

## 충주지역의 자작나무와 가래나무 조림지의 지상부 탄소고정에 관한 연구

이상진 · 박관수

충남대학교 산림자원학과

Carbon Storage in Aboveground of *Betula platyphylla* and  
*Juglans mandshurica* Plantations, Chungju, Korea

**Lee, Sang-Jin and Park, Gwan-Soo**

Department of Forestry Resources, Chungnam National University.

### ABSTRACT

This study has been carried out to estimate aboveground carbon contents in an average 30-years-old *Betula platyphylla* and 32-years-old *Juglans mandshurica* stands in Chungju, Chungbuk Province. Nine sample trees were cut in each forest and soil samples were collected. Carbon concentration in stemwood, stembark, branch, and foliage were ranged from 54.6% to 57.0% in *Betula platyphylla* and 53.5% to 56.9% in *Juglans mandshurica* stands. Aboveground carbon contents was estimated by the equation model  $\log W_t = A + B \log D$  where  $W_t$  is oven-dry weight in kg and  $D$  is DBH in cm. Total aboveground carbon contents was 34.31t/ha in *Betula platyphylla* stand and 21.10t/ha in *Juglans mandshurica* stand. Aboveground net primary carbon production was estimated at 2.31t/ha/yr in *Betula platyphylla* stand and 2.03t/ha/yr in *Juglans mandshurica* stand.

Key Words : *Carbon accumulation, Carbon content, Net primary carbon production.*

### I. 서 론

최근 화석연료의 사용 증가와 대규모 벌채로 인해 대기 중 이산화탄소 함량은 1850년에 약

280ppm이었던 것이 1989년에는 350ppm으로 증가하였으며, 앞으로 계속될 인구증가와 경제활동의 가속화로 인해 21세기 후반에 대기 중 CO<sub>2</sub> 함량은 산업혁명 이전보다 2배 이상 증가할 것으로

**Corresponding author** : Park, Gwan-Soo, Dept. of Forest Resources, Chungnam National University,  
Tel : +82-42-821-5743, E-mail : gspark@cnu.ac.kr

**Received** : 10 October, 2007. **Accepted** : 10 December, 2007.

전망된다(Winjum et al., 1992). 대기 중 CO<sub>2</sub> 함량 증가와 지구온난화 문제로 인하여 산림생태계의 중요성은 그 어느 때보다 크다 할 수 있는데, 이는 산림생태계가 육상생태계 내 지상부 탄소축적량의 약 90%와 지하부 탄소축적량의 약 40%를 차지하고 있으며(Waring and Schlesinger, 1985), 지구에서 육지와 대기 사이의 탄소순환은 해양과 대기 간 탄소순환보다 크므로(Winjum et al., 1992) 산림생태계는 대기 중 CO<sub>2</sub> 증가 억제를 위한 어떠한 시도에서도 유용한 매개체로서 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

대기 중 CO<sub>2</sub> 함량 증가와 지구온난화는 현재 전 세계의 가장 중요한 환경적 관심사이자 반드시 해결해야만 하는 난제임은 분명하며 이에 따른 다각적인 연구가 진행되어 왔다. 특히 지구전체의 탄소순환(방출량과 흡수량)에 대한 연구(Tans et al., 1990; Post et al., 1990)와 탄소방출의 매개체 및 축적지에 관한 연구(Dixon et al., 1994) 및 대기 중 함량 억제를 위한 방법제시(Kurz et al., 1992; Sedjo, 1989; Vitousek, 1991; Dixon et al., 1994)등의 연구가 활발히 진행되어 왔다. 우리나라 전 국토 면적의 약 65%를 차지하는 산림생태계는 탄소의 주된 축적지로서 그 중요성은 어느 때보다 크다 하겠다. 그러나, 현재

우리나라 산림생태계에 있어서 탄소축적에 관한 연구는 빈약한 실정이며 이에 대한 연구가 시급하다고 사료된다.

본 연구는 충청북도 충주시 산척면에 식재된 임령과 환경조건이 유사한 자작나무와 가래나무 조림지를 대상으로 탄소고정량을 조사하여 국내에 식재되어 있는 조림 수종에 대한 탄소순환 동태의 이해를 돕기 위해 실시되었다.

## II. 연구의 내용 및 방법

### 1. 조사지 개황

본 연구는 동경 128°03'21"~128°05'57"와 북위 37°02'26"~37°04'52" 사이의 충청북도 충주시 산척면에 위치하고 있는 자작나무와 가래나무 조림지를 대상으로 실시되었다. 본 조사지역은 선경그룹에서 70년대 말에 조림을 실시한 후 그 일부를 기증하여 현재 충남대학교 연습림으로 사용하고 있는 지역이며, 조림 면적은 자작나무 156ha, 가래나무 486ha이다. 본 조사지의 기상 조건은 연 평균기온 11.5℃, 최고평균기온 17.5℃, 최저평균기온 6.4℃이며 연 평균강수량은 1,233mm로 연중 6~8월에 집중하고 있다.

본 연구지의 자작나무 임령은 30년, 가래나무

**Table 1.** Aboveground sample descriptions of *Betula platyphylla* and *Juglans mandshurica* plantations.

	<i>Betula platyphylla</i>			<i>Juglans mandshurica</i>		
	DBH of sample tree(cm)	Age of sample tree(yr)	Height of sample tree(m)	DBH of sample tree(cm)	Age of sample tree(yr)	Height of sample tree(m)
	8.0	30	11.2	8.1	32	8.5
	10.5	30	12.1	10.0	32	10.3
	12.5	30	12.0	12.2	32	13.2
	14.4	30	15.2	14.1	32	18.7
	16.0	30	14.5	16.0	32	15.6
	18.1	30	16.9	18.0	32	16.4
	20.1	30	16.9	20.1	32	18.8
	22.0	30	18.9	22.0	32	17.8
	25.5	30	17.6	23.5	32	17.7
Mean	16.3	30	15.0	16.0	32	15.2

**Table 2.** DBH class and number of trees per hectare of *Betula platyphylla* and *Juglans mandshurica* plantations.

<i>Betula platyphylla</i>		<i>Juglans mandshurica</i>	
DBH (cm)	No. of tree/ha	DBH (cm)	No. of tree/ha
8	11	8	11
10	11	10	11
12	55	12	44
14	122	14	77
16	88	16	33
18	44	18	78
20	100	20	66
22	33	22	66
24	33	24	11
26	44	26	11
Total	541		408

의 임령은 32년이며, 자작나무림의 흉고직경은 8.0cm에서 25.5cm까지, 가래나무림의 흉고직경은 8.1cm에서 23.5cm까지 분포하였으며, 표본목들의 평균수고는 각각 15.03m, 15.22m로 조사되었다. 임목본수는 ha당 자작나무림이 541본, 가래나무림이 408본으로 조사되었다(표 1, 2).

임지내에 생육하고 있는 하층식생으로는 자작나무림에서는 병꽃나무, 개웃나무, 붉나무, 생강나무, 그늘사초, 애기나리, 고사리류 등이 분포하였으며, 가래나무림에서는 국수나무, 복분자딸기, 고사리류, 산딸기, 그늘사초 등이 주로 분포하였다.

## 2. 표본채취 및 분석방법

2007년 8월에 토양 및 지상부에 대한 시료채취를 실시하였다. 지상부 탄소고정량의 조사를 위해 15m×15m의 조사구를 수종별로 각각 10개씩 총 20개를 설치하여 매목조사를 실시한 후 조사된 흉고직경 범위 내에서 정상적 형태를 갖는 자작나무와 가래나무 각 9본의 표본목을 선정하였다. 선정된 18본의 임목은 지상부 20cm위치에서 별도 하였으며 수간부는 2m간격으로 절단하

고 지율을 사용하여 각 통나무의 생중량을 측정하였다. 건중량 추정을 위해 각 통나무에서 두께 약 10cm정도의 원판 표본을 분리, 측정 후 실험실로 운반하였다. 수간부에 붙어있는 모든 가지를 잘라 그 생중량을 측정하고 그 중에서 일부 가지를 표본으로 선정하여 생중량을 측정 후 건중량 추정을 위해 실험실로 운반하였다. 잎과 소지도 분리, 포장하여 현장에서 측정 후 표본 시료를 실험실로 운반하여 dry oven에서 75~80℃로 향량에 도달될 때까지 건조시켰다. 지상부의 각 부위별 탄소함량은 loss on ignition 방법으로 분석하였다. 죽은 가지는 양이 적고 또한 선정된 임목 중 죽은 가지가 있지 않은 것도 많아 이에 대한 탄소고정량은 추정하지 않았다.

탄소의 순생산량을 추정하기 위해 수간목부의 순생산량은 최근 5년간 재적성장량을 Smalian공식을 사용하여 구하고 이를 다시 5로 나누어 1년간 평균재적성장량을 구한 다음 전체 재적에 대한 비율을 이용하여 건중량을 계산하였다. 수피부에 대한 순생산량은 수간목부의 연간 성장율을 적용 산정하였다. 잎은 채취된 것을 사용하였으며, 생지부는 단목별로 채취된 5개의 가지밀둥(branch trunk)에서 가지 연령을 측정 후 Whittaker공식(Whittaker and Marks, 1975)을 이용하여 얻은 값에 소지(current twig)의 양을 합하여 추정하였다.

(Whittaker formula)

$$W=Bw/A$$

W : 생지의 1년간 성장량

w : 가지의 목질부와 수피의 건중량(kg)

A : 가지연령(branch age)

B : 가지연령에 대한 가지 건중량의 대수 회귀 방정식에서 얻은 상수(slope constant)

자작나무와 가래나무 각 9주의 표본목에서 부위별로 분리 측정된 건중량에 각 부위별 탄소함량을 곱한 후 공식  $\log W_t = A + B \log D$  [Wt : 건중량(kg), D : DBH(cm), A : 상수, B : 상수]와 같은

**Table 3.** Soil characteristics of *Betula platyphylla* plantation.

Soil horizon	Depth (cm)	Texture	Structure	OM (%)	Total N	Ava-P (ppm)	Exc-K (me/100g)	Exc-Ca (me/100g)	CEC (me/100g)	pH (1 : 5)
O	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A	0-15	HC	Granular	5.33	0.22	18.2	0.19	2.10	13.4	4.88
B	15-43	SiC	Blocky	2.11	0.15	12.1	0.27	1.35	10.5	5.02
C	43 <sup>+</sup>	-	Structureless	-	-	-	-	-	-	-

**Table 4.** Soil characteristics of *Juglans mandshurica* plantation.

Soil horizon	Depth (cm)	Texture	Structure	OM (%)	Total N	Ava-P (ppm)	Exc-K (me/100g)	Exc-Ca (me/100g)	CEC (me/100g)	pH (1 : 5)
O	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A	0-16	HC	Granular	4.65	0.20	25.2	0.35	3.20	12.7	5.10
B	16-58	SiC	Blocky	1.43	0.12	9,78	0.54	1.87	7.21	5.21
C	58 <sup>+</sup>	-	Structureless	-	-	-	-	-	-	-

모형의 회귀식을 이용하여 탄소고정량과 순생산량 방정식을 유도하였다. 매목조사 결과 측정된 매목의 흉고직경을 유도된 공식에 대입하여 매목의 탄소고정량과 순생산량을 구한 후 각각을 합산함으로써 두 수종의 탄소고정량과 순생산량을 추정하였다.

토양시료는 자작나무림과 가래나무림에서 대표적인 입지를 선정하여 토양층위별로 단면조사를 실시한 후 토양층에 따라 시료를 채취하였으며 분석한 결과는 표 3, 4와 같다. 채취된 토양은 자연 건조한 후 토양중 유기물 함량은 Walkely-Black wet oxidation법으로, pH는 1 : 5로 분석하였고, 전질소 함량은 Kjeldahl법으로, 치환성 K와 Ca는 ICP를 이용하여 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 지상부의 부위별 탄소함량

본 연구에서 자작나무와 가래나무의 잎, 가지, 수피 그리고 수간목부의 탄소함량(concentration)을 분석한 결과는 표 5와 같다. 자작나무의 부위별 탄소함량은 잎 54.6%, 가지 57.0%, 수피 55.6%,

**Table 5.** Carbon concentrations(%) in foliage, branch, bole bark and bole wood of *Betula platyphylla* and *Juglans mandshurica* plantations.

Tree component	<i>Betula platyphylla</i> (%)	<i>Juglans mandshurica</i> (%)
Foliage	54.6±0.3	53.9±0.7
Branch	57.0±0.2	56.9±0.5
Bole bark	55.6±0.4	53.7±0.6
Bole wood	55.3±2.0	55.5±1.8
Total	55.5±1.3	54.7±1.7

그리고 수간목부 55.3%로 나타났으며, 가래나무의 경우 각각 53.9%, 56.9%, 53.7%, 그리고 55.5%로 부위별로 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 수목의 탄소함량은 건중량의 약 50%로 알려져 있으나(Satoo and Madgwick, 1982; 송철영·이수욱, 1996), 본 연구에서는 두 수종 모두에서 알려진 것보다 약간 높은 것으로 나타났다. 부위별로는 두 수종 모두 가지에서 가장 높은 탄소함량을 보였다(표 5).

#### 2. 지상부 탄소고정량

본 연구에서 대수회귀식의 결정계수( $R^2$ ) 값은

**Table 6.** Organic carbon estimation equation of individual tree biomass of *Betula platyphylla*. Equation form :  $\log Wt=A+B\log D$ , where Wt is weight in g, D is DBH in cm.

Tree Component	A	B	R-Square
Bole	1.645	2.382	0.982
Bark	0.980	2.276	0.972
Branch	-0.244	3.346	0.969
Foliage	-0.186	2.711	0.966
Aboveground	1.633	2.514	0.988

**Table 7.** Organic carbon estimation equation of individual tree biomass of *Juglans mandshurica*. Equation form :  $\log Wt=A+B\log D$ , where Wt is weight in g, D is DBH in cm.

Tree Component	A	B	R-Square
Bole	1.506	2.421	0.976
Bark	1.060	2.230	0.961
Branch	0.441	2.741	0.960
Foliage	1.247	1.616	0.961
Aboveground	1.703	2.402	0.989

지상부 총 탄소고정량의 경우 자작나무림과 가래나무림 모두 0.98이상으로 상관관계가 높았으며, 지상부 총량의 68~70%를 차지하는 수간목부도 두 수종 모두 0.982과 0.976으로 높은 상관관계를 나타냈다(표 6, 7). 가지, 수피 및 잎의 결정계수도 두 수종 모두에서 0.95 이상의 상관계수를 나타냈다.

본 연구의 지상부 총탄소고정량은 수령 30년생 자작나무림에서 34.31t/ha, 32년생 가래나무림에서 21.10t/ha로 가래나무림에서 보다 임령이 적은 자작나무림에서 ha 당 약 14톤 정도 높은 탄소고정량을 보였다(표 10). 본 조사 임분과 임령이 유사한 외국의 *Betula*속의 탄소고정량(현존생물량의 약 50%)을 보면 영국의 22년생 *Betula alba*의 총 탄소고정량은 31.4t/ha과 29.4t/ha으로 보고되며(Ovington, 1956), 일본에서의 22년생 *Betula ermani*는 31.3t/ha(Satoo, 1970), 소련의 20년생 *Betula verrucosa*는 40.2t/ha(Ovington, 1962), 스웨

덴의 25년생 *Betula verrucosa*는 23.7t/ha(Ovington, 1962), 영국의 24년생 *Betula verrucosa*는 40.0t/ha(Ovington and Madgwick, 1959)으로 본 조사의 결과와 유사한 것으로 보고되고 있다. 국내의 경우 자작나무과에 속하는 경기도의 12-18년생 *Alnus sibirica*의 현존생물량은 22.7t/ha(채명인 · 김준호, 1977)로 본 연구의 자작나무보다 적은 것으로 보고되고 있다.

가래나무의 경우 국내의 선행연구가 극히 제한적인 것으로 보이며, 김태욱과 김갑덕(1986)에 의하면 백운산지역에서 생육하고 있는 임령이 보고되지 않은 가래나무의 탄소고정량은 7.7t/ha으로 본 조사의 가래나무보다 탄소고정량이 매우 낮은 것으로 보고되고 있다. 본 연구의 두 수종과 임령이 비슷한 평균 수령 26-29년의 상수리나무림의 탄소고정량은 41.0t/ha, 굴참나무림은 39.8t/ha, 졸참나무림은 57.5t/ha, 신갈나무림은 59.4t/ha(박인협 · 문광선, 1994)로 본 조사의 두 수종보다 높은 탄소고정량을 보였다. 연구지역이 유사한 충주지역의 평균 수령 39년생의 신갈나무림의 탄소고정량은 48.85t/ha로 본 연구의 결과치보다 높은 것으로 나타났다(송철영 · 이수옥, 1996).

본 연구의 자작나무와 가래나무의 지상부 총탄소고정량 중 대부분을 차지하는 부위는 수간목부로서, 자작나무림은 24.00t/ha 그리고 가래나무림은 14.29t/ha으로 총 탄소량 중 70.0%, 67.7%를 차지하였는데, 박인협과 문광선(1994)이 보고한 신갈나무림 60.0%, 굴참나무림 60.0%, 그리고 송철영과 이수옥(1996)이 보고한 신갈나무림 58.0%, 굴참나무림 61.0%보다 다소 높았으며, 박관수 등(2000)이 보고한 자작나무림 73.6%, 가래나무 69.4%와는 매우 유사하였다. 생지부는 자작나무가 5.57t/ha(16.3%), 가래나무가 3.16t/ha(15.0%)로 박관수 등(2000)의 자작나무와 가래나무림의 보고와 매우 유사한 비율을 보였다. 수피는 각각 3.79t/ha(11.0%), 2.91t/ha(13.8%)이었으며, 잎은 0.95t/ha(2.7%), 0.74t/ha(3.5%)로 나타났다(표 8).

**Table 8.** Aboveground carbon content(t/ha) of *Betula platyphylla* and *Juglans mandshurica* plantations.

Tree component	Betula platyphylla		Juglans mandshurica	
	(t/ha)	(%)	(t/ha)	(%)
Foliage	0.95	2.7	0.74	3.5
Branch	5.57	16.3	3.16	15.0
Bolebark	3.79	11.0	2.91	13.8
Bolewood	24.00	70.0	14.29	67.7
Total aboveground	34.31	100.0	21.10	100.0

### 3. 탄소의 순생산량

임목의 부위별 탄소 순생산량을 측정된 값에 공식  $\log Wt=A+B\log D$  (Wt : 건중량(kg), D : DBH (cm), A : 상수, B : 상수)를 이용하여 구한 결과는 표 9, 10과 같다. 결정계수( $R^2$ )의 값은 탄소 순생산량의 경우 자작나무림과 가래나무림에서 0.98 이상으로 나타났으며, 수간목부도 각각 0.963와 0.992로 나타났다. 가지, 수피 및 잎의

**Table 9.** Organic carbon estimation equation of individual tree NPP of *Betula platyphylla*. Equation form :  $\log Wt=A+B\log D$ , where Wt is weight in g, D is DBH in cm.

Tree Component	A	B	R-Square
Bole	0.341	2.043	0.963
Bark	-0.356	1.988	0.977
Branch	0.373	2.248	0.960
Foliage	-0.186	2.711	0.966
Aboveground	0.661	2.359	0.981

**Table 11.** Net primary production of carbon(tonC/ha/yr) in *Betula platyphylla* and *Juglans mandshurica* plantations.

Tree Component	<i>Betula platyphylla</i>		<i>Juglans mandshurica</i>	
	(tonC/ha/yr)	(%)	(tonC/ha/yr)	(%)
Bole	0.44	18.8	0.33	16.2
Bark	0.07	3.2	0.07	3.3
Branch	0.86	37.2	0.89	43.9
Foliage	0.94	40.8	0.74	36.6
Total aboveground	2.31	100.0	2.03	100.0

**Table 10.** Organic carbon estimation equation of individual tree NPP of *Juglans mandshurica*. Equation form :  $\log Wt=A+B\log D$ , where Wt is weight in g, D is DBH in cm.

Tree Component	A	B	R-Square
Bole	0.707	1.763	0.992
Bark	0.263	1.570	0.961
Branch	0.575	2.207	0.963
Foliage	1.247	1.616	0.961
Aboveground	1.349	1.882	0.980

결정계수도 두 수종 모두에서 0.96이상의 상관계수를 나타냈다.

본 연구에서 자작나무림과 가래나무림의 지상부 탄소 NPP를 구한 결과는 표 11과 같다. 지상부 순탄소고정량은 자작나무림에서 2.31tonC/ha/yr, 가래나무림에서는 2.03tonC/ha/yr로 가래나무림에서 보다 자작나무림에서 높은 순탄소고정량을 보였다. 본 연구 자작나무림의 순탄소고정량은 영국에서의 22년생 *Betula alba*의 1.84tonC/ha/yr와 1.34tonC/ha/yr(Ovington, 1962), 일본의 44년, 47년생 *Betula maximowicziana*의 3.04tonC/ha/yr와 3.16tonC/ha/yr(Satoo, 1966), 그리고 경기도의 12-18년생 *Alnus sibirica* 3.75tonC/ha/yr(채명인 · 김준호, 1986) 보다 높거나 낮게 나타났다. 우리나라 산림생태계에서 활엽수림의 순탄소고정량은 1.5-9 tonC/ha/yr의 범위를 갖고 있으며, 1.5-3tonC/ha/yr에서 최고빈도가 나타나는데(김시경 · 정좌용, 1985), 본 연구 두 수종의 순탄소고정량은 중간 정도의 값을 보이는 것으로 나타났다.

본 연구 두 수종의 지상부 순탄소고정량은 자작나무의 경우 앞에서 40.8%로 가장 많은 것으로 나타났으며, 가지부가 37.2%, 수간부가 18.8%, 수피부가 3.2%로 조사되었다. 가래나무의 경우에는 가지부에서 43.9%로 앞의 36.6%보다 큰 것으로 나타났으며, 수간부가 16.2%, 수피부가 3.3%로 조사되었다. 지상부 탄소고정량의 경우와는 다르게 잎과 생지부가 순탄소고정량에서 차지하는 비율은 매우 높게 나타났으며, 이는 매년 생산량 중에서 많은 부분이 낙엽과 낙지를 통해서 다시 토양으로 환원됨으로서 자작나무와 가래나무 생태계에서 상당량의 양료순환이 이루어지고 있는 것으로 보인다(이수욱, 1985).

#### IV. 결 론

최근 대기 중 이산화탄소의 증가와 지구온난화로 인해 탄소의 축적지이면서 방출지인 산림생태계에 대한 중요성이 크게 인식되고 있다. 본 연구는 국내에 식재되어 있는 조림 수종들의 탄소순환 동태의 이해를 돕고 정보를 제공하기 위해 실시되었으며 이를 위해 충청북도 충주지역에 식재된 30년생 자작나무와 32년생 가래나무 인공림에서 임분별로 각 9주씩 총 18주의 표본목을 선정 별목하고 토양시료를 채취하였다. 수간목부, 생지부, 수피, 그리고 잎에서의 탄소함량은 자작나무림의 경우 54.6~57.0%, 가래나무림의 경우 53.7-56.9%로 나타났다. 자작나무림과 가래나무림의 지상부 탄소고정량을 추정하기 위하여 방정식 모형  $\log Wt = A + B \log D$ 를 사용하여 추정한 지상부 총 탄소고정량은 자작나무림에서 34.31t/ha, 가래나무림에서 21.10t/ha로 가래나무림에서 보다 임령이 낮은 자작나무림에서 높은 탄소고정량을 보였으며, 연령이 비슷한 참나무류 보다 낮은 탄소고정량을 보였다. 부위별 탄소함량은 자작나무와 가래나무 모두 가지부에서 가장 높게 나타났다. 연간 고정할 수 있는 탄소량은 자작나무림이 2.31tonC/ha/yr, 가래나무림이 2.03tonC/

ha/yr로 우리나라에서 생육하고 있는 활엽수종 중 중간 정도의 순탄소고정량을 보이는 것으로 나타났다.

#### 인 용 문 헌

- 김시경 · 정좌용. 1985. 굴참나무 천연림의 생산 구조 및 물질생산력에 관한 연구. 한국임학회지 70 : 91-102.
- 김태욱 · 김갑덕. 1986. 백운산 지역의 식물현존량 및 생산성 조사에 관한 연구. 한국임산에너지학회지 6(1) : 59-74
- 박관수 · 송호경 · 권기원. 2000. 충주지역의 자작나무와 가래나무 조림지의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 89(2) : 249-255.
- 박인협 · 문광선. 1994. 주요 참나무류 천연림의 물질생산 및 현존량 추정식에 관한 연구. 1994. 한국임학회지 83(2) : 246-253.
- 송철영 · 이수욱. 1996. 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 현존량 및 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 85(3) : 443-452.
- 이수욱. 1985. 강원도산 소나무 천연림 생태계의 Biomass 및 Net Primary Production에 관한 연구. 한국임학회지 71 : 74-81.
- 채명인 · 김준호. 1977. 물오리나무와 상수리나무 숲의 생산력 비교. 한국생태학회지 1 : 57-65.
- Dixon, R. K., S. Brown, R. A. Houghton, A. M. Solomon, M. C. Trexler and J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 263 : 185-190.
- Kurz, W. A., M. J. Apps, T. M. Webb and P. J. McNamee. 1992. The carbon budget of the Canadian Forest Sector : Phase I. Inf. Rep. NOR-X-326, Forestry Canada, Edmonton, Alberta. 56pp.
- Ovington, J. D. 1956. The form, weights and productivity of tree species grown in close stands. New Phytol, 55 : 289-304.

- Ovington, J. D. 1962. Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept. *Adv. Ecol. Res.*, 1 : 103-192.
- Ovington, J. D., and H. A. Madgwick. 1959. The growth and composition of natural stands of birch. *Plant and soil*, 10 : 271-283.
- Post, W. M., T. Peng, W. R. Emanuel, A. W. King, V. H. Dale and D. L. DeAngelis. 1990. The global carbon cycle. *Am. Sci*, 78 : 310-326.
- Satoo, T. 1966. Production and distribution of dry matter in forest ecosystems. *Misc. Infom. Tokyo Univ. For.*, 16 : 1-15.
- Satoo, T. 1970. A synthesis of studies by the harvest method : Primary production relations in the temperate deciduous forest of Japan, pp.55-72. In D. E. Reichle, ed. *Analysis of Temperate Forest Ecosystems*. Springer verlag. N.Y.
- Satoo, T., and H. A. Madgwick. 1982. *Forest Biomass*. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publisher, The Hague. 152pp.
- Sedjo, R. A. 1989. *Forests : a tool to moderate global warming?* *Environment*, 31(1) : 15-21.
- Tans, P. P., I. Y. Fung and T. Takahashi. 1990. Observational constraints on the global atmospheric CO<sub>2</sub> budget. *Science*, 247 : 1431-1438.
- Vitousek, P. M. 1991. Can planted forests counteract increasing atmospheric carbon dioxide? *J. Environ. Qual.*, 20 : 348-354.
- Waring, R. H., and W. H. Schlesinger. 1985. *Forest Ecosystems; Concepts and Management*. Academic Press, N.Y. 340pp.
- Whittaker, R. H., and P. L. Marks. 1975. *Methods of assessing terrestrial productivity in primary productivity of the Biosphere*. Edited by H. Lieth and R. H. Whittaker. Springer Verlas. N.Y. 55-118pp.
- Winjum, J. K., R. K. Dixon and P. E. Schroeder. 1992. Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon. *Water, Air, and Soil Pollution*, 64 : 213-227.