

국가산림자원조사 고정표본점 자료를 이용한 토지이용변화 평가

임종수[†] · 김래현 · 이선정 · 손영모

국립산림과학원 기후변화연구센터

Land-use Change Assessment by Permanent Sample Plots in National Forest Inventory

Yim, Jong-Su[†], Kim, Rae Hyun, Lee, Sun Jeoung and Son, Yeong Mo

Center for Forest and Climate Change, Korea Forest Research Institute, Seoul Korea

ABSTRACT

Forests are to be recognized as an important carbon sink under the UNFCCC that consist of above- and below-biomass, dead organic matter (DOM) such as dead wood and litter, and soil organic matter (SOM). In order to assess for DOM and SOM, however, it is relevant to land-use change matrices over last 20 years for each land-use category. In this study, a land-use change matrix was produced and its uncertainty was assessed using a point sampling technique with permanent sample plots in national forest inventory at Chungbuk province. With point sampling estimated areas at 2012 year for each land-use category were significantly similar to the true areas by given six land-use categories. Relative standard error in terms of uncertainty of land-use change among land-use categories ranged in 4.3~44.4%, excluding the other land. Forest and cropland covered relatively large areas showed lower uncertainty compared to the other land-use categories. This result showed that selected permanent samples in the NFI are able to support for producing land-use change matrix at a national or province level. If the 6th NFI data are fully collected, the uncertainty of estimated area should be improved.

Key words : Carbon Sink, Land-use Change, Point Sampling, National Forest Inventory, Permanent Sample

1. 서 론

산림은 기후변화협약에서 탄소저장 및 흡수원으로 인정되고 있으며, 산림내 탄소저장고는 지상부·지하부 바이오매스, 고사유기물(고사목과 낙엽층), 산림토양 그리고 목제품으로 구성된다(IPCC, 2006). 우리나라의 최근 온실가스 인벤토리 보고서에 따르면 바이오매스에서 흡수하는 이산화탄소량은 전체 배출량의 약 6%를 흡수하고 있다(GIR, 2014a).

산림부문에서 기후변화협약에 대응하기 위하여 2006년부터 시작된 제5차 국가산림자원조사(National Forest Inventory; NFI)에서는 조사항목을 확대하여 산림내 탄소저장고와 관련된 활동자료(activity data)를 수집하고 있다(KFRI, 2006). 또한, 온실가스 인벤토리의 통계수준을 향상시키기 위하여 우리나라의 주요 수종을 대상으로 바이오매스 및 탄소전환계수를 개발하고, 검증

을 통하여 국가 고유계수를 지속적으로 확대하고 있다. 하지만, 국가산림자원조사에서 조사 및 분석이 수행된 고사유기물과 산림토양의 탄소저장량은 아직 탄소흡수원으로 평가가 이루어지지 않고 있다(GIR, 2014a). IPCC 가이드라인(2006)에 의하면 산림토양과 고사유기물의 경우에는 탄소가 평행이 이루어지는 시점(최소 20년)을 고려하여 현재의 산림이 과거 20년 전부터 산림으로 유지되고 있는 지에 대한 토지이용변화 정보가 필수적으로 요구되며, 바이오매스의 경우에도 보다 정확한 탄소흡수량을 산정하기 위해서는 토지이용범주에 따른 토지이용변화 매트릭스 구축이 필요하다.

산림이 포함되어 있는 토지이용, 토지이용변화 및 임업(Land-use, Land-use change and Forestry; LULUCF) 부문은 전국토를 대상으로 산림뿐만 아니라, 경작지, 초지, 습지, 정주지, 그리고 기타 토지의 6개 범주로 구분하여 각 토지이용 범주별 탄소저

[†] Corresponding author : yimjs@korea.kr

Received December 19, 2014 / Revised February 27, 2015(1st), March 12, 2015(2nd) / Accepted March 23, 2015

장량과 흡수량과 배출량을 산정하고 있다(IPCC, 2006). 우리나라의 경우에는 LULUCF 분야의 온실가스 통계량을 산출하기 위하여 농림축산식품부를 관장기관으로 각 토지범주를 담당하는 4개 산정기관(국립산림과학원, 국립농업과학원, 국립축산과학원, 그리고 국토연구원)에 의해 활동자료 구축 및 배출(흡수)계수 개발이 수행되고 있다(GIR, 2014b). 하지만, 각 산정기관에서는 주로 각 토지범주의 배출/흡수계수(emission factor) 개발을 중심으로 연구가 추진되고 있으며, 활동자료(토지면적) 중의 하나인 토지이용변화 매트릭스 구축에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

일반적으로 시간경과에 따른 토지이용 및 토지피복의 변화에 관한 연구는 공간적 및 시간적 범위를 고려하여 주기적으로 광범위하게 자료를 취득하는 위성영상 자료를 활용하여 수행되었다(Achard *et al.*, 2008; Cho *et al.*, 2009). 우리나라의 산림분야에서는 산림과 비산림의 구분, 그리고 산림특성인 임상(침엽수림, 활엽수림, 그리고 혼효림) 구분을 목적으로 항공사진 및 위성영상 자료를 활용하였으며(Kim *et al.*, 1989; Yim *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011), 특히 현지조사 자료의 취득이 곤란한 해외산림자원 개발과 북한지역의 산림현황 및 변화를 평가하기 위하여 위성영상 정보를 활용하여 수행되고 있다(Achard *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2003; Yoo *et al.*, 2011). 하지만, Achard *et al.*(2008)는 국가단위 토지이용변화 매트릭스 구축에 있어서 위성영상 자료를 활용한 wall-to-wall 방법은 토지이용변화의 공간적 분포를 나타내는 장점이 있는 반면, 자료취득 및 대용량 자료 처리를 위한 추가 비용의 발생과 위성영상의 분석을 위한 전처리 등의 한계가 있으므로 표본(sampling)에 의한 방법을 대안으로 제시하였다. 특히, 대면적 조사를 위한 점 표본점(point sampling) 기법은 토지면적 추정 및 토지이용변화의 탐지능력이 원격탐사 자료를 활용한 wall-to-wall 방법에 비하여 비용효율적인 방법으로 제시된 바 있다(Lund, 1982; Vesterby and Heimlich, 1991).

IPCC(2006)에서는 토지이용변화 매트릭스 구축을 위하여 1) 행정자료 활용, 2) 점 표본점(point sampling)기반의 표본점 자료, 3) 원격탐사 및 GIS 자료를 활용한 공간정보 분석 등의 3가지 방법을 제시하였다. 이와 관련하여 일본의 경우에는 행정자료를 활용하는 방법을 적용하여 국가 온실가스 인벤토리 보고서를 작성하고 있으며(NIES, 2014), 스웨덴과 핀란드는 전국에 배치된 국가산림자원조사 고정표본점을 활용한 점 표본점 기법을 적용하고 있다(SEPA, 2014; Statistics Finland, 2014). 독일의 경우에는 국가산림자원조사를 기반으로 한 고정표본점 자료와 토지피복분류도 등의 공간정보를 부가자료를 활용하고 있다(IEA, 2014; BMELV, 2011). 한편, 최근 논의되고 있는 교토의

정서의 산림경영(신규조림, 재조림, 그리고 산지전용)과 관련하여 일본의 경우에는 항공사진을 바탕으로 표본을 배치하여 표본점에서의 산림경영활동에 대한 평가 및 모니터링을 수행하고 있다(Hayashi *et al.*, 2008).

본 연구는 산림자원의 평가 및 변화 모니터링을 위하여 전국에 배치된 국가산림자원조사 고정표본점(Permanent sample plot)을 활용하여 6개 토지이용별 면적 추정 및 토지이용변화 매트릭스 구축 가능성을 검토하고자 수행하였다. 이를 위하여 시간경과에 따른 토지이용변화 탐지 및 토지이용변화 매트릭스 구축 방법을 제시하고, 토지이용변화의 불확실성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구대상지

본 연구는 우리나라 중앙부에 위치한 충청북도를 대상으로 하였다. 충청북도는 지형적으로 남북방향으로 길게 위치하고 있으며(Fig. 1), 우리나라에서 바다에 접하지 않은 유일한 내륙도이다. 지리적 위치는 위도상으로 36°00' 35" ~ 37°15' 20"에 위치하여 중위도에 속하며, 경도상으로 127°16' 40" ~ 128°38' 15" 범위에 위치하고 있다.

충청북도의 전체 면적은 약 740,624 ha이며, 지적구분에 따른 임야면적은 497,301 ha로 전체 면적의 약 67.1%를 차지하고 있으며, 농경지(전, 답, 과수원)는 18.4%(136,108 ha)를 차지하고 있다(Chungcheongbuk-do, 2013). 충청북도의 면적은 2011년 대비 약 3천 ha가 감소하였는데, 이는 청원군의 일부 면적이 세종특별자치시로 편입된 결과이다.

2.2 국가산림자원조사

국가산림자원조사(National Forest Inventory; NFI)는 전국의 산림을 과학적인 방법으로 조사 및 평가하여 산림기본통계를 확보하고, 산림자원의 변화 동태를 주기적으로 파악하여 지속가능한 산림경영 실천을 위한 산림기본계획 및 산림정책수립의 기초자료 제공을 목적으로 1972년부터 주기적인 조사를 수행하고 있다. 제1차('72~'75)부터 제4차('96~'05) NFI에서는 항공사진 촬영 및 판독에 의한 층화추출법(Stratified sampling)을 적용하였으며, 제5차('06~'10)부터는 계통추출법(Systematic sampling)에 의한 표본을 배치하였다(KFRI, 2011a). 제5차 국가산림자원조사(NFI5)에서 충청북도에 배치된 연도별 고정표본점의 분포는 Fig. 1과 같으며(Yim *et al.*, 2012), 4 km 격자 중에서 표본점이 없는 지점은 비산림으로 판정된 표본점으로 현지조사에서 제외된 표본점이다.

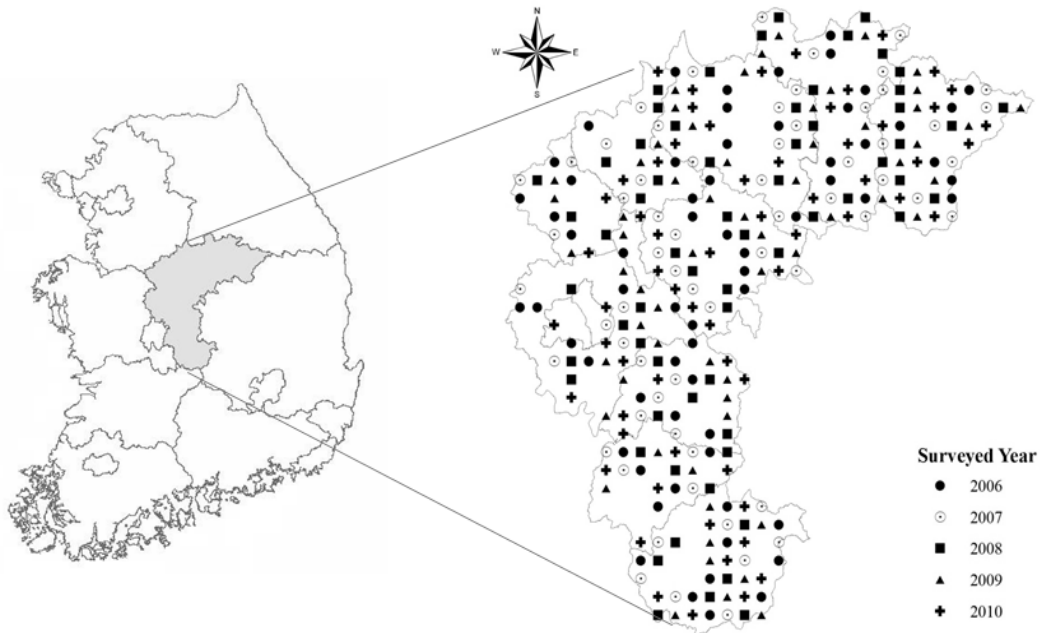


Fig. 1. Location of the study area and distribution of samples by year.

NFI5에서 고정표본점은 중부원점을 중심으로 4 km × 4 km의 격자 크기로 계통추출법에 의하여 표본점을 배치한 후(Fig. 2. (a)), 매년 전체 표본점의 20%에 해당하는 표본점을 조사하는 5년 주기 연년조사체계에 의해 수행되었다. 전국토를 대상으로 4 km 격자로 배치된 6,264개소를 대상으로 항공사진, 위성영상 판독, 그리고 현지 확인을 통하여 산림과 비산림으로 사전구분한 후, 산림으로 판독된 4,270개소를 대상으로 부표본점 단위(sub-plot)의 토지이용 및 산림자원량 평가를 위한 현지조사를 수행하였다. 각 집락표본점은 4개의 부표본점을 갖는 집락표본점(Cluster plot)으로 설계되어 있으며, 부표본점은 중앙표본점을 중심으로 0, 120, 그리고 240의 방위로 설치되며, 중

양표본점과의 수평거리는 50 m이다(KFRI, 2011a).

2.3 토지이용변화 매트릭스 구축

우리나라의 LULUCF 부문에서 각 토지이용범주별 정의는 Table 1과 같다(GIR, 2014b). 하지만, 산림 및 농경지 면적 등의 일부 면적은 경우 매년 제공되지 않으므로 본 연구에서는 충청북도(2013)에서 제공되는 지목별 면적자료를 활용하여 토지이용범주별 면적을 추정하여 기준면적으로 활용하였다. 즉, 산림 면적은 임야면적을 적용하였으며, 농경지 면적은 전·답·과수원에 해당하는 면적의 합을 적용하였고, 기타 토지의 경우에는 잡종지 면적을 적용하였다(Table 1).

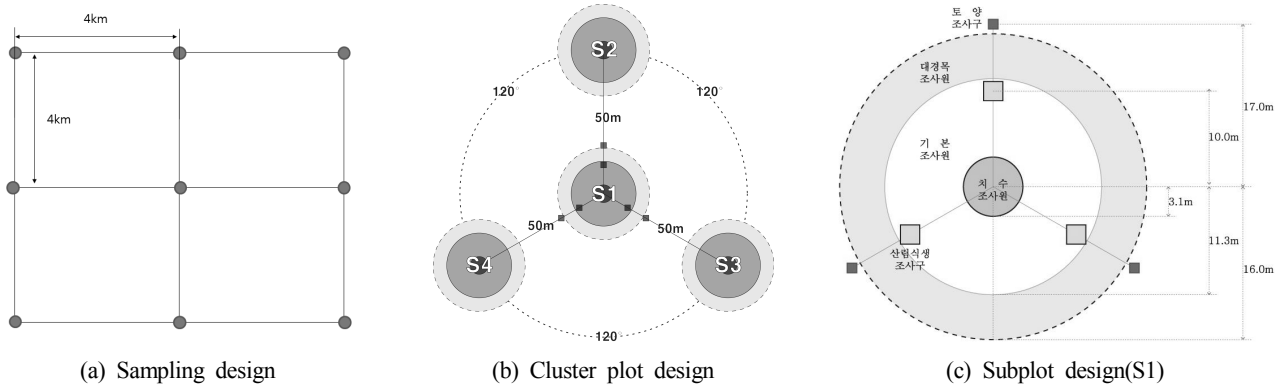


Fig. 2. Sampling and plot designs for the 5th National Forest Inventory.

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

Land-use category	Definition	Area (ha)
Forest land	Land spanning more than 0.5 ha with trees higher than 5 m and a canopy cover of more than 10% and minimum width of more than 30 m (KFRI, 2011a)	497,031
Cropland	Cropped land including rice field, and agro-forestry systems	136,108
Grassland	Rangelands and pasture land that are considered cropland	2,879
Wetland	Areas of peat extractions and land that is covered or saturated by water for all or part of the year	46,674
Settlements	All developed land, including transportation infrastructure and human settlements of any size	53,306
Other land	Bare soil, rock, ice, and all land area that do not fall into any of the other categories	4,356

한편, 연구대상지 내에 배치된 고정표본점을 대상으로 NF15 조사기간 중 '06~'08년 사이에 조사된 후 5년이 경과되어 NF16 기간의 '11~'13년에 재조사가 수행된 고정표본점의 토지이용 구분 자료를 활용하여 토지이용변화 매트릭스를 구축하고자 하였다. 하지만, NF15에서 비산림(정주지 또는 농경지 등)으로 판독되어 현지조사에서 제외된 표본점은 표본점의 GPS 위치정보와 임상도 및 항공사진 자료 등을 활용하여 5개 토지이용범주로 구분하였다.

2.4 토지이용변화의 불확실성 평가

표본점 자료를 바탕으로 추정된 토지이용범주별 면적을 지적통계와 비교하기 위하여 온실가스 인벤토리의 면적결정방법에 의해 토지이용범주로 재분류된 면적(Table 1)과의 차이를 비교하여 적용가능성을 평가하였다. 또한, 토지이용변화 매트릭스에 의한 각 토지이용구분별 면적은 점 표본점에 기반한 비추정법(ratio estimator)에 의해 산출이 가능하며(Eq. 1), 각 토지이용범주별 추정면적의 불확실성은 Eq. 2 및 Eq. 3에 의하여 평가가 가능하다(Cochran, 1977; IPCC, 2006).

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

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

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

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

$s(A_h)$: Standard error of an area estimate for land-use category h

3. 결과 및 고찰

제5차 국가산림자원조사에서 충청북도에 배치된 집락표본점의 개수는 총 458개로, 산림으로 배치된 표본점은 316개이며, 임상도와 항공사진 판독과정에서 비산림으로 판독되어 현지조사에서 제외된 표본점은 142개로 나타났다(KFRI, 2011a). 산림에 배치된 표본점은 5년 조사체계에 따라 연도별 배치에 의해 NF16에서 재조사가 수행되었으나, 현지조사에서 제외된 142개 표본점은 연도별 배치가 이루어지지 않았으므로 전체 142개 표본점을 5년간 조사되는 것으로 가정하여 무작위로 연도를 배치하였다. 결과적으로 본 연구에서는 3년간 재조사가 수행된 189개 산림 내 표본점과 비산림 표본점으로 판정된 89개의 총 278개 표본점을 대상으로 5년이 경과된 시점에서의 토지이용변화 매트릭스를 구축한 후, 6개 토지이용범주별 추정된 면적의 정확도를 평가하였다.

3.1 토지이용변화 매트릭스 구축

충청북도에 배치된 고정표본점의 지난 5년간 토지이용변화 매트릭스를 구축한 결과는 Table 2와 같다. 결과적으로 산림에서 산림으로 유지된 고정표본점의 개수는 186개에서 3개 감소한 183개 표본점으로 관측되었다. 또한, 기타 토지에서는 1개 표본점이 초지로 변화된 것으로 관측되었다.

국가산림자원조사에서 고정표본점의 토지이용구분은 산림과 비산림으로 구분되며, 산림은 임목지, 미립목지, 제지로 구분된다. 하지만, 미립목지에는 임내 초지가 포함되어 있으며, 제지

Table 2. Number of plots by land-use categories over 5 years in Chungbuk province

Land-use category	NFI5 (2006~2008)						Total
	Forest land	Cropland	Grassland	Wetland	Settlements	Other land	
Forest land	183						183
Cropland	1	56					57
Grassland	1		5			1	7
Wetland				9			9
Settlements	1				20		21
Other land						1	1
Total	186	56	5	9	20	2	278

의 경우에도 하천, 묘지, 군사시설지 등이 포함되어 있으므로 (KFRI, 2011b), LULUCF의 토지이용범주 정의에 부합 여부에 대한 명확한 지침 마련이 필요한 것으로 나타났다.

충청북도(2013)의 총 면적은 행정집계에 의한 740,624 ha을 이용하여 식 (1)에 의해 조사차수에 따른 토지이용범주별 면적을 산출한 결과는 Table 3과 같다. 국가산림자원조사 고정표본점을 활용하여 추정된 산림면적은 487,533 ha(65.8%)로 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며, 경작지(20.5%), 정주지(7.6%), 습지(3.2%), 기타(0.6%), 그리고 초지(0.4%) 순으로 추정되었다.

토지이용범주별 면적 변화를 살펴보면, 산림면적은 495,525 ha에서 7,992 ha가 감소한 487,533 ha로 추정되었다. Table 3에서 볼 수 있듯이, 산림에 포함된 표본점이 경작지, 초지, 그리고 정주지로 각 1개씩의 표본점에서 토지이용변화가 나타난 결과로 표본강도(sampling intensity)에 의한 영향으로 판단된다. 즉, 본 연구에서 이용된 고정표본점 1개는 약 2,600 ha의 면적을 대변하고 있어서 표본점 하나의 토지이용변화는 토지이용범주별

추정면적에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 5년 주기 조사체계에서 3년간 자료를 활용하였으며, NFI6가 완료된 이후 충청북도에 배치된 총 458개 표본점을 활용하면 토지이용범주별 추정면적의 정확도는 개선될 것으로 기대된다.

3.2 토지이용변화의 불확실성 평가

국가산림자원조사 자료를 활용한 토지이용범주별 면적추정치를 충청북도의 지적통계(2012 기준)와 비교하였을 때(Table 4), 산림과 습지는 각각 1.3%와 3.1% 과소 추정되었으며, 경작지와 초지는 약 2.1% 과대 추정되었다. 다른 정주지와 기타 토지의 경우에는 0.2% 이내의 차이가 있는 것으로 나타났다. 결과적으로 국가산림자원조사 고정표본점 자료를 활용한 토지이용범주별 추정면적은 오차 범위 내에서 행정 집계된 통계값과 근사한 것으로 추정되었으며, 5년 간의 자료가 집계되면 추정치의 정확도는 향상될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 본 연구에서는 집락표본점 중에서 중앙부표본점(S1)만을 이용하였으

Table 3. Land-use change matrix from NFI5 to NFI6

(unit: ha)

Land-use category	NFI5 (2006~2008)						Total
	Forest land	Cropland	Grassland	Wetland	Settlements	Other land	
Forest land	487,533	-	-	-	-	-	487,533
Cropland	2,664	149,190	-	-	-	-	151,855
Grassland	2,664	-	13,321	-	-	2,664	18,649
Wetland	-	-	-	23,977	-	-	23,977
Settlements	2,664	-	-	-	53,282	-	55,946
Other land	-	-	-	-	-	2,664	2,664
Total	495,525	149,190	13,321	23,977	53,282	5,328	740,624

Table 4. Uncertainty assessment for land-use change by land-use categories

Classification		Land-use category					
		Forest land	Cropland	Grassland	Wetland	Settlements	Other land
Area proportion	NFI (%)	65.8	20.5	2.5	3.2	7.6	0.4
	Yearbook (%)	67.1	18.4	0.4	6.3	7.2	0.6
Uncertainty in change	SE (ha)	21,106	17,848	5,914	7,876	11,498	2,664
	RSE (%)	4.3	12.0	44.4	32.8	21.6	100

나, 4개 부표본점단위 정보를 활용하면 표본강도 증가에 따른 추정치의 정확도가 제고될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 지목에 따른 면적을 참값으로 적용하였으나 (Table 1), 온실가스 인벤토리에서는 산림과 경작지의 경우에는 각 토지이용범주의 정의를 고려하여 입업통계연보와 농업면적조사 자료를 활동자료로 활용하고 있으므로(GIR, 2014b), 향후 각 토지이용범주의 정의를 고려한 면적의 재산정이 필요하며, 일원화된 방법의 개발이 검토되어야 한다.

각 토지이용범주별 토지이용변화 면적 추정치의 표준오차와 상대추정오차율을 산출한 결과, 상대적으로 표본개수가 많은 산림과 경작지의 불확실성은 각각 4.5%와 12%로 상대적으로 높은 정확도를 나타내고 있지만, 상대적으로 면적이 작은 다른 토지이용범주에서는 21.6~44.4%의 불확실성이 높은 것으로 분석되었다(Table 4). 한편, 핀란드의 경우에는 전 국토를 대상으로 토지이용변화의 상대추정 오차율을 분석한 결과, 상대적으로 면적이 넓은 산림은 0.8%의 오차율을 나타내었고, 경작지와 습지, 그리고 정주지는 10% 이내 그리고 기타 지역은 24.4%로 가장 높은 오차율을 나타내었다(Statistic Finland, 2014).

4. 결 론

기후변화협약에 있어서 산림은 탄소흡수원으로 역할을 담당하고 있으며, 산림 내 탄소저장고는 지상부 및 지하부 바이오매스, 고사유기물(DOM), 그리고 토양(SOM)으로 구분된다. 제5차 국가산림자원조사부터는 이러한 국제적 동향에 부응하기 위하여 조사체계를 개편하고, 탄소저장고별 탄소저장량 및 흡수량을 평가하기 위하여 현지조사를 수행하고 있다. 하지만, 고사유기물과 토양의 경우에는 탄소량이 평형을 이루는 시점을 최소 20년으로 권고하고 있으므로 토지이용 범주별 탄소저장량의 추정을 위해서는 1990년도를 기준으로 과거 20년 전의 면적정보와 토지이용변화 매트릭스와 관련된 활동자료(activity data)가 요구된다. 즉, 현재 산림의 생성시점과 시간경과에 따른 토지이용범주별 상호간의 변화를 탐지할 수 있는 모니터링이 필수적

으로 요구된다.

본 연구에서는 충청북도를 대상으로 60%가 완료된 국가산림자원조사 고정표본점 자료를 활용하여 최근 5년간의 토지이용변화 매트릭스를 구축하고, 변화량에 대한 불확실성을 평가한 결과, 면적이 상대적으로 넓은 산림과 경작지는 오차가 적었지만, 상대적으로 차지하는 면적이 적은 초지, 습지, 기타 토지의 경우에는 불확실성이 높은 것으로 평가되었다. 하지만, 본 연구에서는 전체 자료의 60%만을 이용한 결과로, 향후 5년간 자료가 취득되면 불확실성은 감소될 것으로 기대된다. 따라서 고정표본점의 토지이용구분 정의와 LULUCF의 토지이용범주별 정의에 대한 명확한 정립이 선행되면 국가산림자원조사 고정표본점 자료는 토지이용변화 매트릭스 구축을 위한 자료로 활용될 수 있으며, 또한 국가산림자원조사 고정표본점과 과거 산림자원조사를 위하여 취득된 산림항공사진 자료를 활용하면 국가 및 시도단위의 토지이용변화 매트릭스 구축이 가능할 것으로 기대된다.

교토의정서에서 제안된 신규조림(Afforestation), 재조림(Reforestation), 그리고 산지전용(Deforestation) 등의 산림경영활동을 보고토록 하고 있으며, 부속서 I 국가에서는 교토의정서의 산림경영활동에 대응하기 위하여 산림경영계획 대장 및 표본설계에 의한 점 표본점 기법 등을 개발하여 적용하고 있으므로 우리나라도 교토의정서 체제에 대응하기 위해서는 각 활용목적에 부합하는 통계량 산출을 위한 기법에 관한 연구가 필요하며, 점 표본점 기법의 적용을 위해서는 적합한 표본 강도의 결정이 필요하다.

토지이용변화 매트릭스는 주기적인 자료취득에 의해 구축이 가능하며, 조사가 수행되지 않은 연도의 경우에는 내삽 및 외삽에 의해 추정되므로 향후 조사가 수행되지 않은 시점의 토지이용변화 매트릭스 구축을 위한 내삽과 외삽 기법의 적용방안, 그리고 5년간 수집된 연년자료의 통합에 있어서 정확도 향상을 위한 연도별 가중치를 부여하는 방법 등에 관한 추가적인 연구가 필요하다. 또한, 점 표본점 기법의 적용을 위해서는 표본강도와 관련하여 조사목적 및 범위 그리고 정확성 제고를 위한 적

정 표본강도에 관한 연구가 필요하다.

사 사

본 연구는 산림청 산림과학기술 개발사업(과제번호: S111-314L100100)의 지원으로 수행된 연구결과의 일부분입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Achard F, Eva H, Mayaux P. 2001. Tropical forest mapping from coarse spatial resolution satellite data : Production and accuracy assessment issues. *Int J Rem Sens* 22(14):2741-2762.
- Achard F, Grassi G, Herold M, Teobaldelli M, Mollicone D. 2008. Use of satellite remote sensing in LULUCF sector. *GOFC-GOLD Report* 33.
- BMELV(Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz). 2011. Inverturstudie 2008 und Treibhausgasinventar Wald. (in German).
- Cho ER, Kim KW, Yoo HH. 2009. Analysis of land use change using high resolution satellite imagery. *J Korean Geo Info & Sys* 17(1):3-11. (In Korean with English abstract).
- Chungcheongbuk-do. 2013. 2012 Yearbook of statistic (<http://stat.cb21.net>, accessed at 8. Dec. 2014)
- Cochran WG. 1977. *Sampling techniques*. 3rd ed. John Wiley & Sons.
- FEA(Federal Environment Agency). 2014. Land-use, land-use change and forestry. In: *National Inventory Report, Germany 2014*. pp 484-517.
- GIR(Greenhouse Gas Inventory & Researches Center). 2014a. 2013 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea. (in Korean).
- GIR(Greenhouse Gas Inventory & Researches Center). 2014b. *National Greenhouse Gas Inventory - Guideline for Measurement, Reporting, Verification* -. (in Korean).
- Hayashi M, Hori S, Awaya Y, Matsumoto M, Iehara T. 2008. Evaluation of ARD monitoring method under Article 3.3 of the Kyoto Protocol. *J Japan Soc Photo & Remote Sensing* 47(3):48-58. (In Japanese with English abstract).
- 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. KFRI(Korea Forest Research Institute). 2006. *The 5th National Forest Inventory - Field manual* -. (in Korean).
- KFRI(Korea Forest Research Institute). 2011a. *The 5th National Forest Inventory Report*. (in Korean).
- KFRI(Korea Forest Research Institute). 2011b. *The 6th National Forest Inventory and Forest Health Monitoring - Field manual* -. (in Korean).
- Kim KD, Lee SH, Kim CM. 1989. Classification and mapping of forest type using Landsat TM data and B/W infrared aerial photograph. *J Korean For Soc* 78(3):263-273. (In Korean with English abstract).
- Kim SR, Lee WK, Kwak DA, Bingng GS, Gong P, Lee JH, Cho HK. 2011. Forest cover classification by optimal segmentation of high resolution satellite imagery. *Sensors* 11: 1943-1958.
- Lee MB, Kim NS, Choe HS, Shin KH. 2003. An analysis on spatio-temporal change of land cover focusing on NDVI using GIS and RS in Pyeongbuk province, Northwest Korea. *J Kor Geo Sco* 38(5):835-848.
- Lund HG. 1982. Point sampling - the role in in-place resources inventories. pp 79-84 In Brann TB, House LO, Lund H. (eds.). *In-place resources inventories; Principles and practices*. Proceedings of a National Workshop. 9-14 August. 1981. Soc. Ameri. For.
- NIES(National Institute for Environmental Studies). 2014. Supplementary information on LULUCF activities under article 3. Paragraphs 3 and 4 of the Kyoto Protocol. In: *National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan*. pp 11.1-11.53.
- SEPA(Sweden Environmental Protection Agency). 2014. *Land-use, Land-use Change and Forestry*. In: *National Inventory report Sweden 2014*. pp 326-361.
- Statistics Finland. 2014. *Land-use, land-use change and forestry*. In: *Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2012*. pp 265-343.
- Vesterby M, Heimlich RE. 1991. Land use and demographic change : Results from fast-growth counties. *Land Eco* 67 (3):279-291.
- Yim JS, Kleinn C, Cho HK, Shin MY. 2010. Integration of digital satellite data and forest inventory data for forest cover mapping in Korea. *J For & Tech* 6:87-96.
- Yim JS, Jung IB, Kim JC, Kim SH, Shin MY. 2012. Estima-

- tion of forest growing stock by combining annual forest inventory data. J Korean For Soc 101(2):213-219.
- Yoo SJ, Lee WK, Lee SH, Kim ES, Lee JY. 2011. Approach for suitable site selection and analysis for reforestation CDM using satellite image and spatial data in North Korea. 2011. J Korean Geo Info & Sys 19(3):3-11. (In Korean with English abstract).