

실물옵션 기법을 활용한 신재생에너지사업 경제성분석에 관한 연구

김경석*

*연세대학교 토목환경공학과

Review of Real Options Analysis for Renewable Energy Projects

Kim, Kyeongseok*

*Department of Civil & Environmental Engineering, Yonsei University

Abstract : Due to climate change, countries around the world are actively investing in renewable energy, reducing fossil fuel use. 23.7% of world electricity is supplied by renewable energy. As the technology continues to develop, it is in a level to compete in terms of power generation cost, and investment conditions are improving. However, investment in renewable energy projects is not easy. This study analyzed trends of domestic and international researches on economics assessment applying real options analysis to investment decisions of hydro, solar, and wind power projects, which account for a large portion of renewable energy. This study provides (1) the difference between the traditional economic method and the real options analysis, (2) the application process, and (3) the uncertainty elements and option type of the renewable energy project presented by many studies. The real options analysis is suitable for the detailed investment strategy by considering the uncertainties of the renewable energy project and applying the option to improve the profit or to avoid the risk.

Keywords : Real Options Analysis, Renewable Energy, Uncertainty, Volatility, Economic Assessment

1. 서론

신재생에너지는 화석연료를 변환시켜 이용하거나, 태양광, 물, 바람 등을 포함하여 재생 가능한 에너지이다. 신재생에너지는 이산화탄소가 거의 발생하지 않고, 비고갈성 에너지로서 무한 재생이 가능한 특징을 가지고 있다. 범지구적인 기후변화의 영향으로 세계 각국은 화석연료 사용을 줄이고, 신재생에너지에 대한 투자가 활발하게 이뤄지고 있다. 세계 전기의 23.7%를 신재생에너지가 공급하고 있으며, 2015년에 147GW 시설에 285.9 Billion USD의 신규투자가 이뤄졌다(REN21, 2016). 계속된 기술의 발전으로 일부 지역의 육상풍력과 태양광은 보조금 없이도 화력설비와 발전원가 면에서 경쟁할 수준이 되어 점점 투자 여건이 좋아지고 있다

(REN21, 2016).

하지만, 신재생에너지 프로젝트의 투자를 결정하는 것은 다음의 두 가지 이유로 인해 쉽지 않다. 첫째, 신재생에너지 중에서 많은 비중을 차지하고 있는 수력, 태양광, 풍력 등의 발전 생산량은 강수량, 일사량, 풍속 등의 기후요소의 영향을 많이 받는다. 전 지구적 기후변화로 신재생에너지의 원료에 해당하는 자연 자원 공급의 불확실성(Uncertainty)이 커지면서 에너지 생산량 예측이 힘들게 되어 신재생에너지 프로젝트 투자 결정에 어려움을 주고 있다. 둘째, 정부는 신재생에너지 도입초기에 투자를 장려하고자 많은 인센티브와 지원을 하였다. 하지만 최근 규모가 대형화되고 에너지효율 기술이 빠르게 발전하면서 일부 지역에서 신재생에너지 사업의 발전 단가와 화석에너지 발전단가가 같아지는 그리드 패리티(Grid Parity)가 이뤄지고 있다. 이에 각국 정부는 점진적으로 보조금을 줄이고 있다. 이러한 정책적인 변화는 신재생에너지 수익성을 악화시키는 대표적 불확실성이다. 그 외에 신재생에너지사업 투자결정을 어렵게 하는 리스크(Risk)는 대출이자율, 환율과 인플레이션 등 시장의 리스크(Market Risk)들이 있다.

신재생에너지의 경제성분석은 순현재가치(Net Present

* Corresponding author: Kim, Kyeongseok, School of Civil & Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 03277, Korea
E-mail: kim.ks@yonsei.ac.kr
Received February 21, 2017; revised -
accepted March 2, 2017

Value)로 대표되는 전통적인 방법과 실물옵션분석(Real Options Analysis)이 사용된다. 본 연구에서는 실물옵션분석을 활용한 경제성분석 방법에 대한 연구동향을 파악하려 한다. 본 연구의 목적은 첫째, 전통적 방법과는 다른 실물옵션 분석 방법의 특징에 대해서 알아보고, 둘째, 신재생에너지 사업에 적용되는 실물옵션 분석방법에 대한 방법론을 알아보고, 셋째, 신재생에너지의 불확실성과 적용옵션은 어떤 것이 있는 지에 대해 분석하고자 한다.

본 연구는 실물옵션을 활용하여 신재생에너지 프로젝트의 경제성을 분석하려는 투자자 혹은 의사결정자들에게 최근 연구동향을 알려주어 실질적 활용에 도움을 주고자 한다.

2. 실물옵션분석 방법의 특징

2.1 전통적 경제성분석방법의 한계

에너지 프로젝트를 추진하는 많은 의사결정자들은 순현재가치(Net Present Value), 내부수익률(Internal Rate of Return), 그리고 비용편익분석(Cost-Benefit Analysis)과 같은 현금흐름분석(Discounted Cash Flow)이라는 전통적인 경제성분석방법을 사용하고 있다. 전통적 방법은 다양한 프로젝트의 경제성을 분석하는 데 유용하지만, 변동성(Volatility)이 크거나 불확실성이 많은 투자 경우에는 적용하기 힘들다. 특히 신재생에너지 프로젝트 투자에 대한 경제성평가는 쉽지 않다. 신재생에너지에 대한 투자는 정부정책변화, 신재생에너지 기술의 빠른 발전으로 인한 기자재의 가격 변화와 급격한 기후변화로 수익의 불확실성이 매우 크기 때문이다.

Amram & Kulatilaka (1999)는 기존의 현금흐름분석의 두 가지 문제점을 지적했다. 첫째, 미래현금흐름을 예측할 때, 이자율과 수익률의 가치치만 활용하기 때문에 주관적인 현금흐름 예측이다. 둘째, 미래투자결정이 처음부터 확정적이다. 즉, 정해진 이자율과, 수익률이 미래 20년 혹은 30년의 결과치를 투자 이전에 예측한다는 것인데, 분석대상은 정부정책 변동이 많고, 국제 금융시장과 기후변화 영향에 취약한 경우 임을 가정할 때, 기존의 현금흐름예측은 현실과 동떨어져 있어 신뢰하기가 힘들다. 전통적 경제성분석 방법은 일부 프로젝트에서는 효과적으로 사용할 수는 있겠지만, 투자 변수들의 변동성과 시장의 불확실성이 큰 프로젝트에는 알맞지 않다고 알려져 있다(Amram & Kulatilaka, 1999).

최근 많은 연구에서 실물옵션분석이 신재생에너지사업의 경제성분석에 적용되고 있다. 실물옵션분석은 프로젝트에 영향을 주는 사업자체의 리스크(Private Risk)와 시장의 리스크(Market Risk)가 미래 현금흐름에 영향을 주어 프로젝트의 수익에 변동성이 존재한다는 가정을 기반으로 경제성 분석을 한다.

2.2 실물옵션분석방법의 적용

실물옵션 기반 경제성분석은 신재생에너지프로젝트의 에너지원과 투자환경별로 다르지만, 일반적인 신재생에너지의 경우는 Fig. 1과 같은 순서로 진행된다(Kim et al., 2016a). 첫 번째 단계는 신재생에너지 프로젝트의 투자시나리오를 만드는 것이다. 이것은 투자시점을 결정하는 것으로서 적용 가능한 옵션을 결정하는 단계이다. 두 번째 단계에서는 현금흐름을 추정한다. 프로젝트의 불확실성 요소들 값을 계산하고, 미래의 현금흐름을 예측한다. 신재생에너지의 불확실성 요소들은 각 신재생에너지 종류나 사업의 환경마다 다를 수 있으나, 흔히 전기판매금액, 에너지 생산량과, 유지관리비용 등을 선택한다. 세 번째 단계는 옵션값을 계산하는 과정이다. 현금흐름의 매출 혹은 수익의 변동을 추정할 수 있는 변동성을 계산하고, 프로젝트의 상황에 적합한 연기, 포기, 축소 등의 옵션을 적용하여 옵션값을 구한다. 옵션값을 구하는 방법은 Black & Schultz 공식과 이항격자모형(Binomial Lattice Model)을 쓴다. 전자의 방법은 간단한 식으로 사용하기에 편리한 장점이 있고, 후자는 의사결정 시점을 시각적으로 나타낼 수 있는 장점이 있기 때문에 전자보다 더 많이 쓰인다(Mun, 2002). 마지막 단계는 이전 단계에서 계산된 옵션값 결과를 분석하여 투자에 대한 최종의사결정을 하는 단계이다. 투자자는 기대수익과 프로젝트 환경을 고려하여 최종적인 투자전략을 마련한다. .

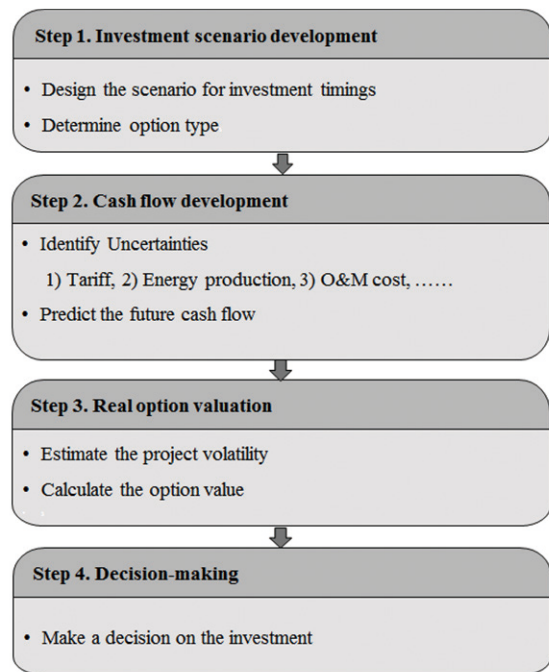


Fig. 1. Framework of real options analysis for renewable energy projects (Kim et al., 2016a)

실물옵션분석을 하는데 있어 핵심은 변동성 예측과 옵션의 종류 선택이다. 프로젝트에 영향을 주는 불확실성을 정의하고, 수익의 변동성을 예측하는 것은 옵션가치를 분석하는 데 매우 중요하다. 프로젝트의 불확실성은 수익에 긍정적 혹은 부정적인 영향을 줄 수도 있기 때문에 그 영향 정도를 분석하는 것은 실물옵션 기반 경제성 분석의 첫걸음인 것이다.

변동성을 구하는 방법은 사업의 현금흐름을 예측하거나 과거의 자료를 바탕으로 각단위 시간동안 상대적 이익의 표준편차를 구하는 로그현금흐름이익방법(Logarithmic Cash Flow Returns Approach)이 있다. 하지만 프로젝트의 실제 현금흐름 추정이 어려운 경우에는 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션방법으로 모의해서 표준편차를 구하는 방법과 유사 프로젝트 혹은 시장 대용품의 변동성을 차용하는 프록시(Proxy)방법으로 변동성을 구할 수 있다(Kodukula & Papudesu, 2006).

또한 옵션의 종류도 수익성을 결정짓는 중요한 도구이다. 실물옵션분석의 가장 큰 특징인 경영적 유연성(Management Flexibility)이 프로젝트 투자에 개입하여 수익을 극대화 시키거나 손실을 피할 수 있는 기회를 만들 수 있다. 옵션은 권리이지만 의무는 아니기 때문에 투자자가 행사여부를 결정할 수 있다. 투자자는 프로젝트의 상황에 맞는 전략적인 옵션을 보유하고 적당한 시기에 행사할 수 있다. 옵션의 종류는 연기옵션(Option to Wait), 포기옵션(Option to Abandon), 확장 혹은 축소옵션(Option to Expand or Contract), 선택옵션(Option to Choose), 복합옵션(Compound Option), 레인보우옵션(Rainbow Option)과, 변동성변화옵션(Option with Changing Volatility) 등이 있다(Kodukula & Papudesu, 2006).

3. 신재생에너지사업의 실물옵션분석을 활용한 경제성분석방법 연구동향

최근 각국 정부의 신재생에너지 장려정책으로 투자가 증가하고 있으며, 그에 대한 실물옵션 기반 경제성분석에 대한 연구가 늘고 있다. 3장에서는 수력, 태양광, 풍력발전 신재생에너지원 별로 분류하여 실물옵션 기반 경제성분석에 대한 연구들을 고찰하고, 불확실성요소와 각 에너지원별로 연구의 특징을 살펴볼 것이다.

3.1 수력발전에 대한 실물옵션분석 연구

수력발전사업은 오래된 역사를 가진 신재생에너지이기 때문에 관련된 연구가 적지 않다. Bøckman et al. (2008)은 노르웨이의 소규모 수력발전 프로젝트에 대한 실물옵션모델을 개발하고 연기옵션을 적용하여 수력발전소의 경제성과 최적 시설규모에 대해 연구하였다. Kjærland (2007)는 수력발전

전기판매가격의 추세를 고려한 연기옵션을 적용하였고, 투자 시기 따라 옵션 가치 계산할 수 있는 실물옵션 프레임워크를 개발했다. Lee et al. (2013)은 인도네시아 수력발전소 건설에 투자 시 발전소의 시설규모에 따른 경제적 가치를 예측하는데, 탄소배출감축(Carbon Emission Reduction : CER)의 가격을 불확실성으로 정의하여 정부와 투자자가 부담해야 되는 가격의 범위를 결정하는 연구를 수행했다. 그리고 다른 조건들이 같다고 가정하면, 대형 수력발전댐 보다 CDM사업이 가능한 소수력을 여러 개 짓는 것이 더 경제적이라는 결론을 도출하였다. Kim et al. (2016b)은 춘천수력발전소의 기후변화에 따른 확장투자에 대한 경제성을 평가하는데 복합옵션을 적용하였다. 옵션적용으로 강우량이 증가하는 지역에서 수력발전사업의 확장은 경제성이 있는 투자라는 것을 증명하였다. Kim et al. (2016a)는 개발도상국에서 신재생에너지 사업을 투자 시 복합옵션을 적용하여 불확실성 요소들을 감안한 경제성분석을 연구하였으며, 사례연구로 인도네시아 수력발전소에 적용하였다. 불확실성요소로 에너지생산량, 전기판매요금, CER (Certified Emission Reduction)가격, 유지보수비용으로 정의하였다. Kim et al. (2017)는 기후변화의 불확실성을 고려하여 수력발전사업 확장의 최적 투자시기를 결정하는 실물옵션 기반 프레임워크를 개발하였다. 특히 이 연구는 기후변화 시나리오로부터 발전량을 산출하여 기후요소의 영향을 정량화하는 방법을 제시하였다.

Table 1은 옵션분석을 수력발전에 적용한 연구들을 국가, 옵션형태와 불확실성 요소별로 구분하여 정리한 것이다. 수력발전의 불확실성은 전기판매요금, CER가격, 에너지생산량 등이며, 옵션의 형태는 연기옵션과 복합옵션을 주로 많이 적용하는 것으로 나타났다. 연기옵션 적용은 전기요금의 가격 혹은 기후변화의 추이를 고려한 투자시점을 알기 위해 사용되었다. 복합옵션은 수력발전사업의 단계가 계획, 설계, 시공 3단계의 투자가 이뤄지는 점을 활용하여 투자 여부를 매 투자시점 마다 결정할 수 있는 옵션을 보유함으로써, 프로젝트의 경제성을 향상시킬 수 있다.

3.2 태양광발전 대한 실물옵션분석 연구

과거 태양광발전 프로젝트 투자에 대한 장려정책이 성공할 수 있었던 것은 정부 보조금의 영향이 크다. 최근에는 태양광 모듈 관련 기술의 발전으로 설비가격이 저렴해지면서 타 에너지원과의 가격경쟁력이 생겨 투자가 다시 활발해지고 있다. 또한 태양광발전은 장소와 크기에 상관없이 설치 가능한 장점을 가지고 있다. 최근 태양광사업의 실물옵션 기반 경제성분석 관련된 연구가 활발하다. Zhang et al. (2016)은 CER 가격, 화석에너지가격, 투자비 및 전기판매가격 등 다양한 불확실성 요소들을 고려하여 중국 태양광발전 프로젝트의 경제성을 평가하기 위해 연기옵션을 적용한 실물옵션 모델을

Table 1. Literature of real options analysis for hydropower.

Authors	Country	Option Type	Uncertainty
Batista et al., 2011	Brazil	Defferal	CER price
Zavodov, 2012	China	Defferal	CER price
Lee et al., 2013	Indonesia	Chooser	CER price
Kim et al., 2016a	Korea	Compound	Energy production, Tariff, O&M cost
Kim et al., 2016b	Korea	Compound	Energy Production, Tariff, CER Price, O&M cost
Kim et al., 2017	Korea	Compound, Deferral	Energy Production, Tariff, O&M cost
Kjærland, 2007	Norway	Deferral	Tariff, Investment cost
B øckman et al., 2008	Norway	Deferral	Tariff
Gaudard, 2015	Swiss	Abandonment	Tariff, Energy production

제안했다. Detert & Kotani (2013)는 몽골에서 석탄화력발전과 신재생에너지원의 경제성을 비교하는 연구를 하였다. 태양광과 풍력의 경제성분석에 연기옵션을 적용하고, 석탄가격의 변동성 분석하여 에너지원 종류 선택에 대해 연구하였다. Jeon et al. (2015)는 우리나라 전기판매가격, 에너지 생산량, 금리, 위험 프리미엄(Risk Premium), 무위험 이자율 및 환율과 같은 불확실성을 반영하여 태양광발전 투자에 대한 최적의 정부 보조금을 산정하기 위한 실물옵션 모델을 제안했다. Kim et al. (2016c)는 기후시나리오를 활용하여 태양광의 에너지 생산량과 미래 전기판매가격을 예측하고, 포기옵션을 적용한 경제성분석에 대해 연구하였다. Martinez-Cesena et al. (2013)은 영국의 태양광 기술발전과 연기옵션을 고려하여 태양광투자사업의 경제성을 분석하는 방법을 제안했다. Kim et al. (2017)은 전기판매가격의 불확실성을 고려하고 태양광설비 확장을 연기옵션을 적용하여 경제성분석 할 수 있는 프레임워크를 제시하였다. 이 연구는 아파트 옥상과 벽면에 태양광 시설 확장여부를 결정하는 방법을 제시하였다. Kim & Kim (2013)은 우리나라의 전기판매금액을 불확실성

요소로 정의하고, 현재 시행되는 RPS (Renewable Portfolio Standard) 제도로 인해 확장하기위한 투자를 해야 하는 기업의 입장에서 경제성을 분석하였다. RPS 비율에 따라서 확장 옵션으로 인한 경제적 가치를 분석한 이 연구는 태양광발전 사업의 정부 정책 수립에 가이드라인을 제시하였다. Jeon & Kim (2010)은 우리나라의 발전차액제도를 고려한 태양광사업투자의 수익성에 대해 연기옵션을 적용하여 연구하였다.

Table 2은 태양광사업에 실물옵션을 적용하여 경제성 분석을 수행한 연구들이다. 태양광사업에서 고려된 불확실성 요소들은 주로 전기판매요금이 주를 이루고 있다. 이것은 태양광사업에 있어서 투자여부를 결정하는 가장 큰 요소가 정부의 인센티브정책이기 때문이다. 연구에서 가장 많이 적용된 연기옵션은 보조금이 포함된 전기요금의 추세에 의존하여 투자시기를 결정하는 트리거(Trigger)가 된다는 것을 보여준다. 태양광 프로젝트의 경제성은 전기판매가격의 불확실성이 주된 요소이며, 연기옵션을 보유하여 프로젝트의 수익성을 향상시키는 것을 많은 연구에서 볼 수 있다.

Table 2. Literature of real options analysis for solar power. (* Indicates the papers published in Korea.)

Authors	Country	Option Type	Uncertainty
Zhang et al., 2016	China	Deferral	Non-renewable energy cost, Tariff, CER Price, Investment cost
Jeon et al., 2015	Korea	Compound	Tariff, Energy production, Interest rate, Risk free rate, Exchange rate
Kim et al., 2016c	Korea	Abandonment	Energy production, Tariff
Detert & Kotani, 2013	Mongolia	Deferral	Non-renewable energy cost
Martinez-Cesena et al., 2013	UK	Deferral	Tariff
Kim & Kim*, 2016	Korea	Deferral	Tariff
Kim & Kim*, 2013	Korea	Expansion	Tariff
Lin & Wesseh, 2013	China	Deferral	Non-renewable energy cost
Kim et al., 2017	Korea	Deferral	Tariff
Jeon & Kim*, 2010	Korea	Deferral	Tariff
Choi et al., 2015	Korea	Expansion	Non-renewable energy cost

3.3 풍력발전에 대한 실물옵션분석 연구

풍력발전발전은 신재생에너지 중 가장 빠르게 성장하고 있다. 2015년에는 전세계 433GW의 시설이 설치되었고, 전년 대비 22% 성장하였다(REN21, 2016). 빠른 속도로 성장하고 있는 풍력발전은 신재생에너지 중에서도 가장 먼저 그리드패리티를 달성했다(Loncar et al., 2016). 하지만 풍력은 단점도 적지 않다. 육상풍력이 소음발생, 바람의 방향과 세기가 불안정한 단점을 갖는데 반하여, 해상풍력은 육상에 비해 보다 안정적인 풍력을 얻을 수 있는 장점을 갖고 있지만, 건설비와 전송망에 대한 설치비가 높다는 단점도 있다. 높은 비용을 낮추기 위해서 해상풍력은 대형화로 규모의 경제를 실현해야 한다. 대형 해상풍력 프로젝트는 큰 비용이 소요되므로 기획 단계에서 사업의 경제성 평가가 중요하다.

풍력을 포함한 모든 신재생에너지는 불확실성이 매우 높은 환경 하에 있다. 기후변화는 신재생에너지 발전사업을 성장시키는 원동력인 것이 사실이지만, 자연 자원을 이용하여 발전하는 신재생에너지의 에너지발생량을 예측하기 힘들게 하는 요소이다. 풍력은 자연 바람의 밀도와 세기로서 에너지를 발생시키지만, 기후의 불확실성이 증가 될수록 발전량을 예측하기 쉽지 않다.

실물옵션분석 방법을 풍력발전에 적용한 선행연구들은 적지 않게 있다. Barroso & Iniesta (2014)는 독일의 풍력발전에 대해 신재생에너지 사업을 독려하기 위한 제도적인 옵션을 고려한 경제성분석방법론을 제시하였으며, 불확실성 요소로서는 투자비, 전기생산량, 전기요금, 소비자물가지수(CPI)를 고려하였다. Loncar et al. (2016)은 15개의 불확실성요소들을 Public (Market)과 Private (Project)으로 구분하여 세르비아의 풍력발전사업에 복합옵션을 적용한 방법론을 제시하였다. Abadie & Chamorro (2014)는 영국의 전력 가격, 풍력 발전량 및 보조금의 세 가지 불확실성 요소들을 고려하여 풍력 발전 단지 프로젝트를 조사하기 위해 실물옵션모델

을 개발하였으며, 옵션형태는 연기옵션을 적용하였다. Lee (2011)는 대만의 풍력발전 프로젝트에서 실물옵션분석의 효과를 입증했으며, 기초자산 가격, 옵션행사가격, 옵션행사 시기, 및 무위험이자율, 변동성을 불확실성 요소로 고려하였다. Venetsanos et al. (2002)는 그리스의 전기 시장 규제 완화 이후 풍력 에너지 프로젝트와 관련된 불확실성 평가방법을 개발했다. Martinez-Cesena & Mutale (2012)는 실물옵션 방법을 적용하여 소형 풍력발전 프로젝트의 가치를 평가하였다. 그들은 풍력발전 프로젝트의 설계단계에서 풍력자원의 양을 예측하는 것이 어렵고, 불확실성이 많다는 것을 고려하여 옵션분석을 하였다. Kim et al. (2014)은 우리나라의 풍력 R&D 투자의 경제성을 평가하고 투자시기를 결정하는 연구를 하였다. 그들은 R&D단계를 세부분으로 나뉘서 복합옵션을 적용하여 경제성 분석을 하였으며, 에너지생산량, 무위험이자율, 변동성, 풍력발전단가 하락률을 불확실성 요소로 설정하고 각 상황별 시나리오 분석을 하였다. Reuter et al. (2012)는 풍력발전의 불확실성을 기상상태에 의존한 에너지생산량과 정부정책에 많은 영향을 받는 전기판매가격으로 보고, 경제성분석 모델을 실물옵션방법으로 제시하였다. Kim & Chang (2014)은 준공 후 매각에 성공한 실제 풍력프로젝트에 대한 경제성분석에 실물옵션을 적용하였다. 에너지생산량, 전기판매금액, 그리고 이자율의 변동성을 고려하여 경제성을 분석한 결과, 매각금액이 저평가되었음을 확인하였다. Lee et al. (2012)은 해상풍력실증단계에 대한 경제성평가를 확장옵션을 적용해서 연구했다. 이 연구는 사업의 수익성은 국가의 전기판매 보조금에 의존하는 것과 해상풍력 대형단지가 경제성을 향상시킨다는 것을 밝혔다.

Table 3은 과거 많은 연구들이 보조금이 포함된 전기판매 가격과 에너지생산량을 중요한 불확실성요소로 분류한 것을 보여준다. 타 신재생에너지와 유사하게 전기판매가격이 투자 여부를 결정하는 요소 중 하나이다. 하지만 풍력발전사업은

Table 3. Literature of real options analysis for wind power. (* Indicates the papers published in Korea.)

Authors	Country	Option Type	Uncertainty
Kim & Chang*, 2014	Korea	Abandonment	Energy production, Tariff, Interest rate
Lee et al.,* 2012	Korea	Expansion	Tariff
Reuter et al., 2012	Germany	Chooser	Energy production, government policy
Kroniger & Madlener, 2014	Germany	Deferral	Energy production, Tariff, Capacity
Venetsanos et al., 2002	Greece	Deferral	Tariff
Lee & Shih, 2010	Taiwan	Deferral	Tariff, Costs
Lee, 2011	Taiwan	Deferral	Underlying price, Exercise price, Operation Time, Risk-free rate
Kumbaroğlu et al., 2008	Turkey	Deferral	Tariff
Abadie & Chamorro, 2014	UK	Deferral	Tariff, Energy production, Subsidy
Martinez-Cesena & Mutale, 2012	USA	Deferral	Wind resource assessment
Kim et al., 2014	Korea	Compound	Energy production, Risk free rate, Volatility, Decreasing rate of the unit cost of wind power

대형화를 이루고, 기술 발전으로 그리드패리티가 되었기 때문에, 다른 발전원료들과 경쟁구도에서는 보조금 지급여부가 더 이상 중요하지 않을 것으로 예상되며, 기후변화에 의한 에너지생산량에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 실물옵션방법을 활용하여 신재생에너지 프로젝트의 경제성을 분석하는 연구동향에 대해 알아보았다. 신재생에너지 사업에 적용되는 실물옵션분석방법이 전통적인 경제성분석방법과의 차이점과 적용되는 방법론에 대해서 설명하였다. 신재생에너지 사업 중 대표적인 3가지 에너지원인 수력, 태양광, 풍력발전 프로젝트의 사례연구에서 시사하는 점을 간략히 정리하였으며, 연구에서 적용된 옵션의 종류와 불확실성요소들은 어떤 것이 있는지에 대해서도 알아보았다.

신재생에너지 중 오랜 역사를 지닌 수력발전 프로젝트의 실물옵션방법은 연기옵션과 복합옵션을 적용한 방법론이 많았으며, 개발도상국에서의 청정개발체계(CDM)을 고려하여 수익을 향상시키고, 기후시나리오 기반으로 연기옵션을 활용하여 투자시점을 결정하는 연구가 많다.

태양광발전 프로젝트의 경우, 많은 연구들이 보조금이 포함된 전기판매금액의 추세를 예측하고 그 변동성을 계산하여 옵션가치를 구하는 것에 집중되어 있다. 태양광발전사업에 대한 연구는 보조금에 의해 수익성이 결정되는 특징을 가지고 있었다. 전기판매금액의 변동성이 심하여 전기판매금액 예측방법을 제시하는 연구가 많은 것이 특징이다. 많은 연구에서 적용된 연기옵션은 수익성이 좋은 투자를 위하여 투자시기를 결정하기 위한 것이다.

최근 큰 성장을 하고 있는 풍력발전은 전기판매가격과 에너지생산량을 실물옵션분석에 있어 중요한 불확실성 요소들로 분류하고 있다. 자연 자원인 바람에너지를 이용하는 풍력발전은 기후변화로 인해 에너지 생산량 예측이 쉽지 않다. 대형화와 가격경쟁력을 갖고 있는 풍력에너지 투자에서는 에너지생산량 예측이 가장 중요하다고 할 수 있겠다.

본 연구는 전통적 경제성방법으로는 해결하지 못했던 변동성이 큰 불확실성 요소들을 고려하고, 적절한 옵션을 적용하여 수익성을 향상시킬 수 있는 실물옵션 기반 경제성평가 방법에 대해 알아보았다. 그리고 신재생에너지 프로젝트 투자를 계획하고 있는 사업자들이 적용할 수 있는 옵션의 종류와 불확실성 요소들을 제시함으로써, 실물옵션 기반 경제성평가 방법을 활용하는데 도움을 줄 것으로 기대된다.

본 연구동향에서 언급했듯이 신재생에너지 사업의 불확실성 요소들은 그 종류가 다양하고 변동성이 매우 클 것으로 예상된다. 따라서 미래현금흐름을 확정하여 미래의 불확실성을 고려하지 못하는 기존의 전통적 방법은 신재생에너지 경제성

분석으로는 적절하지 못하다. 실물옵션기반의 경제성 분석은 에너지생산량과 전기판매금액 등의 변동성을 고려하여 신재생에너지 프로젝트의 세밀한 투자계획수립에 적합하다. 신재생에너지 사업에 적용했던 연구사례들은 투자 시 불확실성요소선정과 변동성을 구하는 방법을 주제로 하는 것들이 많았지만, 추가적으로 향후 연구가 필요한 분야는 신재생에너지의 규모와 종류가 증가함에 따라 다양한 신재생에너지원에 대한 비교연구와 사업규모를 결정하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No.2011-0030040, NRF-2014R1A2A1A11052499).

References

- Abadie LM, and Chamorro JM. (2014). "Valuation of wind energy projects: A real options approach." *Energies*, 7(5), pp. 3218-3255.
- Amram, M., and Kulatilaka, N. (1999). "Real options." *Harvard Business School Press*, Boston, Massachusetts.
- Barroso, M. M., and Iniesta, J. B. (2014). "A valuation of wind power projects in Germany using real regulatory options." *Energy*, 77, pp. 422-433.
- Batista, F. R. S., Geber de Melo, A., Teixeira, J. P., and Baidya, T. K. N. (2011). "The carbon market incremental payoff in renewable electricity generation projects in Brazil: A real options approach." *Power Systems, IEEE Transactions on*, 26(3), pp. 1241-1251.
- Bøckman T, Fleten S-E, Juliussen E, Langhammer HJ, and Revdal I. (2008). "Investment timing and optimal capacity choice for small hydropower projects." *European Journal of Operational Research*, 190(1), pp. 255-67.
- Choi, J-Y, Kim, H-B, Son, M-J, and Hyun, C-T. (2015). "Application of Real Option based Life Cycle Cost Analysis for Reflecting Operational Flexibility in Solar Heating Systems." *Korean Journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 16(4), pp. 70-79.
- Detert N, and Kotani K. (2013). "Real options approach

- to renewable energy investments in Mongolia.” *Energy Policy*, 56, pp. 136–50.
- Gaudard, L. (2015). "Pumped-storage project: A short to long term investment analysis including climate change." *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 49, pp. 91–99.
- Jeon C, Lee J, and Shin J. (2015). "Optimal subsidy estimation method using system dynamics and the real option model: Photovoltaic technology case." *Applied Energy*, 142, pp. 33–43.
- Jeon Y-S, and Kim, H-T. (2010). "Feed-in Tariff calculation using real option approach : model derivation and application to photovoltaic generation." *Korean Energy Economic Review*, 9(1), pp. 25–53.
- Kim, Y., and Chang, B. (2014). "Real Option Valuation of a Wind Power Project Based on the Volatilities of Electricity Generation, Tariff and Long Term Interest Rate." *New & Renewable Energy*, 10(1), pp. 41–49.
- Kim, B., and Kim, C. (2016). "A Real Option Perspective to Evaluate Purchase Decisions of Construction Materials with High Price Volatility." *Korean Journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 17(1), pp. 121–132.
- Kim, B., Kim, K., and Kim, C. (2017). "Determining the optimal installation timing of building integrated photovoltaic systems." *Journal of Cleaner Production*, 140, Part 3, pp. 1322–1329.
- Kim, K., Park, H., and Kim, H. (2016a). "Real options analysis for renewable energy investment decisions in developing countries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.1011.1073>.
- Kim K, Park T, Bang S, Kim H. (2016b). "Real Options-Based Framework for Hydropower Plant Adaptation to Climate Change." *Journal of Management in Engineering*, doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000496.
- Kim K, Kim S, and Kim H. (2016c). "Real options analysis for photovoltaic project under climate uncertainty." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 40(1), 012080.
- Kim, K., Jeong, H., Ha, S., Bang, S., Bae, D.-H., and Kim, H. (2017). "Investment timing decisions in hydropower adaptation projects using climate scenarios: A case study of South Korea." *Journal of Cleaner Production*, 142, Part 4, pp. 1827–1836.
- Kim K-T, Lee D-J, and Park S-J. (2014). "Evaluation of R&D investments in wind power in Korea using real option." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, pp. 335–47.
- Kim, E. M., and Kim, M. S. (2013). "Evaluating Economic Feasibility of Solar Power Generation Under the RPS System Using the Real Option Pricing Method: Comparison Between Regulated and Non-regulated Power Providers." *Journal of KIEEME*, 26(9) pp.690–700.
- Kjærland F. (2007). "A real option analysis of investments in hydropower—The case of Norway." *Energy Policy*, 35, pp. 5901–8.
- Kodukula P. and Papudesu C. (2006). "Project valuation using real options: a practitioner's guide." *J. Ross Publishing*, Fort Lauderdale, Florida.
- Kroniger D, and Madlener R. (2014). "Hydrogen storage for wind parks: A real options evaluation for an optimal investment in more flexibility." *Applied Energy*, 136, pp. 931–46.
- Kumbar oğlu G., Madlener R., and Demirel M. (2008). "A real options evaluation model for the diffusion prospects of new renewable power generation technologies." *Energy Economics*, 30, pp. 1882–908.
- Lee H, Park T, Kim B, Kim K, and Kim H. (2013). "A real option-based model for promoting sustainable energy projects under the clean development mechanism." *Energy Policy*, 54, pp. 360–8.
- Lee S-C. (2011) "Using real option analysis for highly uncertain technology investments: The case of wind energy technology." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp. 4443–50.
- Lee S-C, and Shih L-H. (2010). "Renewable energy policy evaluation using real option model—The case of Taiwan." *Energy Economics*, 32, Supplement 1:S67–S78.
- Lee, D., Yun, S., Kim, S., and Jeong, K. (2012). "Economic Evaluation of Offshore Wind Power Demonstration Project by the Real Option Method." *Korean Energy Economic Review*, 11(2), pp. 1–26.
- Lin, B., and Wesseh Jr, P. K. (2013). "Valuing Chinese feed-in tariffs program for solar power generation:

- A real options analysis.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, pp. 474–482.
- Loncar, D., Milovanovic, I., Rakic, B., and Radjenovic, T. (2016). "Compound real options valuation of renewable energy projects: The case of a wind farm in Serbia.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.001>.
- Martinez - Cesena EA, Azzopardi B, and Mutale J. (2013). "Assessment of domestic photovoltaic systems based on real options theory.” *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21, pp. 250–62.
- Martinez-Cesena EA, and Mutale J. (2012). "Wind power projects planning considering real options for the wind resource assessment.” *Sustainable Energy, IEEE Transactions on*, 3, pp. 158–66.
- Mun, J. (2002). "Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions.” *John Wiley & Sons*, Hoboken, NJ.
- REN21. (2016). "Renewables 2015 Global Status Report.” *REN21 Secretariat*, Paris, France.
- Reuter, W. H., Szolgayova, J., Fuss, S., and Obersteiner, M. (2012). "Renewable energy investment: Policy and market impacts.” *Applied Energy*, 97, pp. 249–254.
- Venetsanos, K., Angelopoulou, P., and Tsoutsos, T. (2002). "Renewable energy sources project appraisal under uncertainty: the case of wind energy exploitation within a changing energy market environment.” *Energy Policy*, 30(4), pp. 293–307.
- Zavodov, K. (2012). "Renewable energy investment and the clean development mechanism.” *Energy Policy*, 40, pp. 81–89.
- Zhang, M. M., Zhou, P., and Zhou, D. Q. (2016). "A real options model for renewable energy investment with application to solar photovoltaic power generation in China.” *Energy Economics*, 59, pp. 213–226.

요약 : 기후변화의 영향으로 세계 각국은 화석연료 사용을 줄이고, 신재생에너지에 대한 투자가 활발하게 이뤄지고 있다. 세계 전력의 23.7%를 신재생에너지가 공급하고 있으며, 계속된 기술의 발전으로 화력설비와 발전원가 면에서 경쟁할 수준이 되어 투자 여건이 좋아 지고 있다. 하지만, 신재생에너지 프로젝트의 투자를 결정하는 것은 쉽지 않다. 본 연구는 신재생에너지 중에서 많은 비중을 차지하고 있는 수력, 태양광, 풍력발전 프로젝트 투자 결정에 실물옵션방법을 적용한 경제성평가에 대해 국내외 연구동향을 분석하였다. 본 연구는 (1)전통적 경제성분석방법과 실물옵션방법의 차이점, (2)적용 과정, (3)많은 연구들이 제시한 신재생에너지 프로젝트의 불확실성 요소들과 옵션종류에 대해 알아보았다. 실물옵션분석방법은 신재생에너지 프로젝트의 불확실성 요소들을 고려하고 수익을 향상시키거나 리스크를 피할 수 있는 옵션 적용이 가능하여 세밀한 투자계획수립에 적합하다.

키워드 : 실물옵션, 신재생에너지, 불확실성, 변동성, 경제성분석
