

산림경영형 산림탄소상쇄 사업설계를 위한 주요 수종별 베이스라인 흡수량 산정

김영환^{1*} · 전어진¹ · 신만용² · 정일빈² · 이상태³ · 서경원³ · 표정기³

¹국립산림과학원 기후변화연구센터, ²국민대학교 산림환경시스템학과,

³국립산림과학원 산림생산기술연구소

A Study on the Baseline Carbon Stock for Major Species in Korea for Conducting Carbon Offset Projects based on Forest Management

Young-hwan Kim^{1*}, Eo-jin Jeon¹, Man-yong Shin², Il-bin Chung²,
Sang-tae Lee³, Kyung-won Seo³ and Jung-kee Pho³

¹Forest and Climate Change Center, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

²Department of Forest Environmental System, Kookmin University, Seoul 130-702, Korea

³Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

요약: 본 연구에서는 산림경영형 산림탄소상쇄 사업을 설계하는데 필요한 베이스라인 흡수량의 산정을 위해 제5차 국가산림자원조사 자료를 토대로 개발된 동적 임분성장모델을 적용하였다. 모델의 정확성 검증에 위해 홍천, 횡성, 양양 대치리 및 정자리에 위치한 4개 시험지 14개 간벌 처리구에서 조사된 실측자료와 비교한 결과 모델 예측치와 실측치의 편차가 5% 미만의 낮은 오차율을 보였다. 개발된 동적 임분성장모델을 이용하여 수종별 베이스라인 시나리오에 따른 임분 성장량 및 탄소저장량의 변화를 예측하고, 베이스라인 흡수량을 산정한 결과, 상수리나무의 베이스라인 흡수량이 83.01tC/ha로 가장 높은 반면, 리기다소나무(32.17tC/ha)와 중부지방소나무(39.09tC/ha)는 흡수량이 낮았다. 따라서 수종갱신을 통한 산림경영형 산림탄소상쇄사업을 추진하는 경우 리기다소나무와 중부지방소나무 임분을 대상으로 하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 본 연구에서 제시된 수종별 베이스라인 흡수량과 동적 임분성장모델은 산림경영형 산림탄소상쇄 사업을 설계하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract: In this study, we developed a dynamic stand yield model to estimate the baseline carbon stock, which is essentially required for a forest carbon offset project based on forest management. For developing the yield model, the data was acquired from the databases of the 5th National Forest Inventory. The model was validated by comparing its estimations with field measurements that were conducted from 4 study sites (14 plots with thinning treatments) located in Hong-chun, Hoeng-sung, Yang-yang Daechi and Yang-yang Jungja. The difference between the estimations and the field measurements was less than 5%. Using the dynamic stand yield model, we estimated the changes in stand yield volume and carbon stocks for each species according to the baseline scenarios. As the results, we found that baseline carbon stock was the highest at *Quercus acutissima* stand (83.01tC/ha), while the lowest at *Pinus rigida* stand (32.17tC/ha) and *Pinus densiflora* stand of central region (39.09tC/ha). Hence, a project provider could get more carbon emission credits from an improved forest management project when considering the project with *Pinus rigida* stand or *Pinus densiflora* stand (central region). The baseline carbon stock and the dynamic stand yield model developed from this study would be useful for designing carbon offset projects based on improved forest management.

Key words: baseline, carbon stock, carbon offset, forest management, stand yield model

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

서 론

산림청에서는 산림을 통한 온실가스 감축활동을 활성화하고 국내 온실가스 감축 노력에 기여하고자 2010년부터 산림탄소상쇄 제도를 운영하고 있으며, 2013년에는 ‘탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률’(이하 탄소흡수원법)을 시행하여 산림탄소상쇄 제도를 확대운영하고 있다(Bae et al., 2013). 탄소흡수원법에서는 산림의 탄소흡수능력을 유지하고 증진하기 위한 구체적인 활동들을 제시하고 있는데, 신규조림/재조림, 식생복구, 산림경영, 보호지역 관리, 목제품 이용 증진, 산림바이오매스 에너지 이용 확대, 산지전용 및 산림황폐화 방지 등이 포함된다. 또한 탄소흡수원법에서는 이러한 활동을 통해 얻어진 산림탄소흡수량을 산림탄소상쇄제도를 통해 거래할 수 있도록 하였다(Kim et al., 2013).

산림탄소상쇄 사업을 통해 얻어진 이산화탄소 순흡수량, 즉 ‘산림탄소흡수량’의 산정 방법을 표준화하기 위하여 산림청에서는 ‘사회공헌형 산림탄소상쇄 운영표준’(이하 운영표준)을 개발하여 고시하였다(Korea Forest Service, 2013a, 이하 KFS). 산림탄소흡수량을 산정하기 위해서는 베이스라인 흡수량을 산정하는 것이 매우 중요하다. 운영표준에 따르면 베이스라인 흡수량은 “산림탄소상쇄사업을 하지 않았을 경우 사업경계 내에서 통상적으로 이루어지는 활동 가운데 발생 가능성이 가장 높은 활동(베이스라인)을 고려한 이산화탄소 흡수량”으로 정의하고 있다. 따라서 사업기간 동안 얻어진 전체 이산화탄소 흡수량에서 베이스라인 흡수량을 제외하여 순흡수량을 산정하게 된다.

특히 산림경영형 산림탄소상쇄사업의 경우에는 기존 산림이 계속 존재하는 것을 가정하여 베이스라인 흡수량을 산정하기 때문에 다른 산림탄소상쇄사업보다 베이스라인 흡수량의 산정이 더 중요하다. 해외의 주요 산림탄소상쇄 제도에서는 산림경영을 주요한 사업유형으로 포함하고 있으며, 베이스라인 흡수량 산정을 위한 구체적인 방법론을 제시하고 있는데(Kim et al., 2012b), 대부분의 상쇄제도에서 산림탄소모형을 이용하여 베이스라인 흡수량을 예측하도록 권고하고 있다.

현재 해외에는 CBM-CFS3(Kurz et al., 2009), G4M(Kindermann et al., 2006), CO2FIX(Masera et al., 2003), VISIT(Ito et al., 2006) 등 다양한 산림탄소모형이 개발되어 이용되고 있다. 국내에서는 Seo et al.(2005)이 동적 임분성장모형을 이용하여 임분 바이오매스 및 탄소흡수량을 예측한 연구 사례가 있고, Jang et al.(2011)이 산림의 탄소흡수량을 고려한 국유림경영계획을 수립하기 위해 CBM-CFS3 모형을 적용한 바가 있다. 또한 Yoo et al.(2012)은 시공간정보를 이용하여 우리나라 식생의 탄소흡

수량을 추정하기 위해 VISIT 모형을 적용한 바 있다. 하지만 아직까지 국내에서는 산림탄소모형 관련 연구가 미흡한 실정이다.

이처럼 아직까지 국내에는 적용 가능한 산림탄소모형이 개발되지 않은 상황이므로, 산림탄소상쇄 사업자들이 산림경영의 베이스라인 흡수량을 산정하는데 어려움이 겪고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 산림경영형 산림탄소상쇄사업의 베이스라인 흡수량 산정을 위해, 임분수확 예측모형을 토대로 하여 우리나라 주요 수종별 베이스라인 흡수량을 산정하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 우리나라 주요 수종 가운데 침엽수 5개 수종(강원지방소나무, 중부지방소나무, 낙엽송, 잣나무, 리기다소나무) 및 활엽수 2개 수종(상수리나무, 신갈나무) 등 총 7개 수종을 대상으로 하였다. 제5차 국가산림자원조사(NFI)의 표본점 자료로부터 각 수종별 자료를 추출하여 임분성장모형을 개발하고, 이를 토대로 베이스라인 흡수량을 산정하였다.

2. 제5차 국가산림자원조사 자료를 이용한 동적 임분성장모형의 개발

시간 경과에 따른 임분 생장의 변화는 임분의 지위, 임령, 그리고 임분 밀도를 이용하여 예측할 수 있다. 최근 Kim et al.(2012a)은 Bennett(1970)의 임분성장 예측모형을 기본 모형(식 1, 2)으로 하여 간벌 등의 산림사업에 따른 임분성장 변화를 예측할 수 있는 동적 임분성장모형을 개발한 바 있다.

$$\ln(V) = b_0 + b_1 SI^{-1} + b_2 A^{-1} + b_3 \ln(BA) \quad (1)$$

$$BA = b_0 e^{b_1 A^{-1}} \quad (2)$$

여기서, V = ha당 임분 재적, SI = 지위지수, A = 임령, BA = ha당 흉고단면적, b_0, b_1, b_2, b_3 = 회귀계수 이다.

Kim et al.(2012a)의 연구에서는 모델 개발을 위해 임분수확표 자료(Korea Forest Research Institute, 2012, 이하 KFRI)를 적용하였는데, 임분수확표 자료를 토대로 임분생장을 예측한 결과 현실 임분에 비해 다소 과다 추정되는 경향이 나타났다. 따라서 현실 임분의 생장을 보다 정확하게 반영하여 임분성장량 및 탄소저장량을 예측하기 위해서, 본 연구에서는 제5차 국가산림자원조사 자료를 이용하여 모델을 개선하였다. 즉 제5차 국가산림자원조사의 각 표본점 자료를 수종별로 분류하여 추출하고, 이를 토대로 동적 임분성장모형의 회귀계수를 산출하였다.

Table 1. Thinning treatments for the sites.

Site	Thinning Intensity	Area (m ²)	Species	Age	Site Index
Hong-chun	No Thinning	201	<i>Quercus variabilis</i>	40	17
	Moderate	201	<i>Quercus variabilis</i>	39	17
	High	201	<i>Quercus variabilis</i>	39	18
Hoeng-sung	No Thinning	314	<i>Quercus mongolica</i>	46	16
	Low	314	<i>Quercus mongolica</i>	44	16
	Moderate	314	<i>Quercus mongolica</i>	41	16
	High	314	<i>Quercus mongolica</i>	47	15
Yang-yang Daechi-ri	No Thinning	314	<i>Quercus variabilis</i>	50	17
	Low	314	<i>Quercus variabilis</i>	57	18
	Moderate	314	<i>Quercus variabilis</i>	39	18
	High	314	<i>Quercus variabilis</i>	39	18
Yang-yang Jungja-ri	No Thinning	314	<i>Q. variabilis</i> & <i>Q. mongolica</i>	48	18
	Selective	314	<i>Q. variabilis</i> & <i>Q. mongolica</i>	40	18
	High	314	<i>Q. variabilis</i> & <i>Q. mongolica</i>	39	18

Table 2. Schedule for forest management activities in baseline scenarios.

Species	Pruning	Thinning			Final Harvesting
		1st	2nd	3rd	
<i>Pinus densiflora</i> (Kangwon region)	8	18	30	50	70
<i>Pinus densiflora</i> (Central region)	8	18	30	50	70
<i>Pinus rigida</i>	8	20	-	-	35
<i>Larix kaempferi</i>	10	15	25	40	60
<i>Pinus koraiensis</i>	15	25	35	60	70
<i>Quercus acutissima</i>	10	20	30	50	70
<i>Quercus mongolica</i>	10	20	30	50	70

2. 동적 임분성장모델의 현지 적용성 검토

개선한 동적 임분성장모델의 현지 적용성 검토를 위해, 본 연구에서는 모델의 예측결과를 현지에서 조사된 실측자료와의 비교 분석함으로써 정확성을 검증하였다. 이를 위해 홍천, 횡성, 양양 대치리 및 정자리 등 4개 시험지에서 조사된 실측자료를 이용하였다. 즉 간벌사업에 따른 생장촉진 효과를 조사하기 위해서 굴참나무, 신갈나무 등 참나무류를 대상으로 4개 시험지를 지정하고, 각 시험지별로 3개 혹은 4개의 간벌 강도(무시업, 약도간벌, 중도간벌, 강도간벌 등)를 처리하는 등 총 14개의 처리구를 설치하였다(Table 1). 전체 14개 처리구에 대해서 2010년 간벌을 시행하고, 간벌 전(2010년)과 간벌 후(2010년), 그리고 간벌 후 3년이 경과한 시점(2013년)에서 각각 임분성장량을 조사하였다.

4개 시험지 14개 처리구에서 간벌 전(2010년)에 조사된 실측자료를 토대로 동적 임분성장모델을 이용하여 2013년의 임분성장량을 예측하고, 예측된 결과를 2013년의 실측자료와 비교함으로써 모델의 정확성을 검증하였다. 임분성장량 예측에 있어서 굴참나무림에 대해서는 상수리나무의 성장모델을 적용하여 예측하였고, 굴참나무와 신갈나무의 혼효 임분에 대해서는 두 수종의 성장량을 평균하여 적용하였다.

3. 산림경영형 산림탄소상쇄 사업에 대한 베이스라인 흡수량 산정

제5차 국가산림자원조사 자료를 토대로 개선된 임분성장모델을 이용하여 산림경영형 산림탄소상쇄 사업의 베이스라인 흡수량을 산정하였다. 운영표준에 따르면 베이스라인 흡수량은 “산림탄소상쇄사업을 하지 않았을 경우 사업경계 내에서 통상적으로 이루어지는 활동 가운데 발생 가능성이 가장 높은 활동(베이스라인)을 고려한 이산화탄소 흡수량”으로 정의하고 있으며, 이를 위해 기존 산림경영 이력, 법적·제도적 측면, 관행적인 경영행태 등을 고려하여 가장 합리적인 시나리오를 결정하도록 요구하고 있다.

본 연구에서는 베이스라인 시나리오를 결정하기 위해서 법적·제도적 측면을 고려하였다. 즉 간벌 등의 숲가꾸기 사업체계는 ‘지속가능한 산림자원관리 표준매뉴얼’(KFRI, 2005)에서 제시한 수종별 사업체계를 적용하였고, 벌기령의 경우에는 법정 벌기령(KFS, 2013b)을 적용하였다. 간벌은 중도간벌(30%)을 시행하는 것으로 가정하고, 벌채수확 방법은 모두베기를 적용하였다. 사유림의 경우 국유림에 비해 법정 벌기령이 짧지만, 베이스라인 흡수량 산정을 보수적으로 하기 위해 본 연구에서는 국유림

의 벌기령을 적용하였다. 적용된 수종별 시업체계 및 벌기령은 Table 2와 같다.

개발된 동적 임분성장모델을 이용하여 각 수종별로 결정된 베이스라인 시나리오에 따라 임분의 성장량 및 탄소저장량의 변화를 예측하였다. 또한 각 수종별로 벌기령 동안 산림 임분에 저장되는 평균 탄소저장량을 구하여 베이스라인 흡수량으로 산정하였다.

결과 및 고찰

1. 동적 임분성장모델의 개발

Bennett(1970)의 임분성장 모형을 기반으로 간벌 등 산림시업에 따른 임분성장 변화를 예측할 수 있는 동적 임분성장모델을 개발하였다. 모델 개발을 위해 제5차 국가산림자원조사 자료를 이용하여 재적 추정식과 단면적 추정식의 회귀계수를 추정하였다(Table 3, 4).

개발된 모델을 이용하여 수종별 임분생장을 예측한 결과, 임분수확표 자료를 적용하여 개발된 이전 모델(Kim et al., 2012a)의 예측결과와 다소 차이를 보였다. 중부지방소나무와 리기다소나무림의 경우에는 이전 모델과 개선된 모델의 예측 결과가 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 낙엽송, 상수리나무, 신갈나무림의 경우에는 임분수확표 자료를 기반으로 한 이전 모델의 예측결과가 개선된 모델에 비해 다소 과대 추정되는 경향을 보였다. 반면 강원지방소나무와 잣나무의 경우에는 이전 모델의 예측결과가 5영급까지는 과대 추정이 되다가 이후에는 과소 추정되는 것으로 나타났다(Figure 1). 이러한 차이는 국가산림자원조사가 우리나라 전국에 분포된 4000개 표본점으로부터 조사가 이루어진 데 반해, 수확표 자료는 상대적으로 생장이 양호하고 적은 수의 표본점으로부터 조사가 이루어짐으로써 국가산림자원조사 자료에 비해 재적 생장의 변이가 적은 데에 기인하는 것으로 추정된다.

2. 동적 임분성장모델의 현지 적용성 검토결과

본 연구에서 개발된 동적 임분성장모델의 현지 적용성 및 예측 결과의 정확성을 검증하기 위해서, 홍천, 횡성, 양

Table 4. Regression coefficients of the basal area prediction equation for each species.

Species	Regression coefficients		R ²
	b ₀	b ₁	
<i>Pinus densiflora</i> (Kangwon region)	73.59	-36.6676	0.84
<i>Pinus densiflora</i> (Central region)	58.41	-27.6858	0.64
<i>Pinus rigida</i>	46.49	-20.0039	0.61
<i>Larix kaempferi</i>	55.85	-29.2011	0.89
<i>Pinus koraiensis</i>	53.82	-29.3422	0.78
<i>Quercus acutissima</i>	70.25	-37.9695	0.81
<i>Quercus mongolica</i>	45.88	-25.2465	0.74

양 대치리 및 정자리 등 4개 시험지 14개 간벌 처리구로부터 조사된 실측자료와 비교하였다. 즉 간벌 전(2010년) 조사 자료를 토대로 간벌 후 3년이 경과한 시점(2013년)의 성장량을 예측하고 이를 실측자료와 비교하였다. 그 결과 횡성과 양양 정자리의 강도간벌 처리구를 제외하고는 모델 예측치와 실측치의 오차가 5% 미만으로 낮은 오차를 보였다(Table 5). 따라서 본 연구에서 개발된 동적 임분성장모델이 현실 임분의 성장량을 예측하는데 있어서 비교적 정확한 결과를 제시할 수 있는 것으로 나타났다.

다만 본 연구에서는 주로 굴참나무 및 신갈나무 등 참나무림을 대상으로 적용성을 분석하였기 때문에, 다른 수종에 대해서는 모델의 정확성을 판단하기 어려운 한계가 있었다. 현재 소나무림 등 침엽수종에 대해서도 간벌 처리 후 성장축진 효과를 규명하기 위한 연구가 진행 중이며, 따라서 추후 침엽수종에 대해서도 모델의 정확성 검증이 가능할 것으로 기대된다.

3. 주요 수종별 산림경영 베이스라인 흡수량 산정결과

본 연구에서 개발된 동적 임분성장모델을 이용하여 각 수종별로 베이스라인 시나리오에 따라 탄소저장량의 변화를 예측하고 이를 토대로 베이스라인 흡수량을 산정하였다(Figure 2). 그 결과 상수리나무의 베이스라인 흡수량이 83.01tC/ha로 가장 높았고, 다음으로 신갈나무(67.70tC/ha), 잣나무(59.83tC/ha) 등의 순으로 나타났다. 베이스라

Table 3. Regression coefficients of the stand yield prediction equation for each species.

Species	Regression coefficients				R ²
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	
<i>Pinus densiflora</i> (Kangwon region)	2.7943	-6.2697	-13.6212	0.9989	0.96
<i>Pinus densiflora</i> (Central region)	2.6850	-6.1248	-11.3238	1.0068	0.97
<i>Pinus rigida</i>	2.9962	-6.9220	-18.1768	1.0072	0.98
<i>Larix kaempferi</i>	2.9100	-5.7383	-11.8531	0.9944	0.98
<i>Pinus koraiensis</i>	3.0690	-7.8102	-17.8197	1.0099	0.99
<i>Quercus acutissima</i>	2.6844	-7.6776	-7.6191	1.0103	0.98
<i>Quercus mongolica</i>	2.5309	-5.9106	-8.1489	1.0065	0.98

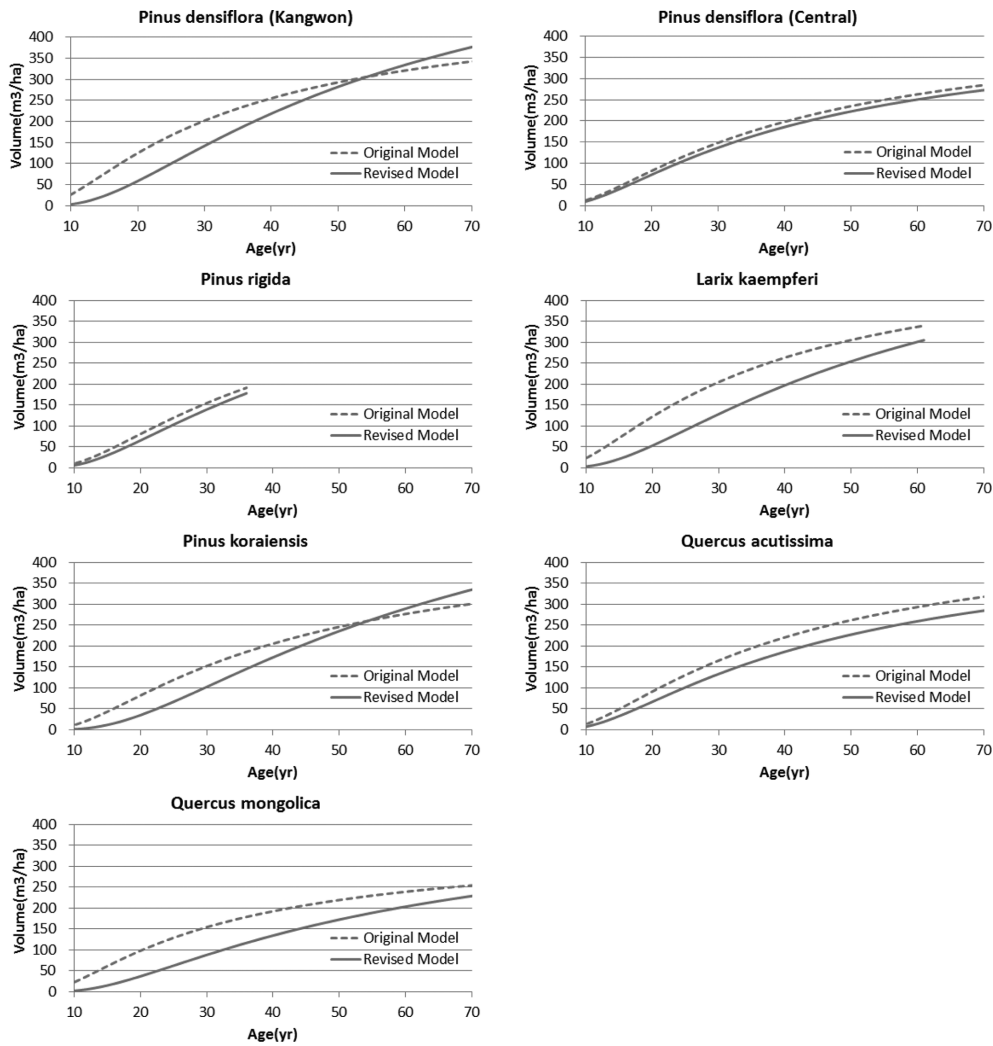


Figure 1. Stand yield volumes estimated from both original and revised model.

Table 5. Comparison between model estimation and field measurement for stand volumes.

Site (species)	Treatment	Before Treatment ^z	Field Measurement ^y	Model Estimation ^x	Error ^w (%)
Hong-chun (<i>Quercus variabilis</i>)	No Thinning	309.9	349.5	351.7	0.6
	Moderate	204.3	237.6	232.8	2.0
	High	162.1	194.2	187.5	3.5
Hoeng-sung (<i>Quercus mongolica</i>)	No Thinning	153.2	164.7	172.4	4.7
	Low	125.3	141.3	145.6	3.0
	Moderate	131.7	148.9	154.3	3.6
Yang-yang Daechi (<i>Quercus variabilis</i>)	High	122.3	148.4	140.2	5.5
	No Thinning	180.2	201.4	197.0	2.2
	Low	236.3	258.5	250.1	3.2
Yang-yang Jungja (<i>Q. variabilis</i> & <i>Q. mongolica</i>)	Moderate	169.2	195.5	195.6	0.1
	High	186.0	211.0	212.5	0.7
	No Thinning	146.4	167.7	170.9	1.9
	Selective	141.9	166.8	172.3	3.3
	High	129.3	151.3	159.7	5.6

^zField measurements in 2010, before thinning treatments

^yField measurements in 2013, 3 years later after the treatments

^xModel Estimation based on the field measurements in 2010

^wError = | Field Measurement - Model estimation | / Field Measurement

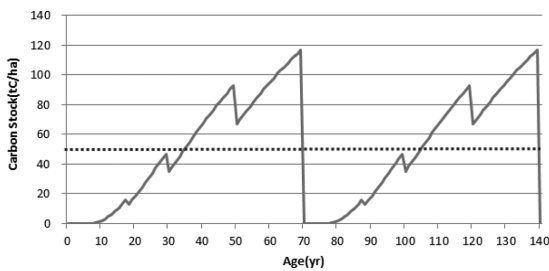


Figure 2. Carbon stock changes under the baseline scenario.

Table 6. Average carbon stocks under baseline scenarios for major tree species in Korea.

Species	Average Carbon Stock (tC/ha)
<i>P. densiflora</i> (Kangwon region)	51.27
<i>P. densiflora</i> (Central region)	39.09
<i>Pinus rigida</i>	32.17
<i>Larix kaempferi</i>	51.61
<i>Pinus koraiensis</i>	59.83
<i>Quercus acutissima</i>	83.01
<i>Quercus mongolica</i>	67.70

인 흡수량이 가장 낮은 수종은 리기다소나무(32.17tC/ha)와 중부지방소나무(39.09tC/ha)이었다(Table 6). 따라서 수종갱신을 통한 산림경영형 산림탄소상쇄사업을 추진하는 경우, 베이스라인 흡수량이 가장 낮은 리기다소나무림과 중부지방소나무림을 대상으로 하는 것이 감축효과 면에서는 가장 유리한 것으로 나타났다.

결론

본 연구에서는 산림경영형 산림탄소상쇄 사업을 설계하기 위해서 필요한 베이스라인 흡수량의 산정을 위해서, 동적 임분성장모델을 이용하여 임분의 성장량 및 탄소저장량 변화를 예측하였다. 이를 위해 제5차 국가산림자원조사 자료를 토대로 동적 임분성장모델을 개발하고, 개발된 모델의 정확성을 검증하기 위해 홍천, 횡성, 양양 대치리 및 정자리 등 4개 시험지 14개 처리구로부터 조사된 실측자료와 비교 분석하였다. 그 결과 모델 예측치와 실측치의 편차가 5% 미만의 낮은 오차를 보여 본 연구에서 개발된 동적 임분성장모델이 현실 임분의 성장량을 예측하는데 있어서 비교적 정확한 결과를 제시할 수 있는 것으로 나타났다. 다만 조사된 실측자료가 주로 굴참나무와 신갈나무 등 참나무림을 대상으로 하여 다른 수종에 대해서는 모델의 정확성을 판단하기 어려운 한계가 있었다. 현재 소나무림 등 침엽수종에 대해서도 간벌 처리 후 성장 촉진 효과를 규명하기 위한 연구가 진행 중이며, 따라서 추후 침엽수종에 대해서도 모델의 정확성 검증이 가능할

것으로 기대된다.

개발된 동적 임분성장모델을 이용하여 각 수종별로 결정된 베이스라인 시나리오에 따라 임분의 성장량 및 탄소흡수량의 변화를 예측하였다. 또한 각 수종별로 벌기령 동안 임분에 저장되는 평균 탄소저장량을 구하여 베이스라인 흡수량으로 산정하였다. 그 결과 상수리나무의 베이스라인 흡수량이 83.01tC/ha로 가장 높았고, 다음으로 신갈나무(67.70tC/ha), 잣나무(59.83tC/ha) 등의 순으로 나타났다. 반면 베이스라인 저장량이 낮은 수종은 리기다소나무(32.17tC/ha)와 중부지방소나무(39.09tC/ha)이었다. 따라서 산림경영형 산림탄소상쇄사업에 따른 산림탄소흡수량 산정 시 사업을 통해 증가된 탄소저장량에서 본 연구에서 제시된 베이스라인 흡수량을 제외함으로써 산림탄소흡수량을 산정할 수 있다. 특히 수종갱신을 통한 산림탄소상쇄사업을 추진하는 경우에는 베이스라인 흡수량이 낮은 리기다소나무림과 중부지방소나무림을 대상으로 하는 것이 감축효과 면에서는 가장 유리한 것으로 판단된다.

본 연구결과로 제시된 수종별 베이스라인 흡수량은 산림경영형 산림탄소상쇄 사업을 추진하려는 사업자들이 산림탄소흡수량을 산정하는데 참고가 될 수 있을 것으로 기대되며, 아울러 본 연구를 통해 개발된 동적 임분성장모델은 산림경영활동 및 상쇄 활동에 따른 임분 성장량 및 탄소저장량의 변화를 예측하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Bae, J.S., Kim, Y.H., and Han, K.J. 2013. Trend of International Carbon Trading Markets and Implication for Forestry. In: Agricultural Prospect 2013, Korea Rural Economic Institute, Chapter14, pp. 523-557.
- Bennett, F.A. 1970. Yield and stand structural patterns for old-field plantation of slash pine. USDA Forest Service Research Paper SE-60.
- Ito, A., Muraoka, H., Koizumi, H., Saigusa, N., Murayama, S., and Yamamoto, S. 2006. Seasonal variation in leaf properties and ecosystem carbon budget in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest: simulation analysis at Takayama site, Japan. Ecological Research 21(1): 137-149.
- Jang, K., Won, H.K., Kim, Y.H., Tak, K.I., Shin, M.Y., and Lee, K. 2011. Application of CBM-CFS3 model to assess carbon stock and age class changes over long term forest planning in Korea's national forest. Journal of Korean Forest Society 100(4): 591-597.
- Kim, Y.H., Kim, K.N., Jeon, O.J., and Lee, K.H. 2013. Development of a Carbon Standard for Forest Carbon Offset Program in Korea. Korea Forest Research Institute, Forest Policy Issues-2. pp. 19.
- Kim, Y.H., Kim, T.W., Won, H.K., Lee, K.H., and Shin, M.Y.

- 2012a. Estimation of Timber Production Under Thinning Scenarios Using a Forest Stand Yield Model. *Journal of Korean Forest Society* 101(1): 592-598.
- Kim, Y.H., Son, Y.M., Chun, H.S., Bae, J.S., Kim, R.H., Lee, K.H., Jeon, O.J., and Kim, K.N. 2012b. Standard for Forest Carbon Offset Program in Foreign Countries. Korea Forest Research Institute, Research Report-471. pp. 147.
- Kindermann, G.E., Obersteiner, M., Rametsteiner, E., and McCallum, I. 2006. Predicting the deforestation-trend under different carbon-prices. *Carbon Balance and Management* 1(15).
- Korea Forest Research Institute. 2005. Standards for Sustainable Forest Resource Management. Korea Forest Research Institute, Research Report-5. pp. 289.
- Korea Forest Research Institute. 2012. Volume, Biomass and Stand Yield Table for Korea Major Species. pp. 261.
- Korea Forest Service. 2013a. Standard for Korean Forest Carbon Offset Program. Korea Forest Service, Official Notice, No. 2013-37.
- Korea Forest Service. 2013b. Enforcement Rule of Creation and Management of Forest Resources Act. No. 66.
- Kurz, W.A., Dymond, C.C., White, T.M., Stinson, G., Shaw, C.H., Rampley, G.J., Smyth, C., Simpson, B.N., Neilson, E.T., Trofymow, J.A., Metsaranta, J., and Apps, M.J. 2009. CBM-CFS3 : A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards, *Ecological Modelling* 220(4): 480-504.
- Masera, O.R., Carza-Caligaris, J.F., Kanninen, M., Karjalainen, T., Liski, J., Nabuurs, G.J., Pussinen, A., de Jong, B.H.J., and Mohren, G.M.J. 2003. Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects : the CO2FIX V.2 approach. *Ecological Modelling* 164(2003): 177-199.
- Seo, J.H., Son, Y.M., Lee, K.H., Lee, W.K., and Son, Y.H. 2005. The Estimation of Stand Biomass and Net Carbon Removals using Dynamic Stand Growth Model. *Journal of Korean Forest Society* 24(2): 37-45.
- Yoo, S., Lee, W.K., Son, Y., and Ito, A. 2012. Estimation of Vegetation Carbon Budget in South Korea using Ecosystem Model and Spatio-temporal Environmental Information. *Korean Journal of Remote Sensing* 28(1): 145-159.

(2014년 3월 7일 접수; 2014년 7월 22일 채택)