韓國林學會誌 89(1) : 41 - 48. 2000
Jour. Korean For. Soc. 89(1) : 41 - 48. 2000

光陵 試驗林 內의 林分別 落葉의 分解와 分解過程에 따른 營養鹽類의 變化[1]

兪永漢[2] · 南宮正[3] · 李尤永[3] · 金貞熙[3] · 李鍾榮[3] · 文炯泰[3]

Mass Loss and Nutrients Dynamics During the Litter Decomposition in Kwangnung Experimental Forest[1]

Young-Han You[2], Jeong Namgung[3], Yun-Young Lee[3], Jeong-Hee Kim[3], Jong-Young Lee[3] and Hyeong-Tae Mun[3]

요 약

1992년 10월부터 1995년 11월까지 38개월 동안 경기도 광릉 시험림에서 낙엽활엽수(졸참나무, 서어나무, 까치박달 혼합)와 3종의 침엽수 낙엽의 분해율과 분해과정에 따른 영양염류 함량의 변화를 조사하였다. 38개월이 지난 후 혼합 활엽수, 잣나무, 리기다소나무 그리고 전나무 낙엽의 잔존률은 각각 16.2%, 29.8%, 33.5%, 53.9%로 활엽수, 소나무屬 그리고 전나무 순으로 분해율이 감소하였으며, k 는 각각 0.61, 0.40, 0.37, 0.21yr^{-1}이었다. 전나무 낙엽의 초기 질소함량은 6.5mg/g으로 다른 종류의 낙엽에 비해 1/2 수준이었으며, 전나무 낙엽의 분해율이 낮은 것은 그것의 질소함량이 낮기 때문인 것으로 판단된다. 38개월이 경과된 낙엽에서 질소의 잔존률은 활엽수 낙엽에서 29%인데 비해 전나무 낙엽은 107.8%이었다. 인의 잔존률은 활엽수 낙엽에서 53.4%이었는데 비해 침엽수 낙엽은 모두 초기 값 이상이었다. 양이온의 잔존률은 38개월 경과된 낙엽에서 모두 초기 값 이하이었다. 분해과정에 따른 영양염류 함량의 변화 및 잔존량은 낙엽과 영양염류의 종류에 따라 차이가 있었다.

ABSTRACT

Mass loss and dynamics of mineral nutrient during decomposition of deciduous leaves and 3 species of needles were investigated for 38 months from October in 1992 to November in 1995 in Kwangneung, Korea. After 38 months, the remaining mass of deciduous leaves, *Pinus koraiensis*, *Pinus rigida* and *Abies holophylla* was 16.2%, 29.8%, 33.5% and 53.9%, respectively. The decay rate (k) of deciduous leaves, *Pinus koraiensis*, *Pinus rigida* and *Abies holophylla* was 0.61, 0.40, 0.37, 0.21yr^{-1}, respectively. The lowest decay rate in fir needle might be, in part, due to low N concentration. N concentration of the decomposing litter increased during the experimental period except for *P. rigida*. Deciduous leaves showed a short immobilization period during the early stage of decomposition, and big-cone pine and pitch pine had no immobilization period. However, there was no net N mineralization in fir litter. P increased during the experimental period for all litter. Except for deciduous leaves, there was no net mineralization period. In case of deciduous leaves, however, remaining P after 38 months was 53% of the initial P capital. Remaining cations of the decomposing litter after 38 months were lower than those of initial contents.

Key words : Abies holophylla, *Deciduous leaves, Decomposition, Immobilization, Mineralization, Nutrient*, Pinus koraiensis, Pinus rigida

[1] 接受 1999年 8月 18日 Received on August 18, 1999.
[2] 공주대학교 기초과학연구소 The Research Institute of Natural Science, Kongju National University
[3] 공주대학교 자연과학대학 생물학과 Department of Biology, Kongju National University

서 론

대부분의 삼림생태계에서 낙엽분해는 식물생장에 필요한 영양염류를 공급하는 주요 경로가 되고 있다(Lousier and Parkinson, 1978; Berg and Theander, 1984). 낙엽은 분해미생물인 세균과 균류 그리고 토양에 서식하고 있는 톡토기, 진드기 등을 포함한 다양한 무척추동물의 상호작용에 의해 분해된다(Swift 등, 1979). 낙엽의 분해는 기본적으로 미생물의 활동에 의해 진행되기 때문에 분해율은 기온과 낙엽의 수분함량 뿐만 아니라 낙엽의 질에 의해서도 많은 차이가 있을 수 있다. 낙엽의 질은 낙엽이 함유하고 있는 화학물질과 관련이 있기 때문에 미생물의 활동이나 낙엽분해에 관련이 있는 토양 소동물의 활동을 조절하는 중요한 요인이 되고 있다.

국내에서는 많은 사람들에 의해 낙엽의 생산 및 낙엽의 분해에 따른 영양염류 함량의 변화가 조사되었다(Kim and Chang, 1965; Chang and Choung, 1986). Kim과 Chang(1989)은 리기다소나무 식재림에서 연간 낙엽 생산량과 분해량을 조사한 바 있고, Mun과 Yoo(1996)는 곰솔과 밤나무 낙엽의 분해율과 영양염류 변화를 2년 동안에 걸쳐 조사하였다. Mun과 Kim(1992)은 석회암지역의 소나무림과 측백나무림에서, Mun과 Joo(1994)는 상수리나무림과 리기다소나무림에서 2년 동안에 걸친 낙엽의 생산과 분해를 조사한 바 있다. 이들 연구는 대부분 1년 혹은 2년 동안에 낙엽의 무게감소와 영양염류 함량의 변화를 조사한 것들이다. 이들 조사결과에서 낙엽의 분해율은 낙엽의 종류와 분해가 진행되고 있는 지소에 따라 많은 차이가 있었다.

본 연구의 목적은 비교적 보존이 양호한 경기도 광릉 시험림에서 활엽수 낙엽과 침엽수 낙엽의 분해율을 비교하고, 분해과정에 따른 영양염류의 변화를 파악하기 위한 것이다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구의 조사지는 경기도의 남양주군, 포천군 및 의정부시의 경계에 위치한 산림청 임업연구원 중부임업시험장 광릉시험림(37° 45′ N, 127° 10′ E) 내의 침엽수림(리기다소나무, 잣나무, 전나무 조림지)과 낙엽활엽수림이다. 광릉림은 우리 나라의 대표적인 중부 온대림으로 총면적이 2,331ha이다. 참나무림과 서어나무림 및 까치박달림 등으로 이루어진 천연림(56%)과 잣나무, 전나무 및 리기다소나무 등의 조림지(44%)로 구성되어 있다. 모암은 선캄브리아기 경기편마암 복합체이며(Institute of Korea Energy and Resource, 1984), 토양은 그 복합체에서 유래한 유기물이 많이 섞인 갈색삼림토양이다(Oh, 1958). 기후는 계절풍의 영향을 주로 받는 중부내륙성 기후를 나타내며, 연평균기온이 11.3℃이고, 연평균강수량이 1,365mm인데, 이중 약 60%가 7월 - 9월 사이에 내린다(Park, 1982).

본 연구가 수행된 4개 조사지소는 해발고도 200 - 230m의 남 사면에 위치하며, 임상의 바위 비율은 2 - 4%로 낮았다. 토양은 약산성의 사양토이며, 수분함유량은 우기(80 - 84%)와 건기(3 - 5%)에 따라 변이가 매우 심하였다. 임령은 낙엽활엽수림이 V등급 이상이고, 조림지는 30년 내외의 3등급이었다. 각 조사지소의 특성을 Table 1에 종합하였다.

2. 조사 방법

실험에 사용한 낙엽은 1992년 10월에 임상에 떨어진 신선한 것들을 종류별로 수집하여 80℃ 건조기에서 48시간 이상 건조시켰다. 낙엽주머니는 눈금 1mm의 nylon 천으로 20cm×20cm 크기로 제작하였으며, 낙엽활엽수의 낙엽주머니에는 군락의 우점도 비율에 따라서 졸참나무, 서어나무 그리고 까치박달의 낙엽을 각각 5 : 3 : 2의 비율로 혼합하여 10g씩 넣었고, 조림지의 낙엽주머니에는 교목층의 우점종인 잣나무, 전나무 및 리기다소나무의 낙엽을 각각 10g을 넣었다. 낙엽주머니는 활엽수, 잣나무, 전나무, 리기다소나무 각각 30개씩 만들었다.

1992년 10월에 낙엽활엽수 낙엽은 낙엽활엽수림 임상에, 그리고 잣나무, 전나무, 리기다소나무 낙엽주머니는 각각의 조림지 임상에 기존의 낙엽층을 제거하고 약 15cm 간격으로 놓은 다음 낙엽으로 덮어두었다. 설치 후 12, 16, 26, 32 그리고 38개월에 각 종류별로 5개씩의 낙엽주머니를 수거하였다. 수거한 낙엽주머니는 실험실로 운반하여 겉에 묻은 흙과 곰팡이 균사 그리고 식물체의 뿌리를 제거한 후 80℃ 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후 평량하여 무게감소를 계산하였다. 평량이 끝난 샘플은 마쇄하여 영양염류 분석에 사용

Table 1. Characteristics of the deciduous forest and three evergreen plantations, where the litterbags were located, in the Kwangnung Experimental Forest

Site Characteristics	Study sites			
	Natural forest	Plantation		
	Deciduous forest	Big-cone pine forest	Pitch pine forest	Fir forest
Altitude(m)	220	220	230	200
Aspect	SE	SW	S	S
Slope(°)	5	10	10	5
Tree layer				
Dominant Species	*Quercus serrata, Carpinus laxiflora, C. cordata*	*Pinus koraiensis*	*Pinus rigida*	*Abies holophylla*
Tree Height(m)	15-25	10	10	8
Coverage(%)	95	100	90	80
Shrub layer				
Dominant Species	*Acer pseudo-sieboldianum*	*Stephanandra incisa*	*Quercus serrata*	*Quercus serrata*
Shrub Height(m)	1.8	1.3	1.4	1.5
Coverage(%)	30	10	60	50
Herb layer				
Dominant Species	*Disporum smilacinum, Ainsliaea acerifolia*	*Disporum smilacinum*	*Spodiopogon cotulifer*	*Disporum smilacinum*
Herb Height(m)	0.1	0.1	0.4	0.1
Coverage(%)	95	10	30	10
Forest age(yr)	100<	30	30	25

하였다. 연간 낙엽분해율 k는 Brinson 등(1981)의 공식을 이용하여 계산하였다.

$$-k = \ln(X/X_0)/t,$$

X_0는 낙엽주머니에 넣은 처음 무게, X는 수거한 낙엽주머니에 남아 있는 낙엽의 무게, t는 시간이다.

질소는 microKjeldahl법으로 정량하였으며, 인은 습식분해 후 ammonium molybdate와 stannous chloride로 발색시켜 660nm에서 비색 정량하였다(Allen 등, 1974). 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 습식 분해한 후 원자흡수분광광도계(Perkin-Elmer 3110)로 정량하였다.

결과 및 고찰

1. 낙엽의 잔존률

38개월 후에 낙엽의 잔존률은 낙엽활엽수, 잣나무, 리기다소나무, 전나무가 각각 16.2%, 29.8%, 33.5% 그리고 53.9%로 침엽수에 비해 활엽수의 낙엽분해가 빠름을 알 수 있었다(Fig. 1). 침엽수

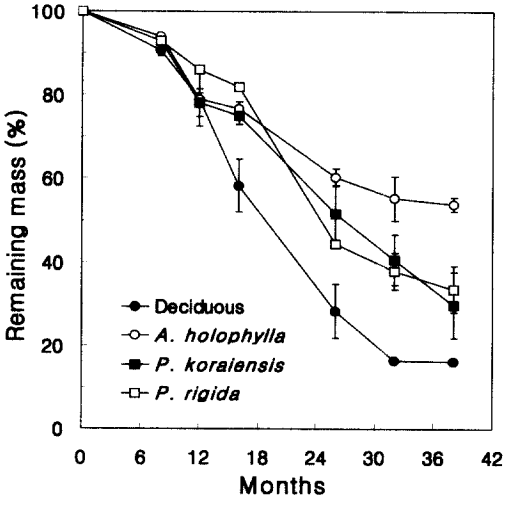

Fig. 1. Mean percent mass remaining in the decomposing litter at the Kwangnung Experimental Forest. Bars indicate standard deviation.

중에서도 소나무屬에 속하는 잣나무와 리기다소나무에 비해 전나무의 분해율이 현저히 느린 것으로 나타났다. 활엽수 낙엽의 경우 32개월 경과시 잔존률은 16.4%로 38개월 후의 값과 차이가 없었다. 전나무의 경우에도 32개월 경과시 잔존률은 55.2%로 38개월 후의 값과 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 낙엽 구성원 중 수용성물질이나 산용해성 물질이 분해되고 분해에 저항이 큰 리그닌이 남기 때문인 것으로 판단된다(Swift 등, 1979). 혼합 활엽수, 잣나무, 리기다소나무 그리고 전나무 낙엽의 k 값은 각각 0.61, 0.40, 0.37, 0.21yr^{-1}이었다.

Mun과 Kim(1992)은 석회암지역에서 소나무와 측백나무 낙엽의 분해를 조사한 결과 21개월 경과시 낙엽의 잔존량이 각각 65.2%와 67.5%인 것으로 보고한 바 있다. 본 조사에서는 26개월 경과시 전나무 낙엽의 잔존률은 60.3%, 잣나무와 리기다소나무는 각각 51.6%, 44.2%로 나타났다. 21개월을 기준으로 할 경우 이들 침엽의 분해율은 Mun과 Kim(1992)의 값과 유사한 것으로 나타났다. 그러나 Mun과 Yoo(1996)가 곰솔과 밤나무 낙엽의 분해를 조사한 결과에 의하면 18개월 경과 후 이들 낙엽의 잔존률은 각각 34%와 23%로 본 조사결과에 비해 현저히 빠른 것으로 나타났다. Mun과 Joo (1994)는 공주 근교의 상수리나무와 리기다소나무림에서 낙엽의 분해를 조사한 결과 21개월 후 잔존률이 상수리나무 22.2%, 리기다소나무 33.2%인 것으로 보고하였다. Gholz 등(1985)은 소나무(*P. elliottii*) 낙엽의 분해를 조사한 결과 24개월 후 약 30%가 분해된 것으로 보고한 바 있으며, Klemmedson 등(1985)도 *P. ponderosa*에서 이와 비슷한 분해율을 보고한 바 있다. 이처럼 낙엽 분해율에 차이가 있는 것은 각 조사지소 미소환경의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다(Fogel and Cromack 1977; Swift 등, 1979).

활엽수 낙엽의 분해가 빠른 것은 침엽수에 비해 조직이 연하고 미생물이 활동할 수 있는 면적이 넓기 때문인 것으로 생각되며, 침엽수 중에서 전나무의 낙엽 분해가 느린 것은 질소 함량과 관계가 있는 것으로 사료된다(Berg 등, 1982). 전나무 낙엽의 초기 질소함량은 6.5mg/g으로 잣나무(15.5 mg/g)나 리기다소나무(15.5mg/g)에 비해 현저히 낮았다.

2. 영양염류 함량의 변화

분해중인 낙엽의 질소함량은 리기다소나무를 제외하고 실험기간 동안 증가하는 것으로 나타났다. 리기다소나무는 16개월 경과한 낙엽에서 9.7mg/g으로 초기값에 비해 낮았지만 26개월 경과한 낙엽에서는 16.2mg/g으로 초기 값보다 높았으며 38개월이 경과한 낙엽에서는 21.0mg/g으로 증가하였다(Fig. 2A). 전나무의 초기 질소함량은 6.5mg/g으로 다른 낙엽에 비해 현저히 낮았다. 분해가 진행되는 동안 전나무 낙엽의 질소량은 증가하여 32개월 경과한 낙엽에서는 15.5mg/g이었다. 활엽수 낙엽의 초기 질소함량은 잣나무나 리기다소나무에 비해 낮았지만 분해가 진행되는 동안 증가하여 38개월이 지난 낙엽에서는 그 값이 비슷하였다. Kelly와 Beauchamp(1987)는 참나무 낙엽의 질소함량이 분해 초기에는 증가하지만 후반부에는 초기 값 이하로 낮아진다고 보고한 바 있다.

분해중인 낙엽의 질소 잔존량은 전나무의 경우에는 38개월 동안 초기 값보다 높아 질소의 부동화가 일어남을 알 수 있다. 활엽수 낙엽에서는 초기 1년 동안에는 부동화 현상이 있었지만 그 이후부터는 질소의 무기화가 진행됨을 알 수 있다. 리기다소나무와 잣나무 낙엽의 질소 잔존량은 초기 값에 비하여 낮아 부동화 기간이 없었다(Fig. 2B).

낙엽의 초기 인 함량은 리기다소나무가 가장 낮았다. 질소와는 달리 전나무 낙엽의 초기 인 함량은 0.06mg/g으로 다른 낙엽에 비해 높았다. 활엽수 낙엽의 경우 분해과정 중 인 함량이 계속 증가하였으며, 32개월과 38개월 경과한 낙엽에서는 그 값이 0.14mg/g으로 차이가 없었다. 전나무와 잣나무 그리고 리기다소나무 낙엽도 분해가 진행됨에 따라 인 함량이 증가하였다(Fig. 2C). 잣나무 낙엽의 경우에는 38개월 후에 그 값이 0.16mg/g으로 증가하였다.

질소와는 달리 분해중인 낙엽의 인 잔존량은 활엽수 낙엽을 제외하고 실험기간 동안에 무기화 과정이 나타나지 않았다. 활엽수 낙엽은 초기 1년 동안에는 부동화가 뚜렷하였지만 그 이후 잔존량이 감소하기 시작하여 26개월 경과한 낙엽에서는 87.5%로 초기값 이하로 낮아졌다. 리기다소나무는 Fig. 2D에서 보는 바와 같이 인의 부동화 현상이 뚜렷하였다. 32개월이 경과하였을 때 인의 잔존량은 264.6%이었다. 잣나무와 전나무의 경우에도 실험 기간 동안 부동화 현상을 보이지만 그 정도는 리기다소나무에 비해 현저히 낮았다.

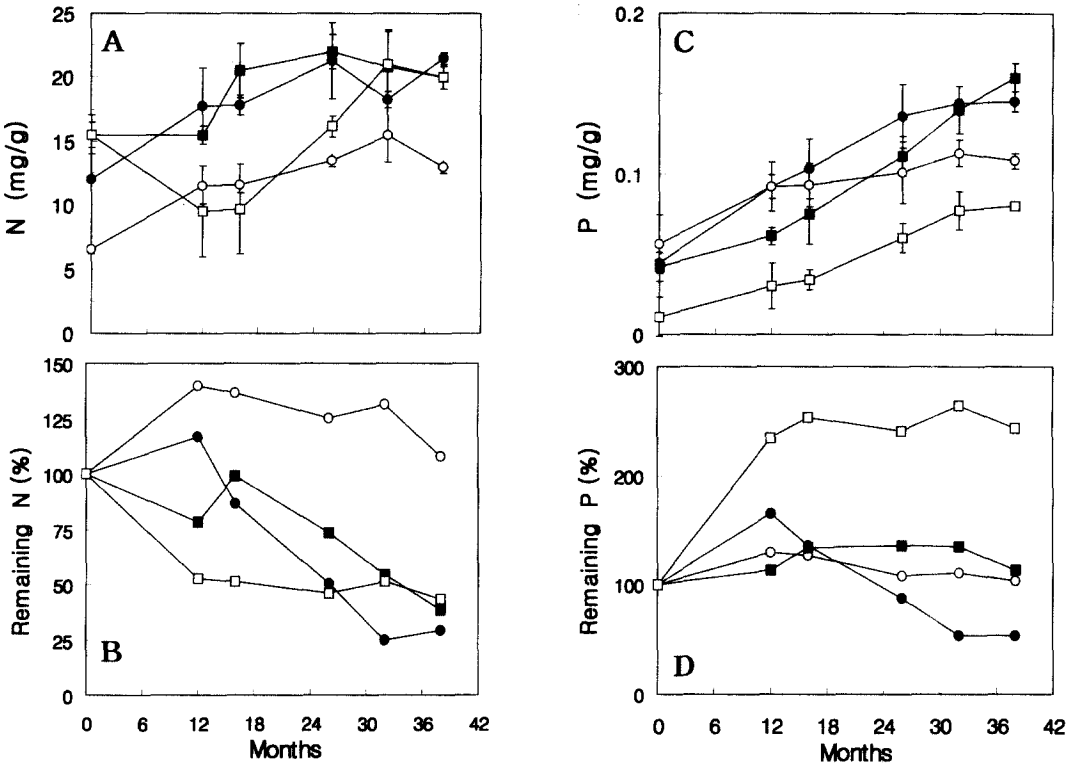

Fig. 2. Changes of N concentration(A), % of remaining N(B), P concentration(C) and % of remaining P(D) in the decomposing litter. Legends are the same as in the Fig. 1. Bars indicate standard deviation.

분해중인 낙엽에서 질소와 인은 농도와 잔존량이 모두 증가하는 경우도 있고(Attiwill, 1968; Anderson, 1973; Gosz 등, 1973; 1976), 감소하는 경우도 있다(Kelly and Henderson, 1978; Lousier and Parkinson, 1978; Reiners and Reiners, 1970). Sharma와 Ambasht(1987)는 *Alnus nepalensis* 조림지에서 낙엽이 분해됨에 따라 질소, 인, 칼륨, 칼슘의 양이 현저히 감소하는 것으로 보고한 바 있다. Mun과 Kim(1992)은 소나무와 측백나무 낙엽의 분해과정에서 질소는 처음 1년 동안에는 초기 값보다 낮지만 그 이후 초기 값 이상으로 증가하였으며, 인은 분해가 진행되는 동안 초기 값 보다 낮은 것으로 보고한 바 있다. *P. ponderosa*의 경우 분해가 진행됨에 따라 질소는 증가하나 인은 감소하는 것으로 나타났다(Klemmedson 등, 1985).

활엽수와 침엽수 낙엽의 칼륨 함량은 칼슘과 마그네슘함량에 비해 높았다. 초기함량은 침엽수에 비해 활엽수 낙엽이 높았으며, 침엽수 사이에는 큰 차이가 없었다(Figs. 3과 4).

칼륨함량은 질소와 인과는 달리 분해과정에 따른 뚜렷한 패턴을 볼 수 없었다(Fig. 3A). 분해중인 낙엽의 칼륨 잔존량은 활엽수 낙엽의 경우 무기화 현상이 뚜렷하였다(Fig. 3B). 12개월이 지났을 때 칼륨의 잔존률은 57.3%로 감소하였고, 32개월이 경과한 낙엽에서는 초기 칼륨함량의 불과 12.5%만이 남아있는 것으로 나타났다. 리기다소나무의 경우에도 무기화 현상이 뚜렷하였다. 전나무는 초기 1년 동안에는 부동화 현상을 보이다가 그 이후부터는 무기화가 일어남을 알 수 있다(Fig. 3B). Klemmedson 등(1985)은 *P. ponderosa*에서 칼륨의 잔존량이 감소하는 것으로 보고한 바 있다.

분해중인 낙엽의 칼슘함량은 전나무 낙엽을 제외하고는 초기에 증가하다 그 이후 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 3C). 활엽수 낙엽은 16개월 경과 시까지 그 값이 증가하나 26개월이 지난 이후에는 초기 값 이하로 감소하며, 잣나무와 리기다소나무에서도 그 패턴이 유사하였다. 전나무 낙엽에서는 분해기간 동안 뚜렷한 변화가 없었다.

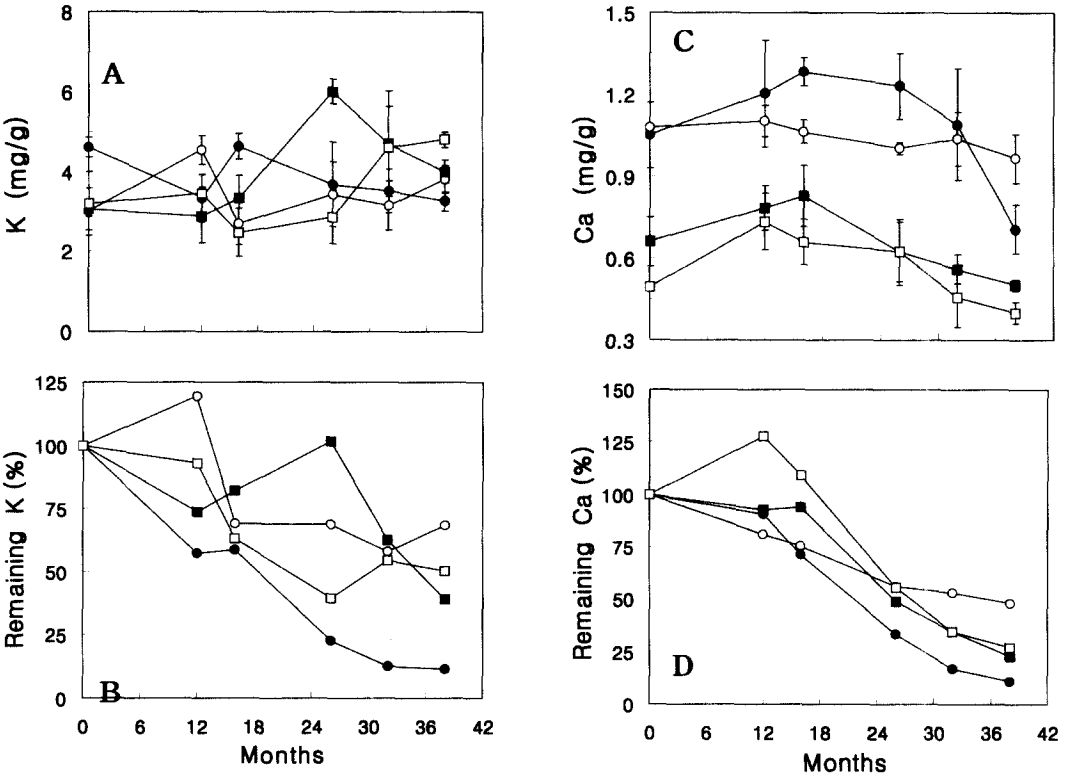

Fig. 3. Changes of K concentration(A), % of remaining K (B), Ca ɔntration(C) and % of remaining Ca (D) in decomposing litter. Legends are the same as in the Fig. 1. Bars indicate standard deviation.

칼슘은 리기다소나무를 제외하고는 부동화 기간이 없었다. 리기다소나무 낙엽에서는 16개월이 경과한 낙엽에서도 초기 값보다 높았으나 그 이후 급격히 감소하였다. 활엽수 낙엽에서는 38개월 경과되었을 때 초기 값의 10.9%만이 남아있었다(Fig. 3D). 분해과정에 따른 칼슘의 잔존률은 전나무와 잣나무 낙엽에서 비슷한 패턴을 보였다. Mun과 Yoo(1996)는 곰솔 낙엽의 경우 분해가 진행됨에 따라 칼슘이 감소하는 것으로, Klemmedson 등(1985)은 *P. ponderosa*에서 칼슘의 잔존량이 항상 초기 값보다 높은 것으로 보고한 바 있다.

Vogt 등(1983)은 *Abies amabilis* 침엽과 몇 종류의 활엽 분해과정에서 2년이 경과하였을 때 칼슘의 잔존률은 전자가 초기 값의 148%, 후자는 23-74%인 것으로 보고한 바 있다. 본 조사에서 칼슘의 부동화는 리기다소나무 낙엽에서만 처음 16개월까지 나타났고 다른 낙엽에서는 부동화 기간이 없었다.

낙엽의 마그네슘함량은 칼륨과 칼슘에 비해 그 값이 현저히 낮았다. 마그네슘 함량은 활엽수 낙엽을 제외하고 분해가 진행됨에 따라 대체로 초기 값보다 높았다(Fig. 4A). 활엽수 낙엽은 16개월이 경과될 때까지 증가하다 그 이후 감소하였으며, 리기다소나무와 전나무는 그 패턴이 유사하였다.

분해중인 낙엽의 마그네슘 잔존량은 전나무의 경우 초기 1년 동안에는 부동화 기간을 거친 이후 초기값 수준을 유지하다 38개월 경과한 낙엽에서는 초기값의 70%를 보였다. 이에 비해 활엽수 낙엽에서는 처음부터 무기화가 나타났으며, 32개월 경과되었을 때에는 마그네슘 잔존량이 초기 값의 15.7%에 불과하였다. 리기다소나무와 잣나무 낙엽에서도 처음부터 무기화 현상을 보였으며, 38개월이 경과되었을 때 잔존량이 각각 초기값의 42.6%와 34.4%이었다(Fig. 4B).

Kelly와 Beauchamp(1987)에 의하면 대부분의

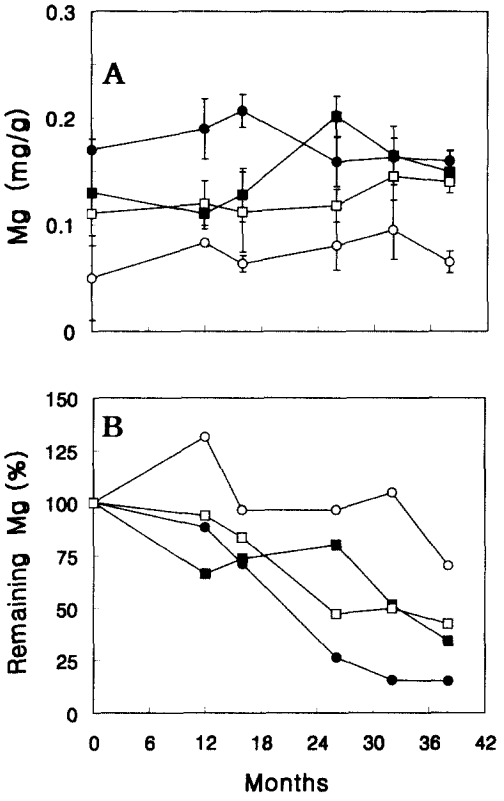

Fig. 4. Changes of Mg concentration(A) and % of remaining Mg (B) in decomposing litter. Legends are the same as in the Fig. 1. Bars indicate standard deviation.

낙엽에서 칼슘 방출은 낙엽의 무게감소와 비례하며, 칼륨과 마그네슘은 세탈에 의해 초기에 그 값이 감소하나 분해과정의 후기에는 소실률이 느린 것으로 나타나고 있다(Gosz 등, 1973; 1976; Maclean and Wein, 1978). 그러나 본 조사에서 분해과정에 따른 활엽수 낙엽의 양이온 변화는 처음 1년 동안에는 칼륨과 마그네슘 소실률이 칼슘에 비해 높았지만 후반부에서는 유사한 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

1. Allen, S.E., H.M. Grimshaw, J.A. Parkinson and C. Quarmby. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell. Oxford.
2. Anderson, J.M. 1973. The breakdown and decomposition of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) leaf litter in two deciduous woodland soils. II. Changes in the carbon, hydrogen, nitrogen, and polyphenol content. Oecologia 12 : 275-288.
3. Attiwill, P.M. 1968. Loss of elements from decomposing litter. Ecology 49 : 142-145.
4. Berg, R. and O. Theander. 1984. Dynamics of some nitrogen fractions in decomposing scots pine needle litter. Pedobiologia 27 : 261-267.
5. Berg, R., B. Wessen and G. Ekbohm. 1982. Nitrogen level and decomposition in Scots pine needle litter. Oikos 38 : 291-296.
6. Brinson, M.M., A.E. Lugo and S. Brown. 1981. Primary productivity, decomposition and consumer activity in freshwater wetlands. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 12 : 123-161.
7. Chang, N.K. and M.A. Chung. 1986. A study on the production and decomposition of litters along altitude of Mt. Dokyoo. Korean J. Ecology 9 : 185-192.
8. Fogel, R. and K. Cromack, Jr. 1977. Effect of habitat and substrate quality on Douglas fir litter decomposition in western Oregon. Can. J. Bot. 55 : 1632-1640.
9. Gholz, H.L., C.S. Perry, W.P. Cropper, Jr. and L.C. Hendry. 1985. Litterfall, decomposition, and nitrogen and phosphorus dynamics in a chronosequence of slash pine (*Pinus elliottii*) plantations. Forest Sci. 31 : 463-478.
10. Gosz, J.R., G.E. Likens and F.H. Formann. 1973. Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook forest, New Hampshire. Ecol. Monogr. 43 : 173-191.
11. Gosz, J.R., G.E. Likens and F.H. Formann. 1976. Organic matter and nutrient dynamics of the forest floor in the Hubbard Brook Forest. Oecologia 22 : 305-320.
12. Institute of Korea Energy and Resource. 1984. Distribution map of aspect unstability. Seoul Part. 253p.
13. Kelly, J.M. and J.J. Beaucham. 1987. Mass loss and nutrient changes in decomposing upland oak and mesic mixed-hardwood leaf litter. Soil Sci. Soc. Am. J. 51 : 1616-1622.
14. Kelly, J. M. and G. S. Henderson. 1978.

Effects of nitrogen and phosphorus additions on deciduous litter decomposition. Soil Sci. Soc. Am. J. 42 : 972-976.

15. Kim, J.M. and N.K. Chang. 1965. The decomposition rate of litter affecting the amount of mineral nutrients of forest soil in Korea. Bull. Ecol. Soc. Am., Sep. 14.
16. Kim, J.G. and N.K. Chang. 1989. Litter production and decomposition in the *Pinus rigida* plantation in Mt. Kwan-ak. Korean J. Ecology 12 : 9-20.
17. Klemmedson, J.O, C.E. Meier and R.E. Campbell. 1985. Needle decomposition and nutrient release in Ponderosa pine ecosystems. Forest Sci. 31 : 647-660.
18. Lousier, J. D. and D. Parkinson. 1978. Chemical element dynamics in decomposing leaf litter. Can. J. Bot. 56 : 2795-2812.
19. MacLean, D.A. and R.W. Wein. 1978. Weight loss and nutrient changes in decomposing litter and forest floor material in New Brunswick forest stands. Can. J. Bot. 56 : 2730-2749.
20. Mun, H.T. and J.H. Kim. 1992. Litterfall, decomposition and nutrient dynamics of litter in red pine(*Pinus densiflora*) and Chinese thuja(*Thuja orientalis*) stands in the limestone area. Korean J. Ecology 15 : 147-155.
21. Mun, H.T. and H.T. Joo. 1994. Litter production and decomposition in the *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* forests. Korean J. Ecology 17 : 345-353.
22. Mun, H.T. and Z.S. Yoo. 1996. Weight loss and nutrient dynamics during litter decomposition of *Pinus thunbergii* and *Castanea crenata*. The Res. Inst. of Basic Sci., KNU. 5 : 63-69.
23. Oh, K.C. 1958. Synecological study on several forest communities in Kwangnung (Part II). Chungang Univ. Thesis Collection 4 : 497-519.
24. Park, T.Y. 1982. Report on the investigation of local climate in Kwangnung Experimental Forest. Korean J. Horticulture 10 : 34-46.
25. Reiners, W. A. and N. M. Reiners. 1970. Energy and nutrient dynamics of forest floors in three Minnesota forests. J. Ecology 58 : 497-519.
26. Sharma, E. and R.S. Ambasht. 1987. Litterfall, decomposition and nutrient release in an age sequence of *Alnus nepalensis* plantation stands in the eastern Himalaya. J. of Ecology 75 : 997-1010.
27. Swift, M.J., O.W. Heal and J.M. Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Studies in Ecology Vol. 5. Univ. of California Press. Los Angeles.
28. Vogt, K. A., C. C. Grier, C. E. Meier and M.R. Keyes. 1983. Organic matter and nutrient dynamics in forest floors of young and mature *Abies amabilis* stands in western Washington, as affected by fine-root input. Ecol. Monogr. 53 : 139-157.