

한라산국립공원 자연자원조사

2012. 12

제주특별자치도 한라산연구소

탄소저장량

조사위원 : 박인협

1._ 서 론

2._ 조사범위 및 방법

- 가. 조사지 선정 및 조사구 설정
- 나. 식생조사 및 산림구조분석
- 다. 임목 바이오매스
- 라. 임목 탄소저장량
- 마. 토양 탄소량

3._ 결과 및 고찰

- 가. 산림구조
- 나. 임목 바이오매스
- 다. 탄소저장량

4._ 요약

5._ 인용문헌

1. 서론

최근 화석연료의 사용 증가와 대규모 벌채 등으로 인한 대기 중 CO₂ 농도의 증가와 지구 온난화가 세계적인 환경문제로 대두되고 있으며, 1997년 채택된 교토 의정서(Kyoto Protocol)를 계기로 산림에 의한 지구온난화 방지를 위한 국제적인 노력이 모색되고 있다. 이와 관련하여 세계의 주요국들은 산림의 탄소저장량을 추정하는 연구가 이루어지고 있으며, 국내에서도 전국 규모 산림의 탄소저장량에 대한 연구가 진행되고 있다(국립산림과학원, 2010). 국립공원의 탄소저장량에 대한 연구는 북한산, 설악산, 속리산, 지리산국립공원 등에 대한 기초적인 연구가 보고되었으나(이나연, 2010a; 2010b; 2011a; 2011b), 한라산국립공원의 경우 이루어지지 않고 있다.

임목은 광합성을 통하여 대기 중의 탄소를 체내 물질로 전환하여 저장한다. 식물체를 구성하고 있는 원소 중 그 양이 가장 많은 것이 탄소로서, 임목의 경우 약 50%가 탄소이다(Satoo and Madgwick, 1982; 송철영 등 1997). 산림의 탄소저장량은 전체 임목의 건중량에 탄소함량을 곱함으로써 산출할 수 있으며, 산림의 탄소저장량을 파악하기 위해서는 임목 전체의 건중량 즉, 바이오매스를 추정하는 것이 선행과제이다. 바이오매스는 흉고직경을 독립변수로 하고 건중량을 종속변수로 하는 상대생장식과 매목조사시 측정된 흉고직경 자료에 의하여 추정할 수 있다(Whittaker and Marks, 1975; Peichl and Arain, 2007).

이 연구는 한라산국립공원내 주요 산림식생 중 침엽수천연림인 소나무림, 침엽수인공림인 삼나무림, 낙엽활엽수림, 상록활엽수림 등 4개 유형의 산림식생을 대상으로 산림구조, 임목 바이오매스, 임목과 토양의 탄소저장량 등을 구명하는 데 목적이 있다.

2. 조사범위 및 방법

가. 조사지 선정 및 조사구 설정

제주특별자치도 한라산연구소의 기존 자료인 한라산국립공원의 현존식생별 분포면적(표 1)을 참조하여 한라산국립공원 주요 산림식생 중 침엽수천연림인 소나무림, 침엽수인공림인 삼나무림, 낙엽활엽수림, 상록활엽수림 등 4개 유형의 산림식생을 조사대상림으로 하였으며, 조사지는 조사대상림별 대

표적인 임상을 보이는 지역으로 선정하였다(표 2, 그림 1, 2). 조사구는 조사 지별 대표적인 산림구조를 보이는 지점에 30m×30m 정방형구로 설정하였다.

표 1. 한라산국립공원의 현존식생별 분포면적(한라산연구소 자료)

식생명	분포면적 (ha)	비율 (%)	주요 구성종
초지 및 암반	389.714	2.5	제주조릿대, 털새, 김의털 등
관목림	778.482	5.1	산철쭉, 털진달래, 눈향나무 등
침엽수림	2,715.644		
구상나무림	795.316	5.2	구상나무, 사스래나무 등
소나무림	1,324.375	8.6	소나무, 졸참나무, 서어나무 등
곰솔림	464.287	3.0	곰솔
삼나무림	131.666	0.9	삼나무
낙엽활엽수림	11,206.983	73.1	졸참나무, 서어나무, 신갈나무 등
상록활엽수림	157.097	1.0	구실잣밤나무, 붉가시나무 등
기타 (도로, 시설지구 등)	85.265	0.6	
합 계	15,333.185	100	

표 2. 조사지의 위치 및 개황

산림식생	GPS		격자 번호	해발고 (m)	경사 (°)	방위
	위도	경도				
소나무림	33°20'55"N	126°29'42"E	38	1,238	10	SW
삼나무림	33°23'55"N	126°28'21"E	10	790	6	NW
낙엽활엽수림	33°21'54"N	126°28'04"E	28	1,097	5	NW
상록활엽수림	33°20'26"N	126°36'46"E	44	556	5	SE

나. 식생조사 및 산림구조 분석

각 조사구내에 출현하는 목본식물을 대상으로 교목층, 아교목층, 관목층으로 구분하여 교목층과 아교목층은 수종, 흉고직경 등의 매목조사를 하였다. 관목층의 경우 수종 구분 없이 전체 식피율과 평균 수고를 조사하였다. 식생층의 구분은 Monk *et al.*(1969)의 방법을 참조하여, 흉고직경 1cm 이상의 수목중 상층입관을 이루는 수목군을 교목층, 상층입관 하의 수목군을 아교목층으로 하였다. 관목층은 흉고직경 1cm 미만의 수목군으로 하였다.



그림 1. 한라산국립공원 격자와 조사지의 위치도



소나무림



삼나무림



낙엽활엽수림



상록활엽수림

그림 2. 조사지의 소나무림, 삼나무림, 낙엽활엽수림과 상록활엽수림

식생조사 결과 얻어진 자료에 의하여 조사구별 교목층과 아교목층 각 수종의 상대적인 중요도를 나타내는 척도로서 상대밀도와 상대흉고단면적의 합을 2로 나눈 값인 중요치(importance percentage, IP)를 적용하였다(Brower and Zar, 1977).

다. 임목 바이오매스

조사구별 교목층과 아교목층의 매목조사 결과와 소나무, 삼나무, 서어나무, 신갈나무, 붉가시나무 등 주요 수종의 기보고된 바이오매스 상대생장식(표 3)에 의하여 줄기, 가지, 잎, 뿌리 등의 부위별 및 임목전체의 바이오매스를 산출하였다. 주요 수종의 기타 수종의 경우 성장형 등을 고려하여, 고로쇠나무, 산벚나무, 왕벚나무, 당단풍, 팔배나무, 합다리나무 등은 서어나무의 바이오매스 상대생장식, 솔비나무, 비목나무, 산딸나무, 곰의말채, 때죽나무 등은 신갈나무의 바이오매스 상대생장식, 주목은 소나무의 상대생장식, 상록활엽수종은 붉가시나무의 바이오매스 상대생장식을 적용하였다.

라. 임목 탄소저장량

소나무림과 삼나무림 임목의 탄소저장량은 임목 바이오매스와 기보고된 소나무와 삼나무의 줄기목질부 탄소함량(산림과학원, 2010)에 의하여 산출하였다(표 4). 서어나무와 신갈나무가 우점종인 낙엽활엽수림 임목의 탄소저장량은 임목 바이오매스와 기보고된 신갈나무의 줄기목질부 탄소함량(산림과학원, 2010)에 의하여 산출하였다. 상록활엽수림의 경우 임목 바이오매스와 소나무, 삼나무, 신갈나무 탄소함량의 평균값인 50.1%를 적용하여 임목의 탄소저장량을 산출하였다.

마. 토양 탄소량

토양 탄소량은 국립산림과학원(2007)의 방법을 참조하여 조사구별 2개 지점에서 유기물층, 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-50cm 등의 토심으로 구분하여 조사분석하였다.

표 3. 주요 수종의 바이오매스 상대생장식<Y는 건중량(g), D는 흉고직경(cm), R2는 결정계수>

수종	부위	상대생장식	
		$Y=aD^b$	R^2
소나무	줄기	$Y=59.745D^{2.425}$	0.933
	가지	$Y=21.237D^{2.247}$	0.835
	잎	$Y=43.347D^{1.607}$	0.663
	뿌리	$Y=23.659D^{2.355}$	0.891
삼나무	줄기	$Y=102.600D^{2.264}$	0.918
	가지	$Y=38.802D^{1.874}$	0.589
	잎	$Y=110.600D^{1.625}$	0.395
	뿌리	$Y=80.531D^{2.031}$	0.806
서어나무	줄기	$Y=90.698D^{2.469}$	0.980
	가지	$Y=5.550D^{3.089}$	0.960
	잎	$Y=3.189D^{2.492}$	0.960
	뿌리	$Y=32.307D^{2.449}$	0.941
신갈나무	줄기	$Y=190.920D^{2.130}$	0.924
	가지	$Y=7.424D^{2.932}$	0.827
	잎	$Y=14.682D^{2.043}$	0.703
	뿌리	$Y=310.090D^{1.773}$	0.665
붉가시나무	줄기	$Y=396.594D^{2.033}$	0.904
	가지	$Y=0.136D^{4.391}$	0.688
	잎	$Y=0.384D^{3.398}$	0.579
	뿌리	$Y=27.110D^{2.591}$	0.953

※ 자료출처 : 소나무, 삼나무, 신갈나무, 붉가시나무(국립산림과학원, 2010, 2011), 서어나무(박인협, 1986)

표 4. 주요 수종의 줄기목질부와 산림의 유기물층 탄소함량

	수종(줄기목질부)			산림(유기물층)		
	소나무	삼나무	신갈나무	소나무림	삼나무림	신갈나무림
탄소함량(%)	50.7	50.9	48.8	48.1	44.3	38.2

※ 자료출처 : 국립산림과학원(2010)

유기물층은 30cm×30cm 정방형구내 낙엽층(L층), 분해층(F층), 부식층(H층) 등 유기물층 전체를 시료백에 담고 실험실로 운반하여 85℃에서 건조시킨 후 건중량을 측정하였다. 소나무림과 삼나무림의 유기물층 탄소량은 건중량과 기보고된 소나무림과 삼나무림의 유기물층 탄소함량(산림과학원 2010)에 의하여 각각 산출하였다(표 4). 서어나무와 신갈나무가 우점종인 낙엽활엽수림 유기물층의 탄소량은 건중량과 기보고된 신갈나무림의 유기물층 탄소함량(산림과학원, 2010)에 의하여 산출하였다. 상록활엽수림의 경우 유기물층 건중량과 소나무림, 삼나무림, 신갈나무림 유기물층 탄소함량의 평균값인 43.5%를 적용하여 유기물층의 탄소량을 산출하였다.

토양층은 유기물층을 걷어내고 자체적으로 제작한 간이토양시료채취기(그림 3)를 사용하여 0~10cm, 10~20cm, 20~30cm, 30~50cm 등의 토심으로 구분 채취하고 실험실로 운반한 후 석력함량, 토양용적밀도, 유기탄소농도 등을 분석하여 탄소량을 산출하였다.



그림 3. 간이토양시료채취기(지름 7.2cm, 높이 10cm)와 시료백

3. 결과 및 고찰

가. 산림구조

1) 산림개황

조사지의 산림개황은 표 5와 같다. 소나무림, 낙엽활엽수림, 상록활엽수림은 천연림이었으며, 삼나무림은 임령이 38년인 인공림으로 간벌 등의 숲가꾸기 작업이 실시된 지역이었다. 소나무림, 삼나무림, 낙엽활엽수림, 상록활엽

수림 교목층의 밀도는 각각 544본/ha, 1,044본/ha, 833본/ha, 644본/ha이었으며, 평균 흉고직경은 각각 33.3cm, 25.5cm, 22.0cm, 28.0cm이었다. 인공림으로서 숲가꾸기 작업이 실시된 삼나무림을 제외한 소나무림, 낙엽활엽수림, 상록활엽수림의 아교목층의 밀도는 각각 578본/ha, 1,300본/ha, 844본/ha이었으며, 평균 흉고직경은 각각 11.8cm, 9.6cm, 11.5cm이었다. 교목층과 아교목층 전체 즉, 흉고직경 1cm 이상인 임목 전체의 밀도와 흉고직경의 종합적인 표현이라고 할 수 있는 흉고단면적은 소나무림 63.6m²/ha, 상록활엽수림 61.7m²/ha, 삼나무림 55.5m²/ha, 낙엽활엽수림 51.9m²/ha의 순으로 많았다. 소나무림의 흉고단면적이 많은 것은 교목층의 평균 흉고직경이 33.3cm로서 개체목의 크기가 크기 때문이었으며, 낙엽활엽수림의 흉고단면적이 적은 것은 교목층의 평균 흉고직경이 22.0cm로서 개체목의 크기가 작기 때문이었다.

표 5. 조사지의 산림개황

	소나무림	삼나무림	낙엽활엽수림	상록활엽수림
교목층				
밀도(본/ha)	544	1,044	833	644
평균 수고(m)	16.2	16.4	11.3	17.1
평균 흉고직경(cm)	33.3	25.5	22.0	28.0
흉고단면적(m ² /ha)	56.3	55.3	40.7	50.6
아교목층				
밀도(본/ha)	578	11	1,300	844
평균 수고(m)	6.1	6.3	6.2	7.1
평균 흉고직경(cm)	11.8	17.0	9.6	11.5
흉고단면적(m ² /ha)	7.3	0.2	11.2	11.1
교목층+아교목층				
흉고단면적(m ² /ha)	63.6	55.5	51.9	61.7
관목층				
식피율(%)	10	5	5	20
평균 수고(m)	1.5	0.9	0.5	0.6

※ 삼나무림 : 인공림(임령 38년)

2) 종구성

소나무림, 삼나무림, 낙엽활엽수림, 상록활엽수림의 수종별 밀도와 중요치는 각각 표 6, 7, 8, 9와 같다. 소나무림은 교목층에서 소나무의 중요치가 89.7%이었으며 솔비나무, 서어나무, 신갈나무, 고로쇠나무, 비목나무 등이 드물게 출현하고 있었다. 아교목층에서는 굴거리나무, 산딸나무, 서어나무, 신갈나무 등이 주로 분포하고 있었다. 삼나무림은 간벌 등의 숲가꾸기 작업이 실시된 지역으로 소나무, 때죽나무 등이 드물게 출현하고 있었다. 낙엽활엽수림은 교목층에서 서어나무와 신갈나무가 우점하고 있으며, 아교목층에서는 당단풍, 때죽나무, 서어나무, 신갈나무 등이 고르게 분포하고 있었다. 교목층과 아교목층 전체의 중요치는 서어나무 31.1%, 신갈나무 27.7%, 당단풍 12.0% 등의 순으로 높았다. 상록활엽수림은 교목층에서 붉가시나무와 구실잣밤나무의 중요치가 각각 49.8%, 21.2%로서 합한 값이 71.0%이었으며, 아교목층에서는 동백나무가 우점종이었다. 교목층과 아교목층 전체의 중요치는 붉가시나무 37.9%, 구실잣밤나무 15.7%, 서어나무 14.1%, 동백나무 12.7% 등의 순으로 높았다. 이상을 종합하면 본 조사지의 낙엽활엽수림은 서어나무-신갈나무 우점림이었으며, 상록활엽수림은 붉가시나무-구실잣밤나무 우점림이었다.

표 6. 소나무림의 수종별 밀도와 중요치

수 종	밀도(본/ha)			중요치(%)		
	교목층	아교목층	전체	교목층	아교목층	전체
소나무	478		478	89.7		61.9
솔비나무	22		22	2.9		1.8
신갈나무	11	78	89	1.7	10.5	5.0
서어나무	11	89	100	2.7	15.5	6.8
고로쇠나무	11		11	1.5		0.9
비목나무	11	56	67	1.5	9.3	4.0
굴거리나무		178	178		32.1	9.8
산딸나무		133	133		25.4	7.5
산벚나무		11	11		1.6	0.6
당단풍		11	11		1.4	0.6
때죽나무		22	22		4.1	1.2
합계	544	578	1,122	100	100	100

표 7. 삼나무림의 수종별 밀도와 중요치

수 종	밀도(본/ha)			중요치(%)		
	교목층	아교목층	전체	교목층	아교목층	전체
삼나무	1,033		1,033	97.6		96.8
소나무	11		11	2.4		2.4
때죽나무		11	11		100.0	0.8
합계	1,044	11	1,056	100	100	100

표 8. 낙엽활엽수림의 수종별 밀도와 중요치

수 종	밀도(본/ha)			중요치(%)		
	교목층	아교목층	전체	교목층	아교목층	전체
서어나무	389	244	633	42.4	15.2	31.1
신갈나무	311	100	411	40.5	8.2	27.7
산벚나무	100	33	133	12.5	3.2	8.6
비목나무	22	111	133	3.5	7.2	5.4
솔비나무	11	11	22	1.1	0.7	0.9
당단풍		367	367		29.8	12.0
때죽나무		233	233		21.7	8.2
산딸나무		67	67		4.4	2.0
주목		44	44		2.9	1.3
팔배나무		33	33		2.6	1.1
곰의말채		56	56		4.0	1.7
합 계	833	1,300	2,133	100	100	100

표 9. 상록활엽수림의 수종별 밀도와 중요치

수종	밀도(본/ha)			중요치(%)		
	교목층	아교목층	전체	교목층	아교목층	전체
붉가시나무	322	156	478	49.8	17.9	37.9
구실갓밤나무	111	44	156	21.2	4.0	15.7
서어나무	144	44	189	20.1	5.4	14.1
소나무	11		11	1.7		1.1
생달나무	22	56	78	2.4	7.3	3.9
감탕나무	11		11	1.3		0.7
곰의말채	11		11	1.4		0.9
굴거리나무	11	22	33	2.0	2.7	2.3
동백나무		267	267		36.5	12.7
당단풍		67	67		6.2	2.6
센달나무		11	11		0.9	0.4
황질나무		44	44		4.5	1.8
때죽나무		33	33		4.3	1.5
왕벚나무		11	11		1.4	0.5
곰의말채		11	11		2.1	0.6
합다리나무		44	44		4.3	1.8
사스레피나무		33	33		2.6	1.2
합계	644	844	1,489	100	100	100

나. 임목 바이오매스

1) 소나무림 바이오매스

소나무림의 줄기, 가지, 잎, 뿌리의 바이오매스는 각각 243t/ha, 89t/ha, 9t/ha, 80t/ha이었으며, 임목 전체의 바이오매스는 421t/ha이었다(표 10). 임목 부위별 바이오매스 구성비는 줄기 57.6%, 가지 21.1%, 잎 2.2%, 뿌리 19.1%이었다. 임목 전체 바이오매스의 수종별 구성비는 소나무 76.0%, 서어나무 7.9%, 굴거리나무 4.9% 등이었다.

2) 삼나무림 바이오매스

삼나무림의 줄기, 가지, 잎, 뿌리의 바이오매스는 각각 174t/ha, 21t/ha, 22t/ha, 63t/ha이었으며, 임목 전체의 바이오매스는 281t/ha이었다(표 11). 임목 부위별 바이오매스 구성비는 줄기 62.1%, 가지 7.4%, 잎 7.9%, 뿌리 22.6%이었다. 임목 전체 바이오매스의 수종별 구성비는 삼나무 94.4%, 소나무 5.0%, 때죽나무 0.6%이었다.

표 10. 소나무림의 임목 바이오매스(t/ha)

수종	줄기	가지	잎	지상부 전체	뿌리	임목 전체	(%)
소나무	188.47	66.99	6.75	262.21	57.58	319.79	(76.0)
솔비나무	3.69	1.84	0.22	5.75	1.93	7.68	(1.8)
신갈나무	4.41	1.75	0.27	6.43	2.69	9.12	(2.2)
서어나무	17.11	9.71	0.65	27.47	5.68	33.15	(7.9)
고로쇠나무	2.85	1.28	0.11	4.24	0.95	5.19	(1.2)
비목나무	4.43	1.85	0.26	6.54	2.57	9.12	(2.2)
굴거리나무	13.43	2.66	0.49	16.58	3.99	20.57	(4.9)
산벚나무	0.30	0.08	0.01	0.38	0.10	0.48	(0.1)
당단풍	0.23	0.05	0.01	0.29	0.08	0.37	(0.1)
산딸나무	6.91	2.25	0.42	9.58	4.40	13.98	(3.3)
매죽나무	0.73	0.20	0.05	0.98	0.49	1.47	(0.3)
합계	242.56	88.66	9.24	340.46	80.47	420.93	(100)
(%)	(57.6)	(21.1)	(2.2)	(80.9)	(19.1)	(100)	

표 11. 삼나무림의 임목 바이오매스(t/ha)

수종	줄기	가지	잎	지상부 전체	뿌리	임목 전체	(%)
삼나무	165.12	17.40	21.99	204.52	60.37	264.90	(94.4)
소나무	8.33	2.96	0.25	11.55	2.51	14.06	(5.0)
매죽나무	0.89	0.33	0.05	1.27	0.52	1.80	(0.6)
합계	174.34	20.70	22.30	217.34	63.41	280.75	(100)
(%)	(62.1)	(7.4)	(7.9)	(77.4)	(22.6)	(100)	

3) 낙엽활엽수림 바이오매스

낙엽활엽수림의 줄기, 가지, 잎, 뿌리의 바이오매스는 각각 222t/ha, 105t/ha, 10t/ha, 93t/ha이었으며, 임목 전체의 바이오매스는 430t/ha이었다 (표 12). 임목 부위별 바이오매스 구성비는 줄기 51.6%, 가지 24.5, 잎 2.4%, 뿌리 21.6%이었다. 임목 전체 바이오매스의 수종별 구성비는 서어나무 35.5%, 신갈나무 34.5%, 산벚나무 13.4%, 당단풍 5.1% 등이었다.

표 12. 낙엽활엽수림의 임목 바이오매스(t/ha)

수 종	줄기	가지	잎	지상부 전체	뿌리	임목 전체	(%)
서어나무	83.99	37.57	3.18	124.74	28.08	152.82	(35.5)
신갈나무	69.76	38.91	4.04	112.71	35.60	148.31	(34.5)
산벚나무	30.93	15.02	1.17	47.12	10.31	57.44	(13.4)
비목나무	8.88	5.11	0.52	14.51	4.67	19.17	(4.5)
솔비나무	1.25	0.54	0.07	1.87	0.70	2.56	(0.6)
당단풍	13.02	3.89	0.48	17.39	4.41	21.80	(5.1)
때죽나무	9.66	2.99	0.60	13.24	6.40	19.64	(4.6)
산딸나무	1.35	0.35	0.08	1.78	0.95	2.73	(0.6)
주목	0.52	0.19	0.06	0.77	0.18	0.95	(0.2)
팔배나무	1.10	0.33	0.04	1.47	0.37	1.84	(0.4)
곰의말채	1.37	0.32	0.09	1.77	1.01	2.79	(0.6)
합계	221.84	105.20	10.33	337.37	92.69	430.06	(100)
(%)	(51.6)	(24.5)	(2.4)	(78.4)	(21.6)	(100)	

4) 상록활엽수림 바이오매스

상록활엽수림의 줄기, 가지, 잎, 뿌리의 바이오매스는 각각 341t/ha, 382t/ha, 31t/ha, 146t/ha이었으며, 임목 전체의 바이오매스는 901t/ha이었다(표 13). 임목 부위별 바이오매스 구성비는 줄기 37.9%, 가지 42.4%, 잎 3.5%, 뿌리 16.2%이었다. 임목 전체 바이오매스의 수종별 구성비는 붉가시나무 45.5%, 구실잣밤나무 30.1%, 서어나무 11.6%, 동백나무 4.8% 등이었다.

5) 임목 바이오매스 종합

뿌리를 포함한 임목 전체의 바이오매스는 상록활엽수림 901t/ha, 낙엽활엽수림 430t/ha, 소나무림 421t/ha, 삼나무림 281t/ha의 순으로 많았다(그림 4). 교목층과 아교목층 전체의 흉고단면적이 소나무림 63.6m²/ha, 상록활엽수림 61.7m²/ha, 삼나무림 55.5m²/ha, 낙엽활엽수림 51.9m²/ha의 순으로 많으며(표 5), 주요 수종의 목재비중이 붉가시나무 0.85, 신갈나무 0.78, 서어나무 0.68, 소나무 0.44, 삼나무 0.41(정성호와 박병수, 2008)의 순으로 높은 것을 고려하면, 상록활엽수림의 임목 바이오매스가 가장 많은 것은 흉고단면적

표 13. 상록활엽수림의 임목 바이오매스(t/ha)

수 종	줄기	가지	잎	지상부 전체	뿌리	임목 전체	(%)
붉가시나무	152.37	174.15	15.31	341.83	68.05	409.88	(45.5)
구실잣밤나무	73.78	149.37	10.28	233.42	37.54	270.96	(30.1)
서어나무	54.92	29.40	2.09	86.41	18.26	104.67	(11.6)
소나무	2.97	1.05	0.13	4.15	0.92	5.07	(0.6)
생달나무	8.99	2.65	0.42	12.06	2.97	15.03	(1.7)
감탕나무	2.59	1.44	0.18	4.21	1.02	5.22	(0.6)
곰의말채	3.31	1.62	0.19	5.13	1.75	6.88	(0.8)
굴거리나무	8.45	11.98	0.97	21.40	3.99	25.39	(2.8)
당단풍	1.76	0.47	0.07	2.29	0.60	2.89	(0.3)
센달나무	0.30	0.01	0.01	0.33	0.07	0.39	(0.1)
황칠나무	2.22	0.34	0.07	2.64	0.62	3.26	(0.4)
때죽나무	1.77	0.61	0.11	2.49	1.10	3.59	(0.4)
동백나무	25.37	8.61	1.21	35.20	8.22	43.42	(4.8)
왕벚나무	0.68	0.21	0.03	0.92	0.23	1.15	(0.1)
합다리나무	1.28	0.35	0.05	1.68	0.43	2.11	(0.2)
사스레피나무	0.70	0.03	0.01	0.74	0.14	0.88	(0.1)
합계	341.47	382.31	31.12	754.90	145.90	900.80	(100)
%	(37.9)	(42.4)	(3.5)	(83.8)	(16.2)	(100)	

이 비교적 많고 목재비중이 높기 때문이라고 할 수 있다. 낙엽활엽수림이 소나무림과 삼나무림 보다 바이오매스가 많은 것은 흉고단면적은 적으나 목재 비중이 비교적 높기 때문이라고 판단된다.

타 국립공원과 비교하면(그림 4), 본 조사지인 한라산국립공원 낙엽활엽수림의 임목 전체 바이오매스는 430t/ha로서, 북한산국립공원 낙엽활엽수림 평균치 200t/ha(이나연, 2010a), 설악산국립공원 낙엽활엽수림 평균치 330t/ha(이나연, 2010b), 속리산국립공원 낙엽활엽수림 평균치 200t/ha(이나연, 2011a), 지리산국립공원 낙엽활엽수림 평균치 250t/ha(이나연, 2011b) 보다 높은 수준이었다.



그림 4. 한라산국립공원과 타 국립공원의 임목 전체 바이오매스

다. 탄소저장량

소나무림, 삼나무림, 낙엽활엽수림, 상록활엽수림의 임목과 토양 즉 산림 생태계의 ha당 탄소저장량은 표 14와 같다.

소나무림의 줄기, 가지, 잎, 뿌리의 탄소저장량은 각각 123.0tC/ha, 44.9tC/ha, 4.7tC/ha, 40.8tC/ha이었으며, 임목 전체의 탄소저장량은 213.4tC/ha이었다. 유기물층을 포함한 토양탄소량은 110.2tC/ha이었으며, 임목과 토양 즉 산림생태계의 탄소저장량은 323.6tC/ha이었다. 토심이 깊은 부위일수록 토양탄소량은 감소한다는 일반적인 경향(국립산림과학원, 2010)과 다르게, 토심 0-10cm 부위의 탄소량이 10-20cm 부위 보다 적은 것은 토양 용적밀도가 낮기 때문이었다. 본 조사지의 소나무림 최대 토심은 27cm이었다.

삼나무림의 줄기, 가지, 잎, 뿌리의 탄소저장량은 각각 88.7tC/ha, 10.5tC/ha, 11.3tC/ha, 32.3tC/ha이었으며, 임목 전체의 탄소저장량은 142.9tC/ha이었다. 유기물층을 포함한 토양탄소량은 221.8tC/ha이었으며, 임목과 토양 즉 산림생태계의 탄소저장량은 364.7tC/ha이었다. 삼나무림의 토양탄소량이 다른 산림에 비하여 많은 것은 토심이 깊고 토양분석 결과 탄소농도가 높기 때문이었다. 삼나무림의 토양탄소농도가 높은 것은 다른 연구결과(국립산림과학원, 2010)와 유사한 경향이었다.

낙엽활엽수림의 줄기, 가지, 잎, 뿌리의 탄소저장량은 각각 108.3tC/ha, 51.3tC/ha, 5.0tC/ha, 45.2tC/ha이었으며, 임목 전체의 탄소저장량은 209.9tC/ha이었다. 유기물층을 포함한 토양탄소량은 91.0tC/ha이었으며, 임목과 토양 즉 산림생태계의 탄소저장량은 300.9tC/ha이었다. 본 조사지의 낙엽

활엽수림 최대 토심은 20cm로서 다른 산림에 비하여 토심이 얇았다.

상록활엽수림의 줄기, 가지, 잎, 뿌리의 탄소저장량은 각각 171.1tC/ha, 191.5tC/ha, 15.6tC/ha, 73.1tC/ha이었으며, 임목 전체의 탄소저장량은 451.3tC/ha이었다. 유기물층을 포함한 토양탄소량은 122.8tC/ha이었으며, 임목과 토양 즉 산림생태계의 탄소저장량은 574.1tC/ha이었다. 본 조사지의 상록활엽활엽수림 최대 토심은 28cm이었다.

표 14. 한라산국립공원 주요 산림생태계의 탄소저장량(tC/ha)

		소나무림	삼나무림	낙엽활엽수림	상록활엽수림
임목	줄기	123.0	88.7	108.3	171.1
	가지	44.9	10.5	51.3	191.5
	잎	4.7	11.3	5.0	15.6
	뿌리	40.8	32.3	45.2	73.1
	소계	213.4	142.9	209.9	451.3
토양 (cm)	유기물층	6.8	11.0	3.7	7.7
	0-10	36.4	67.7	47.6	37.6
	10-20	50.4	63.3	39.8	48.7
	20-30	16.6	40.8		28.8
	30-50		38.9		
	소계	110.2	221.8	91.0	122.8
합 계		323.6	364.7	300.9	574.1

타 국립공원과 비교하면(그림 5), 본 조사지인 한라산국립공원 낙엽활엽수림의 임목 전체 탄소저장량은 210tC/ha로서, 북한산국립공원 낙엽활엽수림 평균치 100tC/ha(이나연, 2010a), 설악산국립공원 낙엽활엽수림 평균치 150tC/ha(이나연, 2010b), 속리산국립공원 낙엽활엽수림 평균치 90tC/ha(이나연, 2011a), 지리산국립공원 낙엽활엽수림 평균치 112tC/ha(이나연, 2011b) 보다 높은 수준이었다. 이것은 한라산국립공원의 임목전체 바이오매스가 타 국립공원 보다 많기 때문이라고 할 수 있다(그림 4). 한라산국립공원의 토양탄소량은 91tC/ha로서 설악산국립공원과 비슷하였으며, 북한산국립공원, 속리

산국립공원, 지리산국립공원 보다는 높은 수준이었다.



그림 5. 한라산국립공원과 타 주요 국립공원의 낙엽활엽수림 산림생태계 탄소저장량(tC/ha)

소나무림, 삼나무림, 낙엽활엽수림, 상록활엽수림의 임목과 토양 즉, 산림생태계의 ha당 탄소저장량(표 14)과 한라산국립공원 분포면적(표 1)에 의하여 산출한 개략적인 탄소저장 총량 추정치는 표 15와 같다. 임목 탄소저장 총량, 토양탄소 총량, 임목과 토양 즉, 산림생태계 탄소저장 총량은 소나무림이 각각 282,635tC, 145,990tC, 428,625tC, 삼나무림이 각각 18,815tC, 29,200tC, 48,105tC, 낙엽활엽수림이 각각 2,352,001tC, 1,019,976tC, 3,371,977tC, 상록활엽수림이 70,898tC, 19,297tC, 90,195tC로 추정되었다.

표 15. 한라산국립공원 주요 산림생태계의 탄소저장 총량(tC) 추정치

	소나무림	삼나무림	낙엽활엽수림	상록활엽수림
임 목	282,635	18,815	2,352,001	70,898
토 양	145,990	29,200	1,019,976	19,297
합 계	428,625	48,105	3,371,977	90,195

4. 요약

한라산국립공원 내 주요 산림식생 중 침엽수천연림인 소나무림, 침엽수인 공림인 38년생 삼나무림, 낙엽활엽수림, 상록활엽수림 등 4개 유형의 산림식생을 대상으로 30m×30m 정방형구를 설정하여 산림구조, 임목 바이오매스, 임목과 토양의 탄소저장량 등을 조사하였다.

소나무림, 삼나무림, 낙엽활엽수림, 상록활엽수림 교목층의 밀도는 각각 544본/ha, 1,044본/ha, 833본/ha, 644본/ha이었으며, 평균 흉고직경은 각각 33.3cm, 25.5cm, 22.0cm, 28.0cm이었다. 교목층과 아교목층 전체 즉, 흉고직경 1cm 이상인 임목 전체의 흉고단면적은 소나무림 63.6m²/ha, 상록활엽수림 61.7m²/ha, 삼나무림 55.5m²/ha, 낙엽활엽수림 51.9m²/ha의 순으로 많았다. 수종별 중요치를 분석한 결과 낙엽활엽수림은 서어나무-신갈나무 우점림이었으며, 상록활엽수림은 붉가시나무-구실잣밤나무 우점림이었다.

임목 전체 바이오매스는 상록활엽수림 901t/ha, 낙엽활엽수림 430t/ha, 소나무림 421t/ha, 삼나무림 281t/ha의 순으로 많았다. 상록활엽수림의 임목 바이오매스가 가장 많은 것은 흉고단면적이 비교적 많고 목재비중이 높기 때문으로 해석되었다. 낙엽활엽수림이 소나무림과 삼나무림 보다 바이오매스가 많은 것은 흉고단면적은 적으나 목재비중이 비교적 높기 때문으로 해석되었다. 타 국립공원과 비교하면, 한라산국립공원 낙엽활엽수림의 임목 바이오매스는 기보고된 북한산국립공원, 설악산국립공원, 속리산국립공원, 지리산국립공원 등의 낙엽활엽수림 평균치 보다 높은 수준이었다.

소나무림의 임목 전체 탄소저장량은 213.4tC/ha, 토양탄소량은 110.2tC/ha로서, 임목과 토양 즉 산림생태계의 탄소저장량은 323.6tC/ha이었다. 삼나무림의 임목 전체 탄소저장량은 142.9tC/ha, 토양탄소량은 221.8tC/ha로서 산림생태계의 탄소저장량은 364.7tC/ha이었다. 삼나무림의 토양탄소량이 다른 산림에 비하여 많은 것은 토심이 깊고 탄소농도가 높기 때문으로 해석되었다. 낙엽활엽수림의 임목 전체 탄소저장량은 209.9tC/ha, 토양탄소량은 91.0tC/ha로서, 산림생태계의 탄소저장량은 300.9tC/ha이었다. 상록활엽수림의 임목 전체 탄소저장량은 451.3tC/ha, 토양탄소량은 122.8tC/ha로서, 산림생태계의 탄소저장량은 574.1tC/ha이었다. 한라산국립공원 낙엽활엽수림의 산림생태계 탄소저장량은 기보고된 북한산국립공원, 설악산국립공원, 속리산국립공원, 지리산국립공원 등의 낙엽활엽수림 평균치 보다 높은 수준이었다.

ha당 탄소저장량과 한라산국립공원내 분포면적에 의하여 산출한 개략적인

임목 탄소저장 총량, 토양탄소 총량, 산림생태계 탄소저장 총량은 소나무림이 각각 282,635tC, 145,990tC, 428,625tC, 삼나무림이 각각 18,815tC, 29,200tC, 48,105tC, 낙엽활엽수림이 각각 2,352,001tC, 1,019,976tC, 3,371,977tC, 상록활엽수림이 70,898tC, 19,297tC, 90,195tC로 추정되었다.

5. 인용문헌

- 국립산림과학원. 2007. 산림 바이오매스 및 토양탄소 조사분석 표준. 국립산림과학원. pp. 74.
- 국립산림과학원. 2010. 교토의정서 대응 산림탄소계정 기반 구축 연구. 국립산림과학원연구보고서. pp. 436.
- 국립산림과학원. 2011. 산림 온실가스 통계인프라 구축 -도시녹지, 목제품, 난대수종-. 국립산림과학원연구보고서. pp. 49.
- 박인협. 1986. 백운산지역 천연림생태계의 삼림구조 및 물질생산에 관한 연구. 서울대 박사학위논문. pp. 48.
- 송철영, 장관순, 박관수, 이승우. 1997. 신갈나무와 굴참나무 천연림의 탄소고정량 분석. 한국임학회지 86(1): 35-45.
- 이나연. 2010a. 탄소저장량(북한산국립공원 자연자원조사). 국립공원연구원보고서. pp. 337-365.
- 이나연. 2010b. 탄소저장량(설악산국립공원 자연자원조사). 국립공원연구원보고서. pp. 347-371.
- 이나연. 2011a. 탄소저장량(속리산국립공원 자연자원조사). 국립공원연구원보고서. pp. 111-137.
- 이나연. 2011b. 탄소저장량(지리산국립공원 자연자원조사). 국립공원연구원보고서. pp. 177-206.
- 정성호, 박병수. 2008. 한국산 유용수종의 목재성질. 국립산림과학원. pp. 390.
- Brower, J.E. and J.H. Zar. 1977. Field and laboratory methods for general ecology. Wm. C. Brown Company Publishers, Iowa. pp. 194.
- Monk, C.D., G.I. Child and S.A. Nicholson. 1969. Species diversity of a stratified oak-hickory community. Ecology 50(3):468-470.
- Peichl M. and Arain, M.A. 2007. Allometry and partitioning of above-and

- belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests.
For. Ecol. Manage. 253: 68-80.
- Satoo, T. and H.A.I. Madgwick. 1982. Forest biomass. Martinus Nijhoff/Dr.
W. Junk Publisher, The Hague. pp. 152.
- Whittaker, R. H. and P. L. Marks. 1975. Methods of assessing terrestrial
productivity. pp. 55-118. In : H. Lieth and R. H. Whittaker, ed.
Primary Productivity of the Biosphere. Springer-Verlag, New York.