□ 보　　문 □

韓土動誌 2(2) : 83~91 (1997)
Korean J. Soil Zoology

남산과 광릉 활엽수림에서 낙엽분해에 관여하는 토양무척추동물군집에 관한 연구

배윤환* · 이준호**
(*대진대학교 생물학과, **서울대학교 농생물학과)

Studies on the Soil Invertebrate Community in the Process of Leaf Decomposition in Namsan and Kwangreung Deciduous Forests

Bae, Yun-Hwan* and Joon-Ho Lee**
(*Department of Biology, Daejin University, **Department of Agricultural Biology, Seoul National University)

ABSTRACT

One year study with litter bags(mesh size - 0.4mm, 0.8mm, 1.7mm and 5.0mm) was carried out to investigate the soil invertebrate community in the process of leaf decomposition in Namsan and Kwangreung deciduous forests, which were considered to be under different degrees of environmental selective pressure. Soil animals collected from litter bags were classified into the class of order or higher taxa. Acari and Collembola were major groups: Acari and Collembola were about 60% and 30% of total soil animals in their numbers, respectively. Among minor groups, Diptera, Araneae, Diplopoda, Coleoptera and Chilopoda were comparatively dominant. In Namsan forest which was considered to be under higher environmental selective pressure than Kwangreung, the densities of Acari and Collembola were somewhat higher than in Kwangreung, although there was no statistically significant difference between two sites. The densities of Chilopoda, Enchytraeidae and Nematoda were much higher in Namsan than in Kwangreung but Diplopoda and Symphyla were much more in Kwangreung. It was expected that those groups could be used as bioindicators. The densities of Acari and Collembola were very low until March, and then showed the peak in May. But they decreased slowly until November. There was no significant difference among the mesh sizes of litter bags in the densities of Acari and Collembola but other groups of soil invertebrates seemed to be prevented from immigrating into the litter bag of mesh size 0.4mm. Decomposition rate of litter in the litter bag was low in early stage of decomposition. The % residual mass over initial mass at 8 months after litter bag introduction in the field was over 80%. Thereafter, % residual mass decreased more fast and was about 60% at 1 year after litter bag introduction. There was

이 연구는 대진대학교 학술지원금으로 수행되었음

little evidence for the effects of soil invertebrates upon the litter decomposition in the period of this study. And there was no significant difference between Namsan and Kwangreung or among mesh sizes of litter bags in the decomposition rate.

Key words : soil invertebrates, litter decomposition, litter bag, Namsan, Kwangreung, community analysis, mesh size, deciduous forest

서 론

일반적으로 육상생태계의 물질순환은 주로 부식연쇄계열에 의해서 이루어지는데(Odum 1971, 현 1993), 대표적 육상생태계인 산림생태계의 부식연쇄계열에서 토양무척추동물은 그들의 직,간접적인 토양내 활동으로 물질순환과 에너지흐름을 원활하게 해주며 다른 토양생물들과의 상호작용으로 그들 상호간의 균형을 유지시켜준다(Wallwork 1983, Lussenhop 1992). 뿐만 아니라 그들의 분포특성이 온도, 수분, pH, 유기물, 중금속함량 등의 미환경변화에 민감하게 반응하므로 환경지표생물로서의 이용가능성이 매우 높다 (Andre 등 1982, Paoletti 등 1991, Van Straalen 등 1988).

산업사회에서 발생하는 여러 가지 오염원에 의한 산림생태계에 대한 스트레스는 산림의 쇠퇴를 유발하고 그 생태계의 물질순환 및 에너지흐름 그리고 그 생태계내 토양동물의 전체밀도와 종구성에 영향을 미친다 (Wallwork 1976).

우리나라의 중부지역에서 비교적 근접하여 위치하고 있는 남산과 광릉수목원은 서로 다른 환경도태압를 받고 있는 것으로 알려져 있다 (박 1996, 박 등 1996, 정 1996). 즉, 남산은 대도시의 중심부에 자리잡고 있으면서 인간활동 및 여러가지 오염원에 의해 심한 환경스트레스를 받고 있는데 반해, 광릉수목원은 도시 외곽지역에서 자연림 상태로 상대적으로 보존이 잘 되어 있다고 판단된다. 따라서 이 두지역 산림생태계의 물질순환상 및 그것에 관여하는 토양동물군집상이 서로 다른 환경도태압의 영향을 받았을 것으로 생각된다.

박 등(1996)은 이들 두 지역의 부엽과 토양에 서식하는 토양동물군집을 비교한 결과 광릉에서의 전체 토양동물개체수 및 생물량이 토양산도(pH)가 낮은 남산에보다 높았다고 하였다. 한편, 정(1996)은 이 두지역의 활엽수림에서 날개응애류군집을 비교, 분석하고 날개응애류의 개체수 역시 남산보다 광릉에서 현저하게 높았고, 종구성은 서로 달랐으나 종다양도와 균등도에 있어서는 큰 차이가 나지 않았다고 하였다. 그리고 침엽수림에서의 날개응애류군집도 대체로 정(1996)의 결과와 유사하였으나 광릉에서의 종수가 남산보다 많았던 것으로 나타났다(1996 박). 그러나 두 지역에 대한 환경도태압의 차이가 두 생태계내의 물질순환상 및 그것에 관여하는 토양동물군집에 미치는 영향, 그리고 그 영향과 제환경요인들과의 상호관련성에 관한 연구는 미미한 실정이다.

본 연구에서는 서로 다른 환경도태압을 받고 있는 산림생태계에서 부식연쇄계열에 관여하는 토양동물군집의 특성을 비교하고 물질순환과정에서 환경도태압의 차이를 대변할 수 있는 토양지표동물을 선발할 목적으로 상기 두 지역의 활엽수림에서 낙엽주머니를 이용하여 최근낙엽의 1년 동안의 분해율, 낙엽에 서식하는 토양동물, 토양동물의 경시적 밀도변동 그리고 낙엽분해율에 미치는 토양동물의 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

조사지개요 및 조사구 선정

남산과 광릉수목원 활엽수림 조사지역의 지리적 위치 및 우점식생에 관한 개요는 박 등(1996)에 의하여 자세히 기술된 바 있으며, 본 연구에서 조사구 선정은 남산의 경우 남산타워를 기준으로 동남쪽 사면에 위치하는 신갈나무(*Quercus mongolica*)군집지역의 1지점에서 30m x 30m의 단구를 선정하였다. 단구의 해발고도는 210m～225m였으며 경사도는 12°～23°이었다. 광릉의 경우 45임반 활엽수림지에서 굴참나무(*Quercus*

variabilis), 갈참나무(*Quercus aliena*), 서어나무(*Carpinus laxiflora*)가 비교적 고른 우점도를 보이고 있는 1지점을 선정하여 남산과 마찬가지로 단구를 설정하였다. 조사구의 방향은 남서쪽 사면이었으며 해발고도는 165m~175m, 경사도는 10°~25°이었다.

낙엽채취, 낙엽주머니 제작 및 야외설치

1996년 11월 6일에 남산, 광릉 활엽수림내 조사지에서 최근의 낙엽을 채취하여 실내에서 음건시켰다. 이때 남산의 낙엽은 신갈나무가 주종이었고, 광릉의 낙엽은 굴참나무, 갈참나무, 서어나무의 잎이 혼재된 상태였다. Nylon mesh를 재질로 낙엽주머니를 20cm×20cm의 크기로 만들어 주머니당 10g씩의 낙엽을 넣은 다음 봉하였다. 이때 토양동물의 몸크기에 따른 출입을 제한함으로써 토양동물이 낙엽분해에 미치는 영향을 조사하고자 낙엽주머니의 mesh size 종류를 여러개로 하였다(Vossbrinck 등 1979, House and Stinner 1987).

광릉 조사지에서는 4개의 서로 다른 mesh size (0.4mm, 0.8mm, 1.7mm, 5.0mm)로 만들어진 낙엽주머니들을 1개 묶음(4개 낙엽주머니/묶음)으로 묶은 다음, 조사회수를 고려하여 충분한 수의 묶음을 1m 간격으로 비닐끈에 연결하여 1개조를 만들었다. 조사구를 5개의 소구로 분할한 다음 분할된 각 소구에 낙엽주머니 1개조를 낙엽과 동일한 깊이에 일렬로 배치하였다. 남산조사지에서는 광릉의 경우와 같은 방법이되, 2개의 다른 mesh size (1.7mm, 5.0mm)로 만들어진 낙엽주머니들을 1개 묶음으로 하였다. 낙엽주머니 설치시기는 광릉의 경우 1996년 11월 18일이었고 남산은 동년 11월 19일이었다. 조사는 낙엽주머니 설치후 2개월 간격으로 하였다.

한편, 두 조사지역의 낙엽종류의 차이가 지역의 낙엽분해율 및 그것에 관여하는 토양동물군집특성에 영향을 미치는지의 여부를 조사하기 위하여 남산의 낙엽과 광릉의 낙엽을 서로 교차하여 두 지역의 조사지에 설치하였다. 이때 낙엽주머니의 mesh size는 5.0mm이었고 조사구내 낙엽주머니 설치위치는 상기의 낙엽주머니 묶음옆에 각각 1개씩의 낙엽주머니를 덧붙이는 방법을 취하였다.

낙엽주머니 수거, 동물추출

각 조사시기에 조사구내 5개의 소구에 설치된 낙엽주머니 묶음들에서 각 소구당 1개 묶음씩 5개의 묶음을 무작위로 수거해 왔다. 따라서 1회 조사시 각 mesh size별 반복수는 5개였다. 수거 시간은 맑은 날 오전 10-12시이었다. 수거된 낙엽주머니는 실내에서 개량된 Tullgren funnel을 이용하여 그 안에 들어 있는 동물들을 48시간동안 추출하고 잎의 건량을 측정하였다. 추출된 동물은 75% alcohol에 보관한 후, 해부현미경하에서 목이상의 상위분류군으로 동정하였다. 한편, 낙엽내 수분함량은 낙엽주머니 수거당시 낙엽무게에서 동물추출후의 낙엽건중량을 감함으로써 계산하였고, 조사지역 토양의 pH는 11월 말에 휴대용 수소이온농도 측정기(Model : DEMETRA PAT 193478, E. M. System Soil Tester)를 이용하여 조사구내 25지점을 측정하였다.

각 조사시기의 지역간 토양동물밀도차이 및 mesh size별 밀도차이 검정은 Tukey 검정법에 의하였으며, 평균 낙엽잔존률 차이비교에서는 잔존률을 arcsine$\sqrt{}$(X/100)로 변형한 후 역시 Tukey 검정법을 적용하였다.

결과 및 고찰

낙엽서식 동물군집구성

1997년 1월부터 11월까지 2개월 간격으로 6회에 걸쳐 남산과 광릉에서 낙엽주머니를 수거하여 채집된 토양동물들을 목이상의 상위 분류군으로 동정하여 낙엽주머니의 mesh size에 따른 분류군별 총개체수를 나타낸 결과 전체적으로 절지동물이 대다수를 차지하였고 특히 응애류(Acari)가 약 60%, 톡토기(Collembola)가 약 30%순으로 구성되어 있어 동일지역에서 토양과 부엽을 동시에 조사하여 토양동물 구성상을 보고한 박 등(1996), 또는 다른 지역을 조사한 곽 등(1989)의 결과와 같은 경향을 나타내었다 (표1). 그리고 두 지역에서 채집된 개체들을 모두 합산하였을 때 분류군별 구성비율은 응애류와 톡토기를 제외한 소수군 중에서는 파리목(Diptera) 2.3%, 거미목(Araneae) 0.9%, 노래기류(Diplopoda) 0.8%, 딱정벌레목

(Coleoptera) 0.7%, 지네류(Chilopoda) 0.5% 순으로 우점군을 이루었다.

Table 1. Total number[a] of soil animals collected from litterbags in Namsan and Kwangreung deciduous forests

Soil animal	Sampling site and mesh size of Litterbag							
	Namsan		Kwangreung				Grand total[b]	Percentage(%)
	1.7㎜	5.0㎜	0.4㎜	0.8㎜	1.7㎜	5.0㎜		
Arachnida	2780	3123	2160	2831	2350	2886	16130	61.6
Acari	2748	3075	2146	2804	2246	2831	15850	60.5
Araneae	28	37	12	11	98	42	228	0.9
Pseudoscorpion	4	11	2	16	6	13	52	0.2
Chlopoda	52	52	4	6	9	8	131	0.5
Diplopoda	4	4	18	56	61	66	209	0.8
Symphyla	1	0	16	4	10	8	39	0.1
Insecta	1897	2163	1391	1272	1478	1390	9591	36.6
Protura	2	0	0	0	0	0	2	0.0
Diplura	0	0	0	1	4	7	12	0.0
Thysanoptera	0	2	0	1	4	0	7	0.0
Hemiptera	0	0	0	0	0	0	0	0.0
Collembola	1724	1948	1321	1108	1313	1253	8667	33.1
Diptera	122	128	59	100	124	57	590	2.3
Coleoptera	34	65	5	13	22	56	195	0.7
Lepidoptera	3	3	3	40	3	5	57	0.2
Hymenoptera								
Formicidae	12	17	3	9	8	12	61	0.2
Olgochaeta								
Enchytraeidae	6	3	0	1	0	1	11	0.0
Nematoda	22	9	1	0	0	0	32	0.1
Etc.	4	12	8	7	11	8	50	0.2
Total	4766	5366	3598	4177	3919	4367	26193	100.0

[a] : Soil animals of the same group collected from litter bags through the investigation were pooled.
[b] : Soil animals of the same group in each plot of mesh size in Namsan and Kwangreung were pooled.

토양동물의 밀도 및 분포특성에 영향을 미치는 물리환경요인들로서 강수량, 온도, 부엽pH, 토양pH, 토성, 강우산도, 유기물함량, 부엽내 수분량 등을 들 수 있다. 박 등(1996)의 보고에 의하면 1995, 1996년 2개년 동안 두 지역의 연중 기온이나 강우양태 및 유기물 함량은 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 토양, 부엽, 강우의 산성도는 남산이 높은 것으로 나타났다. 본 조사에서 낙엽내 수분함량은 두지역간에 차이가 없었으며, 조사지점의 토양에서 pH값이 남산에서는 5.83±0.33, 광릉 6.79±0.08로 두 지역의 산성도가 현저한 차이를 보였다. 이것은 토양 및 부엽의 산성도, 강우산도가 두 지역의 낙엽주머니내 토양동물밀도 및 분포의 차이에 관여하는 주요 환경요인일 가능성을 시사하는 것으로 볼 수 있다.

Hagvar와 Kjondal(1981)은 산성도가 높은 (pH 값이 낮은) 자작나무 낙엽주머니에서 날개응애류 특히 Brachychthoniidae의 밀도증가가 현저하였으며, 톡토기의 경우 종에 다라 증감을 달리하였다고 보고하였다. Heneghan과 Bogler(1996)는 *Picea abies*군락에서 종에 따라 차이는 있었지만 강우산도가 높을 때 대체로 미생물섭식자인 톡토기, 날개응애, 무기문응애, 전기문 응애의 밀도가 증가하였고 이것은 미생물의 산성도에 대한 반응과 밀접한 관련이 있다고 보고하였다.

남산과 광릉의 분류군별 개체수 비교시 mesh size 1.7, 5.0mm에서 각 조사시기별 개체수에서는 두 지역간에 통계적 유의성이 없었으나(표 3) 조사기간동안 채집된 응애류의 총합이 남산에서는 각각 2,748, 3,075마리, 광릉에서는 2,246, 2,831마리였고, 톡토기의 경우 남산에서 1,724, 1,948마리, 광릉에서 1,313, 1,253마리로 남산에서의 응애, 톡토기의 개체수가 비교적 높은 것으로 나타났다(표 1). 이것은 각 지역의 산성도에 대한 이들 분류군의 반응특성 및 두 지역의 낙엽종류가 달랐던 것의 영향을 반영한 것으로 생각되나, 보다 하위 분류군의 분석에 의한 평가가 이루어질 필요가 있다. 한편 정(1996)은 광릉수목원의 활엽수림의 전체부엽에 서식하는 날개응애류의 개체수가 남산보다 1.8배나 많았다고 보고한 바 있어, 활엽수림내 전체부엽에 서식하는 응애류와 최근에 형성된 낙엽에 서식하는 응애류의 군집구조가 다를 가능성을 시사하고 있다.

青木(1997)는 토양동물에 의한 자연도 판정법에서 노래기, 땅지네, 애지네 등을 양호한 자연상태에서 서식하는 A그룹으로 분류하였으며, 톡토기, 응애, 애지렁이 등은 환경저항성이 강하여 오염된 환경속에서도 잘 자라는 C그룹으로, 돌지네 등을 중간 그룹인 B그룹으로 분류한 바 있다.

노래기(Diplopoda)의 개체수는 1.7mm, 5.0mm의 mesh size에서 광릉에서는 61, 66마리인 반면, 남산에서는 각각 4마리였고, 애지네(Symphyla)의

경우 광릉에서는 10, 8마리였으나 남산에서는 거의 서식하지 않는 것으로 나타났다(표 1). 그러나 지네류(Chilopoda; 주로 돌지네)는 광릉에서 9, 8마리인데 반해 남산에서는 52, 52마리로 남산에서의 개체수가 훨씬 많았다. 애지렁이(Enchytraeidae), 선충류(Nematoda)도 광릉보다는 남산에서의 개체수가 많았다. 따라서 青木의 자연도 판정법에 의하면 남산은 C그룹에 속하는 분류군의 개체수가 많고, 광릉은 A그룹에 속하는 분류군의 개체수가 많아 남산이 오염된 생태계임을 나타내고 있다. 두 지역간 서식밀도의 차이가 확연하게 드러난 이들 분류군들의 지표생물로서의 이용효율을 제고하기 위해서는 각각의 분류군들에 대하여 제환경요인들의 생물학적 영향평가가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Table 2. Total number[a] of soil animals and % residual mass of litter at 1 YAI[b] when Namsan-origined and Kwangreung-origined leaf litter was crossly introduced into Namsan and Kwangreung deciduous forests

Soil animal	Sampling site			
	Namsan	%	Kwangreung	%
Arachnida	2092	57.0	2596	62.4
Acari	2059	56.1	2541	61.1
Araneae	29	0.8	47	1.1
Pseudoscorpion	4	0.1	8	0.2
Chlopoda	25	0.7	10	0.2
Diplopoda	3	0.1	61	1.5
Symphyla	2	0.1	6	0.1
Insecta	1495	40.7	1474	35.4
Protura	0	0.0	0	0.0
Diplura	0	0.0	1	0.0
Thysanoptera	1	0.0	3	0.1
Hemiptera	1	0.0	0	0.0
Collembola	1355	36.9	1370	32.9
Diptera	97	2.6	65	1.2
Coleoptera	22	0.6	16	0.4
Lepidoptera	2	0.1	4	0.1
Hymenoptera				
Formicidae	17	0.5	15	0.4
Olgochaeta				
Enchytraeidae	43	1.2	0	0.0
Nematoda	3	0.1	4	0.1
Etc.	10	0.3	9	0.2
Total	3673	100.0	4160	100.0
% residual mass	61.5		62.2^{ns}	

a : Soil animals of the same group collected from litter bags through the investigation were pooled
b : YAI represents year after introduction of leaf litter into the field.

한편, 남산의 낙엽과 광릉의 낙엽을 5.0mm mesh size의 낙엽주머니에 넣어 두 조사지역에 교차하여 설치하여 채집된 토양동물 및 1년후의 낙엽분해율을 조사한 결과(표 2), 전체적인 분류군 구성비율은 남산의 낙엽을 남산에, 광릉의 낙엽을 광릉에 설치한 경우(표 1)와 크게 다르지 않았다. 그러나 남산조사지에서 광릉낙엽을 넣은 낙엽주머니의 응애류와 톡토기의 개체수가 각각 2059, 1355마리로 남산낙엽을 동지역에 설치한 낙엽주머니에서의 개체수 3075, 1948마리보다 현저하게 낮았던 것으로 보아 낙엽의 종류가 바뀐 것이 이 두 분류군의 밀도분포에 영향을 미쳤던 것으로 생각된다. 따라서 이 두 분류군의 각 낙엽종에 대한 식이선호성, 생식력 등과 같은 생물학적 반응에 관한 분석이 요망된다. 그러나 응애류와 톡토기를 제외한 나머지 분류군에 대해서는 각 지역에서 다른 지역의 낙엽을 넣은 낙엽주머니에서의 군집구성과 그곳에서 생산된 낙엽을 넣은 낙엽주머니의 군집구성이 유사하고, 낙엽설치 1년후의 낙엽잔존률도 거의 같아(표 2, 그림 3), 낙엽의 종류보다는 두 조사지의 지역성에 의해 야기된 환경요인이 이들 소수 분류군의 군집구성에 영향을 미치는 주요인이었음을 알 수 있다.

낙엽주머니내 토양동물의 계절변동

남산과 광릉에서 조사시기 및 mesh size에 따른 토양동물의 낙엽주머니당 평균 밀도차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났으며 낙엽주머니 설치 4개월후인 3월까지는 낮은 밀도를 유지하다가 6개월후인 5월에 최고 밀도를 나타내었다(표 3). 그후 7월에는 밀도가 떨어져 9월까지 비슷한 수준을 유지하다가 11월에는 더 낮은 수준으로 떨어졌다. 특히 5월에 비해 7월의 밀도가 낮았던 것은 우리나라의 기상 특성상 6, 7월에 집중된 장마의 영향이었을 것으로 추정되나 이에 대한 심층적 분석이 요망된다. 응애류와 톡토기의 mesh size 및 지역에 따른 낙엽주머니당 평균 밀도 및 계절변동경향 역시 전체토양동물밀도의 경우와 유사하다(표 4, 5). 다시 말해서 전체 개체수의 90%이상을 점하고 있던 응애류와 톡토기(표 1)의 밀도변동 양상이 전체밀도의 변동양상을 좌우한 것으로 볼 수 있다. Anderson(1975)은 너도밤나무

(Fagus sylvatica)와 밤나무(Castenea sativa)의 낙엽주머니 실험에서 파리목을 제외한 나머지 토양동물군에서는 특정한 계절적 밀도변동양상을 발견할 수 없었고 낙엽주머니의 mesh size에 따른 토양동물의 양적, 질적 차이도 뚜렷하지 않았다고 보고하였다.

Table 3. Densities of soil aniamls collected from litter bag[a](20cm×20cm) in Namsan and Kwangreung deciduous forest in 1997 (No./litter bag)

Sampling site	Mesh size of liter bag (㎜)	Sampling Month					
		Jan. (2MAS[b])	Mar. (4MAS)	May. (6MAS)	Jul. (8MAS)	Sept. (10MAS)	Nov. (12MAS)
Namsan	1.7	20.2a	53.2a	381.2a	163.4b	231.2a	122.0a
	5.0	27.4a	15.8a	384.0a	352.4a	217.4a	76.2a
Kwangreung	0.4	8.8a	16.0a	390.2a	109.6b	148.2a	46.8a
	0.8	30.4a	84.2a	311.2a	129.0b	150.6a	130.0a
	1.7	11.4a	72.6a	336.0a	108.2b	171.6a	84.0a
	5.0	10.8a	54.6a	284.0a	237.0ab	197.2a	89.8a

[a]: Initially, 10 g of dry deciduous leaf litter was put into a litter bag at the time of setting up into the field in late Nov., 1996.
[b]: MAS represents months after setting up of litter bag into the field. In columns, values that are followed by the same letter are not significantly different by Tukey test (P>0.05).

Table 4. Densities of Acari collected from litter bag[a](20cm× 20cm) in Namsan and Kwangreung deciduous forests in 1997 (No./litter bag)

Sampling site	Mesh size of liter bag (㎜)	Sampling Month					
		Jan. (2MAS[b])	Mar. (4MAS)	May. (6MAS)	Jul. (8MAS)	Sept. (10MAS)	Nov. (12MAS)
Namsan	1.7	16.0a	27.6a	162.8a	65.0a	169.8a	108.4a
	5.0	19.0a	12.4a	172.8a	184.2a	160.8a	65.8a
Kwangreung	0.4	5.8a	11.4a	218.0a	72.0a	89.6a	32.4a
	0.8	16.0a	62.0a	182.6a	102.0a	98.0a	100.2a
	1.7	8.4a	57.4a	157.4a	78.4a	99.8a	47.8a
	5.0	8.0a	44.6a	136.2a	173.8a	138.6a	65.0a

[a]: Initially, 10 g of dry deciduous leaf litter was put into a litter bag at the time of setting up into the field in late Nov., 1996.
[b]: MAS represents months after setting up of litter bag into the field.
In columns, values that are followed by the same letter are not significantly different by Tukey test (P>0.05).

Table 5. Densities of Collembola collected from litter bag[a](20cm×20cm) in Namsan and Kwangreung deciduous forests in 1997 (No./litter bag)

Sampling site	Mesh size of liter bag (㎜)	Sampling Month					
		Jan. (2MAS[b])	Mar. (4MAS)	May. (6MAS)	Jul. (8MAS)	Sept. (10MAS)	Nov. (12MAS)
Namsan	1.7	3.8a	7.6ab	196.8a	72.8ab	52.6a	11.2a
	5.0	8.2a	2.2b	187.6a	137.4a	48.8a	5.4a
Kwangreung	0.4	1.8a	3.4ab	163.6a	33.0b	48.4a	14.0a
	0.8	10.6a	19.8a	114.8a	19.2b	36.6a	20.6a
	1.7	2.4a	11.6ab	158.4a	21.8b	50.4a	18.0a
	5.0	2.2a	7.4ab	137.6a	45.0ab	38.4a	20.0a

[a] : Initially, 10 g of dry deciduous leaf liiter was put into a litter bag at the time of setting up into the field in late Nov., 1996.
[b]: MAS represents months after setting up of litter bag into the field.
In columns, values that are followed by the same letter are not significantly different by Tukey test (P>0.05).

낙엽주머니의 mesh size에 따른 토양동물군집

광릉에 설치된 낙엽주머니의 mesh size(0.4mm, 0.8mm, 1.7mm, 5.0mm)에 따른 분류군별 개체수에서는 응애류의 경우 2160-2886마리, 톡토기는 1108-1321마리로 mesh size에 따른 현저한 차이는 나타나지 않았다(표 1). 그러나 거미류의 경우 0.4, 0.8mm에서는 12, 11마리로 1.7, 5.0mm에서의 98, 42마리보다 현저하게 낮아 0.8mm이하의 mesh size에서는 이입의 제한을 받은 것으로 보이며, 노래기류에 있어서도 0.4mm에서 18마리로 그 외 size의 56-66마리보다 현저하게 낮았다. 응애와 톡토기를 제외한 토양동물들의 총개체수(그림 1)가 광릉의 mesh size 0.4mm 낙엽주머니에서 131마리였던 것에 반해 나머지 mesh size에서는 265-343마리로 현저하게 높아 mesh size 0.4mm 낙엽주머니에서 응애류나 톡토기보다 상대적으로 대형인 토양동물들에 대한 이입의 제한이 이루어졌던 것으로 생각된다. 한편, 박 등(1996)은 남산과 광릉의 활엽수림에서 응애와 톡토기를 제외한 토양동물들의 생물량이 전토양동물의 65%이상을 차지한 것으로 보고한 바 있어, 이들 소수 분류군의 군집내 기능적 역할이 개체수로만 평가되었을 때보다

훨씬 크다는 것을 시사하고 있다.

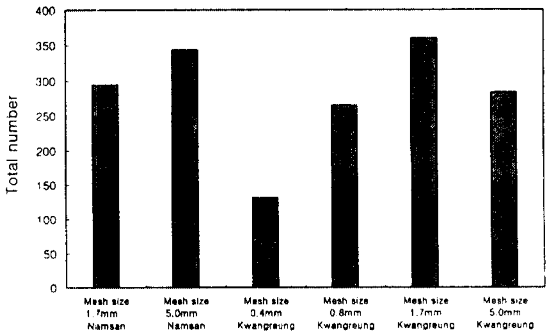

Fig. 1. Total number of soil animals except Acari and Collembola collected from litter bags in Namsan and Kwangreung deciduous forests. Soil animals collected from litter bags through the investigation were pooled.

낙엽분해율

광릉에서 낙엽주머니 설치 1년후 mesh size에 따른 낙엽잔존률은 mesh size가 커지는 순으로 69.94%, 64.80%, 61.02%, 59.92%를 나타내 mesh size가 커짐에 따라 잔존률이 낮아지는 경향이지만 각 mesh size간에 통계적 유의성은 없었다(그림 2). House와 Stinner(1987)는 경작지에서의 작물잔해물의 분해율이 낙엽주머니의 mesh size에 따라 유의한 차이가 없음을 보고한 바 있다. Mesh size 0.4mm의 낙엽주머니에서 낙엽잔존률이 가장 높았던 것과 그 낙엽주머니에서 응애류와 톡토기를 제외한 토양동물들의 밀도가 높았던 것과 관련성에 관해서는 향후 지속적인 조사가 요망된다.

두 지역에서 mesh size 1.7mm, 5.0mm 주머니의 낙엽잔존률이 낙엽주머니 설치 2개월후인 1월에는 97.1-97.5%로 거의 분해가 이루어지지 않았고 이후 처리간 차이 없이 완만하게 잔존률이 감소하여 낙엽주머니 설치 8개월 후인 7월에는 83.1-84.9%의 잔존률을 나타내었다. 따라서 낙엽주머니내 토양동물의 밀도가 5월에 가장 높았던 것(표 3)에 반하여 그 이후 7월의 낙엽잔존률이 그다지 낮아지지 않았던 것으로 보아 적어도 7월까지는 토양동물이 낙엽분해에 크게 기여하지 않았던 것으로 생각된다. 남산의 1.7mm mesh size 처리를 제외하면 낙엽주머니 설치 10개월, 12개월 후인 9월, 11월에는 5월, 7월에 비해 토양동물 밀도가 낮았음에도 불구하고 비교적 빠른 속도로 잔존률이 낮아져서 11월에는 57.0-61.0%의 잔존률을 보였다. 이는 낙엽분해에 토양동물외의 다른 요인이 더 크게 작용하였음을 시사하는 것으로 생각된다.

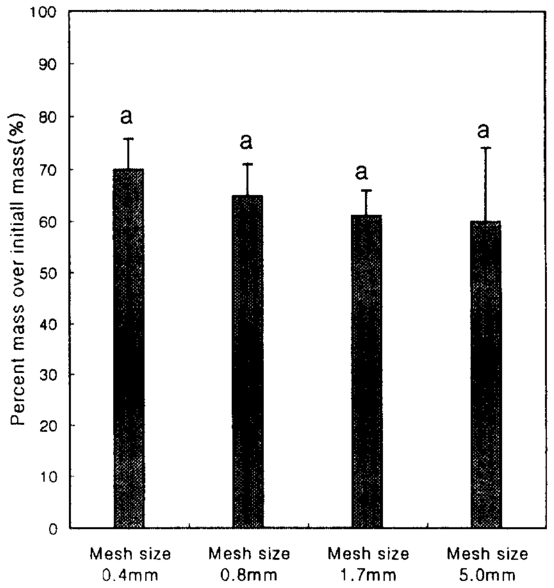

Fig. 2. Percent residual litter mass over initial mass at 1 year after setting up of litter bag in Kwangreung deciduous forest.

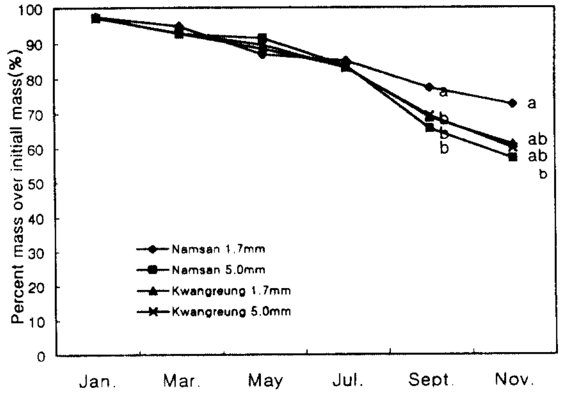

Fig. 3. Changes in residual percent litter mass over initial mass in Namsan and Kwangreung deciduous forests in 1997. Setting up of litter bag in the field was made in Nov., 1996.

이상 남산과 광릉 활엽수림에서 낙엽주머니를 이용하여 낙엽분해에 관여하는 토양동물의 군집구성과 낙엽분해율을 비교하였다. 일반적으로 낙엽분해에 있어서 토양동물은 낙엽을 직접 섭식하는 것보다는 박테리아, 곰팡이, 원생동물등의 토양미생물 분해활동을 활성화시키는 역할이 더 큰 것으로 알려져 있다(Seastedt 1984). 조사기간중 채집된 토양동물을 목이상의 분류군으로 분류하였을 때 몇가지 분류군을 제외하면 두 지역에서의 군집구조가 크게 다르지 않은 것으로 나타났다. 그러나 같은 목 수준의 분류군이라도 그것을 이루고 있는 종구성은 달라질 수 있다. Siepel과 Maaskamp(1994)는 날개응애류내 종들이 그들의 섭식습성에 따라서 토양미생물의 분해활동을 활성화시키기도 하고, 저해하기도 한다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서의 분류군내 종구성 분석은 앞으로의 과제일 것이다.

한편, 낙엽주머니의 mesh size에 따른 낙엽분해율이 1년후까지는 유의한 차이를 나타내지 않았으나 최소 mesh size 0.4mm의 낙엽주머니에서는 몸집이 큰 토양동물들에 대한 이입제한 효과가 있던 것으로 나타나 이들의 역할에 관한 장기적 평가가 필요하다. 마찬가지로 이 두지역의 활엽수림에서 낙엽분해과정도 보다 장기적 조사에 의한 평가가 필요한 것으로 생각된다.

적 요

서로 다른 환경도태압을 받는 것으로 알려져 있는 남산과 광릉의 활엽수림에서 낙엽분해에 관여하는 토양무척추동물군집 및 낙엽분해율을 낙엽주머니(mesh size : 0.4mm, 0.8mm, 1.7mm, 5.0mm)를 이용하여 1년간 조사하였다.

목이상의 상위 분류군으로 군집을 동정한 결과 응애류가 약 60%, 톡토기목이 약 30%로 절대다수를 차지하였으며 소수군 중에서는 파리목, 거미류, 노래기류, 딱정벌레목, 지네류가 상대적 우점군을 이루었다.

환경도태압이 큰 것으로 알려져 있는 남산에서 광릉에서보다 응애류, 톡토기목의 밀도가 높은 경향이었으며 지네류, 애지렁이, 선충류의 개체수도 광릉에서보다 현저하게 높았다. 반면 노래기류, 애지네류의 개체수는 광릉에서 현저하게 높아 두 지역의 환경도태압의 차이를 뚜렷하게 반영하였다. 따라서 이들 분류군의 환경지표생물로서의 이용 가능성이 제시되었다. 낙엽주머니내 응애류와 톡토기의 밀도는 3월까지는 매우 낮았고 5월에 가장 높았으며 이후 11월까지 완만하게 감소하였다. 낙엽주머니의 mesh size에 따른 응애류와 톡토기의 밀도는 유의한 차이가 없었으며, 그 외의 동물군은 mesh size 0.4mm에서 이입의 제한을 받은 것으로 나타났다.

초기의 낙엽분해는 미미하게 이루어져 낙엽주머니설치 8개월후인 7월까지 20% 미만의 분해율을 나타내었고 그 이후에 분해율이 약간 증가하여 1년후인 11월에는 약 40%의 분해율을 나타내었다. 이 과정에서 토양동물의 역할은 그다지 크지 않았던 것으로 생각된다. 한편, 지역간, mesh size 간에 분해율은 유의한 차이를 보이지 않았다.

검색어 : 낙엽분해, 낙엽주머니, 토양무척추동물, 활엽수

인용문헌

곽준수, 최성식, 김태홍. 1989. 서울대 광양연습림내 토양미소 절지동물에 관한 연구.

2. 개체군밀도와 생물량. 한국생태학회지. 12(3) : 183-190.

박홍현. 1996. 남산과 광릉 침엽수림 지역의 날개응애류(Acari: Oribatida) 군집분석. 서울대학교 석사학위논문. p. 78.

박홍현, 정철의, 이준호, 이범영. 1996. 남산과 광릉의 토양미소절지동물에 관한 연구. 한국토양동물학회지. 1(1) : 37-47.

정철의. 1996. 남산과 광릉 활엽수림 지역의 날개응애류(Acari: Oribatida) 군집분석. 서울대학교 석사학위논문. p.97.

青木淳一. 1997. 일본토양동물의 연구발전사와 현황. 한국토양동물학회지. 1(1) : 62-67.

최성식. 1996. 토양동물학. 원광대학교 출판국. p.488

玄 在善. 1993. 改訂 一般 生態學. 集賢社. 353 pp.

Anderson, J. M. 1975. Succession, diversity and trophic relationships of some soil animals in decomposing leaf litter. J. Animal Ecology. 44 : 475-495.

Andre, H. M., C. Bolly and H. Lebrun. 1982. Monitoring and Mapping air pollution through an animal indicator: A new and quick method. J. of Appl. Ecol. 19 :107-111.

青木淳一. 1991. 日本土壤動物檢索 設. 東海大學出版會.

Heneghan, L. and T. Bogler. 1996. Effects of acid rain components on soil microarthropods: A field manipulation. Pedobiologia. 40 : 413-438.

Hagvar, S. and B. R. Kjondal. 1981. Effects of artificial acid rain on microarthropod fauna in decomposing birch leaves. Pedobiologia. 22 : 409-422.

House, G. J. and R. E. Stinner. 1987. Decomposition of plant residues in no-tillage agroecosystems: Influence of litterbag mesh size and soil arthropods. Pedobiologia 30 : 351-360.

Lussenhop, J. 1992. Mechanisms of microarthropod-microbial interaction in soil. Advances in Ecological research. 23:1-33.

Odum, E. P. 1971. Fundamentals fo ecology(3rd edition). 574pp. W. B. Saunders company.

Paoletti, M. G., M R. Favretto and B. R. Stinner. 1991. Ivertebrates as bioindicators of soil use. Agriculture, Ecosystem and Environment. 34(1) : 341-365.

Seastedt, T. R. 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization process. Ann. Rev. Entomol. 29 : 25-46.

Siepel, H. and F. Maaskamp. 1994. Mites of different feeding guilds affect decomposition of organic matter. Soil Biol. Biochem. 26(10) : 1389-1394.

Van Straalen N. M., M. H. S. kraak and C. A. J. Denneman. 1988. Soil microarthropods as indicators of soil acidification and forest decline in the Veluwe area, the Netherlands. Pedobiologia 32 : 47 ~ 55.

Vossbrinck, C. R., D. C. Coleman and T. A. Wooley. 1979. Abiotic and biotic factors in litter decomposition in a semi-arid grassland. Ecology 60: 265-271.

Wallwork J. A. 1976. The distribution and diversity of soil fauna. Academic press. 331pp.

Wallwork J. A. 1983. Oribatids in forest ecosystems. Ann. Rev. Entomol. 28 : 109~130.

(1997년 9월 30일 접수)