

공간통계기법을 이용한 생태계 관리지역의 산림축적 추정*

서환석¹ · 박정묵¹ · 김은숙² · 이정수^{1*}

Estimation of Forest Volumes in the Ecosystem Region Using Spatial Statistical Techniques*

Hwan-Seok SEO¹ · Jeong-Mook PARK¹ · Eun-Sook KIM² · Jung-Soo LEE^{1*}

요 약

본 연구는 생태계 관리권역 내 남한강 상류지역을 대상으로 제5차 국가산림자원조사의 표본점 자료를 기반으로 한 직접추정법과 합성추정법에 의한 층화별(임상·영급) 임목축적을 산출하였으며, 공간단위에 따른 오차검증을 통하여 최적의 추정방법을 비교·분석하였다. 직접추정법은 대상지내의 표본점 자료만을 활용하였으며, 합성추정법은 대상지뿐만 아니라 공간확장지역의 표본점 정보를 활용하여 임목축적을 추정하였고, 공간확장기준은 4가지(권역, 지역, 구역, 거리)를 적용하였다. 직접추정법에 의한 ha당 평균임목축적은 143.5m³/ha이었으며, 합성추정법에 의한 ha당 평균임목축적은 구역, 거리, 지역, 권역기준의 순으로 각각 146.9m³/ha, 144.8m³/ha, 139.8m³/ha, 138.6m³/ha 추정되었다. 직접추정법에 의한 표준오차는 1.79m³/ha이었으며, 합성추정법에 의한 표준오차는 공간확장기준에 상관없이 1.83m³/ha으로 차이가 없었다. 한편, 임상별 표준오차는 추정방법과 확장지역에 관계없이 활엽수림이 ±2.3m³/ha으로 가장 낮았으며, 혼효림과 침엽수림이 각각 ±3.3m³/ha과 ±4.8m³/ha의 순으로 추정되었다.

주요어 : 생태계 관리지역, 직접추정법, 합성추정법, 산림축적

ABSTRACT

This study aims to estimate the forest volumes of the upper region of Nam-Han River in ecosystem zoning by forest types and age classes, and to suggest the optimal estimation method through the comparison of the standard errors according to the spatial unit. In the estimation of forest volumes, we used both of direct estimation, which uses sample plots of the target area only, and synthetic estimation, which includes sample

2015년 5월 10일 접수 Received on May 10, 2015 / 2015년 6월 16일 수정 Revised on June 16, 2015 / 2015년 6월 19일 심사완료 Accepted on June 19, 2015

* 본 연구는 국립산림과학원의 일반연구과제 ‘국가 산림자원 해석 및 평가기술 개발(과제번호 : FM0101-2008-01)’의 지원을 받아 수행되었음.

1 강원대학교 산림경영학과 Department of Forest Management, Kangwon National University

2 국립산림과학원 기후변화연구센터 Center for Forest and Climate Change, Korea Forest Research Institute

* Corresponding Author E-mail : jslee72@kangwon.ac.kr

plots of the expanded areas as well as those of the target area. As for the spatial expansion, we applied four standards for synthetic estimator: Mountainous zone, Neighbor ecosystem region, Gangwon province, and Buffer zone. The results show that average forest volume per ha, calculated by direct estimation, was $143.5\text{m}^3/\text{ha}$, while that by synthetic estimation with each standard, was estimated at $146.9\text{m}^3/\text{ha}$ by Gangwon province, $144.8\text{m}^3/\text{ha}$ by Buffer zone, $139.8\text{m}^3/\text{ha}$ by Neighbor ecosystem region, and $138.6\text{m}^3/\text{ha}$ by Mountainous zone, respectively. The standard errors of direct estimation was $1.79\text{m}^3/\text{ha}$, while those of synthetic estimation showed not a great difference among the errors. Meanwhile, considering the standard errors by forest type, the lowest was $\pm 2.3\text{m}^3/\text{ha}$ of broad-leaved forest, followed by $\pm 3.3\text{m}^3/\text{ha}$ of mixed forest, and $\pm 4.8\text{m}^3/\text{ha}$ of coniferous forest.

KEYWORDS : Ecosystem Region, Direct Estimation, Synthetic Estimation, Forest Volumes

서론

1992년 리우데자이네루 유엔환경개발회의를 시작으로 온실가스 감축에 대한 국제적 규범이 가속화됨에 따라, 2011년 더반 당사국총회에서는 2020년 이후 선진국과 개도국이 모두 온실가스 감축에 참여하는 신기후체제가 합의되었다(Korea Forest Service, 2008; Korea Institute for International Economic Policy, 2014). 최근 산림은 이산화탄소 흡수원으로서 중요성이 부각되고 있으며, 이에 국가산림자원조사(National Forest Inventory, NFI)는 온실가스 통계량 구축에 있어 객관적인 자료로 사용되고 있다(McRoberts and Tomppo, 2007; Yoo *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2014). 우리나라의 국가산림자원조사는 1972년 제1차 전국산림실태조사를 시작으로 현재 제6차 국가산림자원조사가 진행 중이며, NFI 고정표본점은 $4\text{km} \times 4\text{km}$ 격자단위의 교차점에 배치하는 계통추출법으로 설계되어 약 4,000개 고정표본점의 임황 및 지황정보를 5년 주기 매년조사 체계로 수행하고 있다(Korea Forest Research Institute, 2011). 이에 국내외적으로 새로운 기후변화체제에 대응하기 위하여 NFI자료를 활용한 산림통계산출 연구가 활발히 진행 중에 있다(Tomppo and Katila, 1991; Kim *et al.*,

2010; Kim *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2012). Makela *et al.*(2011)은 Landsat 영상과 제9차 국가산림자원조사를 이용하여 지역단위의 산림 재적을 추정하고, 임분 단위의 산림경영계획을 수립하였으며, Leboeuf *et al.*(2012)은 고해상도 영상인 QuickBird를 활용하여 소면적의 바이오매스량을 추정하였다. 국내에서도 Yim *et al.*(2009)과 Jung *et al.*(2009)이 k-NN방법과 바이오매스 변환표를 이용하여 시·군단위의 바이오매스량을 추정하였으며, Kim *et al.*(2011)은 NFI와 임상도를 이용하여 임분 수고추정모델을 개발하고 지상부 바이오매스를 추정하였고, Kim *et al.*(2014)은 NFI의 정보를 1:5,000 임상도의 대면적으로 업스케일링하는 방법으로 탄소지도를 제작하였다. 한편, 보조자료를 사용하지 않고 조사된 자료만을 이용하여 지역의 통계를 산출하는 자료기반 추정법은 산림분야 뿐만 아니라 다양한 분야에서 적용되고 있다. 특히, 국가통계 산출을 목적으로 설계된 표본자료를 활용하여 신뢰할 수 있는 추정치를 얻을 수 있다는 장점이 있다(Kim *et al.*, 2008; Noh, 2009). Katila(2006)는 최근린 기법과 합성추정법을 이용하여 산림의 임목축적량을 산출하고 추정방법간의 오차를 비교하였으며, Han(2011)은 최근린법과 합성추정법, 복합추정법을 이용하여 추정방법과 확장지역 선정에 따른 시·군단위의 임목축적량을 평

가하였다. 또한, Yim et al.(2010) 은 합성추정법의 확장지역 선정에 따른 행정구역 단위의 산림통계를 추정하였다. 하지만, 기존의 연구는 국가통계자료구축을 목적으로 전국 단위 또는 시·도 단위에 대하여 포괄적으로 산출하여 공간구획별 자원현황에 대한 기초정보를 확보하지 못하였으며, 국제적으로 요구되는 공간별 통계량 산출은 미흡한 실정이다(Hwang, 2009; Kim et al., 2010).

따라서 본 연구는 한국의 산림경관 및 생태계 관리권역의 공간단위 중 생태계 관리지역을 대상으로 직접추정법과 합성추정법에 따른 산림통계량을 산출하고 공간단위에 따른 최적의

추정방법 제시를 목적으로 하였다.

자료 및 방법

1. 대상지 및 사용자료

연구대상지는 생태계 관리권역 중 산악권역 내에 포함된 남한강상류지역(이후 남한강상류)으로(그림 1), 5개의 시·군(영월군, 원주시, 정선군, 평창군, 횡성군)으로 구성되어 있고, 연중 서늘하고 강수량이 많아 경제림 단지를 조성하기 용이한 지역이다(Korea Forest Research Institute, 2009).

사용된 GIS자료는 국립산림과학원으로부터

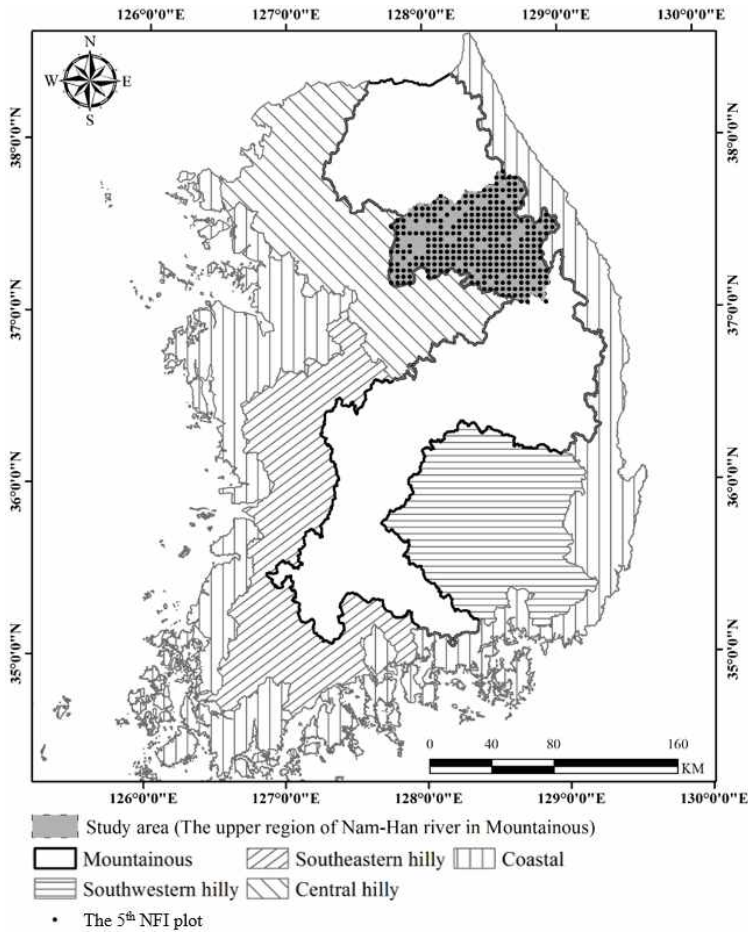


FIGURE 1. Location of study area

제공받은 1:5,000 수치임상도(이후 수치임상도)와 행정구역도, 생태계관리권역도, NFI 5th 표본점자료(이후 표본점)를 사용하였다. 한편, 수치임상도는 무림목지와 비산림을 제외한 임목지의 산림면적 산출에 사용하였으며, 표본점 자료는 4km×4km단위로 구축된 집락표본점의 4개의 부표본점별 ha당 평균임목축적자료를 각각의 개별 표본점 자료로서 사용하였다.

2. 연구방법

남한강상류의 산림축적 추정을 위해 첫째, 합성추정법에서 사용하는 확장지역의 공간단위를 선정하였다. 둘째, 직접추정법과 합성추정법을 이용하여 대상지의 층화별 ha당 평균임목축적과 표준오차를 산출하고, 마지막으로 층화별 ha당 평균임목축적과 산림면적을 이용하여 공간단위별 총 축적을 산출하였다(그림 2).

1) 확장지역의 공간단위 선정

직접추정법은 대상지 내의 자료만을 사용하여 분석하는 추정방법으로 자료의 양이 적어 빠른 추정이 가능하다는 장점을 가지고 있다

(Park and Lee, 2001). 한편, 합성추정법은 확장지역에서 수집되는 표본점의 자료를 이용하여 추가적인 자료의 도움 없이 목표로 하는 소면적을 추정하는 방법으로, 확장지역은 목표로 하는 소면적과 유사한 특성을 가지는 대면적 지역을 선정하여 추정하는 기법이다(Gonzalez, 1973; Yim *et al.*, 2010). 따라서 확장지역의 선정은 향후 산림통계 산출에 영향을 줄 수 있어, 본 연구에서는 공간관계를 설명할 때 이용되는 지역과 거리를 기준으로 4가지 공간단위를 선정하였다(Cressie, 1993). 확장지역은 선행연구(Yim *et al.*, 2009; Han, 2011)에서 사용한 방법을 기준으로 선정하였으며, 지역기준의 경우 3가지 공간단위로 구분하여 국립산림과학원의 산림경관 및 생태계 관리권역 중 대상지를 포함하고 있는 산악권역(이후 합성추정법_권역)(그림 3a)과 남한강상류지역을 연결하는 4개 지역(이후 합성추정법_지역)(그림 3b), 대상지가 포함된 행정계획구인 강원도(이후 합성추정법_구역)(그림 3c)를 선정하였다. 마지막으로 거리기준의 공간단위는 남한강상류지역의 외각으로부터 10km 내의 경계(이후 합성추정법_거리)를 설정하였다(그림 3d).

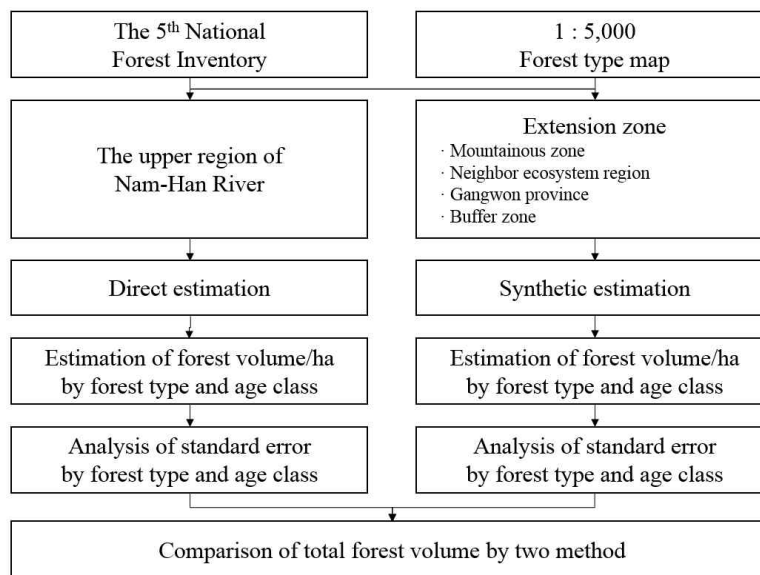


FIGURE 2. Schematic to estimation of forest total volume

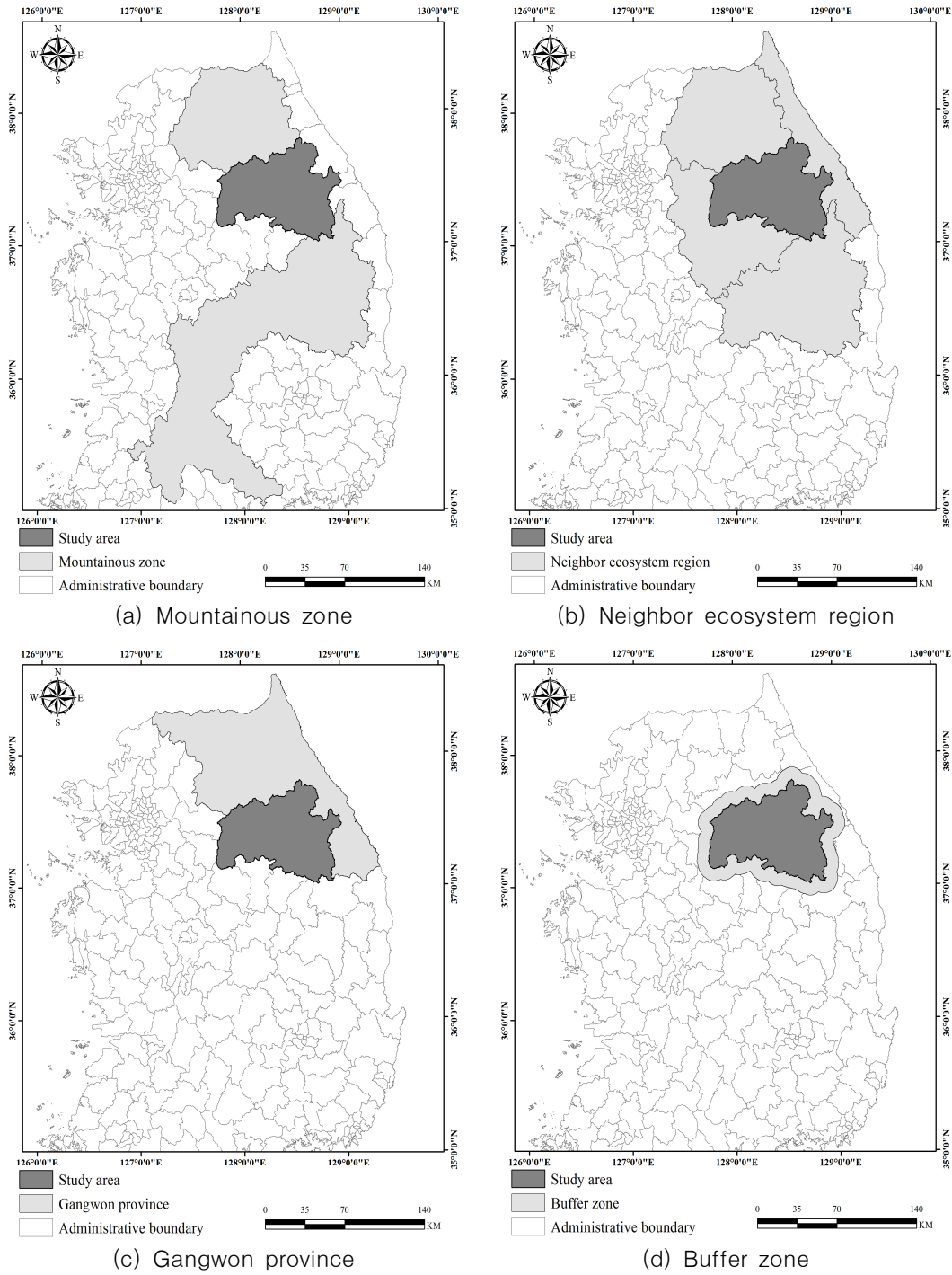


FIGURE 3. Distribution of spatial unit for synthetic estimation

2) 산림통계 산출

산림통계 산출은 공간구획 별 수치임상도와 표본점자료를 이용하였으며, 임상별 영급별 표본층화(이후 층화별)를 실시하여 분석하였다. 임상은 침엽수림(C)과 활엽수림(B), 혼효림(M)으로 구분하였으며, 영급의 경우 임목축적이 낮은 I영급은 제외하였으며, 산림면적이 적은 VII영급 이상은 VI영급에 포함하여 산출하였다(Korea Forest Research Institute, 2011).

총 임목축적(V_T)의 산출방법은 식 (1)과 같으며, 층화별 면적(A_h)은 수치임상도에서 무림목지와 비산림을 제외한 임목지의 산림면적을 이용하였다. 층화별 ha당 평균임목축적(\bar{v}_h)의 경우 추정방법에 따라 직접추정은 식 (2), 합성추정은 식 (3)을 이용하여 산출하였다(Yim *et al.*, 2010). 여기서 n 은 표본점 수, r 은 남한강상류 지역, l 은 표본점 확장지역, v 는 표본점 별 ha당 임목축적, h 는 표본층(임상별 영급)을 의미한다.

$$V_T = \sum_{h=1}^{15} (A_h \times \bar{v}_h) \quad (1)$$

$$\bar{v}_{h,r} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{h,r}} v_i}{n_{h,r}} \quad (2)$$

$$\bar{v}_{h,l} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{h,l}} v_i}{n_{h,l}} \quad (3)$$

3) 추정 오차 비교

2가지 추정방법을 이용하여 산출된 층화별 ha당 평균임목축적의 추정값과 표본점별 ha당 평균임목축적간의 오차를 비교하기 위하여 추정치의 분산(식 4) 및 표준오차(식 5)를 각각 산출하였다(Cochran, 1977). 또한 유의성검증을 위하여 일차원 변량분석(One-way ANOVA)을 실시하였다.

$$s_h^2 = \frac{\sum_{h=1}^{15} (v_h - \bar{v}_h)^2}{n_h - 1} \quad (4)$$

$$s_{\bar{v}_h} = \sqrt{\frac{s_h^2}{n_h}} \quad (5)$$

결과 및 고찰

1. 표본점 현황

직접추정법에 사용된 남한강상류의 표본점 수는 총 1,091개로, 합성추정법을 위한 확장지역 별 표본점 수는 합성추정법_권역이 남한강상류의 표본점 수보다 4.9배, 합성추정법_지역 4.8배, 합성추정법_구역 2.6배, 합성추정법_거리 1.7배수이었다(표 1). Han(2011)과 Yim *et al.*(2010)은 시·군에 따라 확장 표본점 수가 다양하게 분포하였지만 목표 시·군 대비 평균 약 5배로 본 연구와 유사하였다.

한편 남한강상류의 표본점 별 임상비율은 활엽수림이 약 48%로 가장 높았으며, 혼효림 약 30%, 침엽수림 약 23% 순으로 분포하였다. 또한, 확장지역의 표본점 별 임상비율은 활엽수림 약 42~49%, 혼효림 약 28~30%, 침엽수림 약 23~29%의 범위로 남한강상류와 유사하게 분포하여 보정자료로 사용하는 확장지역의 자료와 대상지의 정보가 동질성을 유지한 것으로 판단된다(Noh, 2009; Han, 2011).

2. 공간단위 설정에 따른 임목축적 추정

1) 층화별 ha당 평균임목축적

직접추정법을 이용한 남한강상류의 ha당 평균임목축적은 143.5m³/ha이었으며, 합성추정법_권역과 합성추정법_지역의 ha당 평균임목축적은 직접추정법보다 각각 4.9m³/ha, 3.7m³/ha 과소 추정된 반면, 합성추정법_구역과 합성추정법_거리는 각각 3.4m³/ha, 1.3m³/ha 과대 추정되었다. 또한, 임상 층화별 ha당 평균 임목축적은 직접추정법을 이용하였을 때 침엽수림이 183.8 m³/ha으로 가장 높았으며, 혼효림, 활엽수림의 순으로 추정되었다.

합성추정법에 의한 임상 층화별 ha당 평균임목축적은 4가지 기준 모두 직접추정법과 동일하게 침엽수림, 혼효림, 활엽수림 순이었다. 한

TABLE 1. Number of The 5th National Forest Inventory in the study area

Distribution of spatial	Forest type	Age class					Total	Ratio (%)
		II	III	IV	V	VI		
Direct estimation	C	25	60	116	37	9	247	23
	B	26	116	196	109	75	522	48
	M	17	101	151	37	16	322	30
	Total	68	277	463	183	100	1,091	100
Mountainous zone	C	52	521	748	188	51	1,560	29
	B	83	662	860	379	222	2,206	42
	M	48	585	685	134	90	1,542	29
	Total	183	1,768	2,293	701	363	5,308	100
Neighbor ecosystem region	C	62	455	673	183	82	1,455	28
	B	78	602	830	407	277	2,194	42
	M	54	526	685	194	119	1,578	30
	Total	194	1,583	2,188	784	478	5,227	100
Synthetic estimation	C	40	158	294	104	54	650	23
	B	44	277	534	308	215	1,378	49
	M	27	220	341	123	91	802	28
	Total	111	655	1,169	535	360	2,830	100
Buffer zone	C	35	104	202	66	33	440	24
	B	39	196	307	190	123	855	46
	M	24	183	247	69	39	562	30
	Total	98	483	756	325	195	1,857	100

C : Coniferous forest, B : Broad-leaved forest, M : Mixed forest

편, 직접추정법과 합성추정법 간의 ha당 평균 임목축적 차이는 합성추정법의 공간단위와는 관계없이 침엽수림이 2.1~24.1m³/ha, 활엽수림이 0.4~5.4m³/ha, 혼효림 1.1~7.2m³/ha의 범위에 분포하였다(표 2). Han(2011)과 Yim *et al.*(2010)은 행정구역 단위에서 직접추정법과 합성추정법 간의 ha당 평균 임목축적 차이를 임상별로 약 1~36m³/ha로 제시하여 본 연구와 유사하였으며, 추정방법과 임상층화에 따른 평균 임목축적량은 통계적으로 유의하였다(p<0.05).

마지막으로 임상층화에 따른 영급별 ha당 평균임목축적의 경우 활엽수와 혼효림은 영급이 높아질수록 ha당 평균임목축적도 증가하는 경향으로 공간단위의 변화유무와 관계없이 임분 구조가 유사하였다(그림 4b, 4c). 한편, 침엽수림의 경우 합성추정법_권역과 합성추정법_지역, 합성추정법_구역은 영급이 증가함에 따라 ha당 평균임목축적이 높아져 활엽수림, 혼효림과 유사한 반면, 직접추정법과 합성추정법_거리는 V영급의 ha당 평균임목축적이 VI영급보다 높았

TABLE 2. Estimates of mean for growing stock volume by forest types

Forest type	Direct estimation	Synthetic estimation			
		Mountainous zone	Neighbor ecosystem region	Gangwon province	Buffer zone
C	183.8	165.7	159.7	180.0	181.7
B	124.5	119.1	123.3	129.2	124.9
M	143.3	138.6	144.5	150.6	146.1
Mean	143.5	138.6	139.8	146.9	144.8

(unit : m³ /ha)

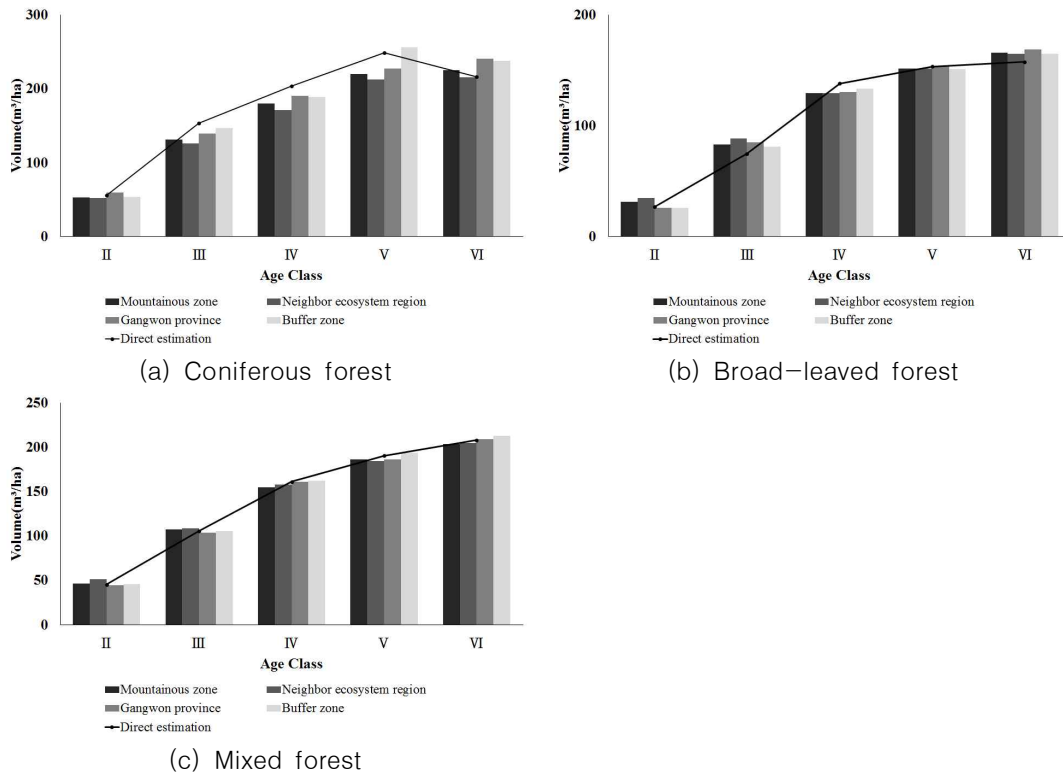


FIGURE 4. Comparison of growing stock volume by forest types and age classes

다(그림 4a). 이는 침엽수림 V영급의 경우 직접추정법과 합성추정법_거리에 포함되는 표본점의 ha당 평균임목축적은 각각 약 110~450 m³/ha, 약 109~520m³/ha으로 유사하였지만, 합성추정법_거리를 제외한 3가지 경계기준의 경우 직접추정법보다 면적이 약 3~6배 넓어 사용하는 표본점의 ha당 평균임목축적 범위가 약 23~500m³/ha으로 증가하여 영급분포가 달라진 것으로 사료된다.

2) 추정방법에 따른 표준오차 비교

직접추정법을 이용하여 산출한 층화별 표준오차는 ±4.1~43.8m³/ha의 범위에 분포하였으며, 특히 침엽수림의 VI영급이 ±43.8m³/ha으로 표준오차가 가장 높았다(표 3). 이는 VI영급의 표본점 개수가 9개로 제한되어 있으며, 표본점의 ha당 임목축적이 67.8~398.4m³/ha으로 범

위가 넓어 ha당 임목축적의 표준오차가 높은 것으로 판단된다. 한편, 합성추정법을 이용하여 산출한 층화별 표준오차의 범위는 확장지역의 공간단위와 관계없이 침엽수림의 경우 ±7.2~44.7m³/ha, 활엽수림 ±4.1~6.2m³/ha, 혼효림 ±4.8~14.4m³/ha의 범위로 직접추정법과 매우 유사하였으며, 추정방법 간 층화별 표준오차 차이는 0.1~1.3m³/ha으로 분포하였다. 또한 직접추정법의 평균 표준오차는 ±1.79m³/ha로 합성추정법보다 0.1~0.2m³/ha 낮게 추정되어, 선행연구(Yim *et al.*, 2009; Han, 2011)에서 제시한 합성추정법을 이용하였을 때 직접추정법보다 오차가 줄어든다는 결과와 상이하였다. 이는 선행연구의 경우 대상지 내 표본점수가 약 100개 이하의 한 개 시·군으로 합성추정법을 적용하였을 때 직접추정법보다 오차가 줄어드는 경향이었다. 이는 본 연구의 대상

TABLE 3. Estimates of standard error for growing stock volume by forest types and age classes

Distribution of spatial	Forest type	Age class					Mean
		II	III	IV	V	VI	
Direct estimation	C	±8.3	±8.1	±7.1	±13.3	±43.8	±4.64
	B	±5.0	±4.3	±4.1	±5.4	±6.0	±2.29
	M	±9.0	±4.8	±5.6	±8.0	±14.4	±3.25
Mountainous zone	C	±8.3	±8.6	±7.4	±14.1	±43.9	±4.87
	B	±5.1	±4.3	±4.1	±5.4	±6.1	±2.31
	M	±9.0	±4.8	±5.6	±8.0	±14.4	±3.26
Neighbor ecosystem region	C	±8.3	±8.8	±7.7	±14.6	±43.8	±5.02
	B	±5.2	±4.4	±4.1	±5.4	±6.1	±2.32
	M	±9.1	±4.8	±5.6	±8.0	±14.4	±3.26
Gangwon province	C	±8.3	±8.3	±7.2	±13.7	±44.7	±4.74
	B	±5.0	±4.4	±4.1	±5.4	±6.2	±2.32
	M	±9.0	±4.8	±5.6	±8.0	±14.4	±3.25
Buffer zone	C	±8.3	±8.1	±7.2	±13.3	±44.5	±4.71
	B	±5.0	±4.3	±4.1	±5.4	±6.1	±2.30
	M	±9.0	±4.8	±5.6	±8.0	±14.4	±3.25

지인 생태계 관리지역의 공간단위에서는 표본점의 수가 약 1,000개이며, 3~4개의 시군으로 이루어진 대면적으로 산림통계량을 추정할 때 합성추정법 뿐만 아니라 해당표본점만을 사용하는 직접추정법도 가능하다고 사료된다. 또한 Katila(2006)에 의하면 대상지 면적이 커질수록 추정방법간의 오차의 차이는 적었으며, 본 연구결과와 유사하였다.

3) 총 임목축적

직접추정법을 이용하여 산출한 남한강상류의 총 임목축적은 약 7,195만 m^3 이었으며, 활엽수림이 약 45%, 침엽수림 약 44%, 혼효림 11% 순으로 분포하였다. 특히 활엽수림과 침엽수림

의 IV영급은 각각 약 29%, 약 25%로 전체 임목축적중 약 54%의 높은 비율을 차지하였다. 또한 합성추정법을 이용하여 임목축적을 산출한 결과, 합성추정법_지역이 약 6,615만 m^3 으로 가장 낮았으며, 합성추정_거리가 약 7,049만 m^3 으로 직접추정법과 유사하였다(표 4).

결론

본 연구는 생태계관리지역을 대상으로 수치임상도와 NFI 5th 표본점자료를 이용하여 추정방법에 따른 산림통계량의 산출 및 표준오차간 비교를 통하여 공간단위에 따른 최적의 추정방법 제시를 목적으로 하였다. 직접추정법과 합성

TABLE 4. Estimates of total volume by forest types and estimation methods

Forest type	Direct estimation	Synthetic estimation			
		Mountainous zone	Neighbor ecosystem region	Gangwon province	Buffer zone
C	3,192	2,836	2,714	2,985	3,091
B	3,255	3,152	3,169	3,190	3,204
M	748	723	732	744	754
Total	7,195	6,710	6,615	6,918	7,049

추정법을 이용하여 ha당 평균임목축적과 총임목축적을 산출하였으며, 표준오차를 이용하여 추정방법간의 오차를 비교하였다. 한편, 합성추정법은 지역과 거리를 기준으로 4가지 공간단위로 구획하여 비교하였다.

총 임목축적은 직접추정 > 합성추정법_거리 > 합성추정법_구역 > 합성추정법_권역 > 합성추정법_지역의 순으로 공간단위에 따른 총 임목축적 추정값의 차이는 거의 없었다. 공간구획별 표본점의 수는 합성추정법_권역 > 합성추정법_지역 > 합성추정법_구역 > 합성추정법_거리 > 직접추정의 순이었으며, 표본점 수와 표준오차와의 관계는 임상에 따라 상이하였다. 직접추정법과 합성추정법간의 표준오차는 약 $\pm 1.3\text{m}^3/\text{ha}$ 로 거의 차이가 없었으며, 층화별 표준오차를 보면, 침엽수림과 활엽수림은 직접추정법이 가장 낮고 합성추정법_지역이 가장 높은 반면, 혼효림에서는 직접추정법이 가장 낮고 합성추정법_권역이 가장 높았다. 따라서 생태계관리지역단위에서의 산림통계산출은 합성추정법 뿐만 아니라 직접추정법의 적용도 적합한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 2가지 추정방법의 비교·분석을 통하여 산림공간구획에 따른 산림통계산출방법을 제안 하였으며, 기본계획구(시·군·구)가 아닌 자연성과 지역 간의 특화성이 강조된 산림생태계지역의 산림자원량을 추정함으로써 NFI 5th 표본점자료의 다양한 활용방안을 제시할 수 있었다. 또한, 국제적으로 요구되고 있는 공간구획단위의 산림자원 현황 파악에 기초 정보를 제공할 수 있을 것이라 사료된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Chung, S.Y., J.S. Yim, H.K. Cho, J.H. Jeong, S.H. Kim and M.Y. Shin. 2009. Estimation of forest biomass for Muju county using biomass conversion table and remote sensing data. *Journal of Korean Forest Society* 98(4):409-416
- (정상영, 임중수, 조현국, 정진현, 김성호, 신만용. 2009. 산림 바이오매스 변환표와 위성영상을 이용한 무주군의 산림바이오매스 추정. *한국임학회지* 98(4):409-416).
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling Techniques* (3rd edition). John Wiley & Sons.
- Cressie, N. 1993. *Statistics for Spatial Data*. John Wiley & Sons.
- Gonzales, M.E. 1973. Use and evaluation of synthetic estimates. *Proceeding of Social Statistics Section, American Statistical Association* 73:7-15.
- Han, S.H. 2011. Selection of methods for estimation of forest statistics in small area district. Ph.D. Thesis, Univ. of Kookmin, Seoul, Korea (한승훈. 2011. 소면적 시군구 산림통계 추정에 관한 연구. 국민대학교 대학원 박사학위논문).
- Hwang, J.H. 2009. Method of forest statistics estimation using national forest inventory data. Master Thesis, Univ. of Kookmin, Seoul, Korea (황주호. 2009. 국가산림자원조사 자료를 이용한 산림통계추정방법에 관한 연구. 국민대학교 대학원 석사학위논문).
- Jung, J.H., J. Heo, S.H. Yoo, K.M. Kim and J.B. Lee. 2010. Estimation of aboveground biomass carbon stock in Danyang area using kNN Algorithm and Landsat TM seasonal satellite images. *Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System* 18(4): 119-129 (정재훈, 허준, 유수홍, 김경민, 이정빈. 2010. kNN알고리즘과 계절별 Landsat TM 위성영상을 이용한 단양군 지역의 지상부 바이오매스 탄소저장량 추정. *지형공간정보학회지* 18(4):119-129).
- Katila, M. 2006. Empirical Errors of small

- area estimates from the multisource national forest inventory in eastern Finland. *Silva Fennica* 40(4):729-742.
- Kim, E.S., K.M. Kim, C.C. Kim, S.H. Lee and S.H. Kim. 2010. Estimating the spatial distribution of forest stand volume in Gyeonggi province using national forest inventory data and forest type map. *Journal of Korean Forest Society* 99(6):827-835 (김은숙, 김경민, 김종찬, 이승호, 김성호. 2010. 국가산림자원조사 자료와 임상도를 이용한 경기지역 산림의 임분재적 공간분포 추정. *한국임학회지* 99(6):827-835).
- Kim, E.S., K.M. Kim, J.B. Lee, S.H. Lee and C.C. Kim. 2011. Spatial upscaling of aboveground biomass estimation using national forest inventory data and forest type map. *Journal of Korean Forest Society* 100(3):455-465 (김은숙, 김경민, 이정빈, 이승호, 김종찬. 2011. 국가산림자원조사 자료와 임상도를 이용한 지상부 바이오매스의 공간규모 확장. *한국임학회지* 100(3):455-465).
- Kim, J.S., H.J. Hwang and K.I. Shin. 2008. Comparison of spatial small area estimators based on neighborhood information system. *the Korean Journal of Applied Statistics* 21(5):855-866 (김정숙, 황희진, 신기일. 2008. 이웃정보시스템을 이용한 공간 소지역 추정량 비교. *응용통계연구* 21(5):855-866).
- Kim, K.M., Y.H. Roh and E.S. Kim. 2014. Comparison of three kinds of methods on estimation of forest carbon stocks distribution using national forest inventory DB and forest type map. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 17(4):69-85 (김경민, 노영희, 김은숙. 2014. 국가산림자원조사 DB와 임상도를 이용한 산림탄소저장량 공간분포 추정방법 비교. *한국지리정보학회지* 17(4):69-85).
- Korea Forest Research Institute. 2009. Korean forest landscape and ecosystem zoning. Research Report (국립산림과학원. 2009. 한국의 산림경관 및 생태계 관리권역).
- Korea Forest Research Institute. 2011. The 5th national forest inventory report (국립산림과학원. 2011. 제5차 국가산림자원조사 보고서).
- Korea Forest Service. 2008. A comprehensive plan of forest field for climate change adaptation. Research Report (산림청. 2008. 기후변화대응 산림종합대책).
- Korea Institute for International Economic Policy. 2014. World economy update. pp.2-5 (대외경제정책연구원. 2015. 오늘의 세계경제. 2-5쪽).
- Leboeuf, A., R.A. Fournier, J.E. Luther, A. Beaudoin and I. Guindon. 2012. Forest attribute estimation of northeastern Canadian forests using QuickBird imagery and a shadow fraction method. *Forest Ecology and Management* 266:66-74.
- Makela, H., H. Hirvela, T. Nuutinen and L. Karkkainen. 2011. Estimating forest data for analyses of forest production and utilization possibilities at local level by means of multi-source national forest inventory. *Forest Ecology and Management* 262(2011):1345-1359.
- McRoberts, R.E. and E.O. Tomppo. 2007. Remote sensing support for national

- forest inventories. Remote sensing of Environment 110(2007):412-419.
- Noh, Y.O. 2009. A study of application for estimator of small area. Master Thesis, Jeju National University, Jeju, Korea (노영욱. 2009. 소지역추정량의 활용방안에 관한 연구. 제주대학교 대학원 석사학위논문).
- Park, J.T. and S.E. Lee. 2001. A comparative study of small area estimation method. Journal of Korean Data & Information Science Society 12(2):47-55 (박종태, 이상은. 2001. 소지역 추정법에 관한 비교연구. 한국데이터정보과학회지 12(2):47-55).
- Tomppo, E.O. and M. Katila. 1991. Satellite image-based national forest inventory of Finland. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 28(7-1):419-424.
- Yim, J.S., W.S. Han, I.B. Jung, S.H. Kim and M.Y. Shin. 2010. Application of synthetic estimator for estimating forest growing stock volumes at the small-area level. Journal of Korean Forest Society 99(3):285-291 (임종수, 한원성, 정일빈, 김성호, 신만용. 2010. 소면적의 산림축적량 추정을 위한 합성추정법의 적용. 한국임학회지 99(3):285-291).
- Yim, J.S., W.S. Han, J.H. Hwang, S.Y. Chung, H.K. Cho and M.Y. Shin. 2009. Estimation of forest biomass based upon satellite data and national forest inventory data. Korean Journal of Remote Sensing 25(4):311-320 (임종수, 한원성, 황주호, 정상영, 조현국, 신만용. 2009. 위성영상자료 및 국가 산림자원조사 자료를 이용한 산림바이오매스 추정. 대한원격탐사학회지 25(4):311-320).
- Yoo, S.H., J. Heo, J.H. Jung, S.H. Han and K.M. Kim. 2011. Estimation of aboveground biomass carbon stock using Landsat TM and ratio images : kNN algorithm and regression model priority. Journal of the Korean society for geo-spatial information system 19(2):39-48 (유수홍, 허준, 정재훈, 한수희, 김경민. 2011. Landsat TM 위성영상과 비율영상을 적용한 지상부 탄소 저장량 추정 : kNN알고리즘 및 회귀 모델을 중점적으로. 한국지형공간정보학회지 9(2):39-48). 