

활엽수 낙엽의 수분저류 특성에 대한 실험적 분석*

Qiwen LI¹⁾ · 최형태²⁾ · 이은재¹⁾ · 임상준¹⁾³⁾

¹⁾ 서울대학교 산림과학부 · ²⁾ 국립산림과학원 산림보전부 · ³⁾ 서울대학교 농업생명과학연구원

Experimental Analysis of Water Retention Characteristics in the Litter of Different Deciduous Trees*

Li, Qiwen¹⁾ · Choi, Hyungtae²⁾ · Lee, Eun Jai¹⁾ and Im, Sangjun¹⁾³⁾

¹⁾ Department of Forest Sciences, Seoul National University,

²⁾ Department of Forest Conservation, National Institute of Forest Science,

³⁾ Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University.

ABSTRACT

This study purposed to examine the water retention capacity of floor litter in deciduous forests. Water holding capacity(WHC) and interception storage capacity of *Alnus hirsuta* Turcz. ex Rupr., *Quercus acutissima*, *Quercus mongolica* litters were experimentally estimated. Physical characteristics of litters were also obtained to understand the relationships between water-retention capacity and litter characteristics. Experiments showed that WHC increases with specific volume of litter, varying 244.4% to 416.8% of its dry mass. Interception storage have estimated with rainfall simulation experiments. Maximum interception storage (C_{max}) and minimum interception storage (C_{min}) of litters were 220% and 138% of dry mass in *Alnus hirsuta* Turcz. ex Rupr., 218% and 137% in *Quercus acutissima*, and 240% and 156% in *Quercus mongolica*. Both C_{max} and C_{min} increased linearly with litter mass, and the values of C_{min} in broadleaf litters have also linear relation to leaf area.

* 본 연구는 산림청 ‘임업기술연구개발사업(과제번호: S211314L020110)’의 지원에 의하여 이루어진 것임.

First author : Li, Qiwen, Department of Forest Science, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-742, Korea,

Tel : +82-2-880-4768, E-mail : gimunlee@snu.ac.kr

Corresponding author : Im, Sangjun, Department of Forest Science, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-742, Korea,

Tel : +82-2-880-4759, E-mail : junie@snu.ac.kr

Received : 5 February, 2016. **Revised** : 25 April, 2016. **Accepted** : 28 April, 2016.

Key Words : *Water retention, Water holding capacity, Rainfall simulator, WHC, Interception storage capacity.*

I. 서 론

산림에서는 상층의 수목으로부터 공급된 많은 양의 낙엽이나 낙지 등이 지표면에 쌓여 두꺼운 낙엽층을 형성한다. 이러한 낙엽과 낙지는 산림생태계의 양분순환에 있어 중요한 역할을 하며, 토양의 비옥도를 증가시키고 주요 미생물의 에너지원이 된다(Berg and Laskowski, 2005; Bray and Gorham, 1964). 또한, 낙엽층은 수문학적으로 수관통과우(throughfall)를 일시 차단 및 저류하여 빗물을 대기 중으로 돌려보낸다(Gerrits et al., 2007).

수분저류란 강우가 식물의 잎이나 가지 또는 낙엽낙지에 일시적으로 저류되었다가 토양 중으로 침투되지 못하고 대기 중으로 손실되는 것을 말한다(Gerrits et al., 2007). 활엽수림에 있어 연간 강우량의 6~43% 정도가 식생에 의해 저류 손실되며, 연 강우량의 2~5%는 낙엽에 의해 저류되는 것으로 알려져 있다(Helvey and Patric, 1965). 또한, 낙엽에 의한 강우저류는 일반적으로 수관통과우량의 8~18%를 차지하며(Miller et al., 1990; Pathak et al., 1985; Schaap and Bouten, 1997), 이는 낙엽의 형태적 특성이나 강우강도 등에 많은 영향을 받는다(Guevara-Escobar et al., 2007; Putuhena and Cordery, 1996; Sato et al., 2004; Walsh and Voigt, 1977).

낙엽이 가지는 수분저류 특성은 낙엽의 수분저류능(water holding capacity)이나 강우차단저류능(interception storage capacity) 등으로 나타낼 수 있다. 낙엽의 수분저류능(WHC)은 낙엽이 흡수할 수 있는 최대 수분량으로, 강우에 완전히 젖은 상태의 낙엽에 포함되어 있는 수분량이다(Clary and Ffolliott, 1969). 강우차단저류능은 최대 차단저류능(C_{max})과 최소 차단저류능

(C_{min})으로 구분한다. 최대 차단저류능은 강우의 지속기간을 통하여 낙엽에 최대로 저류된 수분량이며, 최소 차단저류능은 강우가 중지되고 낙엽 속의 중력수가 완전히 배제된 상태에서 낙엽 속에 남아 있는 수분량을 말한다(Putuhena and Cordery, 1996).

낙엽에 의한 수분저류량은 수관에 의한 수분차단량보다 상대적으로 그 양이 적다. 그러나 낙엽층이 두껍게 형성되면 일정량의 강우가 낙엽에 의해 저류손실되기 때문에 토양 중으로 침투되는 수분량이 줄어들게 되며, 식물이 이용가능한 토양수분이 감소한다. 또한, 토양표면에서의 증발량보다 상대적으로 증발속도가 빠른 낙엽 증발량이 많아져 낙엽층이 빠르게 건조해져 산불에 취약해지기 쉽다. 따라서 낙엽의 수분저류기능에 대한 조사 및 연구가 필요하다.

낙엽의 수분저류능은 강우가 종료된 후에 낙엽을 산지에서 직접 채취하여 그 속에 포함된 수분량을 측정하여 조사한다(Bernard, 1963). 일반적으로 수분저류능은 낙엽 중량의 약 110~200% 정도이며(Clary and Ffolliott, 1969; Garcia and Pase, 1967; Park et al., 2010; Reynolds and Knight, 1973; Walsh and Voigt, 1977), 활엽수 낙엽이 침엽수 낙엽보다 많은 양의 수분을 저류한다(Wang et al., 2005). 국내에서는 잣나무(95%), 낙엽송(150%) 등 침엽수 낙엽에 대한 수분저류능이 조사되었다(Woo et al., 1997; Lee, 1994).

일반적으로 낙엽의 중량이 증가함에 따라 최소 차단저류능은 비례하여 증가하며, 중력수가 포함되어 있는 최대 차단저류능과 낙엽의 중량과의 연관성은 작다(Li et al., 2013; Putuhena and Cordery, 1996; Sato et al., 2004; Kang et al., 2011). 강우에 대한 낙엽의 차단저류 특성은 상층부의 수종에 따라 달라진다. 이는 낙엽이 가지

고 있는 형태적 특성이 수중에 따라 다르기 때문이다. 침엽수의 낙엽은 형태적으로 서로 비슷하여 수종 간의 차단저류 특성이 서로 비슷하지만 활엽수종은 낙엽의 형태가 서로 달라 차단저류에 있어 많은 차이를 보인다. 활엽수 낙엽의 강우차단에 대해서는 유칼립투스(*Eucalyptus rossii* & *Eucalyptus mannifera*), 돌참나무(*Lithocarpus edulis*), 포플러(*Populus nigra* L.) 등에 관한 연구가 있으며, 돌참나무의 최대 차단저류능이 오히려 수분저류능보다 큰 결과를 보이기도 하였다(Guevara-Escobar et al., 2007; Li et al., 2013; Putuhena and Cordery, 1996; Sato et al., 2004).

이처럼 낙엽이 가지는 수분저류 기능은 산림의 수문순환 및 에너지순환에 있어 중요한 요소임에도 불구하고, 국내에서는 수관에 의한 강우차단 연구가 주로 시행되었다. 이 연구에서는 서로 다른 3 수종의 활엽수 낙엽을 대상으로 낙엽의 물리적 특성과 수분저류 특성과의 관계를 살펴보았다. 이를 위하여 침수실험을 통해 낙엽의 수분저류능을 조사하였으며, 인공강우실험을 통해 강우차단저류능을 산정하였다.

II. 재료 및 방법

1. 낙엽의 수집 및 물리적 특성 분석

낙엽에 의한 강우차단 특성을 분석하기 위하여 물오리나무(*Alnus hirsuta* Turcz. ex Rupr.), 상수리나무(*Quercus acutissima*)와 신갈나무(*Quercus mongolica*) 등의 활엽수 종을 선정하였다. 낙엽 채집은 2014년 10월부터 2015년 5월까지 진행되었으며, 신갈나무와 상수리나무의 낙엽은 서울 관악산에서 채집하였고, 물오리나무의 낙엽은 서울 백련산에서 수집하였다. 채집한 낙엽들은 같은 수종의 생낙엽만 따로 분리하고 자연건조시켜 낙엽 샘플을 만들었다.

활엽수 낙엽에 대한 물리적 특성을 분석하였다. 활엽수종별로 50개의 낙엽샘플을 임의 추출하여 중량, 엽면적 및 비체적 등을 측정하였다.

낙엽의 중량은 CAS社의 CUX4200H형의 전자저울(최대 4,200g, 최소 1g, 정확도 0.01g)로 조사하였으며, 낙엽 개체의 엽면적은 LI-COR社의 LI-3000C 엽면적 측정기로 측정하였다. 비체적(Specific Volume, cm^3/g)은 단위중량 당 낙엽의 체적을 나타내는 지수로, 아래 식을 이용하여 계산하였다.

$$SV = \frac{A \times D}{M} (\text{cm}^3/\text{g})$$

여기서, SV, A, D 및 M은 각각 비체적(cm^3/g), 엽면적(cm^2), 낙엽 두께 (cm) 및 중량(g)을 의미한다.

2. 수분저류능 측정방법

낙엽의 수분저류능은 Bernard (1963)가 제안한 침수실험방법을 통해 조사하였다. 수분저류능 조사를 위하여 수종별로 20g 낙엽샘플을 준비하여, 금속 용기에 넣고 물을 가득 부어 낙엽이 완전히 물에 잠기게 한 뒤 48시간 동안 놓아두었다가 48시간이 지나면 물을 제거하고 낙엽을 망 위에 올려놓고 증발이 생기지 않도록 비닐 랩(wrap)으로 덮어 48시간 동안 중력수를 배수시켰다. 최종적으로 자연 배수상태의 낙엽 중량과 70°C 오븐(oven)에서 48시간 건조 후의 낙엽 중량을 측정하여 낙엽 속에 포함되어 있는 수분량을 구하였다. 침수실험은 각 수종별로 5 반복 실험을 실시하여 평균값을 조사하였다.

3. 차단저류능 측정방법

강우차단저류능은 인공강우실험을 통해 조사하였다. 인공강우기는 Eijkelkamp社의 09.06 Rainfall simulator를 이용하였다. 인공강우기는 0.25m×0.25m의 강우 살수면적을 가지고 있으며, 빗방울의 지름은 5.9mm이며 총 49개의 빗방울 분사 노즐이 있다. 인공강우기의 최대 강우강도는 360mm/h이나 이번 연구에서는 서울 지역의 재현기간 10년 빈도 강우와 유사한 100mm/h인 강우강도로 실험하였다.

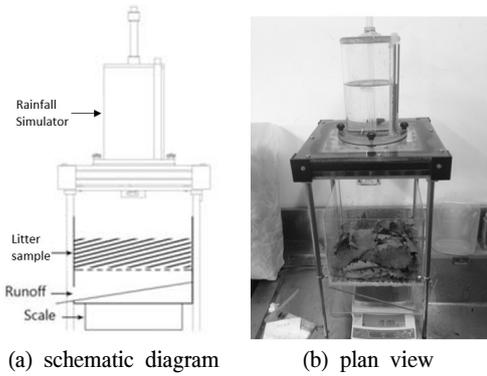


Figure 1. Rainfall simulation experiment on *Q. mongolica* litter (Modified from Ahn et al., 2014).

이 연구에서는 Figure 1과 같이 인공강우장치의 분사 면적과 같은 크기의 저류조와 배수조를 제작하였다. 저류조는 낙엽샘플을 담아 두는 기능을 하며, 배수조는 낙엽샘플을 통과한 강우가 배수되도록 설계하였다. 저류조의 높이는 0.2m이며, 배수조 깊이는 0.1m이고 18mm 간격의 격자 철망을 저류조와 배수조 사이에 설치하였으며, 배수조의 기율기는 40%로 하여 최대한 빨리 물이 낙엽을 통과하여 배제되도록 하였다. Figure 1과 같이 인공강우를 분사하는 동안에 저류조 낙엽의 중량 변화를 전자저울을 사용하여 2초 간격으로 측정하였다.

낙엽이 퇴적되어 있는 밀도에 따른 강우차단 효과를 살펴보기 위해 0.25m×0.25m의 저류조에 낙엽을 40g(0.64kg/m²), 60g(0.96kg/m²) 및 80g(1.28kg/m²)을 담아 각 수종별로 30회씩 인공강우실험을 실시하였다. 인공강우실험은 낙

엽샘플에 20분 동안 100mm/h의 강우강도로 인공강우를 살수하여 시간에 따른 낙엽샘플의 중량 변화를 측정하였다. 강우차단능을 살펴보기 위해 강우가 중지된 시점에서의 최대 차단저류능 C_{max}와 강우 중지 후에 30분 동안 중력수를 자연배제한 후의 저류량 (최소 차단저류능)을 각각 조사하였다.

4. 분석방법

실험결과에 대해 IBM社의 SPSS 23.0으로 낙엽의 건중량과 차단저류능에 대해 회귀분석을 진행하였다. 또한, 낙엽의 엽면적과 비체적, 수분저류능, 최대 차단저류능 및 최소 차단저류능에 대해 0.05 유의수준으로 분산분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 낙엽의 물리적 특성과 수분저류능 산정

낙엽의 물리적 특성을 파악하기 위해 낙엽 개체의 길이, 엽면적, 건중량, 두께 등을 조사하였다. 조사결과에 의하면 활엽수 낙엽의 평균 두께는 약 1mm로 수종별 낙엽의 비체적은 물오리나무(17.2cm³/g)가 신갈나무(11.9cm³/g)와 상수리나무(11.4cm³/g)에 비해 통계적으로 유의성 있게 높게 나타났다(Table 1).

물오리나무의 낙엽이 가지는 수분저류능은 평균 418.6%으로 신갈나무 271.6%와 상수리나무 244.4%에 비해 유의성 있게 높게 나타났다.

Table 1. Result of specific volume of broadleaf litters.

Statistics (n=50)	Specific volume (cm ³ /g)			ANOVA	F	36.184
	<i>Q. mongolica</i>	<i>Q. acutissima</i>	<i>A. hirtusa</i>		P	0.000
					Group1	Group2
Min	8.0	7.6	8.4	Post Hoc Test	<i>Q. acutissima</i>	
Max	21.1	18.6	29.6		<i>Q. mongolica</i>	
Mean	11.9	11.4	17.2		<i>A. hirsuta</i>	
S.D.	2.7	2.6	5.3		0.719	1

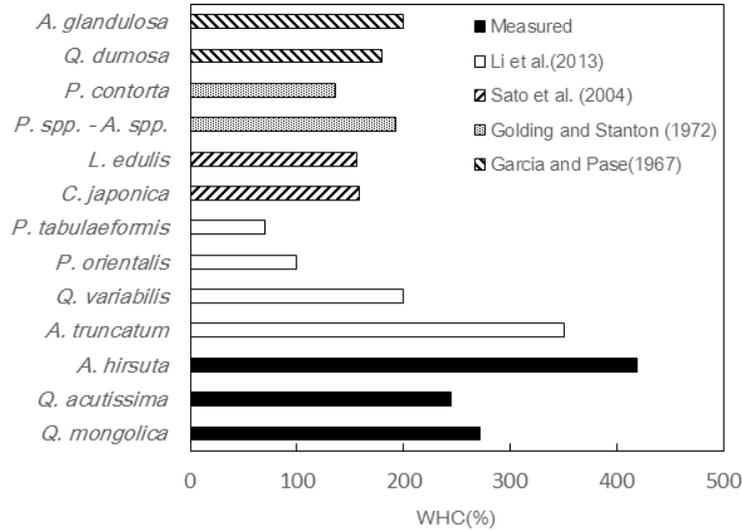


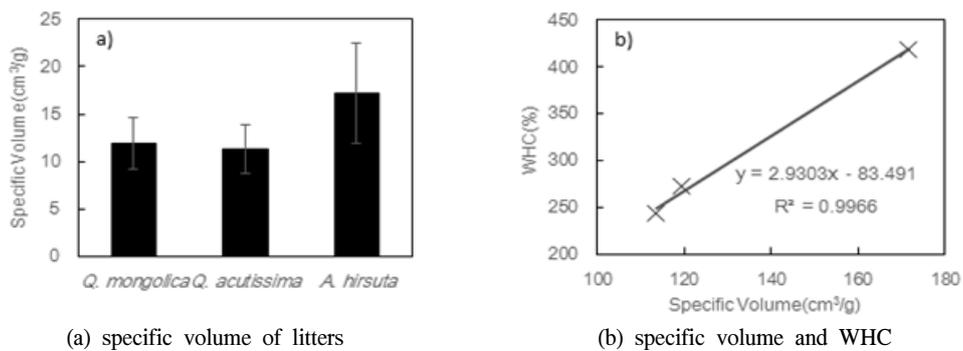
Figure 2. WHC values of different forest litters.

Figure 2는 다른 수종의 낙엽에 대한 수분저류능 조사결과를 함께 도시한 것이다. Figure 2에서와 같이 본 연구에서 조사된 낙엽의 수분저류능이 선행연구보다 크게 나타났다. 특히, Li et al. (2013)의 연구에 의한 만주교로쇠(345%) 이외의 수종에서는 낙엽의 수분저류능은 200%보다 작게 조사되었다. 이는 낙엽의 형태나 특성에 따른 영향이며, 다른 이유로 선행연구는 모두 자연건조 낙엽에 대한 수분량으로 구하였으나 이 연구에서는 오븐건조 낙엽에 대해 수분량에 대한 값으로 산정하였기 때문이다.

수분저류능은 낙엽이 퇴적되어 쌓이는 형태와는 상관성이 낮아 낙엽의 배치나 낙엽 개체의 두께보다는 낙엽 개체당 체적 또는 비체적의 영향을 많이 받는다. Figure 3에서는 수종별 낙엽의 비체적과 수분저류능과의 관계를 나타낸 것이다. Figure 3에서와 같이 낙엽의 수분저류능은 낙엽의 비체적이 커질수록 커지는 선형관계를 보였다.

2. 낙엽의 건조량과 차단저류능

Figure 4는 인공강우실험 동안의 낙엽샘플의



(a) specific volume of litters

(b) specific volume and WHC

Figure 3. Relationship between WHC and specific volume in different litters.

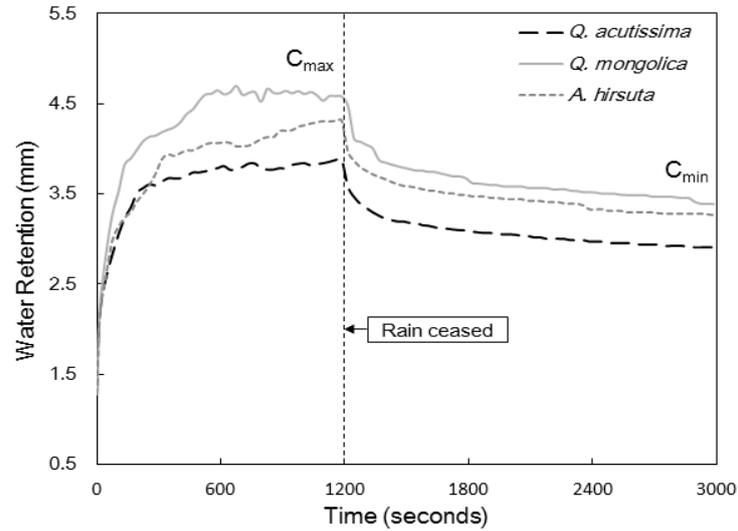


Figure 4. Interception storage capacity of three different species with time.

Table 2. Result of interception storage capacity in different species.

Species	Mass(g)	C_{max} (g)		C_{min} (g)	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.
<i>Q. mongolica</i>	40	111.2	19.7	62.2	12.9
	60	142.7	28.4	78.4	21.5
	80	162.6	19.5	102.9	16.0
<i>Q. acutissima</i>	40	102.9	9.2	63.1	7.7
	60	126.9	14.1	80.3	10.1
	80	148.9	15.6	95.0	10.8
<i>A. hirsuta</i>	40	103.2	7.5	62.2	12.9
	60	125.2	12.2	78.4	21.5
	80	155.3	16.1	102.9	16.0
ANOVA					
Source	F	P	Group 1		Group2
C_{max}	Species	4.930	0.010	<i>Q. acutissima</i>	
	Mass	65.367	0.000	Post Hoc Test	<i>A. hirsuta</i>
	Species*Mass	0.381	0.821		<i>Q. mongolica</i>
			0.923	1	
C_{min}	Species	7.509	0.001	<i>Q. acutissima</i>	
	Mass	64.222	0.000	Post Hoc Test	<i>A. hirsuta</i>
	Species*Mass	0.941	0.445		<i>Q. mongolica</i>
			0.856	1	

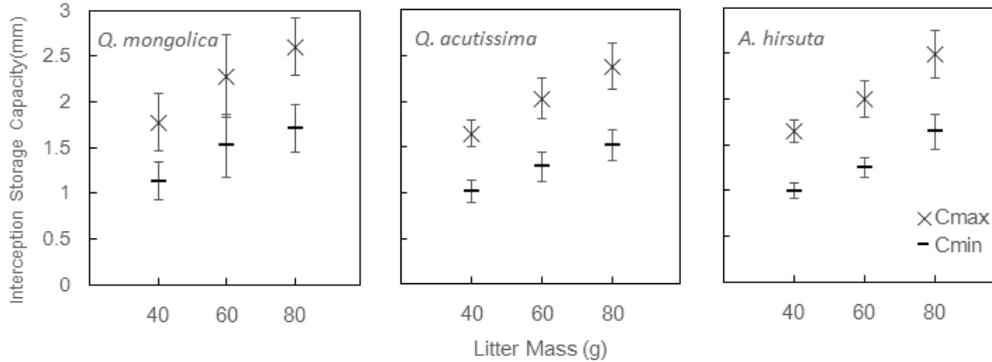


Figure 5. Interception storage capacity with litter mass in three species.

Table 3. Regression analysis relationships between C values and litter mass.

		<i>Q. mongolica</i>		<i>Q. acutissima</i>		<i>A. hirtusa</i>	
		C _{max}	C _{min}	C _{max}	C _{min}	C _{max}	C _{min}
ANOVA	F	25.703*	21.877*	62.612*	56.908*	88.199*	113.031*
	Con.	61.733*	37.083*	57.233*	31.617*	49.750*	20.117*
	Var.	1.285*	0.898*	1.150*	0.798*	1.303*	1.018*
Model	R ²	0.479	0.493	0.691	0.670	0.759	0.801

* significant at 0.05 level

저류량 변화를 나타낸 것이다. 낙엽 속에 포함된 수분량은 강우가 시작되면 빠르게 증가하다가 변화량이 점차적으로 감소하여 일정 시간 후에는 저류량의 변화가 없거나 매우 적은 것을 보여준다. 또한, 강우가 중지되면 낙엽 속에 포함된 수분량이 자연 배수되어 Figure 4와 같이 배수곡선을 보여준다.

인공강우실험에 따른 낙엽의 저류량 변화를 이용하여 최대 및 최소 차단저류능을 산정하였다. 신갈나무 낙엽의 최대 및 최소 차단저류능은 평균적으로 각각 239.7%, 156.4%로 물오리나무의 220.3%, 138.3%와 상수리나무의 218.3%, 136.8%에 비해 유의성 있게 높게 나타났다.

수종별 중량에 따른 차단저류능의 실험결과는 Table 2, Figure 5와 같다. 낙엽 중량에 따른 차단저류능 변화를 살펴보기 위해 수종별로 회귀분석을 실시하였다 (Table 3). Table 3과 같이

낙엽 중량이 증가하면 C_{max}과 C_{min}이 모두 선형적으로 증가하였으며, 이는 선행연구와 잘 일치하였다(Li et al., 2013; Putuhena and Cordery, 1996; Sato et al., 2004; Kang et al., 2011).

3. 낙엽의 형태 특성과 강우차단의 관계

낙엽의 차단저류능은 낙엽의 침수실험처럼 낙엽이 충분히 적셔지는 조건이 아니라 수분이 일시적으로 낙엽 표면에 저류되어 발생한다. 따라서 낙엽 개체의 특성을 나타내는 낙엽의 비체적보다는 낙엽층의 형태적·물리적 특성에 많은 영향을 받는다. Table 4와 같이 낙엽의 평균 엽면적은 신갈나무가 72.2cm², 물오리나무는 44.5cm², 상수리나무는 37.4cm²로 조사되었으며, 이는 낙엽의 비체적과는 서로 다르게 나타났다.

활엽수 낙엽은 상대적으로 큰 엽면적을 가지고 있기 때문에 접시형태의 낙엽에 빗물이 일시

Table 4. Leaf area measurements in different tree litters.

Statistics (n=50)	Specific volume (cm ³ /g)			ANOVA	F	57.602
	<i>Q. mongolica</i>	<i>Q. acutissima</i>	<i>A. hirtusa</i>		P	0.000
Min	31.6	17.7	24.8	Post Hoc Test	Group1	Group2
Max	123.7	58.4	70		<i>Q. acutissima</i>	
Mean	72.2	37.4	44.5		<i>A. hirtusa</i>	
S.D.	25.4	9.5	12.0			<i>Q. mongolica</i>
					0.101	1

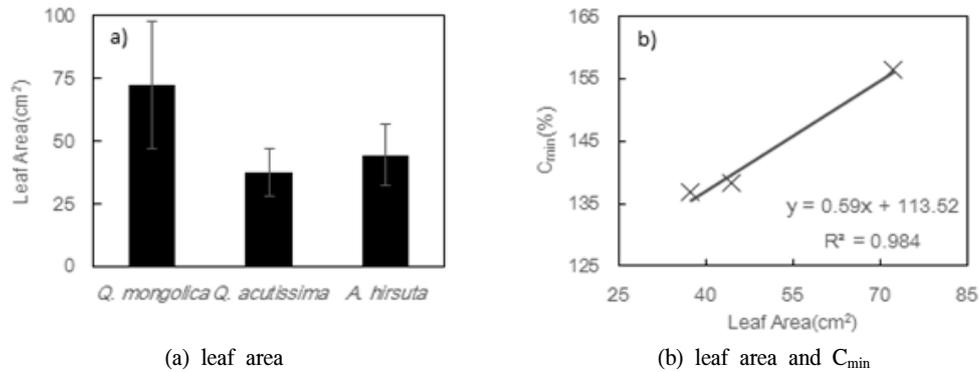


Figure 6. (a) Result of leaf area of litter sample, (b) Relationship between leaf area and C_{min} (%).

저류되어 최소 차단저류능에 영향을 주게 된다 (Sato et al., 2004). Figure 6은 활엽수 낙엽의 평균 엽면적과 평균 C_{min} 의 관계를 보여주고 있다. 전체적으로 낙엽의 엽면적이 클수록 최소 차단저류능도 비례하여 증가하였다.

4. 낙엽층 내 수분의 측면배수

이번 실험에서 낙엽 중량이 40g에서 60g으로, 60g에서 80g으로 증가할 때 낙엽의 수분함량도 점차 감소하였다(Figure 7). 이러한 중량별 낙엽의 수분 변화는 낙엽에 의해 차단 및 저류된 수

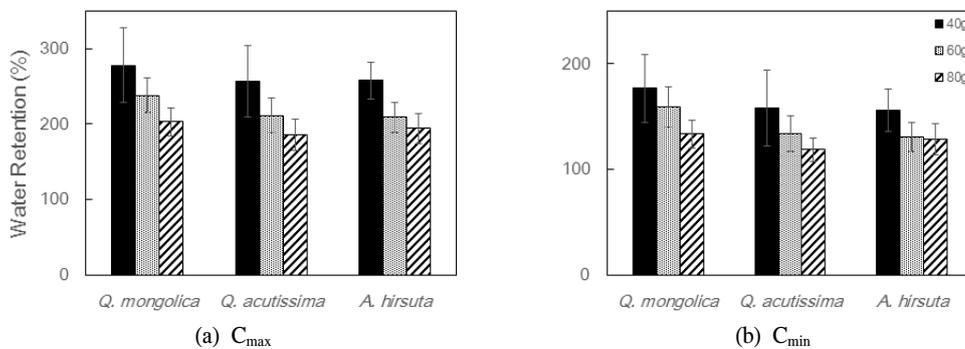


Figure 7. Decline of C_{max} and C_{min} with litter mass in different species.

분이 낙엽층 내에서 균등하게 분포하지 않기 때문이며, 낙엽층 내에서 수분의 측면이동 혹은 측면배수(lateral movement)와 관련이 있다(Sato et al., 2004). 일본 삼나무의 경우에 이러한 측면 배수가 20% 미만으로 나타났지만 돌참나무의 측면 배수는 최대 70%까지 도달하였다. 낙엽층 내 수분의 측면이동이 많은 경우에는 중력수가 배제된 상태의 저류능인 C_{min} 이 WHC보다 크게 나타난다. 이는 많은 양의 수분이 낙엽층 상부에 저류되어 일정 시간내에 완전하게 배수되지 못하기 때문이다. 따라서, Figure 7에서 나타난 수분 변화는 낙엽층 두께가 커짐에 따라 상층 낙엽에 의해 저류된 수분이 차지하는 비율이 상대적으로 감소하였기 때문이다.

IV. 결 론

오펜 숲의 바닥에는 부식되지 않은 생낙엽과 부후낙엽을 포함한 두터운 낙엽층이 존재하여 수문학적으로 중요한 역할을 한다. 낙엽층은 강우시 일시적으로 빗물을 차단해 저류하고 다시 대기 중으로 증발시켜 강우손실을 초래한다. 이 연구는 활엽수 낙엽의 수분저류 특성을 살펴보기 위해, 낙엽의 수분저류능 및 차단저류능을 조사하여 낙엽의 형태적 특성이 수분 저류에 미치는 영향을 분석하였다.

낙엽의 수분저류능은 물오리나무, 신갈나무, 상수리나무 순으로 작아졌고 차단저류능은 신갈나무, 물오리나무, 상수리나무 순으로 작아졌다. 낙엽의 수분저류능은 비체적과 정의 상관관계를 보였으며 차단저류능은 낙엽의 엽면적과 상관성을 가지고 있다. C_{max} 과 C_{min} 모두 낙엽샘플의 중량과 정의 선형 관계를 나타내며 이는 선행연구와 유사한 결과를 보였다. 낙엽층 내의 수분이동은 낙엽의 수분저류에 영향을 미치며, 발수효과가 강한 부후낙엽층도 많은 영향을 주고 있다.

낙엽은 산림 내에 공급되는 수분을 일시저류

하여 대기 중으로 증발시킨다. 낙엽에 의한 과다한 수분저류는 토양으로 침투되는 수분량을 줄어든게 하여 식물의 생육에 필요한 토양수분을 감소시키고, 장기적으로는 하천으로 흘러나오는 기저유량을 감소시킨다. 또한, 강우로 인한 수분이 낙엽의 상층부에 많이 저류되기 때문에 강우가 중지되면 빠르게 낙엽수분이 증발되어 상대적으로 산불에 취약한 임상조건이 만들어진다. 이와 같이 낙엽의 수분저류는 수목의 생육, 산지하천의 수량 확보, 산불 관리 등에 매우 중요한 요소이다.

이 연구에서는 침수실험과 인공강우실험을 통해 낙엽의 수분저류 특성을 실험적으로 분석하였다. 그러나 이번 연구는 대상 수종이 적어 낙엽의 종류에 따른 영향을 파악하기에는 한계가 있으며, 동일한 강우조건에서 실험하여 강우량에 따른 영향을 분석하지 못했다. 그럼에도 불구하고 활엽수 낙엽수종에 대해 수분저류능과 차단저류능을 실험적으로 분석하여 낙엽층이 발달한 산림의 수문순환해석이나 산불 발생예보 등에 활용성이 높을 것으로 기대한다.

References

- Ahn BK · Choi HT · Lee QW and Im SJ. 2014. Estimating rainfall interception loss of decomposed floor in a deciduous forest using rainfall simulation experiments. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 16(3): 181-187. (in Korean with English summary)
- Berg, B. and Laskowski, R. 2005. Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover: Elsevier.
- Bernard, J. M. 1963. Forest floor moisture capacity of new jersey pine barrens. Ecology, 44(3): 574-&.
- Bray, J. R. and Gorham, E. 1964. Litter production

- in forests of the world. *Advances in ecological research*, 2: 101-157.
- Clary, W. P. and Ffolliott, P. F. 1969. Water holding capacity of ponderosa pine forest floor layers. *Journal of Soil and Water Conservation*, 24(1): 22-&.
- Garcia and Pase, C. P. 1967. Moisture-retention capacity of litter under two Arizona chaparral communities (Vol. 85): Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, US Department of Agriculture.
- Gerrits, A. M. J. · Savenije, H. H. G. · Hoffmann, L. and Pfister, L. 2007. New technique to measure forest floor interception - an application in a beech forest in Luxembourg. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(2): 695-701.
- Guevara-Escobar, A. · Gonzalez-Sosa, E. · Ramos-Salinas, M. and Hernandez-Delgado, G. D. 2007. Experimental analysis of drainage and water storage of litter layers. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5): 1703-1716.
- Helvey, J. D. and Patric, J. H. 1965. Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. *Water Resources Research*, 1(2): 193-&.
- Kang MS · Hong JW · Bong HY · Jang HM · Choi MJ · Jang YH · Cheon JH and Kim J. 2011. On estimating interception storage capacity of litter layer at gwangneung deciduous forest. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 13(2): 87-92. (in Korean with English summary)
- Lee HK. 1994. Studies on the change of moisture content in forest soil litter layer by evaporation(I). Sang Ji University, 15, 234-243. (in Korean with English summary)
- Li, X. · Niu, J. and Xie, B. 2013. Study on hydrological functions of litter layers in north China. *Plos One*, 8(7).
- Miller, J. D. · Anderson, H. A. · Ferrier, R. C. and Walker, T. A. B. (1990). Comparison of the hydrological budgets and detailed hydrological responses in Two Forested Catchments. *Forestry*, 63.
- Park, A. · Friesen, P. and Serrud, A. A. S. 2010. Comparative water fluxes through leaf litter of tropical plantation trees and the invasive grass *Saccharum spontaneum* in the Republic of Panama. *Journal of Hydrology*, 383(3-4): 167-178.
- Pathak, P. C. · Pandey, A. N. and Singh, J. S. 1985. Apportionment of rainfall in central Himalayan forest (india). *Journal of Hydrology*, 76.
- Putuhena, W. M. and Cordery, I. 1996. Estimation of interception capacity of the forest floor. *Journal of Hydrology*, 180(1-4): 283-299.
- Reynolds, J. F. and Knight, D. H. 1973. Magnitude of snowmelt and rainfall interception by litter in lodgepole pine and spruce-fir forests in Wyoming. *Northwest science*.
- Sato, Y. · Kumagai, T. · Kume, A. · Otsuki, K. and Ogawa, S. 2004. Experimental analysis of moisture dynamics of litter layers - the effects of rainfall conditions and leaf shapes. *Hydrological Processes*, 18(16): 3007-3018.
- Schaap, M. G. and Bouten, W. 1997. Forest floor evaporation in a dense Douglas fir stand. *Journal of Hydrology*, 193.
- Walsh, R. P. D. and Voigt, P. J. 1977. Vegetation litter - underestimated variable in hydrology and geomorphology. *Journal of Biogeography*, 4(3): 253-274.
- Wang, J. · Cui, P. · Liu, X. · Wang, L. and Zhang, S. 2005. Water-holding capacity of

- litter layer for different forest vegetation in ecological restoration of small watershed. Science of Soil and Water Conservation, 3(1): i48-52.
- Woo BM · Park BE and Choi HT. 1997. A study on the effects of the litter and humus layer on the water storage at *Pinus koraiensis* stands in the central research forests. Res. Bull. of Seoul National University Forests. No. 33: 16-25. (in Korean with English summary)