

## 相異한 林分의 土層分化에 따른 水分分布와 移動特性<sup>1\*</sup>

陳鉉五<sup>2</sup> · 鄭德泳<sup>3</sup> · 孫堯丸<sup>4</sup> · 朱榮特<sup>5</sup> · 吳鍾敏<sup>6</sup>

## Characteristics of Water Distribution and Transport Depending on Soil Evolution in the Different Forest Stands<sup>1\*</sup>

Hyun-O Jin<sup>1</sup>, Doug-Young Chung<sup>3</sup>, Yowhan Son<sup>4</sup>, Yeong-Teuk Joo<sup>5</sup> and Jong-Min Oh<sup>6</sup>

### 요 약

본 연구는 경기도 광주군에 위치한 경희대학교 연습림내의 낙엽송, 잣나무 및 신갈나무의 천연활엽수로 구성된 3개의 임분의 선정된 구간에서 경사도별로 토층 분화와 강우에 따른 수분분포 특성을 구명하기 위하여 수행되었다. 조사대상 임분의 O층과 A층의 깊이는 활엽수나 낙엽송 임분에 비하여 임분 밀도가 높은 잣나무 임분에서 더 깊어지는 결과를 보여 토층 분화는 경사도, 토양침식과 물질퇴적과 함께 임분을 구성하는 식생과 임분 밀도 등이 주요인으로 작용하고 있음을 알 수 있었다. 그리고 각각의 임분에서 선정된 지점별로 용적밀도를 조사한 결과 경사도가 높은 지점에서는 용적밀도가 낮은 반면 토층이 잘 발달된 경사도가 낮은 지점에서는 용적밀도가 높은 것으로 조사되었다. 따라서 산림토양의 깊이 별 용적밀도 변화는 토양표면에서의 침식, 유기물 함량, 토양입자의 수직적 이동과 상관성이 높은 것으로 판단된다. 그리고 이러한 용적밀도와 유기물의 토양내 분포 특성은 수리전도도에도 영향을 미쳐 용적밀도와 수리전도도는 반비례하는 경향을 보였으나, 유기물 함량에 따른 표층토만의 수리전도도의 변이는 높지 않았다. 낙엽송 임분에서 각각의 경사도와 토층 분화 깊이가 다른 세 지점에서 강우의 침투 특성을 볼 때 토양의 용적밀도와 경사도가 임분에 가해지는 강우의 수직적 이동뿐만 아니라 수평이동에도 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 또한 lysimeter 실험 결과로부터 추정할 때 토양내 수분이 용적 밀도가 다른 토양층간을 이동할 때 수분은 작은 범위의 수리전도도가 수분 이동을 결정하며, 특히 불포화 형태로 수분이 이동할 때는 유기물에 의한 수분 보유력도 토양내 수분이동에 영향을 미칠 것으로 추측할 수 있다. 결론적으로 산림토양에서의 수분 분포와 이동 특성은 사면경사도와 같은 지형적인 요인과 토양의 물리적 성질인 용적밀도와 유기물 함량 등에 의해 영향을 받는 것으로 사료된다.

### ABSTRACT

We investigated the patterns of soil horizon evolution and its water distribution on three different forest stands covered with *Larix leptolepis*, *Pinus koraiensis*, and *Qercus mongolica* on the Experimental Forest of Kyunghee University, located in Kwangju, Kyunggi-Do. Compared to the properties of depths of O and A horizons evolved on the *Pinus koraiensis* stand, the depths of O and A horizons on the forest stands of *Larix leptolepis* and *Qercus mongolica* were shallower, indicating that the soil horizon were deeply influenced by geographical characteristics, its erosive and sedimentary distinction, vegetation cover and its population density. And the bulk densities of the sites selected were lower in the high slope gradient

<sup>1</sup> 接受 1999年 8月 9日 Received on August 9, 1999.

<sup>2</sup> 경희대학교 임학과 Dept. of Forestry, Kyunghee Univ., Yongin 449-701, Korea.

<sup>3</sup> 충남대학교 농화학과 Dept. of Agricultural Chemistry, Chungnam Nat'l Univ., Taejon 305-764, Korea.

<sup>4</sup> 고려대학교 산림자원환경학과 Dept. of Forest Resources and Environmental Sciences, Korea Univ., Seoul 136-701, Korea.

<sup>5</sup> 강원대학교 삼림자원보호학과 Dept. of Forest Resources Protection, Kangwon Nat'l Univ., Chunchon 220-701, Korea.

<sup>6</sup> 경희대학교 환경학과 Dept. of Environmental Science, Kyunghee Univ., Yongin 449-701, Korea

\* 본 연구는 1996~1999년도 한국과학재단 특정연구과제(96-0402-07-01-3)에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.

than that in the lower slope gradient at the same depth of soil profile. Therefore, the changes of the soil bulk densities were closely related to the soil organic matter and the vertical transport of soil particle throughout soil depths. On the other hand, the bulk density and organic matter content in soil can influence the water transport phenomena, resulting in decrease of the hydraulic conductivity as the increase in the bulk density, while the organic matter can not affect the hydraulic conductivity on the soil surface layer. For a rainfall infiltration characteristics from a lysimeter experiment established on the stand of *Larix leptolepis*, the bulk density and slope gradient strongly influenced the vertical transport of water, as well as the lateral movement of rainfall. Conclusively, the characteristics of water movement and distribution in the forest stand can be determined not by the geographical factor such as slope gradient but also by the bulk density and organic matter content remained in soils.

*Key words* : forest stand, soil evolution, water infiltration, lysimeter, leachate

## 서 론

전 국토 면적의 약 65%를 차지하고 있는 산림은 계절적 강우 분포, 식생 및 지형 등의 차이에 따라 산림생태계 보존 및 인접 수계로의 물질 이동 특성에 영향을 미친다. 일반적으로 산림토양은 높은 피복도 및 표층토의 낮은 용적비중과 상대적 대공극의 분포 비율이 높아 상대적 투수성은 높으나(Wilson 등, 1989), 일반 경작지나 나지에 비해 사면 경사도가 큰 관계로 인하여 집중 강우 시 산림토양의 표층토에서의 손실이 상대적으로 증가하게 되어 유거수에 포함되어 있는 유기물, 무기이온 및 점토광물이 계류수로 합쳐져 계류수의 수질을 결정하는 주요 요인이 된다(Alemi와 Goldhamer, 1988; Brown과 Binkley, 1994). 한편, 산림의 표층토를 통과한 수분은 토양의 물리적 특성에 따라 표층토와 심층토 사이에 생성되는 중간 계면층을 거쳐 산지의 낮은 쪽으로 이동하여 산지의 하부에서 용출수의 형태로 침출되어 계류수와 연결되기도 한다. 그러므로 이러한 산림생태계에서 공급되는 수원은 산림토양으로부터 이동하면서 수분내로 유입된 용존 물질의 정도에 따라 양질의 공급원으로 또는 수원의 오염원으로 작용하기도 한다(Brown과 Binkley, 1994).

토양은 물이 통과하는 통로로 존재하는 동시에 물을 저류하는 기능을 가지고 있다. 일반적으로 산림유역으로 도달하는 강수의 대부분은 수관 및 하층 식생 등에 의해 일시적 차단, 저류되었다가 수관통과우나 수간류로서 지표로 이동된 강우는 토양공극을 통하여 토양내로 유입하게 되는데 이때 강우 강도가 토양의 침투능보다 크게 되면 지표 유출이 발생한다(Bui, 1992; 정하유와 김성준, 1993). 그러므로 이러한 다양한 변이를 가지고 있

는 산림생태계내의 토양 및 수분 이동 특성을 파악하여 적절한 수원 및 산림토양 관리를 실시할 필요가 있다.

따라서, 본 연구는 상이한 3개의 산림생태계에서의 지형적 특성과 토층 분화 변화에 따른 수분 분포와 이동 특성을 조사하여 수분의 재분배와 순환과정을 포함하는 안정적 수질환경보존에 대한 산림생태 보존 기술 모형의 개발을 위한 기초자료로 활용하는데 목적을 두고 있다.

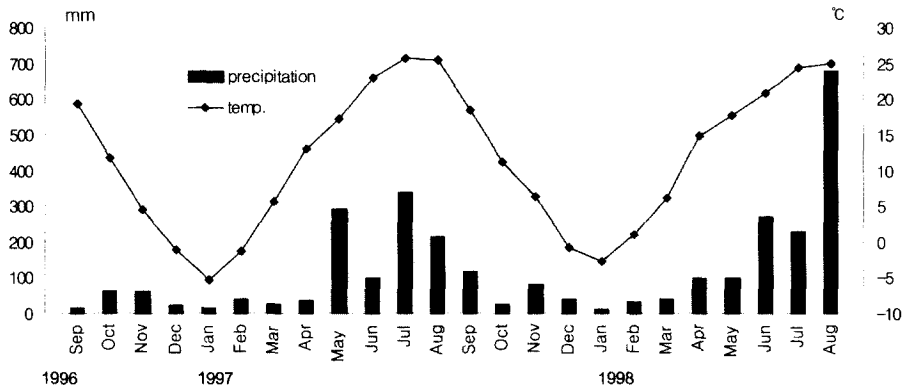
## 재료 및 방법

본 연구는 경기도 광주군 퇴촌면에 위치한 경희대학교 연습림(37° 27' 00" ~ 37° 28' 30" N, 127° 21' 00" ~ 127° 22' 30" E)내 낙엽송(*Larix leptolepis*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 그리고 신갈나무(*Quercus mongolica*) 임분에서 1996년 8월부터 1998년 10월까지 약 2년간 수행되었다. 낙엽송과 잣나무는 1973년 인공조림 된 25년생 임분이며, 신갈나무는 동일한 시기에 벌채 후 맹아에 의해 천연갱신된 25년생 임분이다.

하층식생으로는 낙엽송 임분에서 국수나무(*Stephanandra incisa*), 산뽕나무(*Morus bombycis*), 두릅나무(*Aralia elata*), 찔레꽃(*Rosa multiflora*), 잣나무 임분에서는 참싸리(*Lespedeza cyrtobotrya*), 울나무(*Rhus verniciflua*), 산초나무(*Zanthoxylum schinifolium*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*), 난티잎개암나무(*Corylus heterophylla*), 취통나무(*Ligustrum obtusifolium*), 신나무(*Acer ginnala*), 국수나무(*Stephanandra incisa*), 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*), 신갈나무 임분에서는 산벚나무(*Prunus sargentii*), 진달래(*Rhododendron mucronulatum*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*),

**Table 1.** Characteristics of three different forest stands investigated

Items	Forest Stand	<i>L. leptolepis</i>	<i>P. koraiensis</i>	<i>Q. mongolica</i>
DBH (cm)		18.6	19.0	18.7
Basal area (m <sup>2</sup> )		13.8	21.6	12.6
No. of stems/ha		950	1,300	1,500

**Fig. 1.** Monthly precipitation and temperature on the sites from Sep. 1996 to Aug. 1998

옻나무(*Rhus verniciflua*) 등이 분포하고 있었다. 낙엽송과 신갈나무 임분은 동사면에 잣나무 임분은 서사면에 위치하고 있으며 세 임분간의 거리는 500m 이내이다. 연구 대상 임분의 특성은 Table 1과 같다.

연구 대상지의 연평균 기온은 10.2°C, 연평균 강수량은 1307.6mm였으며 1월과 8월의 평균기온은 각각 -4.5°C와 24.8°C였다(기상청, 1997). 연구기간 동안의 연평균 강수량은 1462.6mm였고, 2년 동안의 1월과 8월의 평균 강수량은 각각 12.7, 506.5mm로 나타났다(Fig. 1).

임분별 조사 구간 선정은 임분 하부에 위치한 계류수로부터 약 120m~180m의 직선상의 사면을 택

하여 경사도별로 약 5~6개 정도의 구간으로 분할 후 구간의 1/2 위치에 조사 지점을 선정하였다. 선정된 구간의 일반적 특성은 Table 2와 같다.

토양단면 조사는 97년 6월 중순과 98년 7월 중순 2차에 걸쳐 임분별 조사 지점에서 길이 80cm 깊이 60cm~100cm의 시갱을 지표면에 수직으로 절단한 후 토양단면을 조사하였다. 한편 각각의 토층에서 직경 5cm, 길이 5cm의 원형 토양채취 원통으로 교란되지 않은 시료를 채취하여 실험실에서 용적밀도(Bulk density), 공극율 및 토성은 미국토양학회 토양분석법(Klute, 1992)에 따라, 그리고 수리전도도는 다음의 Darcy 공식을 적용하여 조사하였다.

**Table 2.** Distances between the adjacent investigation points and slope gradients for three selected sites from each stand

Location No	<i>L. leptolepis</i>		<i>P. koraiensis</i>		<i>Q. mongolica</i>		Remark
	Distance(m)	Slope(°)	Distance(m)	Slope(°)	Distance(m)	Slope(°)	
1	35	5~10	65	15~18	15	7~9	Top
2	12	17~22	50	11~15	8	17~16	
3	8	35~50	65	5~8	34	45~57	
4	18	17~21	*	*	22	34~42	
5	23	8~12	*	*	25	26~31	
6	21	2~3	*	*	40	17~25	
Sum	117		180		144		Bottom

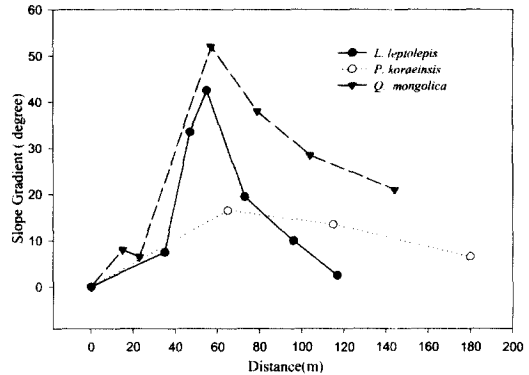
$$q = K_{sat} \frac{dH}{L}$$

여기서  $q = \frac{Q}{A \cdot T}$  이며  $q$ 는 유속(flux),  $Q$ 는 유량,  $A$ 는 수분이 통과하는 면적( $M^2$ ), 그리고  $T$ 는 유량( $Q$ )를 얻는데 소요된 시간을 의미한다. 한편  $K_{sat}$ 는 포화수리전도도이며,  $\frac{dH}{L}$ 는 수두차이를 수분이 통과하는 토양의 길이로 나눈 수리편차(hydraulic gradient)를 의미한다.

한편 조사기간 동안 강수량 변화별 토양내 토양수분 분배 및 이동을 조사하기 위하여 상기 토양 단면을 조사한 구간별로 30cm × 30cm의 사각형 plastic trench를 지상 10cm 지하 15cm 깊이로 설치한 후 지표면, O-A 경계층, 그리고 지표면으로부터 30cm 깊이에 lysimeter를 10cm 간격으로 설치한 후 다시 원래의 토양으로 토양을 메운 후 각각의 조사 깊이별로 일정 기간 동안 lysimeter에 포집된 수량을 조사하였다(Fig. 2).

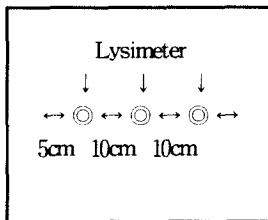
**결과 및 고찰**

임분별로 선정된 조사 구간의 지형적 특성을 살펴보면 낙엽송 임분의 경사도는 약 2~50°였으며



**Fig. 3.** The variation of slope gradient on three different forest stands

분할된 조사 구간 중 3번째 구간의 경사도는 평균 42.5°로 조사 구간 중 가장 높았으며 이 경사면에서의 임분 밀도는 35본/ha로 거의 대기에 노출된 상태로 있었으며, 상부 1, 2, 5, 6 지점에서는 약 950본/ha의 임분 밀도를 나타내었다. 그리고 활엽수 임분의 경사도는 하부사면 6 조사 지점에서 최저 4°, 4 조사 지점에서 최고 57°로 조사 임분 중 평균경사도와 최대경사도가 가장 높았다. 활엽수의 임분 밀도는 1, 2, 6 지점에서 평균 1,300



Lysimeters were consistently installed within the trench on the same contour at the given location

The interval between the lysimeter was 10cm and 5cm apart from the trench wall

**Fig. 2.** Diagram of lysimeter to investigate the water infiltration and distribution patterns on a plot installed on the forest stand : Front View(Top), Profile View(Bottom)

**Fig. 4.** Diagram of soil horizon investigated on the three selected locations over the entire slope of three different forest stands

본/ha이었다. 잣나무 임분의 경사도는 5°~18°로 비교적 완만한 경사를 이루고 있으며 임분 밀도는 다른 두 임분보다 높은 1,500본/ha 정도로 조사되었으며 부식 축적 또한 다른 두 임분에 비해 높았다(Fig. 3).

이러한 임분 밀도와 경사도가 다른 임분의 O, A, B층의 토층 깊이를 조사한 결과(Fig. 4), 낙엽송과 활엽수 임분의 경우 경사도가 40° 이상되는 조사 지점에서는 O, A, B층이 연속적으로 형성된 토층 분화 구조를 발견할 수 없었다. 반면 O, A, B층이 연속적으로 형성된 토층 분화 구조는 조사 구간 중 최하부에 길이가 약 5~15m 정도의 평탄 사면인 조사 지점 6에서 나타났는데, 이는 상부 지점으로부터 강우에 의한 장기간에 걸친 토양과 유기물이 침식·운반된 결과에 기인한 것이라 추측되었다. 그러나 A층과 B층의 깊이를 비교하여 보면 낙엽송 임분은 약 45cm 정도까지,

활엽수는 약 60cm까지 발달되어 있음을 알 수 있었는데, 이는 상대적 경사도가 높은 활엽수 임분에서의 침식과 퇴적이 활발한 것으로 판단된다.

잣나무 임분의 경우 상부지점 1에서 약 140m 정도 떨어진 지점 3까지 진행됨에 따라 O, A, B층의 깊이가 증가되는 경향을 보여주고 있었으며, 또한 낙엽송과 활엽수 임분의 O, A, B층의 총 깊이보다 더 깊은 것을 알 수 있었다. 한편 경사도가 최저인 낙엽송과 활엽수 임분의 최하부 조사 지점 6의 경우 지표면으로부터 55cm 부근에 직경이 3mm 이상인 자갈로 구성되어 있는 층이 나타났으나 잣나무 임분의 하부 조사 지점 3에서는 약 87cm 깊이에서 자갈 퇴적층이 나타나기 시작하였다. 이는 잣나무 임분의 경사도에 영향을 받은 것으로 추정되며 잣나무 임분에 축적되는 유기물의 분해속도가 낙엽송이나 활엽수 임분에 비하여 느려 지표층으로부터 O층과 A층의 깊이에 영향을 미친 것으로 사료된다.

이러한 결과로 추정컨데 토층 깊이는 임분 밀도, 경사도 및 유거수의 흐름과 밀접한 관계를 가지는 것으로 추정되었고 활엽수나 낙엽송 임분보다는 임분 밀도가 높은 잣나무 임분에서 전구간에 걸쳐 일정 깊이의 O층이 발달된 것으로 보아 O층의 발달은 수종과 상관관계가 높은 것으로 추정된다. 그리고 조사 임분 사면 하부의 불분명한 A층과 B층의 토층 분화는 사면 상부로부터 이동된 직경 3~5mm 정도의 자갈과 여기에 퇴적되는 작은 입径의 점토나 미사는 이들 대공극을 통해 하부에 축적되는 것으로 조사되었다. 따라서 일반 토양과 같이 완전한 토층 분화에 의한 단면의 발달은 토양의 풍화속도와 점토나 미사의 퇴적속도에 의해 결

**Table 3.** Characteristics of bulk densities(BD), organic matter(OM), and soil texture(ST) throughout soil profile above C horizon in the *L. leptolepis* stand

Location No	Depth(cm)			5			15			25			35		
	Items	BD <sup>1</sup>	OM <sup>2</sup>	ST <sup>3</sup>	BD	OM	ST	BD	OM	ST	BD	OM	ST		
1		1.13	3.1	SL	1.21	2.4	SL	1.24	1.7	SL	-	-	-		
2		1.11	2.8	SL	1.21	2.1	SL	-	-	-	-	-	-		
3		0.95	1.6	SL	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4		0.85	1.7	SL	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
5		1.14	2.9	SL	1.21	2.1	SL	1.25	1.6	SL	1.25	1.3	SL		
6		1.18	3.4	SL	1.26	2.3	SL	1.24	1.7	SL	1.26	1.4	SL		

<sup>1</sup> BD(Bulk Density) : g/cm<sup>3</sup>

<sup>2</sup> OM(Organic Matter) : dry mass verse dry mass of soil(%)

<sup>3</sup> ST(Soil Texture) : SL(Sandy Loam).

**Table 4.** Characteristics of bulk densities(BD), organic matter(OM), and soil texture(ST) throughout soil profile above C horizon in the *Q. mongolica* stand

Location No	Depth(cm)			5			15			25			35			50		
	Items	BD	OM	ST	BD	OM	ST	BD	OM	ST	BD	OM	ST	BD	OM	ST		
1		1.14	2.9	SL	1.16	1.9	SL	1.21	2.1	SL	-	-	-	-	-	-		
2		1.12	3.5	SL	1.22	1.8	SL	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3		0.85	1.6	SL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4		0.92	1.7	SL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
5		1.16	3.2	SL	1.24	2.3	SL	1.22	1.9	SL	1.26	1.6	SL	1.28	1.4	SL		
6		1.18	3.7	SL	1.24	2.2	SL	1.25	1.8	SL	1.27	1.5	SL	1.27	1.3	SL		

**Table 5.** Characteristics of bulk densities(BD), organic matter(OM), and soil texture(ST) throughout soil profile above C horizon in the *P. koraiensis* stand

Location No	Depth(cm)			5			15			25			35			50			80		
	Items	BD	OM	ST	BD	OM	ST	BD	OM	ST	BD	OM	ST	BD	OM	ST	BD	OM	ST		
1		1.18	3.6	SL	1.21	3.3	SL	1.23	2.2	SL	1.26	1.8	SL	-	-	-	-	-	-		
2		1.18	3.5	SL	1.22	3.2	SL	1.25	2.1	SL	1.26	1.7	SL	1.28	1.3	SL	-	-	-		
3		1.17	3.6	SL	1.20	3.4	SL	1.26	2.0	SL	1.28	1.9	SL	1.28	1.2	SL	1.29	0.8	SL		

정되어지는 것으로 판단된다 (D'Hollander, 1979; Haverkamp와 Parlange, 1986; Edward 등, 1992).

각각의 임분의 조사 지점에서 O층을 제거한 후 지표면으로부터 5, 15, 25, 35, 50, 80cm 깊이까지 시료를 채취하여 용적밀도를 조사한 결과, 지표면으로부터 깊이가 깊어짐에 따라 용적밀도는 증가하나 유기물의 함량은 감소하는 경향을 보여 주고 있다(Table 3, 4, 5). 그리고 토성은 조사된 전 지점에서 점토, 미사, 모래의 함량이 각각 14~17.5%, 24~37.5%, 57~62%로 사양토에 해당되었다.

세 임분의 조사된 깊이에서의 용적밀도는 모두 1.3g/cm<sup>3</sup> 이하로 암밀 현상이나 점토입자의 이동 축적 현상은 나타나지 않았다. 이는 약 50% 이상의 모래입자가 구성하는 공극 분포에 기인하는 것으로 추정되었다. 낙엽송과 활엽수 임분의 경우 지점 3과 4에서는 토층의 발달이 10cm 이내에서 형성되어 이 이하의 깊이에서는 용적밀도 조사는 불가능하였다. 그리고 조사 지점 3과 4의 용적밀도는 1g/cm<sup>3</sup> 이하로 타 지점의 용적밀도보다 훨씬 낮은 값을 보이고 있는데 이는 이들 지점의 지표면이 항시 대기에 노출되어 있어 강우 또는 바람 등에 의한 토양입단의 분산작용이 많을 뿐만

아니라 상부지점 1 또는 2로부터 이동되어온 토양의 일부와 유기물이 혼합되어 상대적 용적밀도가 낮아진 것으로 추정된다(Johnson, 1995; Hubbard 와 Lowrance, 1996).

세 임분의 토양 깊이별 유기물 분포 특성을 살펴 보면, 비교적 토층 분화 변화가 뚜렷한 잣나무 임분의 조사 구간 모두에서 유사한 유기물 분포 특성을 보인 반면 낙엽송과 활엽수 임분의 경우 토층 분화 변화에 따라 유기물 분포 특성이 달라지는 것을 알 수 있었다. 특히, 낙엽송과 활엽수 임분의 경우 경사도가 높아짐에 따라 상대적 유기물의 함량이 감소하여, 산림토양내 유기물의 잔류 특성은 사면경사도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다(Swanson 등, 1986).

이러한 특성을 가진 토양의 포화수리전도도를 조사하였다. 시료 채취지점은 낙엽송 임분은 지점 1과 6에서 각각 5, 15, 35cm의 세 깊이에서, 활엽수 임분은 지점 1에서는 5, 15cm의 두 깊이, 그리고 지점 6에서는 5, 15, 35cm 세 깊이에서, 잣나무 임분은 지점 1에서는 5와 25cm의 두 깊이, 그리고 2와 3 지점에서는 각각 5, 25, 50cm 세 깊이의 교란되지 않은 시료를 대상으로 하여 포화수리전도도를 측정할 결과는 Table 6과 같다.

**Table 6.** Characteristics of saturated hydraulic conductivities on the undisturbed soil samples collected from the different depths in three different forest stands

Forest Stand	Location No.	Depth (cm)	BD (g/cm <sup>3</sup> )	OM (%)	$K_{sat}$ (cm/day)	Remark
<i>L. leptolepis</i>	1	5	1.13	3.1	14.33	$K_{sat}$ was 4.69cm/day from the soil column packed with sandy loam as of 1.2g/cm <sup>3</sup> bulk density
		15	1.21	2.4	6.43	
		25	1.24	1.7	4.95	
	6	5	1.18	3.4	11.67	
		15	1.26	2.3	6.04	
		25	1.26	1.4	5.21	
<i>Q. mongolica</i>	1	5	1.14	2.9	16.14	
		15	1.16	1.9	7.81	
	6	5	1.18	3.7	11.25	
		15	1.24	2.2	4.95	
		35	1.27	1.5	3.89	
	<i>P. koraiensis</i>	1	5	1.18	3.6	
25			1.23	2.2	5.29	
2		5	1.18	3.5	3.91	
		25	1.25	2.1	4.69	
		50	1.28	1.5	5.88	
3		5	1.17	3.6	3.01	
		25	1.26	2.0	5.24	
		50	1.28	1.5	4.24	

비고에서 나타내고 있는 수리전도도는 낙엽송 임분 지점 6의 15cm 깊이에서 채취한 시료를 풍건 후 유기물을 완전히 제거한 토양시료를 토양칼럼에 용적밀도를 1.2g/cm<sup>3</sup>로 충전한 후 수리전도도를 측정할 결과 토양칼럼을 통과하는 공극 유량이 증가함에 따라 수리전도도는 지속적으로 감소하여 최종적으로 안정화된 값인 4.69cm/day로 조사되었으며 이 때의 용적밀도는 약 1.33g/cm<sup>3</sup>로 증가되었음을 알 수 있었다. 낙엽송과 활엽수 임분의 토양깊이별 수리전도도는 깊이가 깊어짐에 따라 수리전도도도 감소하는 경향을 보여주고 있으며 특히 5cm에서 15cm로 깊어짐에 따라 수리전도도는 5cm 깊이의 약 1/2정도로 급격히 저하되는 경향을 보여주고 있었다. 또한 수리전도도는 사면의 상부로부터 하부로 진행됨에 따라 감소하는 경향을 보여주고 있는데 이는 동일 지점에서의 수리전도도 감소 비율보다는 매우 낮음을 알 수 있었다(Lee와 Reynolds, 1985).

조사 지점 모두에서 유사한 A층의 분포 경향을 보이고 있는 잣나무 임분의 경우 용적밀도는 지표

층에서 지하부로 깊어짐에 따라 증가하는 경향을 보이고 있지만 지표층의 수리전도도보다 지표층 하부에 위치하는 토양의 수리전도도가 높은 경향을 보여주고 있다. 이는 표층에 포함된 유기물에 의한 수분 보유력과 토양내 3mm 이상의 자갈의 구성비율이 전체 토양중 15% 이하를 차지함으로써 상대적 대공극의 비율이 감소하여 수리전도도에 영향을 주는 것으로 추정된다. 따라서 지표면에 존재하는 유기물과 토양입자의 거동은 이러한 수리전도도와 공극 차이에 의해 영향을 받을 것으로 추정된다(김필주 등, 1997a, b).

낙엽송 임분의 지점 1, 2, 6에서 지표면과 지표면으로부터 5cm, 그리고 지표면으로부터 30cm 하부의 세 깊이에 lysimeter를 설치하고 1996년 10월부터 1998년 5월까지 8차례에 걸쳐 각각의 조사 기간별로 각각의 깊이에 설치된 lysimeter에 포집된 유량으로서 토양내 수분분산 특성을 조사한 결과는 Table 7과 같다. 경사도가 높은 지점 2와 토층의 발달이 미약한 지점 1에서의 수분분포는 지표면에 도달한 수분의 대부분은 유거수의 형

**Table 7.** Properties of precipitation penetrated into soil layers on the plots established on the *L. leptolepis* stand among the periods from Oct. 97 to May 98

Period	Cumulative rainfall (mm)	Soil Surface			5cm below			30cm below		
		1	2	6	1	2	6	1	2	6
Rainfall distribution (Volume Ratio %)										
96. 9 - 96.10	76.1	85	98	53	15	1	42	<0.1	-	5
96.11 - 97. 4	161.3	87	96	49	13	2	44	<0.1	-	7
97. 5 - 97. 6	427.0	87	97	52	12	1	42	0.5	-	6
97. 6 - 97. 7	336.5	80	98	61	16	T	34	2.5	-	5
97. 7 - 97. 8	212.0	89	97	54	9	T	37	1.8	-	9
97. 9 - 97.10	141.0	82	95	36	18	T	56	<0.1	-	8
97.11 - 98. 2	303.3	74	97	33	25	T	61	0.2	-	6
98. 3 - 98. 5	235.5	86	96	45	22	T	53	1.2	-	10
계	1,892.7	670	774	383	130	4	369	6.2	-	56
평균		83.75	96.75	47.87	16.25	-	46.13	0.78	-	7.0

\* T : Trace

태로 손실되는 경향을 보인 반면 완만한 경사지역인 조사 지점 6에서 유거수 형태의 표층 수분은 평균 43.22%, 5cm 깊이에서 약 41.66%, 30cm 이하의 깊이로 약 6.88%의 정도 이동되는 것으로 조사되었다. 그리고 기간별 수분분포는 총 강수량이 적어지는 기간에는 지표면 이하로의 수분이동이 증가되는 경향을 보여주고 있으며 강수가 집중되는 6, 7월에는 조사 기간 중 지표면에서의 유실이 가장 높은 것으로 조사되었다. 따라서 이러한 수분분산 특성은 먼저 강우가 지표면에 도달할 때의 강수량, 지표면의 투수성, 지표면을 통과한 수분의 토양내 수리전도도 차이가 토양내 수분이동에 영향을 미칠뿐 아니라 유기물이 집적된 A층은 수분 보유력이 높아 수리전도도를 저하시켜 토양내 수분의 연직 이동에 영향을 미칠 것으로 추정된다. 특히 본 조사지의 특성은 연직 방향보다 사면 방향의 flux가 많다고 추정된다.

이러한 결과 추정하여 볼 때 경사도가 낮은 지역에서의 유거수의 속도가 침투수의 직접적인 영향을 미치며 또한 강우 강도가 낮은 달의 수분 침투 속도가 높은 것으로 보아 강우강도도 수분침투에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 이러한 표면 수분 이동특성은 지표면에 존재하는 유기물, 무기염류, 토양입자 등의 이동성을 결정하는 요인으로 작용한다는 것을 알 수 있었다(조인상 등, 1989).

### 결론

수종과 경사도가 다른 3개 임분 모두 경사도가 높은 지역이나 상대적 수관통과우가 많은 지역에서는 유기물이나 표층도가 유실되어 바로 암반층 또는 풍화층이 나타나는 경향을 보여주었으나 낙엽송과 신갈나무 임분의 경우 경사도가 낮은 하부 사면에서는 표층으로부터 약 30cm에서 55cm 깊이까지 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B층이 발달하고 이 이하의 깊이에서는 토층 분화(土層分化) 경향을 보여주었다. 그러나 잣나무 임분의 경우 임분 밀도에 의해 하부 사면에서 A층의 발달이 약 35cm에서 60cm에 이르고 있으나 직경 2mm 이상의 자갈이 전체 토양의 40%정도를 차지하고 있었다. 잣나무 임분은 유기물 퇴적층과 A층의 발달이 다른 낙엽송이나 굴참나무 임분보다 토층 발달 깊이가 약 2배 이상으로 깊게 발달되었다. 따라서 이와 같이 조사된 임분의 토성에 따라 임분에 도달한 수분의 토양내 분포와 이동 특성은 임분의 하부 사면에서는 지표면, 5cm 아래, 30cm 아래에 설치된 lysimeter를 이용하여 포집된 침투수 전체를 100으로 환산 시 지표면은 약 43.22%, 5cm 깊이에서 약 41.66%, 30cm 이하의 깊이로 약 6.88%의 정도로 감소되가는 경향을 보였다. 따라서 낙엽송 임분을 대상으로 하여 각각의 경사도와 토층 분화가 다른 세 지점에서 조사된 강우의 분산 특성을 볼 때 경사



도와 같은 지형특성, 토양침식과 퇴적 등에 의한 토층 발달 정도, 임분 밀도 등이 토양내 수분분포와 이동에 직접적인 영향을 주는 것으로 판단된다. 그리고 토양을 구성하는 물리적 성질의 하나인 용적밀도를 동일 깊이에서 조사한 결과 경사가 높은 지점에서는 용적밀도가 낮은 반면 토층이 잘 발달된 경사가 낮은 지점에서는 용적밀도가 높은 것으로 조사되었다. 따라서 토양내 유기물과 토양입자의 수직적 이동이 산림토양의 깊이별 용적밀도 변화에 영향을 미치고 이는 결론적으로 토양내 수분이동에 영향을 주는 요인으로 작용한다고 할 수 있다. 그리고 이러한 용적밀도와 토양내 유기물의 분포는 수리전도도에도 영향을 미쳐 용적밀도가 증가되면 수리전도도 또한 저하되는 것으로 조사되었다. 한편 lysimeter 실험결과로부터 추정할 때 토양내 수분이동은 용적밀도가 다른 토양층간을 이동할 때 수리전도도에 영향이 높은 것으로 추정되며 또한 불포화 형태로 수분이 이동할 때는 유기물에 의한 수분 보유력도 토양내 수분 이동 특성에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

### 인 용 문 헌

1. 기상청. 1997. 경기지역 기상통계 연보.
2. 김필주·이도경·정덕영. 1997. 토양의 용적 밀도 변화에 따른 포화수리전도도 및 음이온의 용출 특성. 한토비지 30(3) : 234-241.
3. 김필주·이도경·정덕영. 1997. 깊이별 용적 밀도가 다른 시설재배지 토양의 염류분포. 한토비지 30(3) : 226-233.
4. 정하유·김성준. 1993. 토양의 물리적 특성의 변화를 고려한 강우의 침투특성 모형개발. 한국농공학회지 35(3) : 36-46.
5. 조인상·조영길·민경범·엄기태·조성진. 1989. 토성 및 유효토심의 차이가 수분 변화에 미치는 영향. 농시연보 31(1) : 6-13.
6. Alemi, M.M. and D.A. Goldhamer. 1988. Surge irrigation optimization model. Trans. ASAE. 31(2) : 519-526.
7. Brown, T.C. and D. Binkley. 1994. Effect of management on water quality in north America forest. USDA, Forest Service GTR. RM-248 : 1-27.
8. Bui, N. Elisabeth and J.E. Box. 1992. Stemflow, rain-throughfall, and erosion under canopies of corn and sorghum. SSSA. 56 : 248-252.
9. D'Hollander, E.M. 1979. Estimation of the pore size distribution from the moisture characteristics. Water Resour. Res. 15(1) : 107-112.
10. Edwards, W.M., M.L. Shipitalo, W.A. Dick and L.B. Owen. 1992. Rainfall intensity affects transport of water and chemicals through macropores in no till soil. SSSA. 56 : 242-247.
11. Haverkamp, R. and J.Y. Parlange. 1986. Predicting the water retention curve from particle size distribution : 1. Sandy soils without organic matter. Soil Sci. 142 : 325-339.
12. Hubbard, R.K. and R.R. Lowrance. 1996. Solute transport and filtering through a riparian forest. Am. Soc. Ar. Eng. 39(2) : 477-488.
13. Johnson, D.W. 1995. Soil properties beneath ceanothus and pine stands in the eastern Sierra Nevada. Soil Sci. Soc. Am. J. 59 : 918-924.
14. Klute, A. 1982. Methods of soil analysis : Physical and mineralogical methods. Agronomy. No. 9. Pt. 2 : 1173pp.
15. Lee, D.M. and W.D. Reynolds. 1985. A comparison of three field methods for measuring saturated hydraulic conductivity. Can. Soil Sci. 65 : 563-573.
16. Swanson, S.R., G.H. Simonson and J.C. Buckhouse. 1986. Physical and chemical soil properties of three big sagebrush subspecies. Soil Sci. Soc. Am. J. 50 : 783-787.
17. Unger, P.W. 1992. Infiltration of simulated rainfall : tillage system crop residues effects. SSSA. 56 : 283-289.
18. Wilson, G.V., J. Alfonso and P.M. Jardine. 1989. Spatial variability of saturated hydraulic conductivity to the subsoil of two forested watershed. SSSA. 53 : 679-685.