

# 발전량, 가격, 장기금리 변동성을 기초로 한 풍력발전사업의 실물옵션 가치평가

김영경\*, 장병만\*\*

## Real Option Valuation of a Wind Power Project Based on the Volatilities of Electricity Generation, Tariff and Long Term Interest Rate

Youngkyung Kim\* and Byungman Chang\*\*

### Abstract

For a proper valuation of wind power project, it is necessary to consider volatilities of key parameters such as annual energy production, electricity sales price, and long term interest rate. Real option methodology allows to calculate option values of these parameters. Volatilities to be considered in wind project valuation are 1) annual energy production (AEP) estimation due to meteorological variation and estimation errors in wind speed distribution, 2) changes in system marginal price (SMP), and 3) interest rate fluctuation of project financing which provides refinancing option to be exercised during a loan tenor for commercial scale projects. Real option valuation turns out to be more than half of the sales value based on a case study for a FIT scheme wind project that was sold to a financial investor.

### Key words

실물옵션(Real option), 가치평가(Valuation), 풍력발전사업(Wind project), 발전차액지원제도(FIT : Feed in tariff), 변동성(Volatility)

(접수일 2013. 12. 31, 수정일 2014. 3. 27, 게재확정일 2014. 3. 27)

\* 태광파워홀딩스 (Taekwang Power Holdings)

■ E-mail : mykairos@naver.com ■ Tel : 010-9096-0674

\*\* 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과 (Seoul National University of Science & Technology)

■ E-mail : bmc@seoultech.ac.kr ■ Tel : (02)970-6467

## 1. 서론

### 1.1 연구목적 및 범위

풍력발전사업의 자산 가치의 적절한 평가를 위해서는 발전

량, 전력판매단가와 같은 주요 입력변수의 변동성 및 확률적 분포를 함께 고려하여야 하나, 가치평가에 널리 적용되는 기존의 현금흐름할인(DCF : Discounted cash flow)방법에서는 입력변수의 확률적 분포를 고려한 가치 평가가 어렵다는 이유로 옵션가치를 무시한 채 가치평가를 하고 있어 사업개

발자는 자산매매에서 저평가의 불이익을 감수하고 있다.

기존의 DCF 방법도 민감도 분석을 통해 미래현금흐름의 불확실성을 평가하고 있으나, 민감도분석은 예견할 수 있는 몇 가지의 전형적인 시나리오를 상정하여 시나리오에 따라 변수들을 고정시킨 상태에서 평가가 이루어지므로, 입력변수의 확률적 분포에 따른 가치 변화를 고찰하기 어려운 한계가 있다. 변동성에 따른 기초자산 가격의 미래분포를 확률적인 기대치로 평가할 수 있는 실물옵션 가치평가(ROV : Real option valuation) 방법을 적용하여 기존의 풍력발전 사업가치 평가에서 고려하지 않았던 주요 사업성 변수의 변동성을 고려한 옵션가치를 산정하는 절차를 도출하고, 실증사례를 통해 제도적 요인, 거래관행 및 사업특성을 고려하여 풍력발전사업에 적합한 가치평가기법을 제시하고자 한다.

이를 위해, 풍력발전사업의 변동성 요인들을 1) 발전량 변동성, 2) 전력판매가격인 계통한계가격의 변동성, 3) 기 차입된 건설자금의 차환을 가능하게 하는 시장금리의 변동성 3가지 요인으로 상정하고, 실물옵션의 전형적인 응용형태인 투자, 연기, 증설, 포기옵션과 달리, 준공 후 운영 중에 있는 풍력발전사업을 매도하는 사업주 관점에서 매매가격 평가에 포함되어야 하는 것으로 주장할 수 있는 옵션가치를 산정하는 방법을 도출한다.

## 1.2 선행연구

실물옵션기법은 국내에서도 벤처기업평가, 기술가치평가, 해외진출과 관련된 의사결정, R&D투자, 부동산개발사업, IT 프로젝트 평가 등 여러 분야에서 응용되고 있다. 가상의 발전소 건설 및 운영사업에 대한 사례분석 형태로 에너지산업 분야의 투자 타당성분석에 있어서 실물옵션모형의 의의와 방법, 절차를 소개한(윤원철, 2001)<sup>(9)</sup>의 연구를 필두로, 발전소 건설 타당성, 신재생에너지 관련 R&D, 원전 경제성 분석, 태양광산업분야에 대한 기술가치 평가, 배출권 거래 등에 응용되고 있고, 최근에는(전영신, 2010)<sup>(11)</sup>에 의해 신재생에너지 인증서 가중치 산정을 위해 실물옵션기법이 적용된 바 있다.

(전영신 & 김형택, 2010)<sup>(12)</sup> 연구에서는 한국의 FIT 제도를 유럽형 풋옵션으로 보고 옵션가치를 분석했다는 점에서 특징적이다. 월가중평균 계통한계가격(SMP)이 FIT 기준가격보다 낮을 경우는 차액을 보전해주고, 높을 경우는 사업자에 수입이 전액 귀속되는 점에 착안하여, 행사가격이 차액보

전 기준가격이며 발전차액 보장기간 동안 매 1개월 마다 행사 가능한 풋옵션(put option) 형태의 실물옵션을 갖게 되는 사업자가 자발적으로 신재생사업에 투자하도록 하는 적절한 행사가격, 즉 발전차액 기준가격을 산출하는 방법을 제시한 바 있다.

(안지영, 2012)<sup>(8)</sup>의 연구에서는 프로젝트 파이낸싱 개발 사업을 평가하기 위해 실물옵션 의사결정나무 모델을 적용하여, 불확실성과 포기옵션, 확장옵션, 축소옵션에 대해 각각의 가치를 생성하여 프로젝트의 유연성을 고려한 투자의사결정을 시도한 바 있고, (김경남, 2012)<sup>(4)</sup>은 2008년에 건설한 소규모(500Kw) 태양광사업을 대상으로 가상적인 추가 투자 대안에 대해 일사량 데이터를 기초변수로 하여, 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 순현재가치(NPV : Net Present Value) 변동성을 분석한 바 있다. 풍력분야에 대해서는 풍력에너지 기술가치 평가를 주제로 한 (김경택 & 이덕주, 2010)<sup>(5)</sup>의 연구가 있고, (장연식, 이덕주, 오형식, 2011)<sup>(10)</sup>과 같이 화석에너지와 대비하여 실물옵션 관점에서 신재생분야의 가치를 평가한 바 있으나 개별적인 풍력발전 또는 태양광발전사업을 대상으로 한 사업가치 평가모형 제시 및 실증사례를 통해 구체화 한 연구는 없는 것으로 보인다.

해외에서는, 미국 오하이오주의 풍력사업을 대상으로 의사결정나무 기법을 이용하여 단계적 증설 또는 중단 여부를 분석한 (Dykes, 2007)<sup>(2)</sup>의 연구를 필두로 (Chen et. al., 2011)<sup>(1)</sup>의 연구와 같이 몽골의 풍력사업에 대해 전력가격과 기상조건에 의한 발전량의 변동성을 주요 변수로 설정하여 실물옵션을 적용, 투자대안을 평가하고자 하는 시도가 이어지고 있으나, 자산가치 평가 관점에서 분석한 것은 드문 것으로 보인다.

선행연구 조사에서 보는 바와 같이, 실물옵션의 적용분야 및 고려된 변동성 요인들은 평가대상 유형에 따라 매우 다양하고, 신재생에너지 분야에서도 활발하게 적용되고 있으나, 신재생에너지 분야에서 실물옵션을 적용한 선행연구들은 주로 단계적 투자를 전제로 한 경우의 투자대안 분석 또는 기술개발과 같은 R&D 프로그램의 가치평가에 집중되어 있고, 풍력발전 및 태양광발전과 같은 신재생에너지 분야의 개별 사업을 대상으로 가치 평가를 수행한 사례는 매우 제한적이며, 신재생에너지 사업에 필수불가결한 정책적 지원 틀인 FIT, RPS의 제도적 특징과 자산매각 거래관행을 반영하여 사업가치 변동의 주된 요인인 발전량, 전력가격 및 대출금리 변동성

을 종합 고려하여 가치평가를 수행한 사례는 없으며, 대출금리 변동성은 단일요인으로도 고려된 바가 없어 풍력사업에 대한 자산가치 평가 연구 필요성을 확인할 수 있다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 옵션개요

옵션(Option)은 기초자산(Underlying asset)의 가격변화에 따라 실행여부를 결정할 수 있는 권리로서, 옵션 매입자에게 기초자산을 일정시점 또는 일정 기간 이내에 사전에 약정된 행사가격(exercise price: strike price)에 매입하거나 매도할 수 있는 선택권을 부여하는 계약을 말한다. 옵션은 의무를 수반하지 않는 일방적 권리로서, 옵션 구매를 위해서는 일정한 매입가격(option premium)을 지불하게 된다. 옵션은 계약만료일에만 그 권리를 행사할 수 있는 유럽형옵션(European option)과 계약만료시점까지 언제든지 선택권을 행사할 수 있는 미국형옵션(American option)으로 대별되고, 기초자산에 따라 주식 옵션, 금융선물 옵션 등이 있고, 미래 시점에 일정한 행사가격에 기초자산을 구매할 수 있는 것을 콜옵션(Call option)이라 하고, 일정한 행사가격에 기초자산을 매각할 수 있는 권리를 풋옵션(Put option)이라 한다.

### 2.2 실물옵션기법

금융옵션의 개념을 실물 투자 사업에 적용하여 투자로 인한 추가적인 기회 가치도 평가하는 실물옵션은 현금흐름할인(DCF : Discounted cash flow) 방법과 달리 불확정적인 변수를 포함하는 가치평가가 가능하다. 자원개발, R&D투자 등과 같이 높은 불확실성을 지닌 투자대안 분석에 널리 활용

되는데, 금융옵션 변수에 대응하는 실물옵션 변수들은 Table 1과 같다.

실물옵션에 적용하는 옵션가치 산정은 블랙-숄츠의 해석적 방법과 이항모형(Binomial Model)으로 대별된다. 실물 옵션의 경우, 블랙-숄츠모형의 주요 가정들이 성립되지 않는 경우가 빈번하며, (박범조, 2009)<sup>(7)</sup>가 지적한 바와 같이 실물 옵션은 일반적으로 옵션만기 이전에도 옵션행사가 가능한 미국형 옵션의 특성을 지니기 때문에 블랙-숄츠 모형의 해석적 방법보다는 수치해석 모형을 주로 이용되며, 수치해석 방법 중 가장 단순한 경우인 이항모형이 사용편의성이 높아 널리 활용된다. 유럽형콜옵션에 대한 블랙-숄츠의 옵션가격은 다음 식과 같다.

$$f = SN[d1] - Xe^{-r(T-t)}N[d2]$$

$$d1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

$$d2 = d1 - \sigma\sqrt{T-t}$$

$f$ : 유럽형 콜옵션가치,  $S$ : 기초자산가격

$N[*]$ : 누적표준정규분포,  $r$ : 무위험 이자율

$T$ : 옵션만기,  $t$ : 현재,  $\sigma$ : 기초자산 수익률 변동성

### 2.3 이항모형

1973년 발표된 블랙-숄츠의 옵션가격에 해석적 해법을 구한 이후, 1979년 Cox, Ross 및 Rubinstein이 제안한 이항모형방법을 통해 옵션평가과정을 단순화할 수 있게 하면서 옵션의 응용범위를 확대하게 되었다. 이항모형(Binomial trees)은 기초자산의 가격이 이항분포를 따른다는 전제하에 옵션가치를 산정하는 모형으로 기초자산가격의 이항분포 및 무차익거래 가정만 필요하다.

이항모형은 유럽형옵션에 대한 블랙-숄츠의 해석적 방법과 달리 각각의 노드에서 옵션의 조기실행에 대한 옵션보수를 산정할 수 있어 미국형 옵션에 대해서도 적용할 수 있다. 블랙-숄츠 모형에 비해 가정이 단순하여 실물옵션 적용사례에 적용하기 쉽고, 각각의 노드(node)에서 이항모형에 따른 기초자산 가격 전개와 각 노드에서의 옵션가격 도서를 통해 기초자산 가격분포의 전개양태와 옵션보수를 볼 수 있고,

Table 1. Option parameter matching

변수	옵션산정 변수	실물옵션 변수
S	기초자산가격	투자 현재가치
X	행사가격	투자금액
T	행사기간	투자유보기간
r	무위험이자율	무위험이자율
σ	수익률 변동성	수익률 변동성

20-30회 정도의 노드 갯수로도 블랙-숄츠의 해석적 결과에 매우 근접한 결과를 얻을 수 있어 실물옵션에 적용하기에 적합하다.

### 3. 변동성 요인과 실물옵션 모형화

#### 3.1 풍력발전사업 변동성 요인

옵션가격은 옵션행사 만기, 기초자산의 가격, 무위험이자율, 수익률 변동성과 옵션 행사가격의 함수이며, 무위험이자율  $r$ 은 시장에서 주어지는 상수이고, 행사가격  $X$ 는 옵션상품이 특정되면 정해지는 상수이다.

옵션가치 계산을 위해서는 기초자산 수익률의 변동성을 구하는 것이 필요하며, 풍력발전사업 자산 매각의 경우 매수자인 투자자 관점에서의 목표로 하는 기대수익률의 변동성이 이에 해당된다. 자산 매각 대상이 되는 운영 중인 사업의 경우, 총투자비는 지출완료되었고, 장기계약을 통해 유지보수 및 운영비용이 확정된다고 볼 수 있으므로, 자산가치  $S$ 는 매출액 변동, 즉 발전량 \* 전력판매단가(계통한계가격)과 대출금리 변동으로 인한 차환가치가 주된 변동요인이 되고, 발전량 변동성은 풍속분포 불확도와 계통한계가격(SMP) 변동성에 영향을 받는다.

발전량, 계통한계가격, 장기대출금리의 변동성으로부터 자산수익률 변동성을 도출하기 위해서는 분석대상 사업의 DCF 재무모델을 구축하여, 발전량, 계통한계가격, 장기대출금리 변동성 요인들에 대해 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 투자수익률을 구하는 과정을 다수 반복 시행하여 투자자의 기대수익률 분포를 구하고, 표준편차 형태의 수익률 변동성을 산정할 수 있다.

상업적 규모의 풍력발전사업은 사업주의 자기자본 외에 프로젝트 파이낸싱을 통해 타인자본을 차입하여 건설하며, 준공 후 안정적인 운영 실적이 쌓여가면서 해당 사업에 대한 위험수준에 대한 인식이 개선되어 건설단계의 높은 이자율을 더 낮은 금리로 전환할 수 있는 옵션을 가지게 된다. 기존 대출을 상환하고 보다 좋은 조건의 대출로 전환하는 것을 차환(Refinancing)이라 하며, 재무투자자는 20년 정도의 장기 운영기간 동안 이러한 차환을 통해 자금차입 비용을 절감할 기

회를 가질 수 있다. 기존 대출을 공여한 금융기관들은 금리가 낮아진 시점에 대출금을 조기상환 받게 되면, 조기 상환된 자금을 낮아진 시장 금리로 운용해야 하는 기회손실이 발생하게 되므로, 대출약정 조항에 조기상환에 대한 수수료를 규정하게 되며, 차환을 위해서 신규로 자금을 조달하는 과정에서 실사비용, 변호사비용, 차환을 주선하는 금융기관의 주선수수료 등의 비용이 발생하는 바, 차환에 대한 옵션 모형 분석에서 이러한 비용 요소를 함께 고려해야 한다. 이러한 변동성 요인에 따른 옵션가치를 산정하기 위해 구체적인 매각사례 분석을 위해 FIT 제도 적용을 받아 준공 후 매각되었던 풍력발전사업의 사례의 거래조건을 반영하여 옵션모형으로 분석한다.

#### 3.2 발전량 변동성

풍력발전단지에서의 에너지생산량은 개별 풍력발전기의 에너지생산량을 합산한 값에서 풍력발전 단지 구성에 따른 풍력발전기배치에 따른 후류손실(Wake loss) 및 풍력발전단지 내부 전력케이블에서의 저항 손실 등을 차감 산정한다. 각 풍력발전기의 출력은 풍속의 세제곱에 비례하며, 풍력발전기 출력곡선의 비선형성 및 출력곡선의 불확도로 인해 풍속분포 추정 오차로 인한 풍력발전기 출력오차는 풍속오차의 세제곱보다 커지게 되나, 실제에서는 풍력발전기 공급계약을 통해 발전기 성능수준을 출력곡선의 일정수준을 보장하는 계약을 통해 출력곡선 불확실성을 한정할 수 있다. 풍속의 분포는 정규분포가 아니지만, 단기간 측정된 풍속을 기초로 추정된 풍속분포로부터 산정된 연간에너지생산량(AEP : Annual Energy Production)은 다수의 가능한 시나리오로부터 점 추정된 값으로, 특정기간 동안 수행된 풍속분포의 추정을 다수 반복 시행할 경우 풍속분포 추정은 대회 독립적인 시행이 되며, 이렇게 독립적으로 추정된 풍속분포로부터 AEP 계산을 반복하면 비대칭으로 우측으로 편향된 와이불(Weibull) 분포를 따르는 풍속분포와는 달리 AEP 분포는 정규분포가 된다. 정규분포로 추정된 AEP가 특정 확률수준  $X$ 를 초과확률(Exceedance Probability)이라고 한다. 초과확률이 50%인 P50의 연간에너지생산량은 AEP 분포의 평균값이 되며, 예를 들어 초과확률이 90% 경우인 P90 보다 낮은 수준의 연간발전량이 생산될 확률은 10%가 된다.

사례분석 대상사업의 경우 풍력발전사업 시장형성 초기에 건설되었던 바, 대출금융기관들이 보다 보수적인 사업성 분석틀을 적용하여 P75 경우의 AEP를 Base Case로 적용하였던 점을 감안하여 AEP@P75를 기본안으로 하여 분석한다.

따라서, 풍력발전사업에 투자하는 재무투자자는 AEP@P75 일 때 기대되는 사업가치  $S_{AEP@P75}$ 를 행사가격으로 하고 투자기간을 만기로 하며, 실제 연간에너지생산량이 P75를 초과하는 경우 옵션수익이 기대되는 유럽식 콜옵션을 보유하는 것으로 볼 수 있고, 재무투자자가 발전량 하락에 대해 헷지할 수 있는 무위험 포트폴리오를 구축하기 위해  $S_{AEP@P75}$ 를 행사가격으로 하는 가상적인 유럽식 풋옵션을 구매해야 하는 것으로 가정한다. 따라서, 발전량과 관련하여 재무투자자가 향유하게 되는 발전량에 대한 옵션가치의 순편익은 행사가격  $S_{AEP@P75}$ 인 (유럽식 콜옵션- 유럽식 풋옵션)으로 모형화할 수 있다.

### 3.3 계통한계가격(SMP) 변동성

계통한계가격(SMP : System Marginal Price)은 전력거래 시간 별로 원자력 및 석탄발전을 제외한 일반발전기의 전력량에 대해 적용하는 전력시장가격(원/kWh)으로서, 전력생산에 참여한 일반발전기 중 변동비가 가장 높은 발전기의 변동비로 결정된다. FIT제도의 지원을 받는 풍력발전사업을 매수하는 거래에서 재무투자자는 미래의 전력판매가격을 해당 사업에 적용된 FIT로 전기간 고정되었다고 가정하여  $SMP = FIT$  인 경우의 자산가격  $SMP = FIT$ 을 적정 매매가격으로 산정하는 것이 사례분석 대상사업 자산매각시의 거래관행이었던 것을 고려하여 매월 월별 SMP가  $SMP > FIT$  경우에는 SMP에 의한 전력대금을 지급하고,  $SMP < FIT$  경우에는 FIT와 SMP의 차액을 보조하여 지급하므로, 이러한 사업에 투자한 재무투자자는 FIT가 지원되는 기간 동안 매월 행사가격이  $SMP = FIT$ 인 유럽형 콜옵션을 갖게 되며, 옵션가치는 매월 분 옵션가치만큼 순증된 현금흐름을 현재가치로 산정한 값이 된다. 재무모형을 년 단위로 작성하여 분석하는 것을 감안하여 SMP 변동성을 연 단위로 환산하여 매년 옵션가치를 구하고 현재가치로 산정한다.

SMP의 추이에 대한 변동성 추정은 기하브라운(GBM : Generalized Brownian motion) 모형을 적용하여 산정한다.

(전영신, 2010)<sup>(11)</sup>은 전력수요의 주기성으로 인한 SMP의 자기공선성을 검정하기 위해 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정을 수행한 바, SMP 추이에 대해 GBM 모형을 적용할 수 있는 것으로 확인한 바 있다. SMP가 구리, 석유와 같은 원자재 가격과 같이 장기 한계생산비용에 수렴한다고 보고 Ornstein-Uhlenbeck 과정으로 불리는 평균회귀모형을 이용하는 경우가 있기도 하나, 한국의 경우 전력시장이 변동비 풀(CBP : Cost based pool) 형태의 민영화로 가는 중간단계의 과도기적 형태를 지니고 있고, 불변가격으로 원자재 가격추이를 도출할 때는 평균회귀모형이 적합할 수 있으나 경상가격으로 환산하면 물가상승을 수준의 추세가 반영되어야 하며, SMP는 경상가격 데이터로서 본 논문의 분석대상 현금흐름도 경상으로 분석하므로, 실물옵션 기법에 따른 모형화 과정의 오차 정도를 고려할 때 GBM으로 모형화하는 것이 분석과정의 과도한 복잡성을 배제할 수 있다고 판단된다.

### 3.3 장기 대출금리 변동성

재무투자자는 건설단계의 장기대출을 개선된 조건으로 차환(Refinancing)을 통해 기대수익률을 개선할 수 있게 된다. 기존 대출을 상환하기 위해서는 상환에 필요한 신규대출을 일으켜야 하므로, 사업주는 기존대출 상환에 대한 페널티 성격의 조기상환수수료와 신규대출 조성에 필요한 제반 비용 및 수수료를 감안하여 차환실행여부를 결정한다. 이 때 신규대출 조달비용과 조기상환수수료는 차환된 신규대출 기간 동안의 연간 이율로 환산한 값이다. 따라서, 차환은 시장의 장기대출금리가 기존대출의 조기상환에 따른 비용을 보상할 수 있는 수준이 될 때 실행되는 콜옵션이며, 재무투자자가 차환 여부에 대한 의사결정권을 보유한 기간 중 금리 상황에 따라 언제든지 행사할 수 있는 미국식 옵션으로 모형화할 수 있다.

실제 거래의 경우, 차환과정은 최소 3개월 내지 6개월 정도의 기간이 소요되고, 금리는 평균회귀 속성을 지니고 있어 1회 차환된 이후 추가적인 차환이 이루어질 수 있을 정도로 대출금리가 지속 하락되는 것은 상정하기 어려우며, 원금상환액이 누적되면서 대출잔액 감소로 인해 추가적인 차환으로 인한 이자절감 효과가 크지 않고, 여러 번 차환이 가능하나 실제 차환이 이루어지기 위해 필요한 절차, 비용 등 거래 관

행을 감안하여 대출만기가 1/2 되는 시점에 1회만 실행되는 유럽형 콜옵션으로 가정한다. 투자자는 차환을 통해 단지 금리를 낮추는 것 외에 기존에 투자한 지분을 후순위대출로 전환하여, 총투자금액(자본금 + 후순위대출)을 동일 수준으로 유지하면서 투자 수익률을 높이거나 차입비율을 높여 수익률 향상을 도모하기도 하나, 본 연구에서는 차환효과를 이자비용 절감만으로 보고 옵션가치를 산정한다.

### 3.4 기존 연구와의 차별점

Fig. 1의 연구흐름도는 발전량, SMP 및 장기대출금리 각 변동성 요인들과 제도 및 거래관행을 고려하여 DCF 재무모델로부터 각 변동성 요인으로 인한 수익률 변동성을 구한 후 이를 이항모형을 통해 각 변동성 요인에 대한 옵션가치를 구하는 과정을 도시하고 있다.

실물옵션 가치평가에 대한 기존 연구들은 DCF 방법에 의해 순현재가치를 산정한 후 옵션대안에 의한 순현재가치 증분을 고려하여 수익률 변동성을 구하고 있으나, 순현재가치 계산을 위한 가중평균자본비용 형태의 할인율 산정을 위해서는 개별 사례에 대해 사업자 신용도, 자본구조, 산업특성을 고려해야 하는 불편이 있다. 본 논문에서는 할인율 산출 과정을 건너 뛰어, 투자자에게 귀속되는 순현재금흐름을 통해 산정

한 투자자 수익률을 시뮬레이션을 반복 시행하여 구하고, 이 수익률 분포의 표준편차를 통해 수익률 변동성을 직접 구하는 방식으로 선행연구들의 분석절차를 단순화하였고, 제도적 특징과 실제 거래관행을 반영하여 옵션가치를 산정한 점에서 방법적인 차이가 있다.

## 4. 옵션가치 산정

### 4.1 사례분석 사업 개요

사례분석 대상인 풍력발전사업은 98MW 규모로 산지에 건설된 사업으로 풍력발전소의 연간 이용률인 Capacity Factor가 P50 경우에 30%에 달하는 사업으로, 2006년 말 준공 후 운영 중 2009년 초 재무투자자에게 매각된 바 있는 사례를 기초로 DCF 재무모델을 작성한 후, 풍력발전사업의 발전량, SMP, 프로젝트 파이낸싱 금리 변동성에 대해 1,000회의 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 재무투자자 주주수익률 변동성을 구하고 이를 이항모형에 의해 옵션가치를 산정하였다. 재무모델 작성을 위한 주요 사업조건은 Table 2와 같다.

### 4.2 변동성 요인과 수익률 변동성

풍속분포 불확실성으로 인한 연간에너지생산량 추정 변동

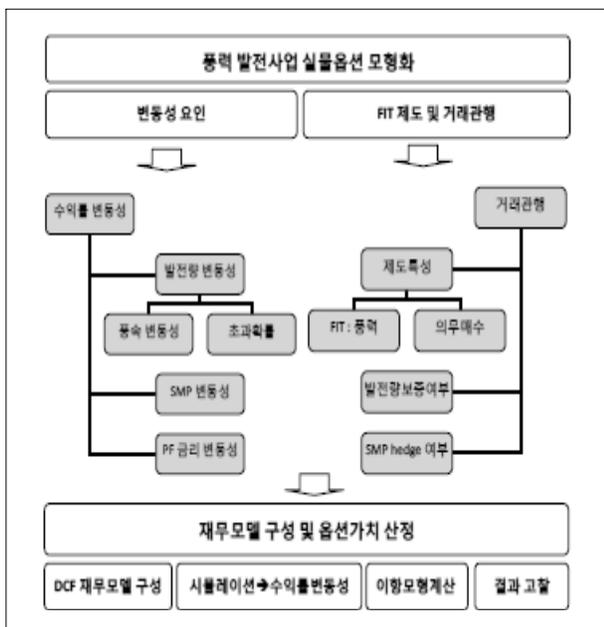


Fig. 1 Research flow chart

Table 2. Key parameter of the case project

구분	항목	내용	
사업조건	운영 기간	20년	
	FIT 단가	107원	
	1일 발전시간	P50	7.20
		P75	6.67
세제사항	성능감소율	0.50% / 년	
	법인세율	10% [순익 2억 이하]	
		22% [순익 2억 초과]	
자금조달	감가상각	정액법 / 15년	
	자기자본	30%	
	타인자본	70%	
	대출금리	7% [고정금리]	
	대출기간	거치기간 2년 12년 분할상환	

성은 분석대상사업의 장기풍속분포 측정데이터 오차와 적용된 풍력발전기 공급계약서에 의한 성능보장수준을 반영하여 산정하는데, 본 사업 타당성조사 결과 최종적으로 표준편차로 산정된 연간에너지생산량 변동성은 11% 이다. 풍력발전사업에 적용되는 SMP는 전력거래소에서 제공하는 전력통계정보시스템의 신재생에너지원에 따른 계통한계가격의 2001년 8월부터 2012년 8월 동안 월별 SMP 변동성은 11.1%로  $\sqrt{12}$ 를 곱해 연간변동성으로 환산하여 SMP 변동성에 따른 옵션가치를 산정하였다.

프로젝트 파이낸싱 금리 변동성은 3년, 5년 만기 국공채가 주류인 국내 금융시장에서는 15년 정도의 만기를 갖는 장기채권금리 데이터 확보가 곤란하여, 30년 만기까지 장기채권 시장이 활성화 되어 있는 미국 달러화(USD) 이자율 스왑(IRS : Interest Rate Swap) 금리를 대용변수로 삼아 장기이자율 변동성을 산정하기 위해 Bloomberg로부터 2000년 5월부터 13년 동안의 일별 스왑금리 데이터를 다운로드 받아 계산한 대출만기 15년 장기대출금리의 변동성은 연간 1.29%로이고, 옵션가치 산정을 위해 적용한 무위험이자율은 연간 5%로 가정하였다.

옵션가치 산정에 필요한 변동성은 발전량, SMP, 장기대출금리 변동성으로 인한 수익률 변동성이다. 이를 위해 현금흐름 재무모델로부터 발전량, SMP, 장기대출금리 등 실물옵션 변동요인을 몬테카를로 시뮬레이션을 시행하여 주주수익률 분포를 구한 후 표준편차로 변동성을 계산하는 방법을 택하여 순현재가치분별 계산을 위한 임의적인 할인율 산정과정을 배제하였다.

몬테카를로 시뮬레이션은 엑셀프로그램의 난수 발생 내장함수인 RAND() 함수와 평균값과 표준편차를 기준으로 정규분포 형태로 전환하도록 하는 NORMINV() 함수를 이용하여 정규분포 난수를 발생시키고, 각각의 난수 값에 대해 주주수익률을 구하도록 EXCEL의 매크로 및 VBA의 코드 편집을 통해 투자자의 기대수익률을 반복 계산하였다. 이항모형은 DerivaGem(Hull, 2008)<sup>(3)</sup>을 이용하였다.

### 4.3 분석결과

풍력발전의 비중인 높은 덴마크 같은 경우는 풍력발전의 전력생산량에 따라 전체 전력요금에 변동되기도 하나, 한국에서는 풍력과 같은 신재생발전의 전력생산량은 비중이 크지

않아 풍력발전량에 의한 전력요금의 영향은 무시될 수 있어 발전량과 SMP의 상관성은 없다고 볼 수 있고, 금리변동과도 무관하므로 각각의 변동성 요인 사이의 상관성은 고려하지 않았다.

각 변동성 요인에 대해 재무모델 상에서 시뮬레이션 수행하여 산정된 각각의 수익률 변동성을 기초로 이항모형에 의해 계산한 옵션가치 합계는 Table 3에서 보는 바와 같이 매매가격 대비 53% 수준으로 옵션모형을 통한 가치평가 필요성을 확인할 수 있다.

Table 3에서 보는 바와 같이, 연간발전량 변동성으로 인한 옵션가치는 운영 전 기간의 매출에 영향을 미치고, P75의 보수적인 시나리오를 매매가격 산정의 기준안으로 하여 자산매각이 이루어졌다는 전제하에 매매가격의 45% 수준으로 계산되었다. 이는 대상사업의 자산매각 거래사례에 적용된 시장관행에 부합되도록, 매수자가 발전량을 매우 보수적인 수준인 AEP@P75를 기준으로 가치 평가한 가격으로 매수하였다고 가정할 것을 반영한 것으로, 매수한 이후 발전량 변동성으로 인해 높은 옵션가치를 향유하는 것으로 평가된 것에 부합된다.

SMP 변동성은 수익률에 큰 영향을 미치고 있음에도 불구하고 옵션가치가 매매가격 대비 6%로 높지 않게 계산된 것은 SMP가 적용된 2001년 8월부터 재무투자자가 본 사업을 인수하기 직전인 2008년 12월까지 국내 풍력발전사업에 대한 SMP 평균값은 68원/kWh 에 불과하여, 콜옵션을 행사할 수 있는 FIT 가격인 107원/kWh 와 큰 차이가 있어 매수자가 SMP > FIT의 옵션행사 확률이 높지 않았던 것에 기인한다.

프로젝트 파이낸싱 대출금리에 따른 옵션가치는 차환이 대출만기가 1/2되는 시점에 1회만 발생하며, 차환으로 인한 조기상환수수료 등 제비용을 차감하여 산정하였고, 차환 이후 대출금의 평균잔액이 감액된 상태로서 옵션가치는 높지 않게 산정되었으나 실제에서는 매수자가 차환과 병행하여 자본금 일부를 후순위대출 형태로 치환하면서 세액절감 및 조기회수 등의 형태로 추가적인 수익률 제고가 가능할 것이다.

Table 3. Real option value calculation

구분	수익률 변동성	옵션가치
연간발전량	5.77%	45%
SMP	27.7%	6%
대출금리	2.35%	2%
매매금액 대비 옵션가치 합계		53%

## 5. 결론

### 5.1 연구 의의

준공 후 매각이 이루어지는 풍력발전사업의 경우 검증된 투자실적 부족으로 발전량, 전력가격 등에 대해 매우 보수적인 가정에 입각한 가치평가가 이루어지고 있으며, 차환 등에 추가적인 수익률 제고 기회요인도 매매가격 평가에 충분히 반영되지 못하고 있다. 기존의 DCF 모형만으로는 평가할 수 없었던 옵션가치를 풍력발전사업의 특성과 거래관행을 반영한 실물옵션 모형화로 실제 자산매각이 행해진 국내 사례에 대해 분석한 결과 평가되지 못한 옵션가치가 매매가격의 1/2 수준으로 계산되었다.

풍력발전사업의 정확한 자산가치 평가를 위한 옵션모형화는 무위험이자율에 대한 가정, 변동성 요인들에 대한 매도자, 매수자의 공통된 이해와 옵션가치 산정과정에 대한 합의와 다수의 매수자가 경쟁구도를 형성하는 등 여러 조건이 전제되어야 하나, 보다 높은 가치평가를 받고자 하는 매도자 측에서는 추가적인 가치상승요인의 평가논리와 절차를 개발하는 것이 필요하며, 본 논문에서 그러한 노력의 단초로서 거래관행과 풍력발전사업 특성을 고려한 풍력발전사업 옵션가치 모형화의 방법과 절차를 구체적으로 제시하였다는 것에 연구의 의의가 있다.

### 5.2 연구의 한계

금융옵션과 달리 실물옵션은 기초자산의 거래가 제한적이고 시장가격을 알 수 없는 경우가 대부분으로서 거래비용이 없고, 자산 가격이 연속적이라는 금융옵션의 기본 가정을 충족하지 못하는 한계가 있고, 금융옵션의 경우 위험중립을 가정한 무위험포트폴리오를 전제로 하나, 실물옵션의 경우 금융옵션과 같이 무위험포트폴리오를 구성할 수 있는 경우가 많지 않고, 변동성에 대한 객관적인 자료를 구하기 어려운 점이 제약요인으로 지적된다. 또한 개별 사안별로 제도특성과 시장관행에 부합되게 개별적으로 옵션 모형화를 해야 하는 Case-by-case 접근이 필요하며, 실제 거래 적용을 위해서는 매도자와 매수자의 가치산정 절차, 방법이 상호 합의된 것을 전제로 협상이 이루어지므로 옵션이론에 대한 이해가 선행되어야 하는 어려움이 있다.

## 후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

## References

- [1] Ahn, J.Y., 2012, "A study on Valuation of Project Financing Business by Using Real Options Decision Tree Models", Catholic University.
- [2] Chen, Chunhua. & Zhengnan Lu. 2011, "Analysis on the Strategy of Wind Power Investment under Uncertainty". International journal of nonlinear science, Vol 12 (pp 112-116).
- [3] Dykes, Katherine, 2007, "Real Options for a Wind Farm in Wapakoneta, Ohio: Incorporating Uncertainty into Economic Feasibility Studies for Community Wind." World Wind Energy Conference.
- [4] Hull, John, 2008, "Option, Futures, and Other Derivatives, 7th edition." Pearson Education Asia.
- [5] Jang, Y.S., Lee, D.J., Oh, H.S., 2011, "Real option valuation of renewable energy projects", Korean Institute of Industrial Engineers / Korean Operations Research and Management Science Society, Spring 2011 Workshop, (pp 549-554).
- [6] Jeon, Y.S., 2010, "The Development of Feed-in Tariff Pricing model and Application to Renewable Energy Certificate Weight using Real Option", Ajou University.
- [7] Jeon, Y.S., Kim, H.T., 2010, "Feed-in Tariff calculation using real option approach : model derivation and application to photovoltaic generation", Korean Energy Economic Review Volume 9, Number 1, March 2010 (pp 25-53).
- [8] Kim, K.N., 2012, "Applications and Valuations of Real options embedded in Solar value chain", Hongik University.
- [9] Kim, K.T., Lee, D.J., 2010, "Evaluation of investment in wind energy R&D in Korea using real option valuation", Kyunghee University.
- [10] Kim, Y.K., 2013, "A Real Option Valuation of Renewable Energy Projects as a Supplementary Rail Project", Seoul National University of Science and Technology.
- [11] Park, B.J., 2009, "Real option and valuation under uncertainties : Based on IT projects", Sigma Press.
- [12] Yoon, W.C., 2001, "Energy project valuation using real option pricing theory", Korea Energy Economics Institute.

### 김 영 경



1990년 서울대학교 기계공학과 공학사  
1999년 하와이대학교 경영학과 석사(MBA)  
2013년 서울과학기술대학교 경영학 박사

현재 태광파워홀딩스 이사  
(E-mail : mykairos@naver.com)

### 장 병 만



1974년 서울대학교 산업공학 공학사  
1984년 서울대학교 산업공학 공학석사  
1989년 서울대학교 산업공학 공학박사

현재 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과 교수  
(E-mail : bmc@seoultech.ac.kr)