Korean J. Ecol. 8(3) : 163~169, 1985

해남과 거제도의 상록활엽수림에 있어서 낙엽의 생산과 분해에 관한 연구

張 楠 基 · 韓 錫 恩
(서울大學校 師範大學 生物敎育科)

A Study on the Production and Decomposition of Litters of Evergreen Broadleaved Forests in Haenam and Kŏje-Do

Chang, Nam-Kee and Seok-Eun Han
(*Dept. of Biology, College of Education, Seoul National University*)

ABSTRACT

The composition rates of litters were studied at *Camellia japonica* forests in Kŏje-Do and Haenam, and at *Quercus acuta, Quercus acutissima, Cryptomeria japonica,* and *Chamaecyparis obtusa* forests in Haenam. Total amounts of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and sodium in litter samples were measured and the relation between these amounts and decomposition rate was studied. Annual litter production were rarely different at each forest in Haenam. The amount of accumulated organic matter was about 4 times greater at *C. japonica* forest in Kŏje-Do than at the *C. japonica* forest in Haenam. These amounts were 5,282.1 ± 1,026.03g/m² in Kŏje-Do and 1,420.7 ± 384.77g/m² in Haenam.

The decomposition rates were rarely different at each forest in Haenam, but the rates showed great difference at *C. japonica* forests in Kŏje-Do and Haenam. The rates were 0.093 and 0.313 at *C. japonica* forests in Kŏje-Do and in Haenam respectively. The sodium contents were 0.472% and 0.229% on *L* layer and on C_{11} layer of *C. japonica* forest in Kŏje-Do, while they were 0.034% and 0.043% on *L* layer, and on C_{11} layer of *C. japonica* forest in Haenam. It is suggested that much difference in the salt contents in the forest floor was present from the results of sodium content measured at each site, and that the decomposition rate was affected by the much concentration of salt in Kŏje-Do.

緖 論

태양으로부터 공급되는 에너지중에서 삼림 식물에 의해 고정된 에너지의 대부분은 식물체 내의 유기물로 함유되어 있다가 낙엽 또는 낙지 상태로 임상에 유입되면 분해에 관여하는 토양 생물에 의해 무기물로 분해된다. 따라서 낙엽의 생산, 축적 및 분해는 삼림 생태

계 내에서의 물질 순환에 중요한 의의를 갖는다.

낙엽은 분해에 관여하는 토양 생물에 의해 무기질로 분해되는데 그 분해 속도는 수종 및 토양 조건에 따라 달라지며 토양으로 환원된 무기 양분의 종류와 양도 임형에 의하여 변화한다(Howard and Howard, 1974; Lousier and Parkinson, 1975; Forgel and Cromark, 1977).

Jenny *et al.* (1949)은 중미의 Costa Rica와 북미의 California에서 낙엽의 생산량을 비교 분석하여 낙엽의 분해가 지수 함수적으로 이루어진다고 보고하였으며, 또한 Olson(1963)은 여러 학자들의 연구 결과를 분해 상수를 계산하여 낙엽의 축적과 분해 모델을 제시하였다.

우리나라에서도 낙엽의 분해에 관한 연구가 많으나 (고·장, 1981; 오·장, 1981; 김·장, 1983) 그 대부분이 낙엽수림 및 상록침엽수림에 제한되어있고 남해안과 일부 도서 지방에 발달한 상록활엽수림에 관한 연구는 없다. 따라서 본 논문에서는 남해안의 해남과 거제도의 상록활엽수림을 연구 대상으로 하여 낙엽의 생산과 분해율을 조사하고 지리적 환경 조건이 낙엽의 분해에 미치는 영향을 조사하였다.

材料 및 方法

조사지의 개황 본 논문에서는 전남 해남과 경남 거제도를 조사 지소(Fig. 1)로 택하였으며, 월 평균 기온과 강수량의 분포는 Fig. 2와 같다.

남해안 지방은 전형적인 난온대 기후구로서 연 강수량은 1,000~1,800 mm이며 이 중 50% 가량이 여름인 6,7,8월에 집중적으로 내린다. 연 평균 기온은 10~18°C이며 겨울은 저온 건조하며 여름은 고온 다습한 기후를 나타낸다.

1) 전남 해남군에 있는 해발 685 m의 두륜산은 연평균 강수량이 1,250~1,350 mm이며 연 평균 기온은 13~14°C이다. 채취 장소는 해발 100 m에 위치한 대흥사에서 서쪽으로 150 m 떨어진 지점이다(N34°27′, E126°37′). 삼림수목은 45~70 년생 이상으로 낙엽의 생산이 steady state에 도달하였다고 추정되는 동백나무(*Camellia japonica*)군락을 비롯하여 붉가시나무(*Quercus acuta*), 상수리나무(*Quercus acutissima*), 삼나무(*Cryptomeria japonica*) 및 편백나무(*Chamaecyparis obtusa*)의 군락에서 채집하였다.

2) 경남 거제군(N34°47′, E128°42′)은 충무 앞 바다에 위치하여 연 평균 강수량은 1,500~1,600 mm이고, 연 평균 기온은 14~15°C이다. 재료 채취 장소는 지세포 부근 해발 50 m에 위치한 동백나무 군락이다 (Fig. 1).

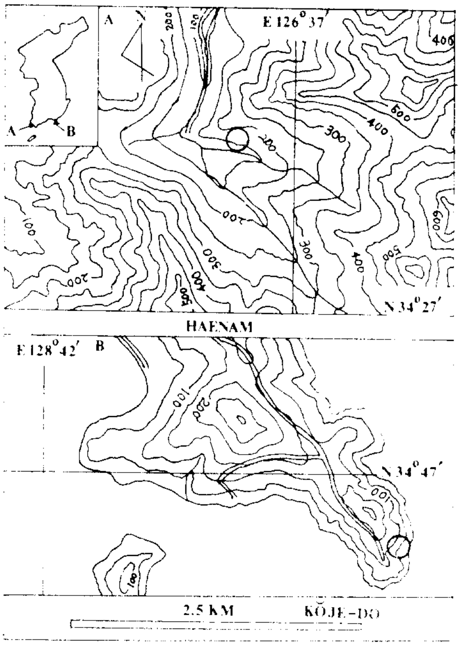


Fig. 1. Geographical maps of studied areas.

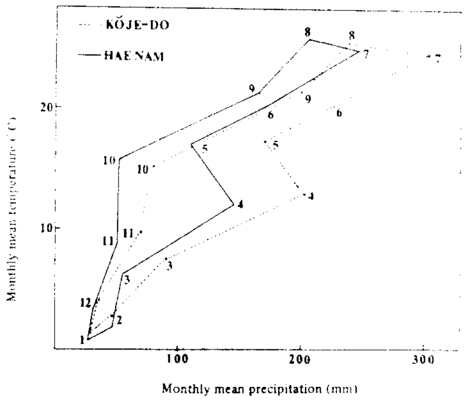


Fig. 2. Temperature-precipitation climograph at Haenam and Kōje-Do(1974~1983).

조사 방법 해남은 1985년 4월 5~7일, 거제도는 동년 4월 13~14일에 걸쳐 실시하였다. 0.25×0.25 m² 의 방형구를 설치하여 재료를 낙엽(Litter)과 집적층으로

양분하여 채취하고, 운반한 이 재료를 공기 중에서 충분히 건조시킨 후 분쇄기로 갈아 토양병에 보관하였다.

이것을 105°C에서 24시간 건조시켜 건량 및 함수량을 측정하였고, 연간 낙엽 생산량은 단위 m^2 당 건량으로 환산하였다. 유기물량은 500~550°C의 전기로에서 5시간 가열한 후 무게의 감소량으로 측정하였다. 유기탄소량은 유기물량을 1.732로 나누어 구하였다. 총질소량은 micro-kjeldahl 법에 의하여 정량하였으며 인은 standard molybdate 법에 의하여 spectrophotometer로 정량하였다. 칼륨 · 칼슘 및 나트륨은 universal extract solution으로 추출하여 flame photometer로 정량하였다.

낙엽의 분해 모델 Olson(1963)은 시간의 단위를 1년으로 가정하고 단위 시간 당 분해율을 다음과 같이 나타내었다.

$$\frac{dC}{dt}=L-kC \quad\cdots\cdots(1)$$

이 때 L은 단위 시간 당 떨어지는 낙엽의 양이며 C는 F, H 및 A_1 층에 함유된 유기물량이며 k는 분해상수이다.

삼림이 steady state에 도달하면 매년 떨어지는 낙엽의 양은 일정하며 C의 분해량과 동일하다. 이때 (1)식의 C를 C_{ss}로 표시하면,

$$\frac{dC}{dt}=L-kC_{ss} \quad\cdots\cdots(2)$$

삼림이 steady state에 도달한 경우 임상의 유기물량에는 변화가 없으므로,

$$L-kC_{ss}=0 \quad\cdots\cdots(3)$$

따라서

$$k=\frac{L}{C_{ss}} \quad\cdots\cdots(4)$$

임상에 유입되는 낙엽이 없는 경우에 (1)식은

$$\frac{dC}{dt}=-kC \quad\cdots\cdots(5)$$

(5)식을 적분하여 C를 구하면,

$$C=C_0e^{-kt} \quad\cdots\cdots(6)$$

($t=0$ 일때 $C=C_0$)

낙엽의 반이 분해되는 데 소요되는 시간, 즉 반감기는

$$t_{0.5}=\frac{0.693}{k} \quad\cdots\cdots(7)$$

C의 95% 및 99%가 분해되는 데 소요되는 시간은 각각

$$t_{0.95}=\frac{3}{k} \quad (8)$$

$$t_{0.99}=\frac{5}{k} \quad (9)$$

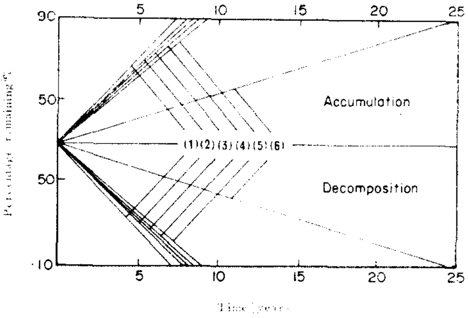
와 같다.

結果 및 論議

Table 1에서 보는 바와 같이 낙엽의 생산량 (L)은 해남의 동백나무림이 가장 많았고 편백나무림이 가장 적었다. 그러나 임상에서 축적된 낙엽의 양(C_{ss})은 거제도의 동백나무림이 가장 많았고, 낙엽의 생산량이 가장 많은 해남의 동백나무림에서 가장 적게 나타났다. 함수량을 비교해 보면, 거제도와 해남의 임상사이에는 큰 차이가 없었으며 C_{ss}층보다는 L층에서 높은 함수량을 보였다. Olson(1963)의 낙엽 분해 모델로부터 구한 분해 상수 k값과 낙엽이 분해되는 데 소요되는 시간은 Table 2와 Fig. 3에 나타나 있다. 거제도와 해남의 동백나무림간의 k값에서는 상당한 차이를 보이고 있다.

토양 유기물의 분해 속도는 수종과 토양 조건에 따라 달라지며 그 결과 토양으로 환원되는 무기 양분의 양에도 차이가 생긴다(Daubenmire, 1953; Greenland and Nye, 1959; Kim and Chang, 1965).

Kim and Chang(1975)이 광릉의 참나무림에서 조사한 분해 상수와 해남의 상수리나무림과 붉가시나무림의 경우를 비교하여 보면, 낙엽 생산량은 해남의 상수리나무림과 붉가시나무림의 경우에 높은 값을 보였으며 분해 상수 l값은 광릉의 참나무림에서는 0.280이었고, 해남의 상수리나무림의 경우는 0.274, 붉가시나



(1) : *Camellia japonica* of Haenam
(2) : *Quercus acuta*
(3) : *Quercus acutissima*
(4) : *Chamaecyparis obtusa*
(5) : *Cryptomeria japonica*
(6) : *Camellia japonica* of Kŏje-Do

Fig. 3. Fractional decomposition and accumulation of litters

Table 1. The amounts of fresh weight, water content, dry weight, organic matter and organic carbon in litter samples

Locality	Forest	Horizon	Fresh weight (g/m^2)	Water content (%)	Dry weight (g/m^2)	Organic matter (%)	Organic matter (g/m^2)	Organic carbon (g/m^2)
Kŏje-Do	*Camellia japonica*	*L*	681.6 ±87.13	8.524 ±0.0605	623.7 ±78.80	86.195 ±0.1892	537.6 ±68.50	310.4 ±47.81
		C_{ss}	10,931 ±2,009.62	7.555 ±0.3818	10,005.2 ±1,585.04	52.794 ±4.9063	5,282.1 ±1,026.03	3,032.4 ±954.31
Haenam	*Camellia japonica*	*L*	765.6 ±88.648	7.267 ±0.5394	710.9 ±89.44	90.535 ±2.3637	648.1 ±82.83	374.2 ±47.82
		C_{ss}	1,959.2 ±403.39	6.475 ±0.3227	1,833.8 ±380.62	75.165 ±5.7428	1,420.7 ±384.77	820.3 ±222.14
	Quercus acuta	*L*	545.6 ±116.55	7.539 ±0.7055	503.3 ±105.02	81.383 ±0.9045	409.6 ±81.29	236.5 ±46.92
		C_{ss}	2,204.8 ±237.62	5.440 ±0.2545	2,084.0 ±220.72	48.863 ±4.0721	1,018.3 ±190.81	587.9 ±100.15
	Quercus acutissima	*L*	560.0 ±38.47	8.745 ±0.2975	511.2 ±36.28	93.503 ±0.4275	478.0 ±31.75	275.0 ±78.32
		C_{ss}	2,328.0 ±157.50	5.911 ±0.5455	2,191.7 ±160.15	56.806 ±6.7649	1,248.0 ±55.48	729.6 ±32.04
	Cryptomera japonica	*L*	558.4 ±39.60	7.925 ±0.1515	514.2 ±37.06	90.432 ±0.6107	465.0 ±30.41	268.5 ±17.57
		C_{ss}	2,948.0 ±539.17	5.431 ±0.6030	2,792.5 ±522.49	50.220 ±4.5548	1,402.4 ±144.14	809.7 ±83.25
	Chamaecyparis obtusa	*L*	520.8 ±57.14	7.609 ±0.3665	481.5 ±54.14	87.892 ±0.9590	423.2 ±43.07	244.3 ±24.86
		C_{ss}	2,409.6 ±16.97	5.594 ±0.525	2,274.9 ±24.96	51.919 ±0.5088	1,181.1 ±44.09	681.9 ±76.36

Table 2. Parameters and times for decomposition of organic matter

Locality	Forest name	k	Dacay parameter ($1/k$)	Half time ($0.693/k$)	95% time ($3/k$)	99% time ($5/k$)
Kŏje-Do	*Camellia japonica*	0.093 ±0.0038	10.753 ±0.6895	7.452 ±0.0478	32.259 ±2.0685	53.765 ±3.4475
Haenam	*Camellia japonica*	0.313 ±0.0994	3.195 ±0.4384	2.214 ±0.3038	9.585 ±1.3152	15.974 ±2.1920
	Quercus acuta	0.287 ±0.0223	3.484 ±0.3735	2.414 ±0.2588	10.453 ±1.1205	17.422 ±1.8675
	Quercus acutissima	0.274 ±0.0223	3.650 ±0.4145	2.529 ±0.2872	10.950 ±1.2435	18.250 ±2.0725
	Cryptomeria japonica	0.249 ±0.0071	4.016 ±0.1605	2.783 ±0.1112	12.048 ±0.4815	20.080 ±0.8025
	Chamaecyparis obtusa	0.264 ±0.0269	3.788 ±0.5570	2.625 ±0.3860	11.364 ±1.6710	18.939 ±2.7850

무림의 경우는 0.287로 나타났다. 이것은 같은 속(genus)의 낙엽의 생산량이 해남의 경우에 빠른 속도로 분해되어 물질 재순환 과정을 거치게 된다고 생각된다. 이같이 광릉에 비해 해남의 임상에서 높은 분해상수를 보이는 원인으로는 우선 높은 연 평균 기온과 강수량을 들 수 있다.

Table 3. The decay and accmulation model of litters

Locality	Forest name	Decay model	Accumulation model
Kŏje-Do	*Camellia japonica*	$C=3,072.4e^{-0.093t}$	$C=3,032.4(1-e^{-0.093t})$
Haenam	*Camellia japonica*	$C=820.3e^{-0.313t}$	$C=820.3(1-e^{-0.313t})$
	Quercus acuta	$C=587.9e^{-0.287t}$	$C=587.9(1-e^{-0.287t})$
	Quercus acutissima	$C=729.6e^{-0.274t}$	$C=729.6(1-e^{-0.274t})$
	Cryptomeria japonica	$C=809.7e^{-0.249t}$	$C=809.7(1-e^{-0.249t})$
	Chamaecyparis obtusa	$C=681.9e^{-0.264t}$	$C=681.9(1-e^{-0.264t})$

Table 4. The contents of total N, P, K, Ca and Na in litter samples

Locality	Forest	Horizon	Total N		P		K		Ca		Na	
			(%)	(g/m²)	(%)	(mg/m²)	(%)	(g/m²)	(%)	(g/m²)	(%)	(g/m²)
Kŏje-Do	*Camellia japonica*	*L*	2.028	11.231	0.0087	54.262	3.063	16.467	1.065	5.723	0.472	2.537
		C_{11}	1.595	80.795	0.0074	740.385	3.447	182.063	0.434	21.308	0.229	12.085
Haenam	*Camellia japonica*	*L*	1.282	8.647	0.0165	117.299	1.003	4.777	1.999	9.263	0.034	0.185
		C_{11}	1.946	27.974	0.0209	383.264	1.343	15.787	1.081	11.671	0.043	0.486
	Quercus acuta	*L*	1.473	5.568	0.0203	102.170	1.103	4.517	1.223	5.010	0.034	0.139
		C_{11}	1.295	12.697	0.0080	166.720	1.785	18.173	0.419	4.269	0.046	0.466
	Quercus acutissima	*L*	1.226	6.064	0.0143	73.102	0.559	2.670	1.269	6.065	0.034	0.164
		C_{11}	1.861	23.412	0.0067	146.844	1.742	21.740	0.448	5.589	0.045	0.554
	Cryptomeria japonica	*L*	1.445	6.620	0.0122	58.743	0.467	2.171	3.230	15.020	0.058	0.271
		C_{11}	1.666	23.263	0.0106	241.139	2.039	28.598	0.809	11.345	0.047	0.656
	Chamaecyparis obtusa	*L*	1.403	5.771	0.0127	65.303	0.739	3.129	2.080	8.801	0.048	0.202
		C_{11}	1.632	19.374	0.0069	192.683	1.472	17.388	0.587	6.938	0.038	0.452

거제도와 해남의 동나백무림의 낙엽 분해 속도 차이와 토양 조건과의 관계를 살펴 보기 위하여 총 질소, 인, 칼륨, 칼슘 및 나트륨의 함량을 비교 분석하였다 (Table 4).

군락별 총 질소량은 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 인은 거제도와 해남의 동백나무림 낙엽과 임상에서 상당한 차이를 보이고 있으며, 칼륨의 함량은 거제의 동백나무림이 해남의 동백나무림보다 3배 정도나 많았고, 칼슘 함량은 해남의 동백나무림이 거제도의 동백나무림보다 1.5배 이상 많았다. 나트륨은 거제도의 동백나무림의 낙엽에서는 0.472%, 임상에서는 0.229%, 해남의 동백나무림의 낙엽에서는 0.034%, 임상에서는 0.043%로 무려 10여 배 이상의 차이를 보이고 있다. 이러한 나트륨의 차이로 미루어 보면, 거제도는 해남보다 임상에서 염분 농도가 상당히 높은 것으로 예측되며 이러한 염분 농도의 차이로 인하여 거제도에서는 분해에 관여하는 토양 생물에 영향을 미치게 되므로 분해 속도가 느린 것으로 생각된다. 또한 이러한 나트륨 함량의 차이는 거제도가 섬이고 해남이 해안과 5~6 km 떨어진 내륙이라는 지리적 조건과 일치하고 있다.

해남의 각 군락에서는 기상조건과 토양 조건이 동일하여 수종간에 분해 속도 차이는 없는데 거제도와 해남을 비교하면 기상 조건과 토양 조건이 다르기 때문에 같은 동백나무림이라 할 지라도 낙엽의 분해 속도에 커다란 차이가 있음을 알 수 있다.

摘 要

거제도와 해남의 동백나무림 · 해남의 붉가시나무림 · 상수리나무림 · 삼나무림 그리고 편백나무림에서 낙엽의 분해율을 측정하고 낙엽에 함유되어 있는 총 질소 · 인 · 칼륨 · 칼슘 및 나트륨의 양을 조사하여 이들간의 상호 관계를 보았으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

해남에서 조사된 각 군락사이의 낙엽 생산량의 차이는 거의 없었다. 거제도의 동백나무림과 해남의 동백나무림에서는 임상에 축적된 유기물의 양에는 4~5배 정도의 차이가 있었다. 임상에 축적된 유기물의 양은 거제도의 동백나무림의 경우에는 5,282.1±1,026.03이었고 해남의 동백나무림의 경우에는 1,420.7±384.77을 나타내었다. 해남의 각 군락에서의 분해 상수 *k*는 별 차이가 없었다. 그러나 거제도의 동백나무림과 해남의 동백나무림의 경우에는 *k*값이 각각 0.093과 0.313으로 큰 차이를 보였다.

나트륨 함량은 거제도 동백나무림의 *L*층에서는 0.472, C_{ss}층에서는 0.229이었고 해남의 동백나무림 *L*층에서는 0.034, C_{ss}층에서는 0.043이었다. 이같이 나트륨 함량의 큰 차이로부터 임상의 염분 농도에 상당한 차이가 있음을 추정할 수 있으며, 이에 따라 거제도의 높은 염도가 분해 속도에 상당한 영향을 미쳤다고 생각된다.

引用文獻

고미형·장남기. (1981). 잣나무와 리기다송림하에 있어서 낙엽의 무기화에 관한 연구. 서울대학교 대학원 과학교육과 석사학위 청구 논문.

김인자·장남기. (1983). 지리산 피아골의 졸참나무와 서나무 군락의 물질 생산과 분해에 관한 연구. 서울대학교 대학원 과학교육학과 석사학위 청구 논문.

김준민·장남기. (1967). 토양 유기물의 분해 속도와 microbial population의 소장에 관한 연구. 식물학회지. Vol. 10, No. 1,2 : 21~30.

박봉규·이인숙. (1980). 광릉의 잎갈나무와 졸참나무의 낙엽 분해에 대한 잎의 영양 함량과 입지의 영향. 식물학회지. **23** : 45~48.

오인혜·장남기. (1981). 참나무림에서의 방위에 따른 낙엽의 분해와 축적. 서울대학교 대학원 과학교육학과 석사학위 청구 논문.

장남기·임영득. (1968). 전나무 낙엽의 분해에 따른 microbial population의 변화에 관한 연구. 미생물학회지. **6**(3) : 93~99.

Allen, S.B. (1974). Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Sci. Pub.

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

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

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

Daubenmire, R. and D.C. Prusso. (1963). Studies of the decomposition rate of tree litter. Ecology, **44** : 589~592.

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.J. and P.T.A. Howard. (1974). Microbial decomposition 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., **10** : 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 Eco. 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.

Lee, I.S. (1981). A model for litter decomposition of the forest ecosystem in south Korea. Ph. D. Thesis. Ewha Womans University, Seoul.

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

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. Eco., **48** : 639~646.

(1985年 6月 15日 接受)