에 의한 움직임이 없기 때문에 成流出으로는 기대할 수 없고, 水源涵養上 이용불가능한 수량이다. 그러나 조공극내에 보수된 물은 중력에 의해 유동할 수 있고, 물의 움직임이 느리므로 地下水帶로 이동해서 침투수로 될 가능성이 높아서 실제 이용가능한 수원함량으로 평가했다<sup>7,8)</sup>.

#### (2) 山林土壤의 理學性 및 孔隙量 分析

토양의 투수율은 cc/min 단위로 나타냈고, 투수율 측정장치로부터 측정된 5분 및 15분 후 투수율의 평균값을 분석에 이용했다.

산림토양의 최대수분량은 원통채토시료의 전건 상태의 체적을 구하고,純粹飽水試料의 무게와純粹乾燥試料의 무게와의 차이를 채토원통용적에 대한 백분율로서 산출했다. 조공극은 흡수판을 이용해서 산출한 세공극과 전공극과의 차로서 산출했다. 임지에서 실제로 이용가능한 수저류량을 이용가능수량으로 정의하고 최대수분량에서 세공극을 뺀 값을 분석에 이용했다. 산림토양의 최대수분량, 공극량 산출식은 문현<sup>6,17)</sup>에 나타나 있으며 이용가능수량의 산출식은 다음과 같다.

$$Es = W_{max} - Fp \quad (1)$$

여기서,  $W_{max}$  : 최대수분량(%)

$Fp$  : 세공극(%),  $Es$  : 이용가능수량(%)이다.

시험구별로 산출된 투수율과 토양의 최대수분량, 공극량분포, 이용가능수량등과 침투능과의 상관관계를 구하고, 토심별로 공극량의 분포특성을 분석했다. 토양의 최대수분량과 토양공극량간의 수저류량의 관계를 분석하여 임지의 수저류량 추정모델을 산출하고, 시험구별 상호비교는 분산분석후 Duncan의 다중검정을 실시하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 山林土壤의 水貯留 特性

#### (1) 地被狀態와 土深에 따른 土壤의 理學性 및 孔隙分布

토양의 이학성은 식물뿌리의 통기성, 토양수의 포화정도, 토양경도, 토양을 유지하는 힘, 토양수분의 저류능력 등과 관련되어 있다<sup>14)</sup>.

각 시험구에서 토양의 공극분포, 최대수분량 및 투수율을 토심별로 측정한 결과를 Fig. 1~Fig. 4에 나타냈다. 표증에서 전공극은 참나

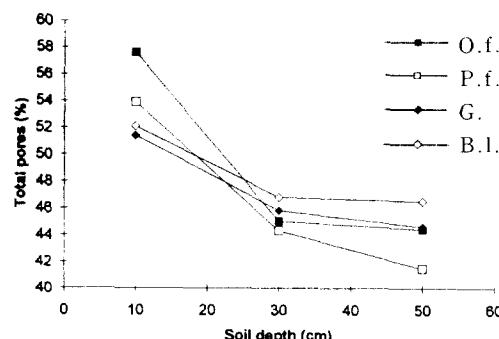


Fig. 1. Relationship between total pores and soil depth by experimental plots.

O.f. : Oak forest, P.f. : Pine forest, G. : Grasses, B.l. : Bare land

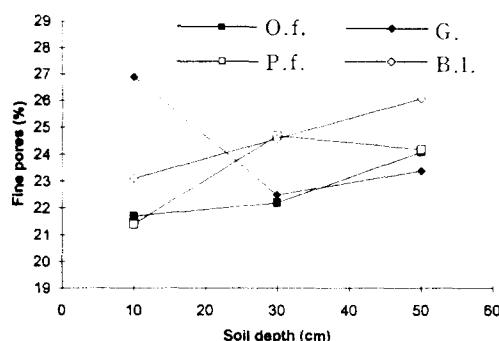


Fig. 2. Relationship between fine pores and soil depth by experimental plots.

O.f. : Oak forest, P.f. : Pine forest, G. : Grasses, B.l. : Bare land

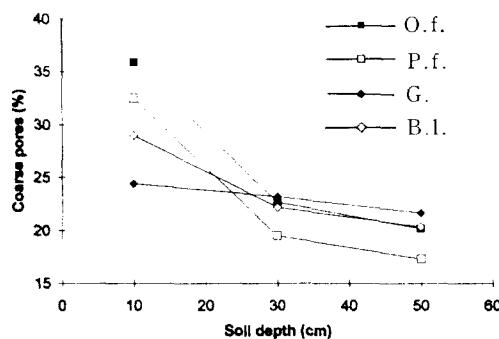


Fig. 3. Relationship between coarse pores and soil depth by experimental plots.

O.f. : Oak forest, P.f. : Pine forest, G. : Grasses, B.l. : Bare land

무림지 > 소나무림지 > 임간나지 > 초지의 순으로 높았으며 뚜렷한 유의차를 보였다. 세공극은 표

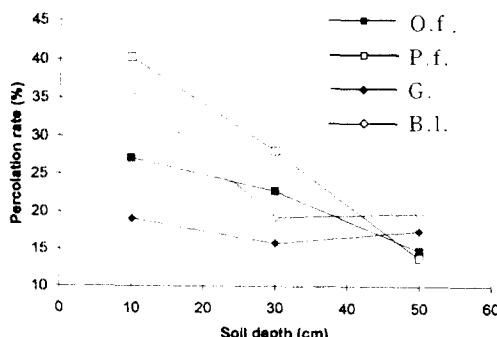


Fig. 4. Relationship between percolation rate and soil depth by experimental plots.

O.f. : Oak forest, P.f. : Pine forest, G. : Grasses, B.l. : Bare land

총에서 초지 > 임간나지 > 참나무림지 > 소나무림지의 순으로 높고 뚜렷한 유의차를 보이지만, 심층에서는 뚜렷한 유의차가 인정되지 않았다. 조공극은 표층에서 참나무림지 > 소나무림지 > 임간나지 > 초지의 순으로 높았으며, 뚜렷한 유의차를 보이고 있으나, 심층에서는 뚜렷하지는 않지만 유의차를 나타냈다. 투수율은 토심에 따라 차이가 있었으나 유의차는 나타내지 않았다. 이상의 결과로 지피상태의 차이가 표층의 토양공극 형성에는 영향을 미치고 있으나 심층의 공극형성에는 큰 영향을 주지 않았음을 보여주고 있다.

임지의 토양이 타 시험구에 비해 공극량이 풍부한 것은 林木으로부터 제공되는 낙엽, 落枝 등이 토양표면에蓄積되어 이들이 서서히腐殖화 과정에 들어가서 토양중의微生物 혹은 소동물들의 활동을促進시키는 것이 공극형성의 발달에 도움을 주며, 또한 수목 근계의 활동에 의한 공극형성의 촉진, 죽은 뿌리가腐敗하는 과정에서 생성되는 공극(pipe flow)<sup>16)</sup>의 발달 등을 그 원인으로 생각할 수 있다. 한편, 세공극은 초지에서 높은 비율을 차지하는데 이는 임지와 달리 부식층의 미발달로 토양동물의 활동이不振함으로써 토양입자의粒團구조의 형성이 줄어들고, 토양표면의 나출로 인해 토양의 조직이 치밀해진 것에 기인하는 것으로 생각된다.

同一 시험구에서 토심변화에 따른 토양의 이학성 및 공극분포를 보면, 토심이 깊어질수록 초지를 제외한 모든 시험구에서 투수율, 전공극, 조공극, 최대수분량은 감소하는 경향을 보였으며, 세공극은 증가하는 경향이 있었다. 임지에서 토

심이 깊어질수록 공극비율이 낮아지는 것으로 나타난 것은 有光<sup>9)</sup>과 竹下<sup>10,11)</sup>의 연구결과와 일치했다.

초지의 경우 토심이 깊어질수록 세공극이 감소하는 경향을 보이고 있으며, 이는 전공극의 감소에 의한 것으로 생각할 수 있다. 표층의 조공극량은 임지와 차이가 나타나지만, 토심이 깊어질수록 임지와 초지의 조공극량은 큰 차이를 보이지 않았다.

토심별로 비교한 바 토양의 이학성 및 공극분포는 표층(0~20cm)과 토심 20~40cm에서는 차이를 보이나, 토심 20~40cm와 토심 40~60cm에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

## (2) 山林土壤의 孔隙分布에 따른 水貯留 特性

산림에 있어서 어떤 강우가 지표면에 도달하면, 토양층내의 물리적 구성에 의해 틀어막으로 유출되거나 혹은 침투되어 저류된다.

산림토양에서는 이러한 유출량을 최소화해서洪水流量를輕減시킴과 동시에蓄水期에 산지로부터 장기간에 걸쳐서 물을持續적으로 공급할 수 있는 임지의 능력을 평가할 필요가 있다. 토양이 물을 최대로 저류할 수 있는 능력으로서 최대수분량을 측정한 결과 Fig. 5와 같다. 최대수

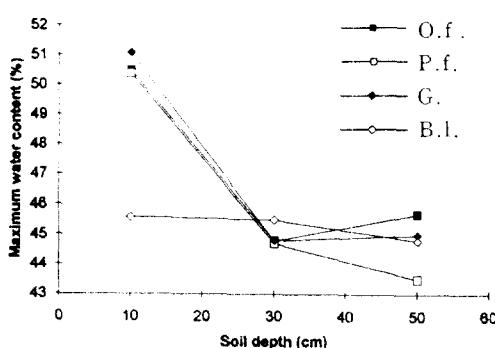


Fig. 5. Relationship between maximum water content and soil depth by experimental plots.  
O.f. : Oak forest, P.f. : Pine forest, G. : Grasses, B.l. : Bare land

분량은 토심이 깊어질수록 감소하였으며 임간나지에서 상대적으로 낮은 것을 제외하고 모든 시험구에서 비슷한 경향을 보였다. 이는 실제 임지의 경우 토양내에서 물이 침투하면 먼저 세공극이飽水되고, 조공극이 채워지는데, 토양을 완전히 수시켜서 최대수분량을 평가하는 원통채토시

료의 경우 비교적 큰 조공극은 토양이 포수되어 도 물이 흡착되어 있지 않고 하방으로 침투되는 것이 그 원인으로 생각된다. 따라서 최대수분량 만으로는 정확한 토양의 수저류능을 평가할 수 없는 것으로 판단하고, 본 연구에서는 최대수분량에서 세공극량을 뺀 값을 이용가능수량으로 하여 토양의 수저류량 평가에 이용했다. Fig. 6에 각 시험구별 토심에 따른 이용가능수량의 변화를 나타내었다.

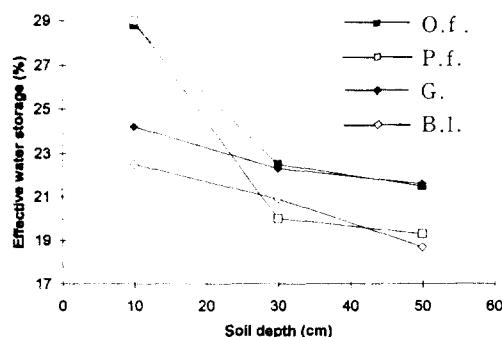


Fig. 6. Relationship between effective water storage and soil depth by experimental plots.  
O.f. : Oak forest, P.f. : Pine forest, G. : Grasses, B.l. : Bare land

산지에서 실제 수저류인 이용가능수량은 표 층에서 소나무림지(29.0%)>참나무림지(28.8%)>초지(24.2%)>임간나지(22.5%)의 순으로 높게 나타났다. 이 수량은 토양심층까지 서서히 침투해서 나이가 지하수대로 침투할 가능성이 높기 때문에 타 시험구와 비교하면 임지의 수원함 양기능이 가장 높은 것을 잘 나타내 주고 있는 것으로 생각된다.

## 2. 土壤孔隙解析에 의한 水貯留量 推定

임지 지피상태별 토양의 공극분포특성을 조사한 결과 전공극, 세공극, 조공극, 최대수분량 등의 분포와 토심의 차이가 임지의 수저류 특성에 미치는 영향은 큰 것으로 나타났다. 시험구별 토양의 이용가능수량과 최대수분량, 토심, 토양의 공극분포와의 상관관계를 Table 1~Table 4에 나타냈다.

전 시험구에서 이용가능수량과 영향인자들간의 상관관계는 비슷한 양상을 보이며 특히 조공극에서 고도의 상관관계를 나타내고 있다. 임간나지에서 최대수분량과 조공극이 부의 상관관계를 나타낸 것은 조공극이 세공극과 고도의 부의 상관관계를 갖고 있는데 세공극이 최대수분량과 고도의 정의 상관관계를 가짐으로써 나타난 결과로 판단된다.

지피상태별 이용가능수량을 평가하고자 주요영향인자들을 이용하여 변수선택형 중회귀분석을 통해서 다음과 같은 회귀식을 유도하였다. 식에서  $X_1$ 은 조공극(%),  $X_2$ 는 토심(cm)이다.

1) 참나무림지에서의 이용가능수량(%)

$$Oe = 0.440X_1 - 0.0108X_2 + 12.929 \quad (2)$$

(F=47.949, R<sup>2</sup>=0.7998)

2) 소나무림지에서의 이용가능수량(%)

$$Pe = 0.463X_1 - 0.0719X_2 + 13.620 \quad (3)$$

(F=28.907, R<sup>2</sup>=0.7066)

3) 초지에서의 이용가능수량(%)

$$Ge = 0.541X_1 - 0.0283X_2 + 10.775 \quad (4)$$

(F=15.372, R<sup>2</sup>=0.5616)

4) 임간나지에서의 이용가능수량(%)

$$Be = 0.240X_1 - 0.0571X_2 + 16.251 \quad (5)$$

(F=25.305, R<sup>2</sup>=0.6783)

Table 1. Correlation between soil properties in oak forest.

Variables*	c.p.	s.d.	p.r.	t.p.	f.p.	m.w.
e.s.	0.891**	-0.615**	0.150	0.871**	-0.456*	0.806**
c.p.		-0.713**	0.149	0.956**	-0.573**	0.607**
s.d.			-0.271	-0.714**	0.316	-0.472*
p.r.				0.209	0.101	0.233
t.p.					-0.306	0.762**
f.p.						0.160

\* t.p. : total pores, c.p. : coarse pores,

f.p. : fine pores, p.r. : percolation rate, m.w. : maximum water content,

e.s. : effective water storage, s.d. : soil depth

\* : Significant at 5% level.

\*\* : Significant at 1% level.

**Table 2.** Correlation between soil properties in pine forest.

Variables*	c.p.	s.d.	p.r.	t.p.	f.p.	m.w.
e.s.	0.831**	-0.700**	0.561**	0.765**	-0.623**	0.844**
c.p.		-0.738**	0.322	0.945**	-0.699**	0.576**
s.d.			-0.369	-0.772**	0.354	-0.642**
p.r.				0.258	0.325	0.490**
t.p.					-0.429*	0.677**
f.p.						-0.106

\* Abbreviation letters for variables were explained in Table 1.

\* : Significant at 5% level.

\*\* : Significant at 1% level.

**Table 3.** Correlation between soil properties in grasses.

Variables*	c.p.	s.d.	p.r.	t.p.	f.p.	m.w.
e.s.	0.738**	-0.338	0.115	0.552**	-0.150	0.600**
c.p.		-0.290	-0.012	0.699**	-0.214	0.360
s.d.			-0.053	-0.574**	-0.395*	0.563**
p.r.				0.083	0.105	0.168
t.p.					-0.536**	0.832**
f.p.						0.701**

\* Abbreviation letters for variables were explained in Table 1.

\* : Significant at 5% level.

\*\* : Significant at 1% level.

**Table 4.** Correlation between soil properties in bare land.

Variables*	c.p.	s.d.	p.r.	t.p.	f.p.	m.w.
e.s.	0.778**	-0.625**	0.210	0.575**	-0.727**	-0.167
c.p.		-0.504**	0.047	0.822**	-0.859**	-0.551**
s.d.			-0.397*	-0.567**	0.296	-0.116
p.r.				0.131	0.042	0.253
t.p.					-0.416*	-0.093
f.p.						0.797**

\* Abbreviation letters for variables were explained in Table 1.

\* : Significant at 5% level.

\*\* : Significant at 1% level.

1) ~ 4)의 추정식에서는 지피상태별로 조공극, 토심 및 상수가 모두 비슷한 경향을 보이고 있고, 4시험구 모두 이용가능수량에 대해 조공극은 정의 상관관계를 보이는 반면, 토심은 부의 상관관계를 보이고 있다. 조공극이 많을수록, 토심은 얕을수록 이용가능수량은 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 산지 지피상태에 따른 수저류량이 토양공극분포, 토심 등에 의해 좌우되는 것을 밝혔고, 이러한 인자들을 이용해서 이상의 추정식들을 산출하였다. 이 식을 이용하여 임지의 토양공극분포와 토심을 조사함으로써 임지의 수저류량 추정이 가능하고 산림의 수원함양기능을 계량화하는데 접근할 수 있었다. 따라서 본 연구의 결과는 山地 水源涵養機能을 증대시키기 위한 山林施業의 방향설정이나 水資源의 效率的인 管理對策에 도움을 줄 것으로 기대된다.

### 引用文獻

- 金景河. 1987. 森林에서 林冠에 의한 降雨遮斷 損失에 關한 研究. 서울大學校碩士學位論文. 49p.
- 山林廳 林業研究院. 1992. 山林의 公益的 機能의 計量化 研究(II). 科學技術處. 81p.
- 李全雄. 1992. 山林小流域에서의 流出量 測

- 定에 관한 研究, 서울大學校碩士學位論文, 70p.
4. 李憲浩, 1992. 森林理水機能의 定量的 評價方法에 關한 研究(II), 韓林誌, 81(4) : 337-345.
  5. 社團法人 土木學會 編, 社團法人 土質工學會 編, 1988. 土質實驗指導書, 土木學會, 39p.
  6. 水利科學研究所, 1973. 森林公益的機能計量化基礎調査報告書: 3-102.
  7. 水利科學研究所, 1974. 森林の公益的機能計量化基礎調査報告書(III) : 27-66.
  8. 李憲浩·李昶雨, 1994. 地被狀態에 따른 林地의 水貯留 特性(I), 韓林誌, 83(3) : 391-399.  
地의 水貯留 特性(I), 韓林誌 83(3) : 391-399.
  9. 有光一登, 1970. 吸收板による土壤の孔隙解析, 森林立地, 12(1) : 31-35.
  10. 竹下敬司, 1981. 森林土壤の水源保全機能に關する解析と評價, XVII IUFRO論 : 53-57.
  11. 竹下敬司, 1983. 森林及び土壤の構成と流出, 森林綠地の水害調節機能の定量化とその 配置に關する研究報告, 自然災害特別研究, : 60-99.
  12. 真下育久, 1960. 森林土壤の理學的性質とスギ·ヒノキの成長に關する研究, 林野上調報, (11) : 91-182.
  13. 真下育久, 1961. 吸收板による簡単なpF價の測定とこれによる土壤水および孔隙區分, 森林立地, 3(1) : 32-34.
  14. 土壤物理性測定法委員會, 1982. 土壤物理性測定法, 養賢堂, 505p.
  15. Beven, K. and P. Germann, 1982. Macropores and water flow in soils, Water Resources Research, 18(5) : 1311-1325.
  16. Kubota, W.D. 1993. The role of vertical pipes in the formation of saturated zones in a hillslope, J. Jpn. For. Soc., (75) : 88-99.
  17. Naoshi, Y. and B. Shigeyuki, 1990. Manual for forest soil survey and laboratory experiment, Ryukyu Univ, 49p.
  18. Zwerman, P.J. 1938. The relation of sheet erosion to the structure of duffield silt loam, Soil Sci. Soc. Amer Proc, 3.