

산림탄소상쇄 사업의 흡수량 증대를 위한 대규모 산림경영형 사업모델 개발에 관한 연구 - 진안군 선도 산림경영단지를 중심으로 -

김 영 환

국립산림과학원 산림산업연구과

Developing a Large-scale Carbon Offset Project Based on Forest Management - In Case of Jin-An Leading Forest Management Zone -

Kim, Young-hwan

Division of Forest Industry Research, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

ABSTRACT

To achieve large-scale carbon removals, a carbon offset project based on forest management was designed and its carbon stock change was estimated in this study. The project was designed for 874 hectares of forests in the Jin-An Leading Forest Management Zone. For estimating the carbon stock change of the project, the Korean Forest Carbon Standard and VCS (Verified Carbon Standard) methodologies were applied. Three types of management options were considered in the project : extension of rotation age, conversion to productive forests, and conversion to selective harvesting. The estimated carbon removals from the project designed in this study were 259,936 tCO₂ (8,664 tCO₂ annually), which is 98% of estimated carbon removals from the entire 69 projects currently registered to the Forest Carbon Offset Registry in Korea. The results of this study showed that a large-scale carbon offset project based on forest management could have a huge potential to produce carbon offset credits.

Key words : Forest Carbon Offset, Forest Management, Carbon Standard, Carbon Removal

1. 서 론

2015년 말 파리협정 체결로 2020년 이후 신기후체제가 도래하면서 온실가스 배출을 줄이기 위한 국제적인 노력이 점차 가시화될 것으로 예상된다. 파리협정에는 산림을 포함한 탄소흡수원의 유지·증진 필요성을 언급하여 그 중요성을 강조하고 있다. 각 국가들이 제출한 국가감축목표(Nationally Determined Contribution, NDC)에도 산림의 탄소흡수량을 활용한다는 내용이 포함되어 있어서, 향후 산림의 탄소흡수 기능을 증진하는 감축활동에 대한 관심과 투자가 높아질 것으로 예상된다.

산림탄소상쇄제도는 산림의 탄소흡수 기능을 증진시키는 다양한 감축활동을 추진하고, 이를 통해 얻어진 탄소흡수량을

인증해주는 제도로서, 우리나라에는 2010년 처음 도입되어 2년간 시범 운영된 바 있으며, 2013년 「탄소흡수원의 유지 및 증진에 관한 법률」(이하 ‘탄소흡수원법’)이 시행되면서 본격적으로 운영되고 있다.

탄소흡수원법이 시행된 이후 산림탄소상쇄제도의 효율적인 운영 및 과학적인 사업설계를 위해 2013년 ‘사회공헌형 산림탄소상쇄 운영표준’(이하 ‘운영표준’, Korea Forest Service 2013a, 2014)이 개발되었다. 또한 산림탄소상쇄 사업추진 과정의 투명성 확보를 위해 사업 신청부터 산림탄소흡수량의 인증에 이르기까지 모든 과정이 온라인상에서 이루어지도록 산림탄소등록부 시스템도 구축되어 산림탄소상쇄제도 운영을 위한 제도적인 기틀이 마련되었다.

산림탄소상쇄 사업의 등록건수는 2013년 제도가 시행된

† Corresponding author: kyhpeniel@korea.kr

Received March 30, 2016 / Revised May 6, 2016 / Accepted May 23, 2016

이후 지속적으로 증가하고 있다. 시행 첫해인 2013년 2건에 불과했던 사업등록 건수가 2014년 31건, 2015년 36건으로 늘어나, 2015년 말 현재까지 69건의 사업이 등록되었으며, 연간 약 9,047톤의 이산화탄소 순흡수가 예상되고 있다(Korea Green Promotion Agency, 2015).

산림탄소상쇄제도가 보다 활성화되기 위해서는 산림탄소 흡수량을 확충하는 것이 필요하고, 이를 위해 사업유형을 다양화하고 대규모 사업을 발굴할 필요가 있다. 2015년 말까지 등록된 사업들을 사업유형별로 살펴보면 신규조림/재조림 사업이 46건으로 전체 등록건수의 67%를 차지하고 있으나, 연간 산림탄소흡수량은 1,314톤으로 전체 사업에 따른 예상 흡수량의 14%에 불과하다. 우리나라의 경우, 대부분의 산지가 이미 녹화되어 신규조림/재조림 사업의 대상지를 찾기가 쉽지 않기 때문에 대부분의 사업이 소규모(평균 대상지 면적 3 ha)로 이루어져 흡수량이 적었다. 반면, 산림경영 사업의 경우에는 5건이 등록되어 전체 등록건수의 7%에 불과하나, 대상지 면적이 상대적으로 커서(평균 52 ha) 연간 흡수량이 5,906톤으로 전체 사업의 65%를 차지하고 있다. 따라서 산림탄소 흡수량을 확충하기 위해서는 대규모 산림경영 사업을 적극적으로 발굴할 필요가 있다(Kim, 2016).

산림청은 2013년부터 선도 산림경영단지를 지정하여 운영하고 있다. 이 제도는 우리나라 산림의 68%를 차지하는 사유림을 보다 효율적으로 관리하기 위해서 사유림을 집단화하여 경영규모를 확대하는 것을 목적으로 하고 있다. 지정된 선도 산림경영단지에 대해서는 집중적인 투자를 통해 산림경영 기반을 구축하고, 이를 통해 산림소유자들에게 실질적인 소득이 보장될 수 있도록 정책적으로 지원하고 있다(Korea Forest Service, 2013b). 2013년 홍천군, 진안군, 보성군 등 3개 단지를 지정하였으며, 2014년에는 울주군, 삼척군, 홍성군, 순천군, 거창군 등 5개 단지를 추가로 지정하였다.

본 연구에서는 진안군에 위치한 선도 산림경영단지를 대상으로 산림경영형 산림탄소상쇄 사업을 설계하고, 사업에 따른 이산화탄소 순흡수량을 산정하였다. 이를 통해 대규모 산림경영 사업의 상쇄 잠재량을 분석하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 진안군 안천용담 선도 산림경영단지를 대상으로 산림탄소상쇄 운영표준 및 해외 운영표준에서 제시하고 있는 방법론을 적용하여 산림경영형 상쇄사업을 설계하고, 베이스라인 흡수량 및 사업에 따른 이산화탄소 순흡수량을 산정하였다.

2.1 연구대상지 개황

본 연구의 사업대상지인 진안군 안천용담 선도 산림경영단지는 전라북도 진안군 용담면 송풍리와 안천면 삼락리에 소재한 사유림 313필지, 공유림 16필지로 구성되어 있다. 전체 단지 면적은 1,424 ha로 사유림이 1,353 ha(95%), 공유림이 71 ha(5%)를 차지하고 있다. 단지 내 산림의 총 임목축적은 172,760 m³으로 단위면적당 임목축적은 121.3 m³/ha로 파악되었다. 산림의 나이를 나타내는 영급은 IV영급(31~40년)이 전체 면적의 69.8%를 차지하고 있다. 수종은 소나무(23.8%), 낙엽송(5.3%), 리기다소나무(18.5%), 참나무류(19.1%), 기타 활엽수(32.6%) 등으로 구성되어 있으며, 기타 활엽수를 제외하면 소나무와 리기다소나무, 참나무류가 대부분의 면적을 차지하고 있다. 단지 내 20°이상의 경사지가 전체 면적의 82%를 차지하여 입지 조건은 다소 불량한 편이다.

2.2 산림탄소상쇄 사업설계

‘사회공헌형 산림탄소상쇄 운영표준’(이하 ‘운영표준’, Korea Forest Service, 2013, 2014)에 따르면 산림경영 사업은 산림을 지속가능한 방식으로 경영함으로써 산림의 탄소흡수량을 증대시키는 사업이다. 구체적으로는 생장이 우수한 수종으로 산림을 갱신하거나, 벌기령을 연장하거나, 택벌림 경영을 시행하는 등의 산림경영 활동이 포함된다.

본 연구에서는 진안군 안천용담 선도 산림경영단지 내 소나무, 리기다소나무, 참나무류 임분 874 ha를 대상으로 위의 세 가지 경영 방식을 적용하여 산림탄소상쇄 사업을 설계하였다. 즉, 사업대상지를 임상에 따라 3개 구획으로 구분하고, 소나무림(구획1)에 대해서는 대경재 생산을 위해서 벌기령을 70년으로 연장하는 방식을 적용하고, 리기다소나무림(구획2)에 대해서는 벌채후 낙엽송림으로 갱신하는 방식을 적용하였다. 한편, 참나무림(구획3)에 대해서는 펄프재 생산을 위해 벌기령 이후 5년마다 10%씩 벌채를 시행하는 택벌경영을 적용하였다(Table 1). 사업기간은 30년을 적용하였다.

2.3 산림탄소상쇄 사업의 이산화탄소 순흡수량 산정

산림탄소상쇄 사업에 따른 이산화탄소 순흡수량을 산정하기 위해서 본 연구에서는 국내 운영표준 및 국제 자발적 탄소상쇄 프로그램인 VCS(Verified Carbon Standard, 2013a, 2013b, 2013c)의 방법론(VM0003, VM0005, VM0010)을 적용하였다.

국내 운영표준에 따르면 산림탄소상쇄 사업에 따른 이산화탄소 순흡수량을 산정하기 위해서는, 아래 식 (1)에서와 같이 산림탄소상쇄 사업에 따른 산림바이오매스 탄소흡수량(B_i)을

Table 1. Management options for the forest carbon offset project

Unit	Species	Area (ha)	Current age (yr)	Rotation age (legal) (yr)	Management options
1	<i>Pinus densiflora</i>	339	32	40	Extension of rotation age (70yr.)
2	<i>Pinus rigida</i>	263	32	25	Conversion to <i>Larix kaempferi</i>
3	<i>Quercus</i> spp.	272	32	25	Conversion to selective harvesting (10% cutting in every 10yrs.)

구하고, 여기에서 사업을 시행하지 않고, 기존 산림관리 체계를 유지할 경우의 탄소흡수량, 즉 베이스라인 흡수량(R_i)을 구하여 제외해야 한다. 또한 차량이나 기계장비를 이용하면서 발생하는 간접배출량(E)과 사업경계 밖에서 일어나는 누출량(L)도 제외하도록 요구하고 있다. 본 연구에서는 고사유기물 및 산림토양의 탄소흡수량은 고려하지 않았다.

$$C_i = \left(\sum_i (B_i + S_i - R_i) \times 44/12 \right) - E - L \quad (1)$$

$$B_i = BG_i \times BEF \times (1 + RR) \times WD \times CF \quad (2)$$

- C_i : t 기간 동안의 이산화탄소 순흡수량(tCO_2)
- B_i : t 기간 동안 구획 i 의 산림바이오매스의 탄소흡수량(tC)
- S_i : t 기간 동안 구획 i 의 고사유기물 및 산림토양의 탄소흡수량(tC)
- R_i : t 기간 동안의 구획 i 의 베이스라인 흡수량(tC)
- E : t 기간 동안의 사업활동에 따른 간접배출량(tCO_2)
- L : t 기간 동안의 누출량(tCO_2)
- BG_i : t 기간 동안의 산림바이오매스 재적변화량(m^3)
- BEF : 지상부 바이오매스 확장계수
- RR : 뿌리 함량비
- WD : 목재기본밀도(tdm/m^3)
- CF : 탄소함량비(tC/tdm)

2.3.1 산림탄소상쇄 사업에 따른 탄소흡수량 산정

산림탄소상쇄 사업에 따른 탄소흡수량은 사업기간동안 각 구획별로 산림바이오매스 재적변화를 예측하고, 여기에 탄소흡수계수를 적용하여 산정하였다. 산림바이오매스의 재적변화는 Kim *et al.*(2014)이 국가 산림자원조사 자료를 토대로 개발한 생장 추정식(식 (3) 및 식 (4))을 이용하여 예측하였으며, 탄소흡수계수는 산림부문의 국가 고유계수를 적용하였다(Table 4). 식 (3)에 따르면 각 구획별 재적 변화를 예측하기 위해서 지위지수 값이 필요한데, 본 연구대상지의 경우 입지조건이 다소 불량하므로 보수적인 흡수량 산정을 위해 지위지수 ‘하’를 적용하였다.

$$\ln(V) = b_0 + b_1 ST^{-1} + b_2 A^{-1} + b_3 \ln(BA) \quad (3)$$

$$BA = b_0 e^{b_1 A^{-1}} \quad (4)$$

Table 3. Regression coefficients of the basal area prediction equation

Species	Regression coefficients		R^2
	b_0	b_1	
<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>Quercus mongolica</i>	45.88	-25.2465	0.74

Table 2. Regression coefficients of the stand yield prediction equation

Species	Regression coefficients				R^2
	b_0	b_1	b_2	b_3	
<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>Quercus mongolica</i>	2.5309	-5.9106	-8.1489	1.0065	0.98

Table 4. National greenhouse-gas emission factors for the forest sector

Species	Wood density	Biomass extension factor	Root ratio	Carbon conversion factor
<i>Pinus densiflora</i> (Central region)	0.47	1.41	0.25	
<i>Pinus rigida</i>	0.50	1.33	0.36	0.5
<i>Larix kaempferi</i>	0.45	1.34	0.29	
<i>Quercus mongolica</i>	0.66	1.60	0.39	

(Source : GHG Inventory & Research Center, 2013)

여기서, V : ha당 재적, SI : 지위지수, A : 임령, BA : ha당 흉고단면적, b_0, b_1, b_2, b_3 : 회귀계수

2.3.2 베이스라인 탄소흡수량 산정

국내 운영표준에서는 베이스라인 탄소흡수량 산정에 대한 명확한 방법론이 제시되지 않아서 본 연구에서는 VCS의 방법론을 적용하였다. VCS의 방법론(VCS, 2013a, 2013b, 2013c)에 따르면 기존 산림관리 체계를 유지하는 것을 전제로 하여 100년간의 탄소저장량 변화를 예측하고, 이를 평균하여 베이스라인 탄소흡수량을 구한다. 단기간을 적용하여 베이스라인 흡수량을 산정할 경우, 사업대상지의 임령 및 벌채 시기에 따라 편차가 크게 나타날 수 있으므로 편차를 최소화하기 위해 100년간 탄소저장량 변화를 예측하도록 요구하고 있다.

베이스라인 시나리오를 설정하기 위해 본 연구에서는 ‘지속 가능한 산림자원관리 표준매뉴얼’(National Institute of Forest Science, 2005)에 따라 숲가꾸기를 시행하고, 벌기령에 도달하면 모두베기 방식으로 벌채를 시행하되, 벌채 이후에는 100% 재조림을 시행하는 것으로 가정하였다. 벌기령은 우리나라 사유림의 수종별 기준 벌기령(소나무 40년, 리기다소나무 25년, 참나무류 25년)을 적용하였으며(Enforcement Regulation on Promotion and management of Forest Resources, 2015), 재조림 수종은 사업대상지가 위치한 전라북도에서 가장 많이 조림되는 편백으로 가정하였다(Korea Forest Service, 2015). 이러한

시나리오를 토대로 각 구획별로 100년간의 재적변화를 예측하고, 탄소흡수계수를 적용하여 베이스라인 저장량과 흡수량을 구하였다.

2.3.3 이차적 배출량 산정

운영표준에 따르면 이차적 배출량을 고려하지 않은 연간 순흡수량이 600 tCO₂ 이하인 소규모 사업의 경우에는 사업활동에 따른 배출량과 누출량을 산정하기 위해 각각 5%와 2%를 기본 값으로 적용하도록 한다. 반면, 연간 순흡수량이 600 tCO₂ 이 넘는 사업의 경우에는 사업활동에 따른 배출량과 잠재적 누출량을 조사하도록 요구하고 있다. 본 연구에서는 사업활동에 따른 배출량과 잠재적 누출량을 직접 조사하기 어려우므로, 소규모 사업에 적용하는 기본 값을 적용하여 이차적 배출량을 산정하였다.

3. 연구결과

산림탄소상쇄 사업에 따른 이산화탄소 순흡수량을 산정하기 위해서 사업에 따른 산림바이오매스 탄소흡수량을 구하고, 여기에서 사업을 시행하지 않을 경우의 베이스라인 흡수량과 이차적 배출량을 제외하여 순흡수량을 산정하였다.

사업에 따른 탄소흡수량을 구하기 위해서 우선 각 구획별로 사업기간 30년간 산림바이오매스 재적 변화를 예측하고, 탄소흡수계수를 적용하여 탄소저장량을 구하였다. 탄소흡수량은 탄소저장량의 연간 순증가량으로 산정하였다. 산정 결과, 소나무림(구획 1)은 벌기령 연장을 통해 31,404 tC를 흡수하는 것이 가능하고, 리기다소나무림은 낙엽송으로 갱신하여 11,317 tC를 흡수하고, 참나무림은 택벌경영을 통해 61,876 tC의 탄소흡수가 가능한 것으로 나타났다. 전체 탄소흡수량은 104,597 tC으로 산정되었다(Table 5).

사업을 시행하지 않을 경우의 베이스라인 흡수량을 산정하기 위해서 각 구획별로 100년간의 탄소저장량 변화를 예측하고, 이를 평균하였다. 산정 결과, 소나무림은 8,579 tC, 리기다소나무림은 5,616 tC, 참나무림은 14,174 tC로 베이스라인 흡수량이 각각 산정되었으며, 전체적으로는 28,369 tC를 흡수하는 것으로 나타났다(Table 5). 전반적으로 산림탄소상쇄 사업

Table 5. Carbon stock changes from the forest carbon offset project (unit : tC)

Classification	<i>Pinus densiflora</i> (unit 1)	<i>Pinus rigida</i> (unit 2)	<i>Quercus</i> spp. (unit 3)	Total
Project carbon stock changes	31,404	11,317	61,876	104,597
Baseline carbon stock changes	8,579	5,616	14,174	28,369

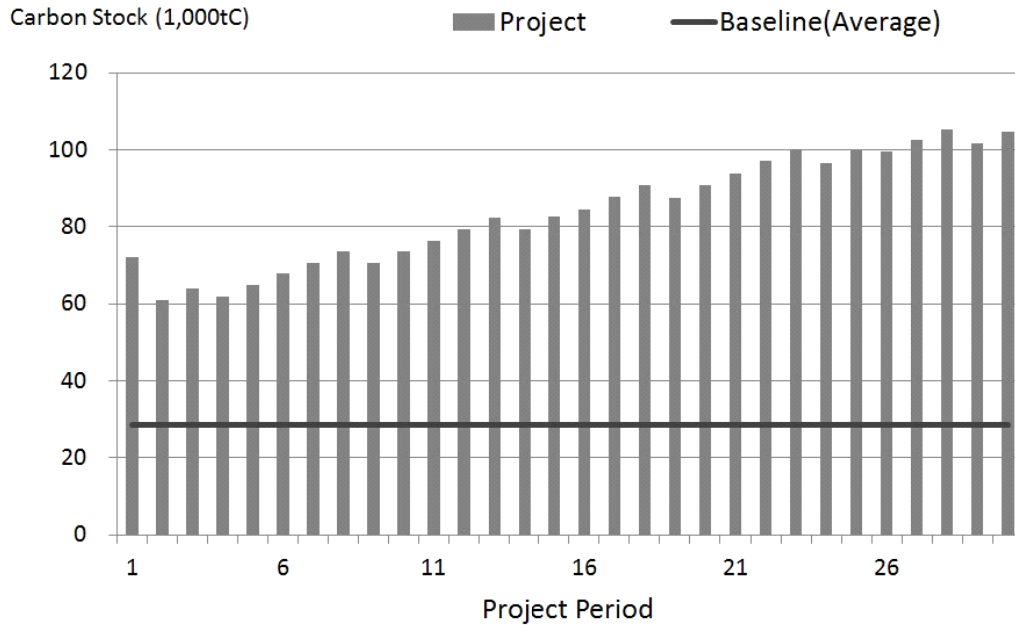


Fig. 1. Carbon stock changes during the project period.

을 통해 베이스라인보다 높은 탄소저장량을 유지할 수 있는 것으로 나타났다(Fig. 1).

이차적 배출량은 산림바이오매스 탄소흡수량에서 베이스라인 흡수량을 제외하고, 여기에 운영표준에서 제시하고 있는 이차적 배출량 기본 값 7%(사업활동에 따른 간접배출량 5%, 누출량 2%)를 적용하여 산정하였다.

최종적으로 산림탄소상쇄 사업에 따른 이산화탄소 순흡수량을 산정한 결과, 전체 사업기간 30년간 259,936 tCO₂의 이산화탄소 순흡수가 가능할 것으로 산출되었다(Table 6). 구획별로는 소나무림(구획 1)에서 77,831 tCO₂, 리기다소나무림(구획 2)에서 19,438 tCO₂, 참나무림(구획 3)에서 162,667 tCO₂을 각각 흡수하였다. 연간 이산화탄소 순흡수량은 8,664 tCO₂으

로, 1 ha당 평균 7.4 tCO₂을 매년 흡수하는 것으로 나타났다. 운영표준에 따라 순흡수량에서 소수점 이하는 절사하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 진안군 선도 산림경영단지 내 874 ha의 산림을 대상으로 산림탄소상쇄 운영표준과 해외 탄소상쇄 프로그램인 VCS의 방법론을 적용하여 산림탄소상쇄사업을 설계하고, 사업에 따른 이산화탄소 순흡수량을 산정하였다. 산정 결과, 전체 사업기간 동안 259,936 tCO₂, 연간 약 8,664 tCO₂을 흡수하는 것으로 나타났다.

2015년 말 기준으로 산림탄소상쇄제도에 등록된 전체 69건의 사업을 통해 예상되는 연간 이산화탄소 순흡수량이 약 9,047 tCO₂에 달하는 것을 고려하면, 본 연구에서 설계한 산림탄소상쇄 사업의 흡수량은 현재까지 등록된 전체 사업으로부터 예상되는 흡수량의 98%에 달하여 사업의 상쇄 잠재량이 매우 큰 것을 확인할 수 있었다.

다만 본 연구에서는 소나무, 리기다소나무, 참나무 임분 전체를 하나의 구획으로 설정하여 동일한 경영방식을 적용하였으나, 실제 산림탄소상쇄 사업을 추진할 경우에는 구획이 더욱 세분화되고, 구획마다 경영방식이나 벌채시기도 차별적으로 적용될 수 있다. 따라서 실제 산림탄소상쇄 사업을 추진할 경우, 사업에 따른 이산화탄소 순흡수량이 본 연구 결과와 다

Table 6. Project net carbon removals by sinks

Symbol	Item	Values	Unit
(a)	Project carbon stock changes	104,597	tC
(b)	Baseline carbon stock changes	28,369	tC
(c)	Secondary emissions ($c=(a-b) \times 44/12 \times 0.05$)	13,975	tCO ₂
(d)	Leakage ($d=(a-b) \times 44/12 \times 0.02$)	5,590	tCO ₂
(e)	Project net carbon removals ($e=(a-b) \times 44/12 - c - d$)	259,936	tCO ₂

소 차이가 나타날 수 있다.

또한 실제 산림탄소상쇄 사업을 추진하기 위해서는 선도 산림경영단지에 참여하고 있는 산림소유자들의 동의과정을 거쳐야 하는데, 산림탄소상쇄제도에 대한 관심과 이해가 적은 산림소유자들에게 사업내용을 소개하고, 참여를 유도하는 데에 많은 시간과 노력이 필요할 것이다.

본 연구에서 산정된 이산화탄소 순흡수량이 실제 사업을 추진하는 경우와 차이가 날 수 있으나, 산림경영형 산림탄소상쇄 사업의 발굴을 통해 상쇄배출권의 확충이 가능하다는 것을 정량적으로 확인했다는 점에서 본 연구결과가 시사하는 바가 큰 것으로 판단된다. 특히 선도 산림경영단지 산림소유자들의 상쇄사업 참여를 유도하는데 있어서 본 연구결과가 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 향후 산림분야 상쇄배출권 확충을 위해 선도 산림경영단지를 중심으로 산림경영을 통한 대규모 사업을 발굴하기 위한 정책적인 지원과 노력이 따라야 할 것이다.

REFERENCES

- Enforcement Regulation on Promotion and Management of Forest Resources. 2015(revised). Decree of ministry of agriculture, Food and Rural Affairs 184.
- GHG Inventory and Research Center. 2013. National GHG Emission/Removal Factors in 2013. GIR Official Announcement.
- Kim Y, Joen E, Shin M, Chung I, Lee S, Seo K, Pho J. 2014. A study on the baseline carbon stock for major species in Korea for conducting carbon offset projects based forest management. *Journal of Korean Forest Society* 103 (3):439-445.
- Kim Y. 2016. Introduction of government purchase of forest carbon offset credits. NIFOS Forest Policy Issue p 60.
- Korea Forest Service. 2013a. Carbon standard for the forest carbon offset program in Korea. KFS Official Announcement 2013-37.
- Korea Forest Service. 2013b. Management plan for leading forest management zone. p 15.
- Korea Forest Service. 2014. Revised carbon standard for the forest carbon offset program in Korea. KFS Official Announcement 2014-92.
- Korea Forest Service. 2015. 2015 statistical yearbook of forestry. 45:440.
- Korea Green Promotion Agency. 2015. Status of forest carbon offset project registration.
- National Institute of Forest Science. 2005. Standard manual for sustainable forest resource management. KFRI Research Publication-5. p 289.
- Verified Carbon Standard. 2013a. Methodology for improved forest management through extension of rotation age. Approved VCS Methodology VM0003 version 1.2.
- Verified Carbon Standard. 2013b. Methodology for improved forest management: Conversion of low productive to high productive forest. Approved VCS Methodology VM0005 version 1.2.
- Verified Carbon Standard. 2013c. Methodology for improved forest management: Conversion from logged to protected forest. Approved VCS Methodology VM0010 version 1.2.