

불가시나무 간벌강도에 따른 지상부 탄소고정량에 관한 연구

이상태¹ · 손영모² · 이경재¹ · 황재홍¹ · 최재채¹ · 신현철¹ · 박남창¹

¹국립산림과학원 남부산림연구소, ²국립산림과학원

(2005년 11월 15일 접수; 2005년 12월 2일 수락)

Aboveground Carbon Storage of *Quercus acuta* Stands by Thinning Intensity

Sang-Tae Lee¹, Yeong-Mo Son², Kyung-Jae Lee¹, Jaehong Hwang¹,
Jae-Chae Choi¹, Hyeon-Chul Shin¹ and Nam-Chang Park¹

¹Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute Jinju, 660-330, Korea

²Korea Forest Research Institute, Seoul, 130-712, Korea

(Received November 14, 2005; Accepted December 2, 2005)

ABSTRACT

This study was carried out to estimate aboveground carbon contents associated with four years of thinning treatment of *Quercus acuta* stands in Wando Arboretum, Jeonnam. Stand thinning was conducted over four years using stand table projection for each thinning treatment. Ten sample trees were cut in the surveyed area. Estimation of aboveground biomass was made using the equation model $W = aD + bD^2$ where W is oven dry weight and D is DBH in cm. The total aboveground biomass for each intensity treatment area was : control (148.4 ton/ha), light (105.6 ton/ha), moderate (68.7 ton/ha) and heavy (39.1 ton/ha). Aboveground carbon storage for *Quercus acuta* stands was found by multiplying dry weight (ton/ha) by 0.5. Carbon storage and increment after four years was: control (74.2 tonC/ha), light (52.8 tonC/ha), moderate (34.3 tonC/ha) and heavy thinning intensity area (38.2 tonC/ha).

Key words : Carbon storage, Thinning intensity, Biomass, dry weight, *Quercus acuta*

I. 서 론

인간의 이기를 위한 모든 활동은 산업혁명이라는 큰 변화의 시점을 기준으로 자연의 파괴는 정도가 심각한 수준으로 도래하기 시작하였다. 특히 산업화는 지구의 환경을 조금씩 자기 정화 능력을 초과하는 수준에 도달하였으며, 그 결과 지구온난화라는 큰 변화를 가져왔다. 온난화의 결과 이상 기후와 산림의 식생대 변화 등 다양한 악조건을 연출하였다. 이러한 큰 문제는 어느 특정 국가의 책임이 아니라 전 인류가 안고 있는 공통된 문제로 부각되었으며, 이를 해결하기 위한 여

러 가지 방안들이 강구되고 있다. 특히 1997년 교토 의정서는 기후변화의 주범인 온실가스 배출 억제를 위한 협약을 체결, 이행 지침을 마련하였다. 그러나 우리나라와 같이 개발국가로서는 탄소배출권과 관련된 문제는 경제적 위축을 가져오는 큰 문제가 아닐 수 없다. 이와 같이 탄소배출권과 관련된 문제 해결 방안은 산림이 가지고 있는 무한한 탄소저장능력으로 관심을 두었다(Alban and Perala, 1992; Latitat *et al.*, 2000).

현재 대기중의 이산화탄소 농도는 산업혁명 이전의 280 ppm에서 368 ppm으로 31%의 증가량을 보이고

있다. 이는 무엇보다 화석연료 사용의 증가와 탄소저장 능력을 가지고 있는 산림 훼손 및 전용에 따른 손실 등 다양한 산업활동의 영향으로 인한 것이다. 특히 지구온난화의 약 60% 이상이 이산화탄소에 의한 것임을 볼 때, 탄소저장원인 산림의 훼손 및 전용은 지구온난화를 가중 시키는 한 요인이자, 억제시킬 수 있는 방법이기도 하다. 이러한 흐름으로 산림의 정확한 탄소저장량을 평가하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. Birdsey(1992)는 국가 전체의 탄소저장 능력의 평가 및 조사를 수행하였으며, McPherson and Simpson (1999)은 도시림에서의 이산화탄소 저감을 위한 연구를 발표하였다. 또한 Tans et al.(1990)은 지구전체의 탄소 흐름에 대한 연구를, Kurtz et al.(1992)은 산림생태계를 이용한 대기중 이산화탄소 증가 억제를 위한 연구를 발표하였다. 국내에서는 Park(1999)가 신갈나무와 굴참나무 임분의 지상부 및 지하부의 탄소고정능력을 평가하였다.

지금까지의 탄소고정과 관련된 물질생산에 대한 연구는 현재의 임목을 대상으로 순생산량을 산출하였다. 그러나 인공림의 경우 인위적 시업에 따른 임목 축적 및 성장량 변화를 고려하지 않고 단순히 현존량에 의존하기 때문에 시계열적인 임분의 물질생산량 추정이 어려운 실정이다. 이러한 문제는 탄소권 확보와 관련된 산림의 정확한 탄소고정량 산출하는데 있어서 인공림의 변화에 따른 생산량 변화를 고려할 수 없기 때문에 산림경영에 있어서 반드시 고려되어야 할 부분이다. 특히 우리나라는 전국토 면적의 약 65%가 산림으로 구성되어, 탄소의 주된 축적지로서의 가치가 매우 높기 때문에 국가적 산림자원의 예측을 통한 탄소권확보를 위한 산림 경영이 필요하다.

붉가시나무의 경우 우리나라 도서 해안 및 남부지방

을 중심으로 분포되어 있는 난대상록활엽수를 대표하는 수종으로서 기후변화에 따른 난대림의 형성으로 앞으로의 연구적 가치는 충분히 있다고 판단된다. 따라서 본 연구는 붉가시나무 임분의 물질생산량 조사를 통하여 적정 모형식을 추정, 간벌처리구별 임분의 성장량과 추정 모형식을 적용하여 미래의 붉가시나무 임분 처리구별 탄소고정량 변화를 분석하고자 한다. 아직까지 인위적 시업이 가해지는 임분에 대한 탄소고정의 변화량에 대한 연구가 없는 실정이므로 이를 통하여 시업지 임분의 탄소고정량 분석에 대한 산림경영의 기초 자료를 제공하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

II. 재료 및 방법

2.1. 조사지 개황

본 연구의 조사대상지는 전라남도 완도군 완도수목원내에 위치하고 있는 난대상록활엽수림이 광범위하게 분포하고 있는 지역이다. 주요 분포 수종으로는 붉가시나무, 동백나무, 황칠나무, 구실잣밤나무 등이 있다. 완도수목원내의 붉가시나무 산림군락구조에 대한 연구 보고에서 붉가시나무 임분 유형은 단순 붉가시나무림, 붉가시나무-동백나무군락, 붉가시나무-개서어나무군락, 붉가시나무-줄참나무 군락등 크게 4개의 군락으로 분류하였다(Kim et al., 2002). 본 연구조사 대상지는 서향에 위치하고 있으며, 경사 20~25°, 토양배수는 양호하며 하층에는 동백나무, 마삭줄, 생달나무, 황칠나무, 사스레피나무 등이 출현하였으며, 간벌처리구의 임분 분포 상황은 Table 1과 같다.

Table 1에서와 같이 1997년도 임분전환 개선시험을 목적으로 처리된 간벌처리구별 임분 상황으로서 흉고

Table 1. The characteristic of stand thinning treatment in *Quercus acuta*

Thinning intensity	Age class	DBH(cm)	Height(m)	Remained tree(N/ha)
Control		10.7	9.3	1,300
		4.0-14.5	3.4-16.7	
Light	III	10.5	9.1	1,025
		5.4-13.2	4.9-14.6	
Moderate		10.9	9.8	900
		8.1-12.4	6.2-17.2	
Heavy		10.7	9.9	750
		7.3-13.2	6.2-14.5	

직경 분포는 4.0~14.5 cm, 수고 3.4~17.2 m의 분포를 보이고 있는데, 조사대상지의 붉가시나무림은 맹아에 의해 갱신된 이차림으로 구성되어 경급이 낮은 것으로 판단된다. 간벌 후 임분 분수는 ha당 대조구 1,300본, 약도 1,025본, 중도 900본 그리고 강도 처리구는 750본으로 조사되었다. 현재 난대수종에 대한 간벌기준표가 없기 때문에 산림자원조성 교재에 의한 수종별 흉고직경급에 대한 잔존분수를 기준으로 붉가시나무에 대한 간벌작업을 시행하였으며, 임분의 영급 분포는 III영급이 주를 이루고 있다.

2.2. 조사방법

2.2.1. 임분표 예측

간벌시업지의 임분성장 변화를 분석하기 위하여 임분표예측(stand table projection) 방법을 적용하였다. 이는 전통적인 직경급모델로 현실림의 미래 임분상황을 예측하는 것으로서, 각 직경급을 갖는 표준지에서 수집되는 실제 직경생장과 기타 정보로서 성장변화를 추정할 수 있다. 여기에서 모든 개체목은 예측 기간중에 살아있음을 가정하였다. 임분표 예측은 짧은 성장기간 5~10년 이하 기간동안의 임분의 변화 분석에 아주 좋은 결과를 나타내는 것으로 알려져 있다(Pienaar and Harrison, 1988; Nepal and Somers, 1992).

본 분석에서는 미래의 직경급 분포를 현재의 직경급 분포를 이용한 성장지수율(growth index ratio or movement ratio)인 식 (1)을 원용하여 산출하였다. 여기서 g 는 지난 4년 동안의 직경생장량, 그리고 i 는 직경계의 꺾임을 나타낸다.

$$\text{Growth Index Ratio} = \frac{t}{i} \times 100 \quad (1)$$

2.2.2. 생체량 및 탄소고정량 분석

붉가시나무 생체량 분석을 위한 조사구는 20 m × 20 m 크기를 설정 매목 조사를 실시하였으며, 각 경급별 6~24 cm 까지 한 본씩을 선정하였다. 표준목 선정은 임시표본점을 설치하여 매목 조사를 실시한 후 임의추출법에 의해서 각 경급별로 선정하였으며, 임분내 임목의 평균직경은 16 cm, 수령 분포는 III영급, 평균수고는 13 m이다.

선정된 임목은 벌근부 20 cm 지점에서 벌채하여 임목의 수령을 측정하였으며, 그 뒤 수간석해에 따른 방법을 적용하여 2 m씩 잘라서 원통의 중간부위에서 10 cm 두께의 원판을 채취하였다. 가지와 잎 등은 해

Table 2. Tested Biomass equation models for *Quercus acuta* where W is weight variables and D is DBH(cm) and a, b, c is parameters

Estimation equation	
DBH variable	
I	$W = a + bD^2$
II	$W = aD + bD^2$
III	$W = a + bD + cD^2$

당 주간 부위별로 구분하였으며, 1년생과 2년생 가지 등으로 구분 채취하였다. 이러한 방법으로 현장에서 붉가시나무의 생체량을 측정하였으며, 채취된 원판과 잎과 가지의 생체량 시료를 채취하여 생체량 무게를 측정된 뒤 85°C 건조기에서 항량이 될 때 까지 건조하여, 부위별 시료의 건조량을 각각 측정하였다.

붉가시나무의 중량 추정을 위한 모형식은 국립산림과학원(2004)에서 수행한 수간중량 추정모형식 중에서, 임분표 예측시 수고 생장은 고려되지 않기 때문에 흉고직경에 의한 1변수 모형만을 적용하였으며 세부 추정 모형식은 Table 2와 같다.

Table 2에서 최소자승회귀법에 의한 계수 추정시 독립변수가 키짐에 따라 발생될 수 있는 점을 보완하기 위하여 독립변수에 대한 가중치를 적용하였으며, 이에 따라 I, II, III 식에 대해서는 $1/D^2$ 의 가중치를 적용하였으며, 적용된 모형의 검정은 적합도지수를 이용하였다. 추정식에 대한 설명부분을 나타내는 적합도지수는 단순 일반회귀식에서는 결정계수 값인 R^2 (coefficient of determine)를 적용하였다(국립산림과학원, 2004).

본 연구에서는 붉가시나무 생체량 분석에서 부위별로 구분하여 조사하였으나, 경급변화에 따른 붉가시나무 각 부위별 생체량의 합을 이용하였다. 비록 임분 밀도에 따라 수관 및 수간의 발달 상태가 다르기 때문에 생체량에 있어 다소 차이는 있을 수 있으나, 추정모형식에서 적합성 있는 식의 적용으로 이러한 오차를 줄이고자 하였다. 이러한 가설을 바탕으로 임분의 직경급에 따른 생체량을 추정, 탄소 흡수원으로서의 붉가시나무 간벌처리구별 탄소고정량 변화를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 붉가시나무 직경생장 변화

간벌 강도에 따른 각 처리구별 임분의 미래 임분

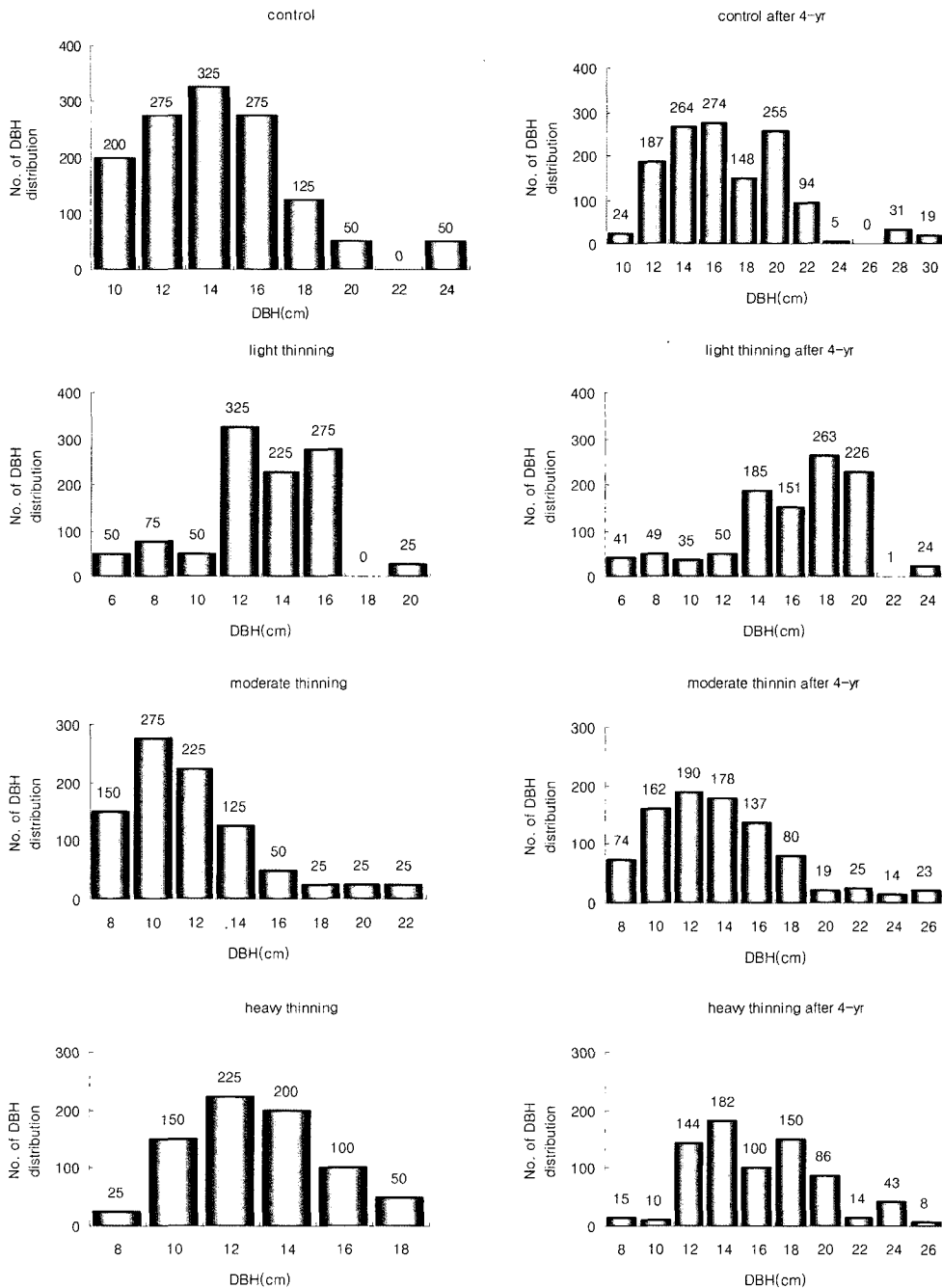


Fig. 1. Comparison of the future DBH distribution after 4 years with current DBH distribution in *Quercus acuta*.

직경변화를 임분예측표를 이용하여 분석한 결과는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서 대조구의 임목분수는 ha당 1,300본으로서, 현재의 경급 보다 3단계까지 상위경급으로 이동하는 임목도 발생하게 될 것으로 사료된다. 따라서 전체

경급분포는 10~24 cm이던 것이 10~30 cm까지 확장되게 될 것으로 추정된다. 대조구의 현재 재적은 140.04 m³/ha이며, 4년 후의 예측 재적은 190.22 m³/ha로 증가할 것으로 예측된다. 약도처리구의 초기 임목분수는 ha당 1025본이며, 임분표예측에 의하면 대조구

Table 3. Dry weight of sample tree of *Quercus acuta* (unit : kg)

Height(m)	DBH(cm)	Stem	Leaf 2 year	Leaf 1 year	Branch 2 year	Branch 1 year
9.9	4.8	5.1	0.17	0.11	0.27	0.09
9.7	6.5	12.1	0.19	0.19	0.37	0.11
13.5	8.9	25.5	0.37	0.47	0.45	0.12
11.4	10	33.4	0.44	0.32	0.80	0.30
11.9	12	45.5	0.36	0.52	0.75	0.29
14.3	14	78.9	0.40	0.40	0.80	0.44
14.2	15.7	104.7	0.57	0.78	1.49	0.51
14.1	18	77	0.83	0.61	1.83	0.38
14.9	20	156.5	0.44	0.52	1.23	0.57
15.3	22.3	221.2	0.77	0.76	2.33	0.64

와 같이 3단계 상위로 이동하는 것으로 나타났으며 경급 분포는 현재의 6~20 cm에서 6~26 cm로 확장될 것으로 추정된다. 재적 변화는 85.46 m³/ha에서 예측재적은 133.33 m³/ha 증가할 것으로 예상된다. 중도 간벌지의 경우 ha당 900본이며, 임분예측표 분석 결과 현재보다 경급이 2단계까지 상위단계로 이동할 것으로 예측된다. 따라서 전체적으로 경급분포가 8~22 cm이던 것이 8~26 cm까지 확장되며, 현재재적은 54.40 m³/ha에서 예측재적은 83.87 m³/ha으로 증가할 것으로 예측된다. 강도처리구의 초기 임목본수는 ha당 750본으로 다른 간벌 시험지에 비하여 현 경급 분포에서 4단계까지 상위 단계로 이동할 것으로 예측되어 강도 간벌에 의한 경급 변이가 다른 처리구에 비해서 큰 것으로 나타났다. 임분예측표에 의한 경급 분포 결과 초기 경급 분포가 8~18 cm에서 4년 뒤 예측되는 경급은 8~26 cm까지 확장되게 될 것으로 추정된다. 현재재적은 60.55 m³/ha이며, 4년 후의 예측재적은 94.42 m³/ha으로 증가할 것으로 예측된다.

3.2. 생체량 및 추정모형식

완도지역 붉가시나무의 물질생산량을 추정하기 위하여 선정된 표준목은 총 10본이며, 선정된 표준목에서 잎과 가지는 1년, 2년생 이상으로 구분지어 조사하였으며, 측정된 부위별 생체량과 건중량의 분포는 Table 3과 같다.

Table 3에서 붉가시나무의 부위별 건중량 분포는 수간이 전체 물질생산량의 75% 이상을 차지하고 있었으며, 가지의 경우 2년생이 14%, 1년생이 0.8% 정도를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 잎의 경우 1, 2년생에 대한 건중량 차이는 크게 나타나지 않았으나, 가지

Table 4. Dry weight estimation equation of individual tree biomass of *Quercus acuta*, where W is weight in kg and D is DBH in cm

Model	Parameters			R ²
	a	b	c	
$W = a + bD^2$	-6.2186	0.3996	-	0.9366
$W = aD + bD^2$	-1.1928	0.4470	-	0.9685
$W = a + bD + cD^2$	12.96743	-3.3941	0.2328	0.9397

의 경우 1년생에 비해서 2년생 이상의 건중량이 더 높은 것으로 조사되었다.

붉가시나무의 흉고직경 1변수식에 의한 생체량의 추정식을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 흉고직경을 이용한 추정식 모형에 있어서, 계수 추정시에 발생하는 독립변수의 영향을 고려하여 각 식에 대하여 1/D²의 가중치를 적용 분석하였다.

Table 4에서 임목의 부위별 생체량 추정식을 분석한 결과 흉고직경모형에 대하여 1/D²의 가중치를 적용한 I~III식의 경우 거의 비슷한 수준의 결정계수가 0.9366~0.9685의 분포를 보이고 있다. 세 모형식 모두 적합도 지수를 나타내는 결정계수의 설명력은 높은 것으로 나타났으며, 이들 모형식 중 결정계수의 설명력이 높은 $W = aD + bD^2$ 을 이용하여 간벌처리구 임분별 생체량과 4년 후의 미래 임분의 생체량 분석에 이용하였다.

3.3. 간벌처리구별 현존량 및 탄소고정량

붉가시나무 생체량을 이용하여 추정된 간벌처리구별 임분의 생체량과 4년 후 예측되는 지상부 생체량 분석 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Aboveground estimated biomass production(ton/ha) 2003 year and after four years of thinning treatment of *Quercus acuta*

Thinning intensity	Year		Predicted increasing ratio.(%)
	2003	2007	
Control	104.2	148.4	29.8
Light	65.8	105.6	37.7
Moderate	48.5	68.7	29.4
Heavy	46.5	76.4	39.1

Table 5에서 간벌처리구별 생체량 분포는 간벌처리 전 대조구가 104.2 ton/ha, 약도 65.8 ton/ha 순으로 각각 분석되었다. 불가시나무 추정 모형식을 바탕으로 4년 후의 현존량 분포에서도 대조구가 148.4 ton/ha, 약도 105.6 ton/ha 그리고 강도와 약도 순으로 각각 76.4, 68.7 ton/ha로 나타났다. 이러한 결과는 Son et al.(2004) 이 중부지방 천연 참나무 임분에 대한 생체량 분석 결과 119.46~224.12 ton/ha에 비해서는 낮은 수치이며, Park and Lee(2002)가 보고한 남부지방 광양, 무주 및 포항지역 졸참나무임분의 생체량인 42.00~88.32 ton/ha에 비해서는 대조구와 약도의 경우 높은 것으로 나타났으며, 중도와 강도처리구에 비해서는 유사한 경향치를 보이고 있는 것으로 나타났다.

특히, 불가시나무 임분의 경우 간벌후의 잔존목 본수를 고려해 본다면 그 양적 차이의 변화는 크게 없지만, 증가율을 고려해본다면 강도 처리구가 다른 처리구에 비해서 39.1%로 상당히 많은 증가율을 보이고 있다. 각 처리구에 대한 지상부 탄소고정량은 건중량에 대한 50%로 계산한 결과는 Table 6과 같다 (Alban and Peralam 1992).

Table 6에서 각 처리구별 탄소고정량은 대조구 52.1 tonC/ha, 약도 32.9 tonC/ha 순으로 나타났으며, 간벌 이후 4년 뒤 예측되는 처리구별 탄소고정량은 대조구 74.2 tonC/ha, 약도 52.8 tonC/ha, 중도 34.3

Table 6. Aboveground estimated carbon content(tonC/ha) 2003 and after four years of thinning treatment of *Quercus acuta*

Thinning intensity	Year	
	2003	2007
Control	52.1	74.2
Light	32.9	52.8
Moderate	24.2	34.3
Heavy	23.3	38.2

tonC/ha 그리고 강도는 38.2 tonC/ha 순으로 예측되었다. 임목의 탄소고정량은 수종, 수령 및 임목본수의 차이에 따라 다르게 나타난다. 따라서 불가시나무의 경우 선행 연구 결과가 없기에 타수종간 상대적 비교를 실시하였다. 이에 따른 결과, Park(1999)의 충주지역 신갈나무와 굴참나무 천연림 탄소고정량 분석에서 평균 39년생의 신갈나무는 48.85 tonC/ha, 평균 40년생인 굴참나무의 경우 57.49 tonC/ha로 나왔는데, 불가시나무 대조구에 비해서는 낮은 수치이며, 약도처리구는 굴참나무와 비슷한 수치를 보이고 있다. 그러나 불가시나무 임분의 평균임령이 20~30년생임을 감안하면 비록 본수에서의 차이는 있으나 탄소고정량이 더 높은 것으로 판단된다. 충주지역 조사대상목인 굴참나무와 신갈나무의 임목본수가 각각 835, 907본으로 불가시나무림 대조구와 약도 처리구 보다는 다소 낮으며, 중도의 경우 비슷한 수치를 보이고 있으며, 강도에 비해서는 높은 수치를 보이고 있다. 이와 같이 임목 본수를 고려해 본다면 불가시나무의 탄소고정량이 동일본수를 기준으로 가정한다면, 굴참나무와 신갈나무에 비해 다소 낮지만, 경급 분포를 고려한다면 지상부 탄소고정량은 유사할 것으로 판단된다. 또한 온대지방의 참나무속 평균치(Ovington, 1965)인 87.3 tonC/ha와 비교해서 임분 밀도에 따라 유사한 분포 값을 보이고 있으며 밀도가 낮은 임분에서는 다소 낮은 것으로 나타났다.

본 연구는 불가시나무 임분에 대한 산림사업 경영을 목적으로 실시된 간벌처리구에 대하여 단순한 목재생산량의 양적 개념에서 탈피, 산림이 가진 공익적 기능 즉, 기후변화에 따른 탄소고정량 평가라는 산림경영 측면에서의 해석을 시도하였다. 특히 주요 난대 수종의 하나인 불가시나무의 경우 남부지역 및 도서해안지역을 중심으로 분포하고 있으며, 이들 자원에 대한 목재기능 및 기후변화에 따른 산림흡수원으로서의 기능 평가를 통해 산림자원의 가치를 증진시킬 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 적 요

본 연구는 전라남도 완도수목원의 불가시나무 간벌 처리구 임분의 4년 뒤 지상부 탄소고정량을 추정하기 수행되었다. 간벌 처리구별 4년 뒤의 임분 생장은 임분예측표를 이용하였으며, 지상부의 건중량 분포는 W

= $aD + bD^2$ 의 모형식을 이용하여 추정하였다.

간벌 처리구별 지상부 생체량은 대조구(148.4 ton/ha), 약도처리구(105.6 ton/ha), 중도처리구(68.7 ton/ha) 그리고 강도처리구(39.1 ton/ha)의 분포를 보였다. 불가시나무의 4년 뒤 간벌처리구별 탄소고정량은 건중량에 0.5를 곱하여 구하였으며, 대조구(74.2 tonC/ha), 약도처리구(52.8 tonC/ha), 중도처리구(34.3 tonC/ha) 그리고 강도처리구의 탄소고정량은 38.2 tonC/ha으로 조사되었다.

인용문헌

- 국립산림과학원, 2004: 주요 수종의 임목자원 평가 및 예측시스템. 125pp.
- Alban, D. H., and D. A. Perala, 1992: Carbon storage in Lake States aspen ecosystem. *Canadian Journal of Forest Research* **22**, 1107-1110.
- Birdsey, R. A., 1992: *Carbon Storage and Accumulation in United States Forest Ecosystems*. USDA-USFG Gehe. Tech. Rep. NE-244 137pp.
- Kim, S. O., S. C. Chin and C. J. Oh, 2002: The Community Structure of *Quercus acuta* Forest at Wando Warm-Temperate Forest Arboretum. *Journal of Korean Forest Society* **91**(6), 781-792.
- Kurtz, 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.
- Latitat, E., T. Karjalainen, D. Loustau and M. Lindner, 2000: Contribution of forests and forestry to mitigate greenhouse effects. *Biotechnology, Agronomy Society and Environment* **4**(4), 241-251.
- McPherson, E. G., and J. R. Simpson, 1999: *Carbon Dioxide Reduction through Urban Forestry : Guideline for Professional and Volunteer Tree Planters*. USDA-USFS Gen. Tech. Rep. PSW-GRT-171. 237pp.
- Nepal, S. K., and G. L. Somers, 1992: A generalized approach to stand table projection. *Forest Science* **38**: 120-133.
- Ovington, J. D., 1965: Organic production, turnover and mineral cycling in woodlands. *Biological Revolution* **40**, 295-336.
- Park, G. S., 1999: Aboveground and Soil Carbon Storage in *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis* Natural Forest Ecosystems in Chungju. *Journal of Korean Forest Society* **88**(1), 93-100.
- Park, G. S., and S. W. Lee, 2002: Biomass and Net Primary Production of *Quercus serrata* Natural Stands in Kwangyang, Muju, and Pohang Areas. *Journal of Korean Forest Society* **91**(6), 714-721.
- Pienaar, L. V. and W. M. Harrison, 1988: A stand table projection approach to yield prediction in unthinned even-aged stand. *Forest Science* **34**, 804-808.
- Son, Y., I. H. Park, M. J. Yi, H. O. Jin, D. Y. Kim, R. H. Kim and J. O. Hwang, 2004: Biomass, production and nutrient distribution of a natural oak forest in central Korea. *Ecological Research* **19**, 21-28.
- Tans P. P., I. Y. Fung, and Taro Takahashi, 1990: Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Forset Science* **247**, 1431-1438.