Journal of Climate Change Research 2019, Vol. 10, No. 4, pp. 317~324
DOI: https://doi.org/10.15531/KSCCR.2019.10.4.317

ORCID 김영환 0000-0001-6820-2723

산지 태양광 발전 사업의 환경적 편익 및 손실에 대한 연구

김영환*† · 유동훈** · 한희* · 배재수***

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

Study on Environmental Benefits and Losse s of a Solar Photovoltaic Power Generation Project on Forestland

Kim, Young hwan*† · Yoo, Dong hoon · Han, Hee* and Bae, Jae soo*****

*Research Scientist, Forest Industry Division, National Institute of Forest Science
**Postmaster Researcher, Forest Industry Division, National Institute of Forest Science
***Director, Forest Industry Division, National Institute of Forest Science

ABSTRACT

Solar photovoltaic power generation is considered an outstanding low-carbon energy project to reduce greenhouse gas and fine dust emitted from use of fossil fuels. However, there is a growing concern about projects implemented on forestland that inevitably requires massive clear-cutting of trees. This study intended to analyze environmental benefits and losses of a solar photovoltaic power generation project implemented on forestland. For this purpose, it was assumed that the project was implemented on 1 hectare of forestland for 20 years of use. Environmental benefits such as greenhouse gas emission reduction and fine dust removal were estimated for the project, as were environment benefits such as water preservation, protection from landslides, carbon sink behavior, fine dust removal, and biodiversity preservation expected from 1 hectare of forestland in the absence of the project. The energy generated from the project was estimated to be 16,343MW, valued at 1,196 million Won (equivalent to US$1,086,000). In addition, 7,180 tons of CO_2 emission and 0.52 tons of fine dust could be removed, and these environmental benefits were valued at 241 million Won (equivalent to US$219,000). Meanwhile, environmental benefits of the retained forestland were valued at 645 million Won (equivalent to US$586,000). According to these results, forestland is not a good option as a project site for solar photovoltaic power generation due to the huge environment losses. It is recommended to consider not only economic value, but also environmental values when designing a solar photovoltaic power generation project on forestland.

Key words: *Solar Photovoltaic, Greenhouse Gas, Fine Dust, Environmental Values*

1. 연구배경

재생에너지 (renewable energy)는 햇빛, 물, 지열, 강수, 바이오매스 등 재생 가능한 자원을 에너지원으로 사용하는 것으로, 화석연료의 사용에 따른 환경오염과 기후변화를 줄일 수 있는 수단으로 각광받고 있다. IEA (2017)의 '에너지기술 전망 보고서 2017'에 따르면, 2014년 기준으로 석탄화석은 전 세계 발전량의 40%를 차지하고 있으나, 재생에너지 관련 기술의 발전에 따라 향후 2060년까지 탈탄소화가 이루어져 재생에너지 발전비율이 72%에 달할 것으로 전망되고 있다. 특히 태양광 발전은 발전부문 온실가스 감축 기여도가 20%로 재생에너지 가운데 가장 기여도가 높은 감축기술로 평가받고 있다 (KEA, 2018).

우리나라의 재생에너지 발전 비율은 2016년 기준으로 전체 전력공급량의 7%에 불과하여 독일 (29.3%), 일본 (15.9%), 미국 (14.9%) 등 선진국에 비해 매우 낮은 수준이다 (MTIE, 2017a). 2017년 산업통상자원부에서는 국내 재생에너지 공급 비율을 2030년까지 20%로 늘리는 내용의 「재생에

† **Corresponding author:** kyhpeniel@korea.kr, 02455, 57, Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, Republic of Korea, 82-2-961-2821
Received September 19, 2019 / Revised October 3, 2019 / Accepted October 15, 2019

너지 3020 이행계획」(MTIE, 2017a)을 발표하여 향후 정책적 노력이 이어질 것으로 기대된다. 태양광 발전은 풍력과 함께 정부에서 중점적으로 추진하는 재생에너지 사업이다. 2017년 기준으로 태양광은 5.7 GW의 전력을 생산하여 재생에너지 전체 발전량의 38%를 차지하고 있다. 정부에서는 태양광 발전 공급량을 2030년까지 36.5 GW, 전체 공급량의 57%까지 늘리는 것을 목표로 하고 있다 (MTIE, 2017b).

그동안 태양광 발전은 면적집약적인 사업특성상 주로 토지 비용이 상대적으로 낮은 농지 또는 임야를 대상으로 시행되었다. 따라서 벌채로 인한 산림생태계의 파괴와 경관 훼손 등의 부정적 영향을 우려하는 목소리가 높다 (Park et. al., 2017). 산림청 (KFS, 2018)에 따르면 최근 6년간 산지 내 태양광 발전사업 허가 건수와 사업면적은 2013년 121건, 44 ha에서 2018년 9월말 기준 3,991건, 1,742 ha로 급격히 증가하였다. 이와 같은 산지 태양광 발전 사업의 급증으로 사업대상지에 있는 수십 년 된 나무들이 벌채되면서 산사태나 토사유출 등의 2차 피해가 빈번하게 발생되고 있다. 그럼에도 불구하고 많은 산림 소유자들이 산지전용에 따른 지가 상승, 안정적인 소득 창출 등을 목적으로 계속해서 사업허가를 신청하고 있다.

산림청은 2018년 12월부터 산지 태양광 발전 사업에 대해서 산지이용에 따른 '대체산림자원조성비'를 부과하고 사업대상지 허가기준도 평균경사도 '25도 이하'에서 '15도 이하'로 강화하였다. 또한 태양광 발전 사업을 산지전용이 아닌 '산지 일시사용허가' 대상으로 전환하여 20년 후에는 원래 산림으로 복구하도록 법령을 개정하였다. 하지만 정부의 재생에너지 확대 정책으로 인해 앞으로도 많은 면적의 산지가 태양광 발전에 이용될 것으로 예상되는 상황에서 사업자들이 좀 더 신중하게 사업대상지를 선정할 수 있도록 산지 태양광 발전에 따른 환경적 영향에 대한 객관적인 자료를 제공할 필요가 있다.

본 연구에서는 산지 태양광 발전 사업에 따른 전력공급량과 함께 온실가스 감축과 미세먼지 저감 효과 등의 환경적 편익을 분석하였다. 또한 사업에 따른 환경적 손실, 즉 사업을 추진하지 않았을 경우 산림으로부터 기대할 수 있는 이산화탄소 흡수, 미세먼지 저감, 수원함양, 토사유출 방지, 산림휴양, 생물다양성 보전 등의 공익적 가치를 분석하여 비교하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 향후 산지 태양광 발전 사업의 합리적 추진을 위한 정책 방향을 제언하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 산지 태양광 발전 사업에 대한 기본 가정 및 분석 시나리오

본 연구에서는 1 ha 산지를 대상으로 태양광 발전 사업을 추진하는 것으로 가정하였다. 사업대상지는 우리나라에서 가장 넓은 분포를 보이고 있는 중부지방소나무 4영급 (35년생 가정) 임분으로 가정하였다. 산림청 (KFS, 2018)에 따르면 2013년부터 2018년 9월까지 산지 내 태양광 사업 추진을 위해 허가된 평균 산지 면적은 건당 약 0.5 ha인 것으로 나타났으나, 분석이 용이하도록 1 ha를 기준으로 하였다. 사업기간은 현행 태양광 발전사업의 최대 사업기간인 20년으로 설정하였다.

일반적으로 1 MW의 태양광 발전시설을 설치하는 데에는 1 ha의 토지가 필요하나, 최근 연구결과 (Park, 2018)에 따르면 산지의 경우 토지이용 효율이 낮아 약 1.6 ha의 면적이 필요한 것으로 분석되었다. 이를 1 ha 당으로 환산하면 약 625 kW의 태양광 발전시설을 설치하는 것으로 가정할 수 있다.

위 가정에 따른 산지 태양광 발전 사업의 효과는 전력생산이라는 직접적 편익과 온실가스 감축 및 미세먼지 저감의 환경적 편익으로 구분하여 분석하였다. 또한 사업에 따른 환경적 손실을 평가하기 위해서 사업을 시행하지 않았을 경우 산림으로부터 기대되는 공익가치를 평가하였다 (Table 1). 산림의 공익가치는 이산화탄소 흡수, 미세먼지 저감을 포함한 12가지 주요 기능에 대한 가치를 고려하였다 (Table 4).

산지 태양광 발전 사업의 환경적 편익과 손실을 경제적 가

Table 1. Scenarios for Solar Photovoltaic Power Generation Project

Scenario / Classification	Solar Photovoltaic Power Generation Project on Forestland (1ha)	Remaining Forestland (1ha) (without Project)
Direct Benefit	Energy Generation	-
Environmental Benefit	Greenhouse Gas Emission Reduction & Find Dust Removal	12 Forest Ecosystem Services*

*12 ecosystem services listed in the Table 4

치로 평가하기 위해서 다음과 같은 경제적 지표를 적용하였다. 우선 온실가스 감축효과를 분석하기 위한 탄소배출권 가격은 2018년 국내 배출권시장 KOC 평균 거래가격인 24,000원/tCO_2 (Korea Exchange, 2019)을 적용하였고, 미세먼지 저감효과의 분석에는 미세먼지 배출에 따른 사회적 비용 2.77억 원/톤 (KEI, 2015)을 적용하였다. 또한 환경적 편익과 손실의 경제적 가치를 현재가로 환산하기 위해서 이자율 3%를 적용하였다.

2.2 산지 태양광 발전 사업의 전력생산 효과 및 환경적 편익 분석

2.2.1 산지 태양광 발전 사업의 전력생산 효과 분석

산지 태양광 발전 사업의 전력생산 효과를 분석하기 위해서, 본 연구에서는 아래 수식1과 같이 환경부의 '공공부문 온실가스에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침' (이하 목표관리 지침) (ME, 2016)에 제시된 연간 태양광 에너지 발전량 산정식을 이용하였다.

$$\text{연간 태양광 에너지 발전량 (kWh)} = C \times n \times h \quad (1)$$

여기서, C : 발전용량 (kW), n : 전력 이용률 (%), h : 연간 가동시간

위 수식에서 발전용량은 앞서 가정과 같이 1 ha의 산지면적으로 환산된 발전용량 625 kW를 적용하였고, 태양광 발전의 전력이용률과 연간 가동시간은 목표관리 지침에 제시된 계수 값을 적용하였다 (Table 2). 또한 사업기간 20년간 태양광 설비의 노후에 따라 발전효율이 연 평균 0.4%씩 저하하는 것으로 할인율을 적용하였으며 (Jordan and Kurts, 2012), 전력생산에 따른 수익은 2018년 단위전력 당 평균 시장가격인 95원 / kW을 SMP (계통한계가격)로 적용하였다. 전력생산을 위한 제반 비용은 고려하지 않았다.

2.2.2 산지 태양광 발전 사업의 온실가스 감축 효과 분석

산지 태양광 발전 사업에 따른 온실가스 감축효과를 분석하기 위해서, 아래 수식2와 같이 환경부의 목표관리 지침 (ME, 2016)에 제시된 이산화탄소 감축량 산정식을 토대로 하였으며, 산림벌채에 따른 배출량을 제외하도록 수식을 수정하였다. 아래 수식 2에서 연간 태양광 에너지 발전량은 수식 1에서 산정된 결과를 적용하고, 조정전력배출계수는 목표관리 지침의 계수 값을 적용하였다. 또한 산림벌채에 따른 배출량은 앞서 가정과 같이 중부지방소나무 35년생 임분에서 벌채를 통해 저장되어 있는 탄소가 모두 배출되는 것으로 가정하여 배출량을 산정하였다 (수식 3).

$$\text{연간 이산화탄소 감축량 (tCO_2-eq)} = E \times EF_{CO_2_eq} / 1{,}000 - FC \quad (2)$$

여기서, E : 연간 태양광 에너지 발전량 (kWh),
$EF_{CO_2_eq}$: 조정전력배출계수 (tCO_2-eq/MWh)
FC : 산림벌채에 따른 배출량 (tCO_2-eq)

$$\text{산림벌채에 따른 배출량 (tCO_2-eq)} = CV \times WD \times BEF \times (1+R) \times CF \times 44/12 \quad (3)$$

여기서, CV : 중부지방소나무 35년생의 임분재적 (m^3),
WD : 목재기본밀도 (tdm/m^3), BEF : 바이오매스확장계수,
R : 뿌리함량비, CF : 탄소전환계수 (tC/tdm)

위의 수식 3과 같이 산림의 탄소저장량과 흡수량을 산정하기 위해서는 목재기본밀도, 바이오매스 확장계수, 뿌리함량비, 탄소전환계수 등 산림분야 탄소배출 (흡수)계수를 이용해야 하는데, 본 연구에서는 온실가스종합정보센터 (GIR, 2014)에 등록된 국가고유 계수 값을 적용하였다 (Table 3).

Table 2. Parameters for Estimating Energy Production and CO_2 Emission Reduction of Solar Photovoltaic Power Generation

Parameter	Energy Use Rate of Solar Photovoltaic (%)	Annual Operating Hour (hour)	CO_2 Emission Factors for Power Generation (tCO_2-eq/MWh)
Value	15.5	8,760	0.46625

(Source : Ministry of Environment, 2016)

2.2.3 산지 태양광 발전 사업의 미세먼저 저감 효과 분석

산지 태양광 발전 사업에 따른 미세먼지 저감효과는 아래 수식 4과 같이 석탄화력발전 대체에 따른 연간 초미세먼지 저감량을 산정하였다. 아래 수식에서 연간 태양광 에너지 발전량은 수식1에서 산정된 결과를 적용하였고, 석탄화력발전 1MW 당 초미세먼지 배출계수는 환경부 (ME, 2017)에서 제시한 계수 값 0.032 kg을 적용하였다.

$$\text{연간 미세먼지 저감량 (톤)} = E \times PM_{coal} / 1{,}000 \quad (4)$$

여기서, E : 연간 태양광 에너지 발전량 (kW)
PM_{coal} : 석탄화력발전 1 MW 당 초미세먼지배출계수 (kg/MW)

2.3 산지 태양광 발전 사업에 따른 산림 공익가치 손실액 분석

산지 태양광 발전 사업에 따른 산림의 공익가치 손실액을 분석하기 위해서, 본 연구에서는 사업이 시행되지 않을 경우 기존 산림으로부터 기대할 수 있는 공익가치를 산정하였다. 국립산림과학원 (NIFOS, 2016a)은 산림의 공익기능을 수원함양, 토사유출 방지, 이산화탄소 흡수, 미세먼지 저감, 산림휴양, 생물다양성 보전 등 12가지로 구분하고, 각각의 기능에 대한 평가액을 제시한 바 있다 (Table 4).

본 연구에서는 국립산림과학원에서 제시한 12개 주요 기능 가운데 이산화탄소 흡수 및 미세먼지 저감을 제외한 10개 기능에 대한 평가액을 적용하고, 이산화탄소 흡수 및 미세먼지 저감 효과에 대해서는 별도로 분석을 실시하였다. 즉 앞서 가정한 바와 같이 중부지방소나무 35년생 임분 1 ha를 대상으로 태양광 발전 사업을 시행하지 않을 경우 향후 20년간 예상되는 이산화탄소 흡수 및 미세먼지 저감 효과와 가치를 평가하였다.

2.3.1 산림의 이산화탄소 흡수 효과 분석

태양광 사업이 시행되지 않을 경우 사업대상지의 산림으로부터 예상되는 이산화탄소 흡수 효과를 분석하기 위해서, 기존 산림의 탄소저장량 및 사업기간동안의 추가적인 흡수량을 산정하였다. 기존 산림의 탄소저장량은 수식 5와 같이 중부지방소나무 35년생 임분의 산림바이오매스, 낙엽층 및 산림토양에 저장된 탄소량의 합계를 구하였다. 산림바이오매스의 탄소저장량은 수식 6과 같이 중부지방소나무 35년생 임분 재적에 국가고유 탄소배출 (흡수)계수 (Table 3)를 적용하여 산정하였다. 낙엽층과 토양층의 탄소저장량 역시 국가고유계수인 중부지방소나무의 단위면적당 탄소저장량 값 (Table 3)을 각각 적용하였다.

$$\text{기존 산림의 탄소저장량 } (tCO_{2\text{-eq}}) = BM + DM + SC \quad (5)$$

여기서, BM : 산림바이오매스 탄소저장량; DM : 낙엽층 탄소저장량; SC : 토양층 탄소저장량

$$\text{산림바이오매스 탄소저장량 } (tCO_{2\text{-eq}}) = SV \times WD \times BEF \times (1+R) \times CF \times 44/12 \quad (6)$$

여기서, SV : 중부지방소나무 35년생의 임분재적 (m^3), WD : 목재기본밀도 (tdm/m^3), BEF : 바이오매스확장계수, R : 뿌리함량비, CF : 탄소전환계수 (tC/tdm)

또한 사업기간 동안의 추가적인 이산화탄소 흡수량은 수식 7과 같이 중부지방소나무 35년생 임분의 향후 20년간 순임목생장량을 구하고 여기에 산림분야 탄소배출 (흡수)계수를 적용하여 산정하였다 (NIFOS, 2016b). 순임목생장량은 국립산림과학원의 '임목재적 · 바이오매스 및 임분수확표' (NIFOS, 2018a)에 제시된 중부지방소나무 4영급 (35년생)과 6영급 (55년생) 임분의 재적값 차이를 구하여 적용하였다. 지위지수는 '중'에 해당하는 12를 적용하였다 (Table 5).

Table 3. National Verified Carbon Emission Factors for Forest Sector

Species	Forest Biomass				Carbon Storage in Litter (tC/ha)	Carbon Storage in Soil (tC/ha)
	Wood Density (tdm/m^3)	Biomass Extension Factor	Root Ratio	Carbon Conversion Factor (tC/tdm)		
Pinus densiflora (Central Region)	0.472	1.413	0.254	0.5	11.85	37.83

(Source : GHG Inventory and Research Center, 2013, 2015)

Table 4. Assessment Values for Forest Ecosystem Services in Korea for the year 2014

Ecosystem Services	Assessment Values (Million Won/year)	Values per 1hectare (Thousand Won/year)	Share (%)
Water Resource Preserve	16,621	2,621	13.2
Water Purification	9,899	1,561	7.9
Preventing Soil Erosion	18,095	2,853	14.4
Preventing Land Slide	7,922	1,249	6.3
Carbon Sequestration	4,934	778	3.9
Oxygen Supply	13,562	2,138	10.8
Air Pollutant Removal	6,077	958	4.8
Reducing Urban Heat Island	1,096	173	0.9
Forest Recreation	17,743	2,798	14.1
Forest Healing	2,433	384	1.9
Conserving Biodiversity	11,086	1,748	8.8
Landscape Preserve	16,318	2,573	13.0
Total	125,786	19,833	100.0

(Source : National Institute of Forest Science, 2016a)

Table 5. Stand Volume of Age Class4 and 6 for *Pinus densiflora* in Central Region in Korea.

Species	Site Index	Stand volume (m^3/ha)	
		Age Class4 (35yrs.)	Age Class6 (55yrs.)
Pinus densiflora (Central Region)	12	169.8	217.4

(Source : National Institute of Forest Science, 2018a)

사업기간 동안의 CO_2 흡수량 ($tCO_{2\text{-}eq}$) =

$$\triangle V \times WD \times BEF \times (1+R) \times CF \times 44/12 \quad (7)$$

여기서, ΔV : 사업기간동안의 순임목생장량 (m^3),
WD : 목재기본밀도 (tdm/m^3),
BEF : 바이오매스확장계수, R : 뿌리함량비,
CF : 탄소전환계수 (tC/tdm)

2.3.2 산림의 초미세먼지 저감 효과 분석

태양광 사업이 시행되지 않을 경우 사업대상지의 산림으로부터 예상되는 초미세먼지 저감 효과를 산정하기 위해서, 국립산림과학원과 통계청의 최근 발표자료를 참고하여 사업기간 동안 산림 1 ha의 초미세먼지 저감 효과를 분석하였다.

국립산림과학원의 발표 (NIFOS, 2018b)에 따르면 1 ha의 산림은 연간 168 kg의 미세먼지를 흡수하는 것으로 조사되었으며, 통계청 자료 (KOSTAT, 2014)에 따르면 전체 미세먼지 가운데 초미세먼지의 구성 비율은 50% 정도 되는 것으로 보고되었다. 따라서 본 연구에서는 산림 1 ha에서 연간 84 kg의 초미세먼지를 흡수하는 것으로 가정하여 그 가치를 평가하였다.

3. 연구결과

3.1 산지 태양광 발전의 전력생산 효과 및 환경적 편익 분석 결과

연구결과 산지 1 ha에 설치된 625 kW 용량의 태양광 발전시설로부터 20년간 약 16,343 MW의 전력생산이 가능한 것으로 분석되었다. 여기에 SMP (계통한계가격) 95원 / kw을 적용하여 전력생산에 따른 경제적 가치를 분석한 결과 약 1,194백만 원의 가치가 있는 것으로 나타났다 (Table 6).

위 결과를 토대로 사업에 따른 온실가스 감축과 미세먼지 저감 등 환경적 편익을 분석한 결과, 20년간 약 7,180톤의 이

Table 6. Benefits and Values of a Solar Photovoltaic Power Generation Project on Forest land

Classification		Benefits	Values*
Energy Generation from the Project (A)		16,343 MW/ha	1,194M Won/ha
GHG Mitigation	Effect of Energy Transfer (a)	7,620 $tCO_{2\text{-}eq}$/ha	-
	Emission from Deforestation (b)	440 $tCO_{2\text{-}eq}$/ha	-
	Sub Total (B=a-b)	7,180 $tCO_{2\text{-}eq}$/ha	130M Won/ha
Removal of Fine Dust (C)		0.52 ton/ha	111M Won/ha
Environmental Benefits (D=B+C)		-	**241M Won/ha**
Overall Benefits (E=A+D)		-	**1,435M Won/ha**

*NPV (Net Present Values) based upon 3% discount rate per year

Table 7. Benefits and Values of Forest Ecosystem Services without the Solar Photovoltaic Power Generation Project on Forest land

Classification		Benefits	Values*
GHG Mitigation	Existing Carbon Storage (a)	440 $tCO_{2\text{-}eq}$/ha	-
	Additional Carbon Removals (b)	72 $tCO_{2\text{-}eq}$/ha	-
	Sub Total (A=a+b)	512 $tCO_{2\text{-}eq}$/ha	12M Won/ha
Removal of Fine Dust (B)		1.7 ton/ha	357M Won/ha
Other 10 Ecosystem Services (C)			277M Won/ha
Environmental Benefits (D=A+B+C)		-	**646M Won/ha**

*NPV (Net Present Values) based upon 3% discount rate per year

산화탄소를 감축하고 0.52톤의 초미세먼지를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 이를 경제적인 가치로 환산하면 약 130백만 원과 111백만 원으로 각각 평가되었다. 따라서 산지 태양광 발전 사업을 통해 총 241백만 원의 환경적 편익을 얻을 수 있었으며, 전력생산에 따른 효과를 포함하여 총 1,435백만 원의 편익을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다 (Table 6).

3.2 산지 태양광 발전에 따른 산림 공익가치 손실액 분석 결과

산지 태양광 발전 사업을 시행하지 않고 사업대상지의 산림을 그대로 존치할 경우 예상되는 산림의 공익가치를 분석한 결과, 우선 이산화탄소 흡수효과는 기존 산림의 저장량 440톤과 사업기간 동안의 추가적인 흡수량 72톤을 포함하여 총 512톤의 이산화탄소 흡수 효과가 있는 것으로 분석되었으며, 초미세먼지 저감량은 1.7톤으로 분석되었다. 이를 경제적인 가치로 환산하면 약 12백만 원과 357백만 원으로 각각 분석되었다. 또한 기타 수원함양, 토사유출방지, 산림휴양, 산림다양성 보전 등 기타 10가지 산림 공익기능에 대한 가치는 약 277백만 원으로 분석되어, 전체적으로 산지 태양광 발전 사업으로 인해 총 646백만 원의 산림 공익가치가 손실되는 것으로 나타났다 (Table 7). 특히 최근 사회문제가 되고 있는 미세먼지 저감효과에 있어서 사업을 추진하지 않고 산림을 유지하는 것이 3배 이상 효과가 더 큰 것으로 나타났다.

3.3 산지 태양광 발전에 따른 환경적 편익 및 손실 분석결과 비교

산지 태양광 발전 사업에 따라 온실가스 감축효과는 7,177 $tCO_{2\text{-}eq}$, 초미세먼지 저감효과는 0.52톤으로 분석되어, 사업에 따른 전체 환경적 편익은 241백만 원의 가치가 있는 것으로 평가되었다. 반면 사업을 시행하지 않았을 경우 사업대상지 산림으로부터 예상되는 공익가치는 646백만 원으로 평가되어, 환경적 손실을 제외한 순편익이 -405백만 원으로 사업을 시행하지 않는 것이 오히려 환경적으로 더 유리한 것으로 나타났다. 다만 전력 생산에 따른 직접적인 편익을 포함하면 산지 태양광 발전 사업의 순편익은 789백만 원으로 환경적 손실을 상쇄하는 것으로 나타났다 (Table 8). 따라서 태양광

Table 8. Comparison of Benefits and Losses of Solar Photovoltaic Power Generation Project

Classification	Solar Photovoltaic Power Generation Project on Forestland (A)	Remaining Forestland without Project (B)	Difference (A-B)
Direct Benefits (Energy Generation)	1,194M Won	-	1,194M Won
Environmental Benefits	241M Won	646M Won	-405M Won
Overall Benefits	1,435M Won	646M Won	789M Won

발전 사업을 추진하는데 있어서 산지에서의 환경적 손실을 고려하여 사업대상지를 보다 신중하게 선정할 필요가 있는 것으로 나타났다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 산지에서 시행되는 태양광 발전 사업의 환경적 영향에 대한 객관적인 자료를 제공하기 위해서, 1 ha 면적의 산지를 대상으로 태양광 발전 사업을 시행하는 것으로 가정하여 사업에 따른 전력공급량과 온실가스 감축 및 미세먼지 저감 등 환경적 편익을 분석하였다. 또한 사업에 따른 환경적 손실, 즉 태양광 발전 사업을 추진하지 않았을 경우 사업대상지 산림으로부터 기대할 수 있는 이산화탄소 흡수, 미세먼지 저감, 수원함양, 토사유출 방지, 산림휴양, 생물다양성 보전 등의 공익적 가치를 분석하여 비교하였다.

연구결과 1 ha 면적을 기준으로 산지 태양광 발전을 통해 20년간 약 16,343 MW의 전력이 생산되고, 이를 통해 이산화탄소 7.2천 톤, 미세먼지 0.5톤이 저감되는 것으로 분석되었다. 이를 경제적 가치로 환산하면 약 241백만 원의 환경적 편익을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 반면 사업을 추진하지 않을 경우 사업대상지 산림으로 얻을 수 있는 공익가치는 646백만 원으로 평가되어, 사업을 추진하지 않는 것이 오히려 환경적 편익이 더 큰 것으로 나타났다. 특히 최근 사회적 문제가 되고 있는 초미세먼지 저감에 있어서 산림을 유지하는 것이 3배 이상 더 효과가 있는 것으로 나타났다.

전력 생산을 통한 직접적인 편익을 포함하면 이러한 환경적 손실이 다소 상쇄되지만, 본 연구에서 사업추진에 필요한 제반 비용을 포함하지 않은 점을 고려하면 사업에 따른 순 편익은 더욱 낮아질 것이다. 따라서 환경적 편익과 손실을 고려하여 산지에서의 태양광 발전 사업은 보다 신중히 검토할 필요가 있다.

정부의 에너지 정책에 따라 태양광 발전을 지속적으로 확대하기 위해서는 앞으로도 약 4.9만 ha 이상의 사업대상지를 확보해야 한다. 따라서 산지 태양광 발전에 따른 부정적 영향을 최소화하기 위해서는 '산지일시사용 허가' 시 대상지의 환경적 영향 평가를 위한 추가적인 기준 (예. 산사태위험등급 등)을 마련하는 등 사업대상지에 대한 허가 요건을 강화할 필요가 있으며, 산지 이외의 사업대상지를 확보할 수 있도록 보다 적극적인 정책적 노력이 뒤따라야 할 것이다.

REFERENCES

GHG Inventory and Research Center (GIR). 2013. National GHG emission/removal factors approved in 2013. GIR Official Announcement. (in Korean)

GHG Inventory and Research Center (GIR). 2015. National GHG emission/ removal factors approved in 2015. GIR Official Announcement. (in Korean)

International Energy Agency (IEA). 2017. Energy Technology Perspective 2017.

Jordan, D.C., Kurtz, S.R. 2012. Photovoltaic Degradation Rates-An Analytical Review. National Renewable Energy Laboratory, USA.

Korea Energy Agency (KEA). 2018. New & Renewable Energy White Paper 2018. p.824. (in Korean)

Korea Environment Institute (KEI). 2015. Study on the Reassessment of Social Costs for Air Pollutant. Project Report. (in Korean)

Korea Exchange. 2019. Market Data for KOC (Korean Offset Credit). Internet : http://marketdata.krx.co.kr/mdi#document=070301

Korea Forest Service (KFS). 2018. Legal Adjustment for the Solar Photovoltaic Power Generation. (in Korean)

Projects on Forestland : Transferring the Land-use Type from 'Permanent Deforestation' to 'Temporary Use'. Official Press Release, Nov. 27th, 2018. (in Korean)

Ministry of Environment (ME). 2016. Guideline for Operation of the GHG and Energy Target Management Program. ME Official Announcement 2016-255. (in Korean)

Ministry of Environment (ME). 2017. Estimation of Air Pollutant Emitted from Current Core-Fired Power Plants and LNG Power Plans. (in Korean)

Ministry of Trade, Industry and Energy (MTIE). 2017a. Action Plan for 2030 Renewable Energy Use. (in Korean)

Ministry of Trade, Industry and Energy (MTIE). 2017b. The 8th Basic Plan for Electricity Supply and Demand (2017-2031). (in Korean)

National Institute of Forest Science (NIFOS). 2016a. Assessment Values of Forest Ecosystem Services in Korea for the year 2014. Official Press Release. (in Korean)

National Institute of Forest Science (NIFOS). 2016b. Strategy for Activating the Forest Carbon Offset Program in Korea. Research Report 16-23. p.105. (in Korean)

National Institute of Forest Science (NIFOS). 2018a. Timber Volume, Biomass and Stand Yield Table. Research Data, vol.769. p.261. (in Korean)

National Institute of Forest Science (NIFOS). 2018b. Forests Enable Citizens to Breath! - Effect of Fine Dust Removal. Official Press Release, Nov. 26th, 2018. (in Korean)

Park, J.Y., Lee, Y.J., Chun, D.J., Lee, M.J., Eun, J. 2017. Development and Operation of Regional Environment Analysis System for Supporting the Environmental Assessment : Case Study on the Terrestrial Wind Power and the Marin Solar Photovoltaic Power. KEI Project Report. p.96. (in Korean)

Park, J.Y. 2018. Status and Implication of Solar Photovoltaic Power Generation Projects in Korea. Proceeding of the Symposium on KEI Research. (in Korean)

Statistics Korea (KOSTAT). 2014. Trends of Korean Society in 2014. p.22. (in Korean)