

## 불량임분 갱신사업의 이산화탄소 흡수 증진 효과 분석

한희\* · 김영환\*\* · 배재수\*\* · 신중훈\*\*\*

\*국립산림과학원 산림산업연구과 임업연구사, \*\*국립산림과학원 산림산업연구과 과장, \*\*\*국립산림과학원 산림산업연구과 석사연구원

### Analyzing the Effects of Species Conversion Projects on CO<sub>2</sub> Absorption Enhancement in Poorly Stocked Forest Stands

Han, Hee\* · Kim, Young Hwan\*\* · Bae, Jae Soo\*\* and Shin, Joong Hoon\*\*\*

\*Research Scientist, Division of Forest Industry Research, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

\*\*Director, Division of Forest Industry Research, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

\*\*\*Postmaster Researcher, Division of Forest Industry Research, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

Poorly managed forest stands with low forest stock need to be treated properly for increasing quality of timber resources as well as absorption of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). As a result of simulating the effect of species conversion projects on CO<sub>2</sub> absorption enhancement in poorly stocked forest stands, the conversion from poor to good growth stands has great potential for CO<sub>2</sub> absorption. In particular, those management activities can secure more CO<sub>2</sub> absorption than the species conversion project registered as an external reduction activity of the national emissions trading scheme in Korea (K-ETS), or the extension of rotation age project in the forest carbon offset program operated by Korea Forest Service. Species conversion in poorly stocked stands can increase the amount of CO<sub>2</sub> absorbed from the atmosphere, increasing the economic profit of carbon credit sales with an increase of timber production. To expand the conversion projects in poorly stocked stands over the country, however, it is necessary to develop criteria for deciding the condition of poorly stocked forest stands taking into account the growing stock of trees with their quality as timber resources. Also, it is necessary to establish a business model available in the private sector to promote the conversion of poorly stocked stand as a nationwide project of the government.

**Key words:** Species Conversion, Poorly Stocked Stand, CO<sub>2</sub> Absorption, Carbon Offset, K-ETS

#### 1. 연구배경

정부는 2018년 7월 「2030 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안」(Government Ministries of Korea, 2018)을 발표하고 감축수단 중 하나로 산림흡수원을 새롭게 포함하였다. 수정된 로드맵에 따르면 산림청은 앞으로 탄소 흡수량을 고려한 산림경영계획 수립, 조림수종의 탄소흡수력 증진, 기능별 숲가꾸기 등을 통한 탄소 선순환 산림경영을 통해 22백만 톤에 달하는 온실가스를 감축할 계획이다. 이는 2030년 우리나라 ‘국가 온실가스 감축목표 (Nationally Determined Contribution, NDC)’인 315백만 톤의 약 7%에 해

당하는 양이다.

앞으로 산림을 활용한 이산화탄소 감축활동은 NDC 달성에 직접적으로 기여할 수 있게 되었다. 현재 산림청이 직접 관리하는 국유림을 제외하고, 그 밖의 산림에서 산림경영계획이 작성된 면적 비율은 36%에 불과하다 (KFS, 2019). 산림 흡수원의 NDC 포함은 국가적으로 그 동안 부족했던 국내 산림경영을 활성화시키고 산림관리 전반의 품질을 높일 수 있는 새로운 전환점이 될 수 있다 (Han *et al.*, 2019a).

민간부문이 산림의 이산화탄소 감축활동에 적극적으로 참여하기 위해서는 감축활동이 합리적인 경제적 보상을 제공하거나 매력적인 사회공헌 활동이 될 수 있어야 한다. 그러나

† Corresponding author: [kyhpeniel@korea.kr](mailto:kyhpeniel@korea.kr), Hoegi-ro 57, Dongdaemun-gu, Seoul 02445, Republic of Korea, +82-2-961-2821

ORCID 한 희 0000-0002-2588-7176 김영환 0000-0001-6820-2723  
배재수 0000-0001-9766-4409 신중훈 0000-0001-5318-1632

지금 국내에서 운영되고 있는 산림부문의 탄소배출권 사업은 민간부문의 참여를 유도할 수 있는 충분한 경제성을 갖추고 있지 못하다. 일례로 국내 배출권거래제도 외부사업 산림부문 외부사업의 경우 기존 산림경영활동의 수익성을 개선시키는 효과가 작고 사업에 수반되는 행정비용이 상대적으로 크다 (Han *et al.*, 2019b). 같은 맥락에서 Kim *et al.* (2016)은 산림부문의 탄소배출권사업은 기대수익이 적기 때문에 공편익 (co-benefit)을 고려한 사업추진이 필요하다고 주장하였다. 이렇듯 사업의 기대수익이 낮은 이유는 거래되는 탄소감축분의 가격이 탄소의 사회적 비용을 고려한 온실가스 감축의 가치를 반영하고 있지 않기 때문이다.

산림부문 배출권사업의 수익을 높이기 위하여 거래 가격을 조정하거나 산림사업 비용을 줄이는 것은 쉽지 않다. 현실적으로 적용 가능하고 가장 직접적인 대안은 사업을 통해 얻을 수 있는 이산화탄소 흡수량을 늘리는 것이다. 인위적인 산림경영활동으로 인한 추가적인 흡수량이 큰 감축사업은 사업 자체의 경제적·사회적 가치를 높여 산림부문 온실가스 감축 활동을 촉진시킬 수 있다.

산림경영활동이 잘 이루어지지 않아 생장이 불량한 임분의 갱신사업은 이산화탄소 흡수 잠재력이 크다. 탄소배출권 사업으로서 흡수량이 크다는 것은 판매할 수 있는 상품의 양이 늘어난다는 것과 동일하므로 그 만큼 사업의 경제성도 올라간다. 또한 불량임분의 갱신사업은 그동안 제대로 관리가 되지 않았던 산림을 좀 더 가치 있는 숲으로 가꾸는 효과도 있다. 전국적으로 생장이 불량한 임분에 대한 면적 통계는 아직 조사된 바 없으나, 활착과 생장이 저조한 조림지나 전국 곳곳에 분포하는 불량 활엽수림 등을 고려할 때 그 면적이 적지 않을 것으로 추정된다.

본 연구는 산림부문의 온실가스 감축활동으로서, 우리나라 산림자원관리에 필요한 불량임분 갱신사업의 이산화탄소 흡수량을 분석하였다. 이를 통해 탄소배출권사업 측면에서의 타당성을 평가하고 산림부문에서 활용하고 있는 기존 배출권 사업들과 비교하였다. 이러한 비교를 통해 사업 추진 시 얻을 수 있는 환경적·경제적 효과를 밝히고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 불량임분 갱신사업의 기본 가정

본 연구는 생장이 불량한 기존 임분을 벌채하고 목재로서의 가치와 이산화탄소 흡수가 우수한 수종으로 갱신조림을 실시하는 활동을 ‘불량임분 갱신사업’으로 정의하였다. 사업

의 기본 모형은 현재 국내 산림부문 배출권거래제 외부사업 방법론인 『수종갱신을 통한 산림경영 사업의 방법론 (등록번호 : 14A-004-Ver01)』 (Offset Registry System, 2020)과 동일하다. 단, 일반적인 수종갱신 사업이 새롭게 갱신된 숲에서 수종 교체에 따른 탄소흡수량 차이를 고려하는 것과 달리 불량임분 갱신사업은 Fig. 1과 같이 새롭게 갱신된 숲과 불량임분의 탄소흡수량 차이를 고려한다. 분석을 위한 사업기간은 30년, 생장이 불량한 40년생 소나무 1 ha 임분을 사업대상지로 가정하였다. 대상 수종을 소나무로 선정한 이유는 임업통계연보 (KFS, 2019)를 기준으로 현재 우리나라에서 분포면적이 가장 넓기 때문이다.

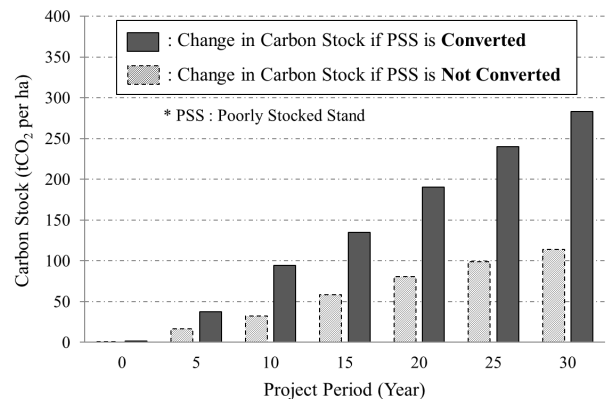


Fig. 1. Changes in Carbon Stock where Poorly Stocked Stand is Converted.

갱신사업의 수종은 낙엽송으로 선정하였다. 낙엽송은 국내에서 편백과 함께 경제적인 이용 가치가 높고 조림 실적 또한 많다 (KFS, 2019). 사업에 따른 환경적 효과는 사업기간 동안 흡수되는 총 이산화탄소량으로 평가하였다. 경제적 수익은 사업기간 동안 매 5년마다 발행되는 산림탄소배출권의 거래와 산주가 벌채 시 판매하는 임목의 가격을 고려하여 계산하였다. 탄소배출권의 가격은 국내 배출권시장의 2019년 평균 거래 가격인 톤당 29,910원을 적용하였고 (KRX, 2020), 임목 가격은 Min *et al.* (2017)의 자료를 참고하여 1 m<sup>3</sup> 당 소나무 27,811원, 낙엽송 27,790원을 적용하였다. 할인율은 연 3%를 적용하였다.

### 2.2 불량임분 갱신사업의 이산화탄소 흡수량 분석

#### 2.2.1 불량임분의 이산화탄소 흡수량

불량임분의 이산화탄소 흡수량은 사업대상지가 벌채 후

기준과 같이 관리가 되지 않아 불량임분이 다시 나타나는 것을 가정했을 때 예상되는 흡수량을 의미한다 (eq. 1). 흡수량은 지상부 바이오매스와 지하부 바이오매스 흡수량을 모두 포함한다 (Kim *et al.*, 2019).

$$B_t = \Delta CB_t \times 3.664 \quad (\text{eq. 1})$$

$$\Delta CB_t = \sum_{y=1}^t (CVB_y - CVB_{y-1})$$

$$CVB_y = VB_y \times BEF \times (1 + RR/100) \times WD \times CF$$

여기서,

$B_t$  : t기간 동안 불량임분의 이산화탄소 흡수량 (tCO<sub>2</sub>-eq)

$\Delta CB_t$  : t기간 동안 불량임분의 지상부 지하부 바이오매스 탄소축적 변화량의 합 (tC)

$CVB_y$  : 불량임분의 y년도 지상부 지하부 바이오매스의 탄소축적량 (tC)

$VB_y$  : 불량임분의 y년도 줄기 바이오매스 재적 (m<sup>3</sup>)

$BEF$  : 바이오매스확장계수

$RR$  : 뿌리함량비

$WD$  : 목재기본밀도 (tdm/m<sup>3</sup>)

$CF$  : 탄소전환계수 (tC/tdm)

위 수식에서 불량임분의 y년도 줄기 바이오매스 재적 ( $VB_y$ )은 『현실림 임분수확표』 (NIFoS, 2016)의 중부지방소나무를 기준으로 계산하였다. 불량임분의 임령별 재적 산출시에는 생장이 저조한 불량임분의 특성을 반영하기 위하여 임분수확표 상의 가장 낮은 지위를 기준으로 예상되는 임분의 재적량 대비 30% 낮은 값을 적용하였다. 이 값은 불량임분 갱신사업의 흡수량 산정 결과에 큰 영향을 주는 인자이지만 관련된 선행연구가 부족하다. 다만 위에 언급된 임분수확표 (NIFoS, 2016)에 따르면 중부지방소나무의 경우 가장 낮은 지위의 임분과 그 다음 낮은 지위의 임분 간의 생

장이 약 30% 차이가 난다. 본 연구는 이러한 경향에 근거하여 불량임분이 가장 낮은 지위를 기준으로 정상적으로 성장한 평균 임분에 비해 재적생장이 30% 가량 더 적을 것이라고 가정하였다.

또한 갱신임분의 지위는 추정할 수 있는 근거가 현실적으로 부족하므로, 갱신임분의 재적생장량은 임분수확표 (NIFoS, 2016) 상의 가장 낮은 지위를 적용하여 계산하였다.

### 2.2.2 갱신사업에 따른 이산화탄소 흡수량

갱신사업에 따른 이산화탄소 흡수량은 갱신조립된 임분이 적절한 산림관리와 임목생장을 통해 늘어나는 지상부와 지하부 바이오매스의 이산화탄소 흡수량을 의미한다. 산정식은 eq. 2와 같다.

$$R_t = \Delta CR_t \times 3.664 \quad (\text{eq. 2})$$

$$\Delta CR_t = \sum_{y=1}^t (CVR_y - CVR_{y-1})$$

$$CVR_y = VR_y \times BEF \times (1 + RR/100) \times WD \times CF$$

여기서,

$R_t$  : t기간 동안 갱신임분의 이산화탄소 흡수량 (tCO<sub>2</sub>-eq)

$\Delta CR_t$  : t기간 동안 갱신임분의 지상부 지하부 바이오매스 탄소축적 변화량의 합 (tC)

$CVR_y$  : 갱신임분의 y년도 지상부 지하부 바이오매스의 탄소축적량 (tC)

$VR_y$  : 갱신임분의 y년도 줄기 바이오매스 재적 (m<sup>3</sup>)

$BEF$  : 바이오매스확장계수

$RR$  : 뿌리함량비

$WD$  : 목재기본밀도 (tdm/m<sup>3</sup>)

$CF$  : 탄소전환계수 (tC/tdm)

Table 1. National Verified Carbon Emission Factors for Forest Sector (GIR, 2014)

Species	Wood Density (tdm/m <sup>3</sup> )	Biomass Expansion Factor	Root Ratio	Carbon Conversion Factor (tC/tdm)
<i>Pinus densiflora</i> (Central Region)	0.472	1.413	0.254	0.5
<i>Larix kaempferi</i>	0.453	1.335	0.291	0.5

사업의 시행과정에서 장비 등을 사용하면서 배출되는 이산화탄소량(사업 배출량)과 사업의 경계 외부에서 발생하는 온실가스 배출량(누출량, leakage)은 기 등록된 「수종갱신을 통한 산림경영 사업의 방법론」(Offset Registry System, 2020)을 참고하였다. 이에 따라 사업 배출량은 이산화탄소 흡수량( $R_i$ )의 5%, 누출량은 이산화탄소 흡수량( $R_i$ )의 2%로 각각 가정하였다.

배출권사업 추진 시 시장에서 거래할 수 있는 흡수량은 인위적인 활동에 의한 추가적인 흡수량, 즉 ‘순흡수량’으로 계산한다. 따라서 불량임분 갱신사업의 경우 배출권시장에서 거래할 수 있는 사업의 흡수량은 eq. 3과 같이 계산된다.

$$BS_i = R_i - B_i - PE_i - LE_i \quad (\text{eq. 3})$$

여기서,

$BS_i$  :  $t$ 기간 동안 사업의 이산화탄소 순흡수량 ( $tCO_2\text{-eq}$ )

$R_i$  :  $t$ 기간 동안 갱신임분의 이산화탄소 흡수량 ( $tCO_2\text{-eq}$ )

$B_i$  :  $t$ 기간 동안 불량임분의 이산화탄소 흡수량 ( $tCO_2\text{-eq}$ )

$PE_i$  :  $t$ 기간 동안의 사업 배출량 ( $tCO_2\text{-eq}$ )

$LE_i$  :  $t$ 기간 동안의 사업 누출량 ( $tCO_2\text{-eq}$ )

### 2.3 기존 사업 대비 효과 비교

이산화탄소 흡수량과 그에 수반하는 경제적인 수익 측면에서 현재 현장에서 추진 중인 기존 사업들과 불량임분 갱신 사업을 비교하였다. 비교된 사업은 배출권거래제 산림부문 외부사업 중 하나인 ‘수종갱신’ 사업과 산림청이 운영 중인 산림탄소상쇄제도에 가장 많이 등록된 ‘벌기령 연장’ 사업이다. 벌기령 연장 사업은 2019년 12월 기준 전체 251건의 사업 중 117건을 차지한다 (Han *et al.*, 2020).

본 연구는 각 사업별로 다음과 같은 시나리오를 설정하였다. 먼저 수종갱신 사업은 정상적으로 성장한 소나무 40년생 임분을 벌채하고 낙엽송으로 갱신 후 30년 간 육림하는 것을 가정하였다. 이러한 가정은 일반적인 수종갱신 사업과 불량임분 갱신사업 간의 이산화탄소 흡수량과 그에 따른 경제적 수익을 비교하기 위함이다. 벌기령 연장 사업은 생장이 불량한 소나무 40년생 임분을 70년생까지 30년 간 유지하는 것을 가정하였다. 이는 불량임분을 벌채하지 않고 그대로 방치할 경우 갱신을 통해 새로운 숲을 조성하는 것에 비해 이산화탄소 흡수와 경제성 측면에서 어떠한 차이가 나는지를 알아보기 위함이다.

불량임분 갱신사업의 경제성 분석 시 적극적인 경영활동을 위해 필요한 추가적인 산림사업 비용은 고려하지 않았다. 이는 현재 산림탄소배출권 사업에서 숲가꾸기와 같은 사업이 임업보조금으로 실행되고 있어 산주로서는 추가 비용이 발생하지 않기 때문이다.

## 3. 연구결과

### 3.1 수종갱신 사업과 불량임분 갱신사업의 효과 비교

정상적으로 성장한 소나무 임분 1 ha를 낙엽송으로 수종갱신할 경우 사업기간 30년 동안 인정받을 수 있는 이산화탄소 흡수량은 95톤으로 나타났다. 반면 생장이 불량한 소나무림을 갱신할 경우 동일한 사업으로 1.3배에 달하는 125톤의 이산화탄소를 인정받을 수 있다 (Table 2). 이러한 사업 흡수량의 차이는 탄소배출권 판매 수익과 직결된다. 사례로 분석된 불량임분 갱신사업은 일반 수종갱신 사업에 비해 약 20%에 달하는 추가적인 배출권 판매 수익을 발생시키는 것으로 나타났다.

갱신사업에 따른 흡수량의 차이가 숲이 실제 흡수하는 이산화탄소량의 차이는 아니다. 두 사업 모두 동일 수종(낙엽송)으로 갱신되므로 사업기간 동안 흡수하는 이산화탄소량은 동일하다. 하지만 불량임분 갱신사업은 생장이 불량한 임분을 갱신하는 사업이므로, 인정받을 수 있는 추가적인 흡수량이 일반적인 수종갱신 보다 많은 것이다. 따라서 같은 수종갱신 사업을 하더라도 불량임분을 대상으로 하는 사업은 탄소배출권 확보 측면에서 유리하다.

단, 목재생산에 따른 수익은 일반적인 수종갱신 사업이 더 큰 것으로 나타났다 (Table 2). 정상적으로 성장한 임분을 갱신할 경우 얻을 수 있는 목재의 양이 더 많기 때문이다.

### 3.2 벌기령 연장사업과 불량임분 갱신사업의 효과 비교

만약 생장이 불량한 소나무 임분을 갱신하지 않고 벌채 시기를 30년 더 연장할 경우 1 ha 임분이 흡수하는 이산화탄소량은 28톤으로 나타났다. 이는 같은 임분을 낙엽송으로 갱신할 경우 얻을 수 있는 이산화탄소 흡수량 125톤의 22%에 해당한다 (Table 3).

목재생산 수익 역시 벌기령을 연장하는 것에 비해 갱신사업이 더 높은 것으로 나타났다. 불량임분의 벌채 시기를 뒤로 미루게 되면 목재생산의 기회가 줄어들고 재적 생장이 저조하기 때문이다. 따라서 불량임분은 벌기령 연장과 같이 소극적으로 관리하기보다 적극적으로 갱신사업을 추진하는 것이

Table 2. Comparison on CO<sub>2</sub> Absorption and Timber Production of Species Conversion between Normally Stocked and Poorly Stocked Stand (1ha)

Classification		Species Conversion in NSS* (A)	Species Conversion in PSS** (B)	Ratio (B/A)
CO <sub>2</sub> Absorption (tCO <sub>2</sub> )	Biomass (Above and Belowground)	95	125	1.3
	Total	95	125	1.3
Timber Production (m <sup>3</sup> )	<i>P. densiflora</i>	87	61	0.7
	<i>L. kaempferi</i>	137	137	1.0
	Total	224	198	0.9
Profit (1,000 won)	Carbon Credit	1,603	1,874	1.2
	Timber	3,981	3,258	0.8
	Total	5,584	5,132	0.9

\*Normally Stocked Stand; \*\*Poorly Stocked Stand

Table 3. Comparison on CO<sub>2</sub> Absorption and Timber Production between Extension of Rotation Age and Species Conversion in Poorly Stocked Stand (1ha)

Classification		Extension of Rotation Age (A)	Species Conversion in PSS* (B)	Ratio (B/A)
CO <sub>2</sub> Absorption (tCO <sub>2</sub> )	Biomass (Above and Belowground)	28	125	4.5
	Total	28	125	4.5
Timber Production (m <sup>3</sup> )	<i>P. densiflora</i>	61	61	1.0
	<i>L. kaempferi</i>	-	137	-
	Total	61	198	3.2
Profit (1,000 won)	Carbon Credit	556	1,874	3.4
	Timber	906	3,258	3.6
	Total	1,462	5,132	3.5

\*Poorly Stocked Stand

바람직하다. 본 연구사례의 경우 불량임분 갱신사업은 벌기령 연장에 비해 탄소배출권 판매 수익을 3.4배, 목재판매 수익을 3.6배 높이는 것으로 나타났다 (Table 3).

#### 4. 결론 및 제언

적절한 시업관리가 되지 않아 생장이 불량한 채로 방치된 임분은 목재의 가치 증진뿐만 아니라 산림의 이산화탄소 흡수 측면에서 적극적인 갱신이 필요하다. 본 연구를 통해 불량임분의 갱신 효과를 이산화탄소 흡수량으로 모의한 결과, 재적 생장이 저조한 임분의 갱신 사업은 탄소흡수 잠재력이 큰 것으로 나타났다. 특히 불량임분 갱신사업은 배출권거래제 산림부문 외부사업으로 등록된 ‘수종갱신’ 사업이나 산림탄

소상쇄제도에서 활용되는 ‘벌기령 연장’ 사업에 비해 더 많은 흡수량을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

불량임분의 갱신사업은 산림부문 탄소배출권사업의 경제성을 증진시키는 효과가 있다. 임목의 불량한 재적 성장에 초점을 맞춘 갱신사업은 사업을 통한 추가적인 흡수량을 늘려 탄소배출권 판매를 증가시킨다. 또한 목재자원의 양과 질을 높여 목재생산 수익도 증가시킬 수 있다. 이처럼 높아진 수익은 민간부문의 사업 참여를 유도하여 사유림 경영을 활성화에 기여할 수 있다. 단, 사업 실행 시 시업이나 행정적 처리 등에 소모되는 비용을 면밀히 검토해야 한다. 증가하는 수익 대비 투입되는 비용의 상대적인 크기가 작지 않다면, 규모화된 사업의 추진을 통해 단위면적 당 비용을 줄여 경제성을 높이는 것이 필요하다 (Han et al., 2019b).

우리나라에서 이루어지고 있는 불량임분의 수종갱신 면적은 연간 7~10천 ha에 달한다 (KFS, 2019). 이는 우리나라 전체 임목벌채 허가면적 중 약 2~7%에 불과하다. 따라서 생장이 불량한 임분의 갱신사업을 정책적으로 확대하여 산림의 건강성을 유지하고 산림의 탄소흡수량을 높일 필요가 있다. 그러나 이를 위해서는 몇 가지 선결해야할 과제가 있다.

먼저 수종갱신 대상지 선정 시 임목과 임분의 ‘생장 상태’를 고려할 수 있는 판정기준이 개발되어야 한다. 현재 우리나라는 수종갱신 사업 대상지를 나무의 굵음 등을 고려한 수형급을 기준으로 결정한다 (NIFoS, 2016). 하지만 이러한 외형적 형질에 근거한 대상지 선정 기준은 나무의 양적 성장을 충분히 반영하고 있지 않다. 형질이 불량하여 목재가치가 떨어지는 숲의 갱신도 중요하지만, 이제는 생장이 불량하여 탄소흡수원으로서의 가치가 떨어지는 숲의 갱신사업도 국가적인 산림탄소 관리 측면에서 중요하다. 따라서 불량임분의 생장 상태 변화 등에 대한 조사를 기반으로 불량임분의 판정과 불량임분의 공간적 분포, 갱신사업이 필요한 면적 파악 등과 같은 후속연구가 필요하다.

또한 산주나 기업 등 민간부문이 참여할 수 있는 사업모델을 제도적으로 마련할 필요가 있다. 산주나 기업과 같은 사업자 입장에서도 불량임분 갱신사업은 더 많은 경제적 수익을 얻을 수 있는 기회가 될 것이다. 이미 운영 중인 국내 배출권 거래제 외부사업에 ‘불량임분 갱신사업’을 추가로 등록하여 민간부문이 활용할 수 있게 하거나, 산림청의 정책감축 사업으로 추진하는 것을 고려해볼 수 있다. 이를 위한 구체적인 사업 방법론의 개발도 필요하다.

## REFERENCES

- Government Ministries of Korea. 2018. Updated Basic Roadmap for Achieving the 2030 Mitigation Target of Korea's National Determined Contribution. Sejong (in Korean)
- GHG Inventory and Research Center (GIR). 2014. National GHG emission/removal factors in 2014. GIR Official Announcement. Seoul (in Korean)
- Han H, Bae JS, Kim YH. 2019a. Analyzing the Effects of Forest Management Projects on CO<sub>2</sub> Absorption through Species Conversion in Poorly Stocked Stands. Seoul, Korea : National Institute of Forest Science. NIFoS Forest Policy Issue No.127. (in Korean)
- Han H, Bae JS, Kim YH, You DH 2019b. Trend and Outlook of the Forest Carbon Market. In: Kim K (ed). 2019 Forest-Forestry Outlook, Seoul: National Institute of Forest Science. p.359-381. (in Korean)
- Han H, Bae JS, Kim YH, Shin JH. 2020. Trend and Outlook of the Forest Carbon Market. In: Kim K (ed). 2020 Forest-Forestry Outlook, Seoul: National Institute of Forest Science. p.339-356. (in Korean)
- Kim D, Son W, Hwang IC. 2016. The implications of co-benefits for forest carbon offsetting in Korea. J Env Pol Admin 24: 1-23. (in Korean with English abstract)
- Kim YH, Yoo DH, Han H, Bae JS. 2019. Study on environmental benefits and losses of a solar photovoltaic power generation project on forestland. J Clim Change Res 10: 317-324. (in Korean with English abstract)
- Korea Exchange (KRX). 2020. Market data for Korea Offset Credit (KOC); [accessed 2020 April 3]. <http://krx.co.kr>
- Korea Forest Service (KFS). 2019. 2019 Statistical Yearbook of Forestry. (in Korean)
- Min KT, Seok HD, Choi JY. 2017. Policy Tasks to Improve the Profitability of Forest Management in Korea. Naju, Korea: Korea Rural Economic Institute. Research Report R817. (in Korean with English abstract)
- National Institute of Forest Science (NIFoS). 2016. A Handbook for Determining Species Conversion on Poor-growth Forest Stands. Seoul (in Korean)
- National Institute of Forest Science (NIFoS). 2016. Yield Tables for Actual Forest Stands. Seoul (in Korean)
- Offset Registry System. 2020. A Methodology for Forest Management Project through Species Conversion; [accessed 2020 April 3]. <http://ors.gir.go.kr> (in Korean)