

## 비용 효율적 표준지 조사를 위한 표본추출방법 비교 사례연구: 임의추출법, 계통추출법, 선상추출법을 중심으로

박주원<sup>1</sup> · 조승완<sup>2</sup> · 김동근<sup>3</sup> · 정건휘<sup>2</sup> · 김보미<sup>4</sup> · 우희성<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 산림과학 · 조경학부, <sup>2</sup>경북대학교 임학과, <sup>3</sup>경북대학교 생태환경시스템학과,  
<sup>4</sup>충청남도 산림자원연구소, <sup>5</sup>경북대학교 농업과학기술연구소

### A Comparative Case Study on Sampling Methods for Cost-Effective Forest Inventory: Focused on Random, Systematic and Line Sampling

Joowon Park<sup>1</sup>, Seungwan Cho<sup>2</sup>, Dong-geun Kim<sup>3</sup>,  
Geonhwi Jung<sup>2</sup>, Bomi Kim<sup>4</sup> and Heesung Woo<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>School of Forestry Sciences and Landscape Architecture, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

<sup>2</sup>Department of Forestry, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

<sup>3</sup>Department of Ecology and Environment System, Kyungpook National University, Sangju 37224, Korea

<sup>4</sup>Chungnam Forest Environment Research Institute, Sejong 30085, Korea

<sup>5</sup>International Agricultural Training Center, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

**요약:** 본 연구는 경상북도 봉화군 춘양면 애당리 수확 벌채 지역을 대상으로 다양한 표본추출방법을 적용하여 재적을 산출한 후 실제 벌채량 및 설계서상의 재적 값과의 비교를 통해 보다 정확하고 비용 효율적인 표본추출방법을 제시하고자 수행하였다. 연구에 사용된 표본추출방법으로는 1) 임의추출법, 2) 계통추출법, 3) 선상추출법을 적용하였으며, 각 표본추출방법별로 이동시간, 추정된 재적평균의 표본 오차율, 조사시간, 조사원 규모, 시간당 임금, 표본점 개수 등을 이용하여 표본추출방법에 대한 산림조사의 비용 효율성을 분석하였다. 각 표본추출방법별로 10개의 표본점을 추출하였으며, Bootstrap 기법을 이용하여 표본 강도의 타당성을 검증하였다. 분석결과, 선상추출법이 임의 및 계통추출법보다 실측된 재적 값과의 재적 편차가 상대적으로 가장 적은 것으로 나타났고, 산림 조사 비용 측면에서는 목표 표준오차율에 상관없이 임의추출법을 활용한 산림조사가 조사비용이 가장 낮은 것으로 나타났다. 본 연구결과에 따르면, 선상추출법과 임의추출법을 통한 산림조사 방법이 계통추출법을 이용한 방법보다 비용 효율적이며 재적의 정확도가 높은 것으로 나타났다. 하지만 사례 연구의 특성상, 연구에서 분석된 결과의 일반화에는 한계가 있어, 향후 국내의 다양한 지역을 대상으로 동일한 방법의 연구가 진행된다면, 국내 산림의 환경적 특성을 반영한 표본추출방법이 제시될 것으로 기대된다.

**Abstract:** The purpose of this study was to propose the most cost-effective sampling method, by analyzing the cost of forest resource investigation per sampling method for the planned harvesting area of in Chunyang-myeon, Byeonghwa-gun, Gyeongsangbuk-do, Korea. For this study, three sampling methods were selected: random sampling method, systematic sampling method, and line transect method. For each method, sample size, hourly wage, number of sample points, survey time, travel time, the sample error rate of the estimated average volume, and the desired sampling error rate were used to calculate the cost of forest resource inventories. Thus, 10 sampling points were extracted for each sampling method, and the factors required for cost analysis were calculated via a field survey. As a result, the field survey cost per ha using the random sampling method was found to be have the lowest cost, regardless of the desired sampling error rate, followed by the systematic sampling method, and the line transect method.


**Key words:** random sampling, line sampling, systematic sampling, forest measurement, forest inventory sampling

\* Corresponding author

E-mail: whs1608@gmail.com

ORCID

Heesung Woo  <https://orcid.org/0000-0002-7649-0953>

Joowon Park  <https://orcid.org/0000-0001-7505-6912>

## 서론

산림의 체계적인 관리를 위한 산림분야의 정량적 데이터의 이용은 지속가능한 산림경영을 위한 핵심 요소이다. 최근 원격탐사 및 지리정보 시스템 기술을 이용한 대단위 면적의 산림 자원조사가 이루어지고 있으며, 분석의 정확도 향상을 위한 양질의 데이터에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다(Woo et al., 2019). 산림분야 데이터 추출을 위한 방법은 간접적 방법(Indirect method)과 직접적 방법(Direct method)으로 크게 분류할 수 있다.

간접적 방법은 위성영상, 항공사진 등 원격탐사자료를 이용한 국가 단위의 대면적 산림자원조사가 대표적이며, 구축된 자료를 분석하기 위한 지리정보시스템(Geographic information system, GIS)을 이용한 다양한 분석 기법이 개발되어 있다. 간접적 방법은 대면적 단위의 산림 자원을 비용 효율적으로 분석하고 추정할 수 있는 장점이 있다. 하지만 추정된 결과물의 정확도는 직접적 방법에 비해 상대적으로 많은 개선 사항이 요구된다. 이러한 한계점으로 인하여 현장에서는 직접적 방법이 일반적으로 이용되고 있다.

직접적 방법은 현장에 인력을 투입하여 직접 매목조사를 수행하는 표본조사가 대표적이며, 이는 높은 비용과 노동력, 시간이 소요되며 주로 임·소반 단위의 소면적의 산림 자원 조사에 이용된다. 정확도 측면에서 간접적 방법에 비해 높은 정확도를 보이며 국내의 경우 실제 산림 자원 조사를 시행하는 데 일반적으로 사용되는 방법이다.

산림의 생태·환경적 건전성을 유지하고 지속가능한 산림경영을 위해서는 산림의 기능을 최적으로 발휘할 수 있는 효율적인 관리와 적절한 산림경영계획의 수립이 필요하다. 이에 효율적인 산림경영계획 수립을 위한 산림 재적추정은 경영계획의 기본이 되는 매우 중요한 요소이다(Ormerod, 1973). 국내 산림사업의 시행 및 경영계획의 수립을 위한 재적산출은 현장조사를 통한 추정이 일반적이며, 인력과 예산 등의 현실적인 제약으로 인해 전수조사가 아닌 표본조사를 실시하고 있다. 그러나 표본추출을 통한 현장조사는 대상면적, 표본 강도에 따라 조사 표본점 개수가 달라지며 표본추출방법에 따라 소요되는 시간과 비용의 편차가 큰 한계가 있다.

이러한 한계를 극복하기 위해 국내에서는 효율적인 표본추출방법을 개발하기 위한 다양한 연구가 시도되었다. 국내에서는 산림조사를 위해 표본추출방법을 개발하고 제시하는 연구가 중심적이었다. Shin and Han(2006)은 지속가능한 산림경영에 적합한 표본추출방법을 선정하는 연구를 수행하였다. 그 결과, 계통추출법, 계통적 집락추출법, 층화집락추출법의 세 가지 방법 중 계통적 집락추출법의 상대효율이 가장 높다는 연구결과가 도출되었다. 또한, Yim et al.(2012)

은 효율적인 표본설계를 위해 표본점의 형태, 표본 강도에 따른 임목축적 추정치의 정확도를 비교하는 연구를 실시하였다. Seol et al.(2013)은 Bootstrap 기법을 이용하여 ha 당 재적 값을 추정하는 데 충분한 표본점 조사지 개수를 파악하는 연구를 수행하였다. 그러나 국내 관련 연구에서는 여러 표본추출방법론 간 비교를 통해 보다 적합한 표본추출방법을 찾는 연구는 미미하였다.

이에 본 연구에서는 비용 효율적이고, 재적 추정의 정확도가 높은 표본추출방법을 파악하기 위해 산림분야에서 널리 사용되는 세 가지 표본추출방법을 비교하여 효율성과 재적추정의 정확도를 검증하였다. 또한, 본 연구에서 수집한 표본 크기의 통계적 타당성을 분석하기 위해 조사된 모든 표준지의 수종별 흉고직경 값을 이용하여 Bootstrap 표본 강도 분석을 실시하였다. 연구에 사용된 표본추출방법으로는 1) 임의추출법, 2) 계통추출법, 3) 선상추출법을 적용하였으며, 각 표본추출방법별로 분석항목(이동시간, 추정된 재적평균의 표본 오차율, 조사시간, 조사원 규모, 시간당 임금, 표본점 개수 등)을 이용하여 표본추출방법에 대한 재적을 추정하고 표본점별 상이한 오차율을 낮추기 위한 오차율 조정 비용 분석을 실시하였다. 오차율 조정 비용 분석이란 서로 상이한 표본추출오차율을 동일한 목표 오차율로 조정하여 비교하기 위해 추가적으로 발생하는 비용을 산정하여 표본추출방법의 효율성을 비교하는 방법으로 미국 산림청(United States Forest Service)에서 제시한 방법을 이용하였다(Lund and Thomas, 1989).

## 연구 방법

### 1. 연구대상지

연구대상지는 경상북도 봉화군 춘양면 애당리 산 2번지에 위치한 총 면적 6.45 ha의 수확별채 대상지역을 대상으로 연구를 수행하였다(Figure 1). FGIS 1:5,000 임상

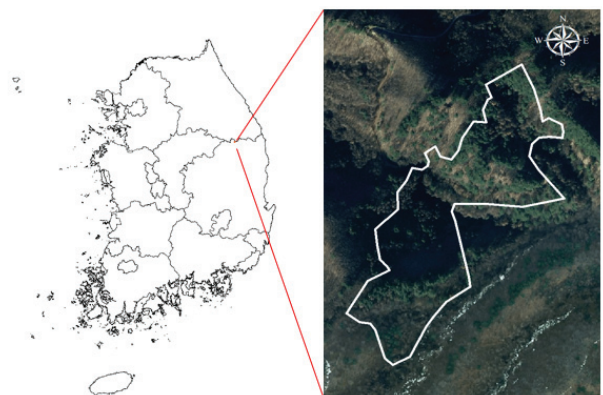


Figure 1. Study site(Aedang-li, Chunyang-myeon, Bonghwa-gun, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea).

도와 1:25,000 입지도를 활용하여 대상지의 임상분포, 향, 경사에 대한 분석을 실시한 결과, 임상은 혼효림이고 향은 북동향으로 나타났다. 경사는 4°~27°로 나타났다.

2. 연구방법

1) 현장조사

산림자원조사(재적조사) 비용산출을 위한 현장조사를 실시하고자 표본추출방법을 설정하고, 연구대상지에 각 표본추출방법별로 표본 강도를 고려한 표본점 배치를 실시하였다. 이후 추출한 표본점의 현장조사를 통해 산림 재적조사비용 산출에 필요한 표본점별 조사시간, 표본점 간 이동시간, 표본점별 재적자료를 획득하였다. 현장조사는 표본점마다 0.04 ha의 원형 표본지(반경 11.3 m)를 설치하고, 표본지 내 ha당 재적 산출을 위해 직경테이프를 사용하여 흉고직경을 측정하고 Haglof사의 Vertex laser 5를 사용하여 수고를 측정하였다. 또한, 표본점별 조사시간과 표본점 간 이동시간은 초단위로 측정하여 기록하였다. 현장조사를 통해 산출한 재적 값은 임목수확사업실제서 작성을 위해 5% 표본추출강도의 산림조사를 실시하였으며, 산출된 ha당 재적 값은 실제 동일한 지역에서 별채가 이루어진 후 말구직경자승법으로 산출한 재적 값과 비교를 통하여 정확도 분석을 실시하였다.

2) 표본점 추출방법

일반적으로 연구 대상지의 특별한 사전적 이해가 부족한 상황에서는 임의추출법을 실시하는데 이때, 임의로 부여되는 표본점의 공간적 공백이 크게 발생하는 단점이 있어 이를 보완하기 위해 계통추출법을 실시한다(Heikkinen, 2006). 그러나 계통추출법은 체계적인 표본추출 과정에서 특정 패턴의 과잉 또는 과소편향을 야기

하고 현장 조사에서 비효율적인 단점이 있어 이를 보완한 방법으로 선상추출법을 이용한다(Ross, 2019). 이러한 이유로 본 연구에서는 표본추출의 대표적인 세 가지 방법을 선정하여 표본추출방법 간의 비용 효율성, 정확도 비교를 실시하고 현장조사 실시 전 표본조사지역의 위치를 선정하기 위해 ArcMap 10.1의 data management tool을 이용하여 표본점을 선정하였다. 각 표본추출법에 대한 정의는 다음과 같다.

- **임의추출법:** 임의추출법은 표본추출에 있어 가장 기본적인 방법으로 대상 모집단에 존재하는 모든 구성 요소들이 동일한 확률을 갖는다는 이론을 바탕으로 표본을 추출하는 방법이다. 표본추출에 있어 선택편향(Selection bias)이 존재하지 않는다는 장점이 있고, 표본 추출 시 난수표를 이용하여 표본점을 임의로 추출한다(Van Laar and Akça, 2007). 임의추출법의 단점은 추출된 표본점들이 특정 위치에 편중되어 선정될 가능성이 있고, 표본의 배치가 불규칙적이어서 다른 방법에 비해 비효율적이라는 단점이 있다.
- **계통추출법:** 계통추출법은 표본점 선정에 있어 체계적으로 일정한 간격을 두어 추출하는 방법으로 첫 표본점은 임의로 선정한다. 계통추출법은 대상 모집단에 균일하게 표본점이 선정되어 이로 인해 공간적으로 균형 잡힌 표본 설계가 가능하다는 장점이 있다(Köhl et al., 2006). 계통추출법을 통한 표본점 간 간격은 미국 산림청(United States Forest Service)에서 사용하는 국가단위 산림인벤토리 조사의 기준 값을 이용하여 선정하였으며, 표본점은 배치는 ArcMap 10.1을 이용하여 선정하였다(Figure 3).
- **선상추출법:** 마지막으로 선상추출법은 무작위로 한 점을 추출하고 선을 그어 일정한 간격을 가진 표본점을 추출하는 방법이다. 본 방법은 대상지가 고정되어 있는 조건에서 사용이 가능하며, 표본점 간 거리는 표본점 배치의 개수에 의해 변경될 수 있다. 최초 선정된 무작위 추출점에서 선의 방향 선정 시, 세 가지 방법으로 선의 방향을 선정하는데, 무작위 방향으로 선을 긋는 방법, 등고선을 이용하는 방법, 해당 대상지의 장축을 따라 선을 긋는 방법이 있다. 선을 배치하는 기준은 대상지의 표본점을 최대한 배치할 수 있

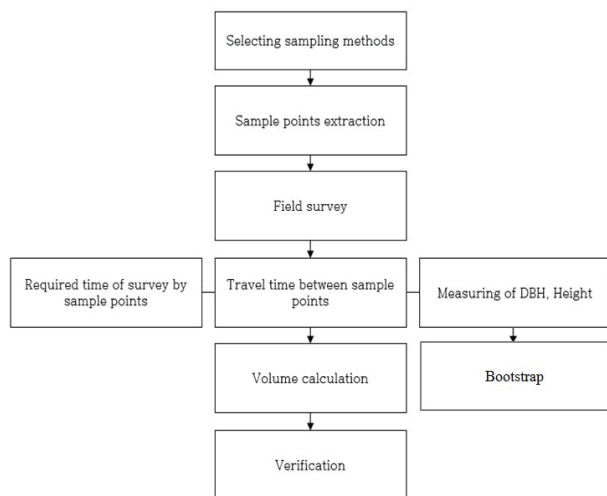


Figure 2. Overall research progress.

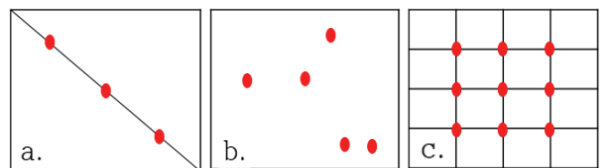


Figure 3. Forest inventory sampling methods(a. Line sampling, b. Random sampling c. Systematic sampling).

는 대상지의 특징을 고려하여 선의 방향을 결정하는 데(Lund and Thomas, 1989), 본 연구에서는 연구대상지의 지리적 특성을 반영하여 가장 많은 표본점을 선정할 수 있는 장축을 이용한 방법을 사용하여 총 10개의 표본점을 배치하였다.

3) 표본 강도검증을 위한 Bootstrap 분석

표본점 개수는 Shin et al.(2011)에서 제시한 산림면적과 인공림/천연림 여부에 따른 표본 강도 연구 결과(Table 1)를 기초로 산정하였다. 또한 표본 강도의 타당성 평가를 위해 Bootstrap 분석을 이용하여 연구대상지에서 수집된 모든 데이터의 수종별 흉고직경을 분석하였다(Woo, 2015). 추출된 표본을 통해 모평균에 대한 Bootstrap 추정량과 95%의 신뢰구간을 설정하여 통계적 추론을 통한 표본 강도에 대한 검증을 실시하였다. 모집단 평균에 대한 Bootstrap 추론과 관련한 알고리즘은 단계별로 다음과 같다(Heo et al., 2012).

[Phase 1]

- $h$ 번째 층에서의 확률표본  $X_{hnh} = (X_{hn1}, X_{hn2}, \dots, X_{hnh})$  으로부터 복원추출로 같은 크기  $n_h$ 의 독립적인 Bootstrap 표본  $X^*_{hnh} = (X^*_{hn1}, X^*_{hn2}, \dots, X^*_{hnh})$  를 얻는다.

[Phase 2]

- (Phase 1)의 Bootstrap 표본으로부터 평균  $\bar{X}_h^*$ 와 분산  $s_h^{*2}$ , ( $h = 1, 2, \dots, L$ )을 다음과 같이 계산한다.

$$\bar{X}_h^* = \frac{1}{n_h} \sum_{j=1}^{n_h} X_{hj}^*$$

$$s_h^{*2} = \frac{1}{n_h - 1} \sum_{j=1}^{n_h} (X_{hj}^* - \bar{X}_h^*)^2$$

[Phase 3]

- (Phase 2)의 평균  $\bar{X}_h^*$ 와 분산  $s_h^{*2}$ , ( $h = 1, 2, \dots, L$ )로부터 전체 모평균  $\mu$ 에 대한 Bootstrap 평균  $\bar{X}_{st}^*$ 와 분산  $\hat{\sigma}_{st}^{*2}$ 를 다음과 같이 계산한다.

$$\hat{\mu}_{st}^* = \bar{X}_{st}^* = \sum_{h=1}^L \left( \frac{N_h}{N} \right) \bar{X}_h^*$$

$$\hat{\sigma}_{st}^{*2} = \sum_{h=1}^L \left( \frac{N_h}{N} \right)^2 \left( \frac{N_h - n_h}{N_h} \right) s_h^{*2}$$

[Phase 4]

- 이와 같은 과정을 2,000회 반복하여 층별 Bootstrap

Table 1. The number of sampling plots based on sampling area.

	Number of sampling plot		
	Area	Plantation	Natural forest
Forest measurement for forest management plan	3ha <	3	3
	3ha ~ 5ha	3	5
	5ha ~ 30ha	5	10
	> 30ha	10	15

추정량들인  $\bar{X}_{h(i)}^*$ , ( $h = 1, 2, \dots, L$ )와 모평균  $\mu$ 의 Bootstrap 추정량  $\bar{X}_{st(i)}^*$ , ( $i = 1, 2, \dots, 2000$ )를 구하여 Bootstrap 추론에 사용한다.

본 연구에서는 연구대상지 내 자생하는 소나무, 낙엽송, 상수리나무, 신갈나무의 흉고직경 값을 Bootstrap 기법을 이용하여 표본의 개수를 2,000개로 확장하여 임의 데이터 표본을 생성하고 표본 샘플의 타당성을 분석하기 위해 각 수종 흉고직경의 분산 곡선의 변곡점을 기준으로 95% 신뢰 구간 내에서 검증하였다(Sikkink and Keane, 2008).

4) 산림재적조사 및 오차율조정 비용 산출

산림재적조사비용은 조사원 규모, 시간당 임금, 표본점 개수, 표본점별 조사시간, 표본점 간 이동시간 등을 고려하여 산정하였다. 표본점별 산정된 재적의 오차의 편차(표준오차 :  $S_y$ )를 산정하기 위해서는 표본점 별 재적의 표준편차( $S_y$ ), 추정된 ha당 평균 재적 값( $\bar{y}$ ), 대상지 내 설치 가능한 표본점 개수( $N=155$ ), 표본점 개수( $n=10$ )을 이용하여 계산하였다(식 1). 또한, 산정된 표준오차를 이용하여 최종적으로 표준오차율( $\%S_c$ )을 구하는 식은 다음 식 2와 같다.

$$S_y = \left\{ (S_y^2/n) * [1 - (n/N)] \right\}^{1/2} \tag{1}$$

- $S_y$  : The standard error of the mean
- $\bar{y}$  : The estimated standard deviation of the volume
- $\bar{y}$  : The estimated mean value of volume per ha
- $N$  : The number of total generated sample points
- $n$  : The number of chosen sample points

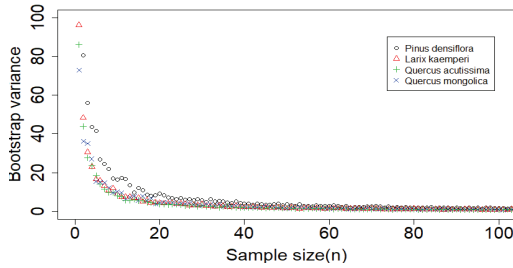
$$\%S_c = (S_y/\bar{y}) * 100 \tag{2}$$

표본점별 상이한 재적의 오차율(표준오차)을 재적 조사에서 목표로 하는 목표 오차율( $\%S_{cD}$ )로 하향 조정하였을 때의 추가적인 비용을 추정하기 위해 본 연구에서는 표본추출방법별 추정된 최저 표준오차율보다 낮은 목표 오차율을 설정하여 분석에 이용하였다. 본 연구에서는 미국 산림청(United States Forest Service)에서 개발된 ‘A



**Table 2. Bootstrap variance by sample size for tree species(*Pinus densiflora*, *Larix kaempferi*, *Quercus acutissima*, *Quercus mongolica*).**

Tree Species	Suggested number of sample size	Actual number of sample size	Confidence interval (%)
<i>Pinus densiflora</i>	20 to 40	237	95
<i>Larix kaempferi</i>	20 to 40	74	95
<i>Quercus acutissima</i>	20 to 40	44	95
<i>Quercus mongolica</i>	20 to 40	414	95



**Figure 4. Bootstrap variances test based on 2,000 repetitions for line, systematic, random sampling method.**

primer on stand and forest inventory designs’의 산림재적 조사비용 산출식 및 오차율 조정 비용식을 이용하여 비용을 산출하였다. 표준오차율의 조정을 통한 목표 오차율 달성에 필요한 오차율 조정 비용식은 식 3과 같다.

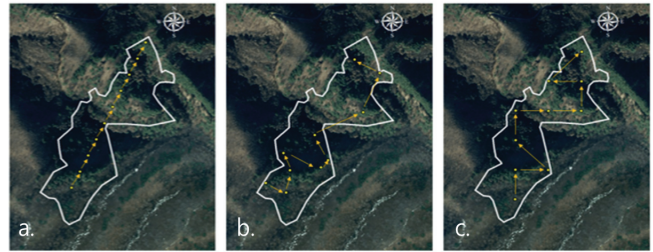
$$Error\ rate\ adjustment\ cost = (C * W * (n * M + (n - 1) * L)) * (\%S_e / \%S_{eD})^2 \quad (3)$$

- C : The size of the field crew
- W : The hourly wage per person
- n : The number of sampling plots
- M : The time per crew to survey each sampling plot
- L : The travel time between sampling plots
- $\%S_e$  : The estimated sampling error of the volume per ha
- $\%S_{eD}$  : The desired sampling error

## 결과 및 고찰

### 1. Bootstrap을 이용한 표본 강도검증

표본 강도의 타당성 평가는 연구대상지에서 수집된 모든 데이터의 수종별 흉고직경 값을 이용하여 분석하였다. 총 네 개의 수종별 표본 그룹을 대상으로 표본 강도 타당성을 평가하였다. 본 연구를 위해 제안된 최적 표본 샘플의 크기는 Table 2와 같다. Figure 4와 같이 기울기의 변화가 완만해지는 지점은 95%의 신뢰 구간에서 적절한 표본의 크기를 나타낸다. Bootstrap 분석 결과, 수집된 표본의 총 개수는 본 연구를 분석하기에 충분한 표본개수임을 Table 2를 통하여 확인할 수 있다. 연구대상지가 혼



**Figure 5. Actual movement in sampling area (a. Line sampling, b. Random sampling, c. Systematic sampling).**

효림에도 불구하고 각 수종별 균락을 이루고 있던 특징을 보아 임상의 상당 부분이 조림이 이루어진 것을 알 수 있었다. 조림지의 특성상 흉고직경의 편차가 작은 것을 알 수 있는데, 이러한 이유로 표본 강도 측면에서 본 연구에서 측정된 개체목의 표본 강도는 통계적 검증으로 적합하게 나타난 것으로 사료된다.

### 2. 표본추출방법별 재적 산출 결과

임의추출법, 계통추출법, 선상추출법을 사용하여 연구대상지 내 표본점을 추출하고 Figure 5와 같이 해당 표본점의 현장조사를 실시하였다. 현장조사 시 각 표본점별 평균조사시간, 표본점 간 평균이동시간, 조사구간 평균거리를 측정된 결과, 선상추출법의 표본점별 평균 조사시간(25분 28초)이 가장 짧았고, 이어 임의추출법(35분 43초), 계통추출법(36분 58초) 순으로 나타났다. 표본점 간 평균 이동시간은 선상추출법(5분 14초)이 가장 짧았으며, 계통추출법(9분 30초), 임의추출법(11분 21초)으로 나타났다(Table 3). 이는 표본추출방법별 특성이 반영된 결과로 볼 수 있다. 선상추출법은 임지의 지형적 제약에서 가장 자유로운 직선 방식으로 이동하는 특징이 있다. 다른 방법에 비하여 이동의 제약이 상대적으로 작은 특징으로 인하여 이동시간을 많이 단축된 것으로 나타났다. 반면, 임의추출법은 표본점이 무작위로 생성되어 임지의 지형적 조건이 고려되지 않았기 때문에 표본점 간 이동 시 많은 한계가 있어 이동시간이 상대적으로 더 많이 소비되었다. 본 연구 결과, 현장조사의 시간적 효율을 가장 우선적으로 고려하는 경우 선상추출법이 가장 효율적인 방법으

**Table 3. Results of sampling methods (average distance, sampling time, moving time).**

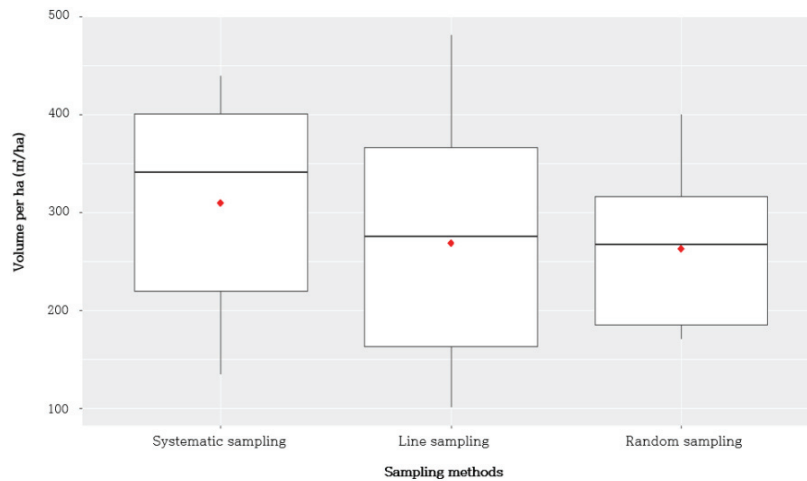
Sampling methods	Average distance (m)	Sampling time	Moving time
Line sampling	50.00	25min 28sec	5min 14sec
Random sampling	90.32	35min 43sec	11min 21sec
Systematic sampling	92.18	36min 58sec	9min 30sec

로 나타났다. 또한, 선상추출법은 대규모 산림을 조사하는 국가산림자원조사 및 대규모 산림자원의 표본지 조사를 하는 경우 시간과 인적 자원의 한계가 있는 상황에서 효율적으로 실행할 수 있는 표본추출방법으로 사료된다.

각 표본추출방법별로 산출된 ha당 재적의 비교를 위해 Boxplot을 살펴본 결과, 선상추출법의 ha당 재적 범위가 가장 넓게 나타났으며, 중앙값은 계통추출법이 임의추출법과 선상추출법보다 높은 수치를 보였다. 또한, 각 표본추출방법별로 이상치(outlier)는 발견되지 않았으며, 모든 표본추출방법별 ha당 재적에서 평균값보다 중앙값이 더 크게 나타났다(Figure 6). Boxplot의 사분 범위(Interquartile range)는 임의추출법에서 가장 작게 나타났으며, 이는

Table 4에서 볼 수 있듯이 표준오차와 표준오차율이 다른 두 표본추출방법과 비교하여 가장 낮은 값을 나타내는 걸 의미했다. 연구결과 사분범위가 표준오차 값의 크기를 유추할 수 있는 하나의 척도로 이용할 수 있다는 것으로 사료되나, Boxplot을 통한 재적 값의 최대값, 최소값, 중위값은 해석에 있어 각 표본점별 조건의 상이함(표본추출방법별 표본점의 조건이 모두 다름)으로 표본추출방법별 기술통계적 재적의 해석에 있어서 한계가 있는 것을 알 수 있었다.

표본추출방법별 ha당 재적을 산출한 결과, 임의추출법의 ha당 재적은 263.24 m<sup>3</sup>/ha이며, 계통추출법은 310.24m<sup>3</sup>/ha, 선상추출법은 269.14 m<sup>3</sup>/ha로 나타났다. 또한 재적의 표준편차와 재적평균의 표준오차를 산정한 결과, 임의추출법의 경우 재적의 표준편차는 83.48 m<sup>3</sup>, 재적평균의 표준오차는 25.53 m<sup>3</sup>로 나타났으며, 계통추출법의 경우 재적의 표준편차는 113.71 m<sup>3</sup>, 재적평균의 표준오차는 34.78 m<sup>3</sup>, 선상추출법의 재적의 표준편차는 127.34 m<sup>3</sup>, 재적평균의 표준오차는 38.95 m<sup>3</sup>로 나타났다. 이후 재적평균과 재적평균의 표준오차를 통해 도출한 재적평균의 표준오차율은 임의추출법은 9.70%, 계통추출법은 11.21%, 선상추출법은 14.47%로 산출되었다(Table 4). 산출된 표준오차



**Figure 6. Estimated volume(m<sup>3</sup>/ha) for each sampling method.**

**Table 4. Survey results of volume per ha for each sampling methods.**

Sampling methods	Volume per ha (m <sup>3</sup> /ha)	$S_y^*$	$S_y^{2**}$	$S_y^{***}$	$\%S_{eD}^{****}$
Line sampling	269.14	127.34	16,216.28	38.95	14.47
Random sampling	263.24	83.48	6,968.87	25.53	9.70
Systematic sampling	310.24	113.71	12,930.88	34.78	11.21

\* $S_y$  : The estimated standard deviation of the volume per ha

\*\* $S_y^2$  : The estimated variance of the volume per ha

\*\*\* $S_y$  : The standard error of the mean

\*\*\*\* $\%S_{eD}$  : The desired sampling error

**Table 5. Compared forest volume among the three sampling methods actual harvested volume in study sites.** Unit : m<sup>3</sup>/ha

Sampling methods	<sup>a</sup> Volume per ha	<sup>b</sup> Difference value (d)-(a)	<sup>c</sup> Difference value (f)-(a)	<sup>d</sup> The average volume of all sampling plots	<sup>e</sup> The volume of operational planning document	<sup>f</sup> The volume using top diameter squared method
Line sampling	269.14	11.74	-9.55			
Random sampling	263.24	17.64	-3.65	280.88	350.51	259.59
Systematic sampling	310.24	29.36	-50.65			

율의 효율성 비교를 위해 5%의 목표 표준오차율을 선정하여 표본추출방법별 목표 오차율을 도달하기 위해 발생하는 추가비용을 오차율조정 분석을 통해 비교하였다.

애당리 대상지 내 30개 표본점을 하나의 표본 집단으로 설정하여 산출한 임목의(stumpage) 재적 평균값(통합표본 재적평균)은 280.88 m<sup>3</sup>/ha로 나타났다. 지속가능한 산림자원 관리지침에 따르면, 일반적으로 사업대상지 면적의 1% 이상의 표준지 조사를 수행하도록 권고하고 있으나(KFS, 2015) 본 연구에서는 19.35%의 높은 표본 강도로 연구대상지의 표본을 추출하여 임목의 재적량을 산출하였다. 이는 국가 표준에서 제시하는 표본 강도보다 높은 강도로 보다 정교한 재적의 산출이 이루어졌다고 볼 수 있다. 이러한 높은 강도로 산출된 통합표본재적평균값과 각 표본추출방법의 재적 평균값을 비교한 결과, 선상추출법(269.18 m<sup>3</sup>/ha)이 가장 유사한 재적 값으로 산정되었고 임의추출법(263.24 m<sup>3</sup>/ha), 계통추출법(310.24 m<sup>3</sup>/ha) 순으로 나타났다. 이는 임분의 임목 재적 산정에 있어, 선상추출법을 통한 재적 추정과 다른 임의추출법, 계통추출법의 재적추정 보다 낮은 재적의 편차를 나타내는 것을 알 수 있다(Table 5).

또한, 각 표본추출방법별 추정 재적 값들을 임목수확사업 설계서의 재적 값과 비교해본 결과, 모든 표본추출방법별 추정 재적 값들이 설계서 상의 재적 값보다 하향 평가되는 경향을 나타냈다. 이는 산림수확사업에 있어 기존의 재적 산출방법의 과대치에 대한 경향을 나타내는 것을 의심할 수 있으나 본 사례연구의 공간적 한계로 인해 이 부분은 추가적 연구를 통한 분석이 요구된다.

마지막으로, 말구직경자승법을 이용하여 산출된 재적 값(실제 벌채목의 재적량)과 표본추출방법을 이용한 재적 추정 값을 비교한 결과, 임의추출법이 가장 오차가 작고(-3.65 m<sup>3</sup>/ha), 선상추출법(-9.55 m<sup>3</sup>/ha), 계통추출법(-50.65 m<sup>3</sup>/ha) 순으로 재적의 편차가 나타났다(Table 5). 이는 표본추출을 이용한 재적 추정에서 잔존목의 재적과, 조재율로 인한 재적의 차이 등을 고려하였을 때, 말구직경자승법을 이용한 재적추정 결과가 표본추출을 이용한 재적 추정량보다 적은 재적량이 산출되는 경향이 반영된 것으로 사료된다.

**Table 6. The error rate adjustment cost of field survey among the three sampling methods applying desired sampling error.** Unit : KRW/ha

Sampling methods	Desired sampling error
	5%
Line sampling	387,120
Random sampling	202,059
Systematic sampling	271,766

**3. 표본추출방법별 오차율조정 비용 산출 결과**

산출된 표본추출방법별 표준오차율을 기준으로 오차율 조정 비용 계산에 필요한 목표 오차율 선정 시, 본 연구에서 고려된 세 가지 방법 중 가장 낮은 표준오차율을 나타내는 임의추출법의 표준오차(9.70%)를 기준으로 이보다 낮은 5% 목표 오차율을 가정하여 오차율 조정 비용을 계산하였다(Table 6). 5% 목표 오차율을 달성하기 위한 각 표본추출방법의 산림재적조사 및 오차율 조정 비용 산출 결과는 Table 6과 같다. 목표 오차율 5%에 도달하기 위한 비용 산출 결과, 임의추출법의 비용(202,059원)이 가장 낮은 것으로 나타났고, 다음으로 계통추출법(271,766원), 선상추출법(387,120원) 순으로 나타났다. 오차율조정 비용 산출 결과, 표본추출의 오차율을 목표 오차율로 조정하기 위한 추가 비용 산출 결과, 임의추출법이 가장 적은 추가 비용이 발생하였고, 이후 계통추출법, 선상추출법 순으로 많은 추가 비용이 발생하는 것을 알 수 있었다.

**4. 표본추출을 이용한 재적 산출 및 오차율조정 비용 산출 고찰**

표본추출방법별 재적 추정 결과는 1) 통합표본재적평균값, 2) 말구직경자승법(벌채목 재적)을 통한 재적 산출과 모두 비교했을 때, 30%이하의 오차율로 재적 추정이 되는 것을 알 수 있었다. 국내의 경우, 산림재적 추정을 위한 표본추출 재적량과 실제 재적량의 오차 허용범위를 현재 관행적으로 30% 기준으로 고려하는데, 본 사례 연구에서 실시한 표본추출방법별 재적산출 결과의 오차 범위는 모두 허용 30%보다 낮은 오차 수준의 재적 추정 결

과를 얻을 수 있었다.

본 사례 연구에서 통합표본재적평균값과 표본추출방법별 재적 비교 결과, 선상추출법을 통한 재적 산출 결과가 통합표본재적 평균값과 가장 적은 편차를 보였고, 다음으로 임의추출법, 계통추출법의 순으로 높은 편차를 나타냈다. 말구직경자승법(벌채목 재적)과 표본추출방법별 재적 비교를 실시한 결과, 임의추출법을 통해 산출된 재적량이 가장 적은 편차를 보였고, 선상추출법, 계통추출법 순으로 재적의 편차가 나타났다.

본 연구에서 표본추출방법별 산출된 재적량과, 통합표본재적평균 및 실제 벌채목의 재적 값을 모두 비교 대상으로 선정하여 결과에 서술하였다. 이는 국유림 경영계획에서 사용하는 통합 표본재적평균과, 실제 대상지에서 벌채된 벌채 재적량의 차이가 발생하기에 특정한 재적값을 참값으로 선정하여 비교한다면 선택으로 인해 배제되는 재적 값에 대한 논의가 기피될 우려가 있어 특정 값을 비교의 참값으로 선정하지 못하였다. 이에 본 연구에서 적용된 세 가지 재적추정방법(표본추출법, 통합표본재적평균, 말구직경자승법) 모두 비교를 하여 특정 방법의 우수성을 시사하기 보다는 추후 재적 값의 산정에 있어 추가적인 논의가 필요하다 사료된다. 연구 결과, 다양한 목적에 따른 산림자원 조사 실시에 있어서, 재적의 오차범위가 낮은 표본추출방법을 적용함으로써 향후 국내 산림조사에 효율적이고 타당한 표본추출방법을 제시할 수 있는 추가 연구의 필요성이 요구된다.

## 결 론

본 연구는 표본추출방법별 산림재적조사비용 및 재적 추정 오차를 적용하여 상대 비교를 통한 비용 효율적이고 높은 정확성을 지닌 표본추출방법을 제시하기 위하여 수행되었다. 표본점별 재적을 산출하기 위한 현장 조사를 실시하였으며, 표본개수의 타당성을 검증하기 위해 Bootstrap 분석을 실시하였다. 그 결과 본 연구에서 수집한 현장조사를 통한 표본개수가 연구를 수행하기 위해 통계적으로 유의한 수준임을 확인할 수 있었다.

재적 산출의 정확도를 분석하기 위해 통합표본재적평균값과 각 표본추출방법의 재적 평균값을 비교한 결과, 선상추출법의 재적 산출 결과가 통합표본재적평균값과 오차가 가장 작은 것으로 나타났고 각 표본추출방법별 추정 재적 값들을 임목수확사업설계서의 재적 값과 비교한 결과, 모든 표본추출방법별 추정 재적 값들이 설계서상의 재적 값보다 하향 추정되는 경향을 보였다. 또한, 벌채목 재적과 표본추출방법별 재적 비교를 실시한 결과, 임의추출법을 통해 산출된 재적량이 선상추출법보다

근소한 편차를 보이는 것으로 나타났다. 마지막으로, 재적의 표준오차를 목표재적 평균의 오차율로 조정하기 위한 산림재적조사 및 오차율조정 비용을 산출해 보았다. 표준오차를 목표재적 평균의 오차율로 줄이기 위해 5%의 목표오차율을 가정하고 오차율의 조정에 필요한 추가 비용을 산정 하였다. 분석 결과, 오차율 조정 비용이 가장 효율적인 표본추출방법으로는 임의추출법이 가장 적은 비용이 요구되는 것으로 나타났다.

본 연구의 한계점으로는 세 가지 표본추출방법의 다양한 중복 실험을 통한 검증과정의 한계로 인해 연구 결과의 타당성을 검증하고 국내 전체를 일반화하는데 한계가 있다. 또한 표본추출방법을 통한 표본의 추출에 있어 각 방법별 반복 연구를 통해 선상 추출법의 선의 방향, 임의추출법을 통한 표본의 확장 등을 고려한다면 향후 연구의 결과를 통한 타당성을 증진시킬 수 있다고 사료된다. 향후, 추가적인 연구를 통해 본 연구와 동일한 방법을 적용한 표본추출연구가 가능하다면, 본 연구를 통해 제시된 한계점을 극복한 국내 표본추출방법의 좋은 지표가 되는 유의미한 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2019149C10-2023-0301, 2018112B10-2020-BB01)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## References

- Heo, T.Y., Lee, D.R. and Cho, J.J. 2012. On Statistical Inference of Stratified Population Mean with Bootstrap. CSAM (Communications for Statistical Applications and Methods) 19(3): 405-414.
- Heikkinen, J. 2006. Assessment of uncertainty in spatially systematic sampling. pp. 155-176. In: Forest Inventory. Springer. Dordrecht.
- Köhl, M., Magnussen, S.S. and Marchetti, M. 2006. Sampling methods, remote sensing and GIS multiresource forest inventory. Springer Science & Business Media.
- KFS (Korea Forest Service). 2015. Sustainable Forest Resource Management guidelines.
- Lund, H.G. and Thomas, C.E. 1989. A primer on stand and forest inventory designs. Gen. Tech. Rep. WO-54. Washington, DC: US Department of Agriculture Forest Service 96: 54.
- Ormerod, D.W. 1973. A simple bole model. The Forestry



- Chronicle 49(3): 136-138.
- Ross, S. 2019. Systematic Sampling: Advantages and Disadvantages. <https://www.investopedia.com/ask/answers/042415/what-are-advantages-and-disadvantages-using-systematic-sampling.asp>. (2019. 05. 08).
- Seol, A.R., Chung, J.S., Won, H.K., Lee, Y.J., Kim, S.Y., Choi, J.K., Han, H. and Chung, H.J. 2013. Adequacy Assessment of Sampling Size in Forest Inventory Survey with a Bootstrap Approach. Proceedings of Korean Forest Society Conference 2013: 741-743.
- Shin, M.Y., Kim, Y.J., Kim, T.W., Choi, H.K. and Shin, J.Y. 2011. Sampling Design and Inventory Method for Regional Forest Stand Inventory. National Institute of Forest Science. Seoul, South Korea. pp. 85.
- Shin, M.Y. and Han, W.S. 2006. Development of a Forest Inventory System for the Sustainable Forest Management. Journal of Korean Forest Society 95(3): 370-377.
- Sikkink, P.G. and Keane, R.E. 2008. A Comparison of Five Sampling Techniques to Estimate Surface Fuel Loading in Montane Forests. International Journal of Wildland Fire 17(3): 363-79.
- Van Laar, A. and Akça, A. 2007. Forest mensuration (Vol. 13). Springer Science & Business Media.
- Woo, H. 2015. Screening and characterization of comminuted woody biomass feedstocks. California. Humboldt State University.
- Woo, H., Cho, S., Jung, G., and Park, J. 2019. Precision Forestry Using Remote Sensing Techniques: Opportunities and Limitations of Remote Sensing Application in Forestry. Korean Journal of Remote Sensing 35(6\_2): 1067-1082.
- Yim, J.S., Jung, I.B., Kim, S.H. and Shin, M.Y. 2012. An Efficient Sampling Design for Forest Inventory at Stand Level. Proceedings of Korean Forest Society Conference 2012: 1207-1210.

---

Manuscript Received : April 16, 2020  
First Revision : June 30, 2020  
Second Revision : July 15, 2020  
Accepted : September 1, 2020