

산림의 지역적 특성을 고려한 시군구 임목축적량 통계 산출 기법 개발

김은숙* · 김철민

국립산림과학원 기후변화연구센터

Estimations of Forest Growing Stocks in Small-area Level Considering Local Forest Characteristics

Eun-Sook Kim* and Cheol-Min Kim

Center for Forest and Climate Change, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요약: 시군구 단위 산림통계의 사회적 필요성에도 불구하고 자료의 부족으로 인하여 현실을 반영한 산림통계 산출이 어려운 상황에 있다. 따라서, 시군구 산림 통계 산출을 위하여 해당 시군구의 국가산림자원조사 자료와 주변 지역의 자료를 함께 활용하여 통계량의 오차 수준을 감소시키고 소면적 통계량이 해당 지역 산림의 지역적 특수성을 반영할 수 있는 새로운 소면적 통계산출 방법의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 소면적 지역과 특성 구조가 유사하다는 가정을 만족하면서 통계산출을 위한 최소한의 표본점 개수를 확보하기에 적절한 공간 단위에 대한 연구를 수행하였다. 그리고 산림의 지역적 특성을 결정하는 주요 요인인 기후, 토양, 수종 구성 등의 동질성을 기준으로 구획된 확장시군구 기반의 합성추정법, 시·도 단위 자료를 이용하는 기본계획구 합성추정법, 인접 시군구 자료를 이용하는 이웃시군 합성추정법을 비교하고, 이 방법들을 통해 산출된 임목축적 통계의 지역적 특성 설명력과 상위 통계와의 관계에 대한 평가를 수행했다. 그 결과, 확장시군구 합성추정법이 기본계획구 합성추정과 이웃시군 합성추정보다 지역적 특성을 보다 잘 반영하는 통계를 산출하는 것으로 평가되었다. 또한 확장시군구 합성추정법을 통해 산출된 통계량은 시도 단위로 산출된 통계량의 95% 신뢰구간 내에 포함되었으며, 이웃시군 합성추정법에 의해 산출된 결과보다 시도단위 통계량과의 차이가 적게 발생하였다.

Abstract: Forest statistics of local administrative districts have many social needs, nevertheless we have some difficulties for working out an accurate statistics because of insufficient data in small-area level. Thus, new small-area estimation method has to set aside additional data, decrease errors of statistics and consider the local forest characteristics at the same time. In this study, we researched the spatial divisions that can set aside additional data for statistics production and satisfy the major premise, which is “forest characteristics of spatial divisions have to be equal to that of small-area”. And we compared synthetic estimation methods based on three different spatial divisions(provinces, neighbor districts and new expanded districts). New expanded districts were divided based on the criteria of climate, soil type and tree species composition that affects local forest characteristics. Small-area statistics were assessed in terms of the ability to estimate local forest characteristics and consistency within large-area statistics. As a result, new expanded districts synthetic estimation was assessed to calculate statistics that reflects local forest characteristics better than other two estimation methods. Moreover, this synthetic estimation method produced the statistics that was included within 95% confidence interval of large-area statistics and was the closer to large-area statistics than the neighbor districts synthetic estimation.

Key words: forest statistics, small-area estimation, synthetic estimation, neighborhood information

서론

지방자치체가 시행된 이후, 시군구 단위 이하의 소면적에 대한 통계가 가계, 고용, 온실가스 통계 등 여러 분야에서 요구되고 있다. 이러한 요구는 산림 분야도 예외가

아니며, 현재 가장 활용도가 높은 소면적 산림통계는 시군구 평균임목축적량 통계로서, 지자체 단위에서 산지전용 계획을 평가하는 과정에서 “산지전용허가 대상의 ha당 임목축적이 산림기본통계상 관할 시군구의 ha당 평균임목축적의 150% 이하(산지관리법 시행령 제20조 제6항)이어야 한다”는 규정에 활용되고 있다. 이를 위해 정확도 높은 시군구 통계의 확보가 필수적임에도 불구하고, 현재는

*Corresponding author
E-mail: drummer12@forest.go.kr

국가단위 통계 산출을 목적으로 계획되어 있는 국가산림자원조사(National Forest Inventory, NFI) 자료를 이용하여 시군구 통계를 산출하고 있어 해당 시군구 내의 표본점의 개수의 부족으로 인해 오차율이 커지는 근본적인 한계가 있다. 따라서 정도 높은 시군구 통계를 산출하기 위해, 통계 산출을 위한 보조 자료를 확보하여 오차 수준을 감소시키는 동시에 산림의 지역적 특수성을 반영할 수 있는 통계산출 방법의 개발이 필요하다. 본 연구에서 시군구 단위는 '소면적'으로, 시·도 또는 기본계획구 단위는 '대면적'으로 지칭한다.

국내외에서는 연구되고 있는 소면적 통계 산출방법은 크게 자료기반추정방법, 공간모형기반추정방법으로 나눌 수 있다. 자료기반추정에는 해당 소면적의 자료로만 통계량을 추정하는 직접추정법과 주변자료를 활용하여 추정하는 간접추정법(합성추정, 복합추정)이 있으며, 모형기반추정은 소면적 내 보조자료들을 활용하여 통계산출을 하는 지역단위모형(EBLUP 등)과 임상도나 위성영상을 이용한 공간모형으로 나눌 수 있다. 핀란드의 경우 대면적 통계는 자료기반추정으로 산출하지만 소면적통계는 위성영상자료 기반(공간모형)으로 산출하고 있으며, 소면적통계의 합이 대면적통계의 95% 신뢰수준에 포함되는지 평가하여 소면적 통계의 신뢰성을 평가한다(Tomppo et al., 2010). 미국은 소면적 통계를 산출하는데 있어서 소면적 군집(Super County)을 설정해 소면적 통계를 산출하고 이의 합계로 대면적 통계를 산출한다(Smith, 2002; Bechtold and Patterson, 2005). 한국은 대면적통계와 소면적 통계 모두 자료기반추정으로 산출하고 있으며, 소면적 통계산출에는 표본점 자료 확보를 위해 주로 기본계획구 자료를 일괄적으로 적용하는 합성추정법을 적용해왔으며, 이웃시군, 표본점 개수와 거리 기준 등을 적용하기 위한 연구가 진행되었으나, 각 방법의 적정성에 대한 검토는 이루어지지 않았다.

국내 소면적 추정 연구는 비산림부문에서 먼저 시작되었으며, 주로 가계조사와 고용조사 부문에서 2000년대 초부터 연구가 수행되어 왔다. 많은 연구들에서 조사자료만을 기반으로 한 추정방법(직접추정, 합성추정, 직접추정법과 합성추정법을 혼용한 복합추정)과 조사자료와 보조정보를 이용한 지역단위 모형 기반 추정방법(경험적최량선형비편향추정(EBLUP), 경험적베이지안추정(EB), 계층적베이지안추정(HB))의 효과가 비교검토되었다(Kim and Kim, 2004; Kwon, 2007). 그 중 가장 많은 연구가 진행된 합성추정법은 소면적의 통계량을 추정하기 위하여 해당 지역과 특성이 유사하다고 판단되는 주변지역의 조사 정보를 함께 이용하여 통계량을 추정하여 오차수준을 감소시키는 방법이다. 이를 위해서는 소지역과 대지역의 특성 구조가 유사하다는 가정이 성립해야 하며, 이 조건을 만

족하지 않은 상황에서 합성추정법을 적용할 경우 심각한 편향이 발생할 수 있다(Kwon, 2007). 따라서 합성추정법은 소면적과 대면적의 관계설정, 즉 이웃지역에 대한 기본전제 평가가 필수적이기 때문에 Kim et al.(2008)과 Lee et al.(2008) 합성추정법 적용을 위한 이웃지역 설정을 위한 연구를 수행하였으며, 이와 유사한 개념으로 kang et al.(2007)은 지역 내 동질성을 기반으로 통계집계구역을 설정하는 연구를 수행하였다.

산림부분에서의 소면적 추정량의 정확도와 정도를 향상시키기 위해 국내에서도 자료기반 추정과 모형기반 추정에 대한 연구가 수행되었다. 자료기반 추정 분야에서 Yim et al.(2010)는 국가산림자원조사 자료 기반의 합성추정법을 적용하기 위해 이웃시군의 표본점을 활용하는 방법에 대해 연구를 수행하였다. 모형 기반 추정을 위해 Jung et al.(2009), Kim et al.(2011)은 임상도와 국가산림자원조사 자료를 기반으로 변환표 또는 회귀모형을 개발하여 시군구 통계를 산출하였으며, Yim et al.(2012), Yoo et al.(2011)은 위성영상과 국가산림자원조사 자료 기반으로 kNN기법 또는 각종 식생지수를 적용하여 시군구 통계를 산출하였다. 자료기반 추정은 실제 통계기법과 일관성이 있고 실질적 활용가능성이 높은 반면 소면적 통계 산출결과에 대한 정확도 평가가 수행되지 않았으며 합성추정법에 적절한 이웃표본점 활용 방법에 대한 연구가 부족한 상황이다. 모형기반 추정은 소면적 통계산출과 동시에 세밀한 공간정보를 산출할 수 있는 장점이 있으나, 상위 통계와의 적합성 및 활용성 부분에서의 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 국내 여건에 맞는 소면적 통계산출 방법을 선정하기 위해 국내 산림통계 산출의 기존 접근방법이자 비산림분야에서도 오랜 기간 검토가 이루어진 합성추정법의 적용방법을 개선하는데 초점을 두었다.

합성추정법을 적용하는데 있어서 소지역을 포함한 대지역을 어떻게 설정하느냐 하는 것이 가장 핵심적인 문제이다. 이에 따라, 시군구 산림통계에 합성추정법을 적용할 경우, 해당 시군구와 산림 특성이 유사한 대지역을 어떻게 결정할 것이냐 하는 점이 통계의 유의성을 결정한다. 따라서 산림특성을 고려한 공간구분에 대한 연구가 수행되어야 한다. 산림특성을 고려한 대규모 공간구분에 대한 연구는 여러 분야에서 진행되었다. Uyeki(1928)은 소나무의 형태적 특성을 지역에 따라 동북형, 금강형, 중부 남부 평지형, 중부남부고지형, 위봉형, 안강형 등 6종류로 구분하였으며, 이러한 차이는 기후, 지형, 토양 등 지황조건의 차이에 의해 발생한다고 밝혔다(Bae et al., 2012). 수목은 입지·토양환경에 따라 수고의 생장이 영향을 받으며, 이러한 지역적 특징을 수종별 지위지수(Site index)로서 지수화 할 수 있다(Lee et al., 2009). 국가산림자원조사에서는 이러한 수종별 지역적 특성을 반영하기 위해 강원도와

경북 영양, 울진, 봉화, 영주에 생립하는 소나무를 강원지방소나무로, 기타 지역의 소나무를 중부지방소나무로 구분하고 수간재적의 추정모델을 별도로 개발해 적용해오고 있다. 또한 지역별 성장 특성을 고려한 수간재적 추정을 위해 현재 시군 단위 수종별 지방적재적표 개발이 진행되고 있는 중이다. 임분 단위 접근으로서 5차 국가산림자원조사 자료 분석 결과에 따르면, 임분의 영급별 평균 임목축적은 모든 임상에서 온대북부에서 가장 높고 온대남부나 난대지역에서 가장 낮았다(Korean Forestry Promotion Institute, 2013). 산림의 지역구분의 다른 접근법으로는 산림 생태계의 특성과 경관의 형태에 영향을 미치는 주요 외부적 요인인 기후, 지형 등의 자연적 요인과 사회문화권과 토지이용패턴 등의 인문지리적 특성을 이용하여 산

림지역을 위계적으로 구분한 생태계관리권역과 생태계관리지역 구분이 있다(Shin and Kim, 1996; Shin et al., 2009).

본 연구에서는 통계산출 대상인 소지역과 소지역을 포함한 대지역의 특성구조가 유사하다는 가정을 만족하면서 산림통계 산출을 위한 최소한의 표본점 개수를 확보할 수 있는 공간단위에 대한 연구를 수행하며, 새롭게 도출된 공간구분 기준을 적용한 합성추정법을 통해 소면적 통계를 산출하고자 하였다. 그리고 소면적통계 산출을 위해 기본계획구 자료를 이용해왔던 기존 방법, 이웃시군의 자료를 이용하는 방법, 그리고 새로운 산림공간구획을 적용하는 방법에 대해 지역적 특성 반영 효과와 오차수준의 비교 검토를 수행하였다. 최종적으로 국내 실정에 가장 적합한 합성추정법 기반 소면적 산출방법을 도출하고자 하였다.

Table 1. Number of NFI plots.

Provinces	Local Districts	Total	Coniferous Forest	Hardwood Forest	Mixed Forest
Chungcheongnam-do	Gyeryong	7	3	1	3
	Gongju	134	27	59	48
	Geumsan	88	20	32	36
	Nonsan	46	15	19	12
	Dangjin	38	22	6	10
	Boryeong	75	26	27	22
	Buyeo	59	17	18	24
	Seosan	62	36	15	11
	Seocheon	20	13	4	3
	Asan	36	5	20	11
	Yeongi	33	7	14	12
	Yesan	59	15	20	24
	Cheonan	70	9	31	30
	Cheongyang	77	22	26	29
	Taejeon	31	30	0	1
Hongseong	27	10	8	9	
Chungcheongbuk-do	Goesan	121	29	41	51
	Danyang	147	32	75	40
	Boeun	94	22	37	35
	Yeongdong	136	23	72	41
	Okcheon	64	10	27	27
	Eumseong	50	5	28	17
	Jecheon	141	37	51	53
	Jeungpyeong	6	1	1	4
	Jincheon	46	6	27	13
	Cheongwon	89	25	37	27
	Cheongju	7	3	3	1
	Chungju	135	20	65	50
	Daedeok-gu	4	2	1	1
	Dong-gu	21	6	10	5
	Daejeon metropolitan city	Seo-gu	17	5	3
Yuseong-gu		8	1	3	4
Jung-gu		5	1	1	3

자료 및 방법

1. 연구대상지 현황 및 자료

본 연구의 대상지는 충청남도, 충청북도, 대전광역시이며, 소면적 통계 산출을 위해 제5차 국가산림자원조사 자료(2006~2010)와 1:5,000 대축척 임상도가 이용되었다.

국가산림자원조사는 국가 단위 산림자원의 현황을 평가하기 위하여 수행되는 산림자원조사로서, 전국 산림을 모집단으로 하여 표본을 배치하고 산림지역 표본점에 대한 현지조사를 통하여 산림자원의 현황을 파악하여 국가산림통계를 산출하는 근거자료로 활용되고 있다. 현재 국가산림자원조사의 표본점은 계통추출법을 적용하여 전국에 걸쳐 4x4 km 일정한 간격으로 배치되어 있다. 연구대상지 내 시군구별 임상별 표본점 보유 현황은 Table 1과 같으며, 행정구역 및 산림의 면적에 따라 포함하고 있는 표본점 개수가 지역별로 차이를 보인다. 국가산림자원조사 표본점은 4개의 부표본점으로 구성된 집락표본점으로 배치되어 있으나, 본 연구에서는 각 부표본점을 개별 표본점으로 나누어 분석을 수행하였으며, Table 1에서는 부표본점의 개수를 표기하였다.

1:5,000 임상도는 전국 산림자원에 대한 임상, 수종, 영급, 경급 등 다양한 정보를 제공하는 대표적인 산림주제도로서(Cho et al., 2012), 본 연구에서는 소면적 통계산출을 위한 층화별 산림면적 산출에 이용되었다.

2. 연구 방법

합성추정법의 적용방법 개선을 위한 본 연구의 전체적인 연구흐름도는 Figure 1과 같다. 산림의 임목측적은 국가산림자원조사 자료와 임상도를 기반으로 산출되었다. 국가산림자원조사 자료는 층화별 평균임목측적량을 산출

하는 목적으로, 임상도는 각 시군구의 층화별 산림면적을 산출하기 위해 이용되었다. 시군구 평균임목측적량은 기본적으로 해당 지역 내에서 조사된 국가산림자원조사 자료를 이용해 산출해야 하지만, 조사자료 분량의 한계를 극복하기 위해 합성추정법을 통해 주변지역까지 확장하여 조사 자료의 양을 보강하게 된다. 기본계획구 합성추정법(Provinces synthetic estimation)은 시군구 통계를 산출하기 위해 기본계획구(시·도) 자료 전체를 이용하는 합성추정법을 말하며, 이웃시군 합성추정(Neighbor districts synthetic estimation)은 해당 시군구와 이웃하고 있는 시군구들의 정보를 이용하는 방법을 말한다. 본 연구에서 제시한 새로운 공간구획에 따른 합성추정 방법은 확장시군구 합성추정(New expanded districts synthetic estimation)이라 지칭하였다. 주변지역 확장에 따라 층화별 평균임목측적량을 산출하고, 산림면적은 실제 해당 시군의 면적 자료를 이용하여 최종적으로 신군구 산림통계를 산출하였다. 본 연구에서는 평균임목측적량 산출시 적용 가능한 합성추정법의 세 가지 방법에 따른 영향을 비교·평가하기 위해 직접추정법으로 산출된 통계를 이용하였다. 시군구의 층화별 통계를 이용해 지역적 변이의 설명력(정확도 평가)을 평가하고 기본계획구(시·도) 단위 통계를 이용하여 상위통계와의 일관성 등을 평가하였다.

1) 합성추정법의 공간단위 설정

합성추정법은 소면적의 자료 부족을 보완하기 위해 이웃지역의 자료를 함께 이용해서 통계산출을 하는 방법으로서, 이웃지역의 설정방법에 따라 통계산출의 결과가 영향을 받는다. 본 연구에서는 세 가지 이웃지역 설정방법을 적용하였다. 이웃지역 설정을 위한 공간단위 기준으로는 기본계획구, 이웃시군, 동질성이 평가된 확장 시군구를

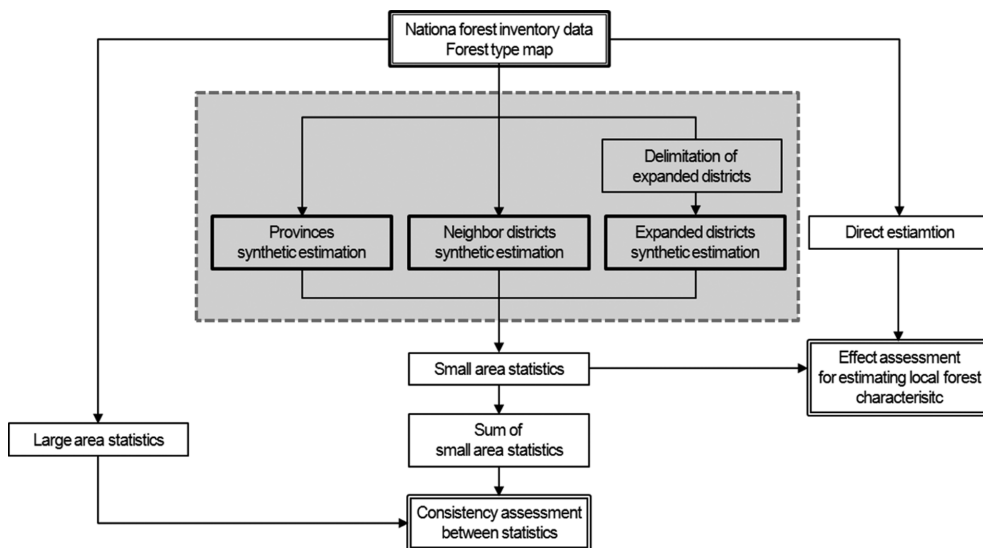


Figure 1. The processes of small-area estimation and assessment.

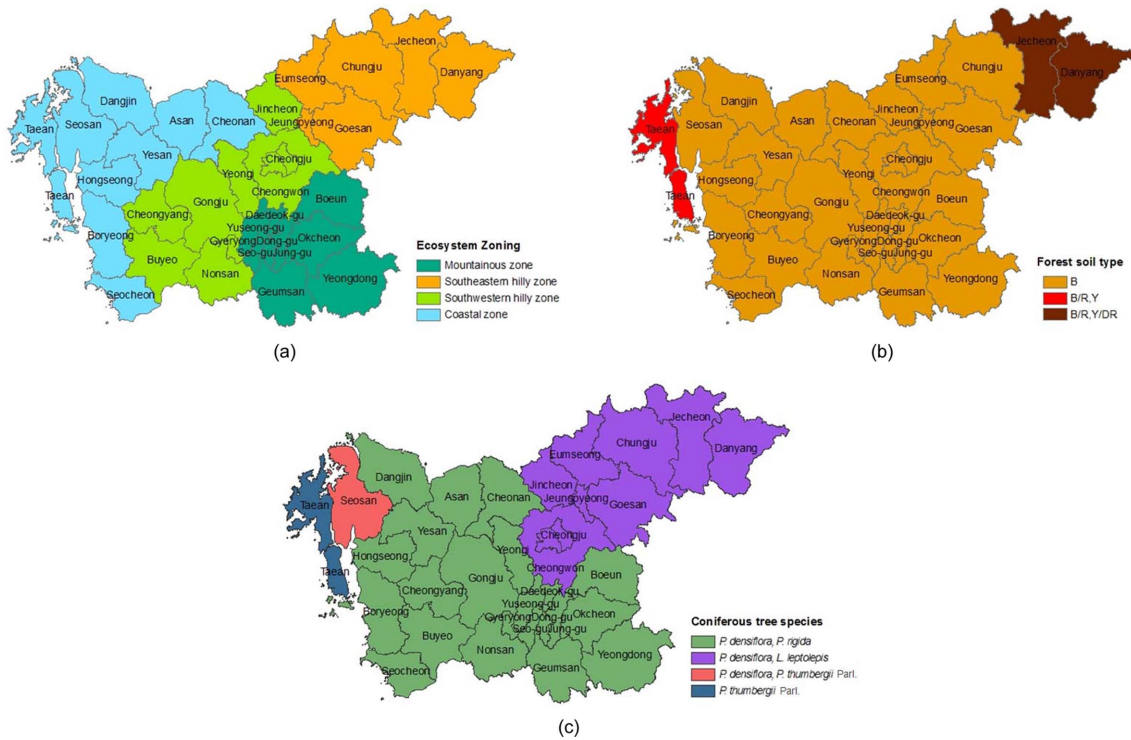


Figure 2. Spatial division of study area (a) ecosystem zoning, (b) forest soil type, and (c) coniferous tree species.

적용하였다. 세 가지 기준 모두 확장 지역의 총화별 산림 축적이 소면적의 총화별 산림축적과 동일하다는 가정 하에 방법이 적용된다.

기본계획구 기준은 과거 산림통계 산출시 적용되어 왔던 방법이다. 그러나 소지역과 대지역의 특성구조가 유사하다는 가정에 대한 검증은 이루어지지 못했으며 시·도 규모 내에서 발생하는 지역적 산림특성의 차이를 반영할 수 있는 장치가 부재하여 개선이 요구된다. 이웃시군 기준은 해당시군을 둘러싸고 있는 시군을 대면적으로 선정하여 표본점을 공유해서 통계산출을 하는 방법으로, 본 연구에서는 이웃시군을 대상지 내의 시군에 한해 설정하였다. 확장 시군구는 본 연구에서 새롭게 제시하는 공간기준으로서, 대면적의 정보가 소면적의 정보를 반영한다는 기본가정을 만족하기 위한 기준을 적용하여 확장시군구를 구획하였으며, 구획 기준은 Kang et al.(2007)의 연구를 참고하여 산림부문에 적용 가능하도록 동질성 기준, 표본의 개수 등의 조건을 설정하였다. 임분생장 동질성 요인으로서 생태권역(Shin et al., 2009), 토양형, 주요 수종의 정보를 이용하였다(Figure 2). 생태권역은 주로 지형과 기후요인을 고려하여 전국을 대상으로 구분되어 있다. 토양형은 1:25,000산림입지도에서 정보를 취득하였으며, 시군구 내 출현하고 있는 토양형을 파악하였다. B는 갈색 산림토양군, RY는 적황색 산림토양군 그리고 DR은 암적색 산림토양군을 말한다. 주요 침엽수종의 구분을 위해 1:5,000 임상도 정보를 이용하였으며, 각 시군구 내 침엽수림 중

30% 이상의 면적을 차지하고 있는 수종을 주요 수종에 포함하였다.

확장시군구 구역을 설정하기 위해 세 가지 원칙을 설정하였다. 첫째, 각 소면적 통계집계구역은 동일한 생태권역 내에 포함되어 있다. 둘째, 각 소면적 통계집계구역은 유사한 토양군 및 유사한 수종분포를 보여야 한다. 셋째, 소면적 통계집계구역 내에 포함되어 있는 표본점 조사지점의 개수는 최소 100개 이상이어야 한다. 세 가지 원칙을 충족하여 특성이 유사한 시군구를 묶는 작업을 수행했다. 최소 표본점 개수는 변이계수를 1.35(제3~4차 국가산림자원조사 표본개수 설정 시 적용), 통계의 추정오차를 25~30%(전국 5%, 기본계획구 10%)으로 설정하였을 때 소요되는 표본 개수를 기준으로 설정하였다.

2) 임목축적량의 산출

분석대상 산림통계는 ha당 평균임목축적과 총임목축적량이며 통계산출 총화기준은 임상과 영급 기준을 적용하였다. 임상은 침엽수 또는 활엽수 75% 이상 점유 여부에 따라 침엽수림, 활엽수림, 혼효림으로 구분되며, 영급은 10년 단위로 등급을 구분하고 있다. 본 연구에서는 국가 산림통계 산출 기준에 따라 I영급(1~10년생)은 분석에서 제외하였으며, VI영급 이상은 산림면적이 매우 적고 표본점 개수 또한 부족하기 때문에 VI영급에 함께 포함하여 분석하였다.

소면적의 평균임목축적량(\bar{y})과 총임목축적량(T)을 산

출하는 방법은 Kim et al.(2011)의 방법을 기초로 하여 변형 적용하였다. 층화구분은 임상과 영급구분을 적용하였으며, 층화별 가중치(ω_h)는 층화별 산림면적(A_h)의 비율에 의한 가중치를 적용하였다(식 6). 관련 수식은 아래와 같다.

$$\bar{y} = \sum_{h=1}^{15} \omega_h \bar{y}_h \tag{1}$$

$$T = A \times \bar{y} \tag{2}$$

$$\text{var}(\bar{y}) = \sum_{h=1}^{15} \left[w_h^2 \frac{s_h^2}{n_h} + w_h \frac{(\bar{y}_h - \bar{y})^2}{n} \right] \tag{3}$$

$$SE = \sqrt{\text{var}(\bar{y})} \tag{4}$$

$$95\%CI = t \times SE \quad (t=2) \tag{5}$$

$$\omega_h = \frac{A_h}{A} \tag{6}$$

여기서 \bar{y} 는 평균임목축적량, ω 는 산림면적가중치, T는 총임목축적량, A는 산림면적, $\text{var}(\bar{y})$ 은 평균임목축적량의 분산, s 는 표본 분산, n 은 표본개수, SE는 표준오차, 95%CI는 95% 신뢰구간, 그리고 h 는 표본층에 대한 통계량을 말한다.

3) 소면적통계 방법 비교와 평가

세 가지 합성추정법의 평가에서는 지역적 변이의 설명력 평가와 상위통계와의 일관성 평가가 이루어졌다. 첫 번째로, 세 가지 합성추정법이 각 지역 간의 임목축적량의 차이를 잘 설명하는지 평가하기 위해 직접추정법에 의해 산출된 층화별 임목축적량과 합성추정법에 의해 산출된 세 가지 임목축적량을 비교하였다. 표본점 개수가 부족할 경우 직접추정법에 의한 임목축적량 자체의 오차가 크기 때문에, 층화별 표본점 개수가 10개 이상인 자료들을 대상으로 분석을 수행했다.

직접추정법을 기준으로 세 가지 합성추정법의 효과를 비교하기 위해 이용된 통계량은 평균편의(MD: Mean Difference)와 평균제곱근오차(RMSE: Root Mean Square Error)이다. MD는 모델 추정치가 실측치에 비해 평균적으로 얼마만큼의 편의를 갖는지를 평가하고, RMSE는 모델 추정치와 실측치 차이의 평균적인 차이를 평가하는 통계량이며, 계산식은 다음과 같다.

$$MD = \sum_{i=1}^n \frac{(e_i - o_i)}{n} \tag{7}$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(e_i - o_i)^2}{n}} \tag{8}$$

여기서 e_i 와 o_i 는 각각 표본점 i 에서의 추정치와 관측치, 그

리고 n 은 표본수이다.

두 번째로, 소면적통계의 대면적 통계와의 일관성 및 통계로서의 활용가능성을 평가했다. 합성추정법에 의해 산출된 소면적 통계량의 합으로 대면적 통계량을 산출하고, 이 자료를 기본계획구 단위 대면적 통계, 즉 기본계획구 전체 자료를 이용하여 해당 기본계획구에 대해 산출된 직접추정 방법에 의한 통계와 비교하여 통계로서의 일관성을 평가하였다. 이웃단위 합성추정법과 확장시군구 합성추정법은 층화별 표본점 개수의 제한으로 인하여 단일 방법만으로는 통계산출이 어려운 상황이다. 따라서, 층화별 표본점이 부족한 일부 시군구의 2영급과 5~6영급 층화구분에서는 기본계획구 합성추정법에서 산출된 평균임목축적량 자료를 이용하였다. 충청지역 전체 산림면적 중 3~4영급의 면적은 약 88%에 달하기 때문에 기타 영급에 대한 정보를 기본계획구로부터 가져와 쓰는 것은 지역특성 반영에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

결과 및 고찰

1. 소면적 통계산출을 위한 확장시군구 구역 설정

연구대상지 내 시군구를 기후, 토양, 수종 특성에 따라 군집화한 결과, 충청도 전체가 7개 확장시군구로 구분되는 새로운 구획이 생성되었다(Figure 3). 확장시군구의 표본



Figure 3. Delimitation of expanded districts.

Table 2. Number of NFI sub-plots included within expanded districts.

# of new expanded districts	Total	Coniferous Forest	Hardwood Forest	Mixed Forest
1	93	66	15	12
2	325	100	116	109
3	356	91	137	128
4	437	90	186	161
5	142	34	67	41
6	312	55	135	122
7	288	69	126	93

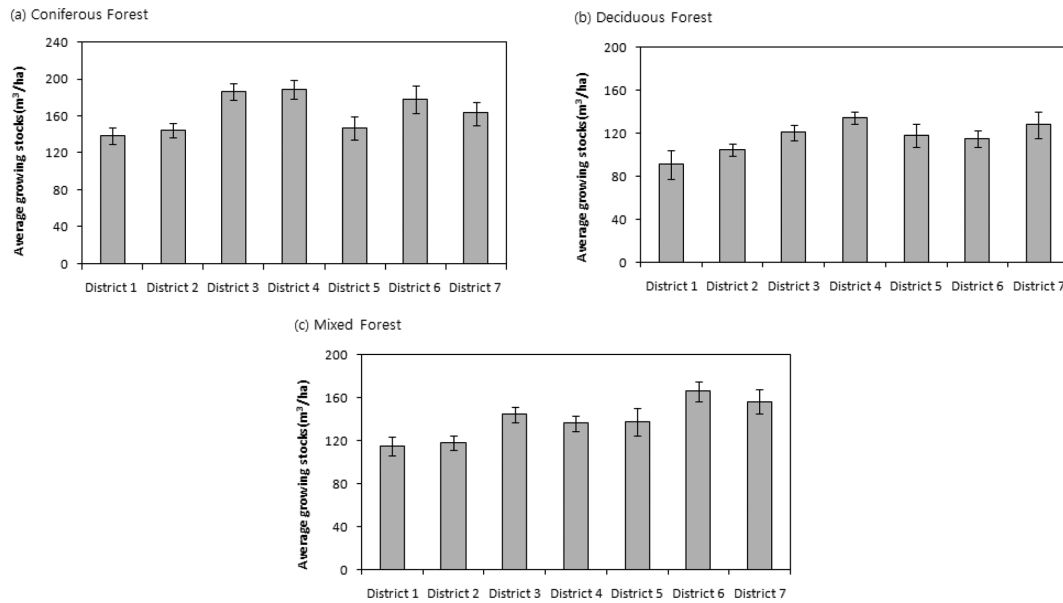


Figure 4. Average growing stocks of stratified forest stand (IV age class) by new expanded districts.

점 개수는 평균은 279개로, 기존 시군구의 표본점 개수 평균이 약 59개인 것에 비하면 약 4.7배 증가하였다(Table 2).

구역1은 곰솔이 서식하는 지역으로, 충청남도 타 지역과는 차별성이 있다. 태안군은 해안인접지역에서 나타나는 적황색산림토양이 분포하는 지역이지만 표본점 개수의 부족으로 인해 태안군과 수종의 유사성이 있는 서산군과 통합하여 구역을 설정하였다. 구역2는 충청남도의 서부지역으로 해안도서권역에 속하며, 구역3은 충청남도 동부지역으로 남서산야권역에 속한다. 구역4는 대전, 충북 지역의 산야권역에 속하며 소나무가 우세한 지역이다. 구역5~7은 충북지역 중에서 낙엽송이 서식하는 지역이며 그 중 구역7은 석회암지대에서 주로 발견되는 암적색 산림토양이 분포하는 지역적 특징이 있다(Jung et al., 2004).

구역1은 가장 서부해안지역에, 구역7은 가장 내륙 산악 지역에 위치한다. Figure 4에 따르면, 구역6~7은 구역 1~2보다 전체적으로 임목축적량이 높은 것을 볼 수 있었다. 충남지역에 포함되는 구역1~3 내에서 비교해보면, 해안영향권에 있는 구역2는 산야지역의 특성을 가지는 구역3보다 침엽수림($p < 0.001$)과 혼효림($p < 0.016$)의 임목축적량에 차이가 있는 것으로 나타났다. 충청북도 및 대전광역시 포함되는 구역4~7에서는, 도심지역 비율이 높은 구역5가 타 지역보다 대체적으로 임목축적이 낮은 것으로 평가되었다(Figure 4).

2. 소면적 통계산출 방법의 평가

세 가지 합성추정법이 각 지역 간의 임목축적량의 차이를 잘 설명하는지 평가하기 위해 직접추정법에 의해 산출된 총화별 임목축적량과 합성추정법에 의해 산출된 세 가

Table 3. Comparison of average growing stocks based on small-area and direct estimation. (unit: m³/ha)

Index	Small-area estimation			SN
	Provinces	Neighbor districts	New expanded districts	
MD	-16.3	-9.9	-8.3	76
RMSE	152.9	130.6	128.3	18

지 임목축적량을 비교하였다. MD를 비교했을 때, 직접추정법에 의한 자료보다 합성추정법에 의한 자료가 전체적으로 과소추정을 하는 것으로 나타났으며, 과소추정 경향은 기본계획구 합성추정에서 가장 크고 확장소면적 합성추정에서 가장 작았다. 직접추정법에 의한 자료와의 차이를 비교했을 때, 역시 기본계획구 합성추정법이 가장 큰 차이를, 확장소면적 합성추정법이 가장 작은 차이를 보였다(Table 3).

방법들 간에 평균임목축적량의 차이가 많이 발생한 지역 상위 5지역은 충청남도 당진군, 보령시, 부여군, 서산시, 충청북도 충주시로, 해안인접지역과 산야지역을 함께 포함하는 충청남도가 많은 비중을 차지했다. 충주시는 일본잎갈나무 등의 인공조림지의 비중이 큰 지역으로, 침엽수 IV영급의 임목축적량이 타 지역보다 월등히 큰 특징을 보인다. 이러한 지역적 특이성이 있는 지역의 경우 방법 간의 차이가 크게 발생한다는 것을 알 수 있었다.

세 가지 합성추정법을 이용하여 전 지역에 대한 소면적의 평균임목축적량을 추정된 결과는 Table 4, Figure 5와 같다. 주변 인접지역의 정보를 이용하여 통계를 산출하는

Table 4. Comparison of average growing stocks by small-area estimation methods.

(unit: m³/ha)

Provinces	Local Districts	Provinces	Neighbor districts	New expanded districts
Chungcheong nam-do	Gyeryong	129.5	140.8	138.2
	Gongju	122.3	127.9	130.3
	Geumsan	121.8	130.9	133.0
	Nonsan	121.0	127.4	129.8
	Dangjin	129.5	147.8	116.9
	Boryeong	137.1	130.8	124.0
	Buyeo	117.8	121.7	127.8
	Seosan	132.6	120.6	126.8
	Seocheon	131.3	117.5	118.0
	Asan	125.5	129.2	113.4
	Yeongi	124.5	130.8	132.9
	Yesan	130.1	134.3	117.3
	Cheonan	115.2	121.6	104.9
	Cheongyang	128.2	128.2	138.6
Chungcheong buk-do	Taean	131.1	127.9	127.9
	Hongseong	138.4	131.0	125.2
	Goesan	147.5	145.5	146.5
	Danyang	139.7	138.7	138.7
	Boeun	143.9	151.0	151.0
	Yeongdong	140.0	142.3	145.5
	Okcheon	136.6	142.4	142.6
	Eumseong	136.4	132.7	135.0
	Jecheon	149.9	151.5	151.1
	Jeungpyeong	134.2	129.5	133.4
	Jincheon	132.7	125.1	124.2
	Cheongwon	137.5	137.3	127.6
	Cheongju	137.5	131.7	127.0
	Chungju	147.7	149.5	150.6
Daejeon metropolitan city	Daedeok-gu	132.5	142.7	149.9
	Dong-gu	131.4	146.1	146.1
	Seo-gu	123.3	129.7	133.6
	Yuseong-gu	133.6	142.0	149.8
	Jung-gu	127.9	138.4	140.4

이웃시군 합성추정과 확장시군구 합성추정은 전체적으로 동고서저의 특징을 보이고 있으나, 시도 정보를 일괄적으로 시군구에 적용하는 기본계획구 합성추정법은 충청 해안지역이 충청 내륙지역보다 임목축적이 높아 앞의 두 방법과는 다른 공간적 분포를 보였다. 이는 충청남도의 서부해안지역과 내륙지역의 침엽수 평균임목축적량은 큰 차이가 있음에도 불구하고(Figure 4) 각 소면적에 충남도 전체의 평균적인 침엽수림 평균 임목축적값을 적용한데 더불어, 해안지역의 침엽수림 면적 비중이 크기 때문에 나타나는 현상이라 볼 수 있다. 공간적 구획 내에서의 평균 임목축적량의 차이는 임목축적량의 비중이 큰 침엽수림 III~IV영급과 활엽수림 III~IV영급 임분의 비율에 따라 결정된다.

위의 지역적 특성 평가와 함께 상위통계와의 관계에 대한 평가를 수행했다. 그 결과, 세 가지 방법 모두 대면적

통계의 95% 신뢰구간에 포함되어 상위 통계와의 모순이 발생하지 않는 것으로 평가되었다. 기본계획구 합성추정법은 기본계획구의 ha당 임목축적을 그대로 이용하여 통계를 산출하기 때문에 소면적 통계의 합은 기본계획구 단위로 산출된 통계와 동일했다. 그리고 확장소면적 합성추정법은 이웃시군 합성추정법 보다 대면적 통계와 더 유사한 값을 산출하였다(Table 5).

결과적으로 정리하면, 소면적 통계를 산출하기 위해 기본계획구 합성추정법, 이웃시군 합성추정법, 확장시군구 합성추정법을 비교·분석한 결과, 확장시군구 합성추정법이 지역적 특성을 보다 잘 반영하는 통계를 산출하는 것으로 평가되었다. 또한 확장시군구 합성추정법을 통해 산출된 총축적량은 대면적 통계의 95% 신뢰구간 내에 포함되었으며, 이웃시군 합성추정법에 의한 총축적량보다 대면적 통계와의 차이가 적게 발생하였다.

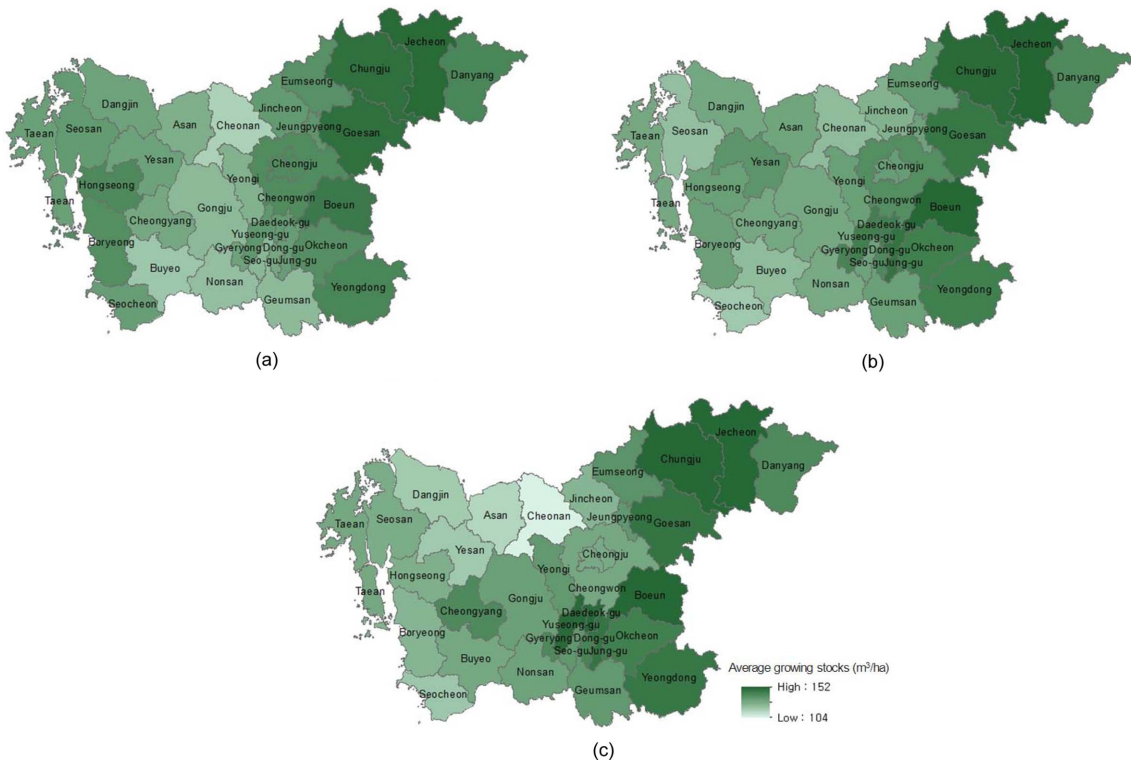


Figure 5. Spatial distribution of average growing stocks estimated by (a) provinces, (b) neighbor districts, and (c) new expanded districts synthetic estimation.

Table 5. Comparison of total growing stocks based on large-area and small-area estimation. (unit: m³)

Provinces	Large-area statistics	Small-area statistics		
		Provinces	Neighbor districts	New expanded districts
Chungcheong nam-do (Daejeon)	50,714,967 49,236,176 ^a 52,193,758 ^b	50,714,967	51,546,840	50,950,698
Chungcheong buk-do	60,310,648 58,553,307 62,067,989	60,310,648	60,563,119	60,490,537

*a: lower bound of 95% confidence interval / b: upper bound of 95% confidence interval

결론

본 연구는 표본점 개수가 제한적인 소면적의 통계를 산출하는데 있어서 주변 표본점 자료를 활용을 하는 동시에 지역적 특성을 최대한 반영할 수 있는 방법을 개발하는 것이 목표이다. 이를 위해, 지역 내 동질성을 고려한 새로운 확장시군구 구획을 통한 합성추정법을 적용하였으며, 이 결과와 기존에 다루어졌던 기본계획구 합성추정법, 이웃시군 합성추정법을 비교하여 효과성을 평가하였다. 그 결과, 확장시군구 합성추정법이 지역적 특성을 상대적으로 잘 반영하는 동시에 대면적 통계량과 모순되지 않는 것으로 나타나 가장 효과성이 높은 것으로 평가되었다. 이는 확장시군구 합성추정법이 시군구 통계 산출을 위한 구역의 구분이 타 방법보다 더 현실적인 구분법임을 나타내

는 결과라 판단할 수 있다. 확장시군구를 이용한 통계는 지역적 특이성이 있는 시군구의 특성을 기후, 토양, 수종 특성이 상이한 타 지역으로 전이시키는 것을 최대한 방지하면서도 동질한 지역의 표본점을 통계 산출시 함께 활용하기 위한 장치라 볼 수 있다. 새로운 확장시군구 구획은 충청지역을 7구획으로 구분하였으며, 이 구분은 기본계획구 단위보다는 작고 시군구 단위보다는 큰 중간적인 위계를 가진다. 생태권역, 토양, 주요 수종 분포에 따라 충남지역은 3개의 구획, 충북지역은 4개의 구획으로 나뉘었으며, 충남지역은 해안과 내륙의 특성이 혼재되어 있는 지역으로 확장시군구 합성추정법 적용의 효과가 컸다.

우리나라 산림지역의 산림통계 주요 공간단위는 전국, 광역시·도(기본계획구), 시군구이며, 본 연구를 통해 기본계획구와 시군구 사이의 새로운 산림공간의 구획의 필

요성이 도출되었다. 생태계관리권역과 생태계관리지역은 전국의 산림을 가장 체계적이고 포괄적으로 구분한 구획으로서, 산림정책과 산림관리를 위한 기본 단위로 활용할 수 있다. 그러나 이러한 구획은 지형과 기후 등 산림 특성을 결정하는 외부적 요인을 통해 구분된 결과이기 때문에 현실 산림의 특성이 실제로 구분이 되는지에 대해 정량적 평가와 검증이 수행되어야 한다. 또한 본 연구에서와 같이 실제 산림분포의 특성과 토양 특성이 함께 고려되어야 한다. 전국 산림자원의 특성을 파악할 수 있는 국가산림자원조사 결과를 이용하여 새로운 산림통계 산출 구역에 대한 평가가 이루어질 수 있으며, 이러한 연구 결과를 바탕으로 향후 시군구 산림통계 산출을 위한 새로운 전국 단위 확장소면적 구획을 개발하는 것이 필요하다.

References

- Bae, S.W., Lim, J.H., Kim, S.J., and Lee, M.B. 2012. Economic tree species① Pine Tree. Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea. pp. 250.
- Bechtold, W.A., Patterson, P.L.(Editors). 2005. The enhanced forest inventory and analysis program - national sampling design and estimation procedures. General Technical Report SRS080. USDA Forest Service. NC. U.S.A. pp. 85.
- Cho, H.K., Yoo, B.O., Kim, S.H., Ryu, J.H., Kim, J.C., Seo, S.H., Kim, J.S., Lee, J.B., and Kim, H.H. 2012. Production and update of large scale forest type map using the digital airphoto. Korea Forest Research Institute. Seoul. Korea. pp. 135.
- Chung, S.Y., Yim, J.S., Cho, H.K., Jeong, J.H., Kim, S.H., and Shin, M.Y. 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.
- Jeong, J.H., Won, H.K., and Kim, I.H.. 2004. Forest Site in Korean -Forest Soil-. Korea Forest Research Institute. Seoul. Korea. pp. 621.
- Kang, Y. and Jang, S. 2007. A Study on the Delimitation of Census Output Areas in Korea. Journal of Korean Urban Geographical Society 10(1): 15-36.
- Kim, D.H. and Kim, J.K. 2004. Estimating local household income and expenditure survey. Statistics Korea. pp. 123.
- Kim, E.S., Kim, K.M., Lee, J.B., Lee, S.H., and Kim, C.C. 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.
- Kim, J.S., Hwang, H.J., and Shin, K.I. 2008. Comparison of spatial small-area estimators based on neighborhood information systems. The Korean Journal of Applied Statistics 21(5): 855-866.
- Kim, S.H., Kim, J.C., Yoo, B.O., Yim, J.S., and Jung, I.B. 2011. The 5th National Forest Inventory Report. Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea. pp. 166.
- Korean Forestry Promotion Institute. 2013. Assessment for forest resources of Korea : 2006~2012. Korean Forestry Promotion Institute, Seoul, Korea. pp. 267
- Kwon, S.P. 2007. Small-area estimation of employment statistics. pp. 54-80. In : Improvement of statistics technique for development of national statistics, Statistical Research Institute, Daejeon, Korea.
- Lee, S.W., Won, H.K., Jung, Y.H., Jeong, J.H., Koo, K.S., Kang, Y.H., Son, Y.M., and Shin, M.Y. 2009. History and application of optimum site determination system of the tree species, Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea. pp. 128.
- Lee, K.S. and Shin, K.I. 2008. Comparison of neighborhood information systems for lattice data analysis. The Korean Journal of Applied Statistics 21(3): 387-397.
- Shin, J.H. and Kim, C.M. 1996. Ecosystem classification in Korea(I): Ecoprovince classification. FRI Journal of Forest Science 54. pp. 188-199.
- Shin, J.H., Kwon, J.H., Oh, J.H., Chun, J.H., Lim, J.H., Yang, H.M., and Kim, Y.K. 2009. Korean forest landscape and ecosystem zoning. Korea Forest Research Institute. Seoul. Korea. pp. 52.
- Smith, W.B. 2002. Forest Inventory and analysis: a national inventory and monitoring program. Environmental Pollution 116. pp. S233-S242.
- Tomppo, E., Katila, M., Haakana, M., and Persaari, J. 2010. The multi-source national forest inventory of Finland-methods and results 2005. Finnish Forest Research Institute. Vantaa, Finland. pp. 59.
- Yim, J.S., Han, W.S., Jung, I.B., Kim, S.H., and Shin, M.Y. 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.
- Yim, J.S., Yoo, B.O., and Shin, M.Y. 2012. Comparison of forest growing stock estimates by distance-weighting and stratification in *k*-Nearest Neighbor Technique. Journal of Korean Forest Society 101(3): 374-380.
- Yoo, S.H., Heo, J., Jung, J.H., Han, S.H., and Kim, K.M. 2011. Estimation of aboveground biomass carbon stock using Landsat TM and ratio images-*k*NN algorithm and regression model priority. Journal of Korean Society for Geospatial Information System 19(2): 39-48.