Korean J. Ecol. 9(2) : 79~90, 1986

南韓의 松柏林에 있어서 낙엽의 生産과 分解에 관한 연구

張 楠 基·朴 相 昌
(서울大學校 師範大學 生物敎育科)

A Study on the Production and Decomposition of Litters of Pine Forests in South Korea

Chang, Nam-Kee and Nam-Chang Park
(Dept. of Biology, College of Education, Seoul National University)

ABSTRACT

The production and decomposition of litters and nutrient cycling of forests were studied at the pine forests such as *Pinus densiflora, Pinus koraiensis, Pinus rigida, Pinus thunbergii, Abies holophylla* and *Larix kaempferi.*

The annual litter production of the *P. densiflora* forest was the most on Mt. Mudeung which was 620.75g/m² and the least on Mt. Halla which was 155.00g/m². The decay rate of litters was the highest at the *P. densiflora* forest on Mt. Mudeung which was $k=0.256$ and the lowest at the *P. densiflora* forest on Mt. Halla and *A. holophylla* on Mt. Jiri which were $k=0.099$. The half time of decomposition of litters was shortest at the *P. densiflora* forest on Mt. Mudeung and the longest at the *P. densiflora* on Mt. Halla and *A. holophylla* forests on Mt. Jiri. The average decay rate of the *L. kaempferi* forests which was $k=0.204$ was the highest and that of the *A. holophylla* forests which was $k=0.122$ was the lowest. The decay rate tended to decrease against increasing the altitude. The annual production of litters, the contents of mineral nutrients and the amounts of mineral nutrients inputted into the forest soil tended to increase in proportion to the decay rate, k.

서 론

생태계에서 생산자는 태양에너지를 이용하여 무기물을 유기물로 동화시켜 소비자와 분해자에게 먹이를 제공해준다. 이때 생산자에 의해 고정된 태양에너지는 생태계내에서 생활에너지로 소모되지만 물질적으로는 무기물에서 유기물로, 유기물에서 다시 무기물로 물질의 순환이 일어난다. 생태계의 경우 낙엽은 대부분 광합성기관의 유체로서 분해자의 중요한 에너지원이 되고 있다.

Ovington and Heitkamp(1960)은 낙엽은 임상에 축적된 유기물의 대부분을 구성한다고 보고하였으며 삼림의 물질 순환을 연구하기 위한 많은 수리적 모델들이 제시되었다(Jenny

et al., 1949; Olson, 1963; Minderman, 1968; Howard and Howard, 1974). 그중 Olson (1963)은 조사자료를 기초로 하여 낙엽의 축적과 분해를 유기 탄소량의 변화로 생각하여 負指數曲線모델을 제시하였다.

한편 Minderman(1968)은 당, 녹말 및 단백질과 같이 쉽게 분해되는 유기물과 셀룰로오스, 지방, 탄닌 및 리그닌처럼 분해가 느린 물질등이 낙엽을 구성하고 있기 때문에 낙엽의 분해곡선을 각 성분의 분해곡선의 합으로 보아 회귀지수곡선모델을 제시하였다.

그러나 많은 학자들이 분해율을 산출하는데 Olson(1963)의 負指數曲線모델을 이용하고 있다(Chang and Yoshida, 1973; Brinson, 1977; 張과 吳, 1982; Chang and Kim, 1983; Chang and Han, 1985).

본 연구에서는 우리나라의 대표 수종인 소나무과에 속하는 식물중에서 소나무(*Pinus densiflora*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 리기다소나무(*Pinus rigida*), 곰솔(*Pinus thunbergii*), 젓나무(*Abies holophylla*) 및 낙엽송(*Larix kaempferi*)림을 선정하여 환경요인에 따른 낙엽의 생산과 분해를 비교하여 남한의 송백림에서의 물질순환을 고찰해 보고자 한다.

재료 및 조사방법

조사지소의 개황 남한은 난온대기후구로서 연월 평균 기온은 10~18°C이며 연 평균강수량은 1,000~1,800mm로 겨울은 저온, 건조하며 여름은 고온, 다습한 기후를 나타낸다.

본 연구의 조사지소는 Fig. 1에 나타나 있으며 월 평균 기온, 연 평균 강수량, 위도 및 시료 채취 고도는 Table 1과 같다.

낙엽의 분해와 축적을 연구할 경우 Olson (1963)이 지적한 바와 같이 낙엽의 생산과 분해 그리고 물질 순환이 定常狀態에 도달한 삼림을 연구대상으로 택해야 한다. 본 연구에서 선정된 지역과 삼림은 잘 보존되어 거의 定常狀態에 도달한 것으로 판단된다.

조사방법 조사지소의 임상에 0.25×0.25m^{2}의 방형구를 설치하여 시료를 낙엽(Litter)과 집적층(Css)으로 양분하여 채취한 후 이를 밀봉하여 실험실로 운반하였다. 운반된 재료는 풍건시킨 후 분쇄기로 갈아 토양병에 보관하였다.

낙엽의 성분 분석은 다음과 같은 방법으로 실시하였다.

a) 시료의 건량은 105°C의 항온기에서 24시간 건조시킨 후 측정하였다(Chapman, 1976).

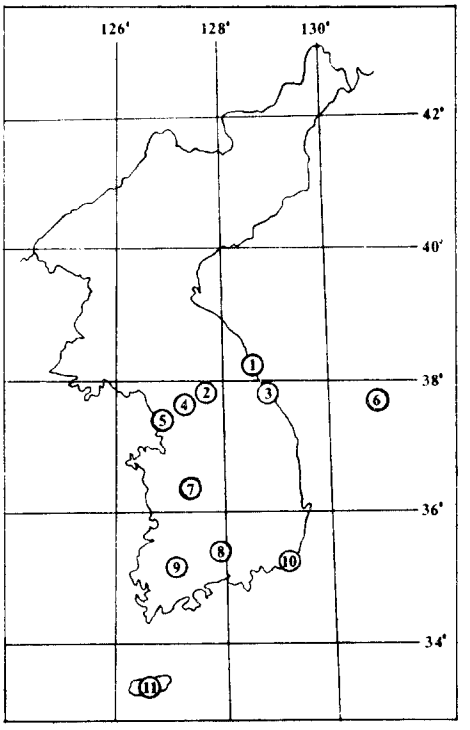

Fig. 1. Geographical map of studied areas.
① : Mt. Sŏrak ② : Chooncheon
③ : Mt. Otae ④ : Kwangneung
⑤ : Mt. Gwanak ⑥ : Ulleung do
⑦ : Mt. Sickjang ⑧ : Mt. Jiri
⑨ : Mt. Mudeung ⑩ : Mt. Gudŏk
⑪ : Mt. Halla

b) 유기물 함량은 500~550°C의 전기로에서 5시간 작열하여 그 소실량으로 측정하였으며 유기 탄소량은 작열소실량을 1.732로 나누어 구하였다.

c) 총 질소량은 micro-kjeldahl법에 의해 정량하였다(한국생화학회, 1979).

d) 인은 시료를 태워 완전 회화한 다음 standard molybdate법에 의해 spectrophotometer로 정량하였다(Chapman, 1976).

e) 칼륨 및 칼슘은 flame emission법에 의해 flamephotometer로 정량하였다(Chapman, 1976).

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

No.	Experimental site	Monthly mean temperature (°C)	Annual mean precipitation (mm)	Latitude	Forest	Altitude (m)
1	Mt. Sŏrak	11.9	1291	N 38°10′	*Pinus densiflora*	200~300
2	Chooncheon	10.5	1286	N 37°50′	*Pinus koraiensis*	300~350
3	Mt. Otae	9.6	1069	N 37°47′	*Abies holophylla*	800~1400
					Larix kaempferi	800~1400
4	Kwangneung	10.1	1169	N 37°45′	*Pinus densiflora*	180~200
					Pinus koraiensis	200~600
					Abies holophylla	200~600
					Larix kaempferi	200~600
5	Mt. Gwanak	11.6	1365	N 37°28′	*Pinus rigida*	150~200
6	Ulleung-do	12.0	1367	N 37°28′	*Pinus thunbergii*	150~200
7	Mt. Sickjang	11.8	1369	N 35°19′	*Pinus densiflora*	200~250
8	Mt. Jiri	13.4	1369	N 35°10′	*Pinus densiflora*	360~650
					Abies helophylla	1300
					Larix kaempferi	500
9	Mt. Mudeung	13.1	1316	N 35°08′	*Pinus densiflora*	550
10	Mt. Gudŏk	14.0	1466	N 35°07′	*Pinus thunbergii*	500~550
11	Mt. Halla	15.8	1718	N 33°21′	*Pinus densiflora*	1300

낙엽의 분해모델 Olson(1963)에 의하면 단위시간당 낙엽의 유기 탄소의 분해율을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dC}{dt}=L-k\,Css \quad \cdots\cdots(1)$$

이때 L은 연간 낙엽에 의한 유기 탄소의 생산량이며 Css는 임상에 축적된 유기 탄소량이고 k는 분해상수이다.

삼림이 steady state에 도달한 경우 (1)식은

$$L-k\,Css=0 \quad \cdots\cdots(2)$$

$$k=\frac{L}{Css} \quad \cdots\cdots(3)$$

한편 임상에 유입되는 낙엽이 없는 경우는

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

$$C=Coe^{-kt} \quad \cdots\cdots(5)$$

(단, $t=0$ 일때 $C=Co$)

축적된 유기 탄소의 반이 분해되는데 소요되는 시간, 즉 반감기는

$$t_{0.5}\fallingdotseq\frac{0.693}{k} \quad \cdots\cdots(6)$$

95% 및 99%가 분해되는데 소요되는 시간은 각각

$$t_{0.95}\fallingdotseq\frac{3}{k} \quad \cdots\cdots(7)$$

$$t_{0.99}\fallingdotseq\frac{5}{k} \quad \cdots\cdots(8)$$

이다.

결과 및 논의

낙엽 생산량 설악산, 춘천, 오대산, 광릉, 관악산, 울릉도, 식장산, 지리산, 무등산, 구덕산 및 한라산의 송백림에서의 연간 낙엽 생산량, 유기물량 및 유기 탄소량은 Table 2,

Table 2. The amounts of dry weight, organic matter and organic carbon in the litter samples in *Pinus densiflora* forests

Site	Horizon	Dry Weight (g/m^2)	Organic Matter (g/m^2)	Organic Carbon (g/m^2)
Mt. Sŏrak	*L*	375.22± 34.815	354.61± 30.957	204.74± 17.874
	Css	6310.34±796.788	2119.60±428.485	1223.79±247.394
Kwangneung	*L*	343.94± 24.822	327.00± 23.601	188.80± 13.626
	Css	5258.25± 87.864	2705.02± 45.202	1561.78± 26.097
Mt. Sickjang	*L*	406.84± 59.214	390.52± 60.085	225.47± 34.691
	Css	1896.55± 23.955	1178.07± 24.421	680.18± 14.100
Mt. Jiri	*L*	260.75± 35.25	255.41± 29.068	147.47± 16.783
	Css	2701.55±549.053	1682.62±353.880	971.49±204.319
Mt. Mudeung	*L*	620.75± 80.389	588.05± 77.724	339.52± 44.875
	Css	2909.26±126.876	1705.48±110.956	984.69± 64.063
Mt. Halla	*L*	155.00± 20.073	151.71± 20.052	87.59± 11.577
	Css	3612.05±157.525	1378.68± 89.700	796.01± 51.790

Table 3 및 Table 4와 같다. 소나무림의 경우 무등산의 낙엽 생산량이 620.75g/m² 로 가장 많았으며 다음은 식장산, 설악산, 광릉 및 지리산의 순이고 한라산이 155.00g/m² 로 가장 적었다. 이러한 차이는 한라산의 시료 채취 고도가 1,300m 로 다른 조사지소보다 월등히 높기 때문에 나타난 것으로 생각된다.

곰솔림에서는 부산의 구덕산이 울릉도보다 2배 이상의 생산량을 보이고 있다. 울릉도와 구덕산은 위도에서 2° 이상, 월 평균 기온이 2°C, 연 평균 강수량이 100mm 정도의 차이가 있는데 이러한 환경요인의 차이때문에 낙엽 생산량의 차이가 발생한 것으로 사료된다.

젓나무와 낙엽송림의 경우 낙엽의 생산량은 기온과 강수량에 반비례하는 경향을 나타내었다. 이것은 오대산의 기후가 다른 지역보다 젓나무와 낙엽송의 생장조건에 더 적합하기

Tabie 3. The amounts of dry weight, organic matter and organic carbon in the litter sample in *Pinus koraiensis*, *Pinus rigida* and *Pinus thunbergii* forests

Site	Forest	Horizon	Dry Weight (g/m^2)	Organic Matter (g/m^2)	Organic Carbon (g/m^2)
Chooncheon	*Pinus koraiensis*	*L*	283.20± 8.686	270.06± 8.283	155.92± 4.782
		Css	6536.52±118.949	1550.20± 28.210	895.04± 16.288
Kwangneung	*Pinus koraiensis*	*L*	380.56± 12.667	362.90± 11.126	209.53± 6.424
		Css	7942.74±144.569	1883.70± 34.286	1087.59± 19.796
Mt. Gwanak	*Pinus rigida*	*L*	692.90±142.812	682.30± 137.628	393.94± 79.462
		Css	4805.10±306.963	2889.20± 201.031	1668.13±116.069
Ulleung-do	*Pinus thunbergii*	*L*	301.54± 46.370	290.37± 44.742	167.65± 25.832
		Css	2148.53±596.479	1351.54± 414.880	780.33±239.538
Mt. Gudŏk	*Pinus thunbergii*	*L*	636.17± 92.460	587.75± 85.235	339.35± 49.212
		Css	5665.77±1436.935	3841.57±1147.461	2218.00±662.506

Table 4. The amounts of dry weight, organic matter and organic carbon in the litter samples in *Abies holophylla* and *Larix kaempferi* forests

Site	Forest	Horizon	Dry Weight (g/m^2)	Organic Matter (g/m^2)	Organic Carbon (g/m^2)
Mt. Otae	*Abies holophylla*	*L*	364.26± 29.549	348.00± 28.233	200.92± 16.301
		Css	8885.20±293.591	2442.60± 80.714	1410.28± 46.602
Kwangneung	*Abies holophylla*	*L*	292.14± 6.933	279.10± 6.624	161.14± 3.824
		Css	6476.74± 56.517	1780.50± 15.537	1028.00± 8.971
Mt. Jiri	*Abies holophylla*	*L*	159.70± 12.960	152.57± 12.381	88.09± 7.148
		Css	5061.50±167.228	1391.44± 45.972	803.37± 26.543
Mt. Otae	*Larix kaempferi*	*L*	489.84± 60.971	436.10± 54.282	251.79± 31.341
		Css	5125.62±125.911	1755.30± 43.119	1013.45± 24.896
Kwangneung	*Larix kaempferi*	*L*	275.04± 4.032	249.50± 3.658	144.05± 2.112
		Css	2845.19± 47.012	986.60± 16.302	569.63± 9.412
Mt. Jiri	*Larix kaempferi*	*L*	311.00± 38.709	298.08± 37.101	172.10± 21.421
		Css	3079.80± 75.656	1103.19± 27.100	636.95± 15.647

때문인 것으로 생각된다.

朴(1970)등과 李(1980)에 의하면 기후와 고도가 같은 경우, 잎의 현존량은 침엽수림이 낙엽수림보다 많지만 낙엽의 생산량은 낙엽수림이 침엽수림보다 많다고 보고되었다. 朴(1970)등은 광릉의 떡갈나무림이 344g/m^2, 서나무림이 275.6g/m^2로 보고하였고 Chang and Kim(1983)은 지리산의 졸참나무림이 338.3g/m^2, 서나무림이 298.2g/m^2로 보고하였으나 본 연구결과와는 고도의 차이로 비교하기 어려우나 별 차이는 없는 것으로 사료된다.

유기물의 분해 낙엽의 분해속도는 낙엽의 생산량과 임상에 축적된 유기물의 비에 의하여 결정되며 Olson(1963)의 모델에 의해 계산한 분해상수와 분해시 소요되는 시간은 Table 5와 Fig. 2에서 보는 바와 같다.

소나무림의 경우 무등산의 분해상수는 k=0.256으로 가장 크며 식장산은 k=0.249이고

Table 5. Parameters and times for decompostion of organic matter

Site	Forest	k	$1/k$	Half time $0.693/k$	95% time $3/k$	99% time $5/k$
Mt. Sŏrak	*P. densiflora*	0.143	6.993	4.846	20.979	34.965
Kwangneung	*P. densiflora*	0.108	9.259	6.417	27.778	46.296
Mt. Sickjang	*P. densiflora*	0.249	4.016	2.783	12.048	20.080
Mt. Jiri	*P. densiflora*	0.132	7.576	5.250	22.727	37.879
Mt. Mudeung	*P. densiflora*	0.256	3.906	2.707	11.719	19.531
Mt. Halla	*P. densiflora*	0.099	10.101	7.000	30.303	50.505
Chooncheon	*P. koraiensis*	0.148	6.740	4.671	20.221	33.702
Kwangneung	*P. koraiensis*	0.162	6.191	4.260	18.572	30.953
Mt. Gwanak	*P. rigida*	0.191	5.234	3.627	15.703	26.172
Ulleung-do	*P. thunbergii*	0.177	5.655	3.919	16.964	28.273
Mt. Gudŏk	*P. thunbergii*	0.133	7.536	5.222	22.608	37.680
Mt. Otae	*A. holophylla*	0.125	8.000	5.544	24.000	40.000
Kwangneung	*A. holophylla*	0.136	7.353	5.096	22.059	36.765
Mt. Jiri	*A. holophylla*	0.099	10.101	7.000	30.303	50.505
Mt. Otae	*L. kaempferi*	0.199	5.025	3.482	15.075	25.125
Kwagneung	*L. kaempferi*	0.202	4.954	3.433	14.863	24.772
Mt. Jiri	*L. kaempferi*	0.213	4.701	3.258	14.103	23.505

한라산은 k=0.099로 가장 낮았다. Shanks and Olson(1961)은 고도가 높아짐에 따라 낙엽의 분해가 느려진다고 보고하였는데 한라산의 경우 이에 일치하고 있다. 광릉의 소나무림은 시료 채취 고도가 180~200m로 상당히 낮은데도 불구하고 분해상수는 k=0.108로 분해가 느린 것으로 나타났다. Fogel and Cromack(1977)은 분해에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 강수량이라고 보고하였는데 광릉의 연 평균 강수량은 1,169mm로 소나무 조사지소중 가장 낮은 지역으로서 강수량에 의한 영향이라는 것을 알 수 있다.

젓나무림에서는 광릉이 k=0.136이었으며 지리산이 k=0.099로 나타났는데 이러한 차이는 고도에 기인한 것으로 생각된다. 잣나무, 곰솔 및 낙엽송림에서는 지역에 따른 차이는 별로 없으나 대체로 고도에 반비례하는 경향을 보이고 있다. 이러한 고도의 차이는 기온의 감소를 유발하여 낙엽의 분해와 축적에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

유기물이 분해되는데 소요되는 시간은 분해상수 k에 반비례하며 반감기를 비교하면 무

Table 6. The decay and accumulation models of litters of *P. densiflora* forests

Site	Decay Model	Accumulation Model
Mt. Sŏrak	$C=1223.79e^{-0.143t}$	$C=1223.79(1-e^{-0.143t})$
Kwangneung	$C=1561.78e^{-0.108t}$	$C=1561.78(1-e^{-0.108t})$
Mt. Sickjang	$C=680.18e^{-0.249t}$	$C=680.18(1-e^{-0.249t})$
Mt. Jiri	$C=971.49e^{-0.132t}$	$C=971.49(1-e^{-0.132t})$
Mt. Mudeung	$C=984.69e^{-0.256t}$	$C=984.69(1-e^{-0.256t})$
Mt. Halla	$C=796.01e^{-0.099t}$	$C=796.01(1-e^{-0.099t})$

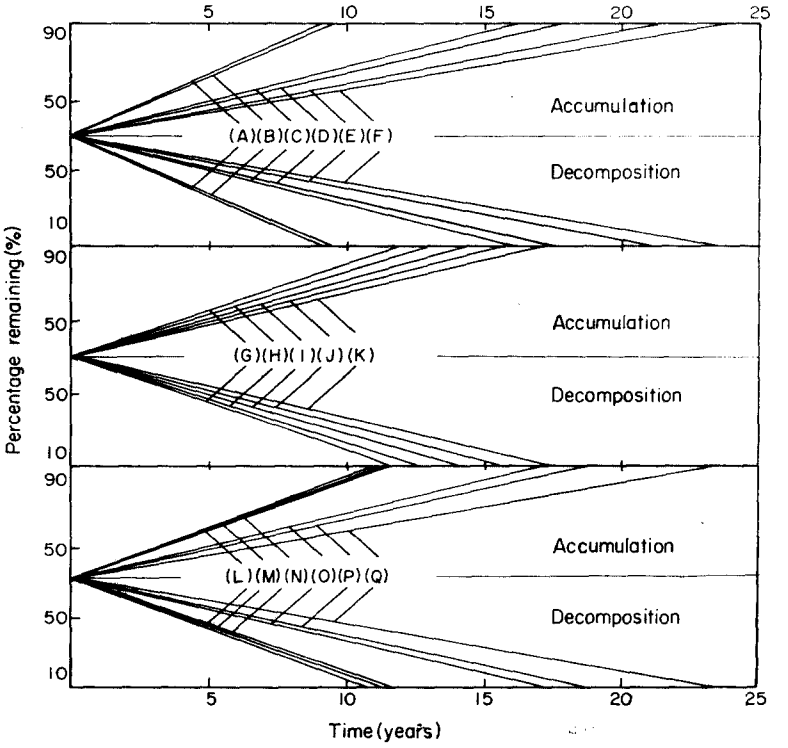

Fig. 2. Fractional decompostion and accumulation of litters.

(A) : *P. densiflora* of Mt. Mudeung
(B) : *P. densiflora* of Mt. Sickjang
(C) : *P. densiflora* of Mt. Sŏrak
(D) : *P. densiflora* of Mt. Jiri
(E) : *P. densiflora* of Kwangneung
(F) : *P. densiflora* of Mt. Halla
(G) : *P. rigida* of Mt. Gwanak
(H) : *P. thunbergii* of Ulleung-do
(I) : *P. koraiensis* of Kwangneung.
(J) : *P. koraiensis* of Chooncheon
(K) : *P. thunbergii* of Mt. Gudŏk
(L) : *L. kaempferi* of Mt. Jiri
(M) : *L. kaempferi* of Kwangnneung
(N) : *L. kaempferi* of Mt. Otae
(O) : *A. holophylla* of Kwangeung
(P) : *A. holophylla* of Mt. Otae
(Q) : *A. holophylla* of Mt. Jiri

Table 7. The decay and accumulation models of litters of *P. koraiensis*, *P. rigida* and *P. thunbergii* forests

Site	Forest	Decay Model	Accumulation Model
Chooncheon	*P. koraiensis*	$C= 895.04e^{-0.148t}$	$C= 895.04(1-e^{-0.148t})$
Kwangneung	*P. koraiensis*	$C=1087.59e^{-0.162t}$	$C=1087.59(1-e^{-0.162t})$
Mt. Gwanak	*P. rigida*	$C=1668.13e^{-0.191t}$	$C=1668.13(1-e^{-0.191t})$
Ulleung-do	*P. thunbergit*	$C= 780.33e^{-0.177t}$	$C= 780.33(1-e^{-0.177t})$
Mt. Gudŏk	*P. thunbergii*	$C=2218.00e^{-0.133t}$	$C=2218.00(1-e^{-0.133t})$

등산의 소나무림이 2.707년으로 가장 짧고 한라산의 소나무와 지리산의 젓나무림이 7.000년으로 가장 많은 시간이 소요되는 것으로 나타났다.

그러나 삼림별로 살펴보면 낙엽송림의 반감기는 3.258~3.482년으로 가장 짧으며 젓나무림이 5.096~7.000년으로 가장 길게 나타났다.

낙엽의 분해 및 축적모델은 Table 6, Table 7 및 Table 8과 같다.

Table 8. The decay and accumulation models of litters of *A. holophylla* and *L. kaempferi* forests

Site	Forest	Decay Model	Accumulation Model
Mt. Otae	*A. holophylla*	$C=1410.28e^{-0.125t}$	$C=1410.28(1-e^{-0.125t})$
Kwangneung	*A. holophylla*	$C=1028.00e^{-0.136t}$	$C=1028.00(1-e^{-0.136t})$
Mt. Jiri	*A. holophylla*	$C=803.37e^{-0.099t}$	$C=803.37(1-e^{-0.099t})$
Mt. Otae	*L. kaempferi*	$C=1013.45e^{-0.199t}$	$C=1013.45(1-e^{-0.199t})$
Kwangneung	*L. kaempferi*	$C=569.63e^{-0.202t}$	$C=569.63(1-e^{-0.202t})$
Mt. Jiri	*L. kaempferi*	$C=636.95e^{-0.213t}$	$C=636.95(1-e^{-0.213t})$

수종별 낙엽의 생산과 분해 수종에 따른 낙엽의 생산과 분해를 비교하기 위하여 수종별 평균을 구하였다. Table 9에서 보는 바와 같이 연간 낙엽의 생산량은 곰솔림이 468.86g/m², 소나무림이 360.42g/m², 낙엽송림이 358.63g/m²이었으며 젓나무림이 272.04g/m²로 가장 적었다.

수종별 평균 분해상수 및 분해시 소요되는 시간은 Table 10과 Fig. 3에서 보는 바와 같으며 낙엽송림이 $k=0.204$로 가장 컸으며 곰솔림이 $k=0.176$, 소나무림이 $k=0.161$이었으며 젓나무림이 $k=0.122$로 분해가 가장 느린 것으로 나타났다. 또한 낙엽송을 제외하고는 낙엽의 생산량과 분해상수 k는 거의 비례하는 경향을 나타내었다.

Table 9. The mean amounts of dry weight, organic matter and organic carbon in the litter samples of experimental forests

Forest	Horizon	Dry Weight (g/m²)	Organic Matter (g/m²)	Organic Carbon (g/m²)
P. densiflora	*L*	360.42	344.55	198.93
	Css	3781.33	1794.91	1036.32
P. koraiensis	*L*	331.88	316.48	182.72
	Css	7239.63	1716.95	991.31
P. rigida	*L*	692.90	682.30	393.94
	Css	4805.10	2889.20	1668.13
P. thunbergii	*L*	468.86	439.06	253.50
	Css	3907.15	2065.97	1192.82
A. holophylla	*L*	272.04	259.89	150.05
	Css	6807.80	1871.51	1080.55
L. kaempferi	*L*	358.63	327.89	189.31
	Css	3683.54	1281.70	740.01

朴(1970)등은 광릉의 떡갈나무림이 k=0.281, 서나무림이 k=0.367이라 보고하였으며 Chang and Kim(1983)은 지리산의 졸참나무림이 k=0.301, 서나무림이 k=0.364로 보고하였는데 본 연구대상인 송백림의 분해상수보다 큰 것으로 나타나고 있다. 이것은 Kim and Chang(1975)에 의한 참나무림이 소나무림보다 낙엽의 분해가 빠르다는 보고와 일치하고 있다.

Table 10. The mean parameters and times for decomposition of organic matter

Forest	k	$1/k$	Half time $0.693/k$	95% time $3/k$	99% time $5/k$
P. densiflora	0.161	6.209	4.303	18.628	31.047
P. koraiensis	0.156	6.425	4.453	19.276	32.126
P. rigida	0.191	5.234	3.627	15.703	26.172
P. thunbergii	0.176	5.705	3.954	17.116	28.527
A. holophylla	0.122	8.201	5.683	24.604	41.006
L. kaempferi	0.204	4.909	3.402	14.727	24.545

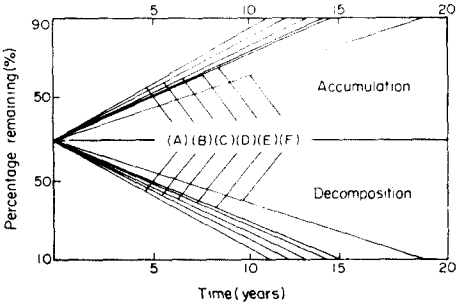

Fig. 3. Mean fractional decomposition and accumulation of litters of experimental forests.
(A) : *L. kaempferi* (B) : *P. rigida*
(C) : *P. thunbergii* (D) : *P. densiflora*
(E) : *P. koraiensis* (F) : *A. holophylla*

또한 Chang and Han(1985)은 해남에서 상록활엽수림인 동백나무림이 k=0.313, 붉가시나무림이 k=0.287 그리고 상록침엽수림인 삼나무림이 k=0.249, 편백나무림이 k=0.264로 보고하였다. 이러한 결과를 살펴보면 남한에서는 낙엽수림, 상록활엽수림 및 다른 상록침엽수림보다 송백림에서의 낙엽의 분해가 느리게 진행됨을 알 수 있다.

한편 Mikola(1960)는 South Finland의 *Pinus* 낙엽이 k=0.43, North Finland에서는 k=0.31이라 보고했고 Cromack(1973)은 *Pinus strobus* 림이 k=0.42~0.52, Sollins (1973)등은 *Pinus* spp. 림이 k=0.45~0.58로 보고하였으나 지역과 삼림형의 차이로 본 연구결과와는 비교하기 어렵다. 수종별 낙엽의 분해와 축적모델은 Table 11과 같다.

Table 11. The decay and accumulation models of experimental forests

Forest	Decay Model	Accumulation Model
P. densiflora	$C=1036.32e^{-0.161t}$	$C=1036.32(1-e^{-0.161t})$
P. koraiensis	$C=991.31e^{-0.156t}$	$C=991.31(1-e^{-0.156t})$
P. rigida	$C=1668.13e^{-0.191t}$	$C=1668.13(1-e^{-0.191t})$
P. thunbergii	$C=1192.82e^{-0.176t}$	$C=1192.82(1-e^{-0.176t})$
A. holophylla	$C=1080.55e^{-0.122t}$	$C=1080.55(1-e^{-0.122t})$
L. kaempferi	$C=740.01e^{-0.204t}$	$C=740.01(1-e^{-0.204t})$

물질순환 낙엽은 분해에 관여하는 토양 생물에 의해 무기물로 분해되며 그 분해속도는 수종과 토양조건에 따라 달라지며 그 결과 토양으로 환원되는 무기양분의 종류와 양에도 차이가 나타나게 된다(Daubenmire, 1953; Greenland and Nye, 1959; Kim and Chang, 1965; Chang and Rim, 1968; Lousier and Parkinson, 1975).

낙엽의 분해속도와 토양조건과의 관계를 살펴보기 위하여 낙엽의 총질소, 인, 칼륨 및 칼슘의 함량을 조사하였는데 그 결과는 Table 12과 같다.

Table 12. The mineral nutrient contents of litter samples

Forest	Total N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)
P. densiflora	1.044	0.029	0.046	0.747
P. koraiensis	0.980	0.025	0.090	0.590
P. rigida	0.490	0.012	0.051	0.715
P. thunbergii	1.000	0.027	0.132	0.407
A. holophylla	0.920	0.025	0.038	0.623
L. kaempferi	1.181	0.031	0.085	0.746

낙엽의 총 질소함량을 살펴보면 낙엽송낙엽이 1.181%, 소나무낙엽이 1.044%, 곰솔낙엽이 1.000%로 높은 편이며 인의 경우는 낙엽송낙엽이 0.031%, 소나무낙엽이 0.029% 그리고 곰솔낙엽이 0.027%로 나타났으며 리기다소나무를 제외하고는 분해상수 k와 일치하는 경향을 나타내고 있다.

Singh and Gupta(1977)는 질소와 인의 함량이 낙엽의 분해를 촉진한다고 보고하였는데 본 연구에서도 같은 결과를 보이고 있다.

Table 13은 무기물의 연간 임상 유입량을 나타내고 있으며 질소와 인의 경우 곰솔과 낙엽송림에서 가장 높았으며 졋나무림에서 가장 낮은 유입량을 보이고 있어 분해상수 k에 비례하는 경향을 보이고 있으나 칼륨과 칼슘은 분해상수와 무관하게 나타나고 있다.

朴(1970)등은 평형상태를 유지하는 삼림에서는 낙엽의 유기 탄소와 무기양분의 연 생산량은 임상에서의 연 분해량과 동일하다고 보고하였다. 따라서 연간 임상 유입량에 해당하는 무기물은 토양으로부터 다시 흡수되어 광합성기관에 축적됨을 알 수 있다.

Table 13. The amounts of mineral nutrients returned to soil annually

Forest	N (g/m^2)	P (g/m^2)	K (g/m^2)	Ca (g/m^2)
P. densiflora	3.761	0.105	0.167	2.692
P. koraiensis	3.252	0.083	0.299	1.958
P. rigida	3.395	0.083	0.353	4.954
P. thunbergii	4.689	0.127	0.169	1.908
A. holophylla	2.503	0.068	0.103	1.695
L. kaempferi	4.235	0.111	0.305	2.675

적 요

남한의 松柏林중 소나무, 잣나무, 리기다소나무, 곰솔, 젓나무 및 낙엽송림에서의 낙엽의 생산과 분해 그리고 물질 순환을 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 소나무림의 연간 낙엽 생산량은 무등산이 620.75g/m² 로 가장 많았으며 한라산이 155.00g/m² 로 가장 적었다.

2. 낙엽의 분해상수는 무등산의 소나무림이 k=0.256으로 가장 컸으며 한라산의 소나무림과 지리산의 젓나무림이 k=0.099로 가장 낮았다.

3. 낙엽의 분해 반감기는 무등산의 소나무림에서 2.707년으로 가장 짧고 한라산의 소나무림과 지리산의 젓나무림이 7.000년으로 가장 길었다.

4. 수종별 평균 분해상수는 낙엽송림이 k=0.204 로 가장 컸으며 젓나무림이 k=0.122 로 가장 낮았다.

5. 낙엽의 분해속도는 고도에 반비례하는 경향을 나타내며 연간 낙엽의 생산량, 무기물 함량 및 무기물의 연간 임상 유입량은 분해상수 k에 비례하는 경향을 나타내고 있다.

인 용 문 헌

박봉규 · 김준민 · 장남기. (1970). 광릉 및 오대산의 주요 삼림식물의 에너지 및 양분순환에 대하여. 한국생활과학연구원논총, **4** : 49~59.

장남기 · 오인혜. (1982). 광릉의 참나무림에 있어서 방위에 따른 낙엽의 분해와 축적. 과학교육연구논총, **71** : 69~78.

이인숙. (1980). 남한의 삼림 생태계에 있어서의 낙엽의 분해모델. 이화여자대학교 대학원 생물학과 박사학위청구논문, 19~25.

한국생화학회. (1979). 실험생화학. 탐구당, 서울, 83~84.

Brinson, M. (1977). Decomposition and nutrient exchange of litter in an alluvial swamp forest. Ecology, **5(8)** : 601~609.

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. The Korean Journal of Ecology, **6**(3) : 198~207.

Chang, N.K. and S.E. Han. (1985). A study on the production and decomposition of litters of evergreen broadleaved forests in Haenam and Kŏje-do. The Korean Journal of Ecology, **8**(3) : 163~169.

Chang, N.K. and Y.D. Rim. (1968). Studies on microbial population affecting the decomposition of fir litter. The Korean Journal of Microbiology, **6**(3) : 93~99.

Chang, N.K. and S. Yoshida. (1973). Studies on the gross metabolism in a *Sasa paniculate* type grassland. J. Japanese Soc. Grassland Sci., **19** : 341~357.

Chapman, S. B. (1976). Methods in plant ecology. Blackwell Sci. Pub., 412~466.

Cromack, K.J. (1973). Litter production and litter decomposition in mixed hardwood watershed and in a white pine watershed at Coweeta Hydrologic station. Ph. D. Thesis. Univ. of Georgia, North Carolina.

Daubenmire, R. (1953). Nutrient content of leaf litter of trees in the Nouthern Rocky Mountains. Ecology, **34** : 786~793.

Fogel, R. and K.J. Cromack. (1977). Effect of habitat and substrate quality on Douglas fir litter decomposition in Western Oregon. Can. J. Bot., **55** : 1632~1640.

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.

Howard, D.M. and P.T.A. Howard. (1974). Microbial decomposition of trees and shrub leaf litter. Oikos, **25** : 341~352.

Jenny, H., S.P. Gesel, and F.T. Bingham. (1949). Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. Soil Sci., **68** : 419~432.

Kim, C.M. and N.K. Chang. (1965). The decomposition rate of litter affecting the amount of mineral nutrients of forest soil in Korea. Bulletin of the Ecology, Soc. Am., Sep. 14.

Kim, C.M. and N.K. Chang. (1975). The decomposition rate of pine and oak litters affecting the amount of mineral nutrients of forest soil in Korea. A collection of themes and essays in commemoration of Ph. D. Kim Choon Min's 61st birthday, 104~111.

Lousier, J.D. and D. Parkinson. (1975). Litter decomposition in a cool temperate deciduous forest. Can. J. Bot., **54** : 419~436.

Minderman, G. (1968). Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. J. Ecol., **2** : 355~362.

Olson, J.S. (1963). Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology, **44** : 322~331.

Ovington, J.D. and D. Heitkamp. (1960). Accumulation of energy in forest plantations in Britain. J. Ecol., **48** : 639~646.

Shanks, R.E. and J.S. Olson. (1961). First-year breakdown of leaf-litter in Southern Appalachian forests. Science, **134** : 194~195.

Singh, J.S. and S.R. Gupta. (1977). Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. The Botanical Review, **43**(4) : 449~528.

Sollins, P., D.E. Reichle, and J.S. Olson. (1973). Organic matter budget and model for Southern Appalachian Liriodendron forest. U.S.A.E.C. Rep. No. EDFB-IBP-73-2, Oak Ridge Nat. Lab., Oak Ridge, Tennessee.

(1986年 1月 28日 接受)