

실물옵션을 이용한 태양광 발전사업 투자가치 평가 및 최적투자시기 결정

이용혁*, 김지표**

서울산업대학교 IT정책전문대학원

Valuation and Optimal Timing of the Investment on Photovoltaic Generating Using Real Options

Lee, Yong-Hyuk, Kim, Ji-Pyo

Seoul National University of Technology

E-mail : gotopink@empal.com, jpkim@snut.ac.kr

요 약

최근 급격한 증가세를 보이고 있는 신재생에너지 사업중의 하나인 태양광 발전사업은 아직까지는 기술적, 사회적으로 초기 발전단계를 지나고 있다. 또한 원자재를 포함한 글로벌 실물경제의 변동성이 심하고 에너지 산업분야의 기술수준 역시 급변하고 있으며, 에너지 산업이 과거와 달리 자유경쟁 체제로 변화하고 있어서 태양광 발전사업의 가치를 평가하여 사업에 진입하고자 하는 의사결정을 갈수록 어렵게 하고 있다. 본 논문에서는 실물옵션 기반의 투자가치 평가방법을 적용하여 태양광 발전사업의 사업 투자가치와 최적투자시점을 분석한다. 전력판매가격과 초기투자비용 등의 불확실성에 대해 사업자가 대응 가능하도록 이항격자모형을 통한 분석을 시도하고, 기존의 현금흐름할인법을 기반으로 한 사업성분석 결과와 비교하였다.

1. 서론

21세기에 들어서면서 에너지 산업의 규제완화와 자유경쟁 시대와 함께 본격적인 신재생에너지의 시대를 맞이하고 있다. 세계 발전량의 98%를 차지하던 화력, 원자력 등 기존의 발전방식은 온실가스나 방사선 폐기물 등의 문제에 직면하였고, 태양광, 풍력 및 조력발전을 포함한 신재생에너지 발전은 최근 급속하게 늘어나고 있다.

우리나라 역시 온실가스 감축에 대한 의무와 함께, 신재생에너지에 관한 원천기술 개발과 보급을 위한 정책을 지속적으로 추진하고 있다. 특히 태양광발전 사업은 정부의 적극적인 보급 확산의지 및 지속적 기술개발로 인한 발전단가 하락, 그리고 일사조건의 양호한 우리나라의 자연환경 등의 요인 때문에, 태양광 발전에 대한 투자매력도가 부각되면서 지자체 및 발전사업자의 관심과 참여가 최근 들어 급속하게 늘어나고 있다.

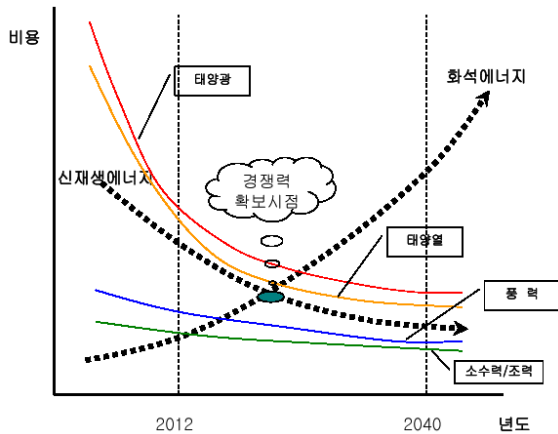
그러나 기존의 순현재가치나 내부수익률 등을 활용한 투자에 대한 가치평가방식은, 급변하는 국제 원자재 수급과 빠른 기술개발 등 태양광 에너지사업의 여건변화에 유연하게 대처할 수 있는 운영상의 대안들을 충분히 반영하기에 어려움이 있다. 본 연구에서는 전통적으로 투자안 가치평가에 사용되어온 순현재가치법이나 내부수익률 등의 방법과 이의 대안으로서의 실물옵션을 이용하여 태양광 발전사업의 경제적 가치를 실증적으로 평가 분석하고, 투자개시옵션과 확장옵션을 고려함으로써 투자의사결정의 유연성을 평가해 보고자 하였다.

2. 태양광 발전사업의 특성

태양광 발전시스템은 빛을 받아 전기를 생산하는 태양전지모듈과 생산된 전기를 저장하는 배터리, 전기를 교류로 변환하고 전력계통에 연결하여 최종 전송하는 인버터 등으로 구성된다. 사업의 특성상 초기에 대규모의 매물성 투자가 발생되며, 운용기간중의 발전원가와

유지보수 비용이 매우 작다는 특징이 있다. 또한 초기 투자는 태양전지를 포함한 발전모듈의 가격이 설비투자의 절반 이상을 차지하고 있으며, 태양전지의 주요 소재인 실리콘가격이 결국 발전소 설비투자금액에 절대적 영향을 주고 있다.

태양광발전의 도입 촉진을 위하여 정부는 2002년 5월부터 발전차액제도를 시행을 통해 일정 수준의 전력 판매가를 법적으로 보장함으로써 발전사업자의 투자경제성을 확보하도록 해주고 있다. 그러나 꾸준한 기술진보와 대규모 상용화를 통하여 태양광 발전설비의 핵심 모듈 가격이 하락추세에 있어서 발전시설의 초기투자규모가 줄어들 것으로 예측된다. 아울러 태양전지의 발전효율이 꾸준히 개선되는데 반해 기존 화석에너지 발



<그림 1> 에너지 발전원가 추이

전의 사회적 비용은 증가추세를 보여 결국에는 <그림 1>와 같이 태양광 발전단가와 화석에너지의 발전단가가 서로 역전될 것으로 전망하고 있다.

이에 따라 현행 발전차액 제도의 지원을 받고 있는 태양광 발전사업은 최종적으로는 완전 자유경쟁 시장으로 진입할 것이며, 정부에서도 점진적인 지원 축소방안을 발표한 바 있다. 따라서 태양광 발전사업의 가치는 국제 원자재의 수급과 가격의 변동성, 그리고 전력생산단가 및 판매가격의 예측에 따라 크게 달라질 수 있으며, 장기간의 사업기간에 비해 최근의 정세 변동폭이 크기 때문에 초기의 올바른 예측이 더욱 중요해지고 있는 시점이라 하겠다.

3. 실물옵션에 의한 사업가치 평가법

사업가치를 평가하고 투자결정을 내림에 있어서 가장 어려운 부분은 미래의 변동성에 대한 예측과 가정을 행하는 것이다. 지금까지 사업가치 분석에 가장 일반적으로 사용해왔던 현금할인분석법(DCF:Discounted Cash

Flow)에 대한 한계점은 이미 여러 연구에서 지적되어 왔으며, 미래의 불확실성과 변동성을 감안할 수 있는 실물옵션분석법(ROV: Real Options Valuation)이 그 대안으로 주목받았다. 미래 현금흐름의 변동성을 살펴보면, DCF의 현금흐름이 가진 분산이 실물옵션의 그것보다 훨씬 크게 나타나는 것을 알 수 있는데, 이것은 DCF의 경우 미래에 발생 가능한 모든 위험과 불확실성을 지금 단계에서 감수하고 결정한다는 것을 의미한다. 반면 실물옵션의 경우는 그 결정을 미래의 시점으로 유예함으로써 불확실성이 해소된 후에 유연성을 갖고 대응한다는 차이가 있으며 아래의 수식이 이를 설명하고 있다.

$$\text{DCF기반 : } MAX(at t = 0) [0, E_0(V_T - X)]$$

$$\text{ROV기반 : } E_0 MAX(at t = T) [0, V_T - X]$$

즉, DCF기반에서는 현재 시점(t=0)에서 미래 현금흐름의 순현재가 $E_0(V_T - X)$ 가 양수일 때 투자안을 선택하는 반면, 실물옵션의 관점에서는 미래의 시점(t=T)에서 순현재가가 양수인 경우에만, 그것도 순현재가가 최대가 되는 시점에서 투자를 하고 그렇지 않은 경우는 투자하지 않는다는 유연성을 갖고 있으며, 이 유연성의 가치를 수치화한 것이 옵션가치라고 볼 수 있다. 실물옵션 가치평가모형은 자원개발, 첨단 정보기술투자, 바이오 연구개발 등의 의사결정에 폭넓게 활용되고 있다.

옵션가치를 결정하기 위한 이론은 Black-Scholes 모형과 이항모형이 대표적으로 사용되고 있다, 블랙-숄즈 모형은 연속시간대의 유럽형 옵션에 적합하며, 옵션가치를 산출하기 위하여 기초자산 가격(S), 행사가격(X), 무위험이자율(r), 만기(T), 그리고 기초자산가격의 변동성(σ)이라는 다섯 가지의 변수를 바탕으로 옵션가격을 결정하게 되는데, 그 공식은 다음과 같다.

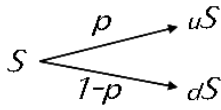
$$C = SN(d_1) - Xe^{-r(T-t)}N(d_2) \quad (\text{식1})$$

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{S}{X}) + (r + \frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(\frac{S}{X}) + (r - \frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}}$$

이항모형은 기초자산의 가격 움직임이 일정한 확률과 변동성에 따라 상승 혹은 하락한다고 가정하여 옵션가치를 구하는 모델이며, 미국형 옵션의 가치산정이 가능하며 금융옵션이 아닌 현실 세계의 적용이 용이하다는

특성을 갖고 있다.



기초자산 S의 가치는 단위기간 후에 상승 혹은 하락하는 이항격자 구조로 나타낼 수 있으며, 이항격자에 의해 형성된 자산에 대한 한 기간 동안의 콜옵션 가치는 무위험이자율이 R_f 일때 다음의 식으로 표현된다.

$$V = \frac{1}{R_f} \{pC_u + (1-p)C_d\} \quad (\text{식2})$$

여기서 $C_u = \max(uS - X, 0)$ 는 가격상승시의 옵션 가치이고 $C_d = \max(X - dS, 0)$ 는 가격하락시의 옵션 가치이다. u 와 d 는 각각 상승과 하락계수를 의미하며 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$u = e^{(r - \sigma^2/2)T + \sigma\sqrt{T}}, \quad d = e^{(r - \sigma^2/2)T - \sigma\sqrt{T}} \quad (\text{식3})$$

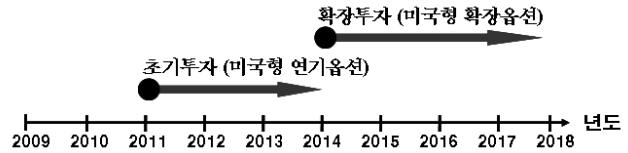
σ : 기초자산의 변동성

3. 문제의 모형화

본고에서는 최근 기업에서 실제로 투자 타당성을 분석하였던 태양광 발전사업의 사례를 이용하였다. 해당 사업은 기준시점인 2008년에 2MW용량의 발전시설 투자가 이루어지고 2009년부터 15년간 운영을 통해 발전 수입이 얻어지게 되며, 초기설비투자는 턴키 시공 기준으로 단가 7\$/kW, 전력판매단가는 2009년 발전개시기준으로 15년간 620원으로 고려하였다.

한편, 태양광 발전사업이 갖고 있는 옵션은 미국형 콜옵션 형태의 연기옵션과 만기이전 확장옵션을 중심으로 고려하여 평가하고자 한다(그림2 참조). 즉, 사업자는 정부의 발전차액 기준가격과 발전소 투자비용, 전력생산단가 등의 변동에 대한 불확실성이 해소될 때까지 사업착수를 연기할 수 있으며, 또한 이미 발전사업을

운영중인 경우에도 발전효율을 늘리기 위한 추가 확장 투자를 시도할 수 있다. 확장투자는 기존의 토지와 송전설비를 이용하되 발전모듈만 교체하는 것으로서 신규 투자시의 모듈부분 초기설비가격 대비 50%의 투자로 현금흐름이 20%만큼 증가한다고 가정하였다.



<그림 2> 사업에 내포된 옵션의 종류

4. 실증분석

실물옵션분석의 첫 번째 단계로 경영 유연성을 고려하지 않은 순현재가치를 산정하였다. 예상 발전량을 추정하는 전용 소프트웨어를 사용하였으며 10년 평균 일사량, 기온정보 및 손실계수, 부지경사각 등의 기초정보를 입력하였다. 초기설비와 운영비용은 설비회사의 제공가격을 사용하였으며 전력판매단가는 2009년 현재의 기준가격을 고려하여 <표1>과 같은 추정현금흐름을 도출하였다. 할인율 11%에서 NPV는 127억원으로 투자비용 160억원에 미치지 못하며 내부수익률은 7.03%로 계산되었다.

두 번째 단계로, 사업가치에 포함된 불확실성을 파악하기 위해 위험분석을 수행하여 변동성을 지닌 변수를 선정하였다. 여기서는 향후 15년간 가장 불확실성과 변동성이 클 것으로 예상되는 전력판매단가와 초기투자비용을 변동성 요소로 최종 선정하였으며, 실증사례에서는 과거 데이터로부터 변동성을 직접 구하기 어렵기 때문에 전문가와 생산업체의 예측자료를 바탕으로 변화율과 변동성을 추정하였다(변동성 추정산식은 식4참조).

$$\sigma = \frac{rT - \ln \frac{V_L}{V_0}}{2\sqrt{T}}, \quad V_0: \text{초기값}, \quad V_L: \text{만기최저값} \quad (\text{식4})$$

| 연도 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|--------|----------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 발전량 | | 3,248 | 3,232 | 3,216 | 3,200 | 3,184 | 3,168 | 3,152 | 3,136 | 3,121 | 3,105 | 3,090 | 3,074 | 3,059 | 3,044 | 3,028 |
| 판매 단가 | | 620 | 620 | 620 | 620 | 620 | 620 | 620 | 620 | 620 | 620 | 620 | 620 | 620 | 620 | 620 |
| 매출총이익 | | 2,014 | 2,004 | 1,994 | 1,984 | 1,974 | 1,964 | 1,954 | 1,945 | 1,935 | 1,925 | 1,916 | 1,906 | 1,896 | 1,887 | 1,878 |
| 판매관리비 | | 158 | 158 | 158 | 217 | 216 | 216 | 215 | 214 | 213 | 212 | 211 | 210 | 198 | 197 | 197 |
| 영업이익 | | 1,856 | 1,846 | 1,836 | 1,767 | 1,758 | 1,749 | 1,740 | 1,731 | 1,722 | 1,713 | 1,705 | 1,696 | 1,698 | 1,690 | 1,681 |
| 영업외수익 | | 4 | 11 | 19 | 24 | 28 | 31 | 33 | 35 | 35 | 35 | 32 | 27 | 20 | 14 | 5 |
| 법인세 | | | | | | | | | | | | 71 | 108 | 141 | 175 | 208 |
| 순전자본증감 | | (177) | 1 | 1 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 18 | (1) | 2 | 4 | 142 |
| FCF | (16,098) | 1,683 | 1,858 | 1,856 | 1,797 | 1,787 | 1,781 | 1,774 | 1,766 | 1,758 | 1,749 | 1,684 | 1,614 | 1,579 | 1,532 | 2,320 |
| 초기투자비용 | 16,098 | | | | | | | | | | | | | | | (700) |
| NPV= | 12,745 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | IRR= 7.0% | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | r= 11% |

<표 1> 현금할인법에 의한 수익성 분석결과 (단위: 백만원)

| 변수 | 초기투자비용 | 전력판매단가 |
|--------|----------|--------|
| 현재가격 | 7\$/kW | 620원 |
| 평균증가율 | -12.5% | -10.3% |
| 추정만기 | 10년 | 5년 |
| 만기최저가격 | 2.5\$/kW | 250원 |
| 변동성 | 9.50% | 8.77% |

<표 2> 변동성 모수의 추정

위 변동성을 사용하여 초기설비투자 및 확장설비투자 금액의 추세를 <표3>와 같이 정의하였다.

| 초기투자비 | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 연차 | 0 | 1 | 2 | 8 | 9 | 10 |
| 설비단가 | 7.0 | 6.5 | 6.0 | 3.7 | 3.4 | 3.1 |
| 투자출액 | 16,098 | 15,108 | 14,194 | 10,010 | 9,487 | 9,005 |

| 확장투자비 | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 연차 | 0 | 1 | 2 | 8 | 9 | 10 |
| 단가추정 | 3.5 | 3.2 | 3.0 | 1.8 | 1.7 | 1.6 |
| 투자출액 | 6,440 | 5,945 | 5,488 | 3,396 | 3,135 | 2,894 |

<표3> 변동을 반영한 설비투자금액

기존의 추정현금흐름에 전력판매단가의 변동성을 반영하여 최종 사업가치의 변동성을 구하기 위하여 Crystal Ball 프로그램을 이용한 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 최종 변동성을 산출하였으며 4000회 반복 95% 신뢰도 구간에서의 잉여현금흐름(FCF) 순현재가의 표준편차는 18.2%를 얻었다. 이 표준편차를 변동성(σ)으로 하여 상승률(u), 하락률(d)을 산정하고(식3참조) 이에 따른 이항격자를 작성하였다(그림3 참조).

| | | | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | 12,745 | 15,289 | 18,340 | 22,001 | 26,393 | 31,662 | 37,982 | 45,563 | 54,659 | 65,569 | 78,658 |
| | | 10,624 | 12,745 | 15,289 | 18,340 | 22,001 | 26,393 | 31,662 | 37,982 | 45,563 | 54,659 |
| | | | 8,856 | 10,624 | 12,745 | 15,289 | 18,340 | 22,001 | 26,393 | 31,662 | 37,982 |
| | | | | 7,382 | 8,856 | 10,624 | 12,745 | 15,289 | 18,340 | 22,001 | 26,393 |
| | | | | | 6,154 | 7,382 | 8,856 | 10,624 | 12,745 | 15,289 | 18,340 |
| 초기설비투자 | 16,098 | | | | 5,130 | 6,154 | 7,382 | 8,856 | 10,624 | 12,745 | |
| 사업가치변동률 | 18.2% | | | | | 4,276 | 5,130 | 6,154 | 7,382 | 8,856 | |
| u | 1.1996 | | | | | | 3,665 | 4,276 | 5,130 | 6,154 | |
| d | 0.8336 | | | | | | | 2,972 | 3,565 | 4,276 | |
| p | 0.6048 | | | | | | | | 2,477 | 2,972 | |
| 1-p | 0.3952 | | | | | | | | | | 2,065 |

<그림3> 이항격자의 전개

세 번째 단계로 연기옵션의 가치를 구하기 위하여 이항격자 마지막 노드를 $Max(\text{가치}-\text{초기투자}, 0)$ 방식으로 구하고 역진계산을 거쳐서 투자시점의 옵션가치를 구하였다(그림4), 여기서 무위험이자율은 최근 10년 국고채 수익률 평균인 5.66%를 사용하였으며 <표3>의 투자비용을 각 노드에 반영하여 차감 계산한 결과, 최장 10년 까지 연기가 가능한 본 사업의 연기옵션 가치는 약 75.8억원으로 계산되었다.

확장옵션의 가치는 각 노드의 가치계산시점에서 기존 사업 유지시의 가치와 추가확장시의 가치 중 큰 가치를 선택함으로써 구할 수 있으며, 여기서 추가확장시의 가치는 확장된 현금흐름과 추가설비투자금액을 반영하여

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 7,579 | 9,776 | 12,490 | 15,814 | 19,861 | 24,770 | 30,711 | 37,893 | 46,567 | 57,093 | 69,662 |
| | 5,271 | 6,984 | 9,140 | 11,819 | 15,111 | 19,123 | 23,992 | 29,890 | 37,027 | 45,668 |
| | | 3,382 | 4,656 | 6,312 | 8,426 | 11,073 | 14,331 | 18,302 | 23,125 | 28,976 |
| | | | 1,905 | 2,767 | 3,954 | 5,548 | 7,626 | 10,249 | 13,465 | 17,388 |
| | | | | 852 | 1,334 | 2,064 | 3,140 | 4,674 | 6,752 | 9,335 |
| | | | | | 232 | 404 | 704 | 1,229 | 2,144 | 3,739 |
| | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | | | | |

<그림4> 연기옵션의 가치

계산할 수 있다. 각 단계별 확장옵션가치와 최적의사결정 최종결과를 <그림5>에서 보여주고 있으며 사업확장을 감안한 옵션의 가치는 80.6억으로 계산되었다. 이것은 연기옵션만을 고려한 것보다 사업확장까지 감안했을 때에 사업가치가 더욱 커진 것으로 해석할 수 있다.

| | | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 8,066 | 10,485 | 13,510 | 17,264 | 21,896 | 27,583 | 34,538 | 43,008 | 53,280 | 65,697 | 80,689 |
| 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 |
| 5,487 | 7,315 | 9,644 | 12,577 | 16,238 | 20,777 | 26,379 | 33,268 | 41,690 | 51,890 | |
| 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 |
| 3,452 | 4,768 | 6,436 | 8,724 | 11,551 | 15,094 | 19,506 | 25,008 | 31,878 | | |
| 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | |
| 1,917 | 2,787 | 3,990 | 5,611 | 7,736 | 10,441 | 13,800 | 17,972 | | | |
| 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | 사업확장 | | | |
| 852 | 1,334 | 2,064 | 3,140 | 4,674 | 6,752 | 9,335 | | | | |
| 유지 | 유지 | 유지 | 유지 | 유지 | 유지 | 유지 | | | | |
| 232 | 404 | 704 | 1,229 | 2,144 | 3,739 | | | | | |
| 유지 | 유지 | 유지 | 유지 | 유지 | 유지 | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| 유지 | 유지 | 유지 | 유지 | 유지 | 유지 | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |

<그림5> 확장옵션가치와 의사결정 경로

4. 결론

본 연구에서 실물옵션 기반의 가치평가를 태양광 발전사업 사례로 적용한 결과, 연기옵션 및 확장옵션가치를 포함한 사업투자가치는 각각 75.8억원, 80.6억원이 도출되었다. 이 가치는 미래 불확실한 상황에서의 의사결정 옵션가치를 의미하는 것으로서, 의사결정자는 기존의 정적NPV에 옵션가치를 반영하여 판단이 가능하다. 이것은 최근 급속한 사업확대와 함께 급변하는 국제경제와 정책의 불확실성 증가를 감안할 때에 본 논문에서 보여준 실물옵션 접근법을 이용한 평가가 의사결정자에게 더 많은 기회와 이익을 줄 수 있음을 의미하며, 향후에도 다양한 변동성 추정을 통해 좀더 세밀한 가치평가가 이루어지길 기대한다.

[참고문헌]

- [1] 실물옵션가격결정법을 활용한 에너지 관련 사업의 경제성 평가: 윤원철, 에너지경제연구원, 2001
- [2] Real option을 이용한 IT투자가치 분석: 이인형, 홍동표, 김경미, 정보통신정책연구원, 2001
- [3] 크리스탈 볼을 이용한 재무 시뮬레이션: 김기호, 김영일, 울산대학교 출판부, 2005
- [4] Real Options: Copland, Tom and V. Antikarov, Texere. 2001
- [5] Option Pricing: A Simplified Approach, Financial Economics, 1979