

南韓의 森林生態系에 있어서의 落葉의 分解모델

朴 奉 奎 · 李 仁 淑

(梨花女子大學 生物學科)

A Model for Litter Decomposition of the Forest Ecosystem in South Korea

Park, Bong Kyu and In Sook Lee

(Dept. of Biology, Ewha Woman's University)

ABSTRACT

The present investigation was estimated the effect of temperature, precipitation, and time on the decomposition of litters with litter bags of *Pinus densiflora* and *Quercus mongolica* at Gure where elevation in 50m, and at Nogodan where elevation in 1300m on Mt. Jiri.

As the above results, decomposition model was proposed to relation of the environmental conditions.

And was investigated the production and decomposition of litters from the stands of various forest communities in Kwangneung, Mt. Jiri and Mt. Halla.

The results are as follows; The models for the decay of organic carbon (C) was as follows:

$$C = C_0 e^{-kt} \quad (\text{limiting factor: time})$$

$$C = C_0 e^{-k/T} \quad (\text{limiting factor: temperature})$$

$$C = C_0 e^{-k/P} \quad (\text{limiting factor: precipitation})$$

As observed in litter bag method, the decomposition rate of litter in *Pinus densiflora* was slower than that of *Quercus mongolica*. The higher elevation, the slower decomposition rate.

The decomposition of litters at Gure where elevation in 50m was equally influenced by temperature and precipitation. But at Nogodan where elevation in 1300m was much influenced by precipitation.

The decay constant of litters was larger in hardwood forest than in coniferous forest. In the same species, the more elevation, the less decomposition constant.

The annual litter production was higher in hardwood forest than in coniferous forest. In the same species, the higher elevation the less annual litter production.

The time required for the decay of 50%, 95%, 99% of the accumulated litters in the forest floor were faster in hardwood forest than in coniferous forest. In the same species, the higher elevation, the longer time required.

I. 서 론

삼림에서의 낙엽의 생산, 축적 및 분해는 삼림식물의 생산력과 토양조건에 잘 반영된다. 특히 삼림생태계에서 식물이 생산하는 낙엽은 소비자와 분해자의 영양이 되며 마침내는 무기물이 되어 다시 식물의 양분으로 쓰인다.

Ovington & Heitkamp(1960)에 의하면 이같이 낙엽은 임상유기물의 대부분을 이룬다고 한다. 그리하여 삼림의 물질순환을 연구하기 위해 낙엽의 분해와 축적에 관한 수리적 모델들이 만들어졌다.

Birshtein(1911)은 쌍곡선 모델($K = \frac{1}{t} 2.303 \log \frac{a}{a-x}$), Jenny *et al.*(1949)은 지수곡선 모델($F = Fe(1 - e^{-kt})$), Aliev(1960)는 이항곡선 모델($B_n = A_n(1-a)^{n-1}$), Olson(1963)은 멱지수곡선 모델(X/X_0

$= e^{-kt}$, Minderman(1968)은 회귀지수곡선의 합 $[K = K_0 \frac{1}{[1 + (p/100)]^r}]$, Howard & Howard(1974)는 회귀결근선 모델($W = A + B \cdot r^t$), 그리고 Bunnell & Tait(1974)는 두개의 지수곡선의 합($W(t) = W_1 e^{-r_1 t} + W_2 e^{-r_2 t}$)을 제시했다. 주축을 이루는 모델은 지수곡선 모델이며 그 이외의 것은 이것을 약간 변형하거나 발전시킨 것들이다. 이들중 가장 많이 쓰여지고 있는 것은 Olson(1963)의 지수곡선 모델이다.

우리나라에서는 Kim & Chang(1967), 張과 林(1968), 朴等(1970), 그리고 朴과 李(1980)등의 이에 관한 연구보고가 있다. 그러나 낙엽의 분해를 환경요인과 관련시켜서 연구한 예는 비교적 적은편이기 때문에 본 연구에서는 낙엽의 분해에 관한 제한요소로서 기온과 강수량 및 시간을 중요시하여 새로운 분해모델을 만들어 보기를 시도하였다. 그러기 위하여 지리산에 고도별로 낙엽주머니를 묻고 기온, 강수량 및 시간에 따른 낙엽의 분해를 조사하였다. 그리고 광능, 지리산 및 한라산에서 일갈나무, 출참나무, 소나무, 상수리나무, 전나무, 신갈나무, 서나무, 주목, 구상나무, 좁고채목등의 우리나라 주요삼림군락을 선정하여 낙엽의 생산과 분해를 비교 연구하였다.

II. 조사지역

남한은 전형적인 냉온대 기후로서 년 강수량은 1100~1800mm이며 이 중 50% 가량이 여름인 6, 7, 8월 중에 내린다. 년 평균기온은 10~18°C 이고 겨울은 춥고 여름은 습하고 덥다.

본 연구의 조사대상 지역의 지리적 위치, 기온, 강수량 및 토양형의 개황은 Table 1에 제시하였는데 그 내용은 아래와 같다.

1. 광능

광능은 북위 37°45', 동경 127°10'에 위치하여 조사지역중 가장 북쪽에 있으며 년 강수량은 1100~1200mm

이고 년평균기온은 10~11°C 이어서 강우량과 기온이 비교적 낮은 곳이다. 토양은 화강암에서 유래된 비교적 부식질이 많이 포함되어 있는 갈색토이며 토양층이 잘 발달되어 있다(Table 1).

2. 지리산

Table 1에서 보는바와 같이 지리산은 북위 35°10', 동경 127°25'에 위치하고 최고봉인 천왕봉은 고도 1915m이며 비교적 많은 원시림이 남아있는 지역이다. 이 지역의 년강수량은 1200~1500mm이며 년평균기온은 13~14°C 이어서 광능보다 강수량은 300mm 많고 기온은 3°C 높다. 표토의 두께는 약 20~80cm에 이르고 화강암을 모암으로 하는 적색토양이며 부식질 함량도 많다.

3. 한라산

한라산은 북위 33°21', 동경 128°30'에 위치하는 고도 1950m의 산으로 남한의 최남단인 제주도에도 있다. 이 지역의 년강수량은 1500~1800mm로 남한에서 가장 많으며 년평균기온은 15~16°C로 비교적 온난하다. 이 산은 화산암으로 구성된 휴식화산으로 토양은 대부분이 화산암과 약간의 퇴적암이 풍화되어 산화철이 풍부한 검은 색의 점식토이다.

III. 낙엽의 분해모델

Chang & Yoshida(1973)에 의하면 삼림의 임상에 축적된 낙엽의 유기물(C)의 분해는 기후(cl), 토양(s), 지세(r), 생물(o) 및 시간(t)과 함수관계에 있다고 했다.

$$C = f(cl, s, r, o, t) \dots\dots\dots(1)$$

Chang & Yoshida(1973)는 식(1)을 다음과 같이 유도하였다.

$$dC = \frac{\partial C}{\partial cl} dcl + \frac{\partial C}{\partial s} ds + \frac{\partial C}{\partial r} dr + \frac{\partial C}{\partial o} do + \frac{\partial C}{\partial t} dt \dots\dots\dots(2)$$

Table 1. A comparison of study areas located on the forests in Kwangneung, Mt. Jiri and Mt. Halla

Site	Latitude	Longitude	Annual total rainfall(mm)	Mean monthly temp. (°C)	Soil type(parent ma.)
Kwangneung	N 37°45'	E 127°10'	1100~1200	10~11	Brown forest soil (Gneiss Colluvium)
Mt. Jiri	N 35°10'	E 127°25'	1200~1500	13~14	Red soil (Granite Gneiss)
Mt. Halla	N 33°21'	E 128°30'	1500~1800	15~18	Brownish black soil (Volcanic ash)

Jeneny *et al.* (1949), Olson(1963), Kim & Chang (1967), 朴等(1970), Chang & Yoshida(1973), 그리고 朴과 李(1980) 등은 시간의 단위로 일변을 생각하면 cl, s, r, o 등의 환경요인은 거의 상수로 나타낼 수 있으므로 식 (2)는

$$dC = \frac{\partial C}{\partial t} dt \dots\dots\dots(3)$$

로 단순화된다고 하였다.

그러므로

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

따라서

$$C = Coe^{-Kt} \dots\dots\dots(5)$$

식 (5)에서 C 는 t 일때의 낙엽의 유기물 함량이며 Co 는 최초(t_0)의 낙엽의 유기물함량을 나타낸다. 그러나 기후중에서 기온(te)을 제한요소로 생각하고 일정기간 동안의 유기물의 분해량을 구하면

$$\frac{dC}{dte} = -k'C \dots\dots\dots(6)$$

그러므로

$$C = Coe^{-k'te} \dots\dots\dots(7)$$

이 된다.

한편 기후중에서 강우량(p)를 제한요소로 생각하고 일정기간동안의 유기물의 분해량을 구하면

$$\frac{dC}{dp} = -k''C \dots\dots\dots(8)$$

그러므로

$$C = Coe^{-k''p} \dots\dots\dots(9)$$

이 된다.

IV. 조사방법

본 연구는 낙엽의 분해와 환경요인과의 관계를 연구하기 위해 남한의 광릉, 지리산 및 한라산에서 1978년 11월 말부터 1980년 8월말까지 조사하였는데 그 방법은 다음과 같다.

1. 조사지역삼림의 식생

광릉에서 조사지역내에 나타난 우점종은 *Pinus densiflora*, *Abies holophylla*, *Quercus mongolica*, *Quercus serrata*이다.

지리산의 조사지역(화엄사→노고단)의 우점종은 *Pinus densiflora*, *Quercus mongolica*, *Carpinus laxiflora* 등으로 나타났으며 한라산의 조사지역(영실→휴계소)에서는 *Pinus densiflora*, *Abies koreana* 등이 우점종으로 나타났다. 조사지역은 Table 2와 같다.

2. 낙엽주머니(Litter bag)에 의한 조사

낙엽의 분해에 미치는 기온, 강우량 및 시간의 영향을 조사하기 위하여 조사지역중 지리산에서 12월초에

Table 2. Study forests in Kwangneung(k), Mt. Jiri(J) and Mt. Halla(H)

Plot	Tree species	Elevation(m)	Aspect & Slope	N/100m ²	Basal areas(cm ²)
K 1	<i>Larix kaempferi</i>	180	—	—	—
	<i>Quercus serrata</i>	180	—	—	—
J 1	<i>Pinus densiflora</i>	360	NW 15	26	12620
	<i>Quercus acutissima</i>	360	NW 10	10	10220
	<i>Larix kaempferi</i>	500	NW 10	10	6800
	<i>Quercus acutissima</i>	600	SW 45	14	10360
	<i>Pinus densiflora</i>	650	SE 20	12	17750
	<i>Abies holophylla</i>	1300	NE 20	9	1180
	<i>Quercus mongolica</i>	1300	SW 20	13	4320
H 1	<i>Pinus densiflora</i>	1300	SW 10	8	10640
	<i>Carpinus laxiflora</i>	1300	SW 15	9	5110
	<i>Taxus cuspidata</i>	1600	—	8	2921
	<i>Abies koreana</i>	1650	NE 13	8	18880
	<i>Betula eramani</i> var. <i>saitoana</i>	1650	SW 20	10	4530
	<i>Abies koreana</i>	1700	NW 15	9	10100

K; Kwangneung, J; Mt. Jiri, H; Mt. Halla

소나무와 신갈나무의 낙엽을 채취하여 60°C의 항온기에서 48시간 건조시킨후 20g 썩을 3mm 나일론 망사 주머니(20×20cm)에 넣어 이것을 지리산의 구례지역(고도 50m)과 노고단 지역(고도 1300m)의 임상에 각각 10개씩 3반복으로 묻었다. 그 후 20개월간 5개월 간격으로 1979년 5월, 10월, 1980년 3월, 8월의 4회에 걸쳐 매회마다 3개씩 임의로 추출하여 60°C에서 48시간 건조시킨후 낙엽의 건량감소를 측정하여 감소량을 분해된 양으로 잡았다. 그리고 구례지역과 노고단지역의 기온과 강우량을 일별로 조사하여 낙엽의 건량감소와의 상관관계를 보았다.

3. 임상에서의 낙엽의 축적과 분해의 조사

1978년 11월 말에 조사지역의 임상에 20×20cm의 방형구를 설치하고 L, F, H 및 A₀층(Wilde & Vait, 1955)의 낙엽을 층별로 채취하여 실험실에서 동건시켰다.

낙엽의 유기탄소량은 550°C의 전기로에서 12시간동안 작열시킨 후 소실량을 측정하여 이것을 1.724로 나누어 유기탄소량으로 계산하였고, 낙엽의 에너지량은 Newbold(1967)의 방법에 따라 계산하였다.

V. 결과 및 고찰

1. 낙엽의 분해에 미치는 시간, 기온 및 강우량의 영향

A. 시간

낙엽은 오랜 세월에 걸쳐 계속적으로 축적, 분해되기 때문에 낙엽의 축적과 분해를 일정 기간내에 연구하려면 분해모형을 이용할 수 밖에 없다. 그리하여 俞(1967), 張과 林(1968), 朴等(1970) 그리고 朴과 李(1980)등은 Olson의 積지수곡선모형을 임상의 낙엽축적과 분해를 연구하는데 사용하였다. 실제로 낙엽이 분해하는데는 기후, 토양, 지세, 생물 및 시간등의 요인이 작용하는데 시간의 단위를 일년으로 잡을때에는 기후, 토양, 지세, 생물들의 환경요인은 일년을 주기로 하여 거의 일정하게 반복되기 때문에 낙엽의 분해를 시간의 함수로만 생각할 수 있다. 따라서 이 경우의 분해모형은 III항의 식 (5)와 같이 표시될 수 있다.

지리산의 구례지역과 노고단지역에 묻은 낙엽주머니 속의 소나무와 신갈나무 낙엽의 20개월간에 걸친 분해 결과는 Fig. 1과 같다. 즉 낙엽의 분해는 구례지역이 노고단지역보나 높았으며 신갈나무가 소나무보다 높았다.

이 결과를 식 (5)에 적용하면 낙엽의 분해상수 K는 $\log C = -kt + \log C_0$ (10)과 같이 된다.

식 (10)에서 $\log C = Y$, $\log C_0 = b$ 로 놓으면

$$Y = -kt + b \text{(11)}$$

가 된다.

식 (11)에 의하여 K를 구한 결과는 Table 3에서 보는 바와 같이 구례지역이 노고단지역 보다 높으며 신갈나무가 소나무보다 높게 나타났다.

이 결과 지리산의 구례지역과 노고단지역에서 소나무와 신갈나무의 낙엽이 임상에서 분해하는데 있어서 신갈나무낙엽이 소나무낙엽보다, 그리고 고도가 낮은 곳(구례)이 높은 곳(노고단)보다 빠르다는 것을 알 수 있었다.

낙엽의 분해에 관하여 Kim & Chang(1968)은 광능에서 참나무의 낙엽이 소나무의 낙엽보다 빨리 분해된다고 하였고, 朴等(1970)은 광능과 오대산에서 떡갈나무의 낙엽이 소나무의 낙엽보다 빨리 분해된다고 보고하였는데 이것은 본 연구결과와도 일치된다.

B. 기온

조사기간중의 월평균기온의 누적치를 보면 구례지역이 265.98°C이며 노고단지역이 11.7°C로 구례지역이 훨씬 높게 나타났다. 그러므로 위의 두지역에서 낙엽의 분해에 미치는 기온의 영향을 조사하기 위해 시간과 강우량을 거의 일정한 상태로 놓고 기온만을 낙엽 분해에 미치는 제한요인으로 생각하면 이 경우의 분해상수 k'는 식 (7)에 의하여

$$\log C = -k't + \log C_0 \text{(12)}$$

가 된다.

따라서 식 (11)과 같은 방법으로

$$Y = -k't + b \text{(13)}$$

로 놓을 수 있다.

소나무와 신갈나무의 낙엽을 낙엽주머니에 넣어 구례지역과 노고단지역에서 조사한 결과를 가지고 분해상수 k'를 구하고 분해모형을 만든 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다.

C. 강우량

조사기간중의 강우량은 구례지역이 2770mm이고 노고단지역이 3223.2mm여서 노고단이 훨씬 많았다. 위의 두지역에서 낙엽의 분해에 미치는 강우량의 영향을 조사하기 위해 시간과 기온을 거의 일정한 상태로 놓고 강우량만을 낙엽분해에 미치는 제한요인으로 생각하면 이 경우의 분해상수 k는 식 (9)에 의하여

$$\log C = -k''P + \log C_0 \text{(14)}$$

로 놓을 수 있다.

구례지역과 노고단지역에서 k''와 강우량에 의한 낙엽의 분해모형은 Table 3에서 보는 바와 같다.

D. 기온과 강우량의 상호관계

Table 3. Decomposition models of *Pinus densiflora* and *Quercus mongolica* litters depended on temperature and precipitation on the forest floors at Gure and Nogodan on Mt. Jiri

Litters of tree species	Study area	Time		Temperature		Precipitation	
		k	decay model	k'	decay model	k''	decay model
<i>Pinus densiflora</i>	Gure	0.0065	$C = 20e^{-0.0065t}$	0.00047	$C = 20e^{-0.00047t}$	0.00044	$C = 20e^{-0.00044t}$
	Nogodan	0.0038	$C = 20e^{-0.0038t}$	0.00056	$C = 20e^{-0.00056t}$	0.00023	$C = 20e^{-0.00023t}$
<i>Quercus mongolica</i>	Gure	0.0099	$C = 20e^{-0.0099t}$	0.00071	$C = 20e^{-0.00071t}$	0.00067	$C = 20e^{-0.00067t}$
	Nogodan	0.0073	$C = 20e^{-0.0073t}$	0.0011	$C = 20e^{-0.0011t}$	0.00044	$C = 20e^{-0.00044t}$

Table 4. Monthly temperature and precipitation from January 1979 to August 1980 on the study sites at Gure and Nogodan on Mt. Jiri

Month	Gure				Nogodan			
	Min.T.(°C)	\bar{X}	Max.T.(°C)	Preci.(mm)	Min.T.(°C)	\bar{X}	Max.T.(°C)	Preci.(mm)
'79. 1	-1.8	1.81	10.0	9.0	-10.5	-4.44	3.1	32.0
2	-4.0	3.57	12.4	63.0	-14.3	-4.50	2.4	94.0
3	-0.6	7.00	15.0	51.0	-12.3	-0.37	7.0	81.0
4	3.6	10.67	18.4	37.0	-3.7	4.22	13.0	97.0
5	8.5	16.73	28.4	73.0	3.0	10.45	19.0	98.0
6	15.8	22.20	27.3	428.0	10.7	13.83	18.7	456.0
7	20.4	25.50	34.7	189.0	13.7	16.13	22.0	212.0
8	20.7	25.43	31.5	453.0	14.0	17.62	20.7	480.0
9	14.1	20.00	26.0	157.5	11.0	13.50	19.3	185.5
10	7.6	14.50	24.2	0.0	-1.5	8.92	12.7	10.0
11	0.2	7.30	22.7	22.5	-10.0	0.13	12.3	52.0
12	3.0	5.80	10.6	6.5	-12.3	-3.91	1.7	41.5
'80. 1	-5.6	0.67	4.9	24.5	-18.7	-8.15	3.3	44.5
2	-5.7	0.69	12.1	22.8	-18.2	-8.43	1.0	40.5
3	0.9	6.57	13.6	43.2	-5.8	-0.06	5.3	52.2
4	6.0	11.60	19.5	201.5	-1.0	4.29	5.8	212.5
5	9.2	17.03	26.8	93.5	5.0	10.87	18.0	101.5
6	15.1	22.13	28.9	102.0	9.3	14.14	20.5	120.0
7	19.9	23.63	28.9	296.0	14.0	16.47	19.7	322.0
8	18.6	23.17	27.9	461.0	15.0	16.49	18.3	491.0

낙엽주머니를 사용하여 구례지역과 노고단지역에서 1978년 12월초부터 20개월간 조사한 소나무와 신갈나무 낙엽의 건량감소(Fig. 1)와 월별 평균기온 및 강우량을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 건량감소량과 기온 및 강우량간의 상관분석결과는 Table 5에서 보는 바와 같이 고도에는 관계없이 기온과 강우량은 낙엽의 분해와 높은 상관관계에 있으나 편상분석결과로 관

단하면 고도가 낮은 구례지역에서는 기온이나 강우량이 모두 낙엽의 분해에 동일하게 영향을 미친다는 것을 알 수 있었으며 고도가 높은 노고단지역에서는 기온의 영향보다는 강우량의 영향이 높게 나타났다.

Fogel & Cromack (1976)은 Douglas fir의 낙엽분해에 관한 연구에서 기온보다도 강우량의 영향이 크다고 본 연구결과와 같은 결론을 얻고 있다.

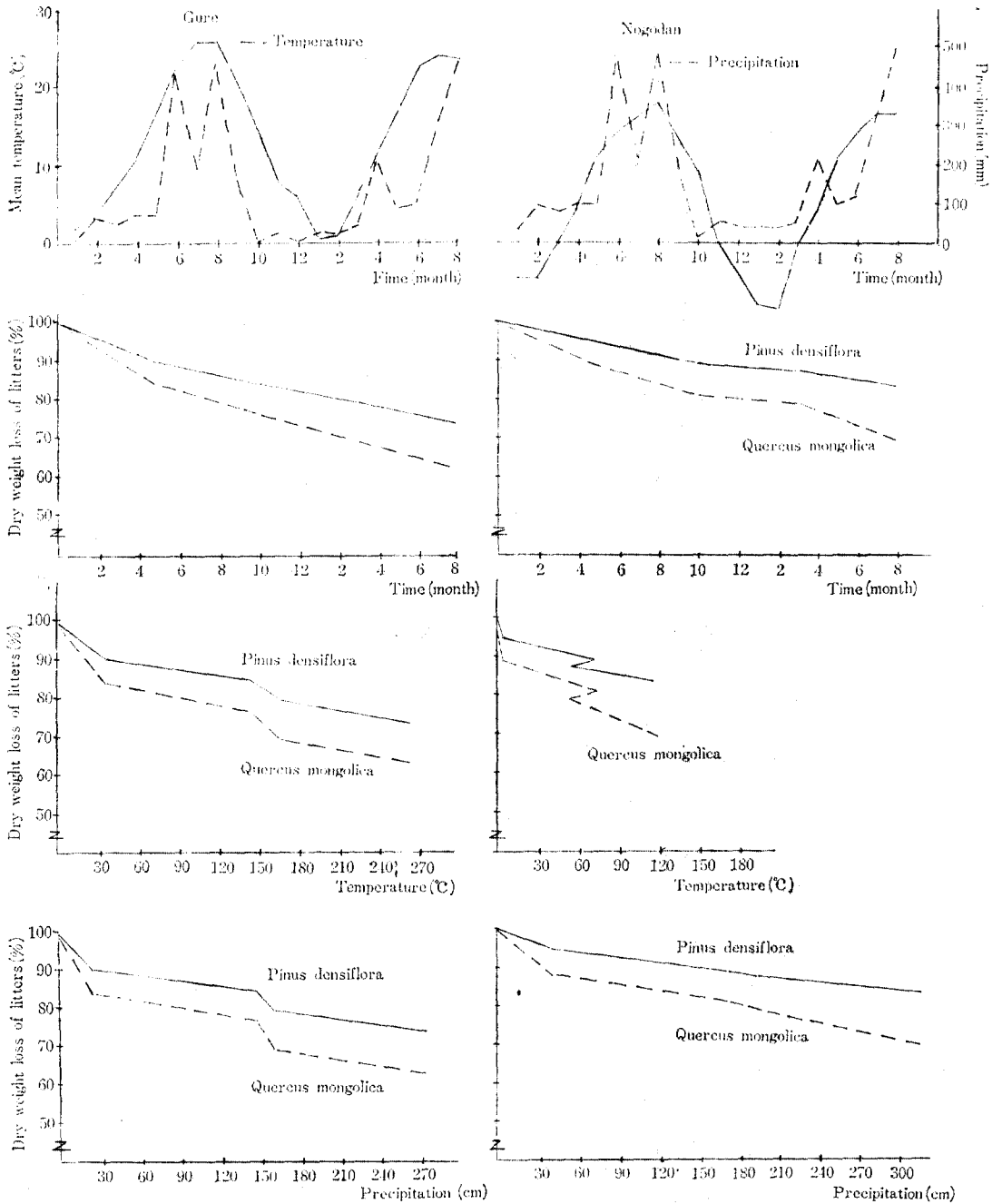


Fig. 1. Dryweight loss of *Pinus densiflora* and *Quercus mongolica* litters depended on temperature and precipitation on the forest floors at Gure and Nogodan.

Table 5. Simple, multiple and partial correlation coefficients among precipitation, temperature and weight remaining of litters in *Pinus densiflora* and *Quercus mongolica* at Gure and Nogodaon Mt. Jiri

Site	Species	Regression equation	r*	r**	r***
Gure	<i>Pinus densiflora</i>	$W = 19.956 + 0.075P - 0.098T$	W; 0.998	PW; -0.945 TW; -0.964	PW; 0.984 TW; -0.989
	<i>Quercus mongolica</i>	$W = 19.851 + 0.122P - 0.155T$	W; 0.997	PW; -0.930 TW; -0.951	PW; 0.972 TW; -0.980
Nogodaon	<i>Pinus densiflora</i>	$W = 19.662 - 0.013P + 0.010T$	W; 0.978	PW; -0.974 TW; -0.931	PW; -0.821 TW; 0.383
	<i>Quercus mongolica</i>	$W = 19.300 - 0.023P + 0.016T$	W; 0.971	PW; -0.968 TW; -0.927	PW; -0.778 TW; 0.323

r*; Multiple correlation coefficient W; Weight remaining of litters (g)
r**; Simple correlation coefficient P; Cumulative Precipitation (mm)
r***; Partial correlation coefficient T; Cumulative Temperature (°C)

Table 6. The annual rates of dry matter, energy and carbon through litter in the study forests in Kwangneung, Mt. Jiri and Mt. Halla

Study areas	Tree species	Elevation (m)	Litter input (g dw./m ²)	Caloric input (kcal./m ²)	Carbon input (g dw./m ²)
Kwangneung	<i>Larix kaempferi</i>	180	457.0	2147.9	236.0
	<i>Quercus serrata</i>	180	396.0	1861.2	920.0
Mt. Jiri	<i>Pinus densiflora</i>	360	225.5	1059.9	130.4
	<i>Quercus acutissima</i>	360	250.5	117.4	137.0
	<i>Larix kaempferi</i>	500	311.0	1461.7	172.9
	<i>Quercus acutissima</i>	600	320.0	1504.0	175.6
	<i>Pinus densiflora</i>	650	296.0	1391.2	171.7
	<i>Abies holophylla</i>	1200	159.7	750.6	888.5
Mt. Halla	<i>Quercus mongolica</i>	1300	181.0	850.7	98.1
	<i>Pinus densiflora</i>	1300	155.0	728.5	88.0
	<i>Carpinus laxiflora</i>	1300	175.0	822.5	98.1
	<i>Taxus cuspidata</i>	1600	105.2	494.4	56.1
	<i>Abies koreana</i>	1650	115.0	540.5	63.6
	<i>Betula ermani</i> var. <i>saitoana</i>	1650	130.0	611.0	71.5
	<i>Abies koreana</i>	1700	93.6	439.9	51.7

2. 임상에서의 낙엽의 생산, 축적 및 분해

A. 생산력

삼림생태계에서 해마다 생산되는 낙엽은 임상에 축적되어 시간과 더불어 분해된다. 이때 균락을 형성하고 있는 삼림식물이 생산해내는 낙엽의 연생산력을 조사지역별, 고도별 및 삼림수목별로 비교한 결과는

Table 6에서 보듯이 고도가 높아질수록 현저하게 감소하였으며, 같은 고도에서는 침엽수림 보다 활엽수림이 약간 높았다.

이러한 결과는 Kim & Chang(1967)이 광릉에서 참나무수림이 소나무림보다 낙엽생산량이 높다고한 보고와 朴等(1970)이 광릉과 오대산에서 떡갈나무림이 소

Table 7. Annual decomposition rates (k) for carbon from the ratio of annual litter production(L) to approximately steady state accumulation (F,H,A₀) on the forest foors in Kwangneung, Mt. Jiri and Mt. Halla

Plot	Tree species	Horizon	Oven dw.(g/m ²)	O.C.(%)	O.C.(g/m ²)	K
K 1	<i>Larix kaempferi</i>	L	457.0	51.64	236	0.39
		F	388.5	50.20	195	
		H	1419.2	18.32	260	
		A ₀	1253.1	12.21	153	
K 2	<i>Quercus serrata</i>	L	396.0	52.78	209	0.23
		F	708.3	50.26	356	
		H	1532.9	23.42	359	
		A ₀	1263.8	15.35	194	
J 1	<i>Pinus densiflora</i>	L	225.5	57.81	130.4	0.18
		F	399.6	53.22	212.7	
		H	1285.9	32.62	419.5	
		A ₀	343.6	26.89	92.4	
J 2	<i>Quercus acutissima</i>	L	250.5	54.69	137.0	0.32
		F	245.4	52.20	128.1	
		H	787.7	25.39	200.0	
		A ₀	511.5	19.55	100.0	
J 3	<i>Larix kaempferi</i>	L	311.0	55.60	172.9	0.27
		F	419.9	51.20	214.9	
		H	1465.8	18.42	270.0	
		A ₀	1194.1	12.98	155.0	
J 4	<i>Quercus acutissima</i>	L	320.0	54.52	175.6	0.27
		F	461.7	51.12	236.0	
		H	866.2	24.36	211.0	
		A ₀	987.2	18.23	180.0	
J 5	<i>Pinus densiflora</i>	L	296.0	57.99	171.7	0.14
		F	857.1	53.90	462.5	
		H	1625.0	32.83	533.5	
		A ₀	891.9	25.94	231.4	
J 6	<i>Abies holophylla</i>	L	159.7	55.39	88.5	0.11
		F	475.5	47.53	226.0	
		H	3201.2	12.87	412.0	
		A ₀	1384.8	12.22	169.1	
J 7	<i>Quercus mongolica</i>	L	181.0	54.21	98.1	0.21
		F	459.5	47.88	220.0	
		H	822.4	18.24	150.0	

		A_0	770.5	12.59	97.9	
H 1	<i>Pinus densiflora</i>	L	155.0	56.76	88.0	
		F	934.5	54.68	510.5	0.11
		H	1010.9	18.77	189.7	
		A_0	1666.6	5.97	99.5	
H 2	<i>Carpinus laxiflora</i>	L	175.0	56.06	98.1	
		F	225.0	53.74	120.9	0.21
		H	375.0	48.60	182.3	
		A_0	400.3	40.97	164.0	
H 3	<i>Taxus cuspidata</i>	L	105.2	53.40	56.1	
		F	243.0	41.15	199.0	0.14
		H	808.5	27.21	220.0	
		A_0	289.1	23.32	90.7	
H 4	<i>Abies koreana</i>	L	115.9	55.33	63.6	
		F	515.6	41.08	227.0	0.10
		H	1097.7	27.33	300.0	
		A_0	459.5	23.72	109.0	
H 5	<i>Betula ermani</i> var. <i>saitoana</i>	L	130.0	55.02	71.5	
		F	241.1	52.68	127.0	0.22
		H	286.0	40.28	115.2	
		A_0	226.2	35.36	80.0	
H 6	<i>Abies koreana</i>	L	95.6	55.23	51.7	
		F	395.5	48.07	190.0	0.09
		H	983.0	28.34	280.0	
		A_0	44.1	23.68	104.6	

나무립보다 생산량이 높다고 할 모교와 같 일치된다.

B. 분해상수

광릉, 지리산 및 한라산에 현존하는 주요삼림군락의 임장에서 낙엽의 년 생산량과 이비 축적된 낙엽의 총량과의 비에 의하여 낙엽의 분해상수를 계산한 결과는 Table 7과 Fig. 2에서 보는바와 같다. 즉 광릉의 잎갈 나무의 낙엽이 $k = 0.39$ 로 가장 크며 한라산의 1700m 고도의 구상나무낙엽이 $k = 0.09$ 로 가장 적었다. 그리고 Fig. 2에서 보는바와 같이 수목의 경우라도 고도가 높을수록 분해상수 k 가 적어지는 경향이 있는데 Shanks & Olson (1961)은 낙엽의 분해가 Great Smoky 산에서 고도가 높아짐에 따라 느려진다고 보고한바 있다. 또한 Kim & Chang (1967)은 광릉의 Oak 낙엽이 $k = 0.28$, Pine 낙엽이 $k = 0.13$ 으로 보고, 朴等(1970)은 오대산에서 *Abies holophylla* 낙엽이 $k = 0.153$,

Larix kaempferi 낙엽이 $k = 0.251$, *Pinus densiflora* 낙엽이 $k = 0.130$, *Pinus koraiensis* 낙엽이 $k = 0.190$, *Quercus dentata* 낙엽이 $k = 0.281$, *Carpinus laxiflora* 낙엽이 $k = 0.367$ 로 보고했고 張과 林(1973)이 광릉의 *Abies holophylla* 낙엽이 $k = 0.185$ 로 보고하고있어 본연의 결과와 비슷하다. 또한 Mikola(1960)는 North finland에서 *Pinus* 낙엽이 $k = 0.31$, South finland에서 *Pinus* 낙엽이 $k = 0.43$ 으로 보고했고, Lemce & Bichaut(1973)는 *Quercus petraea* 낙엽이 $k = 0.533$, Sollins *et al.* (1973)은 *Pinus* 낙엽이 $k = 0.45 \sim 0.58$, Cromack (1973)은 *Pinus strobus* 낙엽이 $k = 0.42 \sim 0.52$, Stark (1973)는 *Pinus jeffreyi* 낙엽이 $k = 0.11$, Ausmus & Witkamp (1974)는 *Quercus* spp. 낙엽이 $k = 0.707$ 로 보고했다. 이러한 보고는 지역과 삼림수목의 차이 때문에 비교한다는 것은 어려우

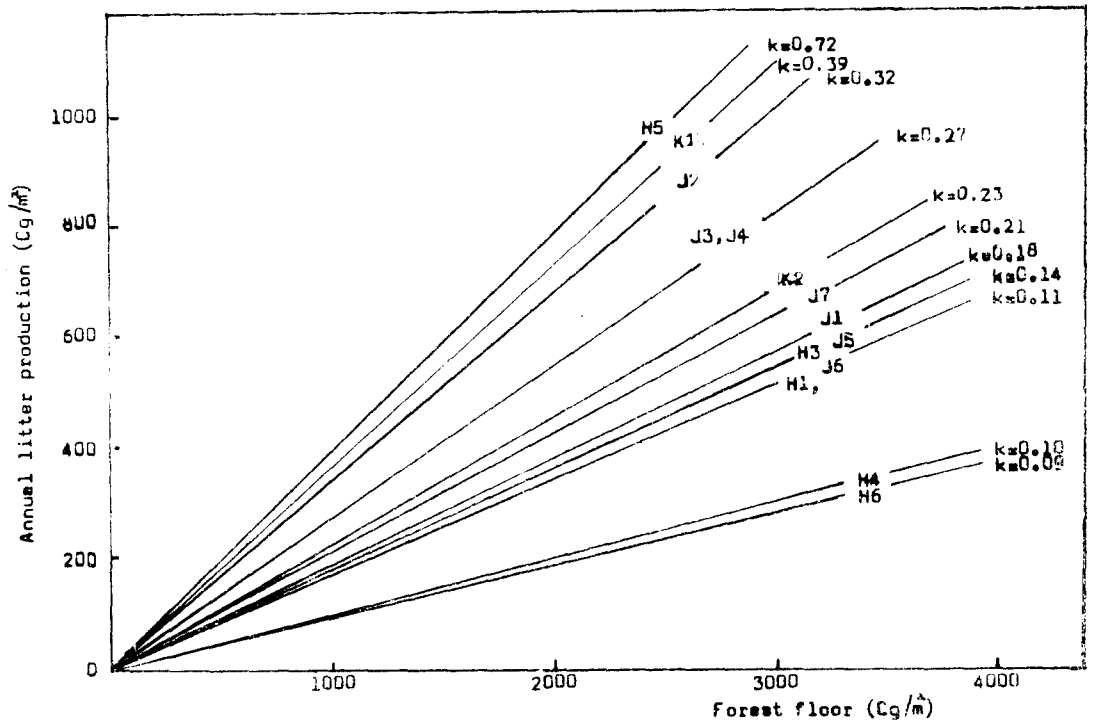


Fig. 2. The loss constant k for carbon in litters of study site.

Table 8. A comparison of annual decomposition rates(K) for litters of forest trees

Site	Tree spscies	k	Reference
Palla jarvi, Finland (north)	<i>Pinus</i> spp.	0.31	Mikola 1960
Vippula, Finland (south)	<i>Pinus</i> spp.	0.45	Mikola 1960
Alaska	<i>Betula papyrifera</i>	0.456	van Cleve 1971
	<i>Populus tremuloides</i>	0.389	van Cleve 1971
	<i>Alnus crispa</i> spp. <i>sinuata</i> in <i>B. papyrifera</i>	0.468	van Cleve 1971
	in <i>P. tremuloides</i>	0.423	van Cleve 1971
Blean Woods, England	<i>Castanea sativa</i>	0.466~0.623	Anderson 1973b
	<i>Fagus sylvatica</i>	0.218~0.327	Anderson 1973b
Fontainebleau	<i>Fagus sylvatica</i>	0.520~0.230	Lemee & Bichaut 1973
	<i>Quercus petraea</i>	0.533	Lemee & Bichaut 1973
	<i>Carpinus betulus</i>	0.910	Lemee & Bichaut 1973
Hubbard Brook, New Hampshirs	<i>Acer saccharum</i>	0.510	Gosz et al. 1973
	<i>Fagus grandifolia</i>	0.370	Gosz et al. 1973
	<i>Betura allegheniensis</i>	0.850	Gosz et al. 1973
Oak Ridge, TN	<i>Pinus virginiana</i> Mill.	0.45~0.46	Sollins et al. 1973
	<i>Pinus taeda</i> L.	0.51~0.58	Sollins et al. 1973

Coweeta Hydrologie Sta., NC	<i>P. strobs</i> L.	0.24~0.52	Cromack 1973
Little Valley, NV	<i>P. jeffreyi</i>	0.11	Stark 1973
Oak Ridge, Tennessee	<i>Liriodendron tulipifera</i>	0.852	Ausmus & Witkamp 1974
	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	0.768	Ausmus & Witkamp 1974
	<i>Carya tomentosa</i>	0.788	Ausmus & Witkamp 1974
	<i>Quercus</i> spp.	0.707	Ausmus & Witkamp 1974
	<i>Acer rubum</i>	0.883	Ausmus & Witkamp 1974
	<i>Cornus florida</i>	1.152	Ausmus & Witkamp 1974
Kananaskis	<i>Populus tremuloides</i>	0.113~0.486	Lousier & Parkinson 1975
	<i>Populus balsamifera</i>	0.121~0.485	Lousiar & Parkinson 1975
Findley Lake, NW	<i>Abies amabilis</i> (Dougl.) Forbes	0.56	Turner & Singer 1976
Blus River, OR	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.22~0.31	Fogel & Cromack 1977
Kwangneung, South Korea	<i>Abies holophylla</i>	0.185	張斗 林 1968
	Pine	0.13	Kim & Chang 1967
	Oak	0.28	Kim & Chang 1967
	<i>Abies holophylla</i>	0.153	朴等 1970
	<i>Larix kaempferi</i>	0.251	朴等 1970
	<i>Pinus densiflora</i>	0.130	朴等 1970
	<i>Pinus koraiensis</i>	0.190	朴等 1970
	<i>Quercus dentata</i>	0.281	朴等 1970
	<i>Carpinus laxiflora</i>	0.367	朴等 1970
	Mt. Otae, south Korea	<i>Abies holophylla</i>	0.143
<i>Larix kaempferi</i>		0.249	朴等 1970

Table 9. Decay constants and required for the loss of one-half, 95% and 99% of organic carbon of the forest litters in Kwangneung, Mt. Jiri and Mt. Halla

Plot	Tree Species	k	Half time	95% time	99% time
			$\frac{0.693}{k}$	$\frac{3}{k}$	$\frac{5}{k}$
K 1	<i>Larix kaempferi</i>	0.39	1.78	7.69	12.82
K 2	<i>Quercus serrata</i>	0.23	3.01	13.04	21.74
J 1	<i>Pinus densiflora</i>	0.18	3.85	16.67	27.78
J 2	<i>Quercus acutissima</i>	0.32	2.17	9.38	15.63
J 3	<i>Larix kaempferi</i>	0.27	2.57	11.11	18.52
J 4	<i>Quercus acutissima</i>	0.27	2.57	11.11	18.52
J 5	<i>Pinus densiflora</i>	0.14	4.95	21.43	35.71
J 6	<i>Abies holophylla</i>	0.11	6.3	27.27	45.45
J 7	<i>Quercus monqolica</i>	0.21	3.3	14.29	23.81
H 1	<i>Pinus densiflora</i>	0.11	6.3	27.27	45.45
H 2	<i>Carpinus laxiflora</i>	0.21	3.3	14.29	23.81
H 3	<i>Taxus cuspidata</i>	0.14	4.95	21.43	35.71
H 4	<i>Abies loreana</i>	0.10	6.93	30.00	50.00

H 5	<i>Betula ermani</i> var. <i>saitoana</i>	0.22	3.15	13.64	22.73
H 6	<i>Abies koreana</i>	0.09	27.70	33.93	55.56

K; Kwangneung, J; Mt. Jiri, H: Mt. Halla

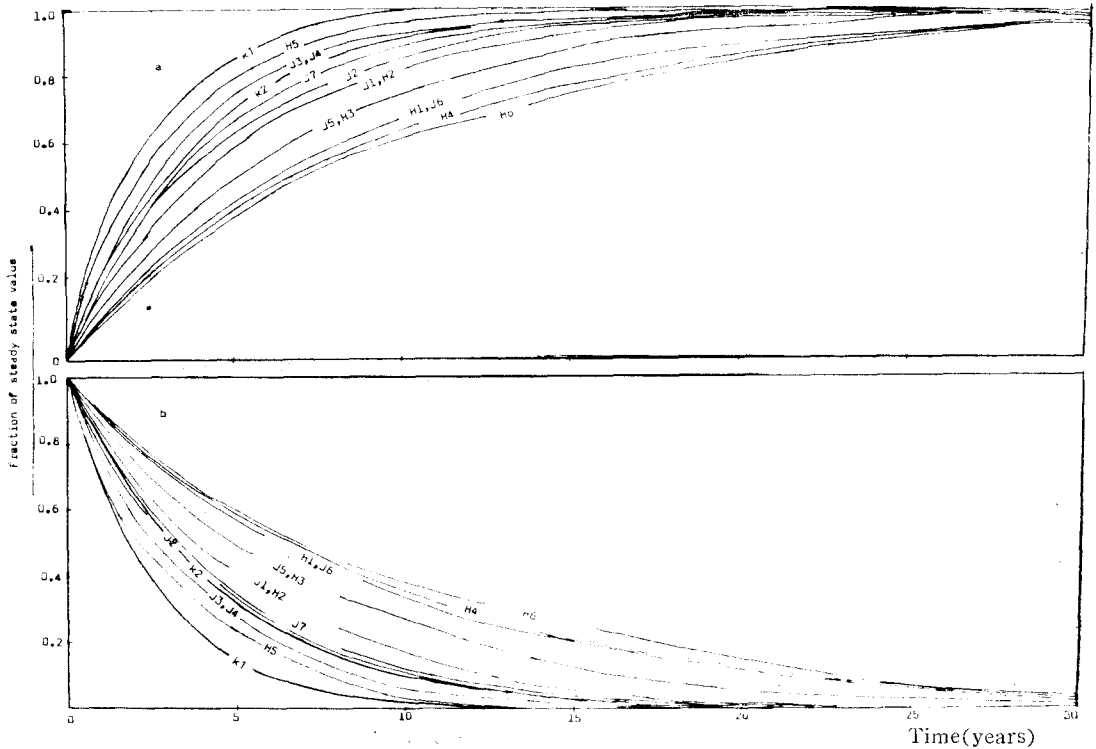


Fig. 3. The showing relation of the accumulation and decay of litters of study site.
a. accumulation curves, b. decay curves

나 분해상수만을 비교해보면 참나무류의 낙엽분해상수가 소나무류의 것보다 큰것으로 나타나 본 연구와는 일치된다(Table 8).

C. 분해와 축적

낙엽의 분해상수가 결정되면 그 조건하에서 낙엽량이 50%, 95% 및 99% 감소하는데 필요한 시간을 예측할 수 있다. 그 결과는 Table 9에서 보는데와 같다. 이 결과로 분해상수가 적으면 그만큼 분해가 느리다는 것을 알 수 있고 활엽수의 낙엽은 침엽수의 낙엽보다 분해속도가 빠르며 동일 수목의 경우라도 기온과 강우량의 영향때문에 고도가 높아질수록 분해속도는 감소된다는 것을 알 수 있다.

임상에 축적되는 낙엽이 평형상태에 도달할 경우를 생각한다면, 임상에 축적된 낙엽을 완전히 제거하였을 경우 낙엽의 축적이 평형상태에 도달하기 위해서는

Fig. 3에서와 같은 분해곡선의 거울상으로 나타낼 수 있다. 즉 낙엽의 축적이 평형상태의 50%, 95% 및 99%에 도달하는데 필요한 시간은 낙엽이 분해하는데 필요한 각각의 시간과 일치한다는 것을 알 수 있다.

그러나 실제로 낙엽의 분해와 축적을 연구할 때는 Olson (1963)과 Yoshida (1973)가 지적한 바와 같이 낙엽의 축적과 분해가 Steady State에 도달한 삼림을 조사대상으로 하여야 한다는 것이 무엇보다도 중요하다. 본 연구에서 선정된 지역과 삼림은 우리나라에서 비교적 잘 보호된 지역으로 위도, 고도 및 기후조건을 고려했으며 거의 Steady State에 도달했으리라고 사료된다.

본 연구는 낙엽의 분해에 미치는 환경요인중 기온, 강우량 및 시간에 관한 여러 분해모델을 검토 비교하여 기온과 강우량이 제한요소일때의 낙엽분해의 새로운 모델을 작성하였다. 이 모델의 타당성을 검증하기 위하여 낙엽주머니를 임상에 묻어 고도별, 시간별, 기온별 및 강우량별로 조사하는 한편 시간에 따른 낙엽의 유기탄소의 분해와 축적을 광능, 지리산, 한라산의 주요 삼림군락에서 연구하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 낙엽의 분해에 시간, 기온 및 강우량이 각각 분해의 제한요소로 작용할 때는 다음과 같은 모델들이 성립된다.

$$C = C_0 e^{-k't} \text{---(시간이 제한요소인 경우)}$$

$$C = C_0 e^{-k't} \text{---(기온이 제한요소인 경우)}$$

$$C = C_0 e^{-k''p} \text{---(강우량이 제한요소인 경우)}$$

이들 식에서 C_0 는 $t = 0$, $t_s = 0$ 및 $p = 0$ 인 경우의 낙엽의 유기탄소량이고 C 는 t , t_s 및 p 에서의 낙엽의 유기탄소량이다. k 는 분해의 제한요소가 시간인 경우의 분해상수이고 k' 는 분해의 제한요소가 기온인 경우이며 k'' 는 분해의 제한요소가 강우량인 경우의 분해상수이다. 그리고 t 는 시간, t_s 는 기온 및 p 는 강우량을 표시한다.

2. 낙엽주머니를 삼림의 임상에 묻어 구례지역과 노고단지역에서 k' 와 k'' 를 분해모델에 의하여 계산하여 비교한 결과 소나무 낙엽은 신갈나무의 낙엽보다 분해가 느리다. 그리고 고도가 높을수록 낙엽의 분해가 느리다.

3. 지리산에서 고도가 낮은 구례의 경우 기온과 강우량이 똑같이 소나무와 신갈나무의 낙엽분해에 영향을 미치나 고도가 높은 노고단 지역의 경우 기온보다도 강우량의 영향이 더욱 컸었다.

4. 낙엽의 분해상수는 침엽수림의 낙엽보다 활엽수림의 낙엽이 크며 동일한 수목이라도 고도가 높아질수록 적어졌다.

5. 연간 낙엽의 생산량은 활엽수림이 침엽수림에서 보다 높았고 동일한 수목의 경우라도 고도가 높을수록 감소하였다.

6. 임상에 떨어진 낙엽과 축적된 낙엽이 Steady State에 50%, 95% 및 99% 도달하는데 필요한 시간은 침엽수림보다 활엽수림이 빠르며 고도가 높아질수록 오랜 시간이 요구된다.

朴奉奎, 金遵敏, 張楠基, 1970. 光陵 및 五臺山의 主要森林植物의 Energy 및 양분순환에 대하여, 韓國生活科學研究院論叢, 4: 49~62.

朴奉奎, 李仁淑, 1980. 광능의 일갈나무와 졸참나무의 낙엽분해에 대한 일의 영향률과 입지의 영향, 식물학회지, 23: 45~48.

張楠基, 林映得, 1968. 針나무 落葉의 分解에 따른 Microbial population의 變化에 關한 研究, 生態學叢刊, 6(3): 93~99.

Aliiev, 1960. Soil conditions & plant growth, New York: Longmans.

Anderson, J.M. 1973a. Stand structure & litterfall of a coppiced beech (*Fagus sylvatica*) & sweet chestnut (*Castanea sativa*) woodland. Oikos, 24: 128~135.

_____, 1973b. The breakdown & decomposition of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill) & beech (*Fagus sylvatica* L.) leaf litter in two deciduous woodland soils. I. Breakdown, leaching & decomposition. Oecologia, 12: 251~274.

Ando, M. 1970. Litterfall and decomposition in some evergreen coniferous forests. Jpn. J. Ecol., 20: 170~181.

Ausmus, B.S., and M. Witkamp. 1974. Litter and soil microbial dynamics in a deciduous forest stand. EDFB-IBP-73-10. Oak Ridge Nat. Lab.

Bishtsin, 1911. Soil conditions & plant growth. New York: Longmans.

Bunnell F.L. and D.E.N. Tait. 1974. Mathematical simulation models of decomposition processes. Bull. Ecol. Res. Commit. (Stockholm), 17: 407~415.

Chang, N.K. and S. Yoshida. 1973. Studies on the gross metabolism in a *Sasa paniculata* type grassland. III. The decay system of the litter. J. Japan Grassl. Sci., 19(4): 341~357.

Cromack, K., JR. 1973. Litter production and litter decomposition in a mixed hardwood watershed and in a white pine watershed at Coweeta Hydrologic station. North Darolina. Ph. D. Thesis, University of Georgia, Athens, Georgia.

Fogel, R. and K. Cramack, gr. 1977. Effect of habitat and substrate quality on douglas fir litter decomposition in Western Oregon. Can. J. Bot. 55: 1632~1640.

Gosz, J.R., G.E. Likens and F.H. Bormann 1972. Nutrient content of litter fall on the Hubbard Brook Experimental Forest. Ecology. 53: 799~784.

Hayes, A.J. 1965. Studies on the decomposition of coniferous leaf litter I. Physical and chemical changes. J. Sci., 16: 121~140.

Howard, P.J.A. and D.M. Howard. 1974. Microbial decomposition of tree and shrub leaf litter, I. Weight loss and chemical composition of decomposing litter. Oikos. 25: 341~352.

Jenny, H., S.P. Gessel, 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 1967. On the decay rate of soil organic matter and changes of soil microbial popu-

- lation. *Kor. J. Botany*, **10**(1) : 21~30.
- Lemée, G. and N. Bichant 1973. Recherches sur les écosystèmes des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau. II. Décomposition de la litière de feuilles des arbres et libération des bioéléments. *Oecol. Plant*, **8** : 153~174.
- Lousier, J.D. and D. Parkinson 1975. Litter decomposition in a cool temperate deciduous forest. *Can. J. Bot.*, **54** : 419~436.
- Mikola, P. 1960. Comparative experiments on decomposition rates of forest litter in southern and northern Finland. *Oikos*, **11** : 161~166.
- Minderman, G. 1968. Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. *J. Ecol.*, **56** : 355~362.
- Newbold, P.J. 1967. Methods for estimating the production of forests. IBP Handbook No. 2. Blackwell's Oxford.
- Olson, J.S. 1963. Energy storage and 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** : 164~195.
- Sollins, P., D.E. Reichle, and J.S. Olson 1973. Organic matter budget and model for southern Appalachia Liriodendron forest. U.S.A.E.C. Rep. No. *EDFBIBP-73-2*. Oak Ridge Nat. Lab., Oak Ridge, Tennessee.
- Stark, N. 1973. Nutrient cycling in a Jeffrey Pines ecosystem. *Mont. For. Conserv. Exp. Stn., Univ. Mont. Missoula Montana*.
- Turner, J. and M.J. Singer 1976. Nutrient distribution and cycling in a subalpine coniferous forest ecosystem. *J. Appl. Ecol.*, **13** : 295~301.
- Van Cleve, K. 1971. Respiration rates in the forest floor of birch and aspen stands in interior Alaska. *Arch. Alp. Res. and D. Sprague* **3** : 17~26.
- Wilde, S.A. and G.K. Voit 1955. Analysis of soils and plants for foresters and horticulturists. 70~71.

(Received March 5, 1981)