

간벌이 잣나무 조림지 지상부 탄소저장량에 미치는 초기 영향

황재홍¹ · 배상원^{1*} · 이경재¹ · 이광수² · 김현섭¹

¹국립산림과학원 산림생산기술연구소, ²국립산림과학원 남부산림연구소

Short-term Effect of Thinning on Aboveground Carbon Storage in Korean Pine (*Pinus koraiensis*) Plantation

Jaehong Hwang¹, Sang-Won Bae^{1*}, Kyung Jae Lee¹, Kwang-Soo Lee² and Hyun-Seop Kim¹

¹Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

²Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea

요약: 본 연구는 서로 다른 경급 분포와 지위를 나타내는 경기도 광릉시험림 내 잣나무(*Pinus koraiensis* Siebold et Zuccarini) 인공림에서 간벌 시행 후 초기 3년간 지상부 탄소저장량의 변화에 대하여 알아보고자 수행되었다. 간벌은 2004년도에 흉고단면적 기준 30%와 60%를 벌채한 조사지 1(34년생)과 60%를 벌채한 조사지 2(45년생)로 구분하여 실시하였다. 간벌 시행 후 3년이 경과한 2007년에 흉고직경(DBH) 및 수고를 측정하여 간벌 후 초기 탄소저장량 변화를 분석하였다. 연평균 지상부 탄소 저장량(Mg C ha⁻¹ yr⁻¹)은 흉고단면적 기준 60% 제거구에서 조사지 2는 6.5, 조사지 1은 2.3으로 나타나 조사지 2의 잣나무 임분이 조사지 1의 잣나무 임분보다 약 3배 가까이 많은 것으로 분석되었다. 그 이유는 조사지 2의 잣나무 임분이 조사지 1의 잣나무 임분에 비해 경급은 낮지만, 임분밀도와 지위가 상대적으로 높았기 때문으로 판단된다. 또한 조사지 2에서는 흉고단면적 기준 60% 제거구가 대조구(5.2 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹)에 비해 약 1.3배 가량 연평균 탄소저장량이 많았다. 지상부 탄소저장량은 경급보다는 임분 밀도와 지위에 의해 차이가 나타나는 것으로 분석되어, 향후 지상부 탄소저장량 증대를 위한 임분 관리 및 시업을 위해서는 이들 두 인자에 대한 종합적인 고려가 필요할 것으로 판단되었다.

Abstract: This study was carried out to investigate the short-term (3 years) effect of thinning on aboveground carbon storage for 34-year-old (site 1) and 45-year-old (site 2) Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zuccarini) plantations with different diameter class and site quality located in Gwangneung experimental forest. Thinning was manually carried out in consideration of basal area in 2004 (site 1 : 30% and 60% of basal area removed and site 2 : 60% of basal area removed). In 2004 and 2007, DBH and tree height were measured to analyze the changes in carbon storage after thinning. In the sites of 60% of basal area removed, although the mean DBH of site 1 was higher than that of site 2, mean annual carbon storage increment in site 2 (6.5 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹) was about 3 times higher than that in site 1 (2.3 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹). The reason for this result was probably due to higher stem density and site quality in site 2 compared to site 1. In site 2, mean annual carbon storage increment in thinned plot (6.5 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹) was about 1.3 times higher than that in control (5.2 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹). The results suggest that the stem density and site quality may be much more related to the aboveground carbon storage compared to diameter class. In addition, it is needed to consider these two factors for determining whether thinning is a feasible management alternative for the increase in aboveground carbon sequestration.

Key words : aboveground carbon stock, annual increment, *Pinus koraiensis*, thinning

서 론

최근 산림은 육상 생태계 내에서 탄소 저장고로서 주목 받고 있으며(Hu and Wang, 2008), 동시에 산림 내에서 수

행되는 여러 시업들은 산림 내 탄소 저장량을 증가시키기 위한 하나의 수단이자 도구로서 인식되고 있다. 또한, 양질의 우량 목재 생산이라는 임업의 목적 달성과 병행하여 지구온난화의 주범인 온실가스 중 그 비중이 가장 큰 이산화탄소 저감과 관련한 산림 내 지상부 탄소 저장 기능의 극대화는 현실적으로 매우 중요한 문제이자 해결해야

*Corresponding author
E-mail: bae1144@forest.go.kr

할 과제이기도 하다. 국외의 경우 가지치기와 간벌 등 산림 내에서 이루어지는 다양한 시업들이 지상부 생체량에 미치는 영향에 관한 연구가 상당수 수행되었으나(Pinkard and Neilsen, 2003; Muñoz *et al.*, 2008), 국내의 경우 대부분 지역과 임령에 따른 각 수종의 생체량 추정과 관련한 연구가 주를 이루고 있으며(황재홍 등, 2005; 권기철과 이돈구, 2006; 손영모 등, 2007), 소나무 등 일부 수종의 간벌 전후 탄소 저장량 변화에 관한 연구가 일부 진행되었지만(이상태 등, 2005; Kim *et al.*, 2007) 숲가꾸기를 비롯한 다양한 시업들이 산림 내 탄소 저장량에 미치는 영향에 관한 연구는 부족한 실정이다.

잣나무(*Pinus koraiensis* Siebold *et* Zuccarini)의 분포 면적(231천ha)은 우리나라 전체 침엽수림 면적(2,695천ha)의 약 8.6%를 차지하고 있으며(산림청, 2007), 대부분 IV 영급 전후에 분포하고 있어 간벌 등 숲가꾸기가 필요한 생육단계에 놓여 있다. 잣나무와 관련한 연구는 현재까지 주로 여러 지역의 지상부 생체량 추정 및 물질과 양분 분배에 관한 연구가 주를 이루고 있으며(이돈구와 김갑태, 1997; 이경학 등, 1998; 이명중, 1998; Son *et al.*, 2001; Son *et al.*, 2007), 일부 잣나무 천연 치수의 생체량과 관련한 연구 결과가 보고되었지만(Son *et al.*, 2005), 간벌이 임분 단위의 초기 생체량 변화 및 탄소 고정량에 미치는 영향과 관련한 연구는 부족한 실정이다.

간벌은 일반적으로 토양과 생육 환경을 개선시켜 임목의 성장을 증진시키는 것으로 알려져 있으나(Hwang and Son, 2006; Park *et al.*, 2007; Muñoz *et al.*, 2008), Thorpe *et al.*(2007)이 black spruce(*Picea mariana*)를 대상으로 한 시험에서 벌채 후 잔존목의 직경 생장은 초기 2년간은 직경 생장의 변화를 보이지 않다가, 벌채 후 3~9년까지 직경 생장이 증가하고, 그 후에는 직경생장이 다시 감소하는 경향을 나타낸다고 보고한 사례를 고려할 때 간벌 후 초기 직경 성장량 변화에 따른 지상부 탄소 저장량에 대한 조사는 입지와 간벌 방법 등을 고려하여 다양한 관점에서 접근해야 할 필요가 있다. 본 연구는 서로 다른 임분 밀도, 경급 분포 및 지위를 나타내는 잣나무 임분 내에서 간벌이 초기 직경 성장량 변화와 이에 따른 지상부 탄소 고정량에 미치는 영향에 대하여 구명하기 위하여 실시되었다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구의 조사지는 국립산림과학원 산림생산기술연구소 관할 시험림 중 15임반(조사지 1, N 37° 45' 48.5", E 127° 10' 43.3")과 25임반(조사지 2, N 37° 44' 13.1", E 127° 10' 55.4")에 위치하고 있다. 조사지 1의 전체 면적은

8.2 ha로 1975년 잣나무를 3,000본 ha⁻¹ 식재하였으며, 서향으로 경사도는 19° 내외이고 토성은 양토로서 토심은 비교적 깊고 적윤한 상태이다. 원식생은 소나무 및 활엽수류의 천연 침·활 혼효림으로 추정되며, 기준 연도 30년에서의 지위지수는 18.3이었다. 현재 잣나무 임분 구성목의 대부분은 과거 성장 초기의 정아 피해 등으로 인하여 쌍간목이 많지만 대부분 비교적 생장이 우수한 우세목으로 구성되어 있다. 하층 목본류는 졸참나무(*Quercus serrata* Thunberg), 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla* Hance), 서어나무(*Carpinus laxiflora* Blume), 층층나무(*Cornus controversa* Hemsley) 등이 주로 출현하고 있다.

조사지 2의 잣나무 임분 전체 면적은 4.2 ha로 1964년 천연 활엽수림을 개벌한 후 조성(3,000본 ha⁻¹)되었으며, 해발 180~200 m에 위치하고 있고, 사면 방위는 북동향, 경사도는 10° 내외로 비교적 완만한 경사를 보이고 있다. 토성은 양토로서 토심은 비교적 깊고 적윤한 편이며, 기준 연도 30년에서의 지위지수는 21.5이다. 하층 목본류는 졸참나무(*Q. serrata*), 물푸레나무(*F. rhynchophylla*), 서어나무(*C. laxiflora*), 산뽕나무(*Morus bombycis* Koidzumi) 등이 주로 출현하고 있다. 조사지 인근의 지난 5년간 1월과 8월의 평균 온도(°C)는 각각 -5.6 및 24.6, 평균 강수량은 1,521 mm로 조사되었다(산림생산기술연구소 기상관측자료).

2. 간벌 및 임분 조사

조사지 1의 잣나무 임분은 1987년 1차 간벌 후 1995년 가지치기 등 무육작업이 이루어졌으며, 2004년도에 흉고 단면적을 기준으로 30%와 60%를 제거하는 간벌을 실시하였다. 조사지 2의 잣나무 임분은 1982년과 1988년 2차례 간벌이 실시되었으며, 2004년 흉고단면적 기준 60%를 제거하는 간벌을 실시하였다. 2004년 실시된 간벌의 대상은 피압목, 생장 및 형질 불량목, 우세목의 성장을 방해하는 임목 등을 직경급이 낮은 임목에서부터 상위의 경급으로 올라가면서 흉고단면적 기준이 충족될 때까지 선정한 후 벌채하였다. 각 조사지 임분 내 반경 10 m 원형 고정조사구 3개소를 선정한 후 2004년 간벌 처리 전후와 2007년 10월 성장량 변화를 분석하기 위해 수고와 흉고직경 등을 전수 조사하였다. 조사지 1의 대조구는 2004년 간벌 실시 후 피해를 입어 2007년 조사에서는 부득이 제외하였으며, 두 조사지의 2004년 간벌 전후의 임분 상황은 Table 1에 제시하였다.

3. 연륜 생장 및 탄소저장량 분석

2007년 10월 생장이 양호한 우세목을 각 조사구에서 2본씩 선정한 후 성장추를 이용하여 지상 1.2 m 높이에서 연륜 시료를 채취한 후 연륜분석기를 이용하여 연륜 성장량을 분석하였다. 지상부 임목 전체의 생체량(Y)을 추정

Table 1. The changes in stand characteristics for Korean pine plantation after thinning in 2004.

Treatment	Thinning	Stem density (trees ha ⁻¹)	Mean DBH (cm)	Mean tree height (m)	Basal area (m ² ha ⁻¹)	Volume (ha ⁻¹)	Thinning intensity* (%)
Site 1-control	-	812	28.0	16.4	39.3	261.4	-
Site 1-30%	before	764	29.0	16.5	39.6	265.3	30
	after	478	30.5	15.9	27.5	176.0	
Site 1-60%	before	860	27.1	16.2	39.1	257.5	60
	after	287	30.1	17.0	16.0	109.1	
Site 2-control	-	1,517	18.5	18.9	40.8	347.6	-
Site 2-60%	before	1,125	20.9	18.4	40.9	338.1	60
	after	325	25.4	19.5	17.0	148.4	

*thinning intensity was determined by the removal ratio of basal area

하기 위해서는 Son *et al.*(2001)이 흉고직경(D)을 인자로 하여 개발한 생체량 추정식($\log Y = a + b \log D$)을 이용하였으며, 추정식에 의해 계산된 생체량의 50%를 탄소 저장량으로 환산하였다(Davis *et al.*, 2003; Chiang *et al.*, 2008).

결과 및 고찰

1. 연륜 성장 분석

조사지 1의 흉고 단면적 30% 제거구의 2004년 간벌 처리 전 3년간의 평균 연륜 성장량은 3.93 mm이었으나, 간벌 후 3년간은 4.43 mm로 연륜 성장량이 증가하는 것으로

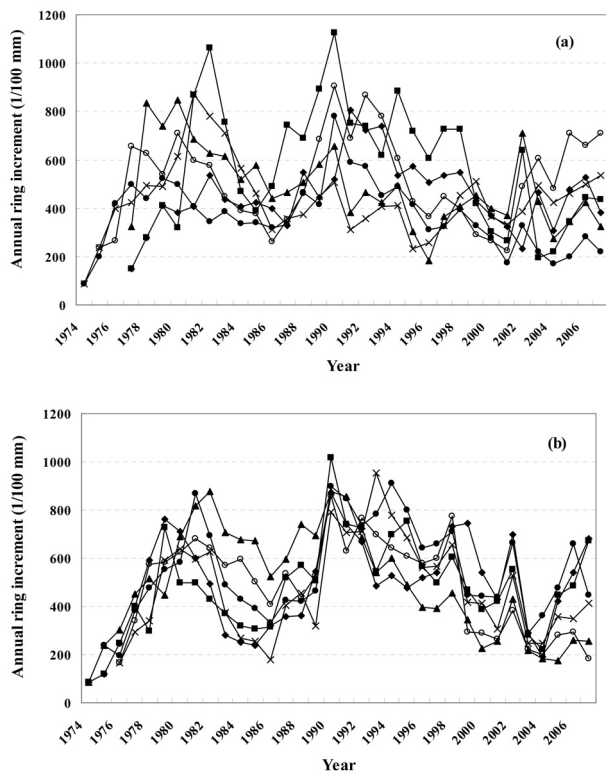


Figure 1. The variation of annual ring increment in 30%(a) and 60%(b) thinning intensity for site 1.

로 조사되었다(Figure 1). 또한 흉고 단면적 60% 제거구의 2004년 간벌 처리 전 3년간 평균 연륜 성장량은 3.45 mm이었지만, 간벌 후 3년간은 4.11 mm로 연륜 성장량이 증가하는 것으로 조사되었다. 전체적으로 1987년 1차 간벌 후 연륜 생장이 일시적으로 증가하는 경향을 보이다가 다시 점차 감소하는 경향이였다.

조사지 2의 2004년 간벌 전후 3년간의 연륜 성장량을 비교해 본 결과 대조구에서는 각각 1.33 mm와 1.34 mm로 차이가 나타나지 않았으나, 흉고 단면적 60% 제거구에서는 간벌 전에는 대조구와 유사한 1.44 mm의 연륜 성장량을 나타내다가, 간벌이 실시된 이후 3년간은 약 60% 가량 증가한 평균 2.31 mm의 연륜 생장이 나타났다(Figure 2). 하지만 이러한 증가 경향은 오래 지속되지 않고 점차 감소하는 경향을 나타내어 간벌에 의한 지상부 탄소 저장량의 증가는 오래 지속되지 않을 것으로 예측된다.

두 조사지간 간벌 후 연 평균 직경 성장량이 조사지 2보다 조사지 1에서 더 많은 주된 이유는 간벌 전 조사지 2의 임분 밀도가 조사지 1에 비해 높았기 때문에 직경 생장의 둔화가 조사지 2의 경우 간벌 실시 전부터 나타났기 때문이며, 임분 밀도의 차이와 더불어 상대적으로 조사지 1이 조사지 2에 비해 임령이 낮기 때문인데, 이는 간벌 후 낮은 영급에서는 직경 성장량 증가가 확인하지만 영급이

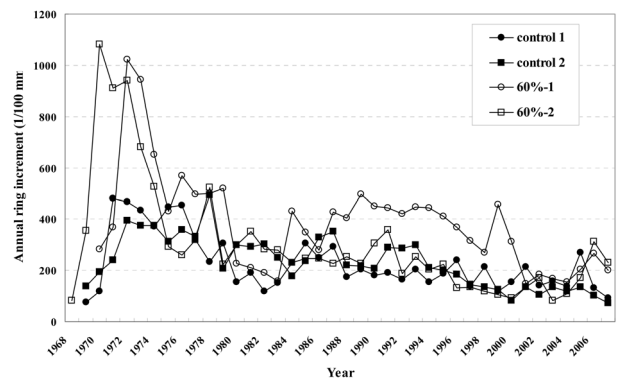


Figure 2. The variation of annual ring increment in control and 60% thinning intensity for site 2.

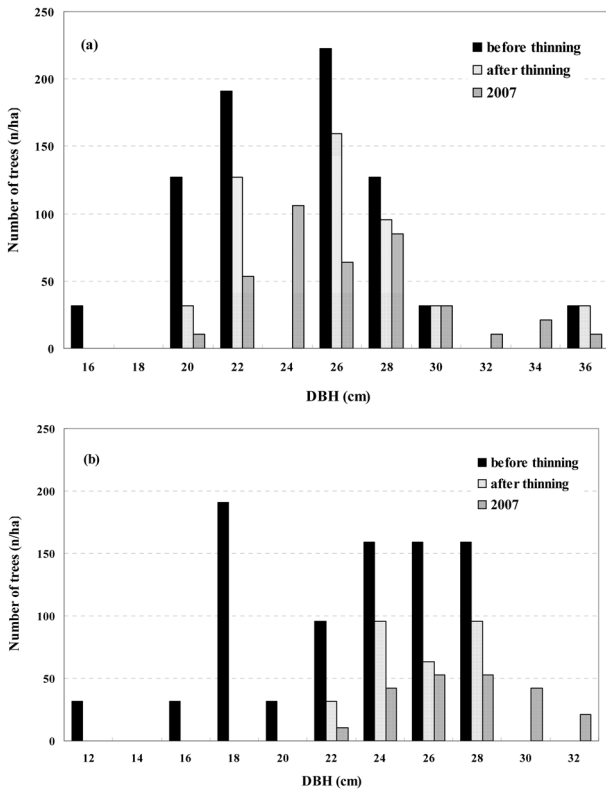


Figure 3. The distribution of DBH class after thinning for site 1 (a: 30% thinning intensity, b: 60% thinning intensity).

높을 경우에는 그 증가량이 많지 않다는 기존 연구 결과와도 일부 일치하는 것으로 판단된다(Thorpe *et al.*, 2007).

2. 직경급 분포 변화

조사지 1의 흉고 단면적 30% 제거구에서는 간벌 실시 후 각 경급에서 골고루 개체수의 감소가 있었으며, 3년 경과 후에는 낮은 경급에서 높은 경급까지 정규분포 형태의 경급 분포 양상을 나타내고 있다. 흉고단면적 60% 제거구에서는 간벌 후 주로 낮은 경급에서의 개체수 감소가 확인하였고, 3년이 지난 후에는 경급 분포가 간벌 직후와 비교하여 더욱 넓어졌음을 알 수 있다(Figure 3).

조사지 2 대조구에서의 경급 분포는 2004년 조사에서 정규분포의 형태를 보이다가 3년이 지난 2007년에는 경급 16 cm와 22 cm급에서 그 개체수가 크게 증가하였다. 흉고단면적 60% 제거구에서는 간벌이 주로 낮은 경급에서 실시되었음을 확인할 수 있으며, 3년이 지난 후 경급 분포는 우측으로 이동한 정규분포 형태를 나타내고 있다(Figure 4).

3. 지상부 탄소 저장량 변화

조사지 1의 흉고단면적 30% 제거구에서의 지상부 탄소 저장량은 간벌 직후 116.3 Mg C ha⁻¹에서 2007년 104.2 Mg C ha⁻¹로 오히려 감소한 것으로 조사되었으며, 흉고단

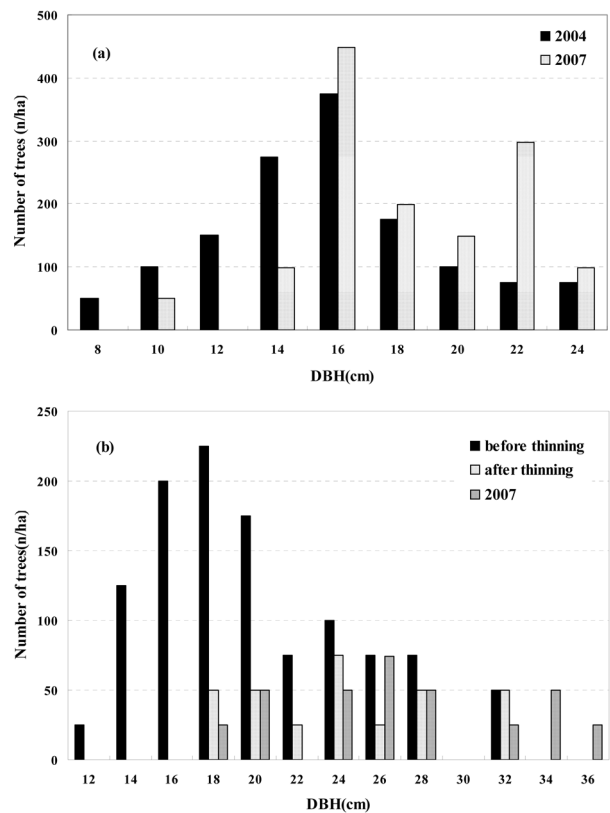


Figure 4. The distribution of DBH class after thinning for site 2 (a: control, b: 60% thinning intensity).

Table 2. The changes in carbon stock in Korean pine plantation after thinning.

Treatment	Year	Aboveground carbon stock (Mg C ha ⁻¹)	Mean annual increment of carbon stock (Mg C ha ⁻¹ yr ⁻¹)
Site 1	Thinning (30%)	2004 (after)	116.3
		2007	104.2
	Thinning (60%)	2004 (after)	67.7
		2007	74.5
Site 2	Control	2004	117.3
		2007	133.1
	Thinning (60%)	2004 (after)	53.7
		2007	73.1

면적 60% 제거구에서는 간벌 직후 67.7 Mg C ha⁻¹에서 74.5 Mg C ha⁻¹로 증가하여 연 평균 2.3 Mg C ha⁻¹의 탄소가 저장된 것으로 분석되었다(Table 2). 본 결과는 김춘식과 정진현(2001)이 경기도 광릉 내 임령이 유사한 31년생 리기다소나무 임분을 대상으로 조사한 지상부 연 평균 탄소 증가량 3.2 Mg C ha⁻¹과 비교할 때 약 0.9 Mg C ha⁻¹ 가량 낮은 결과인데, 이러한 차이는 리기다소나무 임

분의 임목 밀도가 조사지 1의 잣나무 임분에 비해 높았기 때문이다. 한편, 조사지 1의 흉고단면적 30% 제거구에서 3년이라는 시간의 경과에도 불구하고 지상부 탄소저장량이 오히려 감소한 것으로 나타난 이유는 잣나무 잔존 본수가 간벌 직후 478 본 ha^{-1} 에서 2007년 조사 시 고사목 발생 등으로 인해 435 본 ha^{-1} 으로 감소하여, 조사된 흉고단면적 값이 2004년 27.5 $m^2 ha^{-1}$ 에서 2007년 24.6 $m^2 ha^{-1}$ 로 오히려 줄어들었기 때문인 것으로 판단된다.

조사지 2 대조구의 경우 탄소저장량이 2004년 117.3 Mg C ha^{-1} 에서 2007년 133.1 Mg C ha^{-1} 로 증가하여 연 평균 5.2 Mg C ha^{-1} 만큼 증가한 것으로 나타났다. 또한 흉고단면적 60% 제거구에서는 간벌 직후 53.7 Mg C ha^{-1} 에서 2007년 73.1 Mg C ha^{-1} 으로 증가하여 연 평균 6.5 Mg C ha^{-1} 의 탄소가 저장된 것으로 분석되어 대조구에 비해 연 평균 탄소고정량이 약 1.3배 많았다.

본 연구에서 2007년도에 조사한 조사지 2의 대조구 지상부 탄소저장량(133.1 Mg C ha^{-1})은 이명중(1998)이 본 연구와 임령이 유사한 46년생 잣나무 인공림 내 지상부 현존량의 추정치에 관한 연구에서 보고한 127.8 Mg ha^{-1} (63.9 Mg C ha^{-1}) 보다 약 2배 가량 높았으며, Son *et al.*(2001)이 역시 본 조사지와 임령이 유사한 46년생 잣나무 임분을 대상으로 조사한 지상부 생체량 279.7 Mg ha^{-1} (139.9 Mg C ha^{-1})과는 유사한 결과이다. 또한 본 결과는 김종성 등(1996)이 경기도 양평 지역에서 같은 침엽수종인 37년생 리기다소나무와 낙엽송 조림지를 대상으로 조사한 지상부 탄소저장량 결과(리기다소나무: 69.1 Mg C ha^{-1} , 낙엽송: 63.6 Mg C ha^{-1})와 비교하면 약 2배 가까이 높은 결과이다. 이와 같은 결과는 탄소저장량 및 연 증가는 주로 임목 밀도와 지위에 의해 영향을 받는다는 기존의 연구 결과와 일치한다(김춘식과 정진현, 2001).

흉고단면적 60% 제거라는 동일한 간벌 강도가 적용된 두 조사지에서의 연 평균 탄소고정량을 비교하면 지상부 임목의 경급은 낮지만 단위 면적당 임목 본수가 많은 조사지 2(325 본 ha^{-1})가 조사지 1(287 본 ha^{-1})에 비해 약 3배 가까이 많은 것으로 조사되었다. Muñoz *et al.*(2008)이 *Eucalyptus nitens*를 대상으로 간벌 강도별 연 평균 생체량 (Mg $ha^{-1} yr^{-1}$) 변화에 관해 조사한 연구 결과에 의하면 ha^{-1} 당 잔존목 400본(평균 DBH 33.5 cm), 800본(평균 DBH 27.1 cm), 1,100본(평균 DBH 24.3 cm) 처리구에서 각각 23.3, 27.7, 28.5의 생체량이 증가하였는데, 이는 단위면적 내에서 임분밀도가 높으면 연 생체량 증가량이 많다는 사실을 보여주는 것으로 본 연구 결과와 유사함을 알 수 있다.

한편, 두 조사지의 경우 임령과 임분 밀도 및 지위가 상이하기 때문에 임분 수확표상 해당 임령의 흉고단면적 기준으로 임목도(stand density)를 추정하여 그 결과를 상호 비교하였는데, 동일하게 적용된 흉고단면적 기준 60% 제

거 처리구에서 조사지 1의 경우 간벌 전 임목도가 1.30에서 간벌 직후 0.53으로 바뀌었으며(60% 제거), 3년이 경과한 2007년에는 0.57로 2004년 간벌 직후에 비해 약 8% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 조사지 2는 간벌 전 임목도 1.24가 간벌 직후 0.51로 변하였으며(60% 제거), 역시 3년이 경과한 2007년에는 임목도가 0.67로 나타나 2004년 간벌 직후에 비해 약 31% 증가한 것으로 조사되었다. 본 결과를 고려할 때 임분 밀도에 따른 흉고단면적 증가의 차이에 의해 연 평균 탄소 저장량이 역시 영향을 받았음을 알 수 있다.

상기의 연구 결과를 종합하여 불 때 탄소 흡수원 확충을 위한 정책 수립 과정에 필요한 산림 내 탄소고정(carbon sequestration) 극대화를 위한 최적 시업 방법을 구명할 시에는 최적 간벌 시기 및 횃수를 종합적으로 검토한 후 대상 임분의 경영 목적과 임분 밀도를 동시에 고려할 필요가 있다고 판단된다. 한편, 최적 임분 밀도는 입지 환경과 임지의 생산력에 의해서도 변할 수 있기 때문에 이들에 대한 고려 역시 필요하다고 사료된다.

인용문헌

1. 권기철, 이돈구. 2006. 해발고와 사면에 따른 중왕산 지역 신갈나무림의 바이오매스와 연간 순생산량. 한국임학회지 95(4): 398-404.
2. 김종성, 손요환, 임주훈, 김진수. 1996. 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지의 지상부 생체량, 질소와 인의 분포 및 낙엽에 관한 연구. 한국임학회지 85(3): 416-425.
3. 김춘식, 정진현. 2001. 경기도 광릉 리기다소나무임분의 지상부 탄소저장량 변화. 한국임학회지 90(6): 774-780.
4. 산림청. 2007. 임업통계연보 (<http://www.forest.go.kr>).
5. 손영모, 이경학, 김래현. 2007. 우리나라 산림 바이오매스 추정. 한국임학회지 96(4): 477-482.
6. 이경학, 정영교, 손영모. 1998. 경기도 포천지방 35년생 잣나무인공림의 바이오매스에 관한 연구. 한국산림측정학회지 1(1): 61-68.
7. 이돈구, 김갑태. 1997. 경기도 광주지방에서 자라는 참나무류, 낙엽송 및 잣나무의 수형특성과 물질분배. 한국임학회지 86(2): 208-213.
8. 이명중. 1998. 강원도 지방 잣나무 인공림의 임령변화에 따른 지상부 현존량과 양분축적. 한국임학회지 87(2): 276-285.
9. 이상태, 손영모, 이경재, 황재홍, 최재채, 신현철, 박남창. 2005. 붉가시나무 간벌강도에 따른 지상부 탄소고정량에 관한 연구. 한국농림기상학회지 7(4): 282-288.
10. 황재홍, 이상태, 김병부, 권봉삼, 신현철, 이경재, 박남창. 2005. 천관산(전남 장흥군) 동백나무 (*Camellia japonica*) 천연림의 현존량과 무기영양소 분포. 한국생태학회지 28(3): 163-168.
11. Chiang, J.-M., R.W. McEwan, D.A. Yaussy and K.J. Brown. 2008. The effects of prescribed fire and silvicultural thin-

- ning on the aboveground carbon stocks and net primary production of overstory trees in an oak-hickory ecosystem in southern Ohio. *Forest Ecology and Management* 255: 1584-1594.
12. Davis, M.R., R.B. Allen and P.W. Clinton. 2003. Carbon storage along a stand development sequence in a New Zealand *Nothofagus* forest. *Forest Ecology and Management* 177: 313-321.
13. Hu, H. and G.G. Wang. 2008. Changes in forest biomass carbon storage in the South Carolina Piedmont between 1936 and 2005. *Forest Ecology and Management* 255: 1400-1408.
14. Hwang, J. and Y. Son. 2006. Short-term effects of thinning and liming on forest soils of pitch pine and Japanese larch plantations in central Korea. *Ecological Research* 21: 671-680.
15. Kim, C., Y. Son, W.K. Lee, Y.C. Ha, J. Jeong and N.J. Noh. 2007. Effects of forest tending works on carbon storage in a *Pinus densiflora* stand. *Journal of Ecology and Field Biology* 30(4): 281-285.
16. Muñoz, F., R. Rubilar, M. Espinosa, J. Cancino, J. Toro and M. Herrera. 2008. The effect of pruning and thinning on above aerial biomass of *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. *Forest Ecology and Management* 255: 365-373.
17. Park, B.B., Y.K. Kim and S.I. Lee. 2007. Effects of silvicultural treatments on carbon storage of northern hardwood forests. *Journal of Korean Forest Society* 96(2): 208-213.
18. Pinkard, E.A. and W.A. Neilsen. 2003. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. *Forest Ecology and Management* 172: 215-227.
19. Son, Y., J.W. Hwang, Z.S. Kim, W.K. Lee and J.S. Kim. 2001. Allometry and biomass of Korean pine (*Pinus koraiensis*) in central Korea. *Bioresource Technology* 78: 251-255.
20. Son, Y., N.J. Noh, R.H. Kim, J.W. Koo and M.J. Yi. 2007. Biomass and nutrients of planted and naturally occurring *Pinus koraiensis* in Korea. *Eurasian Journal of Forest Research* 10(1): 41-50.
21. Son, Y., K.Y. Seo, R.H. Kim, J.W. Koo, M.J. Yi, and J.H. Kim. 2005. Biomass and nutrient distribution of *Pinus koraiensis* seedlings invading a mixed forest dominated by *Quercus mongolica*. *Forest Science Technology* 1: 8-12.
22. Thorpe, H.C., S.C. Thomas and J.P. Caspersen. 2007. Residual-tree growth responses to partial stand harvest in the black spruce (*Picea mariana*) boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research* 37(9): 1563-1571.

(2008년 8월 25일 접수; 2008년 11월 17일 채택)