

표본점 설계방법과 적용 단목재적식 변경에 따른 임목축적 차이의 구명

한원성¹ · 김성호¹ · 김종찬¹ · 신만용^{2*}

¹국립산림과학원 산림자원정보과, ²국민대학교 산림자원학과

Analysis of Difference in Growing Stock Volume Estimates by the Changes of Cluster Plot Design and Volume Equation

Won Sung Han¹, Sung Ho Kim¹ and Chong Chan Kim¹ and Man Yong Shin^{2*}

¹Division of Forest Resource Information, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

²Department of Forest Resources, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

요 약: 본 연구는 2006년부터 시작된 국가산림자원조사부터 표본점 설계방법과 적용 단목재적식을 변경하여 적용함으로써 과거와는 다른 임목축적 추정치의 경향을 보이고 있어 그 원인을 구명하기 위해 수행하였다. 이를 위해 본 연구에서는 20개 집락의 80개 표본점을 대상으로 제4차 및 제5차 국가산림자원조사의 표본점 설계방법에 따라 자료를 수집한 후, 현재 사용하고 있는 수종별 단목재적식과 과거에 사용하였던 단목재적식을 적용하여 임목축적을 추정 후 표본점 설계 방법 및 적용 단목재적식의 변경에 따른 임목축적 추정치의 차이가 있는지를 평가하였다. 임목축적 차이의 원인을 구명하기 위해 t-검정을 실시한 결과 표본점 설계방법의 변경에 따른 임목축적의 차이는 인정되지 않았으며, 사용된 단목재적식의 변경에 의해서 통계적으로 인정할 수 있는 임목축적의 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 결과적으로 제5차 국가산림자원조사를 통해 얻어지는 임목축적은 적용 단목재적식의 변경에 의해 차이가 발생하기 때문에, 국제기구에 보고하기 위해서는 재계산을 통해 2006년 이전의 임목축적 추정치의 보정이 필요할 것으로 평가되었다.

Abstract: Korea National Forest Inventory System has been adopting different cluster plot design and new equations to estimate growing stock volumes since 2006. These changes have resulted in volume estimations which show some difference from previous ones. This study is to find out the source of such difference. For this, relevant data was collected from 80 plots of 20 cluster samples according to the cluster plot design applied to 4th and 5th National Forest Inventory. Then growing stock volumes were estimated by using current and previous individual tree volume equations respectively. An investigation was made to detect whether such difference in volume estimates was originated from the changes in cluster plot design or from using different volume equations. T-test results showed that the difference from changes in cluster plot design was negligible. Instead, changes in volume equations had statistically significant effects in volume estimation. Since the volume estimation by the 5th National Forest Inventory would bring overestimation by applying different volume equations, all the volume estimations made prior to 2006 would require necessary modifications for international reporting.

Key words : national forest inventory(NFI), growing stock volume estimation, t-test, cluster sample plots

서 론

우리나라는 1972년부터 1975년까지 최초의 국가산림자원조사(National Forest Inventory; NFI)라고 할 수 있는 제1차 전국산림실태조사를 실시한 이후, 제2차(1978~1980년) 그리고 제3차(1986~1992년)를 거쳐 제4차 전국산림자

원조사를 1996년부터 2005년까지 시행하였는데 주로 임목자원 위주의 조사를 실시하였다(산림청, 2005). 이와 같이 그동안의 산림자원조사는 임목자원 중심의 자료를 수집하였기 때문에 산림자원과 관련된 다양한 정보를 수집하는데 한계가 있었다(신만용과 한원성, 2006). 하지만 1990년대 이후 국내의 여건 변화에 따라 산림의 다양한 정보를 수집할 수 있는 새로운 산림자원조사체계로의 개편 필요성이 대두되었다(신만용 등, 2002; Kleinn, 1994;

*Corresponding author
E-mail: yong@kookmin.ac.kr

Ghosh and Innes, 1996; Tomppo *et al.*, 2001). 즉, 국가 산림자원조사를 통해 이전과는 달리 임목자원뿐만 아니라 생태환경 등의 다양한 인자를 측정할 수 있는 조사체계로의 개편에 대한 필요성이 강하게 대두되었다(Tokola and Shrestha, 1999; Magnussen *et al.*, 2000).

이러한 여건에서 우리나라는 2006년부터 시작된 제5차 NFI부터는 새로운 조사체계에 따라 산림자원정보를 수집하고 있다. 제4차 전국산림자원조사에서는 기본계획구별로 임상별 산림면적의 비율에 따라 층화집락추출법을 적용하여 자료를 수집한 후 산림통계를 산출하였지만, 제5차 NFI부터는 전국을 대상으로 일정한 거리마다 표본점을 배치하는 계통적 집락추출법을 적용하여, 임목자원 이외의 다양한 산림환경생태 관련 자료를 수집하고 있다(국립산림과학원, 2008).

한편 산림의 다양한 기능에 대한 사회적 요구가 증가함에 따라 국제기구에서는 국가별로 연년 산림통계의 보고를 요구하고 있으며, 보고된 산림통계는 통계 산출과정의 투명성과 정확도를 검증받는 체계를 채택하고 있다. 특히 우리나라의 경우와 같이 산림통계 산출을 위한 표본조사 방법이나 통계산출 방법이 달라졌을 경우, 이전 산림통계의 재계산을 요구하고 있는 실정이다(국립산림과학원, 2004). 따라서 우리나라가 국제적으로 신뢰를 받을 수 있는 산림정보를 제시하기 위해서는 표본조사 방법의 변경에 따라 이전 산림통계를 재계산한 후 합리적인 보정을 실시하여야 한다. 즉, 표본조사 방법의 변경에 의해 산림통계 추정치에 차이가 있을 경우, 그 차이의 양과 원인을 구명하여 재계산하는 작업이 필요하다.

본 연구는 이전 산림통계의 재계산을 위한 사전정보를 확보하기 위해 제4차 전국산림자원조사에서 사용하였던 표본점 설계방법과 적용 단목재적식, 그리고 현재 사용하고 있는 표본점 설계방법과 적용 단목재적식을 사용하여 임목축적을 추정한 후, 추정치가 통계적으로 차이가 있는지를 구명함으로써 표본조사 방법의 변경에 따른 산림통계 차이의 양과 원인을 파악하여 재계산에 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 자료의 수집

본 연구에서는 표본점 설계방법에 따라 산림통계의 차이가 있는지를 파악하기 위해 동일한 지점에서 Figure 1과 같이 제4차 NFI까지 사용하였던 표본점 설계방법(Type 1)과 제5차 NFI에서 사용하고 있는 표본점 설계방법(Type 2)에 의해 자료를 수집한 후, 통계분석을 통해 두 가지 표본점 설계에 의한 산림통계의 차이 유무를 점검하고자 하였다. Type 1의 표본점 설계방법은 중심표본점에서 0°,

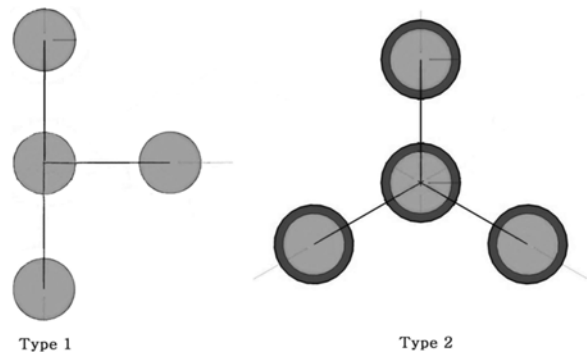


Figure 1. Structures of two cluster plot designs used in this study.

90°, 180°의 3개 방향으로 50 m의 거리에 부표본점을 배치하는 방법으로, 반경 12.6 m(0.05 ha)의 원형표본점 내에 생육하고 있는 흉고직경 6cm 이상의 모든 임목을 측정하는 방법이다(국립산림과학원, 1996).

반면에 Type 2는 현재 진행되고 있는 제5차 NFI에서 사용하고 있는 표본점 설계방법으로 중심표본점으로부터 0°, 120°, 240°의 3방향으로 각각 50 m 거리에 부표본점을 배치하는 방법이다. 각 표본점은 다중원의 형태로 설치되며, 임목의 조사는 반경 11.3 m(0.04 ha)의 원형표본점에서는 흉고직경 30 cm 미만의 소중경목의 조사가 이루어지고, 반경 16 m(0.08 ha)의 원형표본점에서는 흉고직경 30 cm 이상의 대경목에 대한 조사가 이루어지도록 설계되어 있다(국립산림과학원, 2008).

본 연구에서 사용된 자료는 Figure 1과 같은 두 가지의 표본점 설계방법을 적용하여 20개의 집락(cluster)에서 각각 80개씩 총 160개의 표본점 조사를 통해 수집하였다. 자료 수집은 2006년과 2007년에 진행된 제5차 NFI 표본점 중 일부인 경기도의 9개 시군과 충청북도의 1개 시군에서 이루어졌으며, 20개 집락의 임분 정보는 Table 1과 같다. 조사 대상 집락의 임상은 침엽수림이 4개, 활엽수림이 11개, 그리고 혼효림이 5개로 구성되어 있었다. 한편 조사 대상지의 영급은 II영급에서 V영급까지 분포하고 있지만 대부분 III영급과 IV영급으로 구성되어 있어, 현재 우리나라 산림의 영급구조와 유사한 것으로 나타났다(한원성 등, 2009; 산림청, 2007). 또한 조사지의 영급은 대경급 임분은 없으며 대부분 소경급과 중경급으로 구성되어 있다.

2. 통계분석 방법

우리나라는 제5차 NFI를 기점으로 표본점 설계방법 뿐만 아니라 적용 단목재적식을 변경하여 사용하고 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 Type 1은 2006년 이전인 제4차 NFI의 표본점 설계방법이며, Type 2는 제5차 NFI에서 채택하고 있는 표본점 설계방법이다. 또한 우리나라에서 단목재적을 계산하기 위해 2003년 이전에 사용하였던 수종

Table 1. Stand information of cluster plots used in this study.

Cluster No.	Area	Forest Type	Age Class	Diameter Class ^a
1	Goyang, Gyeonggi-do	Hardwood	IV	2
2	Goyang, Gyeonggi-do	Hardwood	V	1
3	Ueiwang, Gyeonggi-do	Hardwood	IV	1
4	Hanam, Gyeonggi-do	Hardwood	IV	1
5	Hanam, Gyeonggi-do	Hardwood	III	2
6	Gwangju, Gyeonggi-do	Conifers	IV	2
7	Gwangju, Gyeonggi-do	Hardwood	IV	2
8	Namyangju, Gyeonggi-do	Mixed	V	2
9	Namyangju, Gyeonggi-do	Conifers	IV	2
10	Yongin, Gyeonggi-do	Mixed	IV	1
11	Yongin, Gyeonggi-do	Mixed	III	2
12	Namyangju, Gyeonggi-do	Hardwood	IV	1
13	Namyangju, Gyeonggi-do	Hardwood	III	1
14	Gwangju, Gyeonggi-do	Mixed	IV	1
15	Yangpyung, Gyeonggi-do	Conifers	III	2
16	Gapyung, Gyeonggi-do	Hardwood	IV	2
17	Yangpyung, Gyeonggi-do	Hardwood	II	1
18	Yeosu, Gyeonggi-do	Mixed	IV	2
19	Yeosu, Gyeonggi-do	Conifers	IV	2
20	Gwasan, Chungcheongbuk-do	Hardwood	III	1

a : 1=Small-diameter class, 2=Medium-diameter class, 3=Large-diameter class

별 재적식은 아래의 식과 같이 흉고직경과 수고를 이용하여 재적을 추정하는 일종의 Schumacher식이다.

$$V = aD^bH^c$$

여기서 V=단목재적, D=입목의 흉고직경, H=입목의 수고, 그리고 a, b, c=추정해야 할 회귀계수이다.

반면에 제5차 NFI부터는 표본점 설계방법의 변경과 함께 새로운 수종별 단목재적식을 적용하고 있다. 현재는 수종별 단목재적을 '입목자원 평가·예측 프로그램'에 의해 자동적으로 산출하고 있는데, 이 프로그램은 Kozak식에 의해 수피포함 수간곡선식을 구하여 이를 10 cm 간격으로 분류한 후 재적을 Smalian식에 의해 산출하는 방법이다(산림청, 2009).

본 연구에서는 표본점 설계방법과 적용 단목재적식의 변경에 의해 산출되는 입목축적에 차이가 있는지를 구명하기 위해 통계분석을 실시하였다. 이를 위해 20개 집락에서 Type 1과 Type 2의 표본설계 방법에 따라 각각 80개씩 총 160개의 표본점 자료를 수집하고, 이 자료에 두 가지 단목재적식을 적용하여 ha당 입목축적을 산출한 후 통계분석을 통해 입목축적 추정치의 차이가 있는지 검증하였다. 먼저 Type 1과 Type 2의 표본점 설계방법에 의해 각각 수집된 자료를 대상으로 2003년 이후에 사용하고 있는 '입목자원 평가·예측 프로그램'(국립산림과학원, 2004)에 의해 ha당 입분재적 V_1 과 V_2 를 산출하였다. 다음은 Type 1과 Type 2에 의해 수집된 자료를 대상으로 2003년

이전에 사용하였던 단목재적식을 적용하여 ha당 입분재적 V_3 과 V_4 를 각각 산출하였다.

결과적으로 표본점 설계방법과 적용 단목재적식의 변경에 따라 산출된 입목축적의 차이가 있는지 검증하기 위해 통계검증을 실시하였다. 즉, 표본점 설계방법에 의해 차이가 있는지를 확인하기 위해 V_1 과 V_2 그리고 V_3 와 V_4 를 비교하였으며, 적용 단목재적식의 변경에 의해 입목축적의 차이가 발생했는지를 확인하기 위해 V_1 과 V_3 그리고 V_2 와 V_4 을 비교하였다. 이를 위해 사용한 통계적 검증 방법은 t-검정이며, 입목축적 차이가 통계적으로 인정되는지를 검증하기 위한 t-통계량의 계산식은 다음과 같다(채영암 외, 1987; 신만용과 한원성, 2006).

$$t^* = \frac{\bar{D}}{s_{\bar{D}}}$$

여기서, $t^*=t$ -통계량, \bar{D} =두 가지 방법에 의한 입목축적 차이에 대한 평균치, 그리고 $s_{\bar{D}}$ =입목축적 차이의 평균치에 대한 표준오차이다. 이와 같은 검증과정을 통해 표본점 설계방법의 변경 또는 적용된 단목 재적식의 변경에 의해 입목축적의 차이가 있는지를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 집락별표본점별 입목축적의 추정

표본점 조사를 실시한 20개 집락에 대한 표본점 설계방

Table 2. Summary of growing stock volumes estimates by cluster plot design.

Classification	Number of clusters	Estimate of volumes per hectare (m ³ /ha)			
		Mean	Min.	Max.	Standard deviation
V ₁	20	122.0	66.0	171.8	34.50
V ₂	20	117.2	17.4	184.6	42.34
V ₃	20	104.0	54.7	154.4	28.80
V ₄	20	109.2	18.8	185.0	40.14

Table 3. Estimates and differences of growing stock volumes by sampling plots.

Cluster No.	Plot No.	Volume/ha (m ³ /ha)				Difference			
		V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁ -V ₂	V ₃ -V ₄	V ₁ -V ₃	V ₂ -V ₄
1	1	133.0	127.6	121.9	117.2	5.4	4.7	11.1	10.3
	2	166.7	166.3	166.3	167.0	0.4	-0.7	0.4	-0.7
	3	154.5	146.0	160.9	146.6	8.5	14.3	-6.4	-0.6
	4	117.8	129.9	102.8	114.2	-12.1	-11.4	15.0	15.7
2	1	88.6	81.8	84.3	75.1	6.7	9.2	4.3	6.7
	2	91.4	72.7	108.8	86.4	18.7	22.4	-17.4	-13.7
	3	136.7	98.7	140.4	105.1	38.0	35.3	-3.7	-6.5
	4	131.3	116.3	117.6	111.0	15.0	6.5	13.7	5.2
3	1	108.3	108.3	100.7	100.7	0.0	0.0	7.6	7.6
	2	130.1	130.1	122.8	122.8	0.0	0.0	7.3	7.3
	3	39.9	78.3	34.6	68.5	-38.4	-33.9	5.4	9.8
	4	100.0	106.3	87.7	94.2	-6.2	-6.5	12.3	12.1
4	1	149.7	143.7	129.1	123.6	6.1	5.5	20.7	20.1
	2	159.2	153.5	164.6	160.0	5.7	4.6	-5.4	-6.5
	3	99.5	81.2	87.3	70.3	18.2	17.0	12.2	10.9
	4	155.8	90.8	139.7	77.9	65.0	61.8	16.0	12.9
5	1	170.5	177.2	148.1	153.8	-6.6	-5.7	22.5	23.4
	2	115.5	124.5	101.1	110.2	-8.9	-9.1	14.4	14.2
	3	123.5	0.0	109.0	0.0	123.5	109.0	14.5	0.0
	4	123.7	127.3	110.4	112.9	-3.6	-2.5	13.3	14.4
6	1	133.5	125.8	131.3	123.4	7.6	7.8	2.2	2.4
	2	224.3	224.3	259.4	216.5	0.0	42.9	-35.1	7.8
	3	84.2	147.1	71.2	145.6	-62.9	-74.4	13.0	1.5
	4	165.8	241.0	197.8	254.3	-75.2	-56.5	-32.0	-13.3
7	1	128.5	136.5	113.9	120.7	-8.0	-6.7	14.6	15.9
	2	124.1	123.5	108.7	108.2	0.7	0.6	15.4	15.3
	3	124.0	170.5	111.1	149.8	-46.5	-38.7	12.9	20.7
	4	108.3	171.8	98.2	150.6	-63.5	-52.4	10.1	21.2
8	1	140.0	146.4	131.7	136.3	-6.4	-4.6	8.3	10.0
	2	174.1	194.9	162.1	180.1	-20.9	-18.1	12.0	14.8
	3	90.7	142.2	82.6	126.7	-51.5	-44.2	8.1	15.5
	4	71.9	189.5	63.9	176.2	-117.5	-112.4	8.1	13.2
9	1	261.9	247.0	257.9	243.2	14.9	14.7	4.0	3.8
	2	246.5	238.0	232.6	224.5	8.5	8.1	13.9	13.5
	3	58.6	21.6	54.1	19.8	37.0	34.3	4.4	1.7
	4	86.2	110.6	84.1	106.7	-24.4	-22.7	2.1	3.9
10	1	117.2	111.5	116.4	109.2	5.6	7.2	0.8	2.3
	2	55.9	49.4	48.2	42.4	6.5	5.8	7.7	7.0
	3	128.2	178.6	152.2	207.2	-50.4	-55.1	-24.0	-28.7
	4	104.0	90.5	115.0	86.1	13.5	29.0	-11.0	4.5
11	1	121.5	104.9	124.3	96.8	16.7	27.5	-2.7	8.1
	2	296.5	222.5	283.4	210.7	74.1	72.7	13.1	11.7
	3	125.9	105.1	121.7	92.7	20.8	28.9	4.3	12.4
	4	112.3	130.5	109.9	120.8	-18.3	-10.9	2.4	9.8
12	1	147.5	139.8	130.8	123.8	7.7	6.9	16.7	15.9
	2	16.5	24.6	15.2	22.9	-8.1	-7.7	1.2	1.7
	3	109.5	111.2	98.4	98.4	-1.7	0.0	11.1	12.9
	4	103.8	147.9	91.5	128.5	-44.2	-37.0	12.3	19.5

Table 3. Estimates and differences of growing stock volumes by sampling plots.

Cluster No.	Plot No.	Volume/ha (m ³ /ha)				Difference			
		V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁ -V ₂	V ₃ -V ₄	V ₁ -V ₃	V ₂ -V ₄
13	1	19.6	19.6	16.7	16.7	0.0	0.0	2.9	2.9
	2	46.2	46.2	41.0	41.0	0.0	0.0	5.2	5.2
	3	123.5	59.1	123.7	52.7	64.3	71.1	-0.3	6.4
	4	97.4	17.0	98.3	14.4	80.4	83.9	-0.9	2.6
14	1	133.9	125.5	121.3	113.7	8.4	7.6	12.5	11.7
	2	169.1	169.1	152.0	152.0	0.0	0.0	17.1	17.1
	3	210.7	160.1	190.6	144.4	50.6	46.2	20.2	15.7
	4	52.3	89.8	45.3	80.4	-37.5	-35.1	7.0	9.4
15	1	21.7	21.7	21.7	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	2	89.1	103.4	89.0	102.2	-14.3	-13.2	0.1	1.2
	3	97.2	16.4	98.8	15.8	80.8	83.0	-1.6	0.6
	4	84.4	119.3	75.0	104.6	-34.8	-29.6	9.5	14.6
16	1	175.5	128.4	159.9	115.2	47.1	44.7	15.6	13.1
	2	196.3	175.6	181.4	162.9	20.6	18.5	14.8	12.7
	3	95.5	48.0	86.3	42.1	47.5	44.2	9.2	5.9
	4	150.9	192.6	149.2	172.0	-41.7	-22.8	1.6	20.6
17	1	11.3	11.3	9.7	9.7	0.0	0.0	1.6	1.6
	2	9.7	9.7	9.7	9.9	0.0	-0.2	0.0	-0.2
	3	145.6	18.2	130.5	29.0	127.4	101.6	15.1	-10.7
	4	121.8	30.4	136.9	26.7	91.4	110.2	-15.1	3.7
18	1	190.2	173.2	190.7	172.5	17.1	18.2	-0.5	0.7
	2	177.8	184.3	174.4	171.3	-6.5	3.1	3.4	13.0
	3	173.8	107.8	196.0	94.7	65.9	101.3	-22.2	13.2
	4	145.4	86.8	129.3	76.7	58.6	52.6	16.1	10.2
19	1	162.8	155.7	145.0	138.4	7.1	6.6	17.8	17.3
	2	190.4	190.4	169.6	169.6	0.0	0.0	20.8	20.8
	3	132.9	199.4	117.3	179.9	-66.4	-62.6	15.6	19.4
	4	113.3	46.3	100.8	42.2	67.0	58.7	12.5	4.1
20	1	81.5	75.0	70.4	64.6	6.5	5.7	11.1	10.4
	2	23.8	23.8	20.3	20.3	0.0	0.0	3.6	3.6
	3	75.3	159.0	68.1	147.1	-83.7	-79.0	7.3	11.9
	4	83.5	102.3	78.1	93.0	-18.8	-14.9	5.4	9.3
Mean		122.0	117.2	116.3	109.2	4.8	7.1	5.7	7.9

법 및 적용 단목재적식별 ha당 임목축적 추정치를 요약한 결과는 Table 2와 같다. 제4차 NFI에 사용되었던 표본점 설계방법(Type 1)에 의해 수집된 자료를 ‘임목자원 평가·예측 프로그램’을 이용하여 임목축적을 산출한 V₁의 경우 20개 집락의 평균 ha당 축적은 122.0±34.5 m³인 것으로 추정되었으며, 최소가 66.0 m³ 그리고 최대가 171.8 m³로 분석되었다. 반면 제5차 NFI에 사용되고 있는 표본점 설계방법(Type 2)에 의해 수집된 자료를 ‘임목자원 평가·예측 프로그램’에 의해 임목축적을 산출한 V₂는 20개 집락의 평균 ha당 축적이 117.2±42.3 m³이며 최소가 17.4 m³ 그리고 최대는 184.6 m³인 것으로 나타났다. 결과적으로 V₂는 V₁에 비해 집락별 추정치의 변이가 훨씬 큰 것으로 분석되었다. 또한 Type 1의 표본점 설계방법에 의해 수집된 자료를 기존에 사용하였던 재적식을 적용하여 산출한 임목축적 V₃는 ha당 축적의 최소가 54.7 m³, 최대가

154.4 m³으로 분석되었으며, 평균 임목축적은 104.0±28.8 m³로 추정되었다. 그리고 Type 2에 의해 수집된 자료를 기존에 사용하였던 재적식을 이용하여 임목축적을 산출한 V₄는 평균 임목축적이 109.2±40.1 m³로 추정되었으며, 임목축적의 최소가 18.8 m³, 최대가 185.0 m³로 분석되었다. 전체적인 표준편차는 Type 2 형태의 표본점 설계방법에 의해 수집된 자료가 훨씬 더 큰 것으로 나타났다.

Table 3은 연구 대상지인 20개 집락의 80개 표본점에 대한 V₁, V₂, V₃, 그리고 V₄의 추정치 및 차이를 서로 비교한 것이다. 표본점 설계방법을 다르게 적용하여 자료를 수집한 후 동일한 단목재적식에 의해 추정된 V₁과 V₂는 최소 0.0 m³에서 최대 127.4 m³까지 차이가 나는 것으로 나타났다. 특히 각 집락의 1번과 2번 표본점은 비교적 차이가 적은 반면, 3번과 4번 표본점은 상대적으로 차이가 큰 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 Figure 1과 같이 1, 2

번 표본점의 경우 같은 지점에서 서로 다른 표본점 설계 방법에 의해 수집된 자료이지만, 3, 4번 표본점의 경우 표본점의 위치와 함께 표본점 설계방법이 다르기 때문에 차이가 크게 나타나고 있는 것으로 판단된다. 일부 표본점의 임목축적 추정치는 상대적으로 차이가 크지만, 전체 80개 표본점에 대한 차이의 평균값은 약 4.8 m³로 비교적 차이가 크지 않은 것으로 분석되었다. 한편 V₃와 V₄의 각 표본점별 임목축적은 0.0 m³에서 최대 112.4 m³까지 차이가 있는 것으로 추정되었는데, 이는 V₁과 V₂의 임목축적 차이보다는 다소 편차가 적은 것이다. 하지만 80개 표본점 전체에 대한 임목축적 차이의 평균값은 7.1 m³으로 더 큰 것으로 분석되었다.

동일한 표본점 설계방법을 적용하여 자료를 수집한 후 다른 단목재적식에 의해 추정된 V₁과 V₃의 임목축적은 표본점별로 0.0 m³에서 35.1 m³의 범위에서 차이를 보였다. 또한 전체 80개 표본점의 임목축적 차이의 평균값은 약 5.7 m³인 것으로 분석되었다. 한편 V₂와 V₄의 임목축적 차이는 표본점별로 0.0 m³에서 28.7 m³까지 비교적 적게 추정되었으며, 그 차이의 평균값은 7.9 m³으로 분석되었다.

이상과 같이 동일한 지역에서 두 가지 표본점 설계방법과 다른 단목재적식을 적용하여 ha당 임목축적을 추정하였을 경우, 적용 방법에 따라 임목축적 추정치는 차이가 있음을 확인 할 수 있었다. 이 경우 다른 표본점 설계방법에 의해 자료를 수집한 후 동일한 단목재적식으로 추정된 임목축적의 차이에 대한 평균치는 ha당 약 4.8 m³과 7.1 m³으로 상대적으로 작은 것으로 분석되었다. 하지만 동일한 표본점 설계방법으로 자료를 수집하였지만 다른 재적식을 적용하였을 경우에는 임목축적 차이에 대한 평균치가 ha당 약 5.7 m³과 7.9 m³로 비교적 크게 나타났다.

2. 표본점 설계방법 변경에 따른 임목축적의 차이 구명

동일한 집락에서 두 가지 형태의 표본점 설계방법에 의해 수집된 자료를 분석한 결과, 표본점 설계방법이 다를 경우 각 표본점의 임목축적 추정치는 상당한 차이를 나타내고 있었다. 이는 본 연구에서 사용된 두 가지 표본점 설계방법이 이동거리가 짧으면서 이질성을 가진 자료를 효율적으로 수집하는데 적합한 집락추출법(cluster sampling)의 형태를 채택하고 있기 때문으로 판단된다(신만용과 한원성, 2006). 이러한 결과에 대하여 두 가지 표본점 설계방법이 통계적인 관점에서 ha당 임목축적의 추정에 영향

을 미치는지를 파악하기 위해 t-검정을 실시한 결과는 Table 4와 같다.

Type 1과 Type 2의 표본점 설계 방법에 따라 수집한 자료를 ‘임목자원 평가·예측 프로그램’에 의해 산출한 임목축적 V₁과 V₂를 비교한 결과, ha당 임목축적 추정치의 차이는 평균적으로 4.83 m³이며, 표본점별 임목축적의 차이에 대한 표준오차는 4.82 m³인 것으로 분석되었다. 통계검정 결과 두 가지 방법 간의 ha당 임목축적 추정치의 차이 유무를 검정할 수 있는 t 통계량은 1.00이며, 이에 대한 유의성 검정의 결과를 보면 P 값이 31.94%로 두 방법 간에 통계적으로 차이가 없다는 귀무가설을 기각할 수 있는 어떤 근거를 찾을 수 없었다. 한편 서로 다른 표본점 설계 방법에 따라 수집된 자료를 2003년 이전까지 사용하였던 재적식에 의해 임목축적을 산출한 V₃와 V₄를 비교하였을 경우, ha당 임목축적 추정치의 차이는 평균적으로 7.07 m³이며, 표본점별 임목축적의 차이에 대한 표준오차는 4.67 m³이었다. 이 경우 t 통계량은 -1.09이며 P 값이 13.39%로 두 방법에 의한 임목축적 추정치는 통계적으로 차이가 없는 것으로 분석되었다. 즉, 본 연구에서 20개 집락에서 80개 표본점을 대상으로 수집한 자료를 비교한 결과, 동일한 재적식을 적용하였을 경우에는 서로 다른 두 가지 표본점 설계방법으로 자료를 수집하였다 하더라도 ha당 임목축적 추정치는 통계적으로 차이가 없음을 알 수 있다. 결과적으로 표본점 설계방법의 변경에 따른 임목축적의 차이는 인정되지 않는 것으로 평가되었다.

이상과 같이 본 연구에서는 표본점 설계방법의 변경에 따른 임목축적의 차이가 있는지를 구명하였다. 하지만 본 연구에서는 단순히 표본점 설계방법만을 비교하여 임목축적의 차이를 점검하였기 때문에 표본설계에 따라 달라지는 임목축적 추정치의 차이에 대해서는 확인할 수 없는 한계를 가지고 있다. 표본설계의 관점에서 보면 제4차 NFI는 층화집락추출법을 사용하여 임상별·기본계획구별로 표본점을 배치하였지만, 제5차 NFI에서는 계통적 집락추출법을 사용하여 일정한 거리마다 표본점을 배치하는 방법을 사용하였다. 이는 일정한 거리마다 집락을 설치하여 자료를 수집하는 방법이 우리나라와 같은 지형에서는 비용과 시간을 절약하면서 최대한 많은 자료를 수집할 수 있는 효율적인 방법으로 평가받고 있기 때문이다(신만용과 한원성, 2006; 한원성, 2004; Yim *et al.*, 2009). 따라서 앞으로 층화추출법과 계통적 추출법을 비교하여 임목축적의 차이 유무를 평가하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3. 적용 단목재적식의 변경에 따른 임목축적의 차이 구명

적용 단목재적식의 변경에 따른 임목축적 추정치의 차이가 있는지를 평가하기 위해 t-검정을 실시한 결과는

Table 4. Results of t-test for difference of growing stock volumes by cluster plots.

Classification	n	D	S _D	t*	Prob< t
V ₁ -V ₂	80	4.83	4.82	1.00	0.3194
V ₃ -V ₄	80	7.07	4.67	1.51	0.1339

Table 5. Results of t-test for difference of growing stock volumes by individual tree volume equations.

Classification	n	D	$S_{\bar{D}}$	t*	Prob< t
V ₁ -V ₃	80	5.71	1.26	4.55	<0.0001
V ₂ -V ₄	80	7.95	1.00	7.99	<0.0001

Table 5와 같다. Type 1에 의해 수집된 자료를 두 가지 단목재적식을 적용하여 임목축적을 산출한 V₁과 V₃을 비교하고, Type 2에 의해 수집된 자료를 두 가지 단목재적식에 의해 임목축적을 추정된 V₂와 V₄를 t-검정을 통해 비교하였다. V₁과 V₃의 ha당 임목축적 추정치의 차이는 평균적으로 5.71 m³이었으며, 표본점별 임목축적의 차이에 대한 표준오차는 1.26 m³으로 비교적 작게 나타났다. 결과적으로 두 가지 ha당 임목축적 추정치의 차이 유무를 검정할 수 있는 t 통계량은 4.55 m³이며, 이 경우 유의성 검정의 결과 통계적으로 차이가 있는 것으로 분석되었다. 또한 V₂와 V₄의 경우에는 임목축적 추정치의 차이는 7.95 m³으로 가장 큰 것으로 분석되었으며, t-검정 결과 통계적으로 유의적인 차이가 인정되었다(Table 5). 즉, 임목축적 추정을 위해 다른 단목재적식을 적용할 경우에는 통계적으로 인정할 수 있을 정도의 차이가 발생하는 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 기존에 이용하였던 단목재적식이 추정식 도출을 위해 사용된 자료가 당시의 유령림 위주로 반영되었으나, 최근에 사용되고 있는 단목재적식의 경우 추정식 도출 방법의 차이와 함께 현재 우리나라의 임분을 대표하는 소·중·대경목 자료를 이용하여 분석하였기 때문에 차이가 나타나는 것으로 판단된다.

제5차 NFI부터는 이전과는 달리 새로운 단목재적식을 사용하고 있기 때문에 본 연구에서 얻어진 결과와 마찬가지로 임목축적 추정치에 상당한 차이가 발생할 것으로 예상된다. 따라서 제5차 NFI가 마무리 되는 시점에서 이전의 임목축적을 재계산할 필요가 있다. 즉, 적용된 단목재적식에 의한 차이와 함께 임상별·영급별 생장률 등에 대한 차이를 검토하여 이전의 임목축적을 재계산하는 보정 작업이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

결 론

본 연구에서는 제4차 전국산림자원조사에서 사용되었던 표본점 설계방법과 제5차 NFI에서 새롭게 실시하고 있는 표본점 설계방법에 의해 산출되는 산림통계가 통계적으로 서로 차이가 있는지를 검증하고자 하였다. 즉, 기존의 표본점 설계방법과 임목축적 산출 방법이 새롭게 적용된 방법과 비교하여 차이가 있는지를 검증하고, 차이를 보일 경우 그 차이의 양과 원인을 파악하여 이전의 산림통계를 보정하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

이를 위해 20개의 집락을 설치하여 Figure 1의 Type 1과 Type 2의 방법에 의해 총 160개의 표본점 자료를 수집한 후, 통계분석을 통해 임목축적의 차이 유무를 t-검정을 통해 점검하였다. 서로 다른 방법에 의해 추정된 임목축적들을 비교하였을 경우, 임목축적 차이의 평균값은 표본점별로 4.83 m³에서 7.07 m³의 범위에 있는 것으로 추정되었다. 이러한 임목축적의 차이를 검증하기 위해 t-검정을 실시한 결과, 표본점 설계방법의 변화에 의해서는 통계적으로 차이가 없는 것으로 평가되었으며, 서로 다른 단목재적식을 적용하였을 경우에는 통계적으로 차이가 인정되었다.

우리나라는 2006년부터 시작된 제5차 NFI에서부터 표본점 설계방법을 변경하여 새로운 체계의 조사를 실시하고 있는데, 이러한 변화에 따라 과거 산림통계의 재계산을 위해 고려하여야 할 여러 항목 중에서 표본점 설계방법 그 자체는 산림통계에 어떤 의미 있는 차이를 제공하지 않는 것으로 평가되었다. 하지만 적용 재적식의 변경에 따른 임목축적의 차이는 통계적으로 차이가 있는 것으로 평가되었다. 결국 이전의 산림통계는 재계산을 통해 보정하는 작업이 이루어져야 할 것으로 평가되었다. 따라서 ha당 임목축적을 비롯한 과거 산림통계의 재계산을 위해서는 적용 단목재적식에 의한 차이와 과거에 적용하였던 임상별영급별 생장률 등에 대한 새로운 검토 작업이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호 : SI20709L110110)’의 지원에 의해 수행된 연구결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

인용문헌

1. 국립산림과학원. 1996. 전국산림자원조사요령. pp. 49.
2. 국립산림과학원. 2004. IPCC 우수실행 지침 -토지이용, 토지이용변화 및 임업. pp. 423.
3. 국립산림과학원. 2008. 제5차 국가산림자원조사 -현지조사 지침서 Version1.2. pp. 59.
4. 산림청. 2005. 국내의 여건변화에 따른 산림자원조사체계 개편 연구(4차). pp. 290.
5. 산림청. 2007. 임업통계연보. pp. 485.
6. 산림청. 2009. 재적중량표 및 임분수확표. pp. 271.
7. 신만용, 이규성, 노대균, 공지수. 2002. 지속가능한 산림경영을 위한 새로운 산림자원조사의 방향. 한국산림자원학회지 5(2): 10-20.
8. 신만용, 한원성. 2006. 지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방법의 개발. 한국임학회지 95(3): 370-377.
9. 채영암, 구자욱, 서혁수, 이영만. 1987. 기초 생물통계학.

- 향문사. pp. 418.
10. 한원성. 2004. 지속가능한 산림경영을 위한 산림자원통계 산출방법의 개발. 국민대학교 대학원 석사학위논문 pp. 74.
 11. 한원성, 조구현, 오재현, 송태영, 김재원, 신만용. 2009. 체인톱을 이용한 잣나무의 벌도작업 공정 분석. 한국임학회지 98(4): 451-457.
 12. Ghosh, S. and Innes, J.L. 1996. Comparing sampling strategies in forest monitoring program. Forest Ecology and Management 82: 231-238.
 13. Kleinn, C. 1994. Comparison of the performance of line sampling to other forms of cluster sampling. Forest Ecology and Management 68: 365-373.
 14. Magnussen, S., Boundewyn, P.I., Wulder, M. and Seemann, D. 2000. Predictions of forest inventory cover type proportions using Landsat TM. Silva Fennica 34(4): 351-370.
 15. Tokola, T. and Shrestha, S.M. 1999. Comparison of cluster-sampling techniques for forest inventory in southern Nepal. Forest Ecology and Management 116: 219-231.
 16. Tomppo, E., Korhonen, K.T., Heikkinen, J. and Hannu, Y. 2001. Multi-Source inventory of the Forests of the Hebei Forestry Bureau, Heilongjiang, China. Silva Fennica 35(3): 309-327.
 17. Yim, J.S., Kleinn, C., Kim, S.H., Jung, J.H. and Shin, M.Y. 2009. A comparison of systematic sampling designs for forest inventory. Journal of Korean Forest Society 98(2): 133-141.
-
- (2010년 2월 23일 접수; 2010년 4월 9일 채택)