

## 풍력자원의 불확실성을 고려한 사업자측면에서의 투자타당성

이 재걸<sup>1)</sup>, 박 민혁<sup>2)</sup>, 이 윤경<sup>3)</sup>, 김 정주<sup>4)</sup>

### A Stochastic Analysis of a Wind Power Investment

Jaegul Lee, Minhyug Park, Yunkyong Lee, Jungju Kim

**Key words** : Wind power(풍력), Stochastic analysis(확률적분석), Uncertainty(불확실성), Investment (투자)

**Abstract** : Any investment analysis has to deal with the uncertainty that arises over the course of operating the invested project. When it comes to an wind power, such analysis gets even more complicated, as the wind resource or the current is inherently unstable and unpredictable. Different from predecessors in the field of analyzing wind power economics, this paper proposes a stochastic methodology of analyzing the economic efficiency of an investment in wind power to explicitly address those uncertainties or risks. A probability distribution is assigned to each variable to generate a probability distribution of the economic value of an investment through a Monte-Carlo simulation

#### Nomenclature

DCF<sub>i</sub>, 현재화 된 i 년도의 현금흐름 [원]  
CF<sub>i</sub>, i 년도의 현금흐름 [원]  
r, 할인율 [%]  
t, 기준년도와 i 년도의 차이 [년]  
NPV, 순 현재가치 [원]  
year<sub>Start</sub>, 기준년도  
year<sub>End</sub>, 설계수명 종료년도

설비의 운영유지비용을 확률변수로 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 풍력발전에 대한 정부차원의 지원제도인 건설자금 융자 및 발전 차액보상제도에 대한 민감도 분석도 함께 수행하였다. 본 연구에서는 Crystall-ball을 사용하여 확률적 분석을 수행하였다.

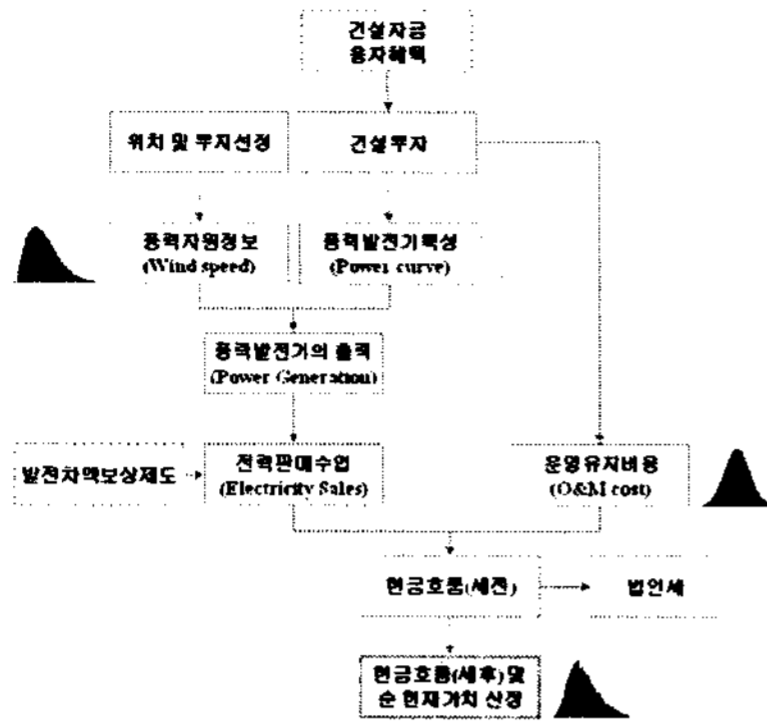
#### 1. 서 론

투자자의 측면에서 풍력발전사업은 매우 큰 위험요소들을 가지고 있기 때문에 투자 의사결정을 위한 경제적 타당성분석은 필수적이며 사업의 성공 여부에 매우 큰 영향을 준다. 현재 국내에서는 신·재생에너지에 대한 정부차원의 지원과 제도적 장치가 마련이 되어 있어 사업자들의 투자를 유인하고 있으나, 이러한 지원제도의 뒷받침에도 불구하고 사업이 실패하는 사례가 발생되고 있는데 풍력 자원 및 설비운영에 대한 변동성과 불확실성을 고려하지 않은 의사결정이 그러한 사업실패의 주요원인으로 판단된다. 본 논문에서는 풍력발전사업에 대한 투자타당성을 검토하기 위하여 Hertz model[1]을 적용한 확률적 분석기법을 사용하고 이를 이용한 사례연구를 통하여 제안된 방법에 대한 유의성을 분석하였는데, 여기에서는 풍력자원(풍속)과 발전

#### 2. 본 문

풍력발전을 비롯한 신/재생에너지에 대한 경제성 분석은 국가, 전력회사 또는 발전사업자의 입장에서 다양한 방법으로 검토되고 있으나, 기존의 분석방법들은 모두 확정적인 방법으로 변동성이 큰 변수를 평균(Average)이나 다수의 대표 값으로 가정하여 분석하였다. 이는 의사결정자에게 단일한 결과를 제공함으로써 풍력자원 및 설비운영에 내포되어 있는 불확실성이나 변동성을 간과할 수 있는 가능성을 증대시키고 분석결과에 포함된 위험요소(Risk)에 대한 정보를 제공할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 발전사업자 측, 투자자 입장에서의 재무적 투자타당성을 검토할 수 있는 방법으로 불확실성이나 변동성이 큰 입력변수를 확률변수(Probability variable)로 처리, 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 시나리오 분석을 수행하여 할인현금흐름(DCF) 및 순 현재가치(NPV)의 확률분포를 산정할 수 있는 방법을

제안하였다. 아래의 그림은 제안된 경제성 분석의 알고리즘의 흐름도이다.



[그림 1] 제안된 경제성분석 방법 알고리즘

본 연구에서는 변동성이 심한 풍속정보와 불확실성이 높은 발전기 운영유지비용을 확률변수로 설정하고 몬테카를로 시뮬레이션을 이용 10,000개의 시나리오를 생성시켜 그 결과를 분석하였다.

## 2.1 경제성분석기법

투자자의 입장에서 가질 수 있는 투자대안을 검토하고 각 대안에 대한 우열을 분석하기 위하여 본 논문에서는 할인현금흐름(DCF)을 사용하여 순현재가치(NPV)를 산정하였다. 현금흐름(Cash Flow)을 측정하기 위해서는 발전소의 수익구조를 분석하고 수입과 비용요소를 구분하여 분석하여야 하는데, 풍력발전기의 경우 위의 그림1에서 볼 수 있듯이 전력판매수입과 건설투자비용 그리고 운영비용 등의 요소로 구성되며 추후 청정개발체제(CDM, Clean Development Mechanism)의 인증 시 이에 대한 수입도 추가적으로 고려되어야 할 사항이다. 이렇게 측정된 수입 및 비용요소들을 이용하여 연도별 현금흐름(CF<sub>t</sub>)을 작성한 후 시간의 흐름에 따른 현금의 가치변화를 반영하기 위하여 할인율(r)을 이용한 현가를 시킨다.

$$DCF_t = \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

이렇게 산정된 할인현금흐름(DCF)의 합이 순현재가치(NPV)이며, NPV를 계산하는 산식은 다음과 같다.

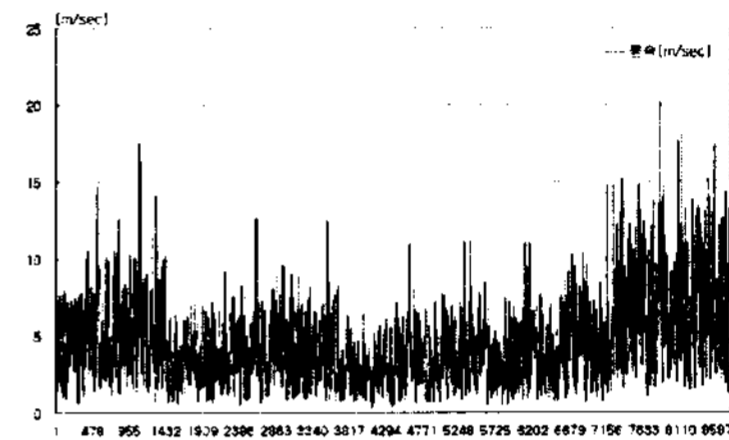
$$NPV = \sum_{t=1}^{n} DCF_t = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

각 대안별 순 현재가치(NPV)를 이용하여 경제적 우열을 판단하기 위해서는 대안별로 가장 큰 NPV

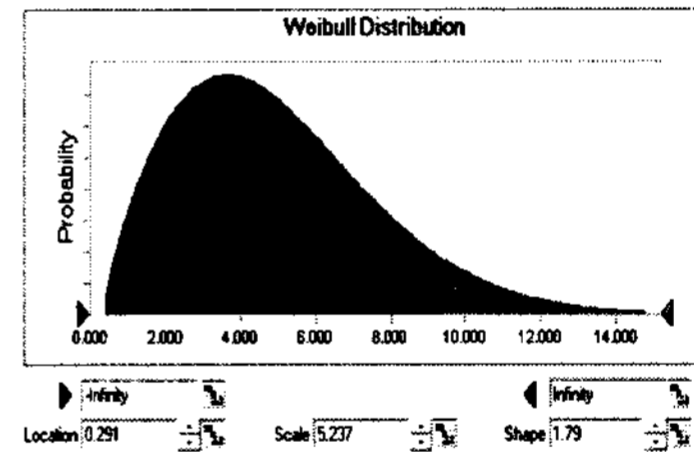
가 산정된 것을 선택하면 되는데, 확률적 분석에서는 평균값(Mean value)이외에도 산정된 NPV의 분포의 형태 및 파라미터를 분석하는 것이 필요로 된다.

## 2.2 확률변수

본 논문에서는 변동성이 큰 풍속(wind speed)과 발전기 운영유지비용(O&M cost)의 두 변수를 확률분포로 선정하였으며, 풍속의 경우 전년도 시간대별 측정 자료를 이용하여 확률분포를 작성하였는데, 그 결과 Weibull 분포형태의 확률분포가 최적으로 선택되었다. 이는 일반적으로 풍속을 모델링 할 때 사용되는 분포이다.

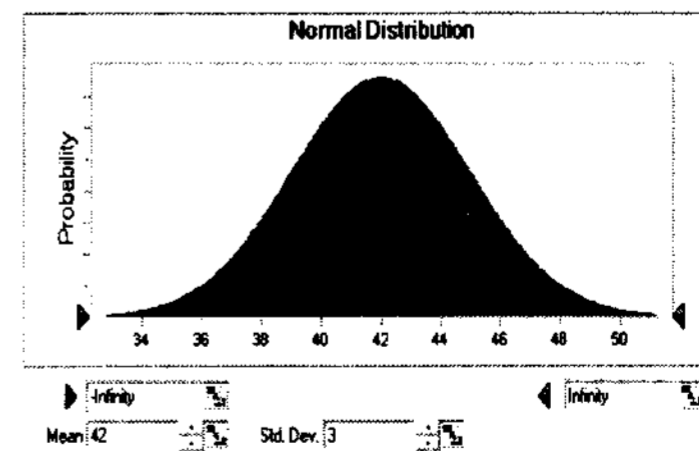


[그림 2] 시간대별 풍속정보



[그림 3] 풍속정보를 이용한 Weibull 분포

운영유지비용(O&M Cost)의 경우 일반적으로 풍력발전기 투자비용의 1.5~1%정도가 소요되는 것으로 알려져 있기 때문에 본 논문에서는 투자비용의 1.3%를 적용하고 이를 평균값(mean value)으로 정규분포를 작성하였으며, 표준편차는 3을 적용하였다.

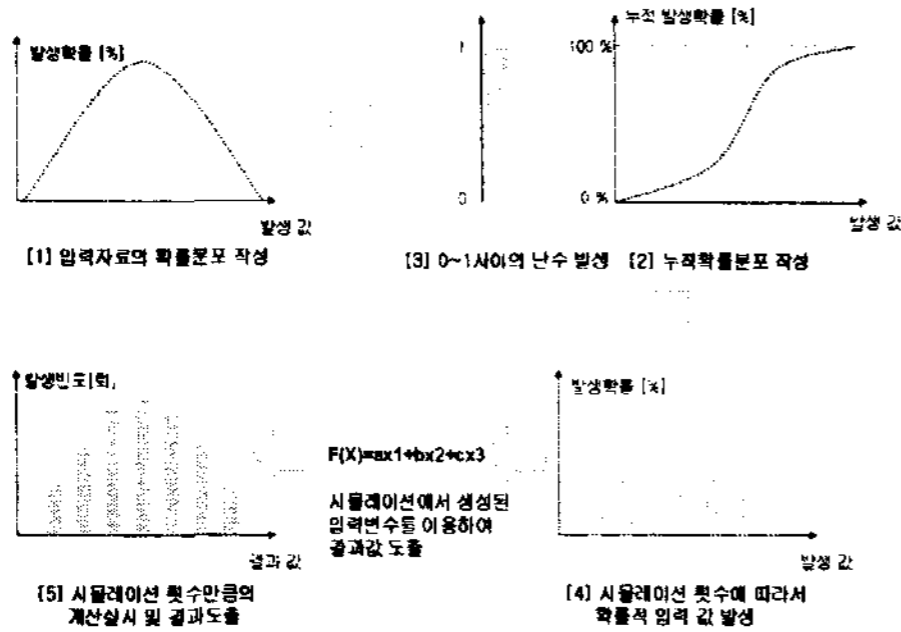


[그림 4] 운영유지비용 확률분포

## 2.3 몬테카를로 시뮬레이션

본 논문에서는 전술된 바와 같이 두개의 변수

를 확률분포로 가정하고 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 확률적인 분석을 수행하였으며, 그 개념은 다음과 같다.



[그림 5] 확률적 시뮬레이션의 개념

위의 그림에서 x1, x2, x3라는 변수를 예측하고 이에 따라서 F(x)의 결과 값을 도출하는 문제로 생각하고 입력변수인 x1, x2, x3이 단일 값이 아닌 확률분포로 입력[1], 이 확률분포를 이용하여 누적확률분포를 생성[2]하고 이 분포에 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 발생시킨 0~1사이의 난수를 이용하여 확률적인 입력 값이 생성되도록 한다. 이때 0~1사이의 난수는 균일한 확률을 가진 Uniform분포를 사용하여 누적확률분포에 따른 입력 값이 생성하는데 이러한 확률론적 시뮬레이션을 위해서 분석패키지인 Crystal-ball을 사용하였다.

### 3. 사례연구

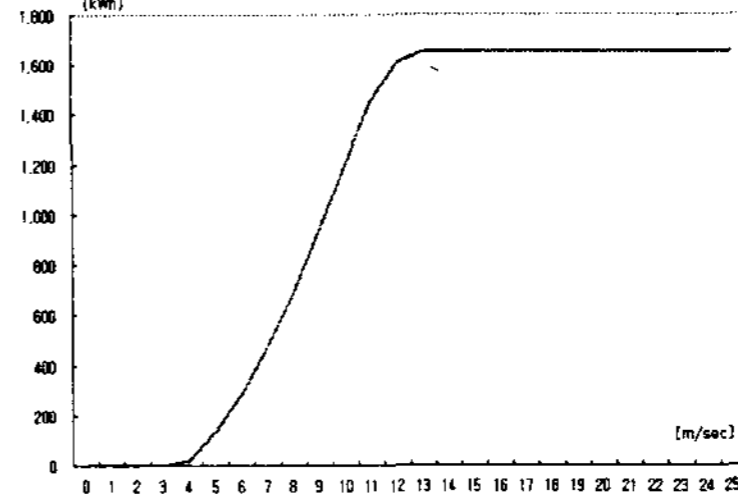
#### 3.1 분석대상 풍력발전기

본 논문에서 제안된 방법의 유의성을 검증하기 위하여 다음과 같은 풍력발전기 투자에 대한 타당성을 검토하였다. 투자자의 입장에서 투자대안은 투자와 투자포기 두 가지로 설정하였으며 투자에 대한 정보는 다음의 표와 같다.

[표 3] 사례연구를 위한 풍력발전기 관련 데이터

구분	내용	단위
발전기 정격출력	1,650	[kW]
초기건설투자비	3,243	[백만원]
건설기간	12	[개월]
자본구조(Debt to Equity)	30:70	-
운영/유지비용 (O&M cost)	설비투자비의 1.3%	확률분포
할인율	7	[%]
법인세율 및 주민세율	27.5	[%]
이자율	5	[%]
물가상승율	3	[%]
정부지원금	설비투자비의 50%	-
발전차액지원금	107.29	[원/kWh]

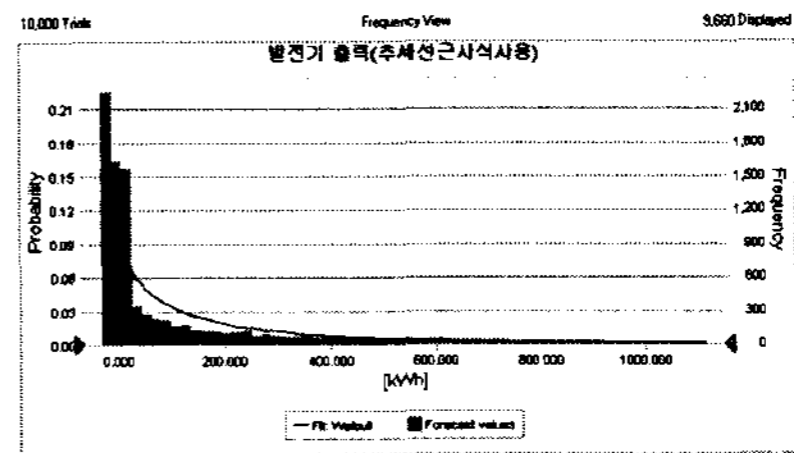
확률분포적용은 앞 절에서 제시된 것과 같이 풍속과 운영유지비용으로 하였으며, 발전기 출력 특성(풍속대비 발전출력)은 Vestars V85모델을 사용하는 것으로 가정하였다.



[그림 6] Vestars V85에 대한 출력곡선

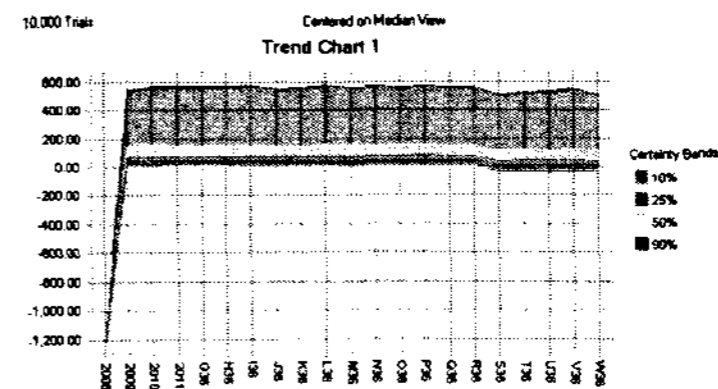
#### 3.2 분석결과

본 논문에서 제안한 확률적 분석방법을 이용한 경제성평가의 유의성을 판단하기 위해서 확률분포대신 평균값을 사용한 결과와 확률분포를 사용한 분석결과를 비교하였다. 우선 Weibull 분포를 이용하여 모델링 한 풍속데이터를 이용, 10,000번의 시나리오를 발생시켜 다음과 같은 발전기출력 분포결과를 얻어냈다.



[그림 7] 풍력발전기 출력

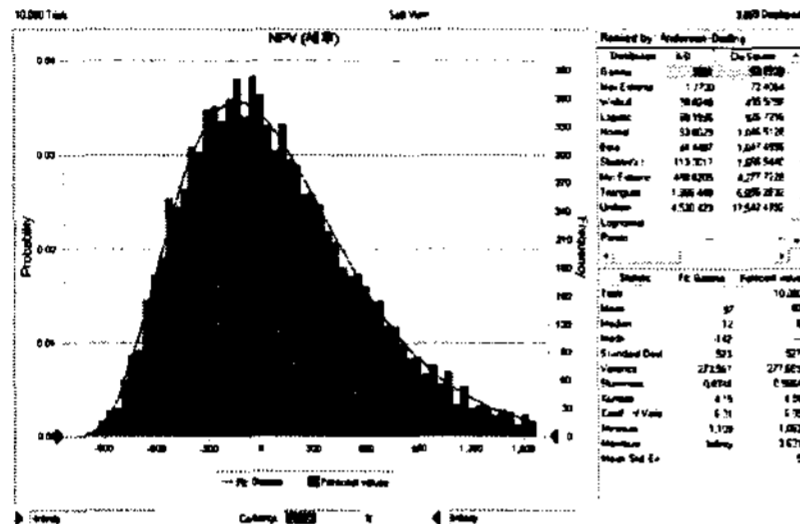
또한 이를 이용하여 연도별 발전기의 전력판매 수입을 산정하였으며, 초기설비투자비, O&M Cost 그리고 법인세 등의 비용요소를 산정하여 다음과 같이 연도별 현금흐름을 산정하였다. 이때 전력판매 수입과 O&M Cost가 확률분포로 분석되었기 때문에 현금흐름도 확률분포로 작성된 것을 알 수 있다.



[그림 8] 연도별 현금흐름의 확률분포

이렇게 산정된 현금흐름을 적정할인율을 이용하여 평가기준일자인 2008년 1월의 가치로 현재화한 결과는 아래의 그림과 같이 Gamma분포와 유사한 결과가 도출되었는데 이 분포의 평균값(Mean)은 87억원이고 표준편차의 경우 523으로 매우 넓은 분포를 보여주고 있다. 상대적으로 풍속과 운영유지비용의 평균값을 사용한 경우 NPV는 -299억원으로 산정되어 매우 상이한 결과를 보여주고 있다.

위의 확률적 분석결과는 풍속의 변화와 O&M Cost의 불확실성으로 인하여 풍력발전기에 대한 투자 경제성이 있으나 위험관리(Risk Management)가 필요로 된다는 것을 보여주고 있다.



[그림 9] 순 현재가치(NPV)산정결과

위의 경우 풍력발전기 운영에 대한 재무적 위험을 감소시키기 위해서는 [그림1]에서 볼 수 있는 것과 같이 풍력자원이 더욱 풍부한 위치로 부지를 이동하는 경우와 건설자금 및 발전차액보상제도의 강화 또는 더욱 출력특성이 우수한 풍력발전기를 건설하는 것을 생각할 수 있다.

이러한 사례분석에서 풍력발전소와 같은 변동성이 큰 투자의 경우 확률적 분석을 통한 위험관리가 필수적으로 이루어져야 하며, 단순한 분석의 결과는 매우 왜곡된 결과를 의사결정자에게 제공할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 본 논문에서는 가상의 풍력발전기를 대상으로 분석방법에 대한 유의성을 검증하였으나 추후 실제 국내 풍력자료 및 발전기 특성을 이용한 경제성 분석 및 위험관리에 대한 연구를 수행할 것이다.

## 후 기

본 연구는 남부발전 용역과제인 해상풍력자원의 제주계통영향 및 경제적 가치평가 연구의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- [1] German Martinez Montes, "Profitability of wind energy", Elsevier, 2007
- [2] An economic assessment of wind farm power generation in Scotland including externalities,

[3] Johnathan Mun, 시뮬레이션을 이용한 미래형 리스크분석, 이레테크, 2005

[4] Ross, Corporate Finance Fundamentals 7th, Mcgraw hill, 2007