

상수리나무임분의 낙엽낙지량과 임분특성의 관계

김춘식^{1*} · 박진영² · 변재경³ · 정재엽¹ · 신현철² · 이상태²
¹진주산업대학교 산림자원학과, ²국립산림과학원 남부산림연구소, ³국립산림과학원 임지보전과
(2008년 7월 24일 접수; 2008년 9월 20일 수정; 2008년 9월 29일 수락)

Relationships between Litterfall Amounts and Stand Attributes in a *Quercus acutissima* Stand

Choonsig Kim^{1*}, Jin Young Park², Jae Kyung Byun³, Jaeyeob Jeong¹,
Hyun Cheol Shin² and Sang Tae Lee²

¹Department of Forest Resources, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea
²Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea
³Division of Forest Soils, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea
(Received July 24, 2008; Revised September 20, 2008; Accepted September 29, 2008)

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the relationships between stand attributes and litterfall amounts in a 28-year old *Quercus acutissima* stand. Eighteen sampling plots of 20m×20m were chosen and litterfall was collected from May 2005 to December 2006. There was no correlation between stand attributes (tree density, mean diameter at breast height, mean height, basal area) and litterfall amounts except for flower and miscellaneous litter for the study period. There were no significant relationships between leaf litter and basal area ($r=0.02, 0.05$; $P=0.93, 0.83$) and between leaf litter and tree density ($r = -0.10, 0.05$; $P=0.85, 0.69$). Also, leaf litter was affected neither by mean diameter at breast height ($r = -0.08, 0.30$; $P=0.73, 0.22$) nor by mean height ($r = -0.24, 0.09$; $P=0.34, 0.70$). Other litter amounts such as bark, branch, and acorn showed no relationships with the stand attributes ($P>0.05$). The lack of significant relationships between litterfall amounts and stand attributes could be due to the closed canopy with a complete crown cover in this mature oak stand.

Key words: Litterfall, Oak, Tree density

I. 서 론

산림생태계내 유입되는 낙엽낙지는 분해과정을 통한 양분순환적인 관점 뿐만 아니라, 산림토양내 유기탄소 공급원으로서 중요한 위치를 차지하기 때문에 최근 낙엽낙지의 정량적인 평가에 대한 관심이 높아지고 있다 (Berg and Laskowski, 2005; Blanco *et al.*, 2006). 그러나 낙엽낙지량은 임령, 임분종류, 임목밀도, 위도, 기후 요인(Bray and Gorham, 1964; Starr *et al.*,

2005; Berg and Laskowski, 2005) 뿐만 아니라 간벌이나(Blanco *et al.*, 2006), 산지사비(Vose and Allen, 1991) 같은 산림경영 활동 등에 의해서도 상당한 변화를 보이는 것으로 알려져 있다. 또한 낙엽낙지의 정량적인 평가를 위해서는 최소 1년 동안 계속적으로 낙엽낙지를 수집하고 측정해야하며, 계절적인 변화나 기후조건 등에 따라 변화가 발생하기 때문에 산림지역에서 쉽게 측정 가능한 임목밀도(Zavitkovski and Newton, 1971), 임령(Gholz *et al.*, 1985), 흉고단면

적(Hennessey et al., 1992, Meiner et al., 2006) 등의 요인과 낙엽낙지량과의 관계에 대한 비교적 많은 연구가 수행된 바 있다.

국내에서도 상수리나무 임분의 낙엽낙지에 관한 연구가 수행되었으나 계절적 동태나 총 낙엽낙지량, 낙엽낙지를 통한 양분순환적인 관점(Mun and Joo, 1994, Kim et al., 1997) 등을 중심으로 연구되었으며, 임분특성이 낙엽낙지량에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 것은 잘 알려져 있지 않다.

본 연구는 성숙한 상수리나무임분을 대상으로 임목밀도, 흉고직경, 수고, 흉고단면적합 등과 같은 임분특성과 낙엽낙지량과의 관계를 조사하기 위한 목적으로 수행되었다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 충청북도 청원군 낭성면 추정리 산 114번지의 약 1.5ha에 자생하는 28년생 상수리나무임분을 대상으로 하였다. 조사지의 토양은 퇴적암인 사질천매암 및 이질암을 모재로 생성된 암적갈색약건산립토양형(DRb₂)이 분포하고 있으며 표고 430m, 평균 경사 25°의 서향에 위치하였다. 이 지역 연평균 강수량은 1,225mm, 연평균 기온은 12.0°C로서 우리나라 연평균 강수량 1,310mm, 연평균 기온 12.3°C에 비해 낮았다(Korea Meteorological Administration, 2003). 조사지내 상수리나무를 제외한 주요 식생으로 고목층의 경우 비목나무(*Lindera erythrocarpa*), 갈참나무(*Quercus aliena*), 느릅나무(*Ulmus davidiana* var. *japonica*), 산벚나무(*Prunus sargentii*), 관목층은 화살나무(*Euonymus alatus*), 찔레꽃(*Rosa multiflora*), 고팡나무(*Philadelphus schrenkii*), 개웃나무(*Rhus trichocarpa*), 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium*), 고추나무(*Staphylea bumalda*) 등이 분포하였다.

조사지는 2005년 5월 15일 동일 사면을 대상으로 총 18개의 20m×20m 조사구를 설치하였으며, 각 조사구는 토양 이화학적 특성의 분석을 위해 각 층위별 시료가 채취되고 분석되었다(National Institute of Agricultural Science and Technology, 1988). 낙엽낙지의 정량화는 각 조사구에 수집면적 0.25m² 원형 낙엽수집기(Litter trap)를 지상 0.6m 높이에 3개씩(총 54개) 설치하고, 2005년 5월부터 2006년 12월까지 약 20개월 동안 매월 또는 2-3개월 간격으로 총 10회

(2005년 6월 19일, 7월 23일, 8월 23일, 9월 24일, 10월 22일, 12월 3일, 2006년 3월 19일, 5월 13일, 8월 21일, 12월 8일) 수집하였다. 수집된 낙엽은 65°C 건조기에서 48시간 이상 건조하였으며, 건조된 낙엽시료는 엽, 가지, 수피, 열매 등 각 기관별로 분류하고 무게를 측정 후 ha당 낙엽낙지량으로 환산하였다. 조사구의 임분특성인 임목밀도, 흉고직경, 수고 등의 매목 조사는 2005년 8월 실시하였다. 각 조사구 내 1년 동안 유입된 낙엽낙지량은 2005년 5월 15에서 12월 3일 사이를 2005년 낙엽낙지량, 2005년 12월 4일부터 2006년 12월 8일 사이를 2006년 낙엽낙지량으로 하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 임분 및 토양특성

각 조사구의 임목밀도는 100본/ha에서 500본/ha까지 분포하였고(Table 1), 평균 임목밀도는 350본/ha으로 천연림이지만 임목밀도가 낮게 나타난 것은 조사가 실시되기 5년전(2000년) 숲 가꾸기 사업이 실시되어 형질불량목이 제거되고 임목밀도가 조절되었기 때문이다. 평균 흉고직경의 경우 0.171m에서 0.24m까지 분포하였고 평균 흉고직경은 0.213m, 평균 수고는 17.8m정도였다. 임분 흉고단면적합 분포는 4.5m²/ha에서 20.9m²/ha로 조사구 사이에 차이가 크게 나타났으며 평균 흉고단면적합은 11.4m²/ha 였다.

조사구의 토양특성 중 토양 입경분포는 이 지역 토양 모재가 퇴적암 중 세립질 입자를 가지는 이질암 및 사질천매암으로부터 유래하여 미사의 함량이 70% 이상으로 높게 나타났으며 그 결과 토성은 미사질 양토나 미사토가 분포하고 있다(Table 2). 우리나라 산림지역 퇴적암 모재 토양의 모래, 미사, 점토 비율은 24.5%, 51.2%, 23.3%로서(Jeong et al., 2003), 조사지는 우리나라 평균 값에 비해 모래와 점토는 낮고 미사 함량은 높았다. 토양의 화학적 특성 중 A층의

Table 1. Stand characteristics of the study site (n=18)

Attribute	Mean±SE	Range
Tree density (trees/ha)	305±22.8	100-500
DBH (m)	0.213±0.005	0.171-0.240
Height (m)	17.8±0.5	14.1-22.3
Basal area (m ² /ha)	11.4±0.9	4.5-20.9

Table 2. Soil physico-chemical properties in a *Quercus acutissima* stand (n=18)

Horizon	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil pH	Organic matter (%)	Total nitrogen (%)	Avail. P ₂ O ₅ (mg/kg)	CEC (cmolc/kg)	Exchangeable (cmolc/kg)			
									K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
A	16.8 (1.25)	74.5 (1.87)	8.7 (0.8)	5.7 (0.1)	4.9 (0.4)	0.3 (0.02)	7.6 (0.8)	15.0 (0.5)	1.1 (0.06)	0.11 (0.003)	6.12 (0.84)	1.52 (0.13)
B	18.7 (1.15)	70.2 (1.29)	11.1 (0.5)	5.5 (0.1)	3.2 (0.3)	0.2 (0.02)	5.8 (0.6)	14.0 (0.4)	0.84 (0.05)	0.11 (0.003)	3.58 (0.77)	1.07 (0.10)

*Values in parenthesis are one stand error

Table 3. Annual litterfall amounts (Mean±SE) of study sites

Year	Litterfall component (kg/ha/yr)						
	Leaf	Bark	Branch	Flower	Miscellaneous	Acorn and cupule	Total
2005	3,264±103	23±9	543±51	21±4	610±33	227±34	4,690±141
Range	2,627-4,192	0-128	184-900	5-73	420-880	73-588	3,651-5,677
2006	3,406±118	34±10	706±71	10±12	475±26	365±59	5,087±168
Range	2,354-4,015	0-144	394-1,419	0-154	340-707	98-1,506	3,740-6,277
P-value	0.24	0.46	0.13	0.0001	0.001	0.007	0.06

토양 pH는 5.7, B층은 5.5, 토양유기물 함량의 경우 A층 4.9%, B층 3.2%이며, 유효 인산의 경우 4.9 ppm으로 인산의 함량이 산림토양에 비해 매우 낮은 반면에 CEC, 치환성 양이온 등은 산림토양에 비해 비교적 높게 나타났다(Jeong *et al.*, 2003).

3.2. 낙엽낙지량의 년 변화

산림생태계내 낙엽낙지량의 년 변화는 기후요인이나 토양특성 등에 따라 다르게 나타날 수 있기 때문에 (Hennessey *et al.*, 1992) 낙엽낙지량의 년 변화의 비교를 위해서는 유사한 지위와 환경조건을 가진 임분에서 조사되어야 한다. 본 연구결과 낙엽낙지량 중 잎, 수피, 가지, 총 낙엽낙지량 등은 2005년과 2006년 사이에 유의적인 차이가 없었으나($P>0.05$) 꽃, 기타물질, 열매 및 각두량은 유의적인 차이($P<0.05$)가 있는 것으로 나타났다(Table 3). 낙엽량의 년 변화는 임분생장기간 동안 온도조건이 가장 중요한 요인으로 (Pedersen and Bille-Hansen, 1999) 이는 온도가 토양내 수분이나 양분 유효도에 변화를 초래하여 지상부 임분의 엽량에 영향을 미치기 때문으로 알려져 있다 (Finer, 1996). 그러나 성숙 임분을 대상으로 한 연구들은 낙엽량의 년 변화가 유의적인 차이를 보이지 않는 것으로 보고하고 있으며(Pedersen and Bille-Hansen, 1999), Bray and Gorham(1964)는 광범위한

문헌 조사를 통하여 임분이 율폐되는 경우 낙엽낙지량의 년 변화는 크지 않다는 결론을 제시한 바 있다. 이 지역 상수리나무임분의 낙엽낙지량은 2005년 4,690kg/ha, 2006년 5,087kg/ha로 2006년 수집된 낙엽낙지량은 2005년보다 약 397kg/ha/yr정도 높게 나타났으며 이는 2005년의 경우 낙엽수집이 약 8개월이었던 것에 비해 2006년은 1년동안 수집되어 조사기간의 차에 의한 것으로 사료된다. 꽃이나 열매같은 생식기관이나 기타물질 등의 차이도 조사기간의 차 때문으로 사료되나 참나무류 열매의 경우 년 변화가 크게 발생하는 낙엽낙지 구성성분으로 알려져 있다(Healy *et al.*, 1991).

3.3. 낙엽낙지량과 임분특성의 관계

임목밀도, 평균 흉고직경, 평균 수고, 흉고단면적합 등과 같은 산림지역에서 쉽게 측정 가능한 임분환경요인과 낙엽낙지 구성성분의 상관관계를 조사한 결과, 꽃, 기타물질을 제외하고, 임분환경요인은 낙엽낙지 구성성분과 상관관계가 없는 것으로 나타났다(Table 4). 산림생태계에서 발생하는 낙엽낙지중 낙엽량에 영향을 미칠 수 있는 임분환경요인으로 흉고단면적합은 간벌이 실시된 10년생 테에다소나무임분의 경우 낙엽량과 유의적인 양의 상관관계를 보였으며(Hennessey *et al.*, 1992), Scots pine이나 Norway spruce의 경우도 흉

Table 4. Correlation coefficients (*r*) between stand attributes and litterfall components in a *Quercus acutissima* stand (n=18)

Year	2005				2006			
	Tree density	Mean DBH	Mean height	Basal area	Tree density	Mean DBH	Mean height	Basal area
Litterfall component								
Leaf	0.05	-0.08	-0.24	0.02	-0.10	0.30	0.09	0.05
Bark	0.32	-0.07	0.23	0.22	0.18	-0.18	-0.17	0.10
Branch	-0.30	0.23	0.09	-0.14	0.05	-0.19	-0.24	-0.07
Flower	0.17	0.44	0.30	0.48*	-0.44	-0.07	0.03	-0.49*
Miscellaneous	-0.25	0.49*	0.60***	0.01	0.21	0.48*	0.29	0.49*
Acorn and cupule	0.14	0.18	0.08	0.26	0.11	-0.01	-0.12	0.11
Total	-0.07	0.19	0.04	0.06	0.01	0.18	-0.03	0.09

* <0.05 , ** <0.01 , *** <0.001

고단면적합과 낙엽낙지량은 양의 상관($r=0.56-0.57$)관계가 있는 것으로 보고되고 있다(Berg and Laskowski, 2005). 대조적으로 Meiner *et al.*(2006)은 임관이 울폐된 지역의 경우 흉고단면적 합과 낙엽량은 유의적인 관계가 없었고($P>0.05$) 이는 임관이 울폐되는 경우 낙엽으로 환원될 수 있는 엽면적이 최대가 되고 평형 상태에 도달하기 때문이라 하였다(Waring and Running, 2007). 본 연구에서도 약 20개월의 조사기간 동안 낙엽량은 흉고단면적합과 상관관계($r=0.02, 0.05; P=0.93, 0.83$)가 없는 것으로 나타나 본 조사가 2000년에 숲가꾸기를 통한 임목밀도 조절이 실시되었다 하더라도 5년이 경과한 후에는 임관의 울폐가 발생하였기 때문에 사료된다.

임목밀도의 경우도 상수리나무 낙엽량에 유의적인 영향을($r=-0.10, 0.05; P=0.85, 0.69$) 미치지 않는 것으로 나타났으며 유사한 결과로서 너도밤나무임분에서 임목밀도와 낙엽낙지량과는 상관관계가 없는 것으로 보고된 바 있다(Pedersen and Bille-Hansen, 1999). 이는 임관이 울폐된 후 임목밀도는 낙엽량에 미치는 영향이 크지 않기 때문으로 알려져 있으나(Zavitkoski and Newton, 1971) 간벌 같은 산림경영활동에 의해 급격하게 감소되는 경우 낙엽량에 영향을 미치는 경우도 있다(Blanco *et al.*, 2006). 평균 흉고직경의 경우도 임목밀도의 영향을 많이 받기 때문에 임목밀도의 결과와 유사하며 낙엽량에 유의적인 상관관계가 없는 것으로($r=-0.08, 0.30; P=0.73, 0.22$) 나타났다. 평균 수고의 경우 산림생산력의 지표인 지위를 판정하는 중요한 인사이지만, 평균 수고와 낙엽량의 경우도 유의적인 상관관계가($r=-0.24, 0.09; P=0.34, 0.70$) 없는

것으로 나타났으며 유사한 결과로서 미국 Oregon주 red alder 임분에서도 평균 수고와 낙엽량과는 유의적인 관계가 없는 것으로 보고된 바 있다(Zavitkoski and Newton, 1971).

낙엽낙지 구성성분중 수피, 가지, 열매 등도 임분 특성과 관계가 없는 것으로 나타났으며 이는 이들 성분이 임분 특성의 영향을 받기보다는 조사구 사이에 공간적인 변이가 크기 때문에 사료된다. 손으로 분리하기 어려운 잎, 수피, 생식기관 파편 등으로 구성되는 기타 물질의 경우 평균 흉고직경, 평균 수고, 흉고단면적합과 양의 상관관계가 있었으며 이는 이들 성분이 임목의 크기 등에 의해 영향을 받고 있기 때문에 사료된다.

적 요

상수리나무임분을 대상으로 산림지역에서 쉽게 측정이 가능한 임목밀도, 평균 흉고직경, 평균 수고, 흉고단면적합 등의 임분특성과 낙엽낙지량과의 관계를 조사한 결과 임분 특성은 꽃과 기타물질을 제외하고 낙엽낙지 구성성분과 유의적인 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 약 20개월의 조사기간동안 낙엽낙지 구성성분 중 가장 높은 비율을 차지하는 낙엽량의 경우 흉고단면적합과 상관관계가 없는 것으로 나타났고, 임목밀도도 낙엽량에 유의적인 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 평균 흉고직경의 경우 임목밀도의 영향을 많이 받기때문에 임목밀도의 결과와 유사하며, 평균 수고와 낙엽량의 경우도 유의적인 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이는 성숙한 상수리나무임분의 경우

입관이 율폐되어, 여러 가지 입분특성이 낙엽낙지량에 미치는 영향이 크지 않기 때문에 그 결과 낙엽낙지량의 년 변화도 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다.

REFERENCES

- Berg, B. and R. Laskowski, 2005: Litter decomposition; A guide to carbon and nutrient turnover. *Advances in Ecological Research* **38**, 20-71.
- Blanco, J. A., J. B. Imbert and F. J. Castillo, 2006: Influence of site characteristics and thinning intensity on litterfall production in two *Pinus sylvestris* L. forests in the western Pyrenees. *Forest Ecology and Management* **237**, 342-352.
- Bray, J. R. and E. Gorham, 1964: Litter production in forests of world. *Advances in Ecological Research* **2**, 101-157.
- Finer, L., 1996: Variation in the amount and quality of litterfall in a *Pinus sylvestris* L. stand growing on a bog. *Forest Ecology and Management* **80**, 1-11.
- Gholz, H. L., C. S. Perry, W. P. Cropper, and L. C. Hendry, 1985: Litterfall, decomposition, and nitrogen and phosphorus dynamics in a chronosequence of Slash pine (*Pinus elliottii*) plantations. *Forest Science* **31**, 464-473.
- Healy, W. M., A. M. Lewis and E. F. Boose, 1999: Variation of red oak acorn production. *Forest Ecology and Management* **116**, 1-11.
- Hennessey, T. C., P. M. Dougherty, B. M. Cregg, and R. F. Wittwer, 1992: Annual variation in needle fall of a loblolly pine stand in relation to climate and stand density. *Forest Ecology and Management* **51**, 329-338.
- Jeong, J., C. Kim, K. Goo, C. Lee, H. Won, and J. Byun, 2003: Physico-chemical properties of Korean forest soils by parent rocks. *Korean Journal of Forest Society* **92**, 254-262. (in Korean with English abstract)
- Kim, C., K. S. Koo., Y. K. Kim, W. K. Lee, J. H. Jeong and H. S. Seo, 1997: Dynamics of litterfall and nutrient inputs in *Quercus acutissima* and *Pinus koraiensis* stands. *FRI Journal of Forest Science* **55**, 13-18. (in Korean with English abstract)
- Korea Meteorological Administration, 2003: Annual Climatological Report. 293pp. (in Korean)
- Meiner, C. E., J. A. Stanturf and E. S. Gardiner, 2006: Litterfall in the hardwood forest of miner alluvial-floodplain. *Forest Ecology and Management* **234**, 60-77.
- Mun, H. T. and H. T. Joo, 1994: Litter production and decomposition in the *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* forests. *Korean Journal of Ecology* **17**, 343-353. (in Korean with English abstract)
- National Institute of Agricultural Science and Technology, 1988: Methods of soil chemical analysis. Sammi Press, Suwon. (in Korean with English abstract)
- Pedersen, L. B. and J. Bille-Hansen, 1999: A comparison of litterfall and element fluxes in even aged Norway spruce, Sitka spruce and beech stands in Denmark. *Forest Ecology and Management* **114**, 55-70.
- Starr, M., A. Saarsalma, T. Hokkanen, P. Merila, and H. Helmisaari, 2005: Models of litterfall production for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland using stand, site and climate factors. *Forest Ecology and Management* **205**, 215-225.
- Vose, J. M. and H. L. Allen, 1991: Quantity and thinning of needlefall in N and P fertilized loblolly pine stands. *Forest Ecology and Management* **41**, 205-219.
- Waring, R. H. and S. W. Running, 2007: Forest Ecosystems. 3rd edition. 420pp.
- Zavitkovski, J. and M. Newton, 1971: Litterfall and litter accumulation in red alder stands in western Oregon. *Plant and Soil* **35**, 257-268.