



**AgEcon** SEARCH  
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

## 태양광 발전사업의 수익성 및 위험성 분석: 한국농어촌공사 사례를 중심으로\* \*\*

김태후\*\*\* 최용호\*\*\*\*

### Keywords

태양광 발전(solar power generation), 시뮬레이션(simulation), 가우지안 코플라(Gaussian Copula), 계통한계가격(Systemic Marginal Price, SMP), 신재생에너지 공급인증서(Renewable Energy Certificates, REC)

### Abstract

The Korean government's energy policy focuses on the spreading of renewable energy. Following this policy, the Korea Rural Community Corporation (KRCC) is promoting the renewable energy generation project with the budget of the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). It has plans to use the revenues from power generation as an agricultural infrastructure maintenance cost. This study discusses the effectiveness of the financial investment of the MAFRA by analyzing the profitability and risk of the solar power generation project pursued by KRCC. In order to analyze the profitability and risk, we set the systemic marginal price (SMP) and the price of the renewable energy certificate (REC) as random variables. Then, we perform the simulation with Gaussian Copula to consider the correlations of each random variable. As a result, the average power generation profit of the project is 1.78 billion Won, which implies a high earning rate of 4.91%, considering the total investment cost. In the Value at Risk analysis for the risk of the project, the profit from VaR(1) is 0.46 billion won, and the profit rate is 1.26%, implying that stable profits are generated despite the weak market conditions for the solar power generation.

### 차례

- |                        |               |
|------------------------|---------------|
| 1. 서론                  | 4. 분석 결과      |
| 2. 분석 방법               | 5. 결론 및 정책 제안 |
| 3. 한국농어촌공사 태양광 발전사업 현황 |               |

\* 본 논문은 한국농촌경제연구원이 발간한 『2018 농림축산식품사업 성과평가』(E18-2018-4) “제10장 농업기반시설활용”의 일부 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다. 심사과정에서 유익한 조언을 주신 심사자분들께 깊은 감사를 드립니다.

\*\* 본 논문의 분석에서 활용한 모든 자료는 학술적인 목적으로 요청할 경우 언제든지 제공할 것임을 밝힙니다.

\*\*\* 한국농촌경제연구원 부연구위원

\*\*\*\* 한국농촌경제연구원 부연구위원, 교신저자. e-mail: yonghochoi@krei.re.kr

## 1. 서론

문재인 정부는 정부 출범과 동시에 탈원전을 선언하고 현 원전 발전량의 일정 부분을 신재생에너지로 대체하여 보급하겠다고 예고했다. 이어서 정부는 2017년 재생에너지 발전량 비중 8.08%(한국에너지공단 2017년 신재생에너지 보급통계)를 2030년에 20%까지 높이는 것을 목표로 하는 ‘3020재생에너지 정책’을 2017년 발표하였다. 이에 따라 향후 우리나라는 (신)재생에너지를 이용한 발전량의 비중이 점점 높아질 것으로 예상된다.

농업분야 역시 현재 문재인 정부의 발전산업 구조전환정책 기조에 따라 신재생에너지를 이용한 전력 생산에 큰 관심을 가지고 여러 정부 정책을 추진 중이다. 예를 들어, 정부는 개별 농가 단위에서 농외소득을 창출할 수 있도록 유휴지 혹은 농지를 전용하여 소규모 태양광 발전을 할 수 있게끔 지원하고 있다. 특히 정부는 2018년 5월부터 농사만 지을 수 있도록 제한된 농업진흥구역에 태양광 발전설비를 설치할 수 있도록 규제를 완화하였다. 한편 한국농어촌공사는 농림축산식품부(이하 농식품부)의 재정지원을 받아 농업기반시설에 태양광 발전, 소수력 발전, 풍력 발전 사업을 지속적으로 확장시키고 있다. 또한 농식품부와 환경부는 가축분뇨 처리 지원사업을 통해 가축분뇨가 근원적인 원료가 되는 바이오가스를 이용한 전력 생산을 축산분야에서 시행하고 있다.

다양한 정책사업 가운데 앞서 언급한 바와 같이, 한국농어촌공사는 2009년 이후 농식품부로부터 매년 지원을 받아 농업기반시설(저수지, 농경 유휴지, 한국농어촌공사 지사 건물 등)을 이용하여 신재생에너지 발전사업을 추진 중이다. 한국농어촌공사는 이 사업을 통해 생산된 전력의 판매수입금을 기반정비 사업비(수리시설 유지관리비)로 투입하고 있다. 이로써 장기적으로는 국가재정부담을 경감하고 단기적으로는 농업인의 영농편의를 도모할 뿐만 아니라 정부 신재생에너지 보급 확대라는 정책목표 달성에 일정부분 역할을 담당할 것으로 기대하고 있다.

한국농어촌공사의 신재생에너지 발전사업은 상당한 정부예산이 투입되어 추진되기 때문에 철저한 성과관리가 당연히 요구된다. 이러한 차원에서 농식품부는 재정투입의 효과성을 매년 평가하고 있다. 하지만 현재 재정사업의 성과를 나타내는 지표가 단순히 전력 판매금액으로 설정되어 있어 이 지표가 비용을 감안한 종합적인 재정투입의 효과로 인정되기에는 적절하지 않다. 더욱이 전력 판매수입이 매년 변동성을 가져 유동적이기 때문에 태양광 사업의 위험성은 현재 정확히 파악된 바

없다. 따라서 한국농어촌공사 신재생에너지 사업에 대한 재정투입의 효과성을 적절히 평가하기 위해서는 단순한 판매금액이 아닌 연간 운영비용과 감가상각비용까지 고려한 이익금 및 이익률의 도출과 이들에 대한 위험성 분석이 필요하다. 추가적으로 위의 분석에서 도출된 이익률과 위험성 분석으로부터 도출된 곱값을 신재생에너지 사업 투자의 기회비용으로 간주할 수 있는 무위험투자 수익률과 비교할 때 더 정확한 재정사업의 효과성을 확인할 수 있다.

신재생에너지 사업의 효과성 분석에 해당하는 경제성 및 수익성과 관련한 선행연구는 주로 전자·정보통신(서미자 외 2015), 환경 및 토목·건축공학(하승룡 외 2008; 구분상 2013), 에너지(김종민·김기영 2008; 김영경·장병만 2012) 등의 분야에서 이루어졌다. 이들 연구는 대부분 비용편익분석, 순현재가치법, 내부수익률법, 에너지균등화비용법을 이용하여 신재생에너지 사업이 경제적으로 타당성이 있는지를 검토하고 있는데, 이를 위하여 순현재가치로 환산된 비용을 추정하였다. 그러나 기존의 연구들은 대부분 위험에 대한 고려 없이 경제성 또는 수익성을 분석하고 있어 신재생에너지 사업의 위험성은 분석 내에 포함되지 않았다는 한계점을 가지고 있다.

한편 하승룡 외(2008)는 기존 연구들과는 달리 모델 내 변수의 변동성과 불확실성을 분석하고자 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)을 실시하였다. 하지만 이 연구는 분석과정에서 각 확률변수 간에 독립성을 가정하고 있어 변수들 간 상관관계가 있을 경우 왜곡된 분석 결과를 도출했을 가능성을 내포하고 있다.

본 연구는 한국농어촌공사가 추진 중인 신재생에너지 발전사업 가운데 태양광 발전사업의 효과성을 분석하고자 한다.<sup>1</sup> 이를 위해 먼저 사업의 수익성과 위험성을 분석한다. 여기서는 판매금액만으로 행해졌던 기존 평가와는 달리 연간비용과 감가상각비를 고려하여 이익금 규모와 이익률을 도출했으며, 확률변수로서 시간대별 계통한계가격(Systemic Marginal Price: SMP)<sup>2</sup>과 월별 신재생에너지 공급인증서(Renewable Energy Certificates: REC)<sup>3</sup> 육지 현물가격을 설정하고, 각 확률변수들이 상호종속성을 가진다는 점을 감안하여 코플라 모델(Copula Model)을 수익성과 위험성 분석

1 앞서 언급했듯이 한국농어촌공사는 소수력 발전사업과 풍력 발전사업도 동시에 진행하고 있지만 태양광 발전사업을 제외한 여타 사업은 일정한 일별 혹은 월별 발전량을 정확히 도출할 수 없기 때문에 이 연구에서는 사업대상을 태양광사업으로 한정한다.

2 계통한계가격은 전력시장에서 거래되는 전력의 가격을 의미한다.

3 신재생에너지공급인증서는 신재생에너지 발전설비를 이용해 전력을 생산했다는 증명서로 1MW 당 1REC를 발전시설별로 부여된 고유 가중치를 곱해 도출된 인증서 수를 한국에너지관리공단에서 신재생에너지 발전사에게 발급한다. 발급받은 인증서를 현물시장에서 거래할 경우 최장 3년 동안 보유할 수 있으며 월 2회 매매거래가 가능하다.

을 위한 시물레이션에 적용하였는데, 이는 선행연구들과 가장 차별되는 점이다. 다음으로 도출된 수익률을 무위험투자 수익률과 비교해 봄으로써 사업의 효과성을 추가적으로 확인한다.

본 논문의 순서는 다음과 같다. 2장에서는 한국농어촌공사 태양광 발전사업의 수익성 및 위험성 분석을 위한 태양광 사업의 전력 판매수익 계산방식과 확률적 시물레이션 방식을 구체적으로 기술한다. 3장에서는 한국농어촌공사의 태양광 발전사업 현황을 살펴본다. 4장에서는 수익성 분석 및 위험성 분석 결과를 논의하고, 마지막 5장에서는 결론 및 정책적 개선방향을 제시한다.

## 2. 분석 방법

### 2.1. 태양광 발전사업의 전력 판매수익

본 연구에서는 태양광 사업 수익의 변동성에 따른 위험을 고려하기 위해 확률적 시물레이션(Stochastic Simulation)을 실시한다. 이를 위해 시간별 SMP와 월별 REC 가격을 확률변수로 설정하였다(시간별 SMP 15개, 월별 REC 가격 12개, 총 27개). 발전량도 확률변수로 고려할 수 있지만 이 연구에서는 매월·매시 일정하게 전력을 생산한다고 가정하였다.

우선적으로 태양광에너지 사업의 수익률(또는 이익률)을 분석하기 위해서는 연간 전력 판매수익 발생의 메커니즘에 대해 이해할 필요가 있다.<sup>4</sup> 연간 전력 판매수익은 간단히 총발전량에 SMP를 곱한 금액과 발급된 REC 수에 REC 기준단가를 곱한 금액을 합한 것으로 알려져 있으나 계산방식이 실제로는 더 복잡하게 설계되어 있다.

발전용량이 1MW 이상의 설비를 가진 발전소의 경우, 매월, 매일, 매시에 발생한 발전량을 해당 시간의 SMP를 곱한 값에, 가중치가 부여되어 발급된 REC<sup>5</sup> 수에 REC 육지 현물가격을 곱한 값을

4 한국농어촌공사 태양광 사업의 경우 대다수 사업자가 REC를 시장에서 현물 거래를 통해 처분하기 때문에 장기 고정계약 방식과 계약시장의 설명은 제외한다.

5 REC를 현물시장에서 거래할 경우 REC 최장 보유 기간은 3년으로, 3년 이내 발급받은 REC를 시장여건을 고려하여 판매시기를 정할 수 있으나, 본 연구에서는 편의상 발급받은 REC 인증서를 매월 시장에서 거래한다고 가정한다.

합친 금액이 연간 전력 판매수익이 된다(Box 1의 1번 방식).

발전용량이 1MW 미만의 설비를 가진 발전소의 경우, 1번 방식과 월평균 SMP 가격과 월 발전량을 곱한 값에, 가중치가 부여되어 발급된 REC 수에 REC 육지 현물가격을 곱한 값을 합친 방식(Box 1의 2번 방식) 중 하나를 선택할 수 있다.

Box 1. REC 현물 거래 이용 시 연간 전력 판매수익

1) 연간 전력 판매수익(1MW 이상 발전규모)

$$R_e = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{30/31} \sum_{t=1}^{24} G_{ijt} \times P_{ijt} + \sum_{i=1}^{12} (W \times G_i) \times REC_i$$

여기서  $R_e$ 는 전력 판매수익을 나타내고,  $i$ 는 월(month),  $j$ 는 일(day),  $t$ 는 시간(hour)을 나타내는 하첨자로,  $G_{ijt}$ 는 각 해당 시각의 발전량을 나타낸다.  $P_{ijt}$ 는 각 시간당 SMP를 나타낸다. 두번째 항에서  $G_i$ 는 월간 발전량을 나타내며,  $REC_i$ 는 월간 REC 육지 현물가격을 의미한다. 마지막으로  $W$ 는 발전시설별 REC 가중치이다.

2) 연간 전력 판매수익(1MW 미만 발전규모)

$$R_e = \text{식 1)} \text{ or } R_e = \sum_{i=1}^{12} G_i \times P_i + \sum_{i=1}^{12} (W \times G_i) \times REC_i \text{ (택일)}$$

$G_i$ 는 월 전력생산량,  $P_i$ 는 월평균 SMP이다(1MW 미만의 발전규모를 운영할 경우 사업자는 1번과 2번 중 선택할 수 있다).

구분	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준	
		설치유형	세부기준
태양광 에너지	1.2	일반부지에 설치하는 경우	100kW 미만
	1.0		100kW부터
	0.7		3,000kW 초과부터
	1.5	건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우	3,000kW 이하
	1.0		3,000kW 초과부터
	1.5	유지 등의 수면에 부유하여 설치하는 경우	
	1.0	자가용 발전설비를 통해 전력을 거래하는 경우	
	5.0	ESS설비(태양광설비 연계)	'16년, '17년, '18년(6월 30일까지)

<Box 1>의 수식에서 확인할 수 있듯이 1MW 이상의 발전규모를 가진 전력 생산 사업자의 경우, 연간 전력 판매수익에 영향을 미치는 요인은 개별 시간당 발전량과 시간당 SMP, 월간 REC 가격과 가중치로 조정된 REC 인증서 개수이다. 1MW 이하의 발전규모를 가진 전력 생산 사업자의 경우도 1MW 이상의 발전규모를 가진 전력 생산자와 동일한 판매수익 전략을 선택할 수 있기 때문에 여기에서는 모든 사업자가 판매수익 획득을 위해 <Box 1>의 1번을 선택한다고 가정하고 사업의 수익성과 위험성을 분석한다.<sup>6</sup> 사업의 효과성 분석을 위하여 추가되는 가정은 아래와 같다.

- 1) 모든 변수들을 위험을 내포한 확률변수로 정의할 수 있지만, 분석의 편의를 위해 개별 시간당 발전량은 고정변수로 간주한다. 따라서 확률변수는 시간당 SMP, 월간 REC 가격이 되며, 개별 시간당 발전량이 고정변수이기 때문에 가중치가 조정된 REC 인증서 개수도 고정변수가 된다.
- 2) REC 인증(발급)서를 획득한 사업자는 장기보유 없이 매달 현물시장에서 획득한 인증서를 거래하며, 현실에서는 소수점의 REC는 차기로 이월되나 이 연구에서는 소수점의 REC도 해당 월에 판매가능하다고 가정한다.
- 3) 시간별 SMP의 분포는 경험분포를 따른다고 가정하며 월간 REC의 가격은 정규분포를 따른다고 가정하되 평균은 다르지만 표준편차는 동일하다고 가정한다.

## 2.2. 확률적 시뮬레이션

사업의 효과성 분석은 확률적 시뮬레이션(Stochastic Simulation)을 통해 이루어지며 분석 절차는 아래와 같다.

- 1) 한국농어촌공사의 태양광 발전량 자료가 연간 자료로 작성되어 있기 때문에 시간대별 발전량과 월별 발전량 및 발전비율을 도출하기 위해 한국남부발전소 태양광 발전사업의 데이터(2015~2016년)를 이용하였다. 즉 한국남부발전소 발전 총량 대비 각 시간대 비중, 총량 대비 월별

<sup>6</sup> 1MW 이하의 전력 생산 사업자도 <Box 1>의 1번을 선택하는 것이 더 높은 수익을 올릴 가능성이 높다. 그 이유는 태양광 전력 생산 시기가 시간별 SMP가 가장 높을 때 생산되기 때문이다. 따라서 월평균 SMP를 적용받은 판매수익보다 시간별 SMP를 적용받은 수익이 높은 경우가 많을 것으로 예상된다.

비중을 한국농어촌공사 태양광 발전사업의 총 발전량에 적용하여 시간대별 발전량(과 비율), 월별 발전량(과 비율)을 도출한다.

$$G_t = \frac{g_t}{\sum_{t=1}^{24} g_t} TG, \quad (1)$$

여기서  $G_t$ 는  $t$  시간대의 한국농어촌공사 총 태양광발전량이며,  $g_t$ 는  $t$  시간대의 한국남부발전소 총 태양광발전량이다.  $TG$ 는 한국농어촌공사 연간 총 태양광발전량을 나타낸다.

$$G_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^{12} g_i} TG \quad (2)$$

여기서  $G_i$ 는  $i$ 월의 한국농어촌공사 총 태양광발전량이고,  $g_i$ 는  $i$ 월의 한국남부발전소 총 태양광발전량을 나타낸다.

- 2) 각 시간대별 SMP( $\tilde{P}_t$ )와 월간 REC 가격( $\widetilde{REC}_i$ ) (여기서  $t = 1, \dots, 24$  and  $i = 1, \dots, 12$ ) 생성 시 SMP는 경험분포<sup>7</sup>로부터, REC 가격은 정규분포로부터 도출하며 각 가격들은 상호연관성을 이루며 나타나므로 정규 코플라<sup>8</sup>를 이용하여 가격 간에 종속성<sup>9</sup>을 부여한다.
- 3) 생성한 36개의 가격분포(SMP 24개, REC 가격 12개)와 시간대별 발전량, 월별 발전량, REC 가중치  $W$ 를 이용하여 전력 판매수익을 도출한다. <Box 1> 수식 1)의 개념을 이용하여 분석할

7 경험분포함수는 분포형태에 대한 구체적인 가정 없이 확률변수의 분포형태를 나타내기 위해 관측된 데이터를 계단함수를 이용하여 도출된다. 예를 들어 데이터가  $N$ 개일 경우 발생할 확률이  $1/N$ 로 동일하다고 가정하며 수식은 다음과 같다.

$$F_{dis}^N(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 1(x_i \leq x). \text{ 여기서 } 1(\cdot) \text{은 지시함수(Indicator Function)를 나타내며 } x_i \leq x \text{ 인 경우 } 1, \text{ 아닌 경우 } 0 \text{을 의미한다.}$$

8 코플라 모델은 확률변수 간의 종속성 정도를 부여하기 위해 사용되며, 주로 금융분야나 실물경제에서 여러 개 확률변수 간의 관계 분석에 사용되고 있다(Hu 2006; Patton 2006; Zimmer 2012, 2015). 국내 농업분야에서는 사과의 최적출하시기 결정(김태후·서상택 2011), 농업인 안전보험 보장수준 조정방안(김태후 외 2017a), 쌀 생산량의 공간적 종속성 분석(김태후 외 2017b) 등에 사용되었다. 해외 농업분야에서는 주로 수입보장보험의 요율 산출 시 가격과 생산량의 종속성 정도를 부여하거나 재보험에서 위험성을 평가하기 위해 사용되고 있다(Goodwin and Mahul 2004; Goodwin and Hungerford 2015).

9 이 연구에서 가격 간에 종속성을 고려하지 않는다면 수익(이익)률의 위험을 과소평가할 가능성이 존재한다. 그 이유는 시간대별 SMP가 모두 양의 종속성을 띠며 대부분의 월간 REC 가격들이 상호간에 양의 종속성을 띠기 때문이다. 종속성 반영 유무에 따른 위험의 과소(과대)평가 가능성에 대해 부록을 통해 시뮬레이션 결과를 이용하여 제시한다.



경우 정확한 특정 월, 일, 시간에 대한 정확한 판매금액을 알 수 있다. 하지만 특정 월, 일별 발전량을 정확히 추정하기 어려울 뿐만 아니라 설사 정확히 추정을 할지라도 확률변수의 수가 5,487개(=365×15+12)가 되어 확률변수 간에 종속성을 부여하는 것이 현실적으로 불가능하기 때문에 태양광사업의 위험성 분석이 이루어질 수 없다. 따라서 <Box 1>의 수식 1에서 변형된 식(아래 식 (3))으로 분석을 실시하며 실제 분석에서 확률변수는 27개(SMP 15개,  $\tilde{P}_6, \dots, \tilde{P}_{20}$ , REC 가격 12개,  $\widetilde{REC}_1, \dots, \widetilde{REC}_{12}$ , 여기서 물결표(Tilde)는 변수들이 확률변수임을 나타내기 위해 사용되었다)이다. 그 이유는 태양광 발전은 6시부터 20시까지 이루어져 해당 시간대만 발전량이 0보다 크므로 시간대별 수익은 15개 시간만 이용하여 도출된다. 즉 오전 6시와 오후 8시 사이 이외 시간에 대한  $G_t$ 는 0이 된다.

$$\tilde{R}_e = \sum_{t=1}^{24} G_t \tilde{P}_t + \sum_{i=1}^{12} (WG_i) \widetilde{REC}_i \tag{3}$$

4) 식 (3)을 10,000번 반복하여 10,000개의 전력 판매수익금과 운영비, 감가상각비를 고려한 전력 판매이익금을 도출한 후 도출된 값들을 총투자비용으로 나누어 10,000개의 수익률( $r_s$ )과 이익률( $p_s$ )을 도출한다.

$$r_s = \frac{\tilde{R}_{es}}{C}, s = 1, \dots, 10,000, \tag{4}$$

식 (4)에서  $C$ 는 연간 운영비를 제외한 태양광 발전사업의 총사업비를 나타낸다.

$$p_s = \frac{\tilde{R}_{es} - AC - DC}{C}, s = 1, \dots, 10,000, \tag{5}$$

식 (5)에서  $AC$ 는 연간 운영비용,  $DC$ 는 감가상각비를 의미한다.

5) 태양광 사업의 기대수익률( $E(r)$ ) 및 기대이익률( $E(p)$ )의 기초통계치와 분포를 통하여 평균 이익률을 산출하며, 태양광 발전사업의 효과성(수익성)을 논의한다. 또한 Value at Risk (VaR) 개념을 차용하여 태양광 발전사업 이익의 위험성을 평가한 후 무위험투자 수익률과 비교한다. 보수적인 평가를 위해 이 연구에서는 무위험투자 수익률을 정기예금이자 금리보다 상당 수준 높은 3%로 가정한다.<sup>10</sup>

$$E(r) = \frac{\sum_{s=1}^{10,000} \frac{\tilde{R}_{es}}{C}}{10,000}, \quad (6)$$

$$E(p) = \frac{\sum_{s=1}^{10,000} \frac{\tilde{R}_{es} - AC - DC}{C}}{10,000}, \quad (7)$$

$$Var(X) = F_{0.0X}^{-1}(p) \text{ if } X < 10 \text{ and } Var(X) = F_{0.X}^{-1}(p) \text{ if } X \geq 10 \quad (8)$$

식(8)에서  $F^{-1}(p)$  는 이익률 누적확률분포의 역함수를 나타낸다.<sup>11</sup>

### 3. 한국농어촌공사 태양광 발전사업 현황

2017년 현재 한국농어촌공사는 총 37개 지구에서 태양광 발전소를 운영 중이다. <표 1>은 한국농어촌공사에서 운영하는 태양광 발전사업의 현황을 보여준다. 2017년 37개 지구의 총 발전용량은 1만 7,447kW였으며 총 발전량은 1만 6,888MWh이다. 연간 운영비용은 2억 3,000만 원이 투입되었으며, 사업시행 이후 2017년까지 투입된 총사업비는 524억 500만 원이 투입되었다.

설치용량별로 구분하여 살펴보면, 먼저 설치용량이 100kW 미만의 지구는 2017년까지 13개이다. 이들은 모두 건물이나 수면에 설치되어 1.5의 REC 가중치를 적용받고 있으며, 발전용량은 971kW, 전력 생산량은 1,317MWh로 나타났다.

설치용량은 100~500kW 미만의 지구는 2017년 총 14개로, 부지시설 8개와 건물·수면시설 6개로 구성되어 있으며, 전년 대비 각각 5개, 3개가 증가하였다. 부지시설은 1.0의 REC 가중치를 배정받

10 2018년 1월 신규취급액 기준 정기에금금리는 1.76%(한국은행 경제통계시스템)이므로 3%의 무위험투자 수익률은 매우 보수적인 가정이다.

11 VaR은 금융기관의 시장위험을 나타내는 한 가지 지표로 사용되지만 이 연구에서는 태양광 발전사업의 매우 좋지 않은 시장 상황에서 발생할 수 있는 이익률을 의미한다. 이는 시뮬레이션을 이용하여 도출된 이익률 누적분포함수의 역함수를 이용하여 예측할 수 있다. 위 식(8)에서 X의 의미는 이익률 누적분포함수의 %값을 의미하며 X값과 대응되는 지지집합(Support)내의 원소가 이익률이 된다.

으나 건물·수면시설의 경우 설치용량이 100kW 미만과 동일하게 1.5의 가중치를 배정받는다. 총 발전용량은 4,752kW, 전력 생산량은 3,363MWh로 나타났다.

설치용량 500~1MW 미만의 지구는 부지시설 4개와 건물·수면시설 3개, 총 7개이다. 부지시설의 경우 2017년에 전년 대비 2개 증가하였고, 건물·수면시설은 모두 2017년 이전에 건설되었다. 이들 지구의 발전용량은 4,244kW이며, 전력 생산량은 5,244MWh로 나타났다.

설치용량 1MW 이상의 태양광 발전 지구는 모두 부지시설에서 운영되고 있다. 2017년 1개가 추가되어 총 3개 지구에서 운영 중이며, 발전용량은 7,481kW, 총 전력 생산량은 6,964MWh로 나타났다.

표 1. 한국농어촌공사 태양광 발전사업 현황(2017년 기준)

설치용량	시설	개수	REC 가중치	발전용량 (kW)	'17년 발전량 (MWh)
100kW 미만	부지	0 (0)	1.2	0 (0)	0 (0)
	건물·수면	13 (13)	1.5	971 (971)	1,317 (1,317)
100~500kW 미만	부지	8 (3)	1.0	2,353 (702)	1,751 (966)
	건물·수면	6 (3)	1.5	2,399 (909)	1,612 (1,221)
500~1MW 미만	부지	4 (2)	1.0	2,744 (1,148)	3,140 (1,534)
	건물·수면	3 (3)	1.5	1,500 (1,500)	2,104 (2,104)
1MW 이상	부지	3 (2)	1	7,481 (4,485)	6,964 (6,736)
	건물·수면	0	1.5	0	0
태양광 발전 사업지구			37 (26)		
총 발전용량(kW)			17,447 (9,715)		
총 발전량(MWh)			16,888 (13,878)		
연간 운영비용(백만 원)			230 (210)		
총사업비(백만 원)			52,405 (36,214)		

주 1) 괄호는 '16년까지 완공된 태양광 발전사업 지구의 해당 자료임. 총사업비는 사업시행 이후 2016년까지 투입된 총사업비를 나타냄.

2) 시운전 중인 발전량까지 포함 시 총 발전량은 17,373MWh임.

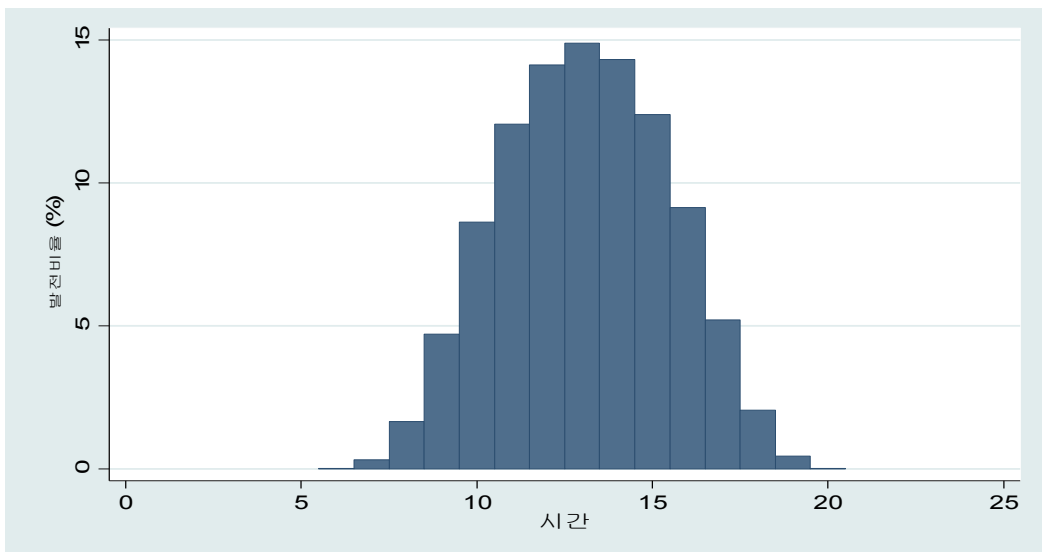
자료: 한국농어촌공사 내부 자료를 기초로 저자 작성.

본 자료는 지구별 연간 발전량 데이터이기 때문에 분석을 위해 시간대별 발전량, 월별 발전량 비율로 분리할 필요가 있다. 그 이유는 전력 판매 시 월별 REC 가격, 시간별 SMP에 따라 해당 시간(또는 해당 월)에 생산한 전력의 단가를 적용받아 수익이 발생하기 때문이다.

태양광에너지 발전이 전국적으로 안정적으로 이루어진다는 가정하에 시간대별, 월별 발전량 비율을 도출할 목적으로 한국남부발전 신인천소 내, 하동, 영월 태양광 발전소 데이터를 식 (1)과 (2)에 적용하여 발전비율을 추정하였다.<sup>12</sup>

<그림 1>은 태양광에너지의 시간대별 발전비율을 보여준다. 태양광을 발전 원천으로 이용하기 때문에 낮 시간에만 발전이 이루어지며, 13시를 기준으로 10시부터 16시까지 전력 생산이 집중되어 있는 것을 볼 수 있다. 세부적으로 태양광 발전은 하계에는 6시에 시작하여 20시까지 전력을 생산하며 동계의 경우 7~8시에 시작하여 18시까지 전력을 생산하는 것으로 나타났다.

그림 1. 태양광에너지의 시간대별 발전비율



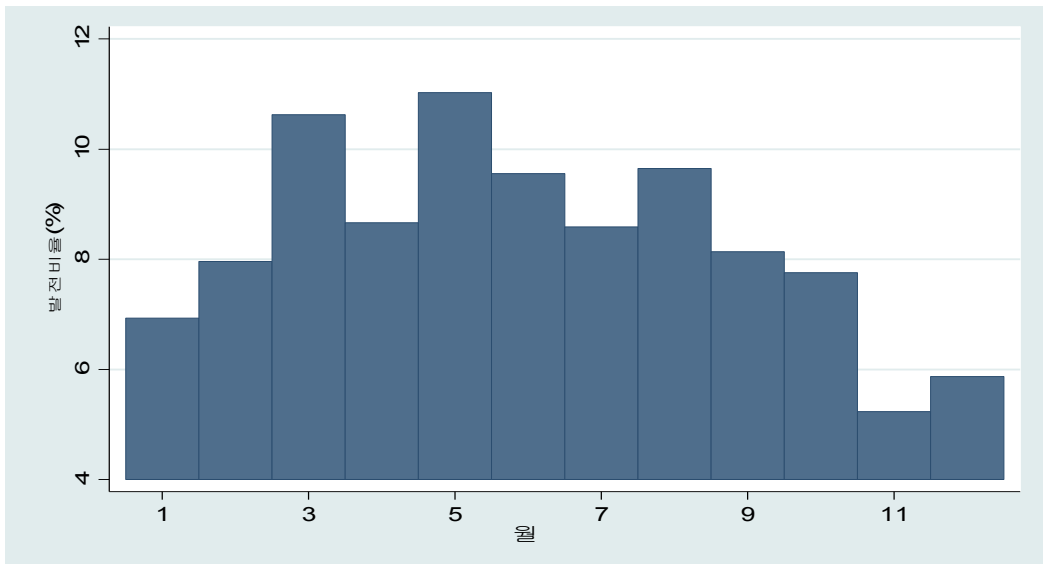
주: 태양광 발전의 시간대별 발전비율은 한국남부발전 신인천소 내, 하동, 영월 발전소의 2015~2016년 데이터를 이용하여 산출하였음.

자료: 한국농어촌공사 내부 자료를 기초로 저자 작성.

12 국내 공공부문의 발전소는 한국남부발전, 한국중부발전, 한국남동발전, 한국동서발전, 한국서부발전 총 5개의 발전사가 있지만 이 연구에서는 한국남부발전이 운영하는 태양광 발전소의 데이터를 이용하여 발전비율을 추정한다. 그 이유는 한국 남부발전소에서 만 시간별 태양광 발전량을 제공하고 있기 때문이다.

태양광을 통한 전력 생산은 고유의 특성으로 인해 계절에 따라서도 차이가 크게 발생한다. <그림 2>는 태양광에너지의 월별 발전비율을 보여준다. 월별 발전비율 역시 한국남부발전 신인천소 내, 하동, 영월 발전소의 데이터를 이용하여 도출하였다. 전력 생산량을 월별로 살펴보면, 3~8월까지의 비중이 대체로 높은 것으로 나타났으며, 태양광의 절대적인 이용가능시간이 적은 겨울철(11~1월)의 전력 생산량 비중이 여타 다른 월보다 유의미하게 낮은 것으로 나타났다.

그림 2. 태양광에너지의 월별 발전비율



주: 태양광 발전의 월별 발전비율은 한국남부발전 신인천소 내, 하동, 영월 발전소의 2015~2016년 데이터를 이용하여 산출하였음.

자료: 한국농어촌공사 내부 자료를 기초로 저자 작성.

<표 2>는 한국남부발전 태양광 발전 데이터의 시간별 발전비율을 한국농어촌공사 태양광 발전사업에 적용하여 도출한 전력생산량을 보여준다. 이 연구에서는 2016년까지 모두 완공되어 2017년에 365일 동안 전력을 생산한 26개소의 태양광 사업지구만을 분석대상으로 선택하였다. 그 이유는 2017년 도중 완공되어 전력을 생산한 사업지구를 분석대상으로 포함한다면 정확한 전력생산 시점을 반영할 수 없어 분석 결과의 왜곡을 초래할 가능성이 있기 때문이다. 2016년까지 모두 완공된 26개 사업지구만을 대상으로 한정할 때 한국농어촌공사는 태양광 발전사업으로 1만 3,878MWh의 전력을 생산하였다.

6~8시(1.32, 43.76, 230.66MWh), 18~20시(285.89, 61.18, 2.78MWh)의 전력생산량이 가장 적은 것으로 나타났으며(총 발전 비중은 5% 미만), 10~16시에 전력생산량이 집중되어 있다. 앞서 언급했듯이 이는 당연한 것으로 전력 생산 원천이 태양광이기 때문이다.

표 2. 한국농어촌공사 태양광 발전사업의 시간대별 발전량

단위: MWh, %

시(hour)	발전량(비율)	시(hour)	발전량(비율)	시(hour)	발전량(비율)
6시	1.32 (0.01)	11시	1,674.41 (12.07)	16시	1,268.43 (9.14)
7시	43.76 (0.32)	12시	1,960.17 (14.12)	17시	723.63 (5.21)
8시	230.66 (1.66)	13시	2,067.34 (14.90)	18시	285.89 (2.06)
9시	653.78 (4.71)	14시	1,986.45 (14.31)	19시	61.18 (0.44)
10시	1,197.53 (8.63)	15시	1,720.66 (12.40)	20시	2.78 (0.02)
총발전량	13,878				

주: 한국농어촌공사 태양광 발전사업의 시간대별 발전량은 <그림 1>에서 도출된 시간대별 발전량 비율에 2017년 이전까지 준공된 사업지구의 연간 총 발전량을 곱한 값임.

자료: 한국농어촌공사 내부 자료를 기초로 저자 작성.

<표 3>은 한국농어촌공사 태양광 발전사업의 월별 전력 생산량과 가중치로 조정된 REC 발급 수를 보여준다. <표 3>은 앞서와 동일하게 한국남부발전의 데이터를 이용하여 도출하였다. 앞서

표 3. 한국농어촌공사 태양광 발전사업의 월별 발전량 및 REC 발급 수

단위: MWh, %, 개

월	발전량(비율)	REC 발급 수	월	발전량(비율)	REC 발급 수
1	962.13 (6.93)	1123.069	7	1192.245 (8.59)	1391.683
2	1,104.47 (7.96)	1289.221	8	1339.30 (9.65)	1563.338
3	1,475.24 (10.63)	1722.057	9	1128.29 (8.14)	1317.844
4	1,202.39 (8.66)	1403.52	10	1075.96 (7.75)	1255.946
5	1,530.09 (11.03)	1786.042	11	725.61 (5.23)	846.993
6	1326.56 (9.56)	1548.465	12	815.00 (5.87)	951.327
총발전량	13,878				
REC 총발급 수	16,199.50				

주: 한국농어촌공사 태양광 발전사업의 월별 발전량은 <그림 2>에서 도출된 월별 발전량 비율에 2017년 이전까지 준공된 사업지구의 연간 총 발전량을 곱한 값임. REC 총 발급 수는 한국농어촌공사 태양광 발전사업소의 발전량에서 사업소 시설물 설치 유형의 고유 가중치를 적용해서 도출하였음(Box 1 참고).

자료: 한국농어촌공사 내부 자료를 기초로 저자 작성.

언급했듯이 겨울철의 전력 생산량이 하절기보다 상대적으로 적은 것을 확인할 수 있다. REC 발급 수 역시 월별 발전량 비율과 비례하며 REC 발급은 1MWh를 생산할 때마다 사업지구 유형에 따라 가중치로 조정되어 발급된다. 예를 들어, 가중치 1.5를 가진 사업지구가 1MWh를 생산하였다면 1.5REC를 발급받는다. 분석대상(26개 지구)으로 한정할 경우 한국농어촌공사에서 2017년에 발급받은 REC 개수는 1만 6,199.50개이다.

## 4. 분석 결과

### 4.1. SMP 및 REC 가격의 기초통계치와 상관계수 행렬

<표 4>는 시간대별 SMP의 기초통계치를 보여준다. 10시 이후 SMP가 유의미하게 증가한 것으로 나타났으며, 주목할 점으로는 각 시간대별 최솟값과 최댓값의 차이가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이는 SMP 생성 방식에 의해 발생한 것이다. 앞서 언급했듯이 SMP는 간단히 전력생산비용으로 정할 수 있는데 세부적으로는 아래와 같이 결정된다.

표 4. 시간별 SMP의 기초통계치

단위: 원

시간	평균	표준편차	최솟값	최댓값	시간	평균	표준편차	최솟값	최댓값
6시	79.89	40.58	2.05	184.9	14시	99.37	41.65	4.04	281.76
7시	84.37	40.53	11.42	234.2	15시	100.83	42.19	3.99	283.66
8시	87.89	40.36	11.42	256.53	16시	99.56	41.66	4.03	281.76
9시	94.04	42.00	11.73	281.76	17시	99.72	41.88	11.25	281.76
10시	98.84	42.34	3.61	281.76	18시	100.11	41.95	11.27	335.17
11시	100.83	42.38	3.65	281.76	19시	100.87	41.03	12.29	281.76
12시	101.57	42.48	3.59	304.24	20시	101.32	40.21	12.49	278.66
13시	95.63	39.15	3.65	247.54					

주: 분석에 사용된 SMP 데이터는 2001년 5월 1일에서 2018년 12월 3일까지의 시간별 데이터임.

자료: 전력통계정보시스템 계통한계가격 자료를 이용하여 저자 작성(<http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/selectEkmaSmpShdGrid.do?menuId=050202>; 2019. 7. 15.).

먼저 우리나라는 전력 수요가 낮을 경우 기저발전소인 원자력발전소만을 이용하여 전력을 생산한다. 이 경우 SMP는 원자력 발전에 소요된 원가로 책정된다. 만약 전력 수요량이 원자력 발전의 전력 공급량을 초과한다면, 다음 전력 생산단가가 낮은 석탄발전소가 가동되며 이때 SMP는 석탄발전소의 전력 생산원가가 된다. 전력 수요가 추가적으로 증가하여 석유발전소가 전력을 생산하기 시작하는 시점에서는 다시 석유발전소의 전력 생산원가가 SMP가 되고, 동일한 구조로 LNG발전소가 전력을 생산하는 시점에서는 LNG발전소의 전력 생산원가가 SMP가 된다. 이에 따라 각 시간대의 최솟값이 매우 낮다는 것은 전적으로 원자력발전소 혹은 석탄발전소에서만 전력 생산이 이루어졌다는 것을 의미하며, 이와 반대로 각 시간대에 최댓값이 매우 높은 이유는 모든 발전소가 전력을 생산하였으며 SMP가 LNG발전소의 전력 생산원가로 결정되었다는 것을 의미한다.

<표 5>는 월별 REC 육지 현물가격의 기초통계치를 보여준다. 월별 REC 육지 현물가격은 평균적으로 동절기가 하절기보다는 높은 것으로 나타났으며, 이는 동절기의 최댓값이 하절기보다 높기 때문인 것으로 보인다.<sup>13</sup> REC 현물가격은 해당 월 현물시장의 REC 수요·공급에 의해 결정되는 것으로 알려졌으나 아직까진 거래기간이 짧아 월별 REC 가격의 평균과 표준편차 등에서 차이가 크게 발생하고 있다.

표 5. 월별 REC 육지 현물가격의 기초통계치

단위: 천 원									
월	평균	표준편차	최솟값	최댓값	월	평균	표준편차	최솟값	최댓값
1월	117.98	56.00	45.63	218.04	7월	106.68	24.17	70.58	131.78
2월	119.35	47.95	45.63	182.15	8월	107.44	28.31	71.01	140.52
3월	123.83	44.63	89.47	220	9월	111.85	32.98	73.19	156.96
4월	108.07	11.99	94.06	125.29	10월	119.24	44.51	81.81	189.88
5월	103.32	28.24	52.35	131.41	11월	121.20	50.47	84.1	222.38
6월	104.14	25.15	56.52	130.37	12월	121.84	57.35	75.7	232.59

주: REC 육지 현물가격은 2012년부터 2018년까지의 자료를 이용하였음.

자료: 신재생 원스톱 사업정보 통합포털의 REC 육지가격 자료를 이용하여 저자 작성([http://onerec.kmos.kr/potal/rec/selectRecReport\\_SMPList.do?key=1971](http://onerec.kmos.kr/potal/rec/selectRecReport_SMPList.do?key=1971): 2019. 7. 15.).

<sup>13</sup> 최댓값이 크게 영향을 미치는 이유는 월별 REC 육지 현물가격의 데이터가 현재까지 월당 7~8개 수준이기 때문이다. 동절기에 가격이 매우 높았던 이유는 REC 현물 시장의 개장이 2012년 2월에 개장되어 초기에 REC 가격이 매우 높았던 것이 첫 번째 원인인 것으로 보이며 발전사들이 REC 의무구입량의 미달로 인한 과징금 부과를 피하기 위해 연말에 REC 구매 수요가 증가한 것이 두 번째 요인이다(이수일 외 2015).



태양광 발전사업의 수익성을 분석하기 위한 확률적 시뮬레이션의 선행단계로서 시간대별 SMP 간 종속성 정도를 측정하는 것이 필요하다. 앞서 언급했듯이 태양광 발전사업 수익의 한 부분은 시간대별 SMP와 발전량에 의해 결정되며, 시간대별 SMP는 상호간에 강한 종속성을 가지고 있다. 다시 말해서, 시간대별 SMP는 서로 독립적으로 결정되는 것이 아니라 상호연관성을 가지고 결정된다. 따라서 위험을 고려한 수익성 분석을 위해 확률적 시뮬레이션 수행 시 확률변수 간 종속성을 부여해야 한다.

아래 <표 6>은 태양광 발전으로 전력을 생산하는 시간대인 6~20시 사이 SMP의 상관계수 행렬이다. 각 시간대별로 상호간에 매우 강한 양의 상관관계를 가지는 것을 알 수 있다. 모든 시간대에서 다른 시간대와 0.8 이상의 상관관계를 갖고 있으며, 대부분 상호간에는 0.9 이상의 상관관계를 나타내고 있다.

표 6. 시간대별 SMP의 상관계수 행렬

	6시	7시	8시	9시	10시	11시	12시	13시	14시	15시	16시	17시	18시	19시	20시
6시	1	0.96	0.93	0.87	0.83	0.82	0.81	0.82	0.81	0.80	0.81	0.81	0.82	0.84	0.84
7시		1	0.97	0.90	0.87	0.86	0.85	0.87	0.86	0.85	0.85	0.85	0.86	0.88	0.88
8시			1	0.95	0.91	0.90	0.89	0.91	0.90	0.89	0.90	0.90	0.90	0.91	0.91
9시				1	0.97	0.95	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94
10시					1	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96
11시						1	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96
12시							1	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96
13시								1	0.98	0.97	0.98	0.98	0.97	0.96	0.96
14시									1	0.98	0.99	0.98	0.97	0.97	0.97
15시										1	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96
16시											1	0.99	0.97	0.96	0.96
17시												1	0.98	0.97	0.97
18시													1	0.98	0.97
19시														1	0.98
20시															1

자료: 저자 작성.

표 7. 월별 REC 현물가격의 상관계수 행렬

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1월	1	0.89	-0.34	0.06	0.28	0.39	0.12	0.03	0.04	-0.10	-0.15	-0.18
2월		1	-0.50	0.10	0.49	0.57	0.39	0.33	0.33	0.17	0.01	0.04
3월			1	-0.11	-0.71	-0.72	-0.60	-0.53	-0.48	-0.33	-0.32	-0.40
4월				1	0.74	0.72	0.76	0.72	0.68	0.63	0.69	0.54
5월					1	0.99	0.97	0.91	0.84	0.70	0.66	0.62
6월						1	0.94	0.87	0.81	0.66	0.63	0.59
7월							1	0.98	0.94	0.84	0.78	0.75
8월								1	0.98	0.92	0.84	0.82
9월									1	0.97	0.90	0.90
10월										1	0.95	0.95
11월											1	0.98
12월												1

자료: 저자 작성.

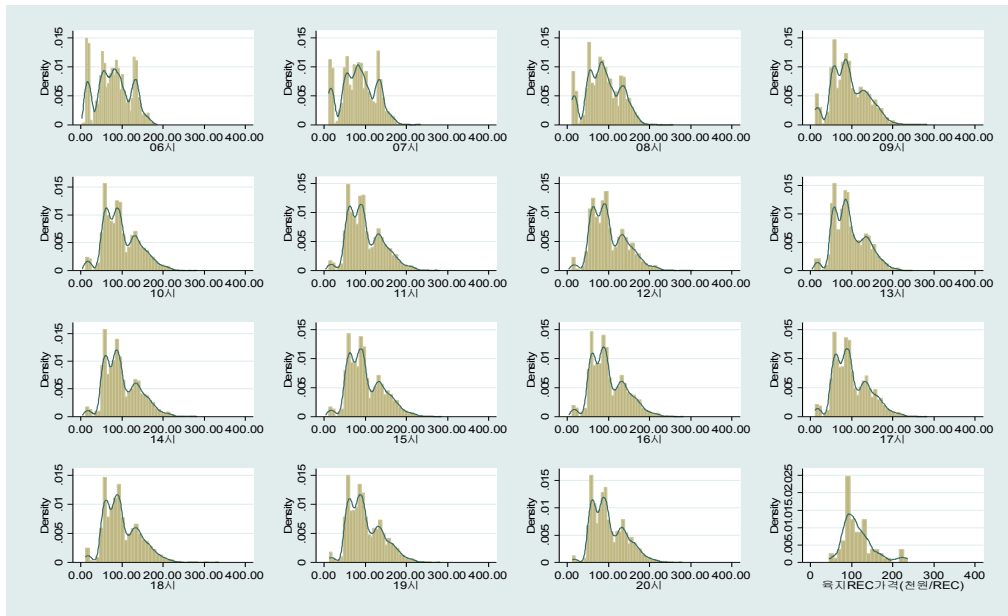
시간대별 SMP가 높은 상관관계를 가지듯이 REC 월간 현물가격도 높은 상호연관성을 가지고 결정됨을 알 수 있다<표 7>. 하지만 모든 시간대에서 SMP가 매우 높은 양의 상관관계가 나타나는 것과는 다르게, REC 월간 현물가격의 경우는 음의 상관관계를 가지는 경우도 존재하며 SMP보다는 상대적으로 상관관계가 높지 않은 것으로 나타났다. SMP 간 높은 양의 상관관계를 보이는 것과 달리 REC 월간 현물가격은 상관관계가 상대적으로 낮고, 심지어 음의 상관관계도 나타나는 이유는 여러 가지가 있을 수 있다. 주요 이유 중 한 가지는 월별 REC 가격자료가 매우 적어 이상치(outlier)에 민감하게 반응하기 때문이다(육지에서 적용되는 REC 가격자료는 2012년부터 측정되어 월별로 현재 7~8개의 자료만 확보가 가능하다). 이러한 약점에도 불구하고 여기에서는 <표 7>의 상관계수 행렬을 이용하여 시물레이션을 실시한다. 그 이유는 변수 간 상호연관성을 부정확하게 측정하더라도 상관관계를 부여하는 것이 상대적으로 분석 결과의 왜곡을 줄일 수 있기 때문이다.

<그림 3>은 시간대별 SMP와 육지 REC 가격<sup>14</sup>의 분포를 보여준다. 특이사항으로, 시간대별 SMP 분포는 시간대별로 상이하기는 하지만 다봉형의 분포를 나타내는 것을 알 수 있다. 확률적 시물레이션을 수행하기 위해서는 확률변수인 시간대별 SMP의 분포 설정이 필요하다. 이 분석의 경

14 REC 가격은 육지와 제주로 나뉘어 매월 전력거래소를 통해 공표되며 한국농어촌공사의 경우 모두 육지에 태양광 발전 사업지구가 있기 때문에 육지 REC만을 고려한다.

우 단봉형이 아닌 다봉형 분포를 나타내므로 시뮬레이션 수행 시 경험분포를 이용하였다. 경험분포를 이용할 경우 불연속적인 자료의 분포형태를 그대로 반영할 수 있어 시뮬레이션 수행 시 SMP가 다봉형 분포를 갖는 특성을 잘 반영할 수 있다.<sup>15</sup> 대안으로 혼합분포모형을 사용할 수 있지만 추정 결과 적합도가 매우 낮아 실제 SMP 분포의 특성을 제대로 반영하지 못하는 것으로 나타났다. 육지 REC 가격 분포(<그림 3>의 우측하단)는 단봉형 분포 형태를 나타내기 때문에 분석의 편의상 정규 분포를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 3. 시간대별 SMP와 월간 육지 REC 현물가격의 분포



자료: 저자 작성.

#### 4.2. 시뮬레이션을 이용한 한국농어촌공사 태양광 발전사업의 수익성 분석

<표 8>은 시뮬레이션으로부터 도출된 SMP 및 REC의 수익금, 태양광 발전 수익금, 태양광 발전 이익금, 수익률의 결과를 보여준다. SMP 수익금은 평균 약 13억 7,000만 원으로 나타났으며, REC

<sup>15</sup> 경험분포와 코풀라를 이용한 시뮬레이션 절차에 대한 구체적인 과정은 서상택·김태후(2009) 또는 Richardson (2005)을 참고 바란다.

수익금의 평균은 약 18억 2,000만 원으로 나타났다. 따라서 두 수익금을 합친 총 태양광 발전 수익금은 약 31억 9,000만 원이다. 여기에서 연간 운영비용 2억 1,000만 원과 내용연수 30년 기준 감가상각비<sup>16</sup> 약 12억 700만 원을 차감할 경우 태양광 발전 이익금은 약 17억 7,700만 원 수준이다. 이 금액을 2016년까지 투입된 총 투자금액 362억 1,400만 원으로 나눌 시 4.91%의 상당히 높은 이익률을 보이는 것을 알 수 있다. 만약 무위험투자 수익률을 3%로 가정할 경우, 태양광 발전의 이익률은 이보다 약 1.64배의 높은 수익률을 보인다.

표 8. SMP 및 REC 수익금과 태양광 발전의 총 수익금 및 이익금

단위: 백만 원

		평균	표준편차	최솟값	최댓값
SMP 수익금(A)		1,374.03	567.69	79.27	3,849.03
REC 수익금(B)		1,819.83	326.24	331.47	3,281.06
태양광 발전 수익금(A+B)		3,193.86	653.76	923.59	6,176.77
총비용 (운영비 및 감가상각비)	내용연수 20년	2,021			
	내용연수 30년	1,417			
	내용연수 40년	1,115			
태양광 발전 이익금(이익률)	내용연수 20년	1,173.16 (3.24%)	653.76 (1.81%)	-1,097.11 (-3.03%)	4,15.076 (11.48%)
	내용연수 30년	1,776.73 (4.91%)	653.76 (1.81%)	-494.55 (-1.36%)	4,759.63 (13.14%)
	내용연수 40년	2,078.51 (5.74%)	653.76 (1.81%)	-191.76 (-0.53%)	5061.42 (13.98%)

주 1) 태양광 발전 이익금은 태양광 발전 연간 수익금에서 연간 운영비용(2억 1,000만 원), 감가상각비(내용연수 20년의 경우 약 18억 1,100만 원, 30년의 경우 약 12억 700만 원, 40년의 경우 약 9억 500만 원)를 차감한 것이며, 태양광 발전 이익률은 태양광 발전 연간 이익금을 2016년까지 투입된 총 투자금액으로 나눈 것임.

2) 감가상각비는 내용연수 20년, 30년, 40년 기준으로 정액법을 이용하여 도출하며 잔존가치는 0원으로 가정함. 발전소 건립시기가 부지마다 다르고 사업비의 세부내역을 알 수 없어 보수적인 계측을 위해 총사업비를 모두 발전 설비 비용으로 간주한 후 정액법을 이용하여 연 감가상각비를 계산하였음.

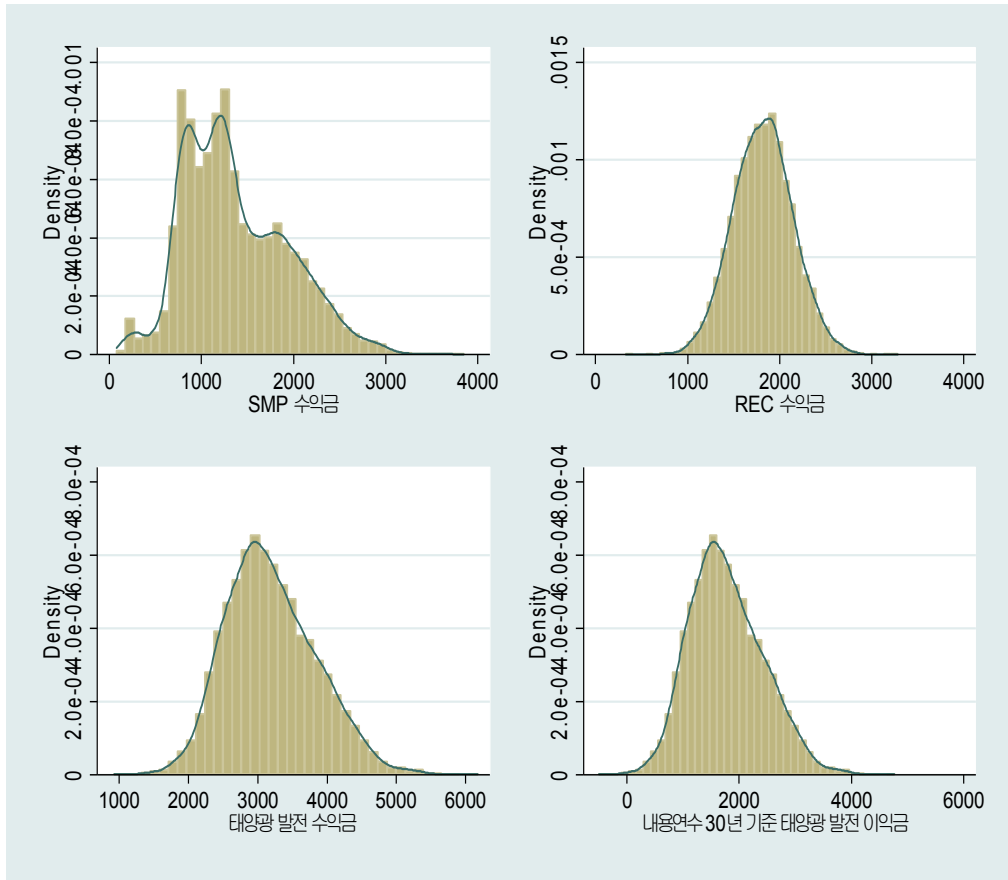
자료: 저자 작성.

16 「법인세법 시행규칙」 별표 5에 따르면 태양광 발전설비의 내용연수 설정은 구축물에 따라 매우 다양하게 설정될 수 있으나 철타 등 의 구축물 등에 설치된 경우 기준 내용연수는 40년, 하한은 30년, 상한은 50년으로 설정되어 있다. 하지만 이 연구에서는 조금 더 보수적인 관점으로 분석을 실시하였다. 즉 기준 내용연수를 30년으로 설정하고, 상한을 법률상 기준 내용연수인 40년, 하한은 김인식 외(2016) 등에서 가정한 20년으로 설정하여 분석하였다.

태양광 설비의 내용연수에 따른 이익금(이익률)의 변화를 살펴보기 위해서 내용연수 20년과 40년의 경우를 추가하여 분석을 실시하였다. 분석 결과 내용연수를 20년으로 설정할 경우 이익금(이익률)은 약 11억 7,300만 원(3.24%), 내용연수를 40년으로 설정할 경우 이익금(이익률)은 약 20억 7,900만 원(5.74%)으로 나타났다. 특히 가장 보수적인 관점에서 설정한 내용연수 20년 기준의 이익률이 무위험투자 수익률 3%보다 높은 것으로 나타났다. 따라서 발생한 수익금 전액을 수리시설 유지관리사업에 재투자를 하여 영농편의를 도모한다는 사업목적은 충분히 달성한 것으로 판단된다.

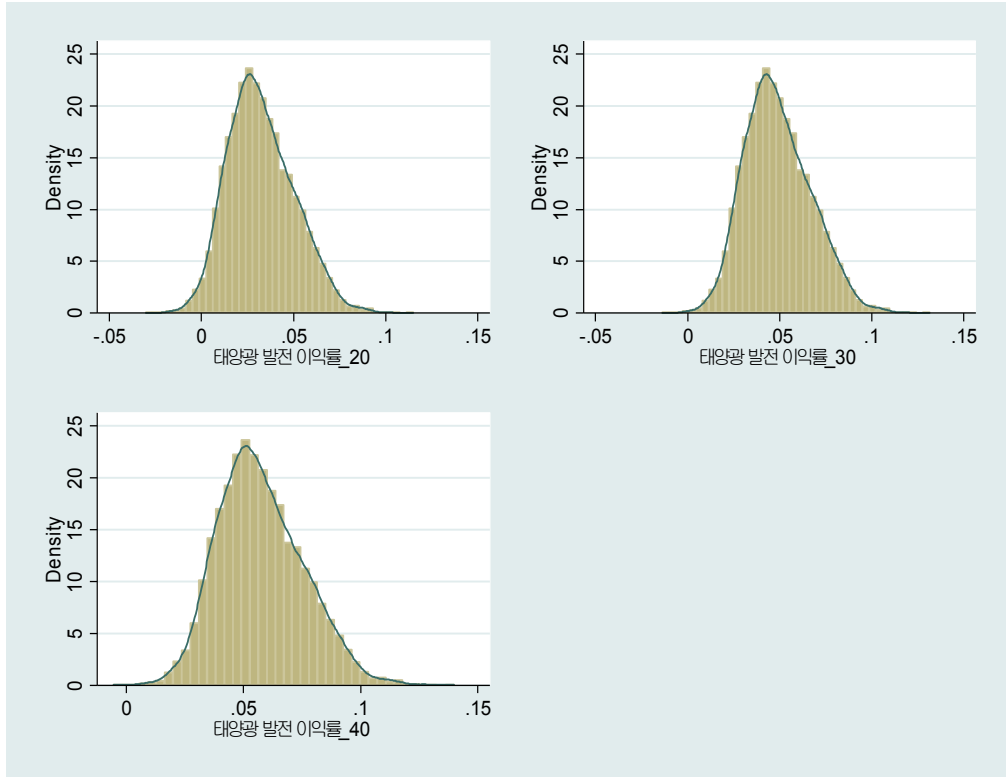
그림 4. SMP 및 REC 수익금과 태양광 발전의 총 수익금 및 이익금의 분포

단위: 백만 원



자료: 저자 작성.

그림 5. 태양광 발전 이익률의 분포



주: 태양광 발전 이익률\_20은 내용연수 20년의 경우를 나타내며 다른 분포도 동일하게 적용할 수 있다.

자료: 저자 작성.

#### 4.3. 한국농어촌공사 태양광 발전사업의 위험성 분석

다음으로, Value at Risk(VaR) 개념을 이용하여 태양광 발전사업의 위험성을 평가한다<표 9>. VaR(X)는 각각 VaR(1), VaR(5), VaR(10)에서 추정하였는데, 여기서 VaR(X)는 10,000개의 시뮬레이션 값 중  $(100 \times X)$ 번째 최솟값을 말한다. 예를 들어,  $X=1$  즉 VaR(1)의 경우 만약 태양광 발전소를 100년 운영하였을 때 그 100년 중 어떤 1년은 VaR(1)에 해당하는 이익률보다 낮게 나올 수 있음을 의미한다.

구체적인 분석 결과는 다음과 같다. 내용연수 30년을 기준으로 VaR(1)에서 이익률은 1.26%이며 태양광 발전 이익금은 약 4억 6,000만 원으로 나타났다. VaR(5)에서 이익률은 2.26%이며 이익금

은 약 8억 2,000만 원, VaR(10)의 경우 이익률은 2.73%이고 이익금은 약 9억 9,000만 원으로 계측되었다. 내용연수 20년(40년)을 기준으로 VaR(1)에서의 이익률은 -0.41%(2.09%), VaR(5)에서의 이익률은 0.59%(3.09%), VaR(10)에서의 이익률은 1.07%(3.57%)로 나타났다. 따라서 태양광 발전사업의 시장 여건이 불리한 상황에서도 내용연수 20년 기준 VaR(1)을 제외하고는 양의 수익률을 나타내는 것으로 나타났다. 하지만 이 연구에서 보수적으로 가정한 무위험투자 수익률 3%보다는 낮아 이익률의 변동성을 줄이기 위한 방안 모색이 필요한 것으로 보인다.

표 9. Value at Risk 분석 결과

단위: %, 백만 원

VaR(X)	내구연수 20년		내구연수 30년		내구연수 40년	
	이익률	태양광 발전사업 이익금	이익률	태양광 발전사업 이익금	이익률	태양광 발전사업 이익금
VaR(1)	-0.41	-148.46	1.26	455.11	2.09	756.89
VaR(5)	0.59	213.38	2.26	816.95	3.09	1,118.73
VaR(10)	1.07	386.39	2.73	989.96	3.57	1,291.74

주 1) 이 분석에서 VaR(X)의 의미는 10,000개의 시뮬레이션 값 중 (100×X)번째 최솟값을 의미함. VaR(1)의 경우 만약 태양광 발전소를 100년 운영하였을 때 100년 중 임의의 1년은 VaR(1)값에 해당하는 이익률보다 낮게 나올 수 있음을 의미함. 마찬가지로 VaR(5)의 경우는 임의의 5년이 VaR(5)값에 해당하는 이익률보다, VaR(10)의 경우는 임의의 10년이 VaR(10)값에 해당하는 이익률보다 낮게 나올 가능성이 있음을 의미함.

2) 태양광 발전사업 이익금은 기준 이익률이 VaR(1), VaR(5), VaR(10)일 때의 이익금을 의미함.

자료: 저자 작성.

## 5. 결론 및 정책 제언

2017년 출범한 문재인 정부는 ‘3020재생에너지 정책’을 발표하면서 2030년까지 신재생에너지 발전량 비중을 20%로 높이겠다고 선언하였다. 이러한 정책 기조에 따라 농업분야 역시 신재생에너지를 이용한 전력 생산과 관련한 여러 정책적 사업이 추진 중에 있다. 이에 대표적인 사업이 본 연구의 분석대상인 한국농어촌공사의 태양광 발전사업이다. 농식품부는 한국농어촌공사에 재정지원을 통해 농업기반시설에 태양광 발전시설을 설치하고 운영하도록 하고 있으며, 한국농어촌공사는 이 사업을 통해 생산된 전력 판매수입금을 기반정비 사업비(수리시설 유지관리비)로 투입하고 있

다. 이를 통해 장기적으로는 국가재정부담을 경감하고 단기적으로는 농업인의 영농편의를 도모할 뿐만 아니라 정부 신재생에너지 보급 확대라는 정책목표 달성에 일정부분 역할을 담당하고 있다.

농식품부는 이 사업에 대한 재정투입의 효과성을 평가하기 위해 전력 판매수입금을 수익성 지표로 설정하여 한국농어촌공사 신재생에너지 사업의 성과를 매년 평가하고 있다. 하지만 재정사업의 성과를 나타내는 지표가 단순히 전력 판매금액으로 설정되어 있어 이 지표를 통해 적절한 성과 평가가 이루어지기에는 힘들어 보인다. 보다 정확한 평가를 위해서는 재정투자 대비 수익 창출 규모를 분석한 지표의 활용이 적절하다. 더 나아가 전력 판매수입은 연도별, 월별, 시간대별로 변동성이 있기 때문에 위험성 분석도 실시하여 종합적인 재정투입의 효과를 산출할 필요가 있다.

본 연구는 이러한 문제의식에서 출발하여 한국농어촌공사 태양광 발전사업을 대상으로 재정투입 효과성을 분석하였다. 이를 위하여 단순 전력 판매금액이 아닌 연간 운영비용과 감가상각비를 고려하여 사업의 이익금 및 이익률을 도출하고 이들에 대한 위험성 분석을 실시하였다. 추가적으로 위의 분석에서 도출된 이익률과 VaR로부터 도출된 값을 이 사업 투자비의 기회비용으로 간주할 수 있는 무위험투자 수익률과 비교하여 사업의 효과성을 종합적으로 판단하였다. 분석과정에서 본 연구가 선행연구들과 차별성을 가지는 점은 사업의 수익성 분석에 있어서 확률변수로 설정한 시간별 SMP와 월별 REC 육지 현물가격이 각각 높은 상관관계를 나타냄에 따라 코플라 모델을 이용한 시뮬레이션을 통하여 이 문제를 해소한 점이다.

분석 결과, SMP 수익금은 평균 약 13억 7,000만 원이며, REC 수익금의 평균은 약 18억 2,000만 원으로 나타났다. 따라서 두 수익금을 합친 태양광 발전 수익금은 약 31억 9,000만 원이 된다. 여기서 연간 운영비용 2억 1,000만 원, 내용연수 30년 기준 감가상각비 약 12억 700만 원을 차감할 경우 태양광 발전 이익금은 약 17억 7,600만 원이며, 이 금액을 2016년까지 투입된 총 투자금액으로 나눠보면 한국농어촌공사 태양광 발전사업은 4.91%의 상당히 높은 이익률을 얻는 것으로 나타났다. 만약 무위험투자 수익률을 보수적으로 설정하여 3%로 가정하더라도 평균 약 1.64배 높은 수익률을 보였다. 감가상각비용이 가장 높은 내용연수 20년을 기준으로 보았을 때도 태양광 발전 이익금은 11억 7,300만 원, 이익률은 3.24%로 역시 무위험투자 수익률보다 높은 것으로 나타나 사업의 경제성은 충분한 것으로 나타났다.

추가적으로 Value at Risk(VaR) 개념을 이용하여 태양광 발전사업의 위험성을 평가한 결과, 내용연수를 30년으로 가정할 때 VaR(1)에서 이익률은 1.26%이며 태양광 발전 이익금은 약 4억 6,000



만 원으로 나타났다. VaR(5)에서 이익률은 2.26%이며 이익금은 약 8억 2,000만 원, VaR(10)의 경우 이익률은 2.73%이고 이익금은 약 9억 9,000만 원으로 예측되었다. 내용연수 20년(40년)을 기준으로 VaR(1)에서의 이익률은 -0.41%(2.09%), VaR(5)에서의 이익률은 0.59%(3.09%), VaR(10)에서의 이익률은 1.07%(3.57%)로 나타났다. 따라서 태양광 발전사업의 시장 여건이 불리한 상황에서도 내용연수 20년 기준 VaR(1)을 제외하고는 양의 수익률을 나타내는 것으로 나타났다. 그러나 대부분의 경우 이 연구에서 보수적으로 가정한 무위험투자 수익률 3%보다는 낮아 이익률의 변동성을 줄이기 위한 방안의 모색이 필요하다.

분석 결과를 토대로 지금보다 더 한국농어촌공사 태양광 발전사업의 수익성을 향상시키는 한편 위험성을 감소시키기 위해서는 다음과 같은 정책적 고려가 필요하다. 첫째, 출자금의 일정비율을 소규모 태양광 발전소 건립에 의무적으로 사용하도록 하는 방안 검토가 필요하다. 현재 한국농어촌공사 지사는 총 93개로, 지사의 건물을 활용하여 소규모 태양광 발전을 할 수 있고, 이는 높은 REC 가중치를 얻을 수 있기 때문에 REC 가중치가 낮은 태양광 발전지구보다 상대적으로 높은 이익률을 얻을 수 있다.

둘째, 사업 포트폴리오 전략 수립 측면에서 다양한 가격 거래 방식을 선택할 필요가 있다. 시물레이션 결과 현재 사업의 수익성이 충분한 것으로 나타났으나, 앞으로의 시장상황은 시물레이션 결과보다 악화될 가능성도 배제할 수 없다. 예컨대 현재 REC 육지 현물가격이 예상보다 빠른 속도로 하락하고 있는 것을 예로 들 수 있다. 따라서 SMP와 REC 가격의 변동성에 대비하기 위해 사업장별로 거래 가격 계약 방식을 다변화할 필요가 있다. 예를 들어 100KW 이하 발전용량을 가진 사업지구는 장기 고정가격 거래 방식이 가능한지 검토할 필요가 있으며, 상대적으로 발전용량이 큰 지구는 REC를 현물시장을 통한 거래 이외에 다른 계약 방식의 유불리를 세밀하게 검토해 볼 필요가 있다.

셋째, REC를 현물시장에서 판매할 때 한국농어촌공사 본사에서 의사결정을 할 필요가 있으며, 한국농어촌공사 지사의 실적치 부분에서 판매수익금은 제외하고 태양광 발전 사업관리를 실적 기준으로 변경하는 것을 고려할 필요가 있다. 현재 REC는 발급시점 이후 최대 3년까지 보유가 가능하다. 하지만 현재 한국농어촌공사는 태양광 발전소를 보유한 지사에서 REC 판매에 대한 의사결정을 하며, 지사 실적 및 평가 기준들 중 하나가 태양광 발전 수익금이기 때문에 발급받은 REC를 연내 판매할 가능성이 높다. 이는 3년의 보유시간을 충분히 활용하지 못해 REC 판매 의사결정을 제한하여 수익성 향상에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 높다. 이러한 점 때문에 지사의 실적 및 평가 기준

을 안정적인 발전소 운영과 연계되도록 변경하고, REC 판매는 보유기간 3년을 최대한 이용할 수 있도록 본사에서 판매시점을 판단하는 것이 수익성 제고를 위한 더 적절한 REC 판매 전략이 될 수 있다.

이 연구의 한계점으로는 먼저, 자료의 제약으로 인해 발전량을 확률변수가 아닌 고정변수로 취급한 점을 꼽을 수 있다. 이로 인해 발전량의 변동성은 분석에서 고려하지 못하였다. 두 번째, 자료의 제약으로 REC 판매 전략을 간소화하였으며 REC 가격의 분포를 정확히 추정하지 못하고 편의상 정규분포로 가정하여 실제 판매수익 발생과정을 명확히 모형에 반영하지 못하였다. 세 번째로, 에너지 저장 장치(Energy Storage System: ESS)의 연계여부가 고려되지 못해 수익성의 변화 여부를 정확히 반영하지 못하였다. 또한 본 연구는 단지 정규 코플라 모델을 이용하여 시뮬레이션 분석을 실시하였다. 정규 코플라는 확률변수 간 꼬리 종속성이 독립적이라는 가정을 내포하고 있어 분포의 꼬리 부분에서 나타나는 위험도를 과소평가하는 경향이 있다. 따라서 위험성을 이전보다 더 정확하고 보수적으로 계측하기 위해서는 앞서 언급한 내용들과 시뮬레이션 분석을 위해 추가적으로 가정된 사항들을 보완한 후속연구가 필요하다.

마지막으로, 본 연구 결과에 대한 주의가 필요하다는 점을 다시 한 번 언급하고자 한다. 본 연구의 분석은 한국농어촌공사의 내부 자료를 기초로 이루어졌으며, 분석 결과는 앞서 한계점으로 밝혔듯이 가용 자료의 제약이 있는 상황에서 도출되었다. 특히 비용부분에서 완전하지 않을 수 있음을 밝혀둔다. 또한 현재 전반적인 태양광사업과 관련하여 다양한 문제가 대두되고 있다. 따라서 본 연구의 결과를 인용하여 수익성만으로 한국농어촌공사 태양광사업이 옹호되어서는 안 되며, 해당 지역 주민의 수용성, 자연경관 훼손 등이 지적되고 있으므로 종합적인 판단이 이루어져야 할 것이다.

## 참고 문헌

- 구본상. 2013. “녹색 건설 사업의 FiT 및 CDM 보조방안에 의한 수익성 향상 분석에 관한 연구.” 『한국건설관리학회』 제14권 제3호. pp. 123-138. DOI: 10.6106/KJCEM.2013.14.3.123
- 김영경, 장병만. 2012. “한국 태양광발전사업의 에너지균등화비용(LOCE) 추정: 재무적 투자자 참여사업을 대상으로.” 『신재생에너지』 제8권 제3호. pp. 23-29. UCI: G704-SER000010498.2012.8.3.002
- 김인식, 이정기, 이경수. 2016. “경기도 신재생에너지 자원조사연구 최종보고서.” 신우디엔디.
- 김종민, 김기영. 2008. “신재생에너지 발전(태양광, 풍력, 소수력, 바이오가스)의 경제성 분석 연구.” 『한국태양에너지학회』 제28권 제6호. pp. 70-77. UCI: G704-000882.2008.28.6.005
- 김태후, 김성섭, 서상택. 2017a. “농업인안전보험 보장수준 조정 방안.” 『농업경제연구』 제58권 제1호. pp. 1-24. UCI: G704-000586.2017.58.1.002
- \_\_\_\_\_. 2017b. “스튜던트 T 코폴라 모델을 이용한 지역별 쌀 생산량의 공간적 종속성 추정.” 『농업경제연구』 제58권 제3호. pp. 25-44.
- 김태후, 서상택. 2011. “저장사과 최적 출하시기 결정 모형 개발: 시뮬레이션을 결합한 모델을 중심으로.” 『농업경제연구』 제52권 제1호. pp. 29-48. UCI: G704-000586.2011.52.1.001
- 서미자, 우제택, 이재환, 서태원, 한명희. 2015. “임차공간 설치 태양광 발전시스템 경제성 평가에 관한 연구.” 『한국전자통신학회』 제10권 제12호. pp. 1373-1380. UCI: G704-SER000000489.2015.10.12.002
- 서상택, 김태후. 2009. “저장사과 출하시기별 기대소득의 확률 우위성 분석.” 『농업경제연구』 제50권 제1호. pp. 85-101. UCI: G704-000586.2009.50.1.002
- 신재생 원스톱 사업정보 통합포털. <onerec.kmos.kr>. 검색일: 2019. 1. 8.
- 이수일, 노재형, 백철우. 2015. “신재생에너지 보급정책의 효율화 방안 연구.” 한국개발연구원.
- 전력통계정보시스템. <epsis.kpx.or.kr/epsisnew>. 검색일: 2019. 1. 8.
- 허승룡, 황원호, 홍태훈, 현창택. 2008. “태양광 발전사업과 일반보급사업의 경제성 분석.” 『대한건축학회 학술발표대회 논문집』 제28권 제1호. pp. 693-696.
- 한국에너지공단. “2017년 신재생에너지 보급통계.” <www.knrec.or.kr/pds/statistics\_read.aspx?no=78&searchfield=&searchword=&page=1>. 검색일: 2019. 1. 8.
- 한국은행 경제통계시스템. <ecos.bok.or.kr>. 검색일: 2019. 1. 8.
- Goodwin, B. K. and A. Hungerford. 2015. “Copula-based Models of Systemic Risk in US Agriculture: Implications for Crop Insurance and Reinsurance Contracts.” *American Journal of Agricultural Economics*. vol. 97, no.3, pp. 879-896. DOI: 10.1093/ajae/aa086
- Goodwin, B. K. and O. Mahul. 2004. “Risk Modeling Concepts Relating to the Design and Rating of Agricultural Insurance Contracts.” *World Bank Policy Research Working Paper #3392*. DOI: 10.1596/1813-9450-3392
- Hu, L. 2006. “Dependence Pattern across Financial Markets: A Mixed Copula Approach.” *Applied Financial Economics*. vol. 10, pp. 717-729. DOI: 10.1080/09603100500426515
- Patton, A. J. 2006. “Modelling Asymmetric Exchange Rate Dependence.” *International Economic Review*. vol. 47, pp. 527-556. DOI: 10.1111/j.1468-2354.2006.00387.x
- Richardson, J. W. 2005. Simulation for Applied Risk Management with Simetar. Lecture Note. Texas A&M University. May 2005.

Zimmer, D. M. 2012. "The Role of Copulas in the Housing Crisis." *Review of Economics and Statistics*. vol. 94, pp. 607-620. DOI: 10.1162/rest\_a\_00172

Zimmer, D. M. 2015. "Analyzing Comovements in Housing Prices using Vine Copulas." *Economic Inquiry*. vol. 53, pp. 1156-1169. DOI: 10.1111/ecin.12156

원고 접수일: 2019년 4월 12일
원고 심사일: 2019년 4월 24일
심사 완료일: 2019년 12월 18일

## 부록. 두 확률변수 간 종속성에 따른 확률 분포의 변화

간단한 시뮬레이션을 이용하여 두 확률변수 간의 종속성 반영 여부가 두 확률변수로부터 새롭게 표현된 확률변수의 확률분포에 어떠한 영향을 미치는지 확인하고자 한다. 구체적으로 두 확률변수가 독립적일 경우, 양의 종속성을 가질 경우, 음의 종속성을 가질 경우 등 총 3개의 사례를 들어 두 확률변수로부터 새로이 정의된 확률변수의 기초통계치, 분포모양을 비교한 후  $VaR(X)$ 를 제시하고자 하며 분석 절차는 다음과 같다.

1. 두 확률변수  $X$ 와  $Y$ 는 아래와 같은 정규분포를 따른다고 가정한다.

$$X \sim N(10, 3), Y \sim N(10, 2)$$

2. 종속성에 따른 차이를 나타내기 위해 두 확률변수가 1) 독립적일 경우(상관관계가 0), 2) 양의 종속성을 가질 경우(상관관계 0.8), 3) 음의 종속성을 가질 경우(상관관계 -0.8)를 가정한다.
3. 새롭게 정의된 확률변수  $Z = X + Y$ 라고 하자. 두 확률변수  $X, Y$ 로부터 앞서 언급된 세 가지 경우의 상관관계를 부여한 후 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 각각 100,000번을 반복 추출한다. 추출된 값들로부터 확률변수  $Z$ 의 기초통계치, 확률분포,  $VaR(X)$ 의 비교를 통해 종속성에 따른 차이를 제시한다.

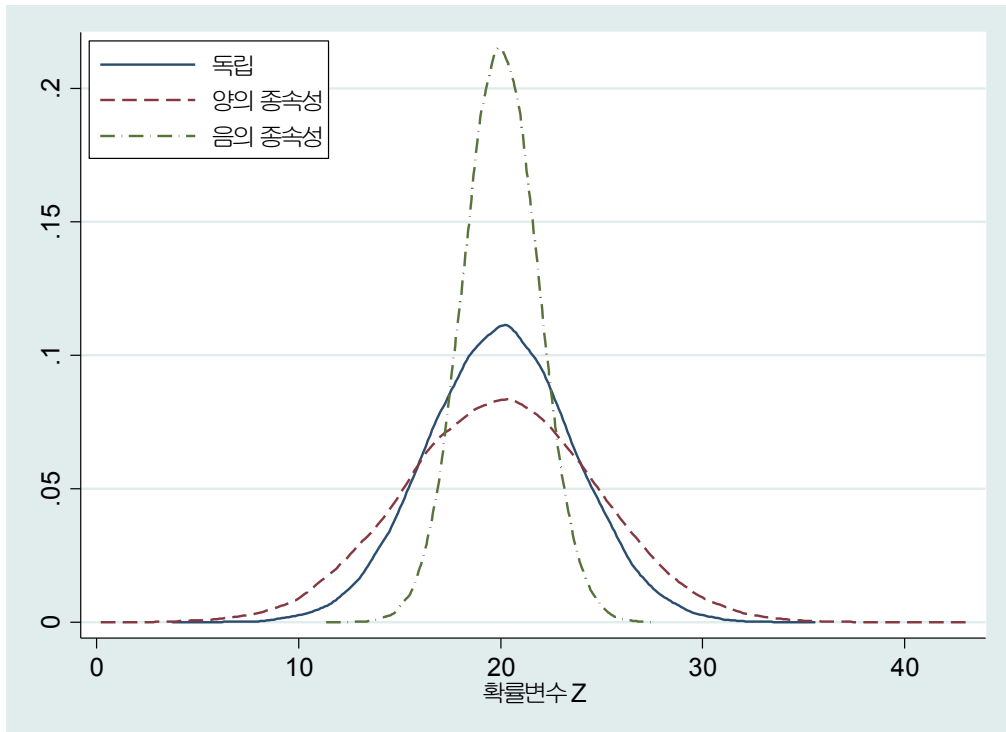
<부표 1>은 종속성에 따른 확률변수  $Z$ 의 기초통계치를 나타낸다. 독립성, 양의 종속성, 음의 종속성이 부과되더라도 평균은 약 20으로 사실상 동일한 것을 알 수 있으나 표준편차, 최솟값, 최댓값에서 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 표준편차 크기는 양의 종속성 > 독립성 > 음의 종속성 순으로 나타났다으며 이에 따라 최솟값도 양의 종속성(음의 종속성)이 부과될 때 가장 작았으나(켰으나) 반대로 최댓값 역시 양의 종속성(음의 종속성)이 부과될 때 가장 컸다(작았다). 독립성 가정이 부여될 경우 표준편차, 최솟값, 최댓값 모두 양의 종속성과 음의 종속성 사이에 위치하였다.

부표 1. 종속성에 따른 확률변수 Z의 기초통계치

가정	평균	표준편차	최솟값	최댓값
독립성	20.01	3.61	3.75	35.53
양의 종속성	19.99	4.77	0.20	43.21
음의 종속성	20.0	1.84	11.35	27.67

<부도 1>은 종속성 반영 유무에 따른 확률변수 Z의 확률 분포를 나타낸다. 양의 종속성을 부과할 경우 독립적인 경우와 비교했을 때 분포가 더 넓게 퍼져 있는 것을 알 수 있으며 음의 종속성일 경우는 그 반대로 나타났다. 이는 확률변수들 간에 종속성을 무시할 경우 분포의 꼬리 부분을 이용한 위험성 분석 시 종속성에 따라 위험을 상당히 과소 혹은 과대평가할 수 있음을 나타낸다.

부도 1. 종속성에 따른 확률분포의 변화



<부표 2>는 종속성에 따른 분포의 꼬리 부분의 위험도를 계측하기 위해 시뮬레이션으로부터 추출된 데이터를 이용하여 VaR(X)를 계측한 결과를 보여준다. 양의 종속성 부과 시 VaR(1),

VaR(5), VaR(10) 모두 독립적인 경우와 비교할 때 평균값으로부터 더 멀어짐을 알 수 있다. 이는 상호간에 종속성을 가지는 확률분포들을 이용하여 도출된 새로운 확률변수 분포의 꼬리부분을 이용한 위험성 분석 시 반드시 확률변수 간의 종속성을 반영해야 함을 의미한다.

부표 2. 종속성에 따른 VaR(X)

가정	VaR(1)	VaR(5)	VaR(10)
독립성	11.60	14.08	15.39
양의 종속성 부과 가정	8.91	12.14	13.86
음의 종속성 부과 가정	15.73	16.99	17.64