

인공강우실험에 의한 활엽수 부후낙엽층의 강우차단손실량 추정

안병규¹ · 최형태² · 이기문¹ · 임상준^{1,3*}

¹서울대학교 산림과학부, ²국립산림과학원, ³서울대학교 농업생명과학연구원
(2014년 8월 16일 접수; 2014년 9월 29일 수정; 2014년 9월 29일 수락)

Estimating Rainfall Interception Loss of Decomposed Floor in a Deciduous Forest Using Rainfall Simulation Experiments

Byungkyu Ahn¹, Hyungtae Choi², Qiwen Lee¹ and Sangjun Im^{1,3*}

¹Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

²Korea Forest Research Institute, Seoul 404-708, Korea

³Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

(Received August 16, 2014; Revised September 29, 2014; Accepted September 29, 2014)

ABSTRACTS

Forest floor is one of most distinctive features of forest ecosystem, which provides plants and soil microbes with nutrients, and controls hydrologic condition within the floor by intercepting water during a rainfall event and evaporates back into the atmosphere. In this study rainfall interception loss by decomposed forest floor of a deciduous forest has been experimentally estimated using rainfall simulation experiments. Litter-decomposing fungi were incubated on deciduous forest floor samples for the experiment purposes. On a deciduous floor, a 4.22 mm·kg⁻¹·m² of rain was intercepted immediately before rain ceased. Minimum values of interception loss ranged from 1.62 to 2.41 mm·kg⁻¹·m², with an average of 1.87 mm·kg⁻¹·m². Mann-Whitney test showed that decomposing fungi on the forest floor influenced on rainfall interception capacity.

Key words: Decomposed forest floor, Litter-decomposing fungi, Rainfall interception, Rainfall simulation experiment

I. 서 론

산림의 숲바닥(林床, forest floor)에는 떨어진 낙엽이나 낙지 등이 쌓여있는 낙엽층이 있고, 그 아래에는 낙엽 등의 유기물이 부분적으로 혹은 완전하게 분해되어 부식층을 이루고 있는 부후낙엽층이 위치하고 있다 (Gerrits *et al.*, 2007). 부후낙엽층은 숲에서 수목의 생장에 필요한 양분을 공급해주고, 생물 및 미생물의 활동에 필요한 에너지를 제공한다. 또한, 강우시에는 스펀지와 같이 물을 빠르게 흡수하여 토양 중으로 침투시킴으로 지하수를 보충하며, 비강우시에는 지표면

을 피복하여 토양 표면으로부터의 수분 증발을 억제한다(Helvey and Patric, 1965).

산림의 수관을 통과한 강수량 중 일부는 낙엽층이나 부후낙엽층에 의해 차단되어 대기 중으로 증발된다. 부후낙엽층에 의한 강우 손실은 양적인 측면에서 많지 않지만 산림의 수문순환에 영향을 미치고 낙엽의 분해 속도를 조절하며, 토양 중으로 배수되는 침투수량을 감소시킨다. 부후낙엽층의 이러한 수문학적 기능은 주로 낙엽 부후균이 물에 대해 저항하는 성질, 즉 발수성에 의해 결정된다. 발수성(撥水性, hydrophobicity)이란 물에 저항하는 성질을 가진 특정 물질에 의해 물이 겹들게 되는



* Corresponding Author : Sangjun Im
(junie@snu.ac.kr)

현상을 의미하는 것으로, 산불에 의해 형성된 토양 발수층 등이 좋은 예이다(DeBano, 2000). 산림유역에서 생성된 발수층은 수문학적으로 토양 중으로 이동되는 물의 흐름을 방해하여 토양으로 침투되는 수분량을 감소시키고, 지표면을 따라 발생하는 유출량을 증가시켜 강우에 의한 지표 토양의 유실을 야기하며, 수목이나 작물의 성장을 저해하게 된다(Doerr and Thomas, 2000).

낙엽부후균은 주로 호기성 중속영양체로서 산림에 떨어진 낙엽이나 낙지를 분해시켜 토양 내에 부식층을 형성하고 토양의 입단화를 촉진한다(Cha *et al.*, 2011). 낙엽부후균은 낙엽의 분해과정에서 낙엽 사이에 균사를 넓게 형성하여 발수층을 생성함으로써 산림에 내린 강우가 토양 속으로 쉽게 침투하지 못하도록 방해하며, 이로 인해 낙엽층 사이에 많은 양의 수분이 저류되며, 궁극적으로는 강우 손실을 가져오게 된다. 따라서 낙엽부후균의 발달 정도에 따라 강우의 차단 및 저류 손실량이 달라지게 된다.

낙엽 및 낙엽층의 수분 상태는 낙엽부후균의 발달에 많은 영향을 미치며(De Santo *et al.*, 1993; Jansson and Berg, 1985), 동일한 수종의 낙엽이라도 주변 환경에 따라 낙엽의 부후 정도가 달라진다(McClougherty *et al.*, 1985; Hunt *et al.*, 1988). 최근까지 낙엽부후균에 관한 대부분의 연구는 이러한 낙엽의 분해과정을 통해 산림 내에서의 양료 및 물질순환을 이해하는 데 초점을 맞추고 있다. 그러나 부후균의 생성 및 발달에 따른 부후낙엽층의 강우차단 및 저류손실에 대한 연구는 상대적으로 부족하다.

따라서, 이 연구의 목적은 부후균이 발달된 낙엽층의 강우차단 및 저류 기능을 실험적으로 계량화하는 것이다. 이를 위하여 활엽수 낙엽 시료를 대상으로 인공적으로 부후균을 배양하고 증식하여 부후낙엽 시료를 제작하였으며, 인공강우실험을 통해 실험 시료의 시간별 중량 변화를 측정하였다. 이를 통해 활엽수 부후낙엽층의 강우차단 및 저류 손실량을 추정하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 낙엽부후균의 인공배양

인공강우실험을 위하여 25cm × 25cm 크기의 정사각형 틀 속에 활엽수림에서 채취한 낙엽을 채워 부후낙엽 시료를 제작하였다. 낙엽 시료는 신갈나무



Fig. 1. Deciduous floor sample decomposed by *Dicarrella dryinga* schematic diagram (b) plan view.

(*Quercus mongolica*)와 상수리나무(*Quercus acutissima*)의 낙엽이 고르게 섞여 있다. 낙엽이 고르게 채워진 시료에 부후균을 접종하여 낙엽이 충분히 분해되고 균사층이 잘 발달되도록 하였다.

낙엽을 분해하는 부후균은 상층의 수종이나 기상조건 등에 따라 종류가 매우 다양하다. 광릉에 위치한 국립수목원 내 활엽수 낙엽에서는 17개 분류군에 속하는 43개 종의 부후균이 발견되었으며, 대표적인 분류군으로는 *Biscogniauxia* sp.(15종), *Chaetomium globosum* Kunze(3종), *Hypoxyton* sp.(3종), *Dicarrella dryinga*(1종) 등이 있었다(Cha *et al.*, 2011). 이 연구에서는 이전의 연구 결과를 고려하여, 실험후보 부후균으로 *Dicarrella dryinga*를 선정하여 낙엽 시료에 접종하였다.

활엽수 낙엽 시료를 부후시키기 위하여 먼저 부후균 *Dicarrella dryinga*를 산림에서 채취하여 25°C의 암실에서 배양 증식하였다. 실험실에서 인공배양된 부후균을 활엽수 낙엽 시료에 접종하여 30일 정도 배양 증식하여 부후낙엽 시료를 제작하였다. Fig. 1은 *Dicarrella dryinga*가 넓게 형성된 활엽수 부후낙엽 시료를 보여주고 있다.

2.2. 인공강우실험

현장실험을 통해 부후낙엽층에 의한 강우차단손실을 평가하기는 어렵다. 이는 낙엽의 분해 정도가 수종이나 지형, 미기상 등의 주변여건에 따라 다르고, 강우

가 대상지역에 균일하게 내리지 않고 시간적 공간적으로 변화하기 때문이다. 그러나 인공강우실험은 미리 정의된 실험조건에서 일정한 강우량을 주기 때문에 산림의 유출, 토양유실, 및 강우차단손실 등의 해석에 널리 이용된다(Iserloh *et al.*, 2012).

부후낙엽층에 의한 강우 차단 및 저류손실을 측정하기 위한 인공강우실험 모식도는 Fig. 2와 같다. Fig. 2와 같이 25cm × 25cm의 소형 인공강우기를 이용하여 부후낙엽 시료에 강우를 일정시간 동안 내리게 한 후에 시료 하단부에 설치된 전자저울을 이용하여 실험 시료의 시간별 중량 변화를 측정하였다.

인공강우실험에는 Eijkelkamp Agrisearch Equipment사에서 만든 소형 인공강우발생기를 이용하였다. 소형 인공강우발생기는 25cm × 25cm의 정사각형 단면적에 최대 강우강도 360mm·hr⁻¹의 강우를 발생시킬 수 있도록 제작되었다. 이 연구에서는 강우강도 120 mm·hr⁻¹로 20분의 강우 지속시간을 갖도록 실험조건을 설정하였다.

부후낙엽 시료는 Fig. 2와 같이 인공강우발생기 아래에 위치하였으며, 실험 시료의 중량은 전자저울을 이용하여 2초 시간 간격으로 1/100g의 단위까지 정밀하게 측정하였다. 측정된 시료의 중량은 자동으로 컴퓨터에 기록하여 분석하였다.

한편, 부후균의 유무에 따라 강우차단 손실에 차이가 있는가를 분석하기 위하여 Mann-Whitney 검정을 실시하였다. Mann-Whitney 검정방법은 서로 다른 두 집단의 차이를 분석하기 위하여 일반적으로 사용하는 통계적 방법으로, 비교 집단의 표본수가 적거나 정규성을 만족하지 못하는 자료의 분석에 많이 이용한다.

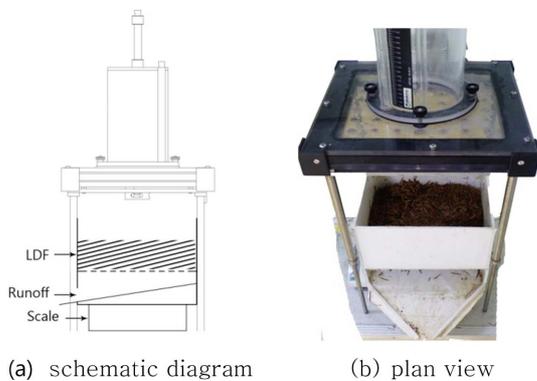


Fig. 2. Experimental design of rainfall simulation on the forest floor sample.

III. 결과 및 고찰

3.1. 인공강우실험 결과

인공강우실험에 적용된 10개의 부후낙엽 시료에 대한 중량 변화를 측정한 결과는 Table 1과 같다. 인공강우실험에서는 실험 전의 시료 중량과 강우를 중단하기 직전인 20분 후의 시료 중량을 각각 측정하였으며, 부후낙엽층에 의한 저류된 수분량을 추정하기 위하여 강우를 중단하고 20분이 경과한 시점의 시료 중량도 조사하였다. 인공강우실험에 의해 부후낙엽 시료의 시간별 중량 변화는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서는 실험 시료의 건조 중량과 낙엽의 초기 수분함량이 각각 다른 3개 시료의 측정 결과에 대해 나타내고 있다.

Table 1에서와 같이 실험에 이용된 활엽수 부후낙엽 시료의 중량은 단위면적당 2.02~2.84kg·m⁻²의 범위에

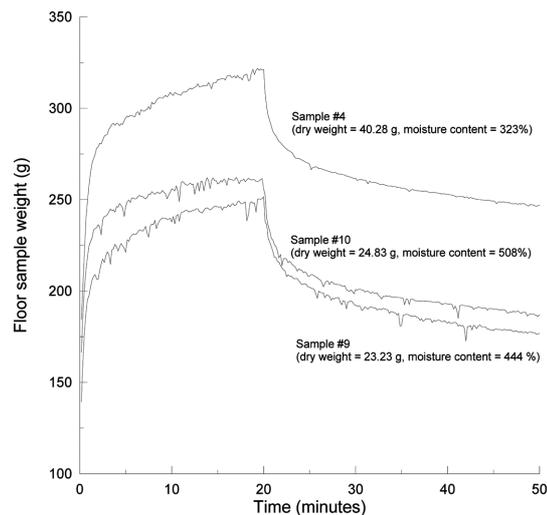


Fig. 3. Changes in floor sample weight by rainfall simulation experiments.

Table 1. Results of rainfall simulation experiments on the forest floor samples

Statistics (n=10)	Sample weight per unit area (kg·m ⁻²)		
	taken prior to the experiment	taken immediately before rain ceased	taken after drainage ceased
Min	2.02	3.80	2.92
Max	2.84	5.15	4.05
Mean	2.51	4.52	3.41
Standard deviation	0.26	0.52	0.41

있었으며, 평균 $2.51\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 이었다. 20분간의 강우를 적용한 이후 실험 시료의 중량 변화는 시료에 따라 다르게 나타났으나 $3.80\sim 5.15\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 측정되었다. 이로부터 인공강우발생기에 의해 공급된 $2,500\text{ml}$ 의 강우 중에서 평균 125.4ml (표준편차 18.4ml)가 부후낙엽에 의해 차단된 것을 알 수 있다. 강우가 중단되면 자연 배수와 증발로 인하여 시료의 중량은 점차적으로 줄어든다. 강우에 그치고 20분이 경과된 시점에서 측정된 시료의 단위면적당 평균 중량은 $3.41\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 이었다. 이는 실험전의 시료 중량과 비교하여 단위면적당 $0.90\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 이 증가한 것이다.

3.2. 강우차단 손실량 추정

부후낙엽층에 의한 강우차단 및 저류손실은 크게 최대 강우차단손실량 (C_{\max})과 최소 강우차단손실량 (C_{\min})로 구분하여 구한다. 일반적으로 최대 강우차단손실량은 강우가 그치기 직전의 낙엽층에 의해 저류된 수량으로 계산하며, 최소 강우차단손실량은 강우가 중지된 후에 낙엽 및 부식토에 저류된 수량이 충분히 자연배수된 상태(6~30분 후)에서 부후낙엽층에 남아있는 저류 수량을 말한다(Putuhena and Cordery, 1996).

강우차단 손실량은 초기의 수분함량에 크게 영향을 받는다(Cisneros-Dozal *et al.*, 2007). 실험에 사용된 부후낙엽의 초기 수분함량은 Fig. 4와 같이 낙엽의 건조중량 대비 $323\sim 508\%$ 이었다. 이는 다소 습한 조건에서 낙엽부후균이 잘 발달하기 때문에 부후낙엽층의

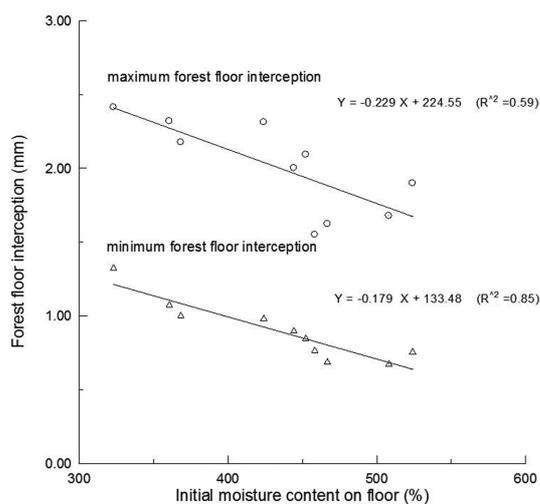


Fig. 4. Change in floor interception with initial moisture content.

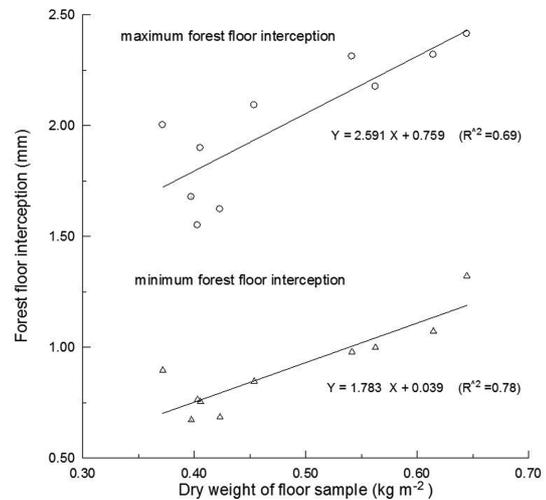


Fig. 5. Relationships between rainfall interception and dry weight of decomposed floor samples.

수분함량을 높게 유지하였기 때문이다. Fig. 4에서와 같이 최대 및 최소 강우차단 손실량은 부후낙엽의 초기 수분함량에 선형적으로 반비례함을 알 수 있다.

Fig. 5는 부후낙엽 시료의 건조중량과 강우차단 손실량과의 관계를 분석한 결과이다. Fig. 5에서와 같이 부후낙엽 시료의 건조중량은 단위면적당 $0.37\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 부터 최대 $0.64\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 의 범위를 가지고 있다. 강우차단 손실량은 부후낙엽 시료의 건조중량에 선형적으로 비례하여 증가하며, 이러한 결과는 Herwitz(1985), Pitman (1989), Putuhena and Cordery(1996)의 결과와 잘 일치한다. 따라서, 활엽수 부후낙엽의 단위면적당 강우차단 손실량은 다음의 식으로 계산할 수 있다.

$$C_{\max} = 2.591F_{wt} + 0.759 (R^2 = 0.69)$$

$$C_{\min} = 1.783F_{wt} + 0.039 (R^2 = 0.78)$$

여기서 C_{\max} , C_{\min} = 최대 및 최소 강우차단손실량 (mm), F_{wt} = 부후낙엽의 단위면적당 건조중량($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)이다.

인공강우실험에 의해 추정된 활엽수 낙엽시료의 단위면적당 최대 강우차단 손실량은 $3.75\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 부터 $5.39\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 의 범위에 있으며, 평균 $4.22\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 이었다. 반면, 최소 강우차단손실량의 범위는 $1.62\sim 2.41\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 이었으며, 평균 $1.87\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 로 조사되었다.

일반적으로 낙엽에 의한 강우차단은 최대 강우차단 손실보다는 최소 강우차단손실이 더 중요하다. 이는 강우가 내리는 중에 낙엽에 의해 일시 저류된 수량은

강우가 그치게 되면 30분 이내의 짧은 시간안에 대부분 자연배수되어 더 이상 낙엽층 내에 없기 때문이다 (Putuhena and Cordery, 1996). Putuhena and Cordery (1996)의 연구 결과에 의하면 라디에타 소나무(*Pinus radiata*) 낙엽의 최소 강우차단 손실량은 $0.97\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 이었으며, 유칼리나무(*eucalyptus*) 낙엽은 $1.13\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 로 조사되었다. 반면, 고사리류(*Pteridium aquilinum*) 낙엽은 최대 및 최소 강우차단 손실량이 각각 $4.84\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 와 $1.67\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 로 추정되었다 (Pitman, 1989). 이 연구에서 인공강우실험을 통해 얻은 최소 강우차단 손실량은 기존의 연구 결과보다 다소 높게 나타나고 있다. 이는 이전의 연구가 모두 낙엽층만을 대상으로 조사하였으며, 부후된 낙엽 속에 존재하는 균사의 영향은 고려하지 않았기 때문이다.

3.3. 낙엽부후균에 의한 영향

낙엽부후균이 강우차단 손실에 미치는 영향을 평가하기 위하여 낙엽부후균을 접종하여 배양한 부후낙엽 시료와 순수한 낙엽만이 있는 시료의 강우차단 손실량을 서로 비교하였다. 이를 위하여 부후균이 없는 3개의 낙엽 시료에 대한 인공강우실험을 추가로 실시하였으며 그 결과는 Table 2과 같다.

부식된 낙엽 시료와 부식되지 않은 낙엽 시료에 대한 Mann-Whitney 검정 결과, 최대 강우차단손실량 ($p=0.03$)과 최소 강우차단손실량($p=0.04$)에 있어 모두 유의한 수준(5%)에서 차이를 보였다. 이는 낙엽부후균에 의해 부식된 낙엽의 강우차단손실은 부식되지 않은 낙엽의 강우차단손실과 다르며, 부후균에 의해 강우의 차단 및 손실이 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 부후 낙엽과 부후되지 않은 낙엽의 시간별 중량 변화를 비교하여 표시한 것이다. 부후낙엽층의 효과를 살펴보기 위하여 초기의 실험 조건이 유사한 두 실험 시료를 선정하여 비교하였다. 부후낙엽 시료의 초기 건조중량 및 수분함량은 각각 26.44g,

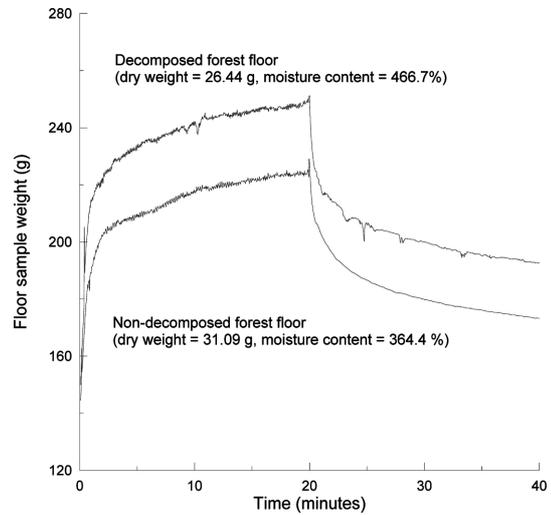


Fig. 6. Sample weights of decomposed and non-decomposed forest floor.

466.7%이었으며, 부후되지 않은 낙엽 시료는 31.09g, 364.4%이었다. 부후되지 않은 낙엽시료의 건조 중량이 조금 높고, 시료의 초기 수분함량이 조금 낮아 잠재적인 강우차단능이 높으나 실제적인 강우차단 및 저류 손실량은 Fig. 6에서와 같이 낮게 나타났다. 이는 부후된 낙엽에 넓게 발달한 균사층의 발수효과에 의해 일부 수분이 차단되어 저류되었기 때문이다.

IV. 결 론

산림의 숲바닥은 부식되지 않은 낙엽과 부식된 유기물로 구성되어 있으며, 산림 생태계를 유지하는 중요한 역할을 한다. 낙엽층에 존재하는 부후균은 낙엽을 분해하여 수목이나 미생물의 생장에 필요한 양분을 공급한다. 또한, 산림 지표면에 넓게 분포하는 낙엽부후균은 산림 내에 내리는 강우를 차단하고 일시 저류하여 대기 중으로 증발시켜 강우손실을 유발한다.

인공강우실험에 의하면 부후균이 배양된 부후낙엽의 강우차단 특성은 시료의 중량이 증가할수록 증가하였으며, 시료의 초기 수분함량이 높을수록 감소하였다. 활엽수 부후낙엽 시료는 20분간의 강우로 인해 평균 중량이 $2.51\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 에서 $4.52\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 증가하였다. 한편, 강우가 중단되고 20분간의 시간이 경과하여 자연배수가 완료된 이후에는 시료 중량이 다시 $3.41\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 감소하였다.

Table 2. Comparison results of rainfall simulation experiments between decomposed and non-decomposed forest floor

Parameter	Non-decomposed forest floor	Decomposed forest floor
No. of sample	3	10
Dry weight ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	0.50	0.48
C_{\min} ($\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$)	1.18	1.87
C_{\max} ($\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$)	2.84	4.22

인공강우실험을 통해 얻은 활엽수 부후낙엽의 최대 강우차단 손실량은 단위면적당 $3.75\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 부터 $5.39\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 의 범위에 있으며, 평균 $4.22\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 이었다. 또한, 부후낙엽의 최소 강우차단 손실량은 $1.87\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 로 조사되었으며, 이러한 연구결과는 선행 연구와 잘 일치하였다. 또한, Mann-Whitney 검증을 통해 낙엽부후균의 유무가 강우차단 손실에 미치는 영향을 통계적으로 분석하였다. 이를 위하여 부후되지 않은 낙엽 시료 3개에 대한 인공강우실험을 실시하였다. Mann-Whitney 검증 결과, 낙엽부후균에 의해 강우차단손실의 증가가 통계적으로 유의하게 나타났다.

산림의 부후낙엽층은 수문학적으로 강우를 차단하고 저류하여, 낙엽층 내의 수분을 유지하는 기능을 한다. 부후낙엽층의 강우 차단 및 손실은 낙엽을 부식시키는 부후균의 발수기능에 의해 일어난다. 부후균의 발달은 상층 수중이나 수분 조건에 따라 달라지며, 부후균의 분포 및 두께는 강우차단에 있어 중요한 역할을 한다. 그러나 부후균의 공간적 변이로 인해 현장실험에서 그 효과를 계량화하기 어렵다. 이 연구에서도 부후균의 분포 및 두께의 차이로 인해 실험 결과가 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 실험적 한계에도 불구하고 인공강우실험을 통해 부후 낙엽에 의한 강우 차단 및 저류 손실을 추정할 수 있었으며, 이러한 실험 결과는 부후된 낙엽층의 강우침투 및 강우차단손실을 계량적으로 해석하고, 산림 내 낙엽층의 물수지를 수치 모델링하는 데 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

적 요

부후균에 의해 낙엽이 잘 분해되어 있는 부후낙엽층은 수목의 생장에 필요한 양분과 토양미생물의 활동에 필요한 에너지를 공급하고 강우를 차단하여 저류한다. 이 연구에서는 인공강우실험을 통해 부후낙엽층의 강우차단 및 저류기능을 평가하였다. 부후균을 활엽수 낙엽 시료에 인공배양하여 부후균의 균사를 발달시켜 실험에 이용하였다. 강우를 중단한 직후에 측정된 활엽수 부후낙엽의 최대 강우차단 손실량은 단위면적당 $4.22\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 로 조사되었으며, 강우를 중단하고 자연배수를 완료한 후에 측정된 최소 강우차단 손실량은 $1.62\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 에서 $2.41\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 의 범위를 가지며, 평균 $1.87\text{mm}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ 로 나타났다. Mann-Whitney

검정 결과, 낙엽층에 존재하는 부후균은 강우차단 및 증발 손실에 유의미한 영향을 미쳤다. 인공강우실험에 의하면 부후균은 낙엽을 분해하는 과정에서 균사를 넓게 발달시키고, 부후균의 발수기능에 의해 강우를 차단하고 일시적으로 저류하여 낙엽층에 의한 강우차단손실을 증가시키는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(NRF-2009-0088214) 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Cha, J. Y., S. Im, S. Y. Lee, and S. Ohga, 2011: Diversity of fungal species isolated from litter-mycelial mats in the litter layer of a Korean deciduous forest. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* **56**(2), 237-241.
- Cisneros-Dozal, L. M., S. E. Trumbore, and P. J. Hanson, 2007: Effect of moisture on leaf litter decomposition and its contribution to soil respiration in a temperate forest. *Journal of Geophysical Research* **112**, G01013.
- Doerr, S. H., and A. D. Thomas, 2000: The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *Journal of Hydrology* **231-232**, 134-147.
- DeBano, L. F., 2000: The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. *Journal of Hydrology* **231-232**, 195-206.
- De Santo, A. V., B. Berg, F. A. Rutigliano, A. Alfani, and A. Floretto, 1993: Factors regulating early-stage decomposition of needle litters in five different coniferous forests. *Soil Biology and Biochemistry* **25**(10), 1423-1433.
- Gerrits, A. M. J., H. H. G. Savenije, I. Hoffman, and L. Pfister, 2007: New technique to measure forest floor interception-an application in a beech forest in Luxembourg. *Hydrology and Earth System Sciences* **11**, 695-701.
- Helvey, J. D., and J. H. Patric, 1965: Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. *Water Resources Research* **1**(2), 193-206.
- Herwitz, S. R., 1985: Interception storage capacities of tropical rainforest canopy trees. *Journal of Hydrology* **77**, 237-252.
- Hunt, H. W., E. R. Ingham, D. C. Coleman, E. T. Elliott, and C. P. P. Reid, 1988: Nitrogen limitation of production and decomposition in prairie, mountain meadow, and pine forest. *Ecology* **69**(4), 1009-1016.
- Iserloh, I., W. Fister, M. Seeger, H. Willger, and J. B. Ries,

- 2012: A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. *Soil and Tillage Research* **124**, 131-137.
- Jansson, P. E., and B. Berg, 1985: Temporal variation of litter decomposition in relation to simulated soil climate: long-term decomposition in a Scots pine forest. *Canadian Journal of Botany* **63**(6), 1008-1016.
- McClougherty, C. A., J. Pastor, J. D. Aber, and J. M. Melillo, 1985: Forest litter decomposition in relation to soil-nitrogen dynamics and litter quality. *Ecology* **66**(1), 266-275.
- Pitman, J. I., 1989: Rainfall interception by bracken litter-relationship between biomass, storage and drainage rate. *Journal of Hydrology* **111**, 281-291.
- Putuhena, W. M., and I. Cordery, 1996: Estimation of interception capacity of the forest floor. *Journal of Hydrology* **180**, 283-299.