

실물옵션을 활용한 새만금 수상태양광 투자사업의 수익성 분석

김경석^{1*}

¹원광대학교 토목환경공학과 조교수

Real Options Analysis for the Investment of Floating Photovoltaic Project in Saemangeum

Kim, Kyeongseok^{1*}

¹Assistant Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Wonkwang University

Abstract : Saemangeum Development is the largest national project in South Korea, which has been developed for an agricultural, economic and tourist area for 30 years from 1987. In order to convert power sources that used to depend on nuclear and thermal power to eco-friendly for carbon reduction, the government plans to construct a 2.1GW floating photovoltaic project by investing 4.6 trillion won, as a public-private project. For success of the Saemangeum floating photovoltaic project, economic feasibility should be checked. This study defined the factors (construction cost, electricity selling price, power generation and maintenance cost) that give a effect to the volatility of the floating photovoltaic payoffs, and analyzed the volatility of payoffs during 20 years operation period. NPV and option value of the project were calculated by applying an option to abandon. According to NPV analysis, it is determined that projects are difficult to invest. But this project has economic feasibility through real options analysis. This study is expected to help decision-makers in the economic analysis of floating photovoltaic projects by using the real options analysis.

Keywords : Saemangeum, Floating photovoltaic project, Real Options, Economic Assessment, Uncertainty

1. 서론

전 세계적으로 신재생에너지 분야는 계속 성장하고 있다. 2019년 기준으로 신재생에너지 발전설비는 전년대비 8.4% 성장하여 200GW의 설비가 추가되었으며, 특히 태양광이 115GW로 가장 많이 설치되었다(REN21, 2020). 태양광은 2013년 전체 에너지원 중 9.6%이었지만 2018년은 11%로 지속적으로 성장하고 있다(REN21, 2020). 태양광 에너지 보급 확대에 태양광 연관 건설, 제조업, 운영업 등 관련 산업이 크게 성장하고 있다. 우리나라 정부는 국가 온실가스 감축목표를 설정하고 신재생에너지 발전비중을 확대하는 계획을 발표하고, 수상태양광과 해상풍력 분야에 대규모 투자를 추진하고 있다. 이러한 국가정책에 의해서 태양광산업은 크게 성장했지만 전기요금이 다른 나라에 비해서 현저히 낮은 편

이고, 중국을 비롯한 태양광 제조회사들로 인해 가격경쟁이 심해지고 있어 설치비가 낮아져 국내업체들의 태양광 산업 성장이 쉽지 않다(Lee & Cho, 2018). 우리나라 정부는 태양광사업의 낮은 경제성에도 불구하고 기후변화에 대응하고자 많은 프로젝트를 추진하고 있으며, 가장 큰 규모는 새만금 수상태양광사업이다.

정부는 아래와 같은 이유로 역사상 가장 큰 규모의 투자가 필요한 새만금 수상태양광사업을 추진하고 있다. 첫째, 농업 산업 육성을 위해 개발되던 새만금사업은 그동안 여러 가지 이유로 인해서 방향성을 잃고 현재 계획대비 38%의 면적만 개발이 진행되고 있으나 추가적인 투자는 자원문제로 힘들다(SDIA, 2020). 하지만 최근 정부 에너지정책이 변경되면서 새만금 개발방향을 신재생에너지 분야로 특화하여 추진력을 확보하여 속력을 내게 되었다. 원자력과 화력에 의존하던 우리나라 전력원을 탄소저감을 위한 친환경으로 전환해야하는 상황이다. 이를 위해서 신재생에너지원 중 하나인 태양광발전소를 크게 만들고 새만금 지역에 관련 사업을 육성하고자 한다(SDIA, 2020). 둘째, 수상태양광의 경우 지상태양광보다 높은 전기판매가격을 받을 수 있어, 수익성을 확보할 수 있다. 따라서 대규모 투자가 필요한 수상태양광발

* **Corresponding author:** Kim, Kyeongseok, Department of Civil & Environmental Engineering, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

E-mail: kim2018@wku.ac.kr

Received August 28, 2020: **revised** December 15, 2020

accepted December 28, 2020

전사업이 가능할 수 있게 되었다. 또한 발전수익을 통해서 새만금지역의 다른 개발을 촉진하고자 한다. 셋째, 태양광은 어디든지 쉽게 설치가 가능하지만, 대규모 태양광발전소를 설치함으로써 발생할 수 있는 지역주민의 민원이 주거지역과는 먼 해상에 설치가 가능함으로써 지역주민의 불만을 낮출 수가 있다.

새만금의 수상태양광사업이 성공하려면 사업의 경제적 타당성에 영향을 주는 주요 요소들을 찾아내고, 그 변동성을 분석함으로써 좀 더 정확하게 프로젝트의 투자타당성을 평가할 수 있다. 많은 연구에서 태양광발전사업은 건설비용, 전기판매가격, 유지관리비, 그리고 발전량 등에 의해서 수익성에 영향을 받는 것으로 증명되었다. 하지만 지상태양광 발전프로젝트와는 다르게 해상태양광의 특성을 고려하여 좀 더 세밀한 분석이 필요하다. 본 연구는 새만금사업 중 수상태양광사업의 사업 타당성을 경제적 측면에서 검토함에 있어서 수상태양광사업의 매출에 영향을 주는 중요한 요소를 정의하고 변동성을 분석하여 유사한 사업을 추진하고자 하는 의사결정자들에게 투자결정에 있어서 도움을 주고자 한다. 또한 수상태양광발전사업을 추진하고자 하는 중앙정부나 지방정부에게 정책을 입안하는데 가이드라인을 제시하고자 한다.

2. 새만금 수상태양광프로젝트

2.1 우리나라 수상태양광발전 현황

(Fig. 1)은 2019년 현재 우리나라 전력발전시설의 설비용량을 연료원별로 분류한 그래프이다. 우리나라 전체 발전용량 121.79GW설비용량 중 현재 신재생에너지는 9.31GW(7.6%)이지만 정부에서는 2030년까지 신재생에너지를 20%로 상향하겠다는 계획을 세웠으며 그 중 태양광의 비중을 57%(설비용량 36.5GW)로 확대하겠다고 공언했다(MOTIE, 2019). 정부는 환경파괴로 인한 민원을 방지하고 무분별한 태양광발전소 건설을 방지하기 위해 산지태양광 허가제 도입과 사업권 양도양수를 제한하고 있고, 태양광 안전시공기준을 마련했다. 이 제도는 정부가 초기 태양광산업 육성을 위해서 양적확대시장에서 질적 관리로 전환한 것이다. 이러한 영향으로 수상태양광사업이 육상태양광사업의 대안으로 확대되고 있다.

전 세계적으로 2015년도 이후 아시아 국가를 중심으로 수상태양광 건설이 증가하고 있으며, 우리나라는 농업용 저수지에 집중적으로 설치하고 있다. 특히 최근 화석연료 발전의 문제점인 미세먼지와 지구온난화를 해결하기 위해 신재생에너지로의 전환의 일환으로 초기에 무분별하게 시행된 육상태양광 발전시설의 환경적 문제점을 해결하고, 국토

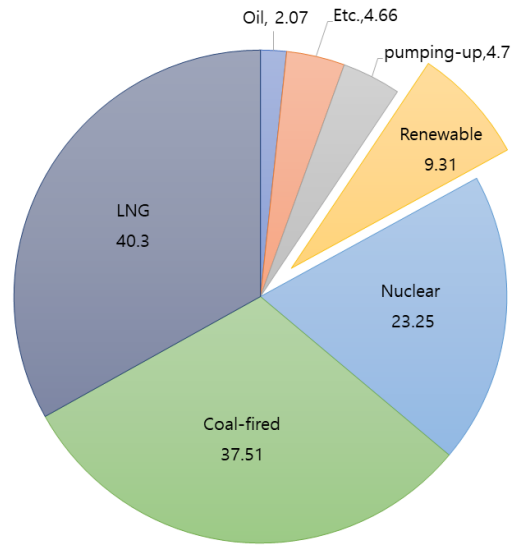


Fig. 1. Power Generation Capacity by Fuel Source in the South Korea (unit : GW) (MOTIE, 2019)

효율화를 추진하고자 수상태양광으로 전환하고 있다(Noh & Lee, 2019). 이와 같은 정부의 정책을 반영하듯 물 관리하는 대표적인 공기기업인 한국수자원공사는 식수용 댐 수상태양광발전사업을 하고 있고, 한국농어촌공사는 전국의 농업용 저수지에서 발전사업을 확대하고 있다. 그리고 한국수력원자력을 비롯한 발전사업자들도 수상태양광사업을 운영하고 있다. 하지만 수상태양광이 유발하는 수질오염과 물속 생태계변형 등 수중환경과 발전설비의 안전성에 대한 우려들이 지속적으로 문제가 되고 있다. 수상태양광발전사업의 역사가 오래 되지 않았기 때문에 이러한 환경과 안전성 문제에 대해 많은 연구가 진행되어야 한다. 하지만 본 연구는 수상태양광발전사업의 환경적 문제점 보다는 경제성 측면에서 분석하고 투자의 착안점을 찾고자 한다. 수상태양광발전사업을 본격적으로 추진한지 얼마 되지 않은 우리나라의 전력시장을 고려하여 수상태양광사업의 변동성을 분석하여 투자분석을 하고자 한다.

2.2 새만금사업 수상태양광 프로젝트개요

새만금은 전라북도 군산시, 김제시, 그리고 부안군에 접해 있으며, 세계최장의 방조제(33.9km)를 축조하여 토지와 호소를 방조제 안에 조성하는 국책사업으로 1987년부터 30년간 진행되고 있는 중앙정부의 큰 규모의 투자 사업이다. 정부는 새만금개발을 위해서 2013년에 새만금개발청을 만들어 단군 이래 최대 간척사업을 완성시키려는 의지를 보이고 있다. 환경단체, 종교단체, 그리고 지역주민들의 수십 년간 계속된 요청과 법적 소송으로 새만금개발사업은 현재 녹색성장 시범지역으로 가장 환경 친화적인 사업을 추진하고 있다(SDIA, 2020). 친환경사업의 일환으로 우리나라 최

대 규모의 신재생에너지 클러스터를 조성하고 있다. 태양광 2.8GW(수상태양광 2.1GW 포함), 풍력 0.1GW와 연료전지 0.1GW의 신재생에너지 단지는 총 3.0GW의 시설용량으로 국내 최대 규모이며, 2020년 사업모델을 확정하고, 현재 구체적인 세부계획을 투자자와 사업시행자 등과 협의 중이다 (SDIA, 2020). 이러한 추진배경은 새만금지역이 다른 지역에 비교하여 풍부한 일조량과 바람자원이 태양광과 풍력사업을 추진하기 유리하기 때문이다. <Fig. 2>는 새만금수상태양광프로젝트의 위치를 나타낸다.

새만금의 신재생에너지사업 중 수상태양광발전사업은 2.1GW의 시설을 민간기업과 정부산하 공기업이 특수목적 법인을 설립하여 방조제 내측 공유수면에 4조 6천억원을 투자하는 사업이고, 관련 시설은 2025년에 완공될 계획이다. 본 연구의 프로젝트 개요는 <Table 1>에 설명되었으며, 아직 정해지지 않은 일부 내용은 분석을 위해서 가정하였다. 투자금액(4조 6천억원)은 5년간 균등하게 매년 0.92조씩 투자하는 것으로 가정하였다.

Table 1. Project Descriptions of Floating Solar Power in Saemangeum

Project Condition		Investment Period (5Years)	Operation Period (20Years)
Electricity Selling Price (Won/kWh)	SMP	-	112.25
	REC	-	122.90
Solar Power Generation Capacity	Installation	2.1GW	
	Power Generation Efficiency	0.75	
	Annual Power Generation Efficiency Reduction Rate	-	0.5%
Investment Cost (Won)		4.6 Trillion	
Discount Rate		10%	
Inflation Rate		3.4%	
Risk free Rate		5%	
Daylight Duration (Hour)		4.33	
Installation Area (km ²)		30	
Annual Operation & Maintenance Cost (%)		-	1.5% of Investment Cost

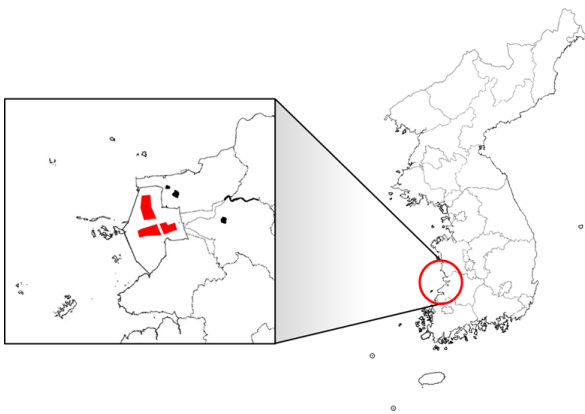


Fig. 2. Project Location

기상청의 과거자료 2000년부터 2019년 동안 20년 자료를 분석한 결과 새만금지역의 일조시간은 6.2시간이다(KMA, 2020). 그러나 일조시간 내내 태양광발전을 할 수 있지는 않으며, 그늘, 먼지, 구름, 눈, 비의 기후적인 영향과 환경오염, 태양광발전시설의 효율 등에 의해서 발전할 수 있는 시간은 줄어든다. 새만금의 수상태양광의 경우 종합효율계수 0.7을 적용하여 4.33시간을 일조시간으로 가정하였으며, 발전량 계산과정의 설비 및 기계적인 효율은 0.75로 가정하였다. 수상태양광에서 생산된 전력은 한국전력거래소를 통해서 판매를 하게 된다. 일반 발전사업자는 전기를 판매하고 전력계통한계가격(System marginal Price; SMP)에 근거하여 전기판매가격이 정해지지만, 신재생에너지를 판매하는 사업자는 신재생에너지 공급의무할당제도에 의해 신재생에너지 공급인증서(Renewable Energy Certificate; REC)를 판매하여 SMP외에 추가적으로 수익을 얻을 수 있다. 수상태양광은 REC 가중치를 1.5로 책정하여 지상태양광의 REC 가중치 0.7보다 더 높은 가격에 판매할 수 있어 유리하다(KEA, 2020).

Table 2. Historical Electricity Selling Price

Year	SMP (Won/kWh)	REC (Won/kWh)
2019	90.09	63.35
2018	94.64	98.37
2017	81.39	129.97
2016	76.91	134.59
2015	101.54	91.78
2014	141.78	109.94
2013	151.56	175.50
2012	160.12	179.71
Average	112.25	122.90

새만금 수상태양광사업에 적용한 물가상승률(3.4%), 할인율(10%), 무위험이자율(5%), 매년 필요한 운영 및 정비비용(매출액의 1.5%)은 <Table 1>과 같이 가정을 하였다. 물가상승률은 최근 30년 동안의 물가상승률 자료의 평균값을 적용하였다(World Bank, 2020). 할인율과 무위험이자율은 투자사업의 경제적 타당성분석을 하는 프로젝트기간 동안의 발생하는 미래가치를 현재가치로 환산하여 투자하지 않고 안전자산에 투자한 것과 비교하기 위해서 가정된 값이다. IEA (2010)에서 에너지 투자사업의 경제성분석을 할 때 국가별로 에너지 가격과 이산화탄소배출권 판매가격 등에 따라 5% 또는 10%를 제안하고 있으나 본 연구의 수상태양광 투자사업은 화석연료 에너지발전사업보다 불확실성이 높기 때문에 10%를 할인율로 사용하였다. 무위험이자율은 1997년부터 2018년까지 우리나라 국고채3년물의 평균값 5%를

적용하였다. 신재생에너지 발전의 운영 및 정비비용은 태양광발전의 경우 1% 유지관리비용을 적용하나(Kang et al., 2017), 본 사례연구의 경우 해상에서 정비작업이 이뤄짐을 감안하여 연간 매출액의 1.5%로 가정하였다. 전기판매가격 SMP와 REC는 한국전력거래소 자료의 2012년부터 2019년까지 자료(Table 2)의 평균값을 구해서 적용했으며, REC는 신재생에너지발전사업을 양성하고자 정부에서 한시적으로 지원하는 보조금의 성격이다. 따라서 본사업의 경우에는 운영 10년 동안만 보조금을 지급하는 것으로 계산하였다. 정부는 신재생에너지 공급의무화당제도를 통해 정부의 의지대로 많은 신재생에너지 시설들이 설치되고 있다. 이에 따라 곧 신재생에너지발전단가와 화석연료발전단가가 같아지는 시기가 도래하면 정부의 REC제도가 폐지가 예상됨에 따라 REC는 10년간만 지급받는 것으로 가정하였다. 과거에도 신재생에너지 발전설비로 생산한 전력을 정부가 고정된 가격으로 구입해주는 제도인 발전차액제도(Feed-in Tariff; FIT)를 재정부담으로 2011년 폐지한 경우가 있다. 태양광 패널의 성능은 매년 저하되어 전력효율 성능감소율은 일반적으로 육상의 경우 0.8%를 적용한다(Cho & Lee, 2018). 하지만, 수상태양광의 성능감소율이 육상보다는 적다는 Park

et al. (2019)연구가 있음을 고려하여 0.5%로 가정하였다. 프로젝트기간은 새만금개발청이 계획하고 있는 설계 및 건설 기간 5년이다. 운영기간은 통상적으로 태양광모듈의 수명인 20년으로 태양광발전설비의 운영기간을 20년으로 가정하였다(Kang et al., 2017).

3. 연구방법론

3.1 수상태양광발전량 산정

일반적으로 발전사업의 경제성평가를 위해서 필요한 변수는 프로젝트 총 투자비용, 발전량, 전기판매가격, 유지관리비, 이자율 등을 고려해야 한다. 발전사업 수익의 근간이 되는 발전량 산정하는 방법은 여러 방법이 있다. 특히, 수상태양광발전량은 수온의 영향으로 육지보다 발전량이 증가한다(Lee et al., 2012). 하지만, 새만금 수상태양광 발전설비의 기계적 성능, 설치할 위치와 방향이 아직 확정되지 않았기 때문에 정확하게 발전량을 산정하는 것은 쉽지 않다. 태양광에너지에 의한 발전량은 시간이 지남에 따라 기계적 성능의 저하로 인하여 발전량이 매년 저하되고, 일사기간과 수상태양광설치용량의 식으로 표현된다. 본 연구에서 수상태

Table 3. Detail of Project Cash flow

(*Unit : 100,000,000 Won)

year	Annual average energy production (kWh)*	Electricity Seling Price (Won/kWh)	Annual Sales*	O&M cost (1.5% of the annual sales)*	investimet costs*	Annual Expense*	Free Cash flow*
2020					9,200	9,200	- 9,200
2021					9,200	9,200	- 9,200
2022					9,200	9,200	- 9,200
2023					9,200	9,200	- 9,200
2024					9,200	9,200	- 9,200
2025	24.90	296.61	7,384.77	130.93		130.93	7,254
2026	24.77	296.61	7,347.84	134.70		134.70	7,213
2027	24.65	296.61	7,311.11	138.59		138.59	7,173
2028	24.53	296.61	7,274.55	142.58		142.58	7,132
2029	24.40	296.61	7,238.18	146.69		146.69	7,091
2030	24.28	296.61	7,201.99	150.92		150.92	7,051
2031	24.16	296.61	7,165.98	155.27		155.27	7,011
2032	24.04	296.61	7,130.15	159.75		159.75	6,970
2033	23.92	296.61	7,094.50	164.35		164.35	6,930
2034	23.80	296.61	7,059.02	169.09		169.09	6,890
2035	23.68	112.25	2,658.20	65.84		65.84	2,592
2036	23.56	112.25	2,644.91	67.74		67.74	2,577
2037	23.44	112.25	2,631.69	69.69		69.69	2,562
2038	23.33	112.25	2,618.53	71.70		71.70	2,547
2039	23.21	112.25	2,605.44	73.77		73.77	2,532
2040	23.09	112.25	2,592.41	75.89		75.89	2,517
2041	22.98	112.25	2,579.45	78.08		78.08	2,501
2042	22.86	112.25	2,566.55	80.33		80.33	2,486
2043	22.75	112.25	2,553.72	82.65		82.65	2,471
2044	22.64	112.25	2,540.95	85.03		85.03	2,456

양광발전시설의 연간발전량은 태양광 판넬을 포함한 발전 설비의 기능저하를 고려하기 위해서 아래와 같은 Eq. (1)을 사용하여 계산하였다.

$$E = 365\alpha(1 - \beta^n)PH \quad (1)$$

여기서, 연간 발전량(E in kWh)은 발전효율(α), 연간발전 감소율(β), 운영을 시작한 해부터의 기간(n in year), 수상태 양광설치 용량(P in GW), 그리고 일사시간(H in hour)이다.

<Table 3>은 연간발전량, 판매단가에 의한 매출액 항목, 그리고 유지관리비와 건설비에 의한 지출액 항목을 구하였으며, 매년의 순현금흐름을 구했다.

<Fig. 3>은 프로젝트 기간 동안의 현금흐름을 표시하였으며, 수상태양광발전설비의 투자비용은 5년 동안 균등하게 투자되며 빨간색으로 표시하였다. 설치가 완료된 후 20년 동안 발전소를 운영하면서 발생하는 수익은 매년마다 검은 색으로 표시하였다.

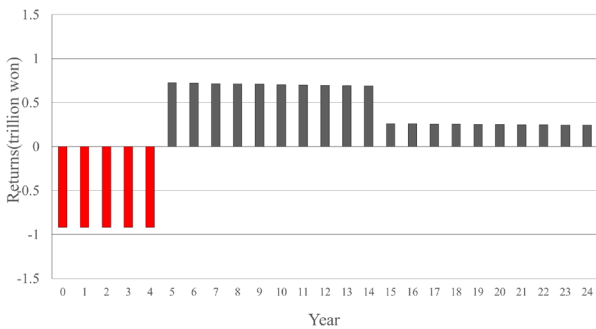


Fig. 3. Cash flow of the Project

3.2 프로젝트의 실물옵션 적용 경제성평가

발전프로젝트의 경제성은 전기를 판매하여 얻은 수익과 비용(발전설비 건설비, 정기적인 설비 유지 및 보수비용)의 차이를 분석하여 결정된다. 전통적인 경제성분석방법인 순현재가치(Net Present Value: NPV)기법의 산정은 Eq. (2)과 같이 경제성평가를 수행할 프로젝트기간 동안의 이자율을 고려한 총수익에서 총비용을 차감하여 수익성을 검토한다. NPV값이 음의 수가 나오면 경제적 타당성이 없으며, 양수 즉, 0보다 큰 경우 경제적 타당성이 있다고 판단하며, NPV 값이 상대적으로 큰 값이 나올수록 수익성이 좋다.

$$NPV = \sum_{i=0}^n \left[\frac{B_i - C_i - OM_i}{(1+r)^i} \right] \quad (2)$$

여기서, B_i 는 i 년도의 전기판매 매출액, C_i i 년도의 투자 금액, OM_i i 년도의 운영 및 유지비용, r 할인율, 그리고, n

은 경제성평가를 원하는 프로젝트기간이다.

실물옵션을 적용한 경제성평가의 방법은 전통적인 경제성분석방법인 순현재가치기법(NPV)과 다르게 프로젝트의 기획단계에서 예측이 어려운 변동성이 큰 불가역적 사회기반시설의 경제성 분석을 하는데 활용가능하다(Kim & Oh, 2017). 프로젝트 수익에 큰 영향을 줄 수 있는 변동성에 적절히 대응하기 위해서 유연한 경영적 옵션권리를 구사하여 수익을 극대화하고 경제성평가방법이다(Mayer et al., 2017). 과거 태양광발전은 정부보조금 정책으로 프로젝트 투자가 성공적이었으나, 현재는 저렴한 태양광발전 기술의 발달과 설치 장소 다양화에 따른 경제성이 좋아 지고 있다. 하지만 기후변화로 인해서 일조시간 변화를 비롯한 여러 가지 기상 변화의 불확실성이 커지고, 정부가 신재생에너지 발전회사들에게 지급하는 전기보조금이 점차 줄고 있다. 많은 연구들은 보조금이 포함된 전기판매단가, 에너지생산량, 그리고 투자비용이 투자여부를 결정하는 중요한 요소들이라고 한다(Kim, 2017).

실물옵션기반 경제성분석은 수익의 변동성을 예측하고, 프로젝트에 적용가능한 적절한 옵션의 종류를 선택하는 것이 중요하다. 변동성의 크기에 따라서 프로젝트의 수익이 증가할 수도 있고, 적자가 발생할 수도 있기 때문에 변동성을 예측하는 것이 실물옵션분석에서 가장 우선해야 하는 중요한 단계이다. 수익의 변동성(σ)은 Eq. (3)과 같이 프로젝트 현금흐름을 추정하여 단위 시간 당 이익의 표준편차를 구하는 로그현금흐름이익기법(Logarithmic cash flow return method)이 주로 사용된다(Kodulula and Papudesu, 2016).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

여기서, n 은 프로젝트 기간 내 현금흐름 연매출의 개수이고, x_i 은 i 번째 현금흐름 매출, \bar{x} 는 x_i 의 평균값이다.

변동성이 큰 프로젝트에 적용이 가능한 옵션은 여러 가지가 있다. 불확실성이 해소될 때 투자하는 연기옵션(Option to Wait), 불확실성으로 미래수익이 적자가 예상될 때 시행하는 포기옵션(Option to Abandon), 원하는 시기에 프로젝트를 확장할 수 있는 확장옵션(Option to Expand), 단계별로 진화하는 프로젝트에 적용 가능한 복합옵션(Compound Option), 성격이 다른 두 가지 이상의 변동성을 동시에 적용 가능한 레인보우옵션(Rainbow Option)과, 시간에 따라 다른 변동성을 적용할 수 있는 변동성변화옵션(Option with Changing Volatility) 등이 실물옵션분석방법에 흔히 쓰이는 옵션이다. 본 연구는 새만금수상태양광프로젝트에 포기옵션을 적용하여 경제적 타당성이 없을 시 프로젝트를 포기하

는 옵션을 적용하는 실물옵션기반 경제성분석을 적용할 예정이다.

실물옵션의 가치를 구하는 방법은 여러 가지 있으나 본 연구는 Kodulula and Papudesu (2016)가 제시한 이항격자 모형(Binomial lattice model)을 사용하고자 한다. 이항격자 모형은 옵션적용시점을 시각화할 수 있고, 다른 방법보다 계산방법이 단순하다. 이항격자모형에서 각 시간의 옵션값은 Eq. (4)와 같이 구할 수 있다(Kodulula and Papudesu, 2016).

$$C = e^{-r_f \Delta t} [qC_u + (1-q)C_d] \tag{4}$$

여기서, r_f 는 무위험이자율, C_u 와 C_d 는 옵션값의 상승과 하락기대 값이며, q 는 위험중립확률로서 $q = \frac{(e^{r_f \Delta t} - d)}{u - d}$ 이며, 상승지수 u 는 $u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}}$, 하강지수 d 는 $d = \frac{1}{u}$ 으로 계산할 수 있다.

4. 경제성분석 결과평가

4.1 NPV에 의한 경제적 타당성 평가

새만금 수상태양광 프로젝트가 <Table 1>의 가정조건으로 실현된다는 가정 하에 Eq. (2)에 의해 5년의 건설기간과 20년 동안의 운영기간동안 NPV값(-0.45조원)을 구했다. 투자 프로젝트의 전통적인 경제성 분석 방법인 NPV는 음수가 나와 경제성이 없는 것으로 평가된다.

사례연구의 프로젝트는 투자비 대비하여 운영기간동안의 수익이 할인율을 적용할 시 비용이 더 많기 때문에 적자사업이며, 경제성이 없게 된다. 하지만 이 결과는 <Table 1>의 조건을 전제로 계산된 경제성분석이며 만약 시간이 지남에 따라서 프로젝트를 구성하는 주요 요소들이 변하게 되면 경제성분석의 결과도 바뀌게 된다. 전통적인 경제성분석방법인 NPV의 한계라고 할 수가 있다.

4.2 실물옵션을 활용한 경제적 타당성 평가

투자프로젝트의 매출을 결정하는 중요한 변수들의 변동성을 고려하지 못하기 때문에 전통적 경제성분석방법인 NPV의 결과가 음수가 나오면 사업을 추진하기 어렵다. 하지만 동일한 프로젝트를 실물옵션분석기법을 적용하고 주요 요소들의 변동성을 고려할 경우의 프로젝트 수익성을 계산하여 결과를 전통적인 분석방법과 비교해보았다.

옵션분석방법은 앞에서 언급한 불확실성으로 인한 미래의 수익이 적자(-0.45조원)가 예상되므로 옵션 중 포기옵션을 적용하고자 한다. 포기옵션은 신재생에너지 전기판매가격과 같이 예측이 어렵고, 변동성이 큰 시설물 투자에 대한

타당성을 결정하는데 쓰이며, 투자여부를 투자시기마다 결정할 수 있어 추가적인 손익을 즉각적으로 반영할 수 있다(Kim et al., 2017). 투자로 인해 발생하는 신재생에너지 전기판매가격과 발전량으로 인한 이익의 변동성을 예측해야 한다.

수상태양광발전프로젝트의 매년 예상되는 수익의 현금흐름은 <Table 3>과 <Fig. 2>에서 제시되었으며, Eq. (3)을 활용하여 변동성(σ)을 구할 수 있다. 본 연구의 사례연구의 프로젝트의 연간변동성은 32.9%이다. 이것은 발전량, 전기요금, 유지보수비용, 건설비 등의 변화에 의해서 창출되는 연간 수익의 불확실성을 수치화한 것이 변동성의 값으로 표현된 것이다. 이러한 변동성을 고려해서 수익을 계산하기 위해서 Eq. (4)를 활용하여 옵션값(포기옵션가치)을 계산하였다. 만약 포기하게 되면 수상태양광발전소로 부터의 수익은 없다고 가정하였다. 물론 실제로는 기설치된 시설물을 팔거나 사업을 양도하여 수익을 얻을 수도 있지만 본 연구에서는 고려하지 않았다. 옵션의 계산값은 각 포기할 수 있는 시기에 나타날 수 있도록 <Fig. 4>의 이항격자모형을 사용하였다. 무위험 이자율로 할인된 수상태양광발전 사업 수익(20년 동안 운영했을 경우)의 현재가치 3.39조원을 구하고, 매년 0.92조를 5년간 투자했을 때 옵션기반의 수익을 산정한 옵션가치는 2.64조원이다. 전통적인 경제성분석방법에 의한 NPV값이 -0.45조원이나, 수익에 대한 변동성을 고려하여 포기옵션을 행사할 수 있는 권리를 보유하는 것이 수익을 극대화 할 수 있다. NPV가 음수로 나와 경제적 타당성이 없는 새만금 수상태양광프로젝트를 실물옵션분석으로 평가하면 프로젝트의 가치가 상승하여 수익성을 확보할 수가 있었다. 즉, 포기옵션이라는 경영상 유연성을 적용한다면 이 프로젝트의 경제성을 크게 향상시킬 수 있다는 것을 새만금 수상태양광프로젝트의 경우에서 확인하였다.

수상태양광의 프로젝트를 수행함에 있어서 경제성을 결정짓는 것들은 투자비용, 발전량, 전기판매요금, 유지관리비

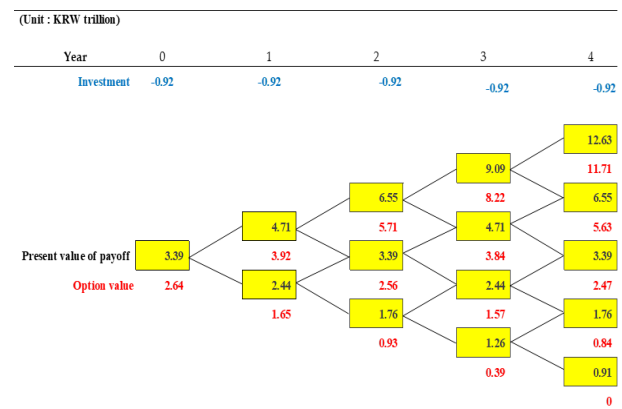


Fig. 4. Binomial Tree of Option Value for Floating Saemangeum

용 등이다. 만약 여러 가지 이유로 프로젝트를 진행할 때 사업의 경제성이 나쁠 것으로 예상이 된다면 프로젝트를 진행하기 위한 초기 투자비를 투입하는 5번의 시기(Fig. 4)의 0년부터 4년에 어느 때나 포기하게 된다면 더 이상 투자를 진행하지 않아 추가적인 손해를 발생하지 않도록 할 수 있고, 반면 수익에 영향을 주는 투자비용, 전기생산량, 전기판매요금, 그리고 유지관리비용 등의 주요 요소들의 불확실성이 사업자에게 유리하게 변한다면 프로젝트가 수익이 발생하게 사업을 계속 진행할 수 있다. 투자여부를 확정적으로 사전에 결정하지 않고, 5년 이내 매년 결정할 수가 있다. 이것은 수상태양광프로젝트 포기 여부를 보유한 옵션을 보유한 것에 의한 장점이라고 할 수 있다. 포기옵션은 신재생에너지 프로젝트 뿐 아니라 변동성이 큰 프로젝트의 경제성을 확보하는데 유리한 옵션보유 방법이다.

5. 결론

본 연구는 우리나라 역사상 가장 큰 규모인 46조원을 투자하여 2.1GW 시설용량의 새만금 수상태양광프로젝트를 추진하는 사업에 대한 경제성을 평가하였다. 20년 동안 운영하는 동안 프로젝트 매출 수익의 변동성을 계산하고, 실물 옵션 기반 경제성분석 방법을 제시하였다. 국내외의 여러 연구를 통해서 새만금 수상태양광프로젝트와 실물옵션기법에 대한 이론을 알아보았다. 그간 여러 연구로 검증된 옵션분석기법 공식들과 이항격자모형을 본 프로젝트 사례에 적용하여 경제성분석을 실시하였다. 분석에 필요한 일사량, 태양광 발전으로 인한 전기판매금액의 구성요소인 SMP, REC와 인플레이션 등의 재무적 자료들은 과거 실제자료를 기반으로 가정하여 사용하였으며, 유지관리비용, 할인율, 무위험이자율과 발전효율 등 관련 자료들은 태양광 사례연구들을 참고로 하여 가정하였다. 설치 예정인 2.1GW의 시설용량을 기반으로 모의된 현금흐름을 활용하여 전통적인 경제성분석 방법인 NPV값 계산하고, 발전사업 수익의 변동성을 산정하였다. 투자기간 5년을 포기할 수 있는 옵션권을 가지는 있는 기간으로 가정하고, 포기옵션을 적용하여 프로젝트의 옵션가치를 계산하였다. 본 프로젝트는 옵션가치 분석결과 경제성을 확보하고 있음을 확인하였다. NPV가 음수로서 투자하기 어려운 프로젝트였으나, 포기옵션이라는 경영적 유연성을 적용한 경제성분석을 수행한 결과, 경제적 타당성을 확보할 수가 있었다. 따라서 본 연구는 옵션가치분석을 통해서 대규모 투자가 수반되는 새만금 수상태양광프로젝트의 수익성을 더 증가시킴을 확인했다.

본 연구는 두 가지의 학문적 가치를 갖는다. 첫째, 수상태양광발전프로젝트에 대해서 투자하려는 의사결정권자는 본

연구에서 제시된 실물옵션분석방법을 활용하여 대규모 프로젝트의 경제성분석에 발전량, 전기판매요금, 운영 및 정비비용, 그리고 투자비용 증감 등의 변동성 요소들을 고려할 수 있다. 둘째, 수상태양광발전 프로젝트의 경제성을 분석할 때 수익에 크게 영향을 주는 주요 요소들을 선정, 정의하고, 각 요소들의 데이터의 근거를 제시하여 향후 유사한 연구에 활용 가능하도록 방법을 제시하였다.

하지만 본 연구는 여러 가지 한계가 존재하는 것이 사실이다. 첫째, 경제적 분석에 가장 중요한 재무적 요소가 투자비, 유지관리비용, 할인율, 무위험이자율, 그리고 물가상승률이다. 이들 값을 어떤 기준으로 결정하느냐에 따라서 다른 결과가 나올 수 있다. 본 연구는 과거자료에 근거한 고정된 값을 사용하여 사업기간 25년간의 변동성을 고려하지 못하였다. 둘째, 최근의 기후변화로 인하여 향후의 일조시간과 일사량의 변화로 수상태양광 발전량의 불확실성을 커질 것으로 예상된다. 미래기상정보의 정확도가 수상태양광발전사업의 경제성을 예측하는 중요한 요소가 될 수 있다. 더 세밀하고 정확한 기상정보의 확보를 통해서 불확실성을 해결할 수 있는 연구가 필요하며, 이것은 경제적 타당성 판단의 정확도를 더 높일 수 있을 것으로 기대된다. 셋째, 옵션기반의 경제성분석은 경영적 유연성을 활용한 것으로 본 연구는 포기옵션만을 적용하였다. 본 프로젝트에는 연기옵션, 복합 옵션 등 다양한 옵션을 적용이 가능하므로 각 옵션의 장단점을 비교해서 수익을 극대화할 수 있는 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2019학년도 원광대학교의 교비지원에 의해 수행됨

References

Cho, S., and Lee, S. (2018). "Calculation of photovoltaic market potential and analysis of implementation cost considering regional economics." *Korea Energy Economics Institute*, Ulsan Metropolitan City.

International Energy Agency (IEA) (2010). "Projected Costs of Generating Electricity." International Energy Agency, Paris, France.

Kang, S., Jeon, Y., Cho, S.H., Lee D., and Jeon, E.C. (2017). "Economic Evaluation of Unused Space PV System Using the RETScreen Model - A Case Study of Busan, Gangseo-gu -." *Journal of Climate Change Research*, 8(1), pp. 21-30.

Kim, K., and Oh, S. (2017). "Economic Assessment for Flood Control Infrastructure under Climate Change :

- A Case Study of Imjin River Basin”, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 18(2), pp. 81-90.
- Kim, K. (2017). “Review of Real Options Analysis for Renewable Energy Projects.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 18(2), pp. 91-98.
- KMA (2020). Climate Scenarios of Korea. *Korea Meteorological Administration (KMA)*, Seoul, South Korea.
- Kodulula, P., and C. Papudesu (2006). Project Valuation Using Real Options: A Practitioner’s Guide, J. Ross Publishing Co., Fort Lauderdale, FL.
- Korea Energy Agency (KEA) (2020). “RPS of Renewable Energy.” https://www.knrec.or.kr/business/rps_guide.aspx, (Accessed Jul. 20, 2020).
- Lee, S.H., and Cho, I.H. (2018). “International renewable energy policy change and market analysis.” *Korea Energy Economic Institute*, Ulsan, South Korea.
- Lee, S.H., Lee, N.H., Choi, H.C., and Kim, J.O. (2012). “Study on Analysis of Suitable Site for Development of Floating Photovoltaic System.” *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 26(7), pp. 30-38.
- Mayer, C., Breun, P., and Schultmann, F. (2017). “Considering risks in early stage investment planning for emission abatement technologies in large combustion plants.” *Journal of Cleaner Production*, 142, part1, pp. 133-144.
- Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE) (2019). “The world’s largest floating photovoltaic business in Saemangeum” https://www.motie.go.kr/motie/ne/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=161921&bbs_cd_n=81, (Accessed Jul. 11, 2020).
- Noh, T.H., and Lee, H.S. (2019). Floating Solar Power Generation Project Fact Check. *Korea Environmental Institute (KEI)*, Sejong, South Korea.
- Park, J.H., Lee, H.D., Tae, D.H., Marito Ferreira and Rho, D.S. (2019). “A Study on Disposal Diagnosis Algorithm of PV Modules Considering Performance Degradation Rate.” *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 20(10), pp. 493-502.
- REN21 (2020). Renewables 2020 Global Status Report. *REN21 Secretariat*, Paris, France.
- Saemangeum Development and Investment Agency (SDIA) (2020). Introduction of Saemangeum, Available From: <http://www.saemangeum.go.kr>, (Accessed Jul. 11, 2020).
- World Bank (2020). International Monetary Fund, International Financial Statistics and Data Files, Available From: <https://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL.ZG>, (Accessed Jul. 1, 2020).

요약 : 새만금개발은 1987년부터 30년간 정부가 농업, 경제와 관광지역으로 추진하고 있는 우리나라에서 가장 규모가 큰 국책사업이다. 우리나라는 원자력과 화력에 의존하던 전력원을 탄소저감을 위해서 친환경으로 전환하기 위해서 민간사업으로 우리나라 최대 규모인 46조원을 투자하여 2.1GW의 수상태양광발전 프로젝트를 추진하고 있다. 새만금 수상태양광 프로젝트가 성공하려면 경제적 타당성을 확인해야 한다. 본 연구는 수상태양광사업의 변동성 요소들(건설비용, 전기판매가격, 발전량과 유지관리비용)을 정의하고, 20년간 운영하는 동안 수익의 변동성을 분석하였다. 불확실성으로 수익이 악화가 예상될 때 포기할 수 있는 권리를 가지는 포기옵션을 적용하여 프로젝트의 옵션가치를 구했다. NPV분석에 의하면 투자가 어려운 프로젝트가 옵션분석에 의하여 경제성을 확보할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 투자사업의 의사결정권자가 실물옵션분석방법을 활용하여 수상태양광프로젝트의 경제성분석에 불확실성을 고려할 수 있도록 도와줄 것으로 기대된다.

키워드 : 새만금, 수상태양광, 실물옵션, 경제성분석, 불확실성
