

## 실물옵션을 활용한 RPS 실시에 따른 태양광 발전의 경제성 평가: 공급의무 발전사와 일반 발전사와의 비교

김은만<sup>1,a</sup>, 김명수<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한국산업기술대학교 에너지정책학과

<sup>2</sup> 극동대학교 태양광공학과

### 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

Eun-Man Kim<sup>1,a</sup> and Myung-Soo Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Energy Economics and Policy, Korea Polytechnic University, Siheung 429-923, Korea

<sup>2</sup> Department of Photovoltaic Engineering, Far East University, Eumseong 369-700, Korea

(Received August 7, 2013; Revised August 14, 2013; Accepted August 24, 2013)

**Abstract:** This study reviewed how the changes of the government policy on solar power generation projects affected the annual mandatory quotas of the regulated power providers under the RPS (renewable portfolio standard) system and analysed economic feasibility of the investment for meeting their quotas as compared to the case of non-regulated power providers. The analysis results showed that under the discount rate of 7.5%, which was used for the annual national electricity plans for the recent years, both the regulated and non-regulated power providers achieved economic feasibility under both the NPV (net present value) method and the real option pricing method. It was also shown that higher profitability was attained by non-regulated power providers than by their regulated counterparts, which can be attributable to the fact that regulated providers are required to out-source 50% of the total quota. The results of this study are considered to be useful for establishing a meaningful mid term or long term strategy for the future of solar power generation linked to the current RPS system.

**Keywords:** NPV, Real option, Option to grow

#### 1. 서 론

a. Corresponding author; eu-man@hanmail.net

Copyright ©2013 KIEEME. All rights reserved.  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

최근 국제유가의 불안정성과 지구온난화에 따른 기후변화의 심각성으로 화석에너지 고갈, 온실가스 감축 등의 에너지·환경 문제는 세계 각국의 초미의 관심사가 되고 있다. 이에 대한 대책으로 신·재생에너지 개발·보급에 대한 필요성이 어느 때 보다도 강조되고 있다. 하지만 신·재생에너지는 기존의 화석연료 보다 발전단가가 높아, 많은 초기 투자비용이 발생하기 때문에 정부의 지원정책 없이는 보급

및 확대가 어려운 단점이 있다. 이에 정부에는 신·재생에너지 보급·확대를 위한 다양한 정책을 펼치고 있으며, 그 중에서는 2011년까지 시행한 FIT (feed in tariff)는 초기 신·재생에너지 보급실적에 기여한 바가 크다. 하지만 FIT 시행에 따른 정부의 재정부담 등의 단점으로 인해 2012년부터는 신·재생에너지를 대폭 확대하는 방안으로 RPS 제도를 도입하여 시행 중에 있다.

하지만 우리나라는 여전히 신·재생에너지 보급실적이 2010년을 기준으로 2.61% 수준에 그치고 있으며, 그 구성에 있어서도 폐기물과 수력이 80%를 넘게 차지하고 있어 신·재생에너지 개발이 시급한 상황이다. 특히 태양광은 다른 신·재생에너지에 비해 우리나라가 반도체, 디스플레이 산업의 가치 사슬 (value chain)이 이미 잘 형성되어 있고, 대·중소기업이 동반 성장할 수 있는 인프라가 어느 정도 갖춰진 상태이기 때문에 다른 신·재생에너지원보다 보급 확대에 따른 발전가능성이 높다. 2010년 국내의 태양광 산업에 대한 투자는 전체 신재생 에너지 투자액의 80%를 차지할 정도로 활발하였고, 매출 실적은 6조원에 육박할 정도로 성장할 정도로 활발한 모습을 보여주고 있다.

하지만, 태양광에서의 글로벌 경쟁력은 아직도 미약하다. 폴리실리콘 소재 영역에서는 선진국과 대등한 기술력을 확보하였지만, 잉곳·웨이퍼 및 태양전지, 모듈 분야는 선진국의 80% 정도 수준이다. 특히 태양전지 및 모듈 분야는 비교적 진입 장벽이 낮기 때문에 다수가 경쟁하는 양상이고, 2009년 태양광 상위 7개 업체가 전체시장의 74%를 차지했던 업종의 특성을 고려해 볼 때, 현재 시장 점유율 5%인 우리나라가 이 분야에서 차별성을 확보하기 위해서는 과감한 연구개발로 세계에서 인정받는 고효율의 제품을 개발하는 전략이 절대적으로 필요할 것으로 보인다.

본 연구의 목적은 2012년 본격적인 RPS 시행과 관련하여 발전차액지원을 받지 못하는 신규 태양광 발전 사업자를 위하여 RPS와 연계한 태양광발전사업의 경제성을 비교 분석해 본다. 구체적으로는 공급의무 발전사와 일반 발전사를 고려하며, 이때 공급의무 발전사와 일반 발전사와의 발전량은 동일한 것으로 산정한다. 기존의 대부분 투자사업에 대한 경제성 분석은 현금흐름할인법 (discount cash flow)을 활용하였다. 현금흐름할인법은 불확실성 하에 경영 혹은 관리상의 유연성을 가치평가에 제대로 반영하지 못한다. 실물옵션가격결정법은 금융자산을 대상으로 사용하는 옵션가격결정모형을 실물자산에 적용한 방법으로서 불확실성이 매우 높아서 유연성이 요구되는 태양광발전사업에 반영할 수 있는 장점을 지닌다. 실물옵션가격결정법은 적용 되는 모형에 따라 이항옵션가격결정모형, 블랙-숄즈 옵션가격결정모형, 몬테카를로 시뮬레이션 모형 등으로 세분화된다.

본 연구에서는 사업을 포기할 수 없을 뿐만 아니라, 지속적으로 투자가 이루어져야 하기 때문에 이항옵션 가격 결정모형을 채택한다. 더 나아가 전통적이며 확실성을 기반으로 하는 순 현재 가치 (net present value, NPV)와 평가 결과를 비교해서 불확실성 하에서의 유연성을 도출하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제2.1장에서는 관련 선행연구에 대한 문헌조사를 실시하였고, 제2.2장에서는 실물옵션 기법과 본 연구의 적용 범위에 대한 이론적 근거를 제시하였으며, 제2.3장은 태양광 발전 사업의 NPV법에 의한 순현재 가치를 비교하고, 제3.1장에서는 태양광 발전 사업의 실물옵션 가치 평가를 비교한다. 제3.2장에서는 할인율과 인증서 가격 변화에 따른 민감도를 분석하였으며, 마지막으로 제4장에서는 연구의 내용을 요약하고 시사점을 제시한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 관련선행 연구

발전 부문에서 실물옵션가격결정법을 활용한 선행 연구들을 살펴보면, Larsen(2000)은 실물옵션가격결정법을 활용하여 전력산업에 대한 투자를 평가하였다. Frode(2007)은 수력발전소의 투자에 대해 실물옵션가격결정법을 활용하여 평가하였으며, 박호정·장철호(2007)은 동태최적화 방법을 발전회사의 이윤극대화 문제에 적용하여 실물옵션가격결정법을 활용한 소형열병합발전소의 경제성을 평가하였다. 김경택·이덕주(2010)은 실물옵션을 이용한 풍력에너지 기술의 경제적 가치를 평가하였으며, 이동수·정기호(2011)은 실물옵션을 활용한 화력발전회사의 CO<sub>2</sub> 감축대안의 경제성을 평가하였다. 또한 김경만·선우석호(2011)는 태양광 사업에 내재된 실물옵션 가치에 관해서 연구하였으며, 윤원철·손양훈·김수덕(2003)은 실물옵션을 활용한 발전소 건설 타당성 분석을 하였다. 본 연구에서는 실물옵션을 활용한 RPS 제도 하에서 태양광 발전의 공급의무 발전사와 일반 발전사와의 경제성비교 분석이라는 점에서 선행연구와 차별을 두었다.

### 2.2 실물옵션 기법

#### 2.2.1 실물옵션의 개념 및 중요성

실물옵션 (real option)이란 금융옵션의 상대적 개념으로 전통적 DCF (discount cash flow) 모형의 한계점을 극복하고 사업운영 중에 포착되는 투자연기선택권, 철수선택권, 성

장기회선택권, 단계적 투자선택권 등의 실물투자 의사결정 옵션을 말한다. 실물옵션은 투자사업의 미래현금흐름의 현가를 추정하고 미래 의사결정단계에서 프로젝트의 연기, 확장, 축소, 전환 등의 옵션가치를 산정하여 프로젝트의 가치를 극대화시킬 수 있는 전략적 방향을 선택하는 투자결정이론이다. 실물옵션의 가장 큰 특징은 의사결정 단계마다 대상 옵션의 선택에 대한 의무가 아닌 권리를 갖는 옵션 고유의 성격에서 찾을 수 있다. 옵션행사 가능 시기에 따라 미국식 옵션, 유럽식 옵션으로 나눌 수 있다. 미국식 옵션은 옵션만기 전 언제든지 권리를 행사할 수 있으나, 유럽식 옵션은 만기 시점에만 가능하고 그 이전에는 행사를 할 수 없다.

실물옵션가치에 영향을 미치는 주요변수는 투자사업의 현금흐름에 대한 변동성과 옵션 프리미엄으로 변동성이 클수록, 그리고 옵션 프리미엄이 작을수록 옵션가치가 커진다. 현재와 같은 대규모 투자와 과거와는 비교할 수 없을 정도로 커진 변동성 및 장기 투자기간에 적합한 평가모형이 바로 실물옵션모형인 것이다.

실물옵션은 새로운 사업환경에 따른 혁신적인 해답이라고보다는 가치평가 및 자산배분을 개선하고 결국에 가서는 주주가치를 증진시키는 점진적 과정의 일부로 인식되고 있다. 이 실물옵션의 이용에 대한 강요는 없으나, 장기적 관점에서 실물옵션이 전통적 DCF 모형보다 우수한 의사결정 기법으로 경쟁우위를 제공할 수 있는 논리적 근거를 가지고 있다. 기업의 경우 미래성장을 위한 전략적 기반투자의 경우 대부분 시장의 미성숙이나 초기에 집중되는 투자로 인하여 NPV가 음수가 되어 투자를 기각하게 되는데, 이러한 그릇된 투자결정에 대한 잘못을 바로잡아 줄 수 있는 평가방법이 실물옵션인 것이다.

본 연구에서는 경제성 분석 대상이 되는 태양광발전사업의 발전소 설비수명이 25년 동안 장기간 운영되는 발전소에 대한 평가로써 의사결정자는 의무적으로 투자를 하여야 하므로, 발전소 투자 사업과 관련한 불확실성을 적절히 반영한 경제성 평가가 필요하다.

## 2.2.2 실물옵션의 소개 및 본 연구의 적용 옵션

실물옵션의 종류에는 여러 가지가 있는데, 형태에 따른 콜옵션과 풋옵션, 행사시점에 따른 유럽식 옵션과 미국식 옵션 외에도 투자 기회에 내재된 선택권에 따라 투자의 연기옵션, 단계별 옵션, 운영규모 변경옵션, 포기옵션, 교체옵션, 성장옵션, 복합적 연계옵션 등 다양하다. 태양광발전사업 건설의 경우 현재 보유하고 있는 기술 수준으로써 건설이 가능하므로 발전소를 건설할 경우 이미 투자 옵션을 보유한 것으로 본다. 그리고 본 연구는 정부의 태양광발전사

업의 RPS 도입에 따른 경제성을 비교함에 그 목적이 있다. 또한 태양광발전사업은 이론적으로는 단계별 옵션을 적용하여야 하지만, 사업을 포기할 수 없을 뿐만 아니라, 의무적으로 지속투자가 이루어져야 하기 때문에 성장옵션을 적용하였다. 상기 가정은 태양광발전사업의 의무할당제라는 정부정책적인 부분을 감안한다면 그 타당성을 가질 수 있다고 본다.

본 연구에 적용할 옵션상황을 정리하면 다음과 같다. RPS 의무이행시 태양광발전사업의 경제성을 평가한다. 경제성 평가는 NPV법과 실물옵션가격결정법으로 수행되며, 실물옵션은 지속투자가 이루어져야 하므로 성장옵션으로 하였다. 정부는 유인정책인 FIT제도를 폐지하고, 규제정책인 RPS제도를 도입함으로써 비용증가를 가져왔다. 본 연구의 경제성 평가에 있어서 수익성이 있더라도 이는 정부의 정책적 지원에 대한 가정과 기존 데이터의 활용 등으로 인해 발생될 수 있는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 현 상황에서 의무할당을 받은 발전사업자와 일반 발전사업자의 수익성과 수익성 정도에 관심을 두고 있다.

## 2.2.3 실물옵션 모형

1973년 블랙-숄츠의 옵션가격결정모형은 발표된 이후 이 분야에 대한 활발한 연구가 진행되었으나, 계산 과정의 복잡성과 가정의 제한성 때문에 다양한 환경의 옵션값 산출에 어려움이 있었는데, 이를 극복한 유용한 옵션가격결정방법이 Cox, Ross & Rubinstein (1979)에 의해서 제시되었다. 이항모형은 블랙-숄츠 모형에서 계산하기 어려운 연기, 확장 및 축소, 포기옵션 등의 다양한 옵션뿐만 아니라 일정기간의 옵션행사를 제한하는 버뮤다옵션 등도 자유롭게 계산할 수 있는 장점을 가지고 있다.

이항모형은 다음과 같은 기본가정을 전제로 하고 있다.

첫째, 기초자산의 가격변동은 상승 또는 하락으로만 나타난다. 즉, 기초자산가격은 이항분포를 따르는 이산적인 확률변수이다.

둘째, 기초자산가격의 상승 또는 하락의 확률은 항상 독립적이며 일정하다.

셋째, 기초자산의 상승률과 하락률은 일정하다. 즉 만기까지 기초자산은 일정한 변동성을 갖는다.

넷째, 세금, 거래비용, 이자율 변화 등과 같은 시장의 모든 마찰적 요소가 없는 완전자본 시장이다.

다섯째, 시장은 수요와 공급이 일치하는 균형시장이다.

이항 모형의 사건전개 과정에는 출발 분기점에서  $SU$ ,  $SD$ 라는 상향 및 하향 2가지로 전개되고, 두 번째 분기점에서는  $SU^2$ ,  $SUD$ ,  $SD^2$ 이라는 3가지 방향을 갖게 된다.

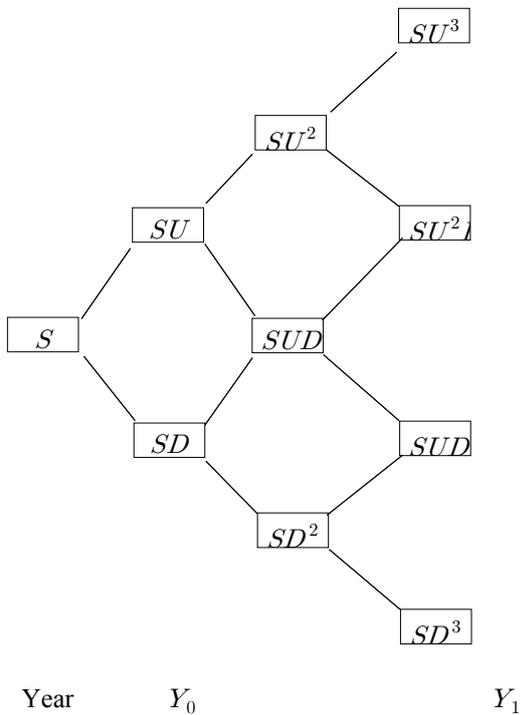


Fig. 1. Development of a binomial model.

이 경우 하향계수  $D$ 가 상방향 계수인  $U = e^\sigma$ 의 역수, 즉  $D = 1/U$ 가 성립된다는 조건이 붙게 된다. 이런 전개는 각 구간의 변동성( $\sigma$ )이 일정하여 기초자산가치가 구간 1에서 구간 2로 진행할 때  $SU^2, SUD, SDU, SD^2$ 라는 4가지 사건이 발생하나 동일한 변동성을 가정할 경우  $SU^2, SUD, SD^2$ 라는 3가지 결과가 나타나게 된다. 그 이후 구간에서도 같은 논리로 전개되어  $n$ 번의 사건이 발생하면  $n+1$ 개의 결과가 생기게 된다. 이와 같은 이항전개를 재결합 래티스 (recombining lattice)라고 한다. 이항모형에서의 옵션가치는 상향계수나 하향계수가 클수록, 사업에 유리한 방향의 값이 커지기 때문에 옵션가치가 커지게 된다. 즉, 변동성이 클수록 옵션가치는 커지게 된다.

이항모형을 계산하는 방법으로 복제포트폴리오접근법 (replication portfolio approach)과 위험 중립확률접근법 (risk-neutral probability approach)이 있다.

**1) 복제포트폴리오 접근법**

복제포트폴리오접근법은 시장포트폴리오접근법이라고도 하는데, 사업의 옵션가치를 구하기 위해 동일한 이익을 보여주는 유사사업과 무위험채권을 이용하는 방법으로 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$C_u = m V_0 + B$$

$C_U$  = 옵션의 가치

$m$  = 동일한 수익을 보여주는 사업 수

$B$  = 무위험채권 수

**2) 위험중립확률접근법**

위험중립확률접근법은 무위험이자율과 위험중립확률로 미래의 현금흐름을 위험을 반영하여 조정하는 것으로 기초자산의 변동성을 상승변동이 나타날 객관적인 확률과 하락변동이 나타날 객관적인 확률변동을 산출하여 이항모형을 전개하는 방법이다. 상승확률을  $U$ , 하락확률을  $D$ 에 대한 계산식은 다음과 같다.

$$U = e^{\sigma \sqrt{\delta t}}$$

$$D = e^{-\sigma \sqrt{\delta t}} = 1/U$$

여기서  $\sigma$ 는 기초 잉여현금흐름 수익의 자연로그함수 표준편차로서 변동성을 나타내고,  $\delta t$ 는 시간을 나타낸다.  $U$ 와  $D$  및 무위험이자율인  $r_f$ 를 아래 식에 대입하여 위험조정확률 또는 위험 중립확률인  $p$ 를 계산한다.

$$p = (e^{r_f \delta t} - D) / (U - D)$$

**2.2.4 실물옵션의 중요변수**

실물옵션가격에 영향을 미치는 주요 5가지 변수로는 기초자산 가치, 행사가격, 옵션만기, 변동성, 옵션 만기까지의 무위험이자율이 있다.

**1) 기초자산 가치**

투자나 합병과 같은 분야의 실물옵션의 경우 기초자산 가격이 상승하면 옵션의 가치는 비례적으로 상승하게 된다. 금융옵션과 차이는 금융옵션의 보유자는 효율적 시장에서 기초자산의 가격에 대하여 영향력을 행사할 수가 없지만, 실물옵션의 경우는 실물자산을 운영하는 운영주체의 능력에 따라 기초자산의 가치를 증가시킬 수 있어 옵션가치를 상승시킬 수 있다.

**2) 행사가격**

콜옵션은 자산을 구입하거나 생산시설을 건설할 때 지출하는 투자액, 반대로 풋옵션은 자산을 매각하여 받을 금액을 의미한다. 일반적으로 콜옵션은 행사가격이 낮을 때 옵션가치가 크고, 풋옵션은 행사가격이 높을수록 풋옵션가격이 커지게 된다.

**3) 옵션 만기**

옵션 만기가 길수록 옵션가치는 커지게 되는데, 만기가 오래 남아 있을수록 기초자산의 변동성으로 인해 옵션 가치가 커질 확률이 높기 때문이다. 미국식 옵션의 경우 현재 시점에서 기초자산 가격이 행사가격을 상회하는 부분을 말하며, 여기에 만기까지의 시간 가치를 합하여 결정되는 것이다. 따라서 만기에 다가갈수록 옵션의 시간 가치는 작아지게 된다.

**4) 변동성**

옵션의 가치는 기초자산의 변동성이 클수록 증가하게 된다. 변동성이 큰 위험자산일수록 미래 가격이 큰 폭으로 하락할 수도 있고, 상승할 수도 있지만, 옵션의 성격이 보유자에게 유리한 경우에만 행사하기 때문에 옵션의 가치는 변동성이 클수록 커지게 된다.

**5) 옵션 만기까지의 무위험이자율**

무위험이자율이 클수록 옵션의 가치가 커지게 된다. 무위험이자율이 클수록 기초자산 가치는 상승하는 반면 행사 가격가가치가 하락하여 옵션가치가 상승하게 된다.

**2.3 태양광발전사업의 NPV 비교**

본 절에서는 공급의무 발전사와 일반 발전사에 대해서 확실성에 기반한 NPV 법으로 경제성을 분석을 한다.

**2.3.1 경제성 분석 시나리오**

정부는 2013년도 RPS 제도 태양광 별도 의무공급량을 72만 3,000 MWh로 개정했다. 따라서 지식경제부는 2013년도 공급의무자별 태양광 별도 의무량을 공고했는데 이는 전년도 27만 6,000 MWh 보다 2.7 증가한 규모다. 의무대상 발전사업자는 2개의 그룹으로 분류되며, 한국수력원자력을 포함한 설비용량이 5,000 MW 이상이 되는 6개 발전사는 전체의무량의 92.3%를 충족해야하며 한국지역난방공사를 포함한 나머지 7 발전사들은 7.7%의 의무량을 충족하면 된다.

RPS 제도를 시행하는 외국의 사례에서 볼 수 있듯이 대부분의 국가들은 RPS 제도만을 시행하기보다는 신재생에너지 인증서 (REC) 시장과 연계해서 시행하는 것이 일반적인 현상이며 RPS 제도 하에서 발전사업자는 직접 발전 시설을 구축하고 발생한 전력으로부터 인증서를 획득하거나, 타 사업자가 발전한 전력을 구입하거나, 인증서를 구매하는 방식으로 의무를 충족하고 있다. 현재 우리나라에서는 의무량을 할당받은 발전사들은 할당량의 50%을 외부구매로 정해져 있으며, 의무량을 충족하지 못한 경우 공급의무 발전사업자는 부족분만큼 벌금을 지불하게 된다. 일반 발전사업자들은 획득한 인증서를 계약시장과 현물시장으로 공

급의무자와 계약을 체결하게 된다.

본 분석에서는 공급의무 발전사업자의 의무공급량인 2013년 723,000 MWh, 2014년 1,156,000 MWh, 2015년 1,577,000 MWh 발전량을 기준으로 공급의무 발전사업자와 일반 발전사업자와의 경제성을 비교 분석하였으며, 또한 민감도 분석으로써 할인율에 따른 NPV의 변화와, REC 가중치 변화에 의한 NPV 변화를 분석하였다. 공급의무 발전사업자의 경우 외부구매 50%를 충당했을 시를 가정하여 분석한다. 두 발전사업자의 경제성 비교를 위해 발전량은 동일한 전력량으로 한다.

**2.3.2 분석자료 및 변수 설명**

아래에서는 순현재가치 분석을 통해 공급의무 발전사와 일반 발전사와의 순현재가치의 변화를 비교해 보았다. 순현재가치분석은 일정 기간의 수입 (수익)과 지출 (비용)의 현금 흐름의 차이를 할인율을 적용하여 현재시점으로 할인한 금액의 총합을 나타내는 방법으로 현금유입가-현금유출가>0이면 사업을 수행할 가치가 있고 현금유입가-현금유출가<0이면 경제성이 없는 것으로 판단한다.

경제성을 평가함에 있어 분석 기간은 당해 사업 또는 시설물의 내구연한과 같거나 그 보다 짧은 것이 통례이다. 본 논문에서 사용된 분석 기간은 태양광 설비의 평균 수명인 25년을 적용하였다. 발전사업 등 일반적인 투자사업의 투자효과는 장기간에 걸쳐 발생한다. 어떤 투자사업의 사업 계획기간 (내용 연수)이 여러 해 또는 수십 년일 경우 경제수명이 끝나는 시기까지 각기 다른 기간마다 다른 비용과 편익을 명목가치 그대로 비교하기 어렵기 때문에 미래의 상이한 시점에서 발생하는 편익과 비용의 흐름을 현재가치로 환산하는 수단으로 할인율을 사용한다.

본 연구에서는 전력수급기본계획에 적용하는 7.5%를 할인율로 결정하여 분석하였다. 또한 매년 발생하는 편익은 발생한 전력량과 인증서 가격과 계통한계가격을 통해 추정하였다. 비용은 초기투자비용과 운전유지비용, 인증서 구매 가격으로 추정하였다.

**Table 1.** Cost and benefit.

	Cost	Benefit
Items	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Initial Investment</li> <li>· Annual cost of Management</li> <li>· Purchase Price of REC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (REC+SMP) × Annual Energy Production</li> </ul>

**Table 2.** Calculation of facility cost for solar power.

	PV Module (thou. won/kW)	PV Module (\$/kW)	Inverters (thou. won/kW)	Supporters (thou. won/kW)	Indirect Cost (thou. won/kW)	Construction Cost (thou. won/kW)	Land Cost and Others (thou. won/kW)	Unit Cost of Installation (10 thou. won/kW)
Alternative Base-line	1,967	1.8	400	360	648	930	474.5	477.9

**Table 3.** Cost for solar power.

	O&M Cost as a Percentage of Facility Investment Cost	Sources
ECN	0.4~1.0%	- ECN-C-03-006
EPRI(미)	0.21%	- EPRI TAG
NREL(미)	0.6%	- NREL/CD-520-33586

지식경제부가 2013년도에 공고한 태양광 별도 의무 공급량을 참고하여 설비용량과 발전량을 통해 설비이용률 15.01%와 연간 발전 8,760시간을 산출하였다. 설치되는 태양광 설비의 설비단가를 추정하기 위해 전기연구원의 자료에서 PV 모듈의 예상 가격을 참조하여 설비 단가를 재산정하였다. 한국전기연구원이 인용한 Solar & Energy에 따르면, PV 모듈의 가격은 2011년 \$1.5에서 2014년 \$1.08까지 하락할 것으로 예상되고, 2012년 \$1.3 정도로 가정할 경우 423.3만원/kW 정도로 예상되므로 동 가격을 기준으로 시나리오 분석을 하였다.

운전유지 비용의 경우 신재생에너지를 이용한 발전의 경우 기존의 발전소들에 비해 연료비 등이 거의 들지 않기 때문에 적은 비용이 발생한다. 해외의 경우, 운전유지비용은 시스템의 입지 및 종류에 따라 다르기는 하지만 0.2~1% 수준으로 나타난다. 태양광 발전의 보급이 활발하게 이루어진 유럽지역의 경우 설비비 대비 운전유지비용을 1%로 적용하고 있으며, 국내외 연구논문들이 태양광 설비의 경제성을 분석함에 있어 운전유지비를 매년 초기투자비의 1%로 설정한 것을 감안하여 본 연구에서도 1%를 적용하여 분석하였다. 인증서 가격의 경우, RPS 제도와 연계되어 작동하는 인증서 시장에서 의무대상자의 수요와 공급으로

**Table 4.** Relevant variables for NPV analysis in solar power.

	Regulated Suppliers		Non-regulated Suppliers	
	Invested in 2013 only	Invested through 2015	Invested in 2013 only	Invested through 2015
Initial Invested Amount (10 thou. won/MW)	423,300			
New Power Capacity (MW)	274.93	599.68	549.86	1199.35
Total Invested Amount (10 thou. won)	116,377,869	253,843,574	232,755,738	507,687,148
Percentage of O&M Cost (%)	1	1	1	1
Annual O&M Cost (10 thou. won)	1,163,778.69	2,538,435.74	2,327,557.38	5,076,871.48
Electrical generation in megawatt-hours (MWh/Year)	8,760			
Capacity Utilization Rate (%)	15.01			
Discount rate (The Current Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand)	7.5%			
Power Generation (MWh)	361,500	788,500	723,000	1,577,000
System Marginal Price (10 thou. won/MWh)	16			
REC Price (10 thou. won/MWh)	18			

\* 1\$=1100 won Application

인해 변동될 수밖에 없으며, 2012년도 REC 평균 가격이 180/kW 원이며 계통한계 가격은 160/kW으로 나타났다. 의무공급 발전사업자의 분석 자료를 보면 2013년만 투자일 경우에는 총 설치비가 11,637억원이 소요가 되며, 의무발전량은 361,500(MWh)로 나타났고, 2015년까지 지속투자인 경우에는 총 설치비가 25,384억원이 소요가 되며, 의무발전량은 788,500(MWh)로 나타났다. 일반 발전사업자의 분석 자료를 보면 2013년만 투자일 경우에는 총 설치비가 23,275억원이 소요가 되며, 발전량은 723,000(MWh)로 나타났고, 2015년까지 지속 투자인 경우에는 총 설치비가 50,768억원이 소요가 되며, 의무발전량은 1,577,000(MWh)로 나타났다.

### 3. 결과 및 고찰

위의 자료를 가지고 NPV 변화를 분석하여 보면 다음과 같다.

**Table 5.** NPV for power energy suppliers.

Year	Unit: Thou. won			
	Regulated Suppliers		Non-regulated Suppliers	
	Invested in 2013 only	Invested through 2015	Invested in 2013 only	Invested through 2015
NPV	16,959,255	31,807,837	33,918,509	63,615,683

의무공급 발전사업자의 경우에는 2013년만 투자하였을 때는 2013년에는 10,525억원의 손실로 시작하여 총 NPV는 1,695억원으로 나타났으며, 2015년까지 지속 투자하였을 때는 2015년까지는 손실로 나타났으나, 총NPV는 3,180억원으로 나타났다. 일반 발전사업자의 경우에는 2013년만 투자하였을 때는 2013년에는 2,105억원의 손실로 시작하여 총 NPV는 3,391억원으로 나타났으며, 2015년까지 지속 투자하였을 때는 2015년까지는 손실로 나타났으나, 총 NPV는 6,361억원으로 나타났다. 일반 발전사업자가 의무공급 발전사업자보다 NPV가 높게 나타난 것은 의무공급 발전사업자의 경우 총 의무공급량에서 50%를 구매해야 하기 때문인 것으로 볼 수가 있다. 분석 결과를 보면, 2013년만 투자하는 경우보다는 2015년까지 지속 투자하는 경우의 NPV가 더 높게 나타나고 있음을 알 수가 있다.

**3.1 태양광발전사업의 실물옵션 가치평가 비교**

**3.1.1 실물옵션가치평가 분석을 위한 투입변수 측정**

**1) 기초자산가치 (S: underlying asset value)**

태양광산업의 현재가치 PC= NPV+I로 DCF로 계산된 순현재가치에 투자금액의 현가를 더한 값으로 구한다. 따라서 앞에서 산출된 태양광 산업의 NPV와 2003년도에 투자한 금액을 합한 것이 기초자산가치 (S)가 된다. 이를 정리하여 보면 다음과 같다.

**Table 6.** Underlying asset value.

	Invested Amount	NPV	Value of Beginning Assets
Regulated Suppliers	116,377,869	16,959,254	133,337,123
Non-regulated Suppliers	232,755,738	33,918,509	266,674,247

**2) 만기 (T, Maturity)**

옵션의 만기는 태양광 산업의 가행기간은 25년이나 확장옵션의 만기는 2015년인 2년에 확장옵션을 행사할 수 있다고 하였다.

**3) 변동성 ( $\sigma$ : volatility)**

2002년 1월부터 2012년 12월까지의 SMP 월별 평균가를 기초로 하여 월별 자료를 산출하여 변동성을 추정하였다.

월별 SMP 가격의 자연로그 값의 평균을 구하면 0.007151 이고, 표준편차의 합계는 1.25522를 구하였다. 변동성은 표준편차 합계를 총 기간 132개에서 표준편차를 구한 기간인 131개로 나눈 값을 제곱근하면 0.097148를 구할 수 있다. 그러나 이 변동성은 월별 변동성이므로 연간 변동성

**Table 7.** Regression analysis results.

	Volatility
Mean	.007151
Total Standard Deviation	1.25522
Monthly Volatility	.097148
Annual Volatility	.336531

으로 변환해줄 필요가 있다. 월별 변동성을 연간 변동성으로 변환하기 위해서는 월별 변동성에 개월 수인 12의 제곱근을 곱하면 0.336531로 SMP 가격의 변동성은 33.65%가 된다.

**4) 행사가격 (X: exercise price or strike price)**

태양광 산업의 확장에 대한 옵션 만기는 2년으로 보았고, 확장에 대한 추가비용인 행사가격은 2014년과 2015년으로 두 번에 걸쳐 발생하게 된다. 이를 무위험이 자율로 할인하여 행사가격을 산출하면 다음과 같다.

**Table 8.** Gross investment by the solar energy industry and its present value.

(Unit: 0.1 billion won)

		Y0	Y1	Y2	Total
Regulated Suppliers	Investment	11,637	6,969	6,776	25,382
	PV	11,637	6,446	5,944	24,027
Non-regulated Suppliers	Investment	23,275	13,939	13,553	50,767
	PV	23,275	12,893	12,536	48,704
Risk-free Interest Rate		7.5% (According to the current basic plan for electricity supply and demand)			

**5) 확장 요인 ( $E_f$ : expansion factor)**

의무공급 발전사업자의 경우 2013년만 투자 시 태양광 산업의 잉여현금흐름 (FCF)은 16,180(억원)이었고, 2015년까지 지속 투자의 경우 잉여현금흐름은 33,329(억원)이었다. 일반 발전사업자의 경우 2013년만 투자 시 태양광 산업의 잉여현금흐름 (FCF)은 32,360(억원)이었고, 2015년까지 지속 투자의 경우 잉여현금흐름은 66,659(억원)이었다. 이는 의무공급 발전사업자와 일반 발전사업자 모두 확장투자 시 잉여현금흐름이 2.0배 증가하였다는 것을 알 수가 있다.

**Table 9.** Estimated free cash flows at expansion stage.

	Invested in 2013 only (FCF)	Invested through 2015 (FCF)	Change (%)
Regulated Suppliers	161,802,664	333,297,850	2.0
Non-regulated Suppliers	323,605,328	666,595,721	2.0

**6) 상향계수 (u: up factor)**

상승확률은  $u = e^{(\sigma \cdot \sqrt{\delta t})}$ 로 구할 수 있으며, 이를 대입하면 변동성과 이항시간으로 구할 수 있으며, 계산하면 상향계수는 1.400082로 나타난다.

**7) 하향계수 (d: down factor)**

하향계수는  $d = e^{(-\sigma \cdot \sqrt{\delta t})} = \frac{1}{u}$  식으로 구할 수 있으며, 1/1.400082로 구하면 하향계수는 0.71424374로 나타난다.

**8) 무위험이자율 ( $r_f$ : risk free rate)**

무위험이자율은 전력수급기본 계획에서 제시한 7.5%로 하였다.

**9) 위험중립확률 (p: risk-neutral probability)**

위험중립확률 p는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$p = (e^{r_f \cdot \delta t} - d) / (u - d)$$

위 식을 이용하여 위험중립확률을 계산하여 보면 0.53으로 나타나게 된다.

**10) 옵션투입 변수**

Table 10. Input variables for real options.

	Regulated Suppliers		Non-regulated Suppliers	
	Invested in 2013 only	Invested through 2015	Invested in 2013 only	Invested through 2015
NPV (0.1 bil. won)	1,695	3,180	3,391	6,361
Initial Invested Amount (0.1 bil. won)	11,637	25,384	23,275	50,768
Beginning Assets ( $V_0$ )	13,332		26,666	
Maturity (T)		4		
Variance ( $\sigma$ )		33.65%		
Expansion Factor ( $E_f$ )		2.0		2.0
Execution Price (0.1 bil. won)(X)	12,390		25,429	
Up-counting (u)		1.40		
Down-counting (d)		0.71		
Risk-free Interest Rate ( $r_f$ )		7.5		
(Current Basic Plan for Electricity Supply and Demand)				
Risk-neutral Probability (p)		0.53		

**3.1.2 실물옵션의 평가 분석**

**1) 의무공급 발전사업자**

Table 11. Feasibility evaluation of a solar power project led by a regulated supplier using real options.

(Unit: 0.1 bil. won)

Variables	Regulated Suppliers
Beginning Assets	13,332
Beginning Assets at Expansion Stage	15,058
Value of Growth Option	1,726
NPV	1,695
Project Value including Growth Option	3,421

의무공급 발전사업자를 대상으로 실물옵션을 전개하여 보면, 기초 자산은  $Y_0$ 년 차에 13,332억으로 시작하여  $Y_4$ 년 차에는 51,228억원으로 증대되는 것으로 나타나고 있다. 그리고 확장 시 기초자산을 보면,  $Y_4$ 년 차에 89,244억원으로 산출되었고, 역순으로 계산하여 보면,  $Y_0$ 년 차에 15,058억원으로 나타나고 있었다. 즉, 사업확장 시 성장옵션의 가치가 1,726억원이 증가된 것으로 나타났으며, 확장 전 NPV를 성장옵션의 가치와 더하게 되면 3,421억원의 성장옵션을 포함한 사업가치가 된다. 그리고  $SD^2$ ,  $SUD^2$ ,  $SD^3$ ,  $SUD^3$ ,  $SD^4$ 노드에서는 사업을 확장하는 것보다 지속하여야 한다는 결과로 나타났으며, 그 외의 노드에서는 사업을 확장하는 것이 더 효과적이라고 나타났다.

**2) 일반 발전사업자**

Table 12. Feasibility evaluation of a solar power project led by a non-regulated supplier using real options.

(Unit: 0.1 bil. won)

Variables	Non-regulated Suppliers
Beginning Assets	26,666
Beginning Assets at Expansion Stage	33,926
Value of Growth Option	7,260
NPV	3,391
Project Value including Growth Option	10,651

일반 발전사업자를 대상으로 실물옵션을 전개하여 보면, 기초 자산은  $Y_0$ 년 차에 26,666억으로 시작하여  $Y_4$ 년 차에는 102,454억원으로 증대되는 것으로 나타났다. 그리고 확장 시 기초자산을 보면,  $Y_4$ 년 차에 178,474억원으로 산출되었고, 역순으로 계산하여 보면,  $Y_0$ 년 차에 33,926억원으로 나타나고 있었다. 즉, 사업확장 시 성장옵션의 가치가

7,260억원이 증가된 것으로 나타났으며, 확장 전 NPV를 성장옵션의 가치와 더하게 되면 10,651억원의 성장옵션을 포함한 사업가치가 된다. 그리고,  $SD^2$ ,  $SUD^2$ ,  $SD^3$ ,  $SUD^3$ ,  $SD^4$ 노드에서는 사업을 확장하는 것보다 지속하여야 한다는 결과가 나타났으며, 그 외의 노드에서는 사업을 확장하는 것이 더 효과적이라고 나타났다.

### 3.2 민감도 분석

#### 3.2.1 할인율 변화에 따른 민감도 분석

할인율 변화에 따른 민감도를 분석하기 위하여 할인율 1~13%까지 1%p씩 변화시켜 NPV의 변화와 성장옵션의 가치 변화를 분석하였다. 그림 2의 할인율 변화에 따른 NPV의 변화를 살펴보면, 의무공급 발전사업자와 일반 발전사업자 모두 할인율이 1.0%에서 9.0%인 경우에는 NPV값이 모두 양의 값을 갖지만, 10.0% 이상인 경우에는 모두 음의 값을 가지게 된다. 즉, 할인율이 낮을수록 태양광발전사업은 효율적으로 나타났지만, 할인율이 높아질수록 태양광발전사업은 비효율적인 것으로 나타났다. 할인율의 변화를 보면, 2013년만 투자하는 경우와 2015년까지 지속 투자하는 경우를 비교하여 보면, 할인율이 낮을 때에는 2015년까지 지속 투자하는 것이 더 효과적으로 나타나고 있었으나, 할인율이 높을 때에는 2013년만 투자하는 것이 더 효과적으로 나타나고 있다.

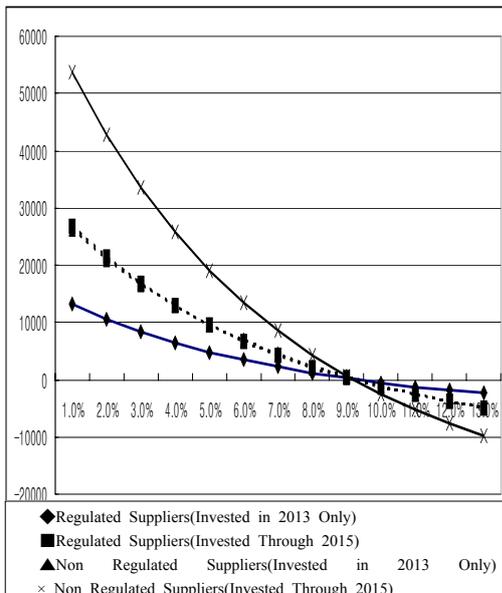


Fig. 2. Changes in NPV according to changes in discount rate.

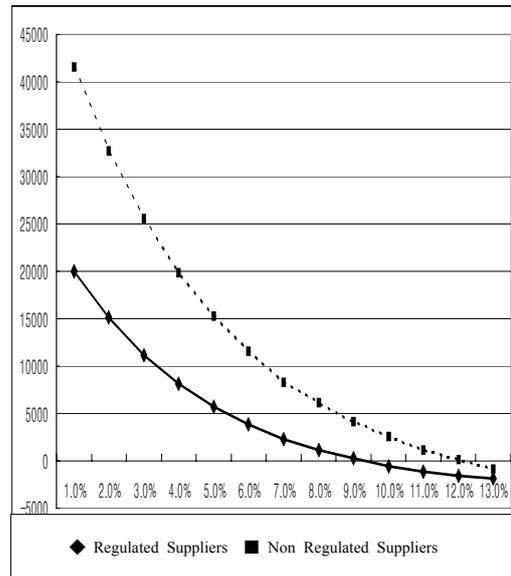


Fig. 3. Changes in growth option value according to changes in discount rate.

그림 3의 할인율 변화에 따른 성장옵션의 가치 변화를 살펴보면, 의무공급 발전사업자의 경우는 할인율이 9.0% 이하인 경우에는 성장옵션이 양의 값을 가지게 되므로 나타났으나, 할인율이 10.0% 이상인 경우에는 성장옵션이 음의 값을 가져 비효율적인 것으로 나타났다. 일반 발전사업자의 경우는 할인율이 12.0% 이하인 경우에는 성장옵션이 양의 값을 가지게 되므로 나타났으나, 할인율이 13.0% 이상인 경우에는 성장옵션이 음의 값을 가져 비효율적인 것으로 나타났다. 또한, 할인율이 높아질수록 성장옵션의 가치가 감소하게 되는데, 감소의 정도가 일반 발전사업자가 더 크게 나타나고 있었다. 이는 의무공급 발전사업자보다는 일반 발전사업자가 할인율에 대한 민감도가 더 크다는 것을 알 수가 있다.

#### 3.2.2 REC 가중치에 따른 민감도 분석

그림 4의 REC 가중치 변화에 따른 NPV의 변화를 살펴보면, 의무공급 발전 사업자와 일반 발전사업자 모두 REC 가중치가 높아질수록 NPV가 지속적으로 증가하고 있음을 알 수가 있다. 증가의 정도를 보면, 일반 발전사업자 중에서 2015년까지 지속 투자하는 경우가 가장 큰 것으로 나타나고 있었다.

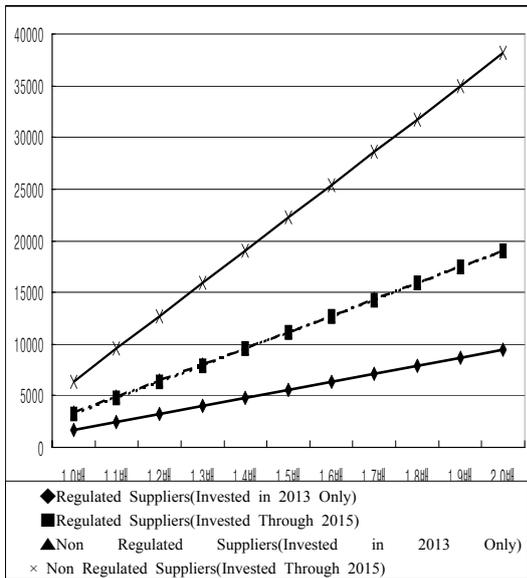


Fig. 4. Changes in NPV according to changes in REC weights.

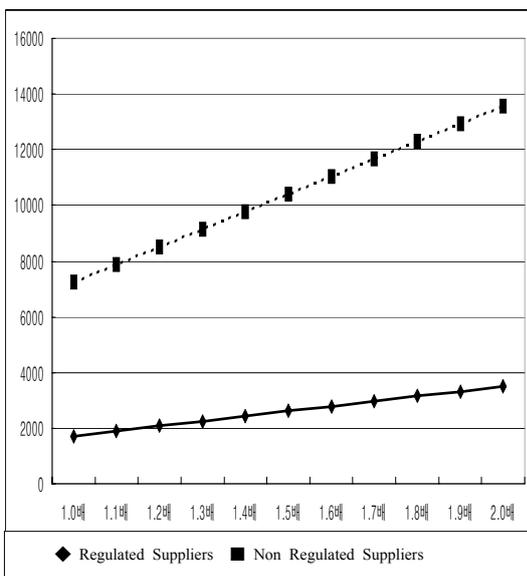


Fig. 5. Changes in growth option value according to changes in REC weights.

그림 5의 REC 가중치 변화에 따른 성장옵션의 변화를 살펴보면, 의무공급 발전 사업자와 일반 발전사업자 모두 REC 가중치가 높아질수록 성장옵션이 지속적으로 증가하고 있음을 알 수가 있다. 증가의 정도를 보면, 일반 발전사

업자가 의무공급 발전사업자보다 가치의 변화가 더 큰 것으로 나타나고 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 태양광 발전 부문에 대한 정부 정책적 환경 변화 속에서 RPS 제도 하에서의 의무발전사들의 연도별 의무할당량을 살펴보고, 할당량 이행에 대한 투자의 경제성을 일반 발전사업자들과 연계해서 경제성을 비교 분석하였다. 또한 민감도 분석으로써 할인율에 따른 NPV의 변화와 REC 가중치 변화에 의한 NPV 변화를 분석하였으며, 공급 의무 발전사업자의 경우 외부구매 50%를 충당했을 시를 고려하여 일반 발전사업자와의 경제성을 분석하였다. 두 발전사업자의 경제성 비교를 위해 전력량은 동일하게 적용했다. 경제성 평가에는 제반 환경에 대한 확실성을 가정한 상태에서 경제성을 분석하는 전통적인 NPV 법과 최근 활발히 논의 중인 실물옵션가격 결정법을 활용하였다. NPV법은 불확실성을 가진 사업은 반영할 수 없다는 단점이 있기에, 본 연구에서는 의사결정자가 사업이 가진 불확실성 하에서 유연성의 가치를 경제성 평가에 반영할 수 있는 실물 옵션가격법을 이용해 각 대안에 대한 경제성 평가를 실시하였다.

정부정책과 연계해서 운영되는 태양광발전사업의 경우 장기간에 걸친 경제성 평가가 요구되므로 수집되는 기초 데이터에 따라 그 결과가 크게 달라지므로 현실성 있는 데이터 수집을 위해 선행 논문집을 많이 참조하였으며, 공신력 있는 전문기관과 정부공공기관의 자료를 수집하여 객관성에 많은 노력을 기울였다.

경제성 분석 결과 전력수급기본계획에 적용하는 할인율(7.5%)에서는 의무공급발전사업자와 일반 발전사업자 모두 NPV와 실물옵션가격결정법에서 경제성이 있는 것으로 분석되었다. 또한 일반 발전사업자의 경우 의무공급발전사업자 보다 수익성이 높은 것으로 나타났는데 이는 의무공급발전사업자의 경우 총 의무공급량에서 50%를 외부구매를 하기 때문인 것으로 볼 수 있다. 민감도 분석에서는 할인율이 10% 이상인 경우에는 음의 값을 가지는 것으로 나타났으며, REC 가중치 변화에 따른 수익성도 그림 4와 그림 5를 통해서 나타내고 있다.

본 연구의 결과는 먼저 2012년부터 시행되고 있는 RPS 제도 하에서 태양광 발전 사업의 정책방향 수립에 있어서 중, 장기 전략수립에 참고가 될 것이라고 생각한다.

우리나라의 태양광 발전 산업은 아직 초기 성장단계에 불과하다. 하지만 국가 에너지 안보와 미래 성장 동력으로

씨의 태양광 발전 산업은 결코 간과해서는 안될 것이다. 태양광 발전 산업을 국가 성장의 새로운 기회로써, 핵심부품과 소재에 대한 경쟁력을 갖추기 위한 지속적인 노력과 연구개발이 이루어져야 할 것이다.

본 연구의 한계로는 미래현금흐름의 추정 및 데이터 수집의 한계를 들 수 있다. 객관적이고 정확한 데이터 수집을 위해 선행논문 및 공신력 있는 공공기관의 자료를 수집하였으나, 연간 운영비와 초기투자비 같은 데이터들은 많은 유연성이 있으며, 이에 대한 정밀 분석은 미흡한 것으로 보인다. 또한, 미래에 대한 현금흐름의 추정에 있어서도 보다 정확한 계량 경제학적 접근 방법이 사용되지 못한 면이 있다. 또 다른 연구의 한계는 분석에서 고려한 불확실성의 요소이다. 실물옵션을 적용할 때 불확실성의 요소는 분석 결과에 큰 영향을 미치며 대부분 선행연구에서도 불확실성의 요소를 한 개만 고려했으며, 본 연구에서도 분석의 현실성을 위해 SMP 가격만을 불확실성의 요소로 하였다. 하지만 비용 측면에서 연간운영비 초기 투자비 등이 불확실한 요소이며, 향후 태양광발전사업의 불확실 요소들을 다 방면에서 검토가 필요할 것으로 보인다. 본 연구에서는 SMP 가격을 과거 추세를 토대로 추정하였는데, 이것은 단순한 접근으로서 추정기법의 개선이 요구되며, 향후 불확실성 요소의 복합적 적용이 추후 연구 과제이다

## REFERENCES

- [1] Y. J. Kwon, 2007, Evaluation of Technical Value of National R&D Projects Using Real Options, A Ph. D. *Dissertation*, Hanyang University, Korea
- [2] K. N. Kim, 2012, Use of Real Options Involved in the Value Chains in the Solar Power Industry towards Value Evaluation, A Ph. D. *Dissertation*, Hong-ik University, Korea
- [3] H. J. Park and C. H. Chang, *Journal of Research on Resources, Environment, and Economy*, **16**, 763 (2007).
- [4] S. R. Oh, Review of Influences of R&D Investment on Value of a Firm Using the Concepts of Real Options, A Ph. D. *Dissertation*, Kyeong-hee University, Korea (2011).
- [5] D. S. Lee and K. H. Chung, *Journal of Research on Resources, Environment, and Economy*, **20**, 61 (2011).
- [6] B. H. Lee, Evaluation of Technical Values of Venture Companies Using Real Options, A Ph. D. *Dissertation*, Cheonbuk University, Korea (2010).
- [7] Y. S. Chun, 2010, Developing a Feed-in-tariff Model Using Real Options and its Application to REC Weights, A Ph. D. *Dissertation*, Ah-joo University, Korea
- [8] Y. J. Chun and H. T. Kim, *Research on Energy and Economy*, **9**, 25 (2010).
- [9] E. J. Chung, 2007, Evaluation of Overseas Investment Projects Using Real Options: Application to Korean Global-scale Firms, A Ph. D. *Paper*, Hanyang University
- [10] D. G. Hwang, 2007, Feasibility Evaluation of Harbor Development Projects Using Real Options, A Ph. D. *Dissertation*, Korea Marine University
- [11] Knowledge and Economy Ministry and Renewable Energy Center of Energy Management Corporation, 2012, The Renewable Energy Portfolio System,
- [12] Korea Electricity Institute, 2010, A Draft Action Plan for the planned national RPS, A Printed Presentation Material at a Public Hearing for the Creation of RPS Rules