

우리 나라 주요 삼림수종의 낙엽의 생산과 분해에 관한 연구

김 종 회 · 장 남 기

서울대학교 생물교육과

A Study on the Production and Decomposition of Litters of Major Forest Trees in Korea

Kim, Jong-Hee and Nam-Kee Chang

Dept. of Biology Education, Seoul National University

ABSTRACT

The production and decomposition rate of litters of major forest trees in Korea, such as *Quercus acutissima*, *Quercus mogolica*, *Robinia pseudoacacia*, *Pinus rigida*, *Pinus thunbergiana*, *Abies koreana*, *Phyllostachys reticulata*, were estimated by Olson model. The amount of mineral nutrients in litters and soil were measured, and the relationships among them were studied.

The annual litter production was the most in the forest of broadleaved deciduous trees and the least in the forest of monocotyledonous trees.

The decomposition rate of broadleaved deciduous litters was higher than that of coniferous litters and lower than that of *R. pseudoacacia* litters.

The time required for the decomposition of half of the accumulated organic matter of *R. pseudoacacia* litter, *Quercus* litter, *P. rigida* litter, *Ph. reticulata* litter, *P. thunbergiana* litter and *A. koreana* litter in the forest stands were 1.263 years, 2.290~2.365 years, 2.644 years, 4.660 years, 4.750 years, 6.699 years respectively.

The amounts of N in litters and the amounts of N returned to the soil in the forests of *R. pseudoacacia*, *Quercus*, *Pinus* were proportional to the decay rate of organic matter.

Key words: Annual litter production, Decomposition rate.

서 론

삼림식물에 의해 생산된 유기물은 낙엽이나 낙지 상태로 임상에 이입되고, 분해에 관여하는 토양생물에 의해 무기물로 분해되어 토양으로 되돌아 간다. 그러므로 낙엽의 생산, 축적 및 분해는 삼림상태계의 물질순환에 중요한 의의를 갖는다.

이와 같은 삼림생태계의 물질순환을 연구하기 위해 낙엽의 축적과 분해에 관한 많은 수리적 모델에 제시되었다(Jenny *et. al.*, 1949; Aliev, 1960; Olson, 1963; Minderman, 1968; Howard and Howard, 1974). 그 중 Olson (1963)은 낙엽의 축적과 분해를 유기탄소량의 변화로 생각하여 부지수곡선 모델을 제시하였는데, 이는 실제로 많은 학자들에 의해 응용되어 쓰여지고 있다 (Chung and Lim, 1968; Chang and Kim, 1983; Chang and Park, 1986; Brinson, 1977).

Shanks와 Olson(1961)은 낙엽의 분해율은 식물체에 포함된 화학적 성분과 그 지역의 기후조건 및 고도에 따라 다르다고 보고하였고, Kim과 Chung(1966)은 낙엽분해율의 차이는 토양에 함유되어 있는 유기탄소, 함수량, N, P 등의 함량에 의하여 좌우된다는 것을 확인하였다.朴 등 (1970)은 광릉에서의 낙엽분해 속도는 서나무, 아까시아 나무, 참나무, 낙엽송, 잣나무, 전나무, 소나무 순이라고 보고하였다. 또한李(1980)에 의하여 낙엽분해의 제한요소인 기온, 강수량, 시간을 중요시한 새로운 분해모델이 제시되었으며,張과 吳(1982)의 광릉 참나무림의 방위에 따른 낙엽분해, Chung과 Park (1986)의 남한의 송백림에서의 낙엽분해, Chang과 Han(1986)의 해남, 거제도의 상록활엽수림의 낙엽분해, 정(1986)의 고도에 따른 낙엽분해에 대한 연구 등이 행하여졌다.

본 연구에서는 우리 나라 주요 산림수종의 낙엽의 생산과 분해율을 산출하여 수종별로 비교 고찰하고, 그 지역의 기후조건과 낙엽의 무기양분 함량이 낙엽의 생산과 분해에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지소의 개황

남한은 난온대 기후구로서 연평균 기온은 10~18℃이며 연평균 강수량은 1,000~1,800mm로 겨울은 저온, 건조하며 여름은 고온, 다습한 기후를 나타낸다.

본 연구의 조사지소는 Fig. 1에 나타나 있으며, 연평균 기온, 연평균 강수량, 위도 및 시료 채취 고도는 Table 1과 같다. 연평균 기온과 연평균 강수량은 최근 15년(1972~1986) 동안의 평균

Table 1. The annual mean temperatures, annual mean precipitations, latitudes, forests and altitudes of experimental sites

No.	Experimental site	Annual mean temperature*(℃)	Annual mean precipitation*(mm)	Latitude	Forest	Altitude (m)
1	Mt. Chiri	12.1	1,354.4	N30°15'	<i>Phyllostachys reticulata</i> <i>Abies koreana</i>	650 1,430
2	Mt. Naejang	12.5	1,316.4	N35°28'	<i>Quercus acutissima</i> <i>Quercus mogolica</i>	350 500
3	Mt. Moak	12.8	1,270.0	N35°43'	<i>Pinus rigida</i> <i>Quercus mogolica</i>	280 350
4	Chǒnju	12.8	1,270.0	N35°49'	<i>Robinia pseudoacacia</i>	150
5	Ch'öllip'o	11.6	1,191.7	N36°51'	<i>Pinus thunbergiana</i>	10
6	Mt. Kongjak	10.0	1,140.0	N37°42'	<i>Quercus acutissima</i>	780

* 15년(1972~1986) 동안의 평균 값임.

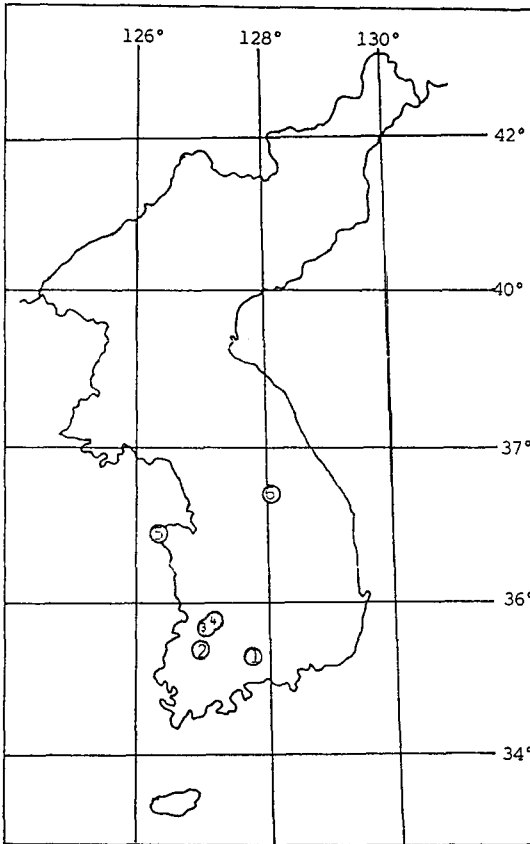


Fig. 1. Geographical map of studied area.

값이다.

낙엽의 분해와 축적을 연구할 경우 Olson(1963)이 지적한 바와 같이 낙엽의 생산과 분해 그리고 물질순환이 steady state에 도달한 삼림을 연구대상으로 택해야 한다. 본 연구에서 선정된 지역과 삼림은 잘 보존되어 거의 steady state에 도달한 것으로 판단된다.

2. 조사방법

조사지소의 임상에 $0.25 \times 0.25 \text{m}^2$ 의 방형구를 설치하여 시료를 낙엽(Litter)과 집적층(Css)으로 양분하여 채취하고, 이를 밀봉하여 실험실로 운반하였다. 운반한 재료는 풍건시킨 후 분쇄기로 갈아 토양병에 보관하였다.

시료의 성분분석은 다음과 같은 방법으로 실시하였다.

- a) 시료의 건량 및 수분함량은 105°C 의 항온기에서 24시간 건조시킨 후 측정하였고 연간 낙엽 생산량은 단위 2m^2 당 건량으로 환산시켰다(Chapman, 1976).
- b) 유기물함량은 $500 \sim 550^\circ\text{C}$ 의 전기로에서 12시간 작열하여 그 무게의 감소량으로 측정하였으며 유기탄소량은 유기물량을 1.732로 나누어 구하였다.
- c) 총질소량은 Micro-Kjeldahl법에 의해 정량하였다(한국생화학회, 1979).
- d) 유효인 함량은 standard molybdate법에 의해 spectrophotometer로 정량하였다.

e) 칼륨, 칼슘 및 나트륨은 universal extract solution으로 추출하여 flame emission 법에 의해 flame photometer로 정량하였다.

3. 낙엽의 분해모델

Olson(1963)에 의하면 단위 시간당 낙엽의 유기탄소 분해율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dc}{dt} = L - kC_{ss} \dots\dots\dots(1)$$

이때 L은 연간 낙엽에 의한 유기탄소에 생산량이며 C_{ss}는 임상에 축적된 유기탄소량이고 k는 분해상수이다.

삼림이 steady state에 도달한 경우 (1)식은

$$L - kC_{ss} = 0 \dots\dots\dots(2)$$

$$k = \frac{L}{C_{ss}} \dots\dots\dots(3)$$

한편 임상에 유입되는 낙엽이 없는 경우는

$$\frac{dC}{dt} = -kC \dots\dots\dots(4)$$

$$C = C_0 e^{-kt} \dots\dots\dots(5)$$

(단, t=0일 때 C=C₀)

축적된 유기탄소의 반이 분해되는데, 소요되는 시간, 즉 반감기는

$$t_{0.5} \doteq \frac{0.693}{k} \dots\dots\dots(6)$$

95% 및 99%가 분해되는데 소요되는 시간은 각각

$$t_{0.95} \doteq \frac{3}{k} \dots\dots\dots(7)$$

$$t_{0.99} \doteq \frac{5}{k} \dots\dots\dots(8)$$

이다.

결과 및 고찰

1. 낙엽생산량

수종 및 조사지소별 연간 낙엽생산량, 유기물량 및 유기탄소량은 Table 2와 같다.

연간 낙엽생산량은 전반적으로 볼 때 참나무속이 가장 많았으며 다음은 아까시나무, 리기다소나무, 구상나무, 곰솔의 순이며 참대나무가 가장 적었다.

朴 등(1970)과 李(1980)는 기후와 고도가 같은 경우, 잎의 현존량은 침엽수림이 낙엽수림보다 많지만 낙엽의 생산량은 낙엽수림이 침엽수림보다 많다고 보고하였다. 본 연구 결과도 낙엽수림이 침엽수림보다 낙엽생산량이 많은 것으로 나타났다.

특이할 만한 것은 목본식 단자엽식물인 참대나무 수림의 낙엽생산량은 고도가 더 높은 침엽수림, 즉 구상나무림보다 훨씬 적게 나타났다는 것이다. 그것은 참대나무림의 현존량이 적기 때문인 것으로 생각된다.

공작산의 상수리나무림의 경우 기온이 높고, 강수량도 많은 내장산의 상수리나무림보다 낙엽생산량이 현저하게 많은 것은 공작산 토양이 내장산 토양보다 상수리나무의 생장조건에 더 적합하기 때문인 것으로 생각된다.

2. 유기물의 분해

낙엽의 분해속도는 낙엽의 생산량과 임상에 축적된 유기물의 비에 의해 결정되며 Olson

Table 2. The amounts of dry weight, organic matter and organic carbon in litter samples

Forest	Site	Horizon	Dry weight (g/m ²)	Organic matter (g/m ²)	Organic carbon (g/m ²)
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Chōuju	L	734.18±148.21	648.31±144.97	374.31±83.70
		C _{ss}	2132.25±182.85	533.49± 1.3	308.02± 0.75
<i>Quercus acutissima</i>	Mt. Naejang	L	697.22±136.56	629.67±106.57	363.55±61.53
		C _{ss}	4052.26± 33.31	1519.53± 4.39	877.33± 2.54
	Mt. Kongjak	L	1568.32±185.43	1374.71±208.93	793.71±120.63
		C _{ss}	4140.98±567.03	3168.79±277.49	1829.55±160.20
<i>Quercus mongolica</i>	Mt. Naejang	L	783.45±269.87	723.66±250.66	417.82±144.72
		C _{ss}	3895.15±399.70	1681.65± 6.66	970.93± 3.85
	Mt. Moak	L	412.05± 10.99	380.04± 15.07	219.43± 8.71
		C _{ss}	2159.77± 17.18	911.72± 91.01	526.40± 52.55
<i>Phyllostachys reticulata</i>	Mt. Chiri	L	171.05± 25.37	150.56± 24.25	86.93± 14.00
		C _{ss}	1869.30±352.12	862.02±264.25	497.70±152.57
<i>Pinus rigida</i>	Mt. Moak	L	622.15± 46.74	588.69± 46.08	339.89± 26.6
		C _{ss}	4266.53±809.77	1657.64±185.06	957.07±106.85
<i>Pinus thunbergiana</i>	Ch'öllip'o	L	308.14± 73.55	294.70± 67.15	170.17± 38.77
		C _{ss}	5597.07±732.72	1725.27± 47.07	996.12±127.18
<i>Abies koreana</i>	Mt. Chiri	L	407.29± 30.41	374.70± 27.97	216.34± 16.15
		C _{ss}	7997.32±3424.69	3247.23±583.94	1874.85±337.15

(1963)의 모델에 의해 계산한 분해상수와 분해시 소요되는 시간은 Table 3과 Fig. 2에서 보는 바와 같다.

분해상수(k)는 아까시나무림에서 $k=0.549$ 로 가장 크며 다음은 참나무속($k=0.293-0.303$)이었고, 침엽수종($k=0.104-0.262$)과 목본성 단자엽식물($k=0.149$)에서는 작게 나타났다

유기물이 분해되는데 소요되는 시간은 분해상수 k 에 반비례하며, 유기물의 반이 분해되는데 소요되는 시간(반감기)을 비교하면 아까시나무림에서 1.265년으로 가장 짧았으며, 구상나무림이 6,699년으로 가장 길었다.

朴 등(1970)은 광릉에서의 반감기는 전나무 낙엽은 4.4년, 소나무가 5.3년으로 분해가 완만하고, 잣나무와 낙엽송은 각각 3.6년 및 2.7으로 중간이며 참나무, 아까시나무 및 서나무는 각각 2.6년 2.0년 및 1.8년으로 분해가 왕성하다고 보고하였으며, Kim과 Chang(1966)은 참나무림이 소나무림보다 낙엽의 분해가 빠르다고 보고하였는데, 본 연구 결과에서도 참나무림이 송백림보다 낙엽의 분해가 빠르게 진행되는 것으로 나타났다. 또한 아까시나무림은 참나무림보다 낙엽의 분해가 빠른 것으로 나타났다.

리기다소나무림의 경우, 관악산에서는 $k=0.134$ (Chang and Ko, 1982) 및 $k=0.191$ (Chang and Park, 1986)로 보고한 바 있는데, 본 연구결과에 의하면 모악산에서는 $k=0.262$ 로서 관악산보다 높게 나타났다. 이는 기온과 강수량의 차이 때문인 것으로 생각된다.

Chang과 Park(1986)은 지리산 고도 1,300m에서의 전나무림의 k 값이 $k=0.099$ 라고 보고하였는데, 본 연구 결과 전나무와 같은 속에 속하는 구상나무림의 k 값(0.104)과 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

또한 Chang과 Park(1986)은 지리산 고도 360~650m에서의 소나무림의 반감기가 5.250년, 지리산 고도 500m에서의 잎갈나무림의 반감기가 3.258년이라고 보고했는데, 본 연구 결과인 지리산 고도 650m에서의 참대나무림의 반감기는 4.660년으로서, 참대나무 낙엽은 소나무 낙엽보다는 빨리 분해되며, 잎갈나무 낙엽보다는 늦게 분해되는 것으로 나타났다. 전체적으로 볼 때 목본성 단자엽 식물은 침엽수종과 비슷한 속도로 분해된다고 생각된다.

낙엽의 분해 및 축적모델은 Table 4와 같다.

3. 무기양분 함량

Table 3. Parameters and times for decomposition of organic matter

Forest	Site	k	$1/k$	Half time $0.693/k$	95% time $3/k$	99% time $5/k$
<i>R. pseudoacacia</i>	Ch'ŏnju	0.549	1.823	1.263	5.469	9.115
<i>Q. acutissima</i>	Mt. Naejang	0.293	3.413	2.365	10.239	17.065
	Mt. Kongjak	0.303	3.305	2.290	9.915	16.525
<i>Q. mongolica</i>	Mt. Naejang	0.301	3.324	2.303	9.972	16.620
	Mt. Moak	0.294	3.399	2.356	10.197	16.995
<i>Ph. reticulata</i>	Mt. Chiri	0.149	6.725	4.660	20.175	33.625
<i>P. rigida</i>	Mt. Moak	0.262	3.816	2.644	11.448	19.080
<i>P. thunbergiana</i>	Ch'ŏllip'o	0.146	6.854	4.750	20.562	34.270
<i>A. koreana</i>	Mt. Chiri	0.104	9.666	6.699	28.998	48.330

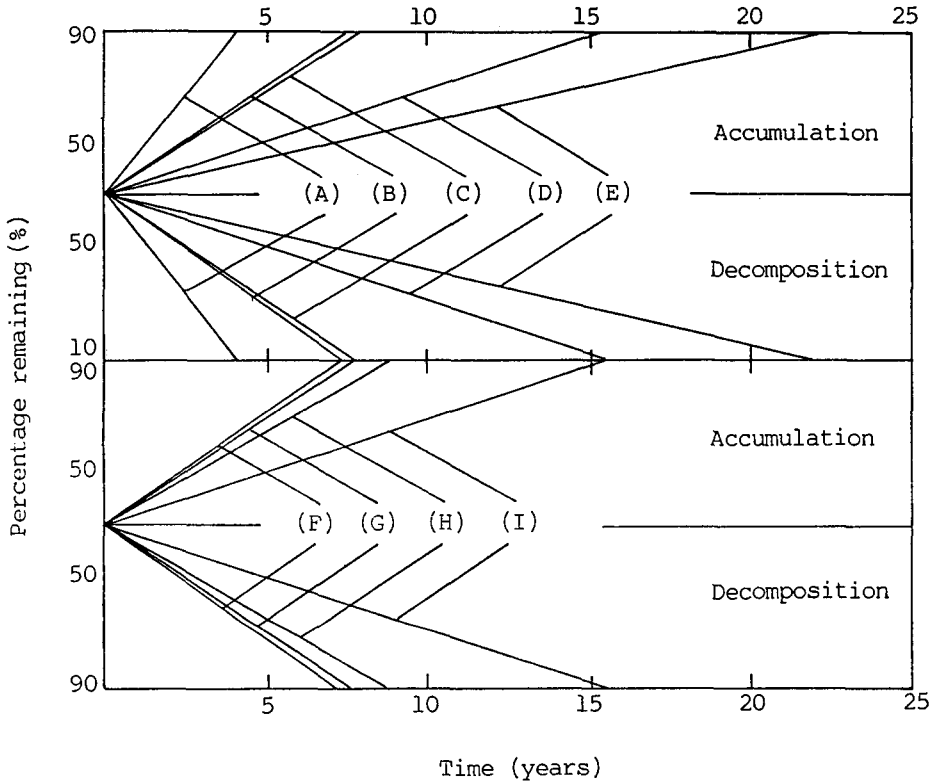


Fig. 2. Fractional decomposition and accumulation of litters.
 (A) *R. pseudoacacia* of Chŏnju (F) *Q. acutissima* of Mt. Kongjak
 (B) *Q. mongolica* of Mt. Naejang (G) *Q. mongolica* of Mt. Moak
 (C) *Q. acutissima* of Mt. Naejang (H) *P. rigida* of Mt. Moak
 (D) *Ph. reticulata* of Mt. Chiri (I) *P. thunbergiana* of Ch'ŏllip'o
 (E) *A. koreana* of Mt. Chiri

Table 4. The decay and accumulation models of litter samples

Forest	Site	Decay model	Accumulation model
<i>R. pseudoacacia</i>	Chŏnju	$C = 308.02 e^{-0.549t}$	$C = 308.02 (1 - e^{-0.549t})$
<i>Q. acutissima</i>	Mt. Naejang	$C = 877.33 e^{-0.293t}$	$C = 877.33 (1 - e^{-0.293t})$
	Mt. Kongjak	$C = 1829.55 e^{-0.303t}$	$C = 1829.55 (1 - e^{-0.303t})$
<i>Q. mongolica</i>	Mt. Naejang	$C = 970.93 e^{-0.301t}$	$C = 970.93 (1 - e^{-0.301t})$
	Mt. Moak	$C = 526.40 e^{-0.294t}$	$C = 526.40 (1 - e^{-0.294t})$
<i>Ph. reticulata</i>	Mt. Chiri	$C = 497.70 e^{-0.149t}$	$C = 497.70 (1 - e^{-0.149t})$
<i>P. rigida</i>	Mt. Moak	$C = 957.07 e^{-0.262t}$	$C = 957.07 (1 - e^{-0.262t})$
<i>P. thunbergiana</i>	Ch'ŏllip'o	$C = 996.12 e^{-0.146t}$	$C = 996.12 (1 - e^{-0.146t})$
<i>A. koreana</i>	Mt. Chiri	$C = 1874.85 e^{-0.104t}$	$C = 1874.85 (1 - e^{-0.104t})$

낙엽의 분해속도와 무기양분과의 관계를 살펴보기 위하여 낙엽의 총질소 함량과 유효 인, 칼륨, 칼슘, 나트륨의 함량을 조사하였는데 그 결과는 Table 5 및 Table 6과 같다.

낙엽층의 총질소함량은 아까시나무림이 1.703%로 가장 높았고, 곰솔나무림이 0.494%로 가장 낮았다.

집적층의 총질소함량은 공작산 상수리나무림이 2.280%로 가장 높았으며, 곰솔나무림이 0.351%로 가장 낮았다.

유효인, 칼륨, 칼슘 및 나트륨의 함량은 수종별로 유의한 차이를 보이지 않았다.

토양 유기물은 분해에 관여하는 토양 생물에 의하여 분해되어 무기물로 환원되는데, 그 분해속도는 수종과 토양조건에 따라 달라지며 그 결과 토양으로 환원되는 무기양분의 양에도 차이가 생긴다고 보고된 바 있다(Daubenmire, 1953; Greenland and Nye, 1959; Kim and Chang, 1965; Lousier and Parkinson, 1975).

상수리나무림의 경우, 공작산이 내장산보다 기온이 낮고 고도가 높음에도 불구하고 유의수준 0.01에서 k 값이 더 높게 나타난 것은 C_{ss} 층의 총 질소함량의 차이 때문인 것으로 생각된다.

한편, Kim과 Chang(1966, 1967)은 소나무 낙엽과 참나무 낙엽의 분해속도의 차이는 낙엽에 함유되어 있는 미생물의 먹이와 관계되는 원소 N, P의 양적차와 resin과 같은 비수용성 물질 때문이라고 주장하였다. 본 연구 결과로는 아까시나무, 참나무, 소나무 낙엽의 질소함량은 분해상수 k 와 정상관계를 보이고 있으나 인함량과는 상관관계가 없는 것으로 나타났으며, 대나무 낙엽과 구상나무 낙엽은 참나무 낙엽보다 질소함량이 많음에도 불구하고 k 값이 참나무림보다 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 낙엽분해속도를 결정하는데 있어서 영양원소의 함량보다는 기

Table 5. The contents of N and P in litter samples

Forest	Site	Horizon	Total N (%)	Total N (g/m ²)	Available P (%)	Available P
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Chönju	L	1.703	12.500	0.235	1.726
		C _{ss}	0.856	18.250	0.095	2.025
<i>Quercus acutissima</i>	Mt. Naejang	L	0.959	6.689	0.277	1.928
		C _{ss}	0.743	30.114	0.111	4.498
<i>Quercus mongolica</i>	Mt. Kongjak	L	0.884	13.859	0.266	4.176
		C _{ss}	1.280	52.988	0.244	10.087
<i>Quercus mongolica</i>	Mt. Naejang	L	0.913	7.155	0.236	1.845
		C _{ss}	0.755	29.405	0.114	4.431
<i>Phyllostachys reticulata</i>	Mt. Chiri	L	1.049	1.795	0.202	0.345
		C _{ss}	1.051	19.652	0.185	3.455
<i>Rinus rigida</i>	Mt. Moak	L	0.500	3.113	0.213	1.327
		C _{ss}	0.582	24.816	0.085	3.627
<i>Pinus thunbergiana</i>	Ch'öllip'o	L	0.494	1.522	0.243	0.750
		C _{ss}	0.351	19.663	0.069	2.882
<i>Abies koreana</i>	Mt. Chiri	L	1.329	5.412	0.281	1.143
		C _{ss}	1.140	90.858	0.096	7.658

Table 6. The contents of available K, Ca and Na in litter samples

Forest	Site	Horizon	K (%)	K (g/m ²)	Ca (%)	Ca (g/m ²)	Na (%)	Na (g/m ²)
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Chōnju	<i>C</i>	0.080	0.584	0.366	2.687	0.021	0.157
		<i>Lss</i>	0.036	0.774	0.168	3.576	0.014	0.301
<i>Quercus acutissima</i>	Mt. Naejang	<i>L</i>	0.093	0.651	0.346	2.409	0.038	0.262
		<i>Css</i>	0.050	2.018	0.362	14.655	0.032	1.301
	Mt. Kongjak	<i>L</i>	0.074	1.156	0.337	5.285	0.032	0.499
		<i>Css</i>	0.076	3.145	0.691	28.606	0.041	1.700
<i>Quercus mongolica</i>	Mt. Naejang	<i>L</i>	0.076	0.592	0.327	2.562	0.036	0.278
		<i>Css</i>	0.051	1.990	0.188	7.319	0.031	1.192
	M. Moak	<i>L</i>	0.083	0.341	0.528	2.174	0.041	0.170
		<i>Css</i>	0.053	1.153	0.424	9.161	0.030	0.640
<i>Phyllostachys reticulata</i>	Mt. Chiri	<i>L</i>	0.093	0.159	0.055	0.093	0.026	0.045
		<i>Css</i>	0.065	1.209	0.280	5.233	0.020	0.374
<i>Pinus rigida</i>	Mt. Moak	<i>L</i>	0.049	0.303	0.152	0.942	0.025	0.156
		<i>Css</i>	0.033	1.421	0.195	8.307	0.028	1.203
<i>Pinus thunbergiana</i>	Ch'ōllip'o	<i>L</i>	0.080	0.246	0.207	0.637	0.059	0.183
		<i>Css</i>	0.036	2.023	0.159	8.908	0.024	1.349
<i>Abies koreana</i>	Mt. Chiri	<i>L</i>	0.099	0.403	0.356	1.450	0.030	0.122
		<i>Css</i>	0.057	4.519	0.349	27.869	0.036	2.868

은, 강수량 등의 기후요인과 resin같은 비수용성 물질이 더 크게 작용하는 것을 시사해준다.

적 요

우리나라 주요 삼림수종 중 상수리나무, 신갈나무, 아까시나무, 리기다소나무, 구상나무, 참대나무, 곰솔나무림에서의 낙엽의 생산과 분해율을 측정하고, 낙엽 및 토양에 함유되어 있는 무기양분의 함량을 분석하여 이들 상호간의 관계를 조사하였는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연간 낙엽생산량은 전반적으로 봄 때 낙엽활엽수가 가장 많았고 다음은 침엽수, 목본성, 단자엽식물의 순이었다.
2. 낙엽의 분해상수는 아까시나무림이 $k=0.549$ 로 가장 컸으며 다음은 참나무속(상수리나무, 신갈나무)이 $k=0.293\sim 0.303$ 으로 비교적 컸으며 구상나무림이 $k=0.104$ 로 가장 작았다.
3. 낙엽의 분해속도는 아까시나무 낙엽이 반감기가 1.263년으로 가장 왕성하게 분해되었고, 다음은 참나무속 낙엽이 2.290~2.365, 리기다소나무 낙엽이 2.644년으로 비교적 빨리 분해되었으며, 참대나무, 곰솔나무, 구상나무 낙엽이 각각, 4.660년, 4.750년, 6.699년으로 분해가 완만하였다.
4. 아까시나무, 참나무속, 소나무속의 경우, 낙엽의 총질소 함량 및 질소의 연간 임상 유입량은 분해상수 k 에 비례하는 경향을 보이고 있으나, 인, 칼륨, 칼슘, 나트륨의 함량 및 연간 임상 유입량은 분해상수 k 와 무관하게 나타났다.

인용문헌

1. 박봉규, 김준민, 장남기. 1970. 광릉 및 오대산의 주요 산림식물의 에너지 및 양분순환에 대하여. 한국생활과학연구원 논총, 4: 49-59.
2. 박봉규, 이인숙. 1980. 광릉의 잎갈나무와 졸참나무 낙엽의 분해에 미치는 잎의 영양함량과 입지의 영향. 한국식물학회지, 23:(2):45-48.
3. 이인숙. 1980. 남한의 산림 생태계에 있어서의 낙엽의 분해모델. 이화여자대학교 대학원 생물과 박사학위 청구논문.
4. 장남기, 오인혜. 1982. 광릉의 참나무림에 있어서 방위에 따른 낙엽의 분해와 축적. 과학교육 연구논총, 7(1): 69-78.
5. 정미애. 1986. 고도에 따른 낙엽의 생산과 분해에 관한 연구. 서울대학교 대학원 과학교육과 석사학위 청구논문.
6. 중앙기상대. 1972~1986. 기상연보 : 연평균기온 및 연총강수량.
7. 한국생화학회. 1979. 실험생화학: 83-84. 탐구당. 서울
8. Aliev. 1960. Soil condition and plant growth. Longmans : New York.
9. Brinson, M. 1977. Decomposition and nutrient exchange of litter in an alluvial swamp forest. Ecology, 58: 601-609.
10. Chang, N. K. and Y. D. Rim. 1968. Studies on micribial population affecting the decomposition of fir litter. the Korean Journal of Microbiology, 6(3): 6399.
11. Chang, N. K. and H. H. Ko. 1982. Turnover rates of mineral nutrients of litters under *Pinus koraiensis* and *Pinus rigida* forests. Korean J. Ecology, 5(1) :28-32.
12. Chang, N. K. and I. J. Kim. 1983. A study of the matter production and decomposition of *Quercus serrata* and *Carpinus laxiflora* forests at Piagol in Mt. Jiri. Korean J. Ecology, 6(3): 198-207.
13. Chang, N. K. and N. C. Park. 1986. A study on the production and decomposition of litters of pine forests in south Korea. Korean J. Ecology, 6(3): 198-207.
14. Chang, N. K. and S. E. Han. 1986. A study on the production and decomposition of litters of evergreen broadleaved forests in Haenam and Kōje-do. Korean J. Ecology, 8 (3): 163-169.
15. Chapman, S. B. 1976. Methods in plant ecology. Blackwell Sci. Pub., 412-466.
16. Daubenmire, R. 1953. Nutrient content of leaf litter of trees in the Northern Rocky Mountains. Ecology, 34: 786-793.
17. Greenland, D. J. and P. J. Nye. 1959. Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. Soil Sci., 10: 285-299.
18. Howard, D. W and P. T. A. Howard. 1974. Microbial decomposition of trees and shrub leaf litter. Oikos, 25: 341-352.
19. Jenny, H., S. P. Gesel and E. T. Bingham. 1949. Comparative study of decomposition rate of organic matter in temperate and tropical regiona. Soil Sci., 68: 419-432.
20. Kim, C. M. and N. K. Chang. 1965. The decomposititon rate of litter affecting the

- amount of mineral nutrients of forest soil in Korea. *Bulletin of the Ecology Soc. Am.* Sep. 14.
21. Kim, C. M. and N. K. Chang. 1966. The decomposition rate of pine and oak litters affecting the amount of mineral nutrients of forest soil in Korea. *Seoul University Journal.*, 17: 83-92.
 22. Kim, C. M. and N. K. Chang. 1967. On the decay rate of soil organic matter and changes of soil microbial population. *The Korean Journal of Botany*, 10(1): 21-30.
 23. Lousier, J. D. Parkinson. 1975. Litter decomposition in a cool temperate deciduous forest. *Can. J. Bot.*, 54: 419-436.
 24. Minderman, G. 1968. Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forest. *J. Ecol.*, 2:355-362.
 25. Olson, J. S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44: 322-331.
 26. Shanks, R. E. and J. S. Olson. 1961. First-year breakdown of leaf-litter in Southern Appalachian forest. *Science*, 134: 194-195.

