

자연생태계 수목의 생장에 따른 탄소저장 및 흡수량 지표^{1*}

조현길² · 안태원³

Indicators of Carbon Storage and Uptake by Tree Growth in Natural Ecosystem^{1*}

Jo, Hyun-Kil² · Ahn, Tae-Won³

요 약

본 연구는 자연생태계 수목의 생장에 따른 탄소저장 및 흡수량 지표를 도출하고, 용인시를 대상으로 임상유형의 영급별 탄소저장 및 흡수를 계량화하였다. 침엽수 1주당 탄소저장 및 흡수량은 중부와 남부의 성장지역 간 유의한 차이가 없었으나($p>0.05$), 활엽수의 경우는 남부지역에서 중부지역보다 더욱 많았다. 수목 1주당 탄소저장 및 흡수량은 활엽수가 동일 직경의 침엽수보다 더욱 많았으며, 그 차이는 직경생장과 더불어 증가하는 경향을 보였다. 용인시 자연생태계의 단위면적당 평균 탄소저장 및 흡수량은 역시 영급이 높을수록 많았으며, II 영급을 제외한 동일 영급 내에서는 침엽수림보다는 혼효림이, 혼효림보다는 활엽수림이 더욱 많았다. 중부지역에서 성장하는 흉고직경 20cm의 활엽수 1주는 약 175리터의 휘발유 소비로 인하여 배출되는 탄소량을 저장하고, 1ha의 IV영급 활엽수림은 시민 57명이 화석연료 소비로 연간 배출하는 탄소량을 저장하였다. 본 연구의 탄소저장 및 흡수 지표는 직경생장에 따른 삼림수목의 대기탄소농도 저감 가치를 용이하게 추정하는데 활용될 수 있다.

주요어 : 기후변화, 이산화탄소, 생체량, 회귀식, 용인시

ABSTRACT

This study derived indicators of carbon storage and uptake by tree growth in natural ecosystem, and estimated carbon storage and uptake by forest type and age class for Yongin. In carbon storage and uptake of a coniferous tree, there was no significant difference($p>0.05$) between middle and southern growing regions. However, a broad-leaved tree showed greater carbon storage and uptake in southern regions than in middle regions. Carbon storage and uptake of a broad-leaved tree were greater than those of a coniferous tree in the same diameter sizes, and the difference between both species increased as the diameter sizes got larger. Mean carbon storage and uptake per unit area in natural ecosystem of Yongin were greater in older

* 이 논문은 1999년도 환경부의 환경기술개발사업 연구비에 의한 연구의 일부임.

1 접수 9월 30일 Received on Sep. 30, 2000

2 강원대학교 건축·조경학부 Division of Architecture and Landscape Architecture, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea(jhk@cc.kangwon.ac.kr)

3 강원대학교 대학원 Graduate School, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea

age classes, and for the same age classes except age class II, were greater in broad-leaved forest than in coniferous and mixed forests. A broad-leaved tree with DBH of 20cm growing in middle regions stored the amount of carbon emitted from gasoline consumption of about 175 liter. Broad-leaved forest of age class IV of 1 ha stored the amount of carbon annually emitted from fossil fuel use by about 57 persons. Indicators of carbon storage and uptake from this study can be used to evaluate easily the value of atmospheric carbon reduction by diameter growth of forest trees.

KEY WORDS : CLIMATE CHANGE, CARBON DIOXIDE, BIOMASS, EQUATIONS, YONGIN

서론

이산화탄소는 기후변화를 야기시키는 주요 온실가스로서(Ciborowski, 1989; Rodhe, 1990), 그것의 대기농도는 산업화 이래 해마다 약 0.4%씩 증가하여 왔다(Post *et al.*, 1990). 현세대는 이미 온도 증가, 강우량 변화 등의 기후변화를 경험하고 있으며, 장래의 기후변화는 자연생태계와 사회경제적 시스템에 적지 않은 악영향을 미칠 것으로 예측된다(Kemp, 1990; Melillo *et al.*, 1990; Karl *et al.*, 1997). 이산화탄소 농도의 증가는 화석연료 사용과 무분별한 산림벌채에 기인하므로(Detwiler and Hall, 1987; Schneider, 1990), 기후변화의 지연은 화석연료 절약 및 대체 에너지 개발뿐만 아니라 자연삼림 훼손의 적절한 제어 및 재식재를 통해서 가능할 것이다.

수목은 광합성을 통한 성장의 과정에서 대기탄소를 흡수·저장하여 그 농도를 저감하는 역할을 한다. 그러나, 각종 개발사업은 계속 자연생태계를 훼손하여 수목의 그 가치를 상실시켜 왔다. Birdsey(1992)는 재목의 체적 및 비중으로부터 생체량을 산출하고 이에 탄소함량계수를 적용하여 미국 삼림수목의 탄소저장량을 산정하는 방법을 제시하였다. 그런데, 이 방법은 재목의 체적 등 흉고직경에 비해 측정 난이한 변수를 이용하는 단점을 지닌다. Milne와 Brown(1997)은 영국 자연생태계의 삼림유형별 면적과 탄소저장량 자료에 기초하여 식생의 탄소저장량을 산정하고 등급화하였다. 이 연구에서 삼림의 탄소저장량은 수목밀도, 영급 및 생산성에 따라 다르나 탄소저장의 중요한 역할을 담당하며, 개발에 의한 토지이용의 변화는 탄소저장소를 탄소배출원으로 전환시킬 수 있음을 시사하였다. 임업연구원(1998)에서는 삼림생체량의 연간 증가 및 상업적 벌채에 기인한 생체량의 연간 감소에 관한 자료를 활용하여, 국내 삼림 전체의 개략

적인 탄소흡수량 및 방출량을 각각 산출하였다. 삼림의 생산성을 파악하기 위한 물질생산과 관련된 국내의 연구는 다수 존재하나, 임상유형별 탄소저장 및 흡수능을 구체적으로 계량화하여 삼림의 관련 가치, 개발사업의 잠재적 영향 등을 제시한 연구는 아직 미흡하다.

자연생태계 수목의 생장지역별, 수종별, 영급별 탄소흡수 및 저장능을 용이하게 평가할 지표를 마련한다면, 이 지표는 기존의 녹지자연도와 같이 개발 또는 보존과 관련된 토지이용 및 환경영향평가의 기준으로 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 본 연구의 목적은 자연생태계 주요 수종의 생장지역별 생장에 따른 탄소저장 및 흡수량의 평가지표를 도출한 후, 용인시 자연생태계에 적용하여 임상유형 영급별 탄소저장 및 흡수를 계량화하는 것이었다. 본 연구에서, 자연생태계 수목이란 도시생태계의 수목과는 달리, 부단한 인간간섭 없이 자연환경이 지배적인 조건하에서 성장하는 삼림수목을 지칭한다. 탄소저장량이란 수목이 성장하면서 여러 해 동안 축적된 총탄소량을, 탄소흡수량은 한 해 동안 흡수한 탄소량을 각각 의미한다.

연구 방법

1. 생체량방정식 선정

국내 자연생태계에서 활엽수를 대표하는 참나무류(*Quercus spp.*)와 침엽수를 대표하는 소나무류(*Pinus spp.*)를 위주로, 기존의 다수 연구에서 유도된 생체량방정식들을 수집하였다. 수목의 생장지역을 중부와 남부로 대분류하고 해당지역의 방정식들간 생체량 산정결과의 차이를 비교·검토하였다. 방정식이 유도된 직경급 범위 내에서 산정결과가 타 방정식들에 비해 현저히 높거나 낮아 이상치를 보이

는 것을 제외한 총 20여 개의 방정식을 최종 선정하였다(Table 1). 이들 방정식의 R^2 는 0.97~0.99로서 적합도가 상당히 높은 것들이었고, 흉고직경 범위는 활엽수 2~42cm, 침엽수 4~43cm이었다. 방정식이 유도된 대상지는 중부지역의 경우 경기도 화성 및 광주, 강원도 춘천 및 명주, 충북 충주, 충남 대덕 등이었고, 남부지역의 경우 전북 남원 및 완주, 전남 승주 및 광양 등이었다.

2. 수종별 탄소저장량 산정

선정한 각 생체량방정식을 활용하여 성장지역별, 수종별 수목의 생장에 따른 총생체량을 산정하고, 방정식들간 산정결과를 취합하여 직경별 평균 생체량을 구하였다. 수목의 목질부 및 엽의 평균 탄소함량은 건중량의 약 50%이므로(Reichle *et al.*, 1973; Pingrey, 1976; Ajtay *et al.*, 1979; Chow and Rolfe, 1989; 송철영 등, 1997), 생체량은 0.5를 곱하여 탄소저장량으로 전환되었다. 그리고, 측정 용이한 흉고직경을 독립변수로 반복

적인 선형 및 비선형 접근을 시도하여, 성장지역별, 수종별 탄소저장량을 쉽게 추정할 수 있는 회귀식을 유도하였다.

3. 수종별 탄소흡수량 산정

탄소흡수량은 Table 1에 제시한 자료 중 생체량의 연간 증가를 계량화하는 생체량방정식을 선정하여 산출되었다. 연간 생체량 산정식을 구할 수 없었던 수종의 경우는 연간 직경성장률을 적용하였다. 즉, 연간 직경성장률을 이용하여 전년도의 직경을 구하고 이 직경변수를 총생체량 산정식에 대입하여 전년도의 생체량을 산정하였다. 현년도의 생체량에서 전년도의 생체량을 제감하여 연간 증가된 생체량을 구하였다. 연간 직경성장률은 Table 2에 수록한 활엽수 및 침엽수별 다수 연구의 평균치를 활용하였다. 탄소저장량의 경우처럼, 방정식들간 직경별 평균 생체량을 산정하고 이를 탄소량으로 전환한 후, 흉고직경을 독립변수로 하는 성장지역별, 수종별 탄소흡수량 회귀식을 도출하였다.

Table 1. Sources of biomass equations selected to calculate carbon storage and uptake of major tree species by growing region in natural ecosystem

Region	Species	DBH range(cm)	Reference	
Middle	<i>Quercus dentata</i>	^11.7	Park <i>et al.</i> (1996)	
	<i>Quercus mongolica</i>	6.0~42.0	Song and Lee(1996)	
		6.9~18.6	Lee and Park(1987)	
		^15.0	Park <i>et al.</i> (1996)	
	<i>Quercus variabilis</i>	^14.9	Park <i>et al.</i> (1996)	
	<i>Pinus densiflora</i>	12.4~42.9	Park and Lee(1990)	
		4.3~26.0	Jo(1999)	
		<i>Pinus koraiensis</i>	5.0~22.0	Jo(1999)
			9.3~20.8	Lee and Park(1987)
		<i>Pinus rigida</i>	7.2~16.5	Lim <i>et al.</i> (1982)
Southern	<i>Quercus acutissima</i>	4.1~10.9	Lim <i>et al.</i> (1982)	
		4.7~15.2	Lim <i>et al.</i> (1981)	
	<i>Quercus acutissima</i>	^14.3	Park and Moon(1994)	
	<i>Quercus mongolica</i>	^12.9	Park and Moon(1994)	
	<i>Quercus serrata</i>	^12.6	Park and Moon(1994)	
	<i>Quercus variabilis</i>	^14.6	Park and Moon(1994)	
	General hardwoods	1.5~28.5	Park(1985)	
	<i>Pinus densiflora</i>	6.4~33.7	Park and Lee(1990)	
6.7~34.1		Park and Lee(1990)		
<i>Pinus rigida</i>	5.3~15.9	Lim <i>et al.</i> (1982)		

^ Mean value

Table 2. Mean annual DBH growth of hardwood and softwood trees in natural ecosystem

	Species	DBH growth(cm)	Age	N	Reference
Hardwood	<i>Betula platyphylla</i>	0.65	40	91	Chung et al.(1983)
	<i>Cornus controversa</i>	0.85	40	92	"
	<i>Fraxinus mandshurica</i>	0.58	65	106	"
	<i>Juglans mandshurica</i>	1.09	40	104	"
	<i>Populus davidiana</i>	0.56	60	104	"
	<i>Quercus mongolica</i>	0.49	78	83	Son et al.(1997)
	<i>Quercus mongolica & aliena</i>	0.38	29	10	Jo(1999)
	<i>Tilia amurensis</i>	0.62	60	135	Chung et al.(1983)
	<i>Ulmus davidiana</i>	0.53	65	102	"
	Mean	0.67		827	
Softwood	<i>Abies holophylla</i>	0.43	205	167	Chung(1985)
	<i>Larix leptolepis</i>	0.69	90	231	"
	<i>Pinus densiflora</i>	0.72	40	80	Park(1987)
		0.45	40	80	"
		0.51	20	10	Jo(1999)
	<i>Pinus densiflora for. erecta</i>	0.63	110	185	Chung(1985)
	<i>Pinus koraiensis</i>	0.81	65	182	"
		0.73	40	80	Park(1987)
		0.58	40	80	"
	Mean	0.64		1,192	

4. 사례연구

개발도상의 중소도시로서 다양한 영급의 임상이 분포하는 경기도 용인시를 사례연구지로 선정하였다. 축척 1/25,000의 임상도(1992)를 이용하여 용인시 행정구역 전체의 임상유형 및 영급별 면적비를 파악하였다. 임상도상에 1cm 간격의 격자를 그린 후, 영급별로 면적비의 대소에 준거하여 최소 7~최대 39개, 총 85개의 격자점을 임의로 표본추출하였다. 표본추출수 결정은 현임상도 활용의 타당 여부를 검토하는 차원에서, 실사시간 및 비용의 유용성과 조사자료의 신뢰성이라는 대립적 측면을 상호보완한 것이다. 표본추출지점을 현지답사하여 방형구법(크기: 10×10m)에 의해, 수종, 직경, 밀도 등을 포함하는 수목조사를 실시하였다. 조사자료의 통계적 편차가 큰 영급유형에 대해서는 표본추출수를 늘려 보강조사를 하였다. 유도한 탄소저장 및 흡수량 회귀식(중부지역)을 적용하여 임상유형별 영급에 따른 단위면적당 탄소저장 및 흡수량 변화를 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 탄소저장량 지표

Table 3은 수종별, 성장지역별 흉고직경을 기준으로 한 탄소저장량 지표를 나타낸다. 수목 1주당 탄소저장량은 활엽수 및 침엽수 모두 직경생장과 더불어 증가하였으며, 직경급간 저장량 차이는 직경이 커질수록 더욱 뚜렷하였다(Figure 1 참조). 즉, 활

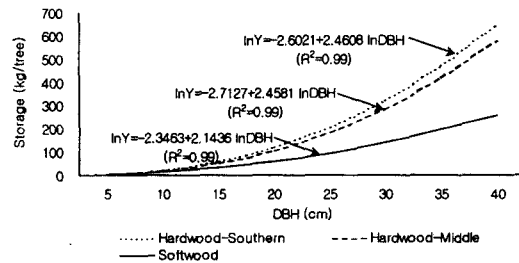


Figure 1. Trends of carbon storage by DBH and growing region for hardwood and softwood trees in natural ecosystem

Table 3. Carbon storage indicator by DBH and growing region for hardwood and softwood trees in natural ecosystem(kg/tree)

Species-region	DBH(cm)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	
Hardwood	Middle	3.5	19.0	51.6	104.7	181.3	284.1	415.2	576.9
	Southern	3.9	21.4	58.0	117.8	204.1	319.8	467.5	649.5
Softwood		3.0	13.3	31.7	58.6	93.9	142.0	198.2	256.4

엽수 1주당 탄소저장량은 흉고직경 10cm로부터 5cm 성장함에 따라 33(중부)~37(남부)kg 증가한 반면, 30cm로부터 5cm 생장은 그보다 약 4배 많은 131(중부)~148(남부)kg 증가하였다. 침엽수의 경우, 흉고직경 10cm로부터 5cm 생장은 약 18kg의 증가를 보인 반면, 30cm로부터 5cm 생장은 그보다 약 3배 많은 56kg의 증가를 나타냈다.

침엽수 1주당 탄소저장량은 제시한 직경범위 내에서 성장지역간 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 그러나, 활엽수의 경우는 남부지역에서 중부지역보다 모든 직경범위에서 약 10% 더 많았다(0.01<p<0.05). 활엽수의 탄소저장량은 동일 직경의 침엽수보다 더욱 많았으며, 그 차이는 직경이 클수록 현저히 증가하는 경향을 보였다. 흉고직경 20cm일 경우, 활엽수 1주당 탄소저장량은 침엽수보다 성장지역에 따라 1.8~2배 더 많은 것으로 분석되었다. Figure 1은 흉고직경 변수를 이용하여 성장지역별 활엽수 및 침엽수의 탄소저장량을 용이하게 추정할 수 있는 회귀식을 보여 준다. 회귀식의 독립변수로서 흉고직경 외에 수고를 포함시킬 수도 있으나, 삼림수목의 정확한 수고실측의 난제, 변수 적용의 용이성 등을 감안하여 흉고직경만을 그 변수로 설정하였다.

2. 탄소흡수량 지표

Table 4는 수종별, 성장지역별 직경생장에 따른 탄소흡수량 지표를, 그리고 Figure 2는 직경 변수

를 이용한 탄소흡수량 회귀식을 나타낸다. 수목의 탄소흡수량은 제시한 직경범위 내에서 탄소저장량의 경우와 유사하게, 활엽수 및 침엽수 모두 직경생장과 더불어 증가하였고, 직경급간 흡수량의 차이도 직경이 커질수록 증가하였다. 즉, 활엽수 1주당 탄소흡수량은 흉고직경 10cm로부터 5cm 성장함에 따라 2.3(중부)~2.7(남부)kg 증가한 반면, 30cm로부터 5cm 생장은 그보다 약 1.6배 많은 3.6(중부)~4.2(남부)kg 증가하였다. 침엽수의 경우, 흉고직경 10cm로부터 5cm 생장은 약 1.4kg의 증가를 보인 반면, 30cm로부터 5cm 생장은 그보다 약 2.6배 많은 3.6kg의 증가를 나타냈다.

활엽수 1주당 탄소흡수량은 침엽수보다 직경범위

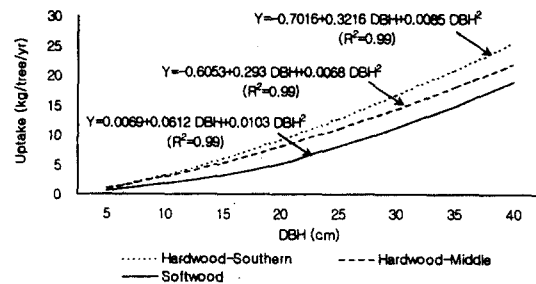


Figure 2. Trends of carbon uptake by DBH and growing region for hardwood and softwood trees in natural ecosystem

Table 4. Carbon uptake indicator by DBH and growing region for hardwood and softwood trees in natural ecosystem(kg/tree/yr)

Species-region	DBH(cm)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	
Hardwood	Middle	1.0	2.9	5.2	8.0	11.1	14.4	18.0	21.9
	Southern	1.1	3.2	5.9	9.1	12.7	16.7	20.9	25.5
Softwood		0.6	1.8	3.2	5.1	8.0	11.2	14.8	18.9

전체에 걸쳐 더 많았으며, 유목보다는 성목의 경우 더욱 뚜렷한 차이를 나타냈다. 흉고직경 20cm인 경우 활엽수는 침엽수보다 생장지역에 따라 1.6~1.8 배 많은 탄소흡수량을 보였다. 생장지역간 활엽수의 탄소흡수량은 남부지역에서 중부지역보다 더욱 많았으며(p<0.01), 직경이 커질수록 그 차이는 약간씩 증가하였다. 생장지역간 침엽수의 탄소흡수량은 탄소저장량의 경우처럼 유의한 차이가 없었다(p>0.05).

자연생태계 수목의 수령에 따른 연간 흉고직경생장률을 분석한 결과(Table 2의 자료에 근거), Figure 3과 같이 흉고직경 40cm(68년생)까지의 연간 직경생장률은 활엽수가 침엽수보다 컸다. 그러나, 직경 40cm 이상부터는 침엽수의 연간 직경생장률이 활엽수보다 약간 큰 것으로 나타났다. 이는 침엽수의 성장수명이 활엽수보다 대체로 길다는 것을 시사한

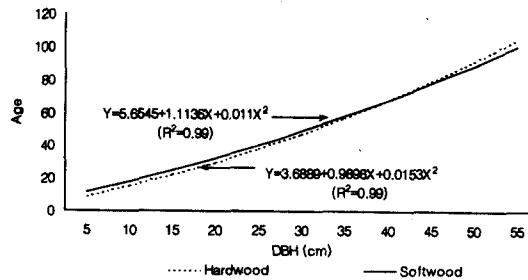


Figure 3. Relationship between DBH and age for hardwood and softwood trees in natural ecosystem

다. Figure 3의 회귀식은 흉고직경으로부터 활엽수 및 침엽수의 수령을 추정하는 데 활용될 수 있다.

3. 사례연구

(1) 수목의 밀도 및 기저면적

용인시의 행정구역상 총면적은 1997년 기준 약

Table 5. Density and basal area of trees by forest type and age class in Yongin*

Forest type	Age class	Density (tree/100m ²)	Basal area (cm ² /100m ²)
Coniferous	Ⅱ	29.8±3.0	2,404±148
	Ⅲ	28.4±5.4	2,762±350
	Ⅳ	25.8±4.0	3,101±203
	Ⅴ	18.0±2.3	3,578±482
Mixed	Ⅱ	38.3±3.5	1,886±182
	Ⅲ	31.8±5.5	2,315±88
	Ⅳ	23.4±2.0	2,843±259
Broad-leaved	Ⅱ	29.0±3.8	1,593±142
	Ⅲ	28.5±4.4	2,399±237
	Ⅳ	24.3±5.8	2,620±242
	Ⅴ	15.0±4.9	2,935±769

* Mean±standard error(the same with subsequent tables)

592km²이었으며, 삼림면적은 도시 총면적의 약 59%를 차지하였다(용인시, 1998). 삼림 총면적의 약 39%는 침엽수림이, 37%는 활엽수림이, 그리고 24%는 혼효림이 점유하는 것으로 나타났다. Table 5와 같이, 자연생태계 수목(흉고직경 2cm 이상)의 평균 밀도는 임상유형 모두에 걸쳐 영급이 높아질수록 감소하였는데, 특히 Ⅳ 및 Ⅴ영급에서 그러한 경향이 현저하였다. 침엽수림과 활엽수림간 밀도는 동일 영급 내에서 유사하였으나, Ⅱ영급의 혼효림은 그 영급의 침엽수림이나 활엽수림보다 높은 밀도를 보였다. 한편, 수목의 단위면적당 평균 기저면적은 영급이 높을수록 증가하였으며, 동일 영급 내 기저면적은 침엽수림이 활엽수림이나 혼효림보다 큰 경향이였다.

(2) 탄소저장 및 탄소흡수량

용인시 임상유형 및 영급별 단위면적당 평균 탄소저장량은 Table 6과 같이 영급이 높을수록 많았으며, 특히 활엽수림의 영급간 탄소저장량 차이는 침엽수림이나 혼효림보다 컸다. 동일 영급 내에서는

Table 6. Carbon storage by forest type and age class for Yongin(t/ha)

Forest type	Age class			
	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
Coniferous	44.3±2.4	52.8±6.1	61.6±4.9	70.4±9.2
Mixed	38.8±3.5	61.8±2.8	72.2±4.9	-
Broad-leaved	42.7±3.6	73.1±7.2	85.0±5.3	111.5±30.7

Table 7. Carbon uptake by forest type and age class for Yongin(t/ha/yr)

Forest type	Age class			
	I	III	IV	V
Coniferous	5.6±0.3	6.5±0.6	6.5±0.4	6.6±1.0
Mixed	5.8±0.4	6.5±0.4	6.7±0.3	-
Broad-leaved	5.5±0.5	7.2±0.7	7.1±0.8	6.9±1.7

Ⅱ 영급을 제외하면 침엽수림보다는 혼효림이, 혼효림보다는 활엽수림의 탄소저장량이 더욱 많았다. 단위면적당 평균 탄소흡수량은 침엽수림과 혼효림에선 영급이 높아지면서 약간씩 증가하였으나, 활엽수림의 경우 Ⅲ 및 Ⅳ영급까지 증가하다가 Ⅴ영급에서는 오히려 소폭으로 감소하는 경향을 나타냈다(Table 7). Ⅱ 및 Ⅳ영급의 활엽수림은 그 영급의 침엽수림 및 혼효림보다 더 많은 탄소흡수량을 보였다.

단위면적당 탄소저장 및 흡수량 모두는 Ⅲ영급에서 Ⅴ영급까지보다 Ⅱ영급과 Ⅲ영급간에서 큰 폭의 증가를 나타냈는데, 이는 유령림의 연간 성장량이 장령림보다 많은 것에 기인한다. 활엽수림 Ⅴ영급의 탄소흡수량이 Ⅲ 또는 Ⅳ영급보다 적은 이유는 일정 수령 이상에서는 연간 생장이 서서히 느려지기 때문인 것으로 판단된다. 영급에 따른 단위면적당 탄소저장 및 흡수는 대체로 기저면적의 변화와 유관하였다. 그러나, 침엽수림은 단위면적당 기저면적이 활엽수림보다 큼에도 불구하고, 그것의 탄소저장 및 흡수는 성장량의 차이로 활엽수림보다 오히려 적었다. 단위면적당 탄소저장 및 흡수량이 상대적으로 가장 많은 영급의 임상, 즉 활엽수림 Ⅳ 및 Ⅴ영급은 타영급의 임상보다 더욱 적극적인 보존을 필요로 한다.

관목(흉고직경 2cm 미만)의 탄소저장 및 흡수량을 생체량방정식과 연간 근원직경성장률(조현길, 1999)을 활용하여 산정한 결과, 관목은 탄소저장량의 경우 단위면적당 총량 중 임상유형 및 영급에 따라 1~3%를, 탄소흡수량의 경우 0.4~0.8%를 차지하였다. 관목의 탄소저장 및 흡수량 점유비는 유령림에서 장령림보다 약간 높았으나 그 양은 미미한 것으로 나타났다.

휘발유 1리터 소비는 약 0.6kg의 탄소를, 그리고 시민 1인은 화석연료 소비로 연간 1.5t의 탄소를 각각 배출한다(조현길, 1999). 중부지역에서 성장하는 흉고직경 20cm의 활엽수 1주는 약 175리터의 휘발유 소비에 해당하는 탄소량을 저장하고, 1ha의 Ⅳ영급 활엽수림은 시민 57명이 연간 배출하는 탄소량을 저장하는 가치를 지닌다. 본 연구에서 제시한

단목 레블의 탄소저장 및 흡수 지표는 수종별 생장에 따른 대기탄소농도 저감 가치를 용이하게 추정하는 척도로 활용할 수 있다. 또한, 사례연구를 통한 군집 레블의 영급에 따른 단위면적당 탄소저장 및 흡수 평가는 개발사업으로 훼손될 수 있는 그 가치의 상대적 고저를 예측하고, 개발의 악영향을 최소화할 의사결정의 지침이 될 수 있을 것이다.

다수개체의 별목을 통한 수종별 생체량, 연간 직경성장률 및 탄소함량 측정은 별목이 제한되는 국내에서 용이치 않을 뿐만 아니라, 연구수행에 상당한 인력과 비용을 요구한다. 향후, 다른 방법으로서 적외선가스분석기를 이용한 수목의 CO₂ 흡수능 연구를 고려할 수 있으며, 이를 통해 본 연구에서 마련한 흡수 지표의 비교 검토가 수반될 필요가 있다.

인용 문헌

박완근(1987) 잣나무와 소나무의 직경생장과 Key-year에 관한 연구. 강원대학교 대학원 석사학위논문, 31쪽.

박인협(1985) 백운산지역 천연림생태계의 삼림구조 및 물질생산에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문, 48쪽.

박인협, 문광선(1994) 주요 참나무류 천연림의 물질생산 및 현존량추정식에 관한 연구. 한국임학회지 83(2): 246-253.

박인협, 이돈구, 이경준, 문광선(1996) 참나무류의 성장 및 물질생산에 관한 연구(1). 한국임학회지 85(1): 76-83.

박인협, 이석면(1990) 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 79(2): 196-204.

손영모, 이경학, 정영교(1997) 비선형 성장함수를 이용한 임분성장 추정. 한국임학회지 86(2): 135-145.

송철영, 이수욱(1996) 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 현존량 및 물질생산성에 관한 연구. 한국임

- 학회지 85(3): 443-452.
- 송철영, 장관순, 박관수, 이승우(1997) 신갈나무와 굴참나무 천연림의 탄소고정량 분석. 한국임학회지 86(1): 35-45.
- 용인시(1998) 용인통계연보. 577쪽.
- 이경재, 박인협(1987) 경기도 광주지방 22년생 잣나무 및 신갈나무림의 물질생산량과 무기영양분포. 임산에너지 7(1): 11-21.
- 임경빈, 김갑덕, 이경재, 김용식, 박인협, 김갑태, 이송호, 박효섭(1981) 15년생 낙엽송임분의 성장 및 생산구조. 임산에너지 1(1): 4-12.
- 임경빈, 이경재, 권태호, 박인협(1982) 리기다소나무 인공조림지의 물질생산량에 관한 연구. 임산에너지 2(2): 1-12.
- 임업연구원(1998) 산림의 온실가스 저감방안. 임업연구원 연구자료 제143호, 207쪽.
- 정성호(1985) 중부지방 주요침엽수의 직경성장 추정에 관한 연구. 한국임학회지 68: 52-59.
- 정성호, 최문길, 이근수(1983) 중부지방 주요활엽수의 직경 성장에 관한 조사연구. 한국임학회지 60: 24-29.
- 조현길(1999) 강원도 일부도시의 경관 내 탄소흡수 및 배출과 도시녹지의 역할. 한국조경학회지 27(1): 39-53.
- Ajtay, L. L., P. Ketner, and P. Duvigneaud(1979) Terrestrial production and phytomass. In: B. Bolin, E. T. Degens, S. Kempe, and P. Ketner(eds.), The Global Carbon Cycle, SCOPE Report No. 13, John Wiley & Sons, New York, pp. 129-181.
- Birdsey, R. A.(1992) Methods to estimate forest carbon storage. In: R. N. Sampson and D. Hair(eds.), Forests and Global Change (Volume 1), An American Forests Publication, Washington, D.C., pp. 255-261.
- Chow, P. and G. L. Rolfe(1989) Carbon and hydrogen contents of short rotation biomass of five hardwood species. Wood and Fiber Science 21(1): 30-36.
- Ciborowski, P.(1989). Sources, sinks, trends, and opportunities. In: D. E. Abrahamson(ed.), The Challenge of Global Warming, Island Press, Washington, D.C., pp. 213-230.
- Detwiler, R. and C. Hall(1987) Tropical forests and the global carbon cycle. Science 239: 42-47.
- Karl, T. R., N. Nicholls, and J. Gregory(1997) The coming climate. Scientific American May: 78-83.
- Kemp, D. D.(1990) Global Environmental Issues: A Climatological Approach. Routledge, New York, 240pp.
- Melillo, J. M., T. V. Callaghan, F. I. Woodward, E. Salati, and S. K. Sinha(1990) Effects on ecosystems. In: J. T. Houghton, G. J. Jenkins, and J. J. Ephraums(eds.), Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 285-310.
- Milne, R. and T. A. Brown(1997) Carbon in the vegetation and soils of Great Britain. Journal of Environmental Management 49: 413-433.
- Pingrey, D. W.(1976) Forest products energy overview. In: Energy and the Wood Products Industry, Forest Products Research Society, Madison, WI. pp. 1-14.
- Post, W. M., T. H. Peng, W. R. Emanuel, A. W. King, V. H. Dale, and D. L. DeAngelis(1990) The global carbon cycle. American Scientist 78: 310-326.
- Reichle, D. E., B. E. Dinger, N. T. Edwards, W. F. Harris, and P. Sollins(1973) Carbon flow and storage in a forest ecosystem. In: G. M. Woodwell and E. V. Pecan(eds.), Carbon and the Biosphere, Proceedings of the 24th Brookhaven Symposium in Biology, US Atomic Energy Commission, Office of Information Services, Upton, NY, pp. 345-365.
- Rodhe, H.(1990) A comparison of the contributions of various gases to the greenhouse effect. Science 248: 1217-1219.
- Schneider, S. H.(1990) The changing climate. In: Managing Planet Earth, W. H. Freeman and Company, New York, pp. 25-36.