

## 미국 뉴햄프셔주 낙엽활엽수림에서 낙엽량 측정을 위한 최소 필요 표본수

배 기 강\*

산림청 국제협력담당관실

## Required Sample Size for Estimating Litter Mass in Northern Hardwood Forests, New Hampshire, USA

Kikang Bae\*

*International Cooperation Division, International Affairs Bureau, Korea Forest Service,  
Daejeon 302-701, Korea*

**Abstract** - In order to accurately estimate the litter mass, we evaluated the required sample sizes across 13 chronosequence stands for five years (1994~1996, 2003~2004) in northern hardwood forests in New Hampshire, USA. It was found that the number of required litter traps in our stands (0.25~0.5 ha) within  $\pm 10\%$  of the sample mean was appeared to be similar or higher than the 15 litter traps installed in this study. Notably, in 1994 and 1995, the number of required litter trap was twice higher than the 15 litter traps. Further, within  $\pm 20\%$  of the sample mean, the number of required litter traps was less than 10 across all 13 stands for five years, which indicates that we can reduce the sample size. Precisely, the number of sample size had increased in stands with steep and high elevation, but no relations with stand age across 13 stands were observed. Based on these results, we suggest that it is important to sample litter mass for several years, in order to determine the number of appropriate sample size, and stands with steep and high elevation may need more litter traps.

**Key words** : annual variation, forest age, litter trap, New Hampshire, stand variation

### 서 론

낙엽 등의 산림부산물들은 토양 내 유기물 및 다양한 양분을 제공해 주는 등 산림생태계에서 중요한 역할을 한다 (Clark *et al.* 2001). 따라서 산림 생태계의 물질순환을 이해하기 위해 낙엽량에 대한 정량적 측정 연구는 열대, 온대 및 한대 (Hughes and Fahey 1994; Gower *et al.* 2001; Clark *et al.* 2008) 산림에 걸쳐 빈번하게 이루어지

고 있다. 이런 다양한 연구를 통해 낙엽량은 임분 상태나 환경 인자에 따라 상당한 차이가 있음이 관찰되었으나 (Hughes and Fahey 1994; Berg and Laskowski 2005; Starr *et al.* 2005; Yanai *et al.* 2012), 상대적으로 낙엽량의 샘플링 방법에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다 (Proctor 1983; Finotti 2003).

정확한 낙엽량을 측정하기 위해서는 표본크기, 즉 트랩수를 증가시키면 되지만, 이를 위한 조사 인력과 시간, 비용 역시 고려해야 한다. 일부 연구에서는 낙엽량 측정을 위해 이중 추출(double-sampling)을 통해 트랩수 감소를 시도해 보거나 (Dellenbaugh *et al.* 2007) 변동계 (coef-

\* Corresponding author: Kikang Bae, Tel. 042-481-8806,  
Fax. 042-481-8884, E-mail. kbae02@gmail.com

ficient of variation)를 계산하여 현재 트랩수가 충분한지 간단히 평가(Finotti 2003)하는 등의 노력들이 있었다. 하지만, 실제 대부분의 조사지에서는 임분의 상태나 기후 등과 관계없이, 단지 조사구의 크기에 따라 트랩수나 트랩 크기 정도만을 고려한 실험설계를 하고 있다.

본 연구의 목적은 미국 북동부 활엽수림을 대상으로 수년간 걸친 낙엽량 측정에 적절한 표본수를 알아보는 것이었다. 또한 낙엽 수집을 위해 필요한 트랩수가 임분의 임령, 지형 및 연도별로 차이가 있는지 분석하여 추후 낙엽량 측정 시 필요한 트랩수 결정에 도움을 주고자 하였다.

### 재료 및 방법

#### 1. 조사지

본 연구는 미국 북동부 뉴햄프셔주 화이트마운틴에 위치한 활엽수림을 대상으로 실시되었다. 조사지는 연령 대별 차이를 알아보기 위해 조성되었으며 개별 이후 천연갱신되어 2003년 당시 15~129년의 임분 연령을 나타내었다. 본 연구에 이용된 13개의 임분은 모두 비슷한 기후(1월 평균기온  $-9^{\circ}\text{C}$ 와 7월 평균기온  $18^{\circ}\text{C}$ , 연평균 강수량 1,270 mm의 습윤대륙성)와 토양(스포도솔, Spodosols)을 가지고 있으며 임분의 특성은 Table 1에 요약되어 있다. 흉고단면적은 2 cm 이상의 모든 수목의 흉고직경을 측정하여 산정하였다.

#### 2. 낙엽량 조사 및 분석

낙엽량 조사를 위해 1993년 8월 각 임분(0.25~0.5 ha) 내 15개의 사각형 트랩(가로세로 각 0.38 m, 면적  $0.146\text{ m}^2$ , 높이는 지면에서 약 0.35 m)을 설치하였다. 본 연구에 사용된 트랩은 북미 낙엽활엽수림 지역에서 주로 사용되는 트랩의 모양과 면적, 설치 높이에 따라 설치하였다. 낙엽은 1994~1996, 2003~2004의 5년 동안 매년 8월과 낙엽이 모두 떨어진 11월 두 차례에 걸쳐 수집되었다. 낙엽 수집 시 트랩 내 떨어진 가지나 열매, 종자는 제거하였다. 수집된 낙엽은 지퍼백에 넣어 실험실로 운반한 후  $60^{\circ}\text{C}$  건조기에서 3일 이상 건조 후 무게를 측정하였다.

#### 3. 최소 필요 표본수

본 연구에서 매년 임분별 필요한 최소 표본수를 산정하기 위해 Petersen and Calvin(1986) 식을 이용하였다.

Table 1. Thirteen northern hardwood sites used in this study

Site	Year cut	Latitude	Longitude	Elevation	Aspect	Slope	Basal area ( $\text{m}^2\text{ ha}^{-1}$ ) in 2003							Total
							<i>Fagus grandifolia</i>	<i>Acer saccharum</i>	<i>Betula papyrifera</i>	<i>Betula alleghaniensis</i>	<i>Acer rubrum</i>	<i>Prunus pensylvanica</i>	<i>Fraxinus americana</i>	
H6	1984	44°03'N	71°17'W	330	NNE	12	0.7	4.7	3.8	0.2	6.4	0.5	0.6	19
M6	1979-80	44°00'N	71°25'W	540	WNW	19	1.3	5.0	3.7	0.7	9.4	0	5.5	28
M5	1976-77	44°13'N	71°14'W	630	SSW	28	8.5	6.4	1.4	0.3	3.5	0.9	3.0	28
W101	1971	43°56'N	71°44'W	520	S	21	1.6	0.3	9.0	0	13.8	0.3	2.8	30
H5	1967	44°03'N	71°17'W	360	NNE	18	3.3	6.9	2.0	0.3	2.1	1.9	2.6	26
T20	1958	44°04'N	71°25'W	540	ESE	14	4.2	0.1	7.7	4.0	0.4	0.2	2.8	29
M4	1949-50	44°09'N	71°14'W	460	NNE	9	3.1	10.4	4.1	1.7	0.07	3.9	3.4	33
T30	1948	44°09'N	71°14'W	550	NNE	13	9.4	3.2	2.6	0.6	0.0	5.6	2.5	32
H1	1939	44°03'N	71°17'W	320	flat	2	5.1	6.0	0.1	16.6	0.0	2.7	3.3	37
H4	1933-35	44°03'N	71°17'W	350	NNE	18	4.2	18.6	2.0	0.6	0.0	0.4	8.2	38
M3	1910	44°13'N	71°15'W	580	SSW	26	3.5	2.8	8.7	4.8	0.0	0	3.6	34
H2	1875	44°03'N	71°17'W	320	flat	5	11.9	0.0	1.3	4.8	0.0	9.6	2.7	37

$$n = t_a^2 s^2 / D^2$$

$t_a$ 는 스튜던트 t 통계량이고  $a$ 는 신뢰 수준,  $s$ 는 낙엽량의 표준편차, 그리고  $D$ 는 명시된 오차범위 (specified confidence interval)이다. 명시된 오차범위란 표본평균 내 허용가능한 오차범위를 의미한다. 본 연구에서는 95% 신뢰수준에서 명시된 오차범위를 각 10%, 20%를 사용하여 최소 필요 표본수를 계산하였다.

#### 4. 통계 분석

낙엽량의 임분별 차이를 알아보기 위해 연도별 반복 측정 분산분석 (repeated measurement ANOVA)을, 연도별 차이를 알아보기 위해 임분별 반복측정 분산분석을 시행하였다. 또한 임분별 차이에 영향을 주는 요인을 분석하기 위해 임분의 최소 필요 표본수와 임령, 낙엽량, 해발고도, 경사도와의 상관관계를 분석하였으며, 역시 연도별 차이에 영향을 주는 요인을 분석하기 위해 임분의 최소 필요 표본수와 낙엽량의 상관관계를 분석하였다. 모든 통계분석은 유의성  $\alpha=0.05$  수준에서 SAS를 이용하였다 (SAS Institute Inc., 2009).

### 결과 및 고찰

임분별 최소 필요 표본수는 오차범위 10%에서는 1993~1994년 약 절반인 6개의 임분에서 현재 15개의 트랩 수보다 더 많은 트랩이 필요한 것으로 나타났으며, 오차범위 20%에서는 대부분 필요한 트랩수가 10개 이하로 나타났다 (Fig. 1). 본 연구에서 오차범위 10%일 경우, 일

반적으로 1 ha 미만의 한 임분에서는 10~30개의 트랩수가 낙엽·낙지량 측정에 적적하다는 연구결과 (Proctor 1983; Stocker *et al.* 1995)와 크게 다르지 않았으나, 현재의 15개 트랩수가 특정 연도에서는 부족할 수 있다는 것으로 사료된다. 반면, 오차범위 20%에서는 현재의 15개 트랩수는 필요 이상으로 많음을 알 수 있었다.

임분별 최소 필요 표본수는 반복측정 분산분석 결과 M3와 M5에서 높게 나타났다 ( $p<0.01$ ) (Fig. 1). 상관관계 분석 결과, 임분별 최소 필요 표본수는 해발고도가 높고 ( $r=0.67, p=0.01$ ) 경사도가 급할수록 ( $r=0.64, p=0.01$ ) 더 높게 나타났으며, 임령이나 낙엽량과는 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 최소 필요 표본수가 해발고도 및 경사도와 양의 상관관계를 나타내었으나, 상관관계가 지수함수 그래프와 유사하며 특히 M3, M5의 두 임분이 상관관계에 큰 영향을 준 것으로 관찰되었다 (Fig. 2). 즉, 두 임분을 제거한 이후 11개의 임분을 대상으로 상관관계를 재분석한 결과 더 이상 상관관계를 보이지 않았으며, 이를 통해 해발고도와 경사도는 일정 수준 이상일 경우에만 최소 필요 표본수에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다. 이렇게 해발고도가 높고 경사도가 급한 임분에서 더 많은 표본의 변동이 있는 것은 측정오류 (measurement error)가 커질 수 있기 때문으로 사료된다. 예를들면, 트랩 설치 시 지면과 트랩의 경사도에 차이가 날 수 있는 확률이 높아져 측정값에 더 큰 변이가 있을 수 있는 것 등이다.

연도별 최소 필요 표본수는 차이가 있었는데 ( $p=0.02$ ), 이는 1994년 필요한 트랩수가 1995년과 2003년에 비해 약 3배의 트랩수가 필요한 등 통계적으로 유의하게 많았기 때문이었다. 온대 낙엽활엽수림에서 연도별 낙엽량

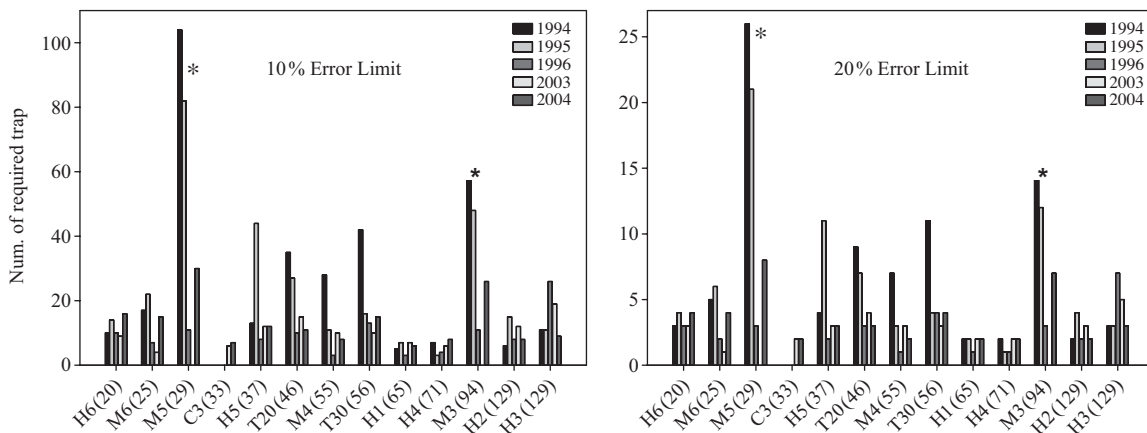
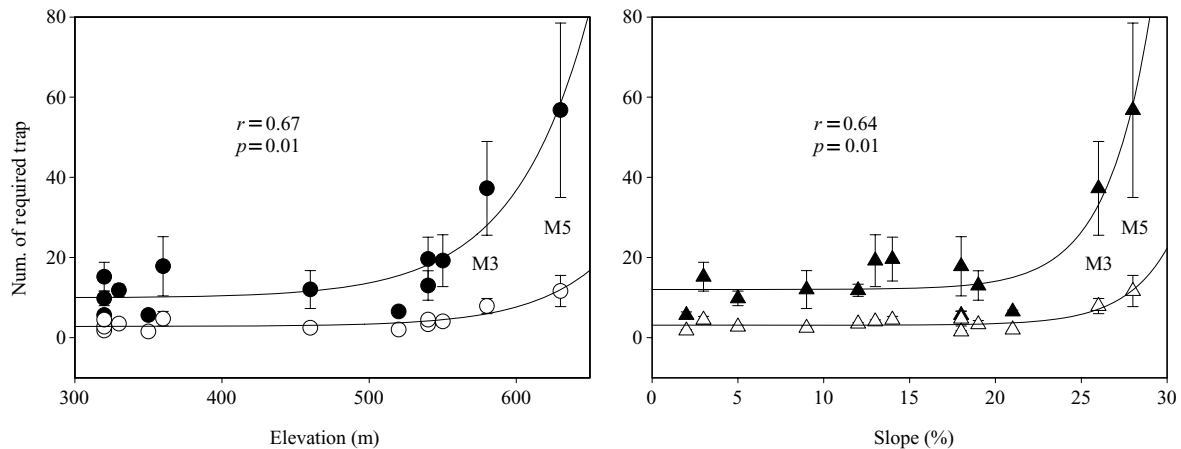


Fig. 1. Number of required trap in each year for estimating litter mass within  $\pm 10$  and  $\pm 20\%$  of the sample mean at the 95% probability level. Numbers in parenthesis indicate a stand age.



**Fig. 2.** Correlations between number of required trap and each of elevation (left) and slope (right) at  $\pm 10\%$  (black) and  $\pm 20\%$  (white) of the sample mean. Points represent the mean and bars the standard error of the mean ( $n=13$  stands) and lines show relationships significant.

의 차이는 가뭄이나 태풍 등 기후적 요인에 의해 차이가 있음이 보고되었으나 (Hughes and Fahey 1994; Newman *et al.* 2006), 본 연구에서는 연도별 필요 트랩수의 차이는 연도별 낙엽량의 차이와 상관관계가 없었으며 ( $p=0.34$ ), 특정 연도의 기후적 요인에도 영향받지 않은 것으로 보였다. 따라서, 본 조사지의 연도별 최소 필요 표본수의 차이는 임분의 특성, 기후, 지형, 낙엽량의 차이가 아닌 측정오류로 설명될 수 있다. 1994년의 트랩은 타 연도에 비해 평균 8% 트랩이 손실되는 등 가장 적은 트랩수가 필요 표본수 산정에 이용된 점과 1994년 낙엽 수집 시의 측정자에 의한 오류 등이 1994년의 높은 필요 표본수에 영향을 미친 것으로 사료된다. 따라서 필요한 표본수를 계산하기 위해서는 본 연구에서와 같이 다년간에 걸친 조사가 필요함을 알 수 있었다.

## 적 요

본 연구에서는 미국 뉴햄프셔주 13개 임분의 낙엽활엽수림에서 5년간(1994~1996, 2003~2004) 낙엽량 측정을 위한 최소 필요 표본수를 알아보았다. 임분별 최소 필요 표본수는 오차범위 10%에서는 현재의 15개 트랩수와 비슷했으나, 1994년과 1995년은 타 연도에 비해 약 2배인 30개의 트랩수가 필요하였다. 오차범위 20%에서는 5년간 13개 모든 임분에서 필요한 트랩수는 10개 미만으로 나타났다. 임분별로 최소 필요 표본수는 차이가 있었는데 특히 경사가 급하고 해발고도가 높은 임분에서 더 많은 트랩이 설치되어야 하며, 임분 연령이나

낙엽량과는 관계가 없음이 나타났다. 결론적으로 낙엽량 측정을 위한 최소 필요 표본수를 산정할 경우, 본 연구에서와 같이 다년간의 샘플링이 필요하며, 임분의 지형적 특성 역시 고려해야 함을 알 수 있었다.

## REFERENCES

- Berg B and R Laskowski. 2005. Litter decomposition: A guide to carbon and nutrient turnover. *Adv. Ecol. Res.* 38:20-71.
- Clark DA, B Sandra, WK David, QC Jeffrey, RT John, N Jian and AH Elisabeth. 2001. Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecol. Appl.* 11:371-384.
- Clark DB, PC Olivas, SF Oberbauer, DA Clark and MG Ryan. 2008. First direct landscape scale measurement of tropical rain forest Leaf Area Index, a key driver of global primary productivity. *Ecol. Lett.* 11:163-172.
- Dellenbaugh M, JC Innes and MJ Ducey. 2007. Double sampling may improve the efficiency of litterfall estimates. *Can. J. For. Res.* 37:840-845.
- Finotti R, SR Freitas, R Cerqueira and MV Vieira. 2003. A Method to Determine the Minimum Number of Litter Traps in Litterfall Studies. *Biotropica* 35:419-421.
- Gower ST, O Krankina, RJ Olson, M Apps, S Linder and C Wang. 2001. Net primary production and carbon allocation patterns of boreal forest ecosystems. *Ecol. Appl.* 11:1395-1411.
- Hughes JW and TJ Fahey. 1994. Litterfall dynamics and ecosystem recovery during forest development. *Forest Ecol. Manag.* 63:181-198.

- Newman GS, MA Arthur and RN Muller. 2006. Above- and Belowground Net Primary Production in a Temperate Mixed Deciduous Forest. *Ecosystems* 9:317-329.
- Petersen RG and LD Calvin. 1986. Sampling. pp.33-51. In American Society of Agronomy Inc. and Soil Science Society of America, Inc. (Campbell GS, DR Nielsen, RD Jackson, CA Klute and MM Mortland eds.). Madison, WI, USA.
- Proctor J. 1983. Tropical forest litter-fall. I. Problems of data comparison. pp.267-273. In *Tropical Rain Forest Ecology and Management* (Sutton SL, TC Whitmore and CA Chadwick eds.). Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- 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 Ecol. Manag.* 205:215-225.
- Stocker GC, WA Thompson, AK Irvine, JD Fitzsimon and PR Thomas. 1995. Annual patterns of litterfall in a lowland and tableland rainforest in tropical Australia. *Biotropica* 27:412-420.
- Yanai RD, MA Arthur, M Acker, CR Levine and BB Park. 2012. Variation in mass and nutrient concentration of leaf litter across years and sites in New Hampshire northern hardwoods. *Can. J. For. Res.* 42:1597-1610.

Received: 24 July 2014

Revised: 29 August 2014

Revision accepted: 1 September 2014