

국가산림자원조사 고정표본점 자료를 활용한 산림자원변화 평가에 관한 고찰

임종수* · 김은숙 · 김철민 · 손영모
국립산림과학원 기후변화연구센터

Assessment on Forest Resources Change using Permanent Plot Data in National Forest Inventory

Jong-Su Yim*, Eun Sook Kim, Chel Min Kim and Yeong Mo Son

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

요 약: 국가산림자원조사는 고정표본점의 설치 및 재조사하여 산림자원의 현황 파악 및 변화를 모니터링하는 체계로 개편되었다. 본 연구에서는 충청북도를 대상으로 최근 3년간 재조사된 자료를 활용하여 시간경과에 따른 산림자원 변화 탐지를 위한 평가항목을 도출하고 이에 따른 평가방법을 제시하기 위하여 수행하였다. 조사시점에 따른 고정표본점의 토지이용변화는 온실가스 인벤토리의 중요한 활동자료로 활용이 가능하며, 이를 위해서는 초지를 포함한 6개 토지이용범주의 명확한 정의에 따른 고정표본점의 구분이 필요한 것으로 나타났다. 임상 및 대표수종 변화의 경우, 조사차수별 매트릭스 구축에 의해 임상 및 대표수종의 변화 평가가 용이한 것으로 나타났으며, 충청북도의 경우 임목지로 유지된 624개 표본점 중에서 92개소(15%)에서 대표수종이 변화한 것으로 평가되었다. 한편, 5개 임분변수(임목본수, 흉고단면적, 임분제적, 평균 흉고직경, 그리고 평균수고)에 대한 성장율과 변화량을 추정할 결과 임분밀도와 관련된 임목본수와 흉고단면적은 감소하였으며, 임분제적의 성장율은 약 3.7%로 분석되었다. 임분변수 변화량의 불확실성을 평가한 결과, 임목본수를 제외한 임분변수는 5% 이내로 정확도가 높지만, ha당 임목본수는 상대적으로 변화량이 크기 때문에 불확실성이 54.8%에 달하는 것으로 나타났다.

Abstract: Since 2006, new national forest inventory in Korea has been restructured to assess current status and and monitor the changes in forest resources based on permanent sample plots. The objective of estimate this study is to assess changes in forest resources such as land use/cover categories and forest stand variables. For this study, permanent plot data were collected between 2006-2008 and 2011-2013 in Chungcheongbuk-do, respectively. In order to produce land use/cover change matrix which plays an important role as an activity data for estimating GreenHouse Gas inventory, permanent plots were classified into six land use/cover categories. Additionally, matrixes for assessing the changes in age class and dominant tree species can provide more detailed information. For forest stand variables(tree density, basal area, growing stock, mean diameter at breath height, and mean height), their growth and change were assessed. The periodic annual growth ratios for tree density and basal area were slightly declined whereas that of growing stock was estimated to be about 3.7%. The uncertainty of changes in forest stand variables is less than 5%, except for tree density (RSE: 58%). The variation of tree density is relatively high compared to the other variables.

Key words: national forest inventory, permanent plot, monitoring, change matrix, forest stand variables, uncertainty

서 론

1990년대 이후에는 지구환경문제가 대두되면서 지속가능한 목재생산을 위한 지속가능한 산림경영 패러다임이 부각되었으며, 최근에는 산림의 다목적 기능에 대한 국

내·외적 요구가 증대하면서 산림자원의 체계적이고 효율적인 관리의 중요성이 대두되었다. 따라서, 산림자원의 현황 파악뿐만 아니라 시간경과에 따른 변화 그리고 미래 산림에 대한 예측이 가능한 산림자원평가가 FAO(2012) 등의 국제기구에서 수행되고 있다.

산림의 지속가능한 생산 및 유지 기능을 평가하고 국내·외에서 요구하는 다양한 산림자원통계 수요에 부응

*Corresponding author
E-mail: yimjs@korea.kr

하기 위하여 대부분의 국가에서는 국가산림자원조사(National Forest Inventory; NFI)를 수행하고 있다(Tomppo et al., 2010). 우리나라의 경우, 1970년대부터 황폐화된 산림복구를 위하여 항공사진과 현지조사에 의한 전국산림실태조사를 수행하였으며, 2006년부터 시작된 제5차 국가산림자원조사(2006-2010)부터는 산림의 기능 확대에 따른 목재생산중심에서 다목적 산림경영, 탄소흡수원, 산림건강성 평가, 생물다양성 등의 산림자원관련 수요에 부응하기 위하여 조사항목의 확대 및 조사체계를 개편하였다. 또한, 과거 산림자원조사에서는 산림자원의 현황 파악을 목적으로 조사차수별 임시표본점(Temporary plot)을 설치 및 조사를 수행하였으나, 기후변화 등에 따른 산림자원의 변화를 지속적으로 모니터링하기 위하여 고정표본점(Permanent plot)을 설치하여 주기적으로 재조사하는 조사체계로 개편하여 자료를 수집하고 있다(KFRI, 2011a).

시간경과에 따른 산림자원의 변화를 모니터링하기 위한 고정표본점은 임분수확표 조제 및 수종별 성장모델 개발을 목적으로 과거부터 활용하고 있으며(Köhl et al., 1995; Son et al., 2002; KFRI, 2012), 또한 천연활엽수림의 지속가능한 산림경영을 위한 산림사업에 따른 변화를 모니터링하기 위한 연구에서도 고정표본점을 설치하고 주기적으로 변화량을 모니터링하고 있다(Shin et al., 2005; Baek et al., 2010; Kim et al., 2012). 그리고 기후변화 적응과 관련하여 환경변화에 따른 산림생태계 변화 탐지를 위한 장기생태연구에서도 고정표본점을 활용하고 있다(Chun and Lee, 2013; Kim et al., 2012; Pretzsch et al., 2014). 하지만, 고정표본점의 관리 및 주기적인 자료취득의 어려움으로 대부분의 고정표본점을 활용한 연구는 소지역의 한정된 특정 목적을 위하여 수행되어 국가 또는 시도단위의 정책수립에 필요한 정보 제공은 이루어지지 못하는 실정이다.

전국단위 및 시도단위의 평가와 관련하여 Son et al.(2007)은 시도별 산림바이오매스를 추정하였으며, KOFPI(2013)에서는 전국산림실태조사와 국가산림자원조사 자료를 활용한 산림자원의 변화에 관한 평가를 수행하였으나, 고정표본점의 자료보다는 기존 자료의 결과를 활용한 변화 연구(Yim et al., 2013) 및 강원도지역의 임목자원변화 탐지(Moon et al., 2014)를 위한 연구로 산림생장 특성에 의한 기작을 반영하지 못하는 한계를 가지고 있으며 미래 산림에 대한 예측에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

최근 기후변화협약 대응, 지속가능한 산림경영, 산림생태계 유지 등에 필요한 기초 정보를 제공하기 위하여 많은 선진국에서는 고정표본점을 활용한 주기적인 국가산림자원조사 체계로 전환되어 수행하고 있으며(Tomppo et al., 2010), 고정표본점 자료를 활용한 산림자원평가 및 예측에 관한 연구를 수행하고 있다(Dahm, 2006; Poso,

2006). 따라서, 본 연구는 제5차 국가산림자원조사에서 배치되어 5년이 경과된 시점에서 재조사가 수행된 충청북도의 일부 고정표본점을 대상으로 5년간 임분특성(임상, 대표수종, 그리고 영급) 변화를 비롯하여 산림자원의 변화를 평가할 수 있는 방법을 개발하고자 수행하였으며, 향후 제6차 국가산림자원조사가 완료된 이후에 산림자원 변화량의 분석 및 평가를 위한 기초 정보를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

본 연구는 우리나라 중앙에 위치하여 산악지역과 내륙지역의 특성이 고르게 분포하고 있는 충청북도를 대상으로 하였다. 지리적 위치는 위도상으로 36°00'35"~37°15'20"에 위치하여 중위도에 속하며, 경도상으로 127°16'40"~128°38'15" 범위에 위치하고 있다(Figure 1). 여름은 고온다습하고 겨울은 한랭 건조한 온대 온순기후로 계절의 변화가 뚜렷하다(Chungcheongbuk-do, 2013). 충청북도의 전체 면적은 743,318 ha이며, 산림면적은 495,806 ha로 전체 면적의 약 66.7%를 차지하고 있다. 산림구조를 임상별로 살펴보면 침엽수림이 전체 산림면적의 36.0%를 차지하고 있으며, 활엽수림 31.2%, 그리고 혼효림 28.4%으로 비교적 고르게 분포하고 있으며, 대부분의 산림은 III~IV영급(67.1%)에 분포하고 있다(KFS, 2011).

2. 국가산림자원조사

제5차 국가산림자원조사(NFI5)는 중부원점을 중심으로 기본적으로 4 km × 4 km의 격자크기로 계통추출법에 의한 표본점을 배치한 후[Figure 2(a)], 매년 전체 표본점의 20%에 해당하는 표본점을 조사하는 5년 주기 연년조사체계에 의해 수행되었다(KFRI, 2009). 각 집락표본점은 4개의 부표본점을 갖는 집락표본점(Cluster plot)으로 설계되어 있으며, 부표본점은 중앙표본점을 중심으로 0, 120, 그리고 240의 방위로 설치되며, 중앙표본점과의 수평거리는

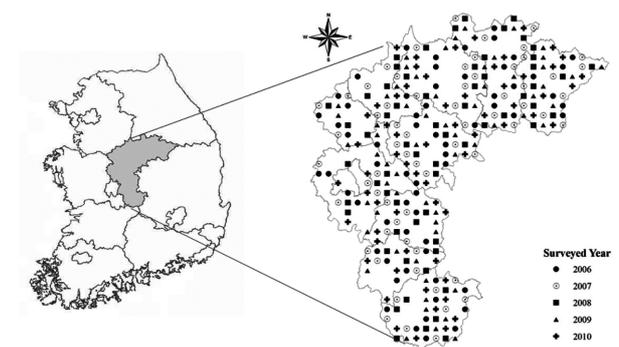


Figure 1. Location of the study area and distribution of samples by year.

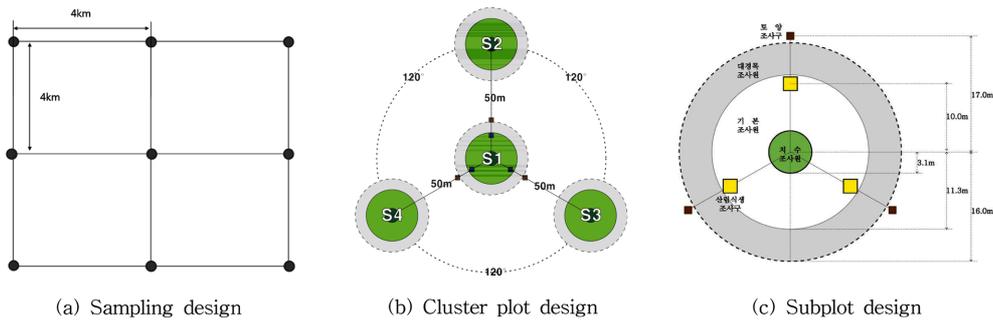


Figure 2. Sampling and plot designs for the 5th National Forest Inventory.

Table 1. Definition and areas by land-use categories under the LULUCF.

Land-use category	Definition
Forest land	Land spanning more than 0.5ha with trees higher than 5 m and a canopy cover of more than 10% and minimum width of more than 30 m (KFRI, 2011a)
Cropland	Cropped land including rice field, and agro-forestry systems
Grassland	Rangelands and pasture land that are considered cropland
Wetland	Areas of peat extractions and land that is covered or saturated by water for all or part of the year
Settlements	All developed land, including transportation infrastructure and human settlements of any size
Other land	Bare soil, rock, ice, and all land area that do not fall into any of the other categories

50 m이다[Figure 2(b)].

NFI6(2011-2015)는 NFI5에서 배치된 고정표본점을 대상으로 5년이 경과된 시점에서 재조사를 수행하고 있으며 (KFRI, 2011b), 본 연구에서는 연구대상지를 대상으로 재조사가 수행된 188개 집락표본점(75개 부표본점)을 활용하여 시간경과에 따른 변화를 평가하였다. 또한, 국가산림자원조사 고정표본점은 온실가스 인벤토리의 토지이용변화 매트릭스 구축을 위하여 우리나라에서 이용되고 각 토지이용범주별 정의(Table 1)에 의해 구분하였다(GIR, 2014).

3. 임상 및 대표수종 변화

임상구분은 임분을 구성하는 수종의 흉고단면적을 기준으로 부표본점을 대상으로 침엽수림, 활엽수림, 그리고 혼효림으로 구분하였으며, 대표수종의 경우에는 부표본점별로 출현하는 모든 교목 수종을 대상으로 흉고단면적을 산출한 후 흉고단면적의 비율이 50%이상이 점유하는 수종을 대표수종으로 구분한 후(Jung et al., 2011), 시간경과에 따른 대표수종의 변화를 평가하였다(Table 2).

Table 2. Description for stratifying by forest cover type.

Classification	Description
Coniferous	≥75% of sum of basal area by coniferous tree species
Deciduous	≥75% of sum of basal area by deciduous tree species
Mixed	24-74% of sum of basal area by deciduous tree species
Dominant tree Species	≥50% of sum of basal area by a tree species

4. 임분통계량 산출

고정표본점의 부표본점별 임분통계량은 KFRI(2011a)에서 제시된 방법에 의해 산출하였다. 즉, 표본점내에 출현하는 흉고직경 6 cm 이상의 모든 개체목의 흉고직경과 표준목에서 수집된 수고 측정자료를 활용하여 수종별 흉고직경-수고관계식에 의해 모든 개체목의 수고를 추정하였다. 개체목단위의 추정된 수고와 흉고직경을 활용하여 개체목의 재적을 임목자원평가 알고리즘을 적용한 후, 부표본점단위 임분재적을 산출하였다. 본 연구에서는 시간경과에 따른 임분통계량의 변수로 표본점의 단위면적당 흉고단면적, 임목분수, 임분재적, 평균 흉고직경, 그리고 평균수고를 대상으로 5년간의 변화량을 분석하였다.

5. 산림자원 변화량 평가

1) 임상 및 대표수종 변화

부표본점단위의 임상 및 대표수종변화는 일반적으로 표 또는 그래프 형식으로 변화량이 평가되지만, 본 연구에서는 IPCC(2006)에서 토지이용범주별 변화를 평가할 수 있는 매트릭스를 구축하여 임상 및 대표수종의 변화를 평가하였다. 임상 및 대표수종 구분에 따른 변화량을 매트릭스로 형태로 구현함으로써 고정표본점이 시간경과에 따른 변화 추세의 평가가 가능하며, 또한 점 표본점(point sampling)의 불확실성 평가 방법에 의해 변화량의 불확실성 평가가 가능하다(IPCC, 2006).

$$A_h = A \times p_h, \text{ (where } p_h = \frac{n_h}{n} \text{)} \quad (1)$$

$$s(A_h) = A \times \sqrt{\frac{p_h(1-p_h)}{n-1}} \quad (2)$$

$$\text{Relative standard error(\%)} = \frac{s(A_h)}{A_h} \times 100 \quad (3)$$

- n : total number of points,
- n_h : number of points in land-use category h,
- p_h : the proportion of points in land-use category h,
- A : the total land area,
- A_h : estimated area of land-use category h, and
- s(A_h) : standard error of an area estimate for land-use category h

2) 임분통계량 변화 및 불확실성 평가

산림은 자연적인 성장뿐만 아니라 인간의 인위적 활동에 의한 변화가 발생하지만, 본 연구에서는 시업지와 비시업지를 구분하지 않고 모든 임목지를 대상으로 임분통계량과 변화량을 비교하였다. 임분변수의 시간경과에 따른 성장율은 Pressler 식(식 4)에 의하여 흉고직경, 수고, 흉고단면적 그리고 재적에 대한 성장율을 추정하였다. 여기서, V_{t₁}와 V_{t₂}은 조사시점 t₁과 t₂에서의 임분변수별 추정치이다.

$$\left(\frac{V_{t_2} - V_{t_1}}{t_2 - t_1}\right) \left(\frac{V_{t_2} + V_{t_1}}{2}\right) \quad (4)$$

시간경과에 따른 임분통계량의 변화는 두 조사시점에서의 임분통계량의 차이에 의해 평가가 가능하며(Dahm, 2006; Moon et al., 2014), 임분통계량 변화의 불확실성은

조사자료가 상호 종속적인 관계가 성립되므로 두 조사시점의 변화량 분석에 있어서는 공분산(Covariance)을 활용한 평가방법을 적용하여 분석하였다(Cochran, 1977; Dahm, 2006). 즉, 임분변수 변화량(Δȳ)의 불확실성은 아래의 식 5에 의해 산출이 가능하다.

$$\Delta\bar{y} = \bar{y}_{t_2} - \bar{y}_{t_1} \quad (5)$$

$$v(\Delta\bar{y}) = v(\bar{y}_{t_2}) + v(\bar{y}_{t_1}) - 2c(\bar{y}_{t_2}, \bar{y}_{t_1}) \quad (6)$$

$$c(\bar{y}_{t_1}, \bar{y}_{t_2}) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{i,t_1} - \bar{y}_{t_1})(y_{i,t_2} - \bar{y}_{t_2}) \quad (7)$$

where,

\bar{y}_{t_1} and \bar{y}_{t_2} : estimated mean forest growing stock per ha for each subplot at surveyed years (t₁ and t₂),

y_{i,t₁} and y_{i,t₂} : forest growing stock per ha for each subplot at surveyed years, and

c($\bar{y}_{t_1}, \bar{y}_{t_2}$) : covariance between \bar{y}_{t_1} and \bar{y}_{t_2} .

결과 및 고찰

1. 표본점 현황 및 토지이용변화

최근 3년 동안(2011~2013) 국가산림자원조사에서 재조사된 충청북도에 포함된 표본점의 개수는 188개 집락표본점(752개 부표본점)이며, 산림에 포함되는 부표본점의 개수는 NFI5에서는 666개, 그리고 NFI6에서는 667개로 조사되었다(Table 3). 2006년과 2008년의 경우에는 각 1개씩의 부표본점이 비산림으로 전환되었으며, 2007년 부표본점의

Table 3. Number of sub-plots by surveyed years.

Classification	NFI5				NFI6			
	2006	2007	2008	Total	2011	2012	2013	Total
Forest	233	211	222	666	232	214	221	667
Non-forest	15	41	30	86	16	38	31	85
Total	248	252	252	752	248	252	252	752

Table 4. Change in number of sub-plots by LULUCF categories.

Classification	NFI5							Total	
	Forest			Non-forest					
	Stocked	Un-stocked	Others	Cropland	Wetland	Settlement	Other		
Forest	Stocked	624	6					630	
	Un-stocked	6	10					16	
	Other	7		10			4	21	
NFI6 Non-forest	Cropland				55			55	
	Wetland					7		1	8
	Settlement						1	1	
	Other	2	1		1		1	16	21
Total	639	17	10	56	7	2	21	752	

경우에는 3개 부표본점이 산림으로 전환되었다. 이는 토지 이용구분에서 전차기 조사에서 초지로 구분되어 비산림으로 구분되었지만, 재조사 결과 산림에 해당하는 것으로 산림과 비산림의 구분에 있어서 산림내에 분포하는 초지 및 습지에 대해서는 명확한 정의에 따른 구분이 필요하다.

전체 752개 부표본점을 대상으로 기후변화협약에서 요구하는 6개 범주에 따른 구분(IPCC, 2006; GIR, 2014)을 수행한 결과는 Table 4와 같다. 본 연구에서는 NF15에서 산림으로 판독된 188개 집락표본점 중에서 비산림에 포함된 부표본점은 5개 토지이용범주로 세분하여 구분하였다. 한편, 온실가스 인벤토리 보고서 작성을 위한 활동자료로 활용하기 위해서는 NF15에서 비산림으로 조사가 제외된 142개 집락표본점을 포함하여야 충청북도 전체 토지의 토지이용변화 매트릭스 구축이 가능하므로 비산림으로 판독된 표본점도 주기적으로 토지이용변화를 모니터링 할 필요가 있다. 토지이용구분에 있어서 산림내 제지(군사지역, 임내초지, 묘지 등)의 경우에는 비산림의 토지이용범주(초지)와 구분이 곤란하므로 명확한 정의에 따른 구분이 요구된다. 결과적으로 국가산림자원조사 고정표본점 자료는 토지이용변화 매트릭스 구축을 위한 자료로 활용이 가능할 것으로 판단되며(Statistic Finland, 2014), NF16가 완료된 이후 표본강도의 적절성에 관한 연구가 수행될 필요가 있다.

2. 임상 및 대표수종 변화

1) 임상구분 변화

부표본점의 시간경과에 따른 부표본점의 임상구분을 실시한 결과는 Figure 3 및 Table 5와 같다. Figure 3에서 침엽수림과 활엽수림은 감소하고 활엽수림이 증가하는 것으로 나타나고 있지만, 각 임상구분에 따른 변화를 알 수 없는 한계를 가지고 있다. Table 4와 같이 매트릭스를 작성하여 비교한 결과(Table 5), 침엽수림과 활엽수림은 각각 활엽수림과 침엽수림으로 전환보다는 혼효림으로의 유입이 상대적으로 많이 발생하였으며, 혼효림의 경우에도

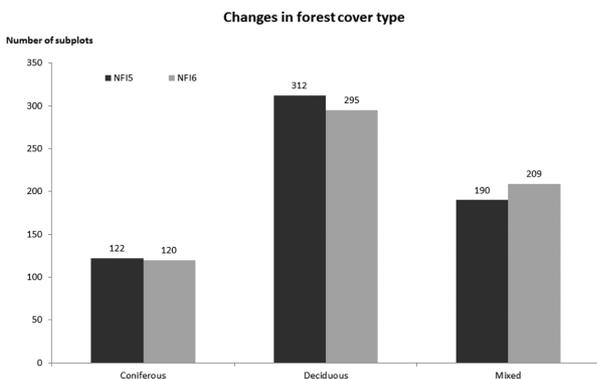


Figure 3. Change in number of sub-plots by forest cover type over time.

Table 5. Forest cover type change matrix between NF15 and NF16.

Classification	NF15			Total	
	Coniferous	Deciduous	Mixed		
NF16	Coniferous	100	4	16	120
	Deciduous	1	275	19	295
	Mixed	21	33	155	209
	Total	122	312	190	624

침엽수림(16개)과 활엽수림(19개)으로 전환이 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

국가산림자원조사에서 임상구분은 수관올폐도와 연관이 있는 흉고단면적을 기준으로 구분하여 임상도의 구분 기준과 차이가 있으며, 시간경과에 따른 임목의 성장, 임목간 경쟁에 의한 자연고사 그리고 인위적 시업 등에 영향을 받으므로 각 부표본점단위의 체계적인 관리에 의한 임분구조 변화에 대한 지속적인 모니터링이 필요하며, 특히 인위적 시업과 자연적 손실에 따른 변화량 평가는 향후 지속가능한 산림경영 실현을 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

2010년도 기준 충청북도 임목지의 총 면적(474,265 ha)을 기준으로 시간경과에 따른 임상별 면적변화량과 불확실성을 추정한 결과는 Table 6과 같다. 동일 임상으로 유지되는 면적의 상대추정오차율은 4.5~7.0%로 상대적으로 정확도가 높은 반면 다른 임상으로 전환된 면적의 경우에는 17.0~100%의 오차율을 나타내고 있으며, 특히 변화량이 적은 임상에서 오차율이 큰 것으로 관측되었지만, 이러한 변화량의 불확실성은 핀란드의 토지이용변화 불확실성과 유사한 것으로 나타났다(Statistic Finland, 2014). 매트릭스 방법에 의해 각 임상구분에 따른 면적변화량 및 변화량에 대한 불확실성을 평가함으로써의 구축된 자료의 신뢰성이 증대될 수 있다.

2) 대표수종변화

최근 기후변화에 따른 산림생태계의 변화에 대한 관심

Table 6. Estimated area and uncertainty by forest cover type.

Classification	NF15			Total	
	Coniferous	Deciduous	Mixed		
NF16	Coniferous	76,004 (9.2%)	3,040 (49.9%)	12,161 (24.7%)	91,205 (8.2%)
	Deciduous	760 (100%)	209,011 (4.5%)	14,441 (22.6%)	224,212 (4.2%)
	Mixed	15,961 (21.5%)	25,081 (17.0%)	117,806 (7.0%)	158,848 (5.6%)
Total	92,725 (8.1%)	237,133 (4.0%)	144,408 (6.1%)	474,265	

*Figures in parentheses refer to relative standard errors.

은 증가되고 있으며, 특히 지속 가능한 산림경영을 유지하기 위하여 미래 기후에 적응하는 수종에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 시간경과에 따른 고정표본점의 대표수종(또는 우점수종) 변화를 임목지에서 임목지로 유지되고 있는 624개 부표본점을 대상으로 주요 우점수종의 변화를 매트릭스 형태로 분석하였다 (Table 7).

조사차수와 관계없이 충청북도에는 소나무, 신갈나무, 굴참나무, 일본 잎갈나무, 리기다소나무의 5개 수종이 전체 표본점의 약 50%를 차지하고 있는 것으로 나타났으며 NFI6에서 점유비율은 약 2%정도 감소하였다. 전체 624개 부표본점 중에서 기존 대표수종을 유지하고 있는 부표본점은 532개(85%)이며 92개 부표본점에서 대표수종의 변화가 탐지되었다. 이 중에서 66개 부표본점은 임목생장 및 고사에 의한 자연적 변화이며, 26개 부표본점은 인위적 경영활동에 의해 대표수종이 변화한 것으로 나타났다.

대표수종의 변화를 수종별로 살펴보면, 소나무림으로 유지되고 있는 부표본점은 119개(91%)이며, 12개 부표본점은 기타침엽수림 및 활엽수림으로 전환되었으나 9개 부

표본점은 소나무림으로 유입된 것으로 관측되었다. 한편, 주요 활엽수림인 신갈나무, 굴참나무, 상수리나무 임분의 경우에는 기타활엽수림 등으로 대표수종의 변화가 상대적으로 많은 것으로 나타났다. 이는 임상구분과 같이 흉고단면적을 기준으로 구분한 결과로 임상도 제작에서의 수종구분과 차이가 있으며, 특히 자연적 변화는 수종별 생장특성과 입지환경과의 관계 규명 등을 위하여 지속적으로 모니터링 할 필요가 있다.

3. 임분통계량의 변화 및 불확실성 평가

1) 임분통계량 변화

본 연구에서는 임분특성을 나타내는 임목본수, 흉고단면적, 재적, 평균 흉고직경, 그리고 평균수고의 시간경과에 따른 변화를 분석하였다. Table 8은 조사차수에 따른 임상별 임분통계량의 산출한 결과이며, 표본개수는 토지이용변화와 임분특성 변화가 나타나지 않는 I영급의 임분을 제외하여 조사차수별 차이가 있다.

임목본수의 경우에는 임상에 관계없이 임분밀도와 관련된 임목본수(103본/ha)와 흉고단면적(2.8 m²/ha)은 감소

Table 7. Dominant tree species change matrix between NFI5 and NFI6.

Classification	NFI5											
	PD	PR	LK	PK	OC	QM	QV	QA	RP	ON	Total	
NFI6	PD	119	2			2	1				4	128
	PR		23			2		1				26
	LK			31							5	36
	PK				10	1					2	13
	OC	4	6	2		11						23
	QM					1	56				6	63
	QV							38			6	44
	QA								12		9	21
	RP			1						10	4	15
	ON	8	2	4	3	3	3	6	1	3	222	255
	Total	131	33	38	13	20	60	45	13	13	258	624

PD : *Pinus densiflora*, PR : *Pinus rigida*, LK : *Larix kaempferi*, PK : *Pinus koraiensis*, OC : other conifer species, QM : *Quercus mongolica*, QV : *Quercus variabilis*, QA : *Quercus acutissima*, RP : *Robinia pseudo acacia*, and ON : other non-conifer species

Table 8. Stand statistics by surveyed period and forest cover type.

Classification		Number of sub-plots	Number of trees (n/ha)	Basal area (m ² /ha)	Growing stock (m ³ /ha)	DBH (cm)	Height (m)
NFI5	Coniferous	123	1,361	53.7	159.2	14.1	11.4
	Deciduous	311	1,144	45.9	106.9	14.3	10.5
	Mixed	194	1,284	51.2	131.2	15.0	11.0
	Total	628	1,230	49.1	124.7	14.5	10.8
NFI6	Coniferous	118	1,237	50.8	193.7	18.0	12.1
	Deciduous	291	1,031	42.4	129.2	16.2	11.5
	Mixed	211	1,198	49.0	153.8	16.4	11.6
	Total	620	1,127	46.3	149.9	16.6	11.7

Table 9. Periodic annual growth ratios by stand variables.
(unit: %)

Classification	Basal area	Growing stock	DBH	Height
Coniferous	-1.1	3.9	4.9	1.4
Deciduous	-1.6	3.8	2.4	1.7
Mixed	-0.9	3.2	1.8	1.1
Total	-1.2	3.7	2.7	1.5

한 반면, 임목축적은 ha당 22.3~34.6 m³가 증가하였으며, 평균흉고직경과 평균수고는 각각 1.4~3.9 cm와 0.6~1.0 m 증가하였다. 임목분수와 흉고단면적은 고사 및 자연피해에 의한 손실량과 시업에 의한 벌채량에 의한 손실량이 진계성장(ingrowth) 및 상위생장(ongrowth)에 의한 증가량보다 높은 것에 기인한 것으로 판단되며 향후, 산림경영 활동에 의한 벌채량과 자연적 손실량을 고려한 평가가 필요하다.

임분변수별 정기평균 성장율을 추정한 결과는 Table 9와 같다. 흉고단면적의 경우에는 변화량에서 볼 수 있듯이 연간 약 1.2% 감소하는 추세를 보이고 있으며, 재적성장율은 3.7%로 최근 산림청에서 고시된 4.0%보다는 약간 낮은 것으로 추정되었다. 본 연구는 충청북도에 배치된 전체 표본점의 60% 자료를 활용한 결과로 향후 NFI6가 완료된 이후에는 보다 정확한 임분변수별 성장율의 추정이 가능할 것으로 판단되며, 또한 생장에 의한 증가량과 고사 및 시업에 의한 감소량 등의 구분에 의해 세분화된 임분변수의 변화량 평가에 관한 연구가 필요하다.

2) 임분통계량 변화량의 불확실성 평가

임분통계량의 변화량은 임목지로 유지되는 고정표본점 중에서 시업에 의한 인위적 손실량을 제외한 523개의 부표본점을 대상으로 변화량과 불확실성을 평가한 결과는 Table 10과 같다. 임분변수의 변화량은 임목재적에서 가장 큰 변화량(32.8 m³/ha)을 나타내었으며, 임목분수는 감소한 것으로 나타났다. 임분변수별 변화량에 대한 상대추정 오차율은 0.5~54.8%의 범위로 산정되었는데, 임목분수의 오차율이 54.8%로 가장 큰 불확실성을 나타내고 있으며, 다른 변수들은 5% 미만의 불확실성을 갖는 것으로 나타났다. 임목분수의 경우, 다른 임분변수에 비하여 높은 불확실성을 나타내었는데, 이는 임목분수가 다른 변수들에 비하여 상대적으로 변화량이 큰 것에 기인한 것으로 향후 단위에 따른 변화량 평가방법에 대한 연구가 필요하다.

Table 10. Mean change and uncertainty by stand variables.

Tree density (n/ha)		Basal area (m ² /ha)		Growing stock (m ³ /ha)		DBH (cm)		Height (m)	
Change	RSE(%)	Change	RSE(%)	Change	RSE(%)	Change	RSE(%)	Change	RSE(%)
-24.6	54.8	0.2	2.2	32.8	4.2	2.0	0.5	0.9	4.2

결론

국가산림자원조사는 산림자원의 현황 및 시간경과에 따른 변화량 평가에 의한 산림정책 수립을 위한 기초 정보를 제공하기 위하여 수행되고 있으며, 제5차 국가산림자원조사부터는 고정표본점 설치 및 재조사에 의한 변화량 평가의 정확성 제고를 위하여 표본점 설계가 개편되었다. 본 연구는 고정표본점 자료를 활용하여 시간경과에 따른 산림자원의 변화량을 평가하기 방법을 제시하고 새로운 산림자원 통계항목 발굴을 위한 기초 정보를 제공하기 위하여 충청북도에 배치된 일부 표본점 자료를 활용한 시범 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 고정표본점의 재조사 자료를 활용하여 1) 토지이용변화 탐지, 2) 임상 및 대표수종변화, 그리고 3) 임목자원량 변화의 3가지 부분에 대한 평가를 실시하였다. 먼저 고정표본점의 토지이용변화와 관련된 정보의 취득이 가능하게 되었으며, 이는 국토 및 산지의 체계적인 관리를 위한 기초 자료뿐만 아니라 온실가스 인벤토리에서 요구되는 토지이용변화 매트릭스 구축을 위한 중요한 활동자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 하지만 자료의 활용도를 제공하기 위해서는 비산림으로 판독되어 현지조사가 수행되지 않은 고정표본점에 대해서는 주기적인 모니터링 체계에 맞추어 지속적인 변화탐지 및 관리가 필요하다. 임상 및 대표수종의 변화탐지에 있어서 기존의 그래프 형식보다는 매트릭스 형태의 정보를 구축함으로써 임상 및 대표수종의 변화 동태를 보다 상세하게 평가할 수 있는 것으로 나타났으며, 향후 대표수종별 변화는 수종별 성장특성과 표본점의 입지환경특성을 고려한 변화 동태에 관한 연구를 위한 자료로 활용이 가능하다. 마지막으로 임목자원량의 변화를 평가하기 위하여 5가지 임분변수(ha당 임목분수, 흉고단면적, 임분재적, 평균 흉고직경, 그리고 평균수고)의 변화량을 산출하고 변화량에 대한 불확실성을 평가한 결과, 임분밀도를 나타내는 임목분수와 흉고단면적은 고사 등의 자연적 손실량이 진계 및 상위생장에 의해 유입되는 증가량보다 많아 감소하는 경향이 나타났으며, 상대적으로 변화량이 큰 임목분수 변화량의 불확실성은 50%를 상회하는 것으로 분석되었는데 향후 불확실성 평가방법 및 정확도 제고를 위한 방법 개발이 요구된다.

국가산림자원조사가 고정표본점 조사체계로 개편됨에 따라 자료의 활용분야는 점차 확대될 것으로 기대된다. 이

러한 국내외적 산림자원통계 수요에 부응하기 위해서는 구축된 자료의 품질 확보가 우선되어야 하며, 신규 통계 수요에 부응하기 위하여 통계항목 발굴 및 통계항목별 분석방법 개발이 지속적으로 유지될 필요가 있다. 또한, 표본조사에 의한 산출결과의 신뢰성과 투명성 확보를 위해서는 통계항목별 추정치에 대한 불확실성(Uncertainty)을 나타내는 평가지표가 제공되어 자료 활용에 따른 오류를 사전에 방지하여 통계기반 정책수립에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

국가산림자원조사의 표본설계 개편 및 조사항목 확대에 따라 제5차 국가산림자원조사부터 현지조사는 산림조합중앙회 산림자원조사센터에서 수행되고 있으며, 품질관리 및 자료관리 업무는 한국임업진흥원에서 담당하고 있습니다. 현지조사 및 자료입력을 위해 전국 산림을 방문하여 자료를 수집하여 주신 산림자원조사센터 및 자료 및 품질관리에 애쓰신 한국임업진흥원 자원정보팀 직원분들의 노고에 감사드립니다.

References

- Baek, J.H., Yim, J.S., and Shin, M.Y. 2010. Stand density control by selection system in Pyungchang area, Gangwon Province. *Journal of Korean Forest Society* 99(1): 136-143.
- Chun, J.H. and Lee, C.B. 2013. Assessing the effects of climate change on the geographic distribution of *Pinus densiflora* in Korea using ecological niche model. *Korea Agriculture and Forest Meteorology* 15(4): 219-233. (in Korean with english abstract)
- Chungcheongbuk-do. 2013. 2012 Yearbook of statistic (<http://stat.cb21.net>, accessed at 2. Jan. 2015).
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*. 3rd ed. John Wiley & Sons. pp. 428.
- Dahm, S. 2006. Auswertungsalgorithmen für die zweite Bundeswaldinventur. Arbeitsbericht der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. pp. 38. (In German)
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2012. Guide for country reporting for Forest resources assessment 2015. pp. 19.
- GIR (Greenhouse Gas Inventory & Researches Center). 2014. National Greenhouse Gas Inventory-Guideline for Measurement, Reporting, Verification -. (In Korean)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Chapter 3. Consistent representation of lands. In: *IPCC Guidelines for national Greenhouse gas inventories*. pp 3.1-3.42.
- Jung, I.B., Yim, J.S., Kim, J.C., Kim S.H., and Shin, M.Y. 2011. Dominant tree species classification at a plot level. In *proceedings of the 2011 Autumn Meeting of the Korean Forest Resources Measurement Society*. Oct. 24. 2011, Korea.
- Kim, Y.J., Sung, J.H., Yang, H.M., and Shin M.Y. 2012. Changes in stand structures before and after silvicultural treatments in natural deciduous forests of Pyungchang area. *Journal of Korean Forest Society* 101(2): 297-304. (In Korean with English abstract)
- Köhl, M., Scott, C.T., and Zingg, A. 1995. Evaluation of permanent sample surveys for growth and yield studies: a Swiss example. *Forest Ecology and Management* 71: 187-194.
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2009. The 5th National forest inventory - Field manual ver. 1.3-. pp. 32. (In Korean)
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2011a. The 5th national forest inventory report. pp. 166. (In Korean)
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2011b. The 6th national forest inventory and Forest health monitoring - Field manual ver. 1.1. pp. 32. (In Korean)
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2012. Volume, Biomass and stand yield table for Korean major tree species. pp. 261.
- KFS (Korea Forest Service). 2011. Statistical yearbook of forestry (41). pp. 484.
- KOFPI (Korea Forestry Promotion Institute). 2013. Assessment of the Korea's Forest Resources (2006-2012). pp. 267. (In Korean)
- Moon, N.H., Yim, J.S., Jung, I.B., Cho, H.K., Son, Y.M., and Shin, M.Y. 2014. Forest resources change assessment at Permanent sample plot over time in the national forest inventory. pp 150. In *proceedings of the 2014 Autumn Meeting of the Korean Forest Society*. Oct. 24. 2014, Yeongnam Uni. Korea. (In Korean with English abstract)
- Poso, S. 2006. Change monitoring with permanent sample plots. pp. 65-84. In Kangas, A. and Maltamo, M.(eds). *Forest Inventory -Methodology and Applications -*. Springer.
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., and Bielak, K. 2014. Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management. *Forest Ecology and Management* 316: 65-77.
- Shin, M.Y., Lee, S.M., and Lee, D.K. 2005. Forest management using growth and ecological characteristics by site types in the natural deciduous. *Journal of Korean Forest Society* 94(1): 26-33. (In Korean with English abstract)
- Son, Y.M., Lee, K.H., and Kim, R.H. 2007. Estimation of forest biomass in Korea. *Journal of Korean Forest Society* 96(4): 477-482. (In Korean with English abstract)
- Son, Y.M., Lee, KH, Lee W.K., and Kwon, S.D. 2002. Stem taper equations for six major tree species in Korea. *Journal of Korean Forest Society* 91(2): 213-218. (In Korean with English abstract)
- Statistics Finland. 2014. Land-use, land-use change and for-

estry. In: Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990-2012. pp. 265-343.

Tomppo, E., Gschwantner, T., Lawrence, M., and McRoberts, R.E. 2010. National forest inventories -Pathways for common reporting-. Springer. pp. 612.

Yim, J.S., Jung, I.B., Cho, H.K., Kim, J.C., and Kim, S.H. 2013. Tree resources assessment over time based on the

national forest inventory. In proceedings of the 2013 Autumn Meeting of the Korean Forest Management and Information Society. Nov. 28. 2013, Korea University, Seoul, Korea. (In Korean)

(Received: February 15, 2015; Accepted: May 19, 2015)