

지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방법의 개발

申萬鏞* · 韓元成

국민대학교 산림자원학과

Development of a Forest Inventory System for the Sustainable Forest Management

Man Yong Shin* and Won Sung Han

Department of Forest Resources, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

요약: 본 연구는 지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방법을 제시하기 위해 계통적 추출법, 계통적 집락추출법, 그리고 층화집락추출법을 이용하여 경기도 양평군의 산림을 대상으로 자료를 수집한 후 통계검증을 실시하였다. 표본조사 방법은 계통적 집락추출법이 가장 효율적인 것으로 분석되었는데, 계통적 집락추출법을 적용할 경우 집락의 형태와 집락 내의 표본점 간의 거리를 결정하기 위해 5가지 집락의 형태와 표본점간의 거리 4가지에 대하여 통계검증을 실시하였다. 그 결과 집락의 형태는 삼각형 그리고 집락 내의 표본점 간의 거리는 50m가 가장 적합할 것으로 평가되었다.

Abstract: This study was conducted to develop an efficient method of sampling design appropriate for the sustainable forest management. For this, data were collected in Yangpyung-Gun, Gyunggi Province based on three different sampling designs such as systematic design, systematic cluster design, and stratified cluster design. Based on evaluation statistics, the sampling designs were compared to select a sampling method fitted to sustainable forest management. It was found that the systematic cluster sampling is the most efficient sampling method in terms of feasibility for sustainable forest management. It was also recommended that the sample plots should be made as a cluster of triangle-shape. The clusters should be consisted of a main plot and three sub-plots. And the sub-plots should be arranged with a distance of 50m from the main plot in the center of cluster.

Key words : sampling designs, sustainable forest management, forest inventory system, systematic sampling, systematic cluster sampling, stratified cluster sampling

서론

산림의 다양한 기능에 대한 사회적 요구가 증대하면서 1992년에 개최된 유엔환경개발회의(UNCED) 이후 제기된 “지속가능한 개발”의 원칙은 산림에 대한 가치관이 목재생산 중심의 경제적 기능 및 산림의 공익적·환경적·생태적 기능을 동시에 만족시키는 방향으로 변화시키는 계기를 마련하게 되었다(신만용 등, 2002; Laar and Akca, 1997). 이러한 상황에서 현재 우리나라에서 채택하고 있는 양적 임목통계 위주의 산림자원조사 방법으로는 그 변화를 수용하기 어렵기 때문에 산림환경생태 인자를 포함하는 다목적 자원정보의 수집이 가능한 산림자원조사 방법의 개발이 불가피한 실정이다(Ghosh and Innes, 1996).

한편 인간의 경제활동으로 인한 환경파괴가 심각한 수준에 이르게 됨에 따라 국제적인 환경문제가 제기되면서 환경오염의 감소와 지속가능한 개발이라는 문제가 범지구적 관심사가 되었다. 결과적으로 다양한 국제협약과 기구에서는 회원국들의 경제활동으로 인한 환경변화에 따른 통계자료의 제출을 의무화하고 있으며, 앞으로 국가간 경제협력에서는 이러한 자료를 토대로 협상이 이루어질 전망이다(임업연구원, 2002; FAO, 2000; Hampus *et. al.*, 2001; Katila and Tomppo, 2002). 이와 같은 현실에서 환경적으로 중요한 가치를 지니고 있는 산림자원에 대한 다양하면서도 정확한 통계자료의 확보를 위한 산림자원조사는 국제기구에서 요구하는 국가보고서 제출의 의무 이행과 산림자원의 지속가능한 경영을 위한 필수적인 과제라고 할 수 있다.

최근 기후변화협약과 관련하여 교토의정서가 발효되면서 산림에 대한 중요성이 증대되고 있으며, 특히 환경적

*Corresponding author
E-mail: yong@kookmin.ac.kr

으로 중요한 가치를 지니고 있는 산림자원에 대한 다양한 면서도 정확한 통계자료의 확보가 시급한 실정이다. 그동안 우리나라에서 실시하였던 산림자원조사는 임목자원 중심의 정보를 수집하는 체계를 유지하고 있어 다양한 정보를 수집하기에는 한계가 있었다(산림청, 2003). 따라서 우리나라에서 실시하고 있는 임목자원 위주의 산림자원조사는 산림의 지속가능한 경영을 위한 다양한 정보를 수집할 수 있는 새로운 산림자원조사체계로의 전환이 요구되고 있다(신만용 등, 2002; 임업연구원, 2002; Tomppo *et al.*, 2001). 결국 우리나라의 산림자원조사는 다양한 산림자원 정보의 수집과 산림통계의 산출이 가능한 조사체계의 정립이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구는 지속가능한 산림경영에 필요한 효율적인 표본조사 방법을 제시하고자 수행하였다. 이를 위해 계통적 추출법, 계통적 집락추출법, 그리고 층화 집락추출법과 같은 몇 가지 표본조사 방법에 의해 자료를 수집한 후 통계적 검증을 통하여 지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방안을 도출하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

본 연구의 대상지역은 경기도 양평군으로 지리적 위치는 좌측하단을 기준으로 북위 37° 21'에서 동경 127° 18'에 있다. 양평군의 평균 해발고도는 약 255 m로 비교적 낮지만 그 편차가 매우 심하며, 평균 경사는 14°로 비교적 완만한 편이다. 연구대상지인 양평군의 총 면적은 87,810 ha이며, 이중에서 산림의 면적은 63,242 ha로 전체면적의 약 72%를 차지하고 있다. 양평군의 전체 산림을 임상별로 구분하면, 침엽수림이 42,025 ha(66.5%)로 가장 많고, 활엽수림과 혼효림은 각각 16,293 ha(25.6%)와 4,436 ha(7%)의 면적을 차지하고 있다. 한편 양평군의 산림 중에서 무림목지는 488ha(0.9%)인 것으로 파악되었다.

2. 자료의 수집

1) 표본조사 방법

지속가능한 산림경영을 실현하기 위해서는 다양한 자료를 수집할 수 있는 표본조사 방법의 개발이 필요하다

(Kleinn, 1994). 본 연구에서는 지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방법을 결정하기 위해 계통적 추출법, 계통적 집락추출법, 그리고 층화집락추출법의 3가지 표본조사 방법을 이용하여 연구 대상지에서 자료를 수집한 후 통계적 검증을 통하여 가장 적합한 표본조사 방법을 선정하였다.

계통적 추출법은 일정한 거리마다 표본점을 배치하여 자료를 수집하는 표본조사 방법으로 본 연구에서는 4 km × 4 km의 격자의 교차점마다 표본점을 설치하였다. 한편 계통적 집락추출법은 계통적 추출법과 동일한 방법이지만, 각 표본점 보다 복수의 표본점을 집락(cluster)으로 설치하는 표본조사 방법이다. 본 연구에서는 Figure 1과 같이 5가지 형태의 집락의 모양을 이용하여 표본점을 설치하였으며, 각 집락 내에서 표본점 간의 거리는 50 m, 100 m, 150 m, 그리고 200 m의 4가지로 구분하여 설치하였다. 즉, 계통적 집락추출법의 경우 집락의 형태 5가지와 각 집락내의 표본점 간의 거리 4가지를 적용하여 총 20가지 형태로 표본조사를 실시하여 자료를 수집하였다.

한편 층화집락추출법은 계통적 추출법과 같이 일정한 거리마다 표본점을 설정하여 표본조사를 할 경우 발생할 수 있는 통계적 편의(bias)의 문제를 해결할 수 있는 방법으로, 산림을 임상이나 영급 등으로 층화한 후, 각 층(stratum)의 산림면적을 고려하여 표본점의 수를 배정하되 집락으로 표본점을 배치하는 방법이다. 본 연구에서는 연구대상지를 침엽수림, 활엽수림, 그리고 혼효림의 3가지 임상으로 구분하여 계통적 집락추출법과 동일한 방법으로 집락을 설치한 후 자료를 수집하였다. 따라서 층화집락추출법에서는 조사된 자료의 효율적인 통계처리를 위해 각 임상별로 3반복, 집락의 형태 5가지, 그리고 표본점 간의 거리 4가지를 적용하여 자료를 수집하였다.

2) 표본점의 배치

연구 대상지인 양평군을 4 km × 4 km의 격자로 나누었을 경우 총 55개의 격자점이 형성되며, 이 중에서 산림지인 격자점은 43개로 분석되었다. 산림지인 43개 격자점 중에서 분석에 사용할 9개의 격자점을 임상별로 3반복이 되도록 Figure 2와 같이 선정하여 설치하였다.

각 표본조사 방법에 의해 설치된 표본점의 수는 Table

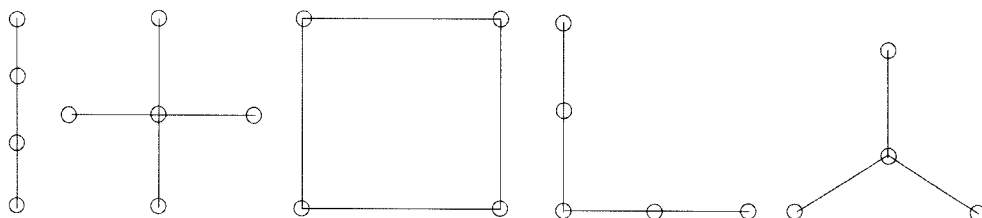


Figure 1. Shapes of cluster used in study site.

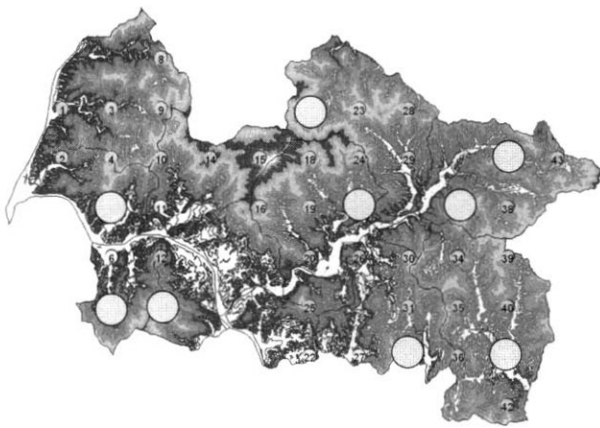


Figure 2. Distribution of sampling points in study site.

1에 요약되어 있다. 계통적 추출법은 사방 4 km 단위로 1 개씩의 표본점을 배정하기 때문에 총 9개의 표본점을 설치하였다. 계통적 집락추출법은 9개의 격자점에 각각 5가지의 집락모양으로 표본점을 설치하여 조사를 하는데, 집락의 모양에 따라 4-5개의 표본점 자료가 수집되기 때문에 총 표본점의 수는 198개이다. 한편 층화집락추출법의 경우에는 5가지 집락의 모양, 침엽수림, 활엽수림, 혼효림의 3가지 임상 형태, 그리고 3반복으로 표본점을 설치하여 총 198개의 표본점 조사를 실시하였다.

3) 표본점의 설계

각 표본점은 지속가능한 산림경영에 필요한 임목자원 뿐만 아니라 생태환경 등의 다양한 인자가 측정되도록 설계하였다(Tokola and Shrestha, 1999; Magnussen *et. al.*, 2000). 본 연구에서는 한 개의 표본점 내에는 Figure 3과 같이 반경 1 m, 2 m, 5 m, 10 m, 그리고 15 m의 다양한 원형표본점을 다중원으로 설치하고, 표본점의 크기별로 조사 항목을 달리하여 조사의 효율성을 높일 수 있도록 표본점을 설계하였다.

반경 1 m의 표본점에서는 하층식생의 조사를 실시하였으며, 조사원에 의한 피해를 방지하기 위해 표본점의 중심으로부터 북쪽으로 5 m 떨어진 곳에 설치하였다. 이 표본점의 조사항목은 종명, 출현빈도, 우점도, 피도이다. 반경 2 m의 표본점에서는 치수와 관목을 조사하였으며, 치수는 교목으로 성장할 수 있는 수종을 대상으로 하였다. 조사항목은 치수와 관목에 대하여 각각 종명, 근원경, 그

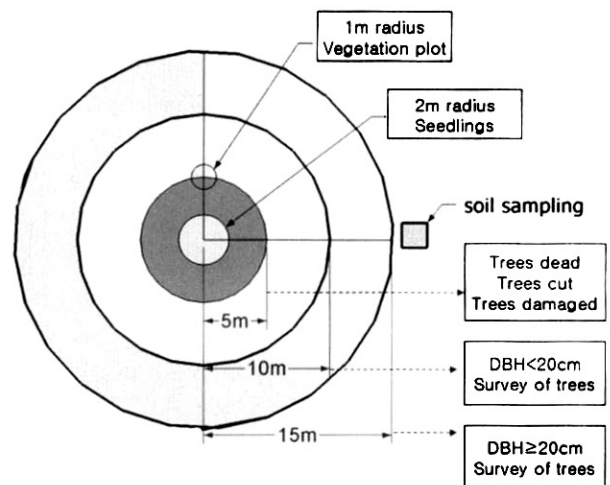


Figure 3. Design of sampling point in the study.

리고 수고이다.

반경 5 m의 원형 표본점에서는 고사목, 벌채목, 수목피해 등을 조사하였다. 고사목의 조사항목은 수종명, 수고, 흉고직경, 고사원인, 그리고 부후도이며, 벌채목은 종명과 벌근직경을 측정하였다. 수목피해는 피해수종, 흉고직경, 수고, 피해위치, 피해유형, 그리고 피해정도 등을 측정하였다. 한편 반경 10 m의 표본점에서는 흉고직경 6 cm 이상 20 cm 미만의 모든 임목에 대한 조사를 실시하며, 조사항목은 수종, 수고, 흉고직경, 수령, 수피두께, 연륜생장량, 형질급, 그리고 수관층 등이다. 단, 수고, 수령, 수피두께, 연륜생장량 등은 매 5번째 임목마다 측정하도록 설계하였다. 또한 반경 15 m의 원형 표본점에서는 흉고직경 20 cm 이상의 모든 임목에 대하여 반경 10 m 표본점과 동일한 조사항목을 측정하였다.

토양조사는 표본점의 중심에서 동쪽으로 15 m에 위치한 지점에 사방 1 m의 정방형 표본점을 설치한 후 실시하였다. 집락으로 표본점을 설치하는 경우에도 토양조사는 1개의 집락에서 중심 표본점에서만 자료를 수집하도록 설계하였다. 토양조사 항목은 토심, 토양습도, 낙엽층의 깊이, 낙엽·낙지량, 그리고 답압의 정도 등이다.

3) 조사 자료의 분석

본 연구에서는 지속가능한 산림경영에 필요한 효율적인 표본조사 방법을 선정하기 위해 표본점 조사에서 수집

Table 1. Data collection plan for each of sampling design.

Classification	Grid unit	Cluster shapes	Sampling points	Forest types	Replications	Surveyed sampling points
Systematic sampling	9		1			9
Systematic cluster sampling	9	5	4~5			198
Stratified cluster sampling		5	4~5	3	3	198

된 자료의 일부를 통계분석에 이용하였다. 우선 각 표본 점에서 수집된 자료 중에서 개체목의 수고와 흉고직경만을 이용하여 ha당 본수(N/ha), ha당 흉고단면적(BA/ha), ha당 재적(V/ha), 평균 흉고직경, 그리고 평균수고 등을 표본점별로 분석하였다. 이러한 임분 변수를 이용하여 표본조사 방법에 대한 통계검증 및 집락의 형태와 거리에 대한 통계검증을 실시하였다.

3. 통계적 검증 방법

본 연구에서 사용한 3가지 표본조사 방법에 대한 통계적 검증을 통하여 가장 적합한 방안을 선정하고, 만일 계통적 집락추출법이나 층화집락추출법이 적합하다고 판정될 경우, 집락의 모양과 집락 내의 표본점 간의 거리를 결정하여야 한다. 이를 위해 다음과 같은 통계검증 기법을 적용하였다.

1) 표본조사 방법에 대한 통계적 검증

표본조사 방법에 대한 통계적 검증은 표본조사 방법에 따라 수집된 자료의 추정량을 통해 각 방법의 상대적 효율성을 비교하는 검증 통계량인 상대효율(Relative Efficiency; RE)을 이용하였다. 본 연구에서 사용한 3가지 표본조사 방법에 따라 수집된 산림통계의 추정량에 대하여 아래의 식(Steel and Torrie, 1980)을 이용하여 분산비를 구한 후 상대효율을 계산하여 가장 적합한 표본조사 방법을 선정하였다.

$$RE = \frac{(n_1 + 1)(n_2 + 3)S_2^2}{(n_2 + 1)(n_1 + 3)S_1^2}$$

여기서 RE는 상대효율, S_1^2 과 S_2^2 는 각각 첫 번째와 두 번째 표본조사 방법으로 얻어진 산림통계 추정량의 분산을 말하며, n_1 과 n_2 는 각 표본조사에 사용된 표본 수에 근거한 자유도이다. 이 경우 상대효율이 1보다 크면 첫 번째 표본조사가 두 번째 표본조사 방법보다 추정량의 분산이 작기 때문에 표본조사의 효율이 높은 것을 의미한다.

2) 집락의 형태에 대한 통계적 검증

표본조사 방법에 대한 통계적 검증 결과 계통적 추출법 이외의 방안이 선정된다면 집락의 형태에 대한 통계적 검증이 필요하다. 따라서 각 방법에 의해 수집된 자료의 산림통계의 변이, 즉 분산 간에 차이가 있는지를 검증하여 가장 적합한 형태의 집락을 선정하고자 하였다. 이를 위해 두 집단의 분산비를 통해 자료의 균질성이나 정밀도를 검증하는 F-검정을 사용하였으며, 다음과 같은 가설검정을 통해 결과를 도출하였다.

$$H_0: S_1^2 = S_2^2$$

$$H_a: S_1^2 \neq S_2^2$$

집락추출법의 목적은 어느 한 지역에서 집중적으로 표본을 선택하여 조사비용을 줄이면서 표본조사의 효과를 극대화하기 위함이다. 따라서 집락추출법에 의하여 선택된 표본점별로 얻어지는 산림통계는 가능하면 변이가 커야 이 표본설계의 목적을 달성할 수 있는 것이다. 결국 집락추출법을 이용하여 효율적인 산림통계를 도출하기 위해서는 집락 내의 표본점이 가능하면 수집된 산림통계의 이질성을 나타낼 수 있도록 배치되어야 한다. 따라서 F-검정을 통해 각 집락의 형태별로 수집된 산림통계 간에 분산의 차이가 있는지를 검증한 후, 통계적인 차이가 인정된다면 가장 분산이 큰 것을 가장 적합한 집락의 형태로 선택하였다.

3) 표본점 간의 거리에 대한 통계적 검증

집락추출법에 의해 배치된 표본점에서 도출되는 산림통계는 가능하면 변이가 커야 하기 때문에 표본점 간의 거리를 결정하는 것도 이러한 점을 고려하여야 한다. 통계검증은 표본점 간의 거리별로 수집된 산림통계를 분석하여 통계적 차이가 인정되는 최소 거리를 최종적인 새로운 산림자원조사에서의 표본점 간의 거리로 선정하기 위함이다. 표본점 간의 적합한 거리를 결정하기 위한 통계검증 방법은 대응하는 두 표본평균 간의 비교에 사용되는 t-검정이다. 이 검정에 사용되는 t 통계량은 다음과 같다.

$$t^* = \frac{\bar{D}}{s_D}$$

여기서, $t^*=t$ 통계량, \bar{D} =거리별로 수집된 산림통계 차이의 평균치, 그리고 s_D =산림통계 차이의 평균치에 대한 표준오차이다. 이 t-검정을 통해 각 거리별로 수집된 산림통계에 차이가 있는지를 검증함으로써 최적 표본점 간의 거리를 판정하였다. 한편 표본점 간의 거리에 따라 동일한 차이가 인정될 경우 표본점 내에서 이동에 따른 시간과 경비를 줄이기 위해 가능하면 유의적인 차이가 인정되는 최소거리가 최적 표본점 간의 거리가 되는 것이다.

결과 및 고찰

1. 표본점 자료의 분석결과

연구대상지인 경기도 양평군에 배치된 표본점 조사 자료를 통해 임상별로 ha당 본수, ha당 흉고단면적, ha당 재

Table 2. Summary of stand attributes in study site.

Forest type	Variables N/ha	BA/ha (cm ²)	V/ha (m ³)	Mean DBH(cm)	Mean HT(m)
Mean	1,000	17.6	111.1	17.4	12.3
Coniferous	1,229	22.3	146.0	17.2	12.8
Deciduous	1,135	17.8	96.1	16.2	10.4
Mixed	648	13.0	91.8	18.9	13.7

적, 평균 흉고직경, 그리고 평균수고 등을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 표본점에서 수집된 자료는 상당한 변이를 보이는 것으로 분석되었으며, 임상별로 분석한 통계치도 변이가 큰 것으로 나타났다(Table 2). 임상별 ha당 본수, 흉고단면적, 그리고 재적은 침엽수림이 가장 높은 것으로 나타났지만, 평균 흉고직경과 평균 수고는 혼효림이 가장 큰 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 침엽수림의 경우 대체적으로 임분 밀도가 높아 ha당 본수나 흉고단면적 그리고 재적은 다른 임상에 비해 월등히 높았으며, 관리가 제대로 이루어지지 않아 혼효림에 비해 개체목의 직경과 수고는 평균적으로 작은 것으로 나타났다. 하지만 혼효림의 경우에는 임분 밀도가 낮아 충분한 생육공간이 확보되어 평균 흉고직경과 평균 수고가 다른 임상에 비해 큰 것으로 분석되었다. 활엽수림도 침엽수림과 마찬가지로 상대적으로 임분 밀도는 높지만 성장조건은 다소 불량한 것으로 평가되었다.

2. 표본조사 방법의 선정

1) 표본조사 방법에 대한 통계검증 결과

상대효율을 이용한 표본조사 방법에 대한 통계검증을 위해 임상별 ha당 본수, ha당 흉고단면적, ha당 재적, 평균 흉고직경, 그리고 평균 수고 조사 자료를 이용하였다. 상대효율은 두 가지 방안에 대한 상대적 효율성을 비교하는 것이다. 하지만 본 연구에서는 3가지 표본조사 방안에 대하여 비교를 실시하여야 하기 때문에 각 표본조사 방안에 대한 상대효율을 직접 비교할 수 있도록 하기 위해, 상대효율을 계산하는 식의 분모를 각 표본조사 방안에 의한 분산으로 하고, 상호간의 비교를 위해 분자는 계통적 추출법에 의한 분산으로 고정하여 비교하였다.

Table 3은 각 표본조사 방안에 대하여 5가지 임분 변수의 상대효율을 비교한 결과이다. 각 방안의 상대효율 추정치와 함께 각 방안의 상대적 효율성의 순위를 괄호 안에 제시하였다. 계통적 추출법을 상호 비교할 수 있는 기

Table 3. Comparison of relative efficiency for sampling design methods.

Variable	Relative Efficiency		
	Sampling design $\frac{S_1^2}{S_1^2}$	$\frac{S_2^1}{S_2^2}$	$\frac{S_1^2}{S_3^2}$
N/ha	1.00(3)	2.32(1)	1.57(2)
BA/ha (cm ²)	1.00(3)	1.51(1)	1.18(2)
V/ha (m ³)	1.00(3)	1.39(1)	1.12(2)
DBH (cm)	1.00(3)	2.17(1)	1.45(2)
HT (m)	1.00(3)	1.54(1)	1.08(2)

S_1^2 : Estimate of variance based on systematic sampling
 S_2^2 : Estimate of variance based on systematic cluster sampling
 S_3^2 : Estimate of variance based on stratified cluster sampling

준으로 놓고 각 방안에 대한 상대효율을 비교한 결과 모든 임분 변수에서 계통적 집락추출법의 효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 충청남도 보령지역을 대상으로 실시한 연구(산림청, 2004; 한원성, 2004)와 유사한 결과이다.

2) 집락의 형태에 대한 통계검증 결과

앞에서 분석한 바와 같이 표본조사 방법에 대한 통계검증을 실시한 결과, 계통적 집락추출법의 상대효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 다음 단계로는 계통적 집락추출법에서 배치하여야 하는 집락의 형태를 결정하여야 한다.

F-검정은 두 가지 집락의 형태에 의해 도출된 산림통계에 대한 분산의 동질성을 비교하는 통계량으로서, 본 연구에서 사용한 5가지 집락의 형태를 비교하기 위해서는 10쌍의 F-검정이 필요하다. Table 4는 연구 대상지의 하나의 격자점에서 수집된 자료를 이용하여 집락의 형태를 비교한 결과이며, 나머지 8개 격자점에서도 같은 방법으로 자료를 수집한 후 비교하였다.

우선 삼각형 집락과 정방형 집락에 의해 수집된 자료의

Table 4. Results of F-test for the selection of appropriate cluster shape.

Cluster	Variable		N/ha		BA/ha (m ²)		V/ha (m ³)		DBH (cm)		HT (m)	
	F*	P> t	F*	P> t	F*	P> t	F*	P> t	F*	P> t	F*	P> t
H ₁₂	1.12	0.93	2.37	0.50	1.40	0.79	1.06	0.96	1.12	0.92		
H ₁₃	1.26	0.80	3.22	0.29	2.08	0.49	1.20	0.83	1.12	0.88		
H ₁₄	1.01	0.95	7.20	0.09	2.39	0.42	1.13	0.87	1.04	0.93		
H ₁₅	1.14	0.92	10.62	0.08	2.74	0.43	1.01	0.99	1.05	0.97		
H ₂₃	1.41	0.72	1.36	0.75	1.49	0.69	1.28	0.79	1.25	0.80		
H ₂₄	1.14	0.87	3.04	0.31	1.71	0.60	1.20	0.83	1.17	0.85		
H ₂₅	1.01	0.99	4.48	0.25	1.96	0.59	1.07	0.95	1.07	0.96		
H ₃₄	1.24	0.84	2.24	0.45	1.15	0.90	1.06	0.95	1.07	0.95		
H ₃₅	1.43	0.72	3.30	0.35	1.31	0.86	1.19	0.84	1.18	0.85		
H ₄₅	1.15	0.86	1.48	0.78	1.15	0.95	1.12	0.88	1.10	0.89		

Table 5. Results of T-test for distance between sampling points.

Distance	Variable	N/ha		BA/ha (m ²)		V/ha (m ³)		DBH (cm)		HT (m)	
		t*	Pr> t	t*	Pr> t	t*	Pr> t	t*	Pr> t	t*	Pr> t
50 m		10.09	0.0001	13.17	0.0001	12.61	0.0001	9.57	0.0001	9.77	0.0001
100 m		5.60	0.0001	7.76	0.0001	7.45	0.0001	8.43	0.0001	7.48	0.0001
150 m		7.83	0.0001	7.31	0.0001	7.49	0.0001	11.3	0.0001	9.48	0.0001
200 m		5.75	0.0001	5.7	0.0001	5.35	0.0001	4.63	0.0003	4.71	0.0002

분산을 비교하는 가설검정을 H_{12} , 삼각형 집락과 십자 집락은 H_{13} , 삼각형과 L-자 집락은 H_{14} , 삼각형과 직선 집락은 H_{15} 등으로 표시하였다. 이러한 방법으로 총 9개의 격자점에서 집락의 형태별로 수집된 자료를 이용하여 통계검증을 실시하였다.

Table 4에서 F*는 두 가지 집락 형태에 의하여 계산된 각 임분 변수별 표본분산의 비를 나타낸 것이고, 수락확률은 이 표본분산의 비인 F*에 근거하여 귀무가설인 $H_0: S_1^2 = S_2^2$ 을 수락할 확률을 말한다. 이 경우 수락확률이 유의수준인 5% 미만일 경우 귀무가설을 기각하고 대립가설인 $H_a = S_1^2 \neq S_2^2$ 을 받아 들여 두 집락의 형태에 의하여 수집된 산림통계의 분산 간에 5% 수준에서 통계적 차이를 인정하는 것이다.

Table 4에서 보면 집락의 형태에 따른 임분 변수별 F-검정의 결과 대부분의 임분 변수에서 각 집락의 형태는 분산의 차이를 인정할 수 없었다. 또한 9개 격자점을 대상으로 표본점의 공간적 위치를 결정하는 집락의 형태를 5가지로 적용하여 수집한 임분 변수에 대한 F-검정을 실시한 결과, 대부분의 경우 통계적으로 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 따라서 집락의 형태에 따라 수집된 임분 변수는 상당한 변이를 보이지만, 그 변이가 집락의 형태에 의해 큰 영향을 받지 않는 것으로 평가되었다. 결국 5가지로 제안된 집락의 형태 중에서 가장 적합한 방안을 도출하기 위해 실시한 F-검정의 결과는 어떤 형태의 집락을 선택하여도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

결과적으로 집락의 형태는 조사의 효율성이 높고 표본점의 관리가 편리한 방안을 채택하여야 한다. 조사의 효율성의 관점에서 표본점의 수가 5개인 십자 모양과 L-자 모양보다는 표본점 수가 4개인 선형과 정방형, 그리고 삼각형 형태의 집락이 우수한 것으로 판단된다. 이 경우 선형 집락은 중심 표본점에서 정북 방향으로 일정한 거리를 연속적으로 정확히 이동하여야 하는데, 숲 내에서 정확한 방향을 유지하면서 상당한 거리를 이동하는 것은 쉽지 않을 것으로 판단된다. 또한, 정방형의 경우에도 중심 표본점에서 90°의 방위각을 유지하면서 연속하여 정확한 거리를 이동하여야 하는데, 숲 내를 이동하는 것이 쉽지 않을 뿐만 아니라 매 집락마다 정방형으로 4개의 표본점을 일관성 있게 배치하는 것은 간단한 작업이 아니다. 하지만

삼각형 집락의 경우에는 중심 표본점의 위치가 결정되면 중심 표본점에서 정북(0°), 120°, 그리고 240°의 방위각을 유지하면서 3방향으로 각각 표본점을 설치하기 때문에 다른 집락의 형태에 비해 비교적 정확히 배치할 수 있어 조사의 효율성에서 유리하다.

집락의 형태별로 표본점 관리의 측면에서 비교하면 다른 형태의 집락에 비해 삼각형 형태의 집락이 중심 표본점의 위치만 정확히 확보되면 나머지 3개의 표본점을 상대적으로 쉽게 찾을 수 있을 것으로 판단된다. 결국 통계적 검증에서는 집락의 형태별로 특징적인 차이가 없었지만 조사의 효율성과 관리의 수월성 면에서 삼각형 형태의 집락이 지속가능한 산림경영에 적합한 집락의 형태로 평가되었다.

3) 표본점 간의 거리에 대한 통계검증 결과

각 집락 내의 최적 표본점 간의 거리를 결정하기 위해 임분 변수에 대한 t-검정을 실시한 결과는 Table 5와 같다. 표본점 간의 거리를 50 m에서 최대 200 m의 4단계로 구분하여 조사된 임분 변수는 거리에 관계없이 모두 유의적인 차이가 인정되었다. 이는 표본점 간의 거리에 관계없이 수집된 자료들은 통계적으로 이질성을 가지는 것을 의미한다. 따라서 집락내의 표본점간의 거리는 조사에 소요되는 시간과 비용 등을 고려하여 설정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 즉, 시간과 비용을 줄이기 위해 본 연구에서 제시한 최소 거리인 50 m로 표본점 간의 거리를 설정하여도 표본조사의 목적을 달성할 수 있는 것으로 판명되었다.

이러한 결과는 우리나라와 같이 지형이 복잡할 뿐만 아니라 동일한 지역에서도 수종과 식생의 분포가 다양하고 임분 구조가 복잡한 조건에서는 집락 내의 표본점간의 거리를 가깝게 하여도 집락추출법의 목적을 달성할 수 있는 것을 의미한다. 즉, 4가지로 설정한 표본점간의 거리에서 모두 유의적인 차이가 입증되었기 때문에 동일한 효과를 얻을 수 있으면서 비용과 시간을 줄일 수 있는 집락 내의 표본점간의 거리는 가능하면 가깝게 설정하는 것이 효과적이며, 그 거리는 50 m가 적합한 것으로 판단된다.

3. 지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방법의 선정

지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방법을 선정

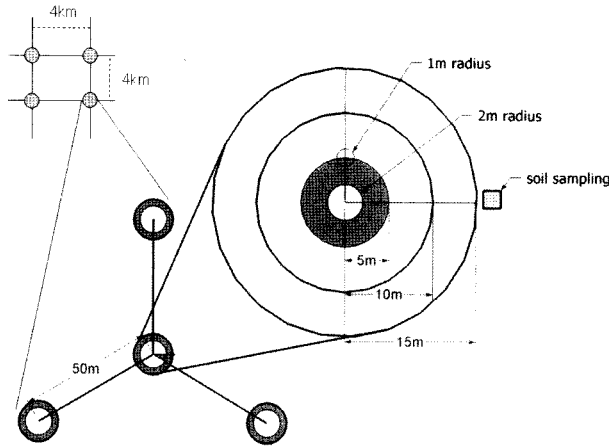


Figure 4. Sampling design appropriate for the sustainable forest management.

하기 위해 실시한 통계검증 결과 계통적 집락추출법이 가장 효율적인 것으로 분석되었다. 이에 따라 집락의 형태를 결정하기 위해 실시한 통계검증의 결과에서는 5가지 집락의 형태 중에서 어떤 것을 선택해도 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 따라서 집락의 형태는 조사의 효율성과 표본점 관리의 측면을 고려하여 적합한 방안을 채택하여야 하는데, 본 연구에서는 조사의 효율성이 높고 상대적으로 표본점 관리가 용이한 삼각형 형태의 집락을 선정하였다. 한편 집락 내의 표본점 간의 거리는 가장 가까운 거리인 50 m가 적합한 것으로 평가되었다. 결론적으로 우리나라의 실정에서 지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방법은 Figure 4와 같이 계통적 집락추출법을 이용하여 4 km×4 km 마다 삼각형 형태의 집락으로 표본점을 설치하고 표본점 간의 거리는 50 m로 설계하는 것이다.

결론

본 연구는 국내외적으로 중요한 이슈가 되고 있는 지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방법을 개발하기 위해 수행하였다. 이를 위해 경기도 양평군을 대상으로 계통적 추출법, 계통적 집락추출법, 그리고 층화 집락추출법을 적용하여 자료를 수집한 후, 지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방안을 통계적 검증을 통해 선정하고자 하였다. 적합한 표본조사 방법으로 계통적 집락추출법이나 층화집락추출법이 선정될 경우에는 집락의 형태를 5가지를 제안하였으며, 집락 내의 표본점간의 거리는 4가지로 설정하여 가장 적합한 방안을 선정하고자 하였다. 본 연구에서 통계적 검증을 위해 자료가 수집된 표본점의 수는 총 405개이며, 이 중에서 계통적 추출법으로는 9개의 표본점에서 자료가 수집되었으며, 계통적 집락추출법과 층화 집락추출법을 이용하여 각각 198개의 표본점에서 조사가

이루어졌다.

수집된 자료를 이용하여 각 표본점 별로 ha당 분수, ha당 흉고단면적, ha당 재적, 평균 흉고직경, 그리고 평균수고 등의 5가지 임분 변수에 근거한 통계 검증을 실시하였다. 표본조사 방법에 대한 통계검증 결과는 계통적 집락추출법의 상대효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 이 경우 집락의 형태를 결정하기 위해 F-검정을 실시한 결과 대부분의 경우 통계적으로 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 이는 5가지 형태의 모든 집락의 형태가 통계적으로 차이가 없는 것을 의미하지만, 조사의 효율성과 표본점 관리의 측면에서 삼각형 형태의 집락이 가장 적합한 것으로 판단하였다. 집락 내의 표본점 간의 거리에 대한 통계 검증 결과는 거리에 관계없이 모두 유의적인 차이가 인정되었다. 따라서 집락 내의 표본점 간의 거리는 조사비용과 시간을 줄이면서 동일한 효과를 나타낼 수 있는 50 m가 적합한 것으로 평가되었다.

감사의 글

이 논문은 한국과학재단의 지원으로 수행된 국제공동연구 “우리나라의 지속가능한 산림경영에 필요한 효율적인 표본조사 방법의 개발”(과제번호 : F01-2004-000-10105-0)에서 얻어진 연구결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

인용문헌

1. 산림청. 2003. 국내외 여건변화에 따른 산림자원조사체계 개편 연구(2차). 271pp.
2. 산림청. 2004. 국내외 여건변화에 따른 산림자원조사체계 개편 연구(3차). 284pp.
3. 신만용, 이규성, 노대균, 공지수. 2002. 지속가능한 산림경영을 위한 새로운 산림자원조사의 방향. 한국산림측정학회지. 5(2):10-20.
4. 임업연구원. 2002. 산림관련 국제 논의와 우리의 대응 방향 세미나. 137pp.
5. 한원성. 2004. 지속가능한 산림경영을 위한 산림자원통계 산출방법의 개발. 국민대학교 대학원 석사학위논문. 74pp.
6. FAO. 2000. Global Forest Resource assessment 2000- Main Report-. FAO Forestry. Paper 140.98pp.
7. Ghosh, S. and Innes, J. L. 1996. Comparing sampling strategies in forest monitoring program. Forest Ecology and Management 82:231-238.
8. Hampus, H., Nilsson, M. and Stahl, G. 2001. Simultaneous estimations of forest parameters using aerial photograph interpreted data the k nearest neighbour method. Scandinavian. Journal of Forest Research. 16:67-78.
9. Katila, M. and Tomppo, E. 2002. Stratification by ancil-

- lary data in multisource forest inventories employing k -nearest-neighbour estimation. *Canadian Journal of Forest Research*. 32:1548-1561.
10. Kleinn, C. 1994. Comparison of the performance of line sampling to other forms of cluster sampling. *Forest Ecology and Management*. 68:365-373.
 11. Laar, A. and Akca, A. 1997. *Forest Mensuration*. Cuvillier, Göttingen. 275-378p.
 12. Magnussen, S., Boundewyn, P.I. Wulder, M. and Seemann, D. 2000. Predictions of forest inventory cover type proportions using Landsat TM. *Silva Fennica*. 34(4):351-370.
 13. Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. *Principles and procedures of statistics : A biometrical approach*. McGraw-Hill, New York. 633pp.
 14. Tokola, T. and Shrestha, S.M. 1999. Comparison of cluster-sampling techniques for forest inventory in southern Nepal. *Forest Ecology and Management*. 116:219-231.
 15. Tomppo, E., Korhonen K. T., Heikkinen, J. and Hannu, Y. 2001. Multi-Source inventory of the Forests of the Hebei Forestry Bureau, Heilongjiang, China. *Silva Fennica*. 35(3):309-327.
-
- (2006년 5월 1일 접수; 2006년 5월 26일 채택)