

# 민감도 분석을 적용한 제주 연안 풍력단지 설계의 경제성 분석 Economic analysis of jeju offshore pilot run wind farm by sensitivity analysis

이경현\* · 박재희\* · 진정운\*\* · 권기린\*\*\* · 최경현\*\*\*\*†

K. H. Lee\*, J. H. Park\*, J. W. Jin\*\*, K. R. Kwon\*\*\* and K. H. Choi\*\*\*\*†

(접수일 : 2012년 04월 23일, 수정일 : 2012년 07월 15일, 채택확정 : 2012년 07월 27일)

**Key Words** : WindPRO(윈드프로), Economic Assessment(경제성 평가), Sensitivity Analysis(민감도 분석), Operating & Maintenance Cost Estimator-OMCE(유지보수 비용 예측기)

**Abstract** : In this paper, the offshore wind farms have been designed by using WindPRO with the help of real wind data measurements at Jeju Coastal area by calculating the annual energy production for exact economic evaluation. In order to achieve benefit of wind farm, the annual revenue for power generation have been calculated with SMP and REC value. And construction cost has derived from the real wind farm project case. Also O&M cost has been estimated by OMCE (Operating & Maintenance Cost Estimator) to get accurate cost of wind farm. Economic evaluation of wind farms have been performed by comparing above parameters. In addition, sensitivity analysis calculating the effect of these factors has also been carried out

## 1. 서 론

풍력 에너지는 풍속의 세제곱에 비례하여 발전되기 때문에 풍력발전 단지의 경제성 및 타당성 분석시, 풍황조건에 따른 발전량이 가장 중요한 요소로 고려되어 진다. 따라서 현재까지 풍력 발전 단지 설계 시에는 설계지역의 풍속에 따른 발전량을 중점적으로 분석하여 타당성 분석을 실시하고 있다. 하지만 설계 운영 수명 20년을 목표로 운영되어지는 풍력발전기는 운영기간동안 발전량이 높을 지라도 유지보수 및 건설비용등 여러 가지 비용들에 따라 단지 전체의 경제성이 다르게 평가 되어 질 수 있다. 특히 해안에 설치되어 있는 풍력발전기의 경우 단지의 환경적 또는 지리적 조건에 따라 건설비의 금액이 차이 날 수 있고 또한 발전기의 고장률 및 유지보수의

정도에 따라 유지보수 비용이 크게 증가 할 수 있다. 그렇기 때문에 정확한 단지의 경제성 및 타당성 평가를 위해서는 단지의 발전량뿐만 아니라 건설비 유지보수 비용 등 단지 조성 및 운영에 있어서 중요한 요인들을 분석하고 이들을 적용하여 평가할 필요가 있다. 따라서 이 논문에서는 WindPRO와 실제 제주 연안해서 측정된 풍황데이터를 이용하여 풍력 발전기 단지를 설계하였고 설계된 단지의 정확한 경제성 평가를 위한 발전량을 산출하였다. 산출된 발전량과 실제 발전단가를 이용하여 연간 발전 수익을 계산하고 실제 사례의 건설비용 산정 및 ECN(Energy research Centre of the Netherlands)에서 개발된 OMCE를 이용하여 정확한 유지비용을 예측하였다. 산출된 수익 및 지출 금액의 비교를 통하여 경제성 분석을 실시하였으며 이러한 요소들의 민감도 분석

\*\*\*\*† 최경현(교신저자) : 제주대학교 메카트로닉스공학과  
E-mail : khchoi@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3713  
\*이경현 : 제주대학교 풍력특성화 협동과정  
\*박재희 : 제주대학교 풍력특성화 협동과정  
\*\*진정운 : 대한전선 기술연구소  
\*\*\*권기린 : 제주대학교 기계시스템공학과

\*\*\*\*† K. H. Choi(corresponding author) : Major of Mechatronics Engineering, JeJu National University.  
E-mail : khchoi@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3713  
\*K. H. Lee, J. H. Park : Graduate School, JeJu National University  
\*\*J. W. Jin : Technology Reseach Center, TaiHan Electric Wire Co. Ltd.  
\*\*\* K. R. Kwon : Major of Mechanical Engineering, JeJu National University.

을 실시함으로써 단지의 경제성 평가에 중요한 요인들을 분석하였다.

## 2. 단지 설계 및 발전량 산출

Fig. 1은 WindPRO를 이용하여 풍력 발전단지를 설계하는 절차를 보여주고 있다. 단지의 설계를 위해서는 기본적으로 선정 지역에 대한 풍향 데이터와 지리정보, 설치할 발전기의 정보가 필요하고 그 데이터들을 바탕으로 하여 단지의 효율 및 연간 발전량을 산출해 낸다.

정확한 발전량 및 연간 수익을 계산하기 위해서는 정확한 풍속의 측정 및 보정 과정이 가장 중요하다. 따라서 본 연구에서는 정확한 연간 발전량을 계산해 내기 위하여 기상청 데이터 대신 높이 별 풍속을 측정한 Met Mast(Meteorological Mast)의 풍향 데이터를 이용하여 hub높이의 풍속을 구하였고 단기간의 풍속 데이터를 장기간 풍속 데이터의 신뢰도를 얻기 위하여 장기 풍속 보정을 실시하였다. 또한 정확한 지형적 조건에 따른 바람의 변화를 계산하기 위하여 국토지리 연구소에서 등고선 데이터를 제공받아 적용하였다.

### 2.1 풍향관측 및 위치선정

풍향 데이터는 제주대학교 기계시스템공학부 소속인 유체역학실험실에서 연구의 목적으로 대상지역에 Met Mast를 세워 관측한 풍향자료를 이용하여 연구가 진행되었다. Met Mast의 위치는 제주도 한라산을 기준으로 서부에 위치한 한림, 모슬포가 선택되었다. 이 지역 모두 제주도 연안지역으로서 제주 지역 해상풍력사업에 있어 매우 중요한 위치라 할 수 있다.

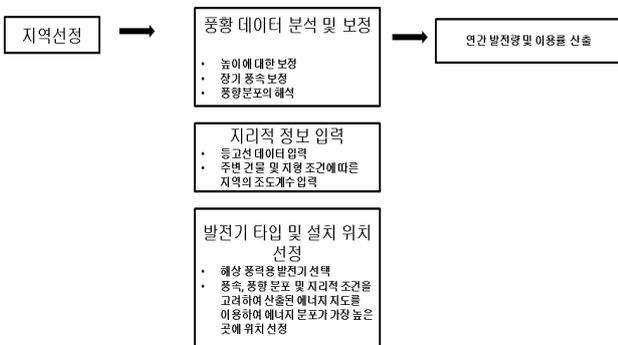


Fig. 1 Wind farm design process

표1은 각 위치에서 Met Mast로 관측한 데이터의

관측높이, 높이별 평균풍속, 관측기간 그리고 관측율을 나타냈다. 위치별 Met Mast의 최상단 센서의 높이는 한림 60m, 모슬포 60m이다.

평균풍속도 지역별 그리고 위치별 많은 차이를 보였으며, 한림 Met Mast 20m 높이에서 관측된 풍속이 5.66m/s로 가장 낮은 값을 보였으며 관측기간은 1년이다.

Table 1 Wind speed and observation period at each position, height

location	height(m)	mean speed (m/s)	measurement period		efficiency (%)
			start	finish	
hanllim	60	6.28	2007.08.01	2008.07.31	100
	40	5.99			
	20	5.66			
moseulpo	60	7.04	2010.01.12	2011.01.20	100
	40	6.34			
	30	5.96			

### 2.2 풍속의 연직분포

풍속의 연직분포는 지수 법칙이 성립되는 경험적인 멱함수 법칙(Power-law)으로 표현 할 수 있고, 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$V_z = V_h \left(\frac{z}{h}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

여기서,  $V_z, V_h$ 는 지상으로부터의 높이  $z$  및  $h$ 에서의 풍속(m/s),  $n$ 은 지수(index)이다.<sup>2)</sup> 관측된 데이터를 풍력발전기의 허브 높이인 90m로 보정하기 위해 표 1에 나타난 높이별 관측풍속을 이용하여 각각의 방위별로 지수를 산출하여 식(1)에 적용하였다.

### 2.3 장기간 풍속 보정

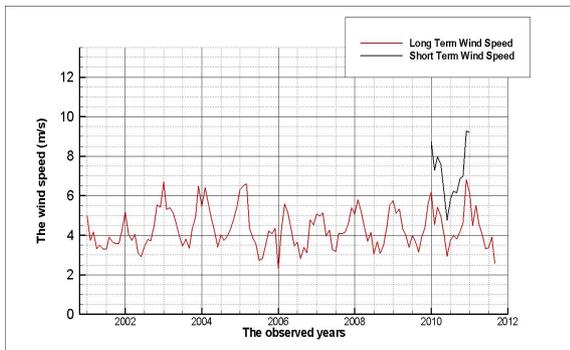
장기간 풍속 보정이란 Met Mast와 같이 단기간 동안 관측된 풍향데이터와 주변에 연관성이 높은 기상청 AWS에서 관측된 장기간 풍향데이터의 서로 중복되는 부분을 이용하여 단기간 풍향데이터를 장기간 데이터로 확장하는 것을 의미한다. 장기간 풍속 보정을 하는 방법에는 선형회귀(linear regression)법, 행렬(matrix)법, 웨이블(Weibull)법, 인덱스(index)법 등이 있다. 본 연구에서는 선형회귀법을 적용하였으며, 풍향을 30° 간격으로 12개의 구간으로 나누어 각각의 풍향 구간별로 풍속을 선형 회귀분석을 실시했

다. Met Mast에서 관측된 풍속을 식(1)에 적용해 계산된 풍력발전기의 허브높이 90m의 풍속과 기상청에서 제공받은 10년간 장기간 데이터를 이용하여 식(2)의 a와 b를 산출하여 장기간 풍속 보정을 실시했다.

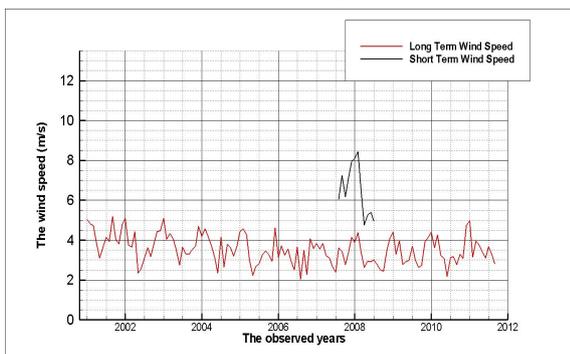
$$V_{mast} = a V_{ref} + b \quad (2)$$

여기서,  $V_{mast}$ 는 보정될 풍속,  $V_{ref}$ 는 장기간 풍속이다.

각각의 Met Mast와 가장 근접해 있는 AWS로 한림, 모슬포가 선택되었으며, Fig.2에 2001년 1월부터 2011년 9월까지의 AWS 월별 평균풍속과 각각의 Met Mast에서 관측된 풍속을 실선으로 나타내었다. 각 그래프별 AWS 풍속과 Met Mast의 풍속이 비슷한 패턴으로 나타나고 있는 것을 확인 할 수 있다.



(a) Moseulpo



(b) Hallim

Fig. 2 Monthly average wind speed for calculating MCP(Measure-Correlate-Predict)

Table 2 Result of MCP

location	raw wind speed (m/s)	observed wind speed (m/s)
Hallim	6.48	7.05
Moseulpo	7.62	7.26

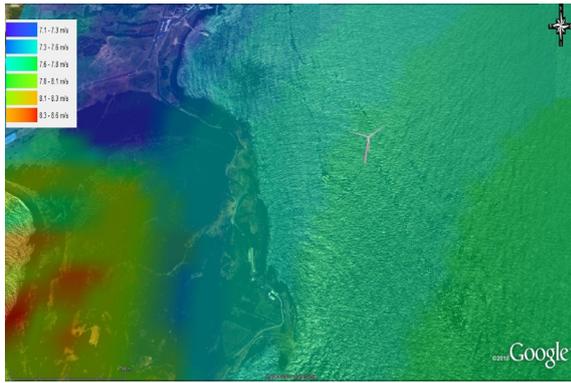
Table 2에 장기간 풍속 보정이 실시되기 전 90m 높이의 평균풍속과, 보정 후 평균풍속 값을 나타내었다. 한림 관측지점에서는 0.57m/s가 증가했지만, 모슬포 관측지점의 경우에는 0.36m/s가 감소했다. 이는 Fig. 4에서 확인 할 수 있듯이, 모슬포 AWS의 월별 평균풍속이 2003년 이전과 2005년부터 Met Mast와 AWS의 풍속이 서로 겹치기 전인 2009년까지에 풍속이 다소 낮게 관측되었기 때문이다.

#### 2.4 연간전기발전량

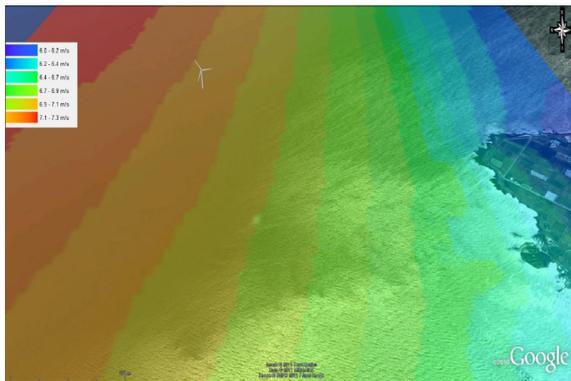
풍력단지설계 프로그램으로 널리 쓰이고 있는 WindPRO를 사용하였으며, NREL에서 개발한 5MW 급 발전기를 선정하여 연간전기발전량을 계산하였다. 이 풍력발전기의 정격풍속은 11.4m/s이며 전기발전을 시작하는 시동풍속은 3m/s이고 풍력발전기의 안전성을 고려하여 작동이 멈추는 종단풍속은 25m/s이다. 또 타워의 높이는 90m, 로터의 직경은 126m이다.

WindPRO프로그램은 복잡지형에서 WAsp과 연계한 WAsp-interface 모듈을 사용하여 풍황을 예측하는 것을 권장한다. 하지만 Met Mast의 위치에서 확인 할 수 있듯이, 이 연구를 위해 지정된 위치는 연안지역에 위치하기 때문에 복잡지형으로 보기는 다소 무리가 있다. 그러므로 WindPRO프로그램 내에서 바람지도를 생성하여 연간전기발전량을 산출하였으며, 계산과정에서는 어떠한 손실도 발생하지 않는다고 가정하였다. 또 WindPRO프로그램상에서 Online으로 등고선데이터를 다운받아 사용할 수 있지만, 더 정밀한 계산을 하기위해 국토지리정보연구원에서 구입할 수 있는 1/5000 수치지형도에서 등고선데이터를 추출하여 프로그램에 적용했다. 풍력발전기의 위치는 모노파일식 기초를 적용할 수 있는 수심 30m 이내로 설정하였다.

Fig. 3과 Table 3의 결과를 보면, 지역별로 차이가 있지만 한림의 경우에는 주 풍향에서 불어오는 바람이 육지부의 장애물에 대한 영향을 받지 않아 해안에서 멀어질 수록 풍속이 높아짐을 뚜렷하게 알 수 있으며, 풍력발전기의 평균풍속 또한 Table 2에서 계산된 풍속보다 높은 값이 계산 된 것을 확인할 수 있다. 반대로 모슬포의 경우에는 고도가 높아지는 육지부에서 빠른 평균풍속이 나타났고, 풍력발전기에서의 평균풍속이 Table 2에서보다 다소 높아지긴 했지만 행원과 한림의 증가폭 보다 낮은 것을 확인 할 수 있었으며, 이는 지표면의 장애물로 인해 풍속이 늦어졌기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 위의 데이터를



(a) Moseulpo



(b) Hallim

Fig. 3 Wind resource map and wind turbine of each location

Table 3 Simulation results

location	depth (m)	annual energy production (MWh/y)	capacity factor (%)	mean wind speed(m/s)
hallim	20.6	17,998.3	41.1	7.8
moseulpo	14.7	17,728.6	40.4	7.7

바탕으로 WindPRO를 통한 각 풍력발전기의 수심과 WindPRO에서 계산된 연간전기발전량, 이용률, 평균 풍속은 Table. 3에 나타내었다.

### 2.5 연간 발전량에 따른 연간 발전 수익 산출

연간 발전 수익을 구하기 위해서는 산출된 전력 생산량에 전력 판매 단가를 적용하여 구할 수 있다. 전력 판매 단가는 계통 한계 가격(SMP: Sytem Marginal Price)에 REC(Renewable Energy Certificate) 가격을 합하여 구할 수 있으며 이를 전력 생산량에 곱하여 주면 연간 발전 수익을 얻을 수 있다. REC 가격은 RPS제도()에 따라 신재생 에너지 공급자가 정부로부터 발급받는 것으로 사업 특성에

따라서 가중치를 달리 주고 있다. 국내의 경우 해상 풍력에 대한 가중치는 연계거리가 5km이하인 경우에는 1.5로 확정 되었고 가격은 전기연구원에서 예측 제안한 40, 50, 60 원/kWh 중 보수적으로 40원으로 기준하였다.

총사업기간중총수입의 현가(Benefit)

$$= [SMP + (REC가격 \times REC가중치)] \times C.F. \times 5MW \times 20년$$

### 3. 경제성 분석을 위한 풍력단지 지출비용 산출

#### 3.1 건설비

풍력 발전기의 건설비는 크게 발전기 가격, 지지 구조물, 계통 연계, 공사비로 구분 할 수 있다. 발전기 가격의 경우 과거엔 전량 유럽 회사에서 수입하였기 때문에 운송비 등이 추가되어 유럽시장보다 높은 가격에 구입하였으나 국내 터빈 제작사의 노력으로 수MW급 국산 풍력 터빈이 개발되고 있기 때문에 추후 가격 입찰과정을 거쳐 터빈가격이 결정되었지만, 15~20 억원/MW정도에서 공급가액이 정해될 것으로 예측된다.

기초 구조물의 경우 국내에 설치된 해상 풍력발전기가 많지 않아 일반적인 국내 시장의 가격을 예측하기 힘들어 Ramboll 사에서 2008 ~ 2009년 동안 조사한 모노파일 형식의 해상 풍력 발전기 기초 공사 보고서에서 보고된 가격을 적용하였다. 수심 깊이에 따른 모노파일 형식의 기초 공사비로 한림은 약 8 억원/MW 모슬포는 7 억원/MW으로 추정 하였다.

계통연계의 경우 발전기의 위치에 따라 그리고 지리적 조건에 따라 풍력 발전기의 설치 여부에 큰 영향을 차지하는 요인이다. 풍황자원은 풍부하나 계통 연계 시설 설치의 어려움으로 사업 추진이 이루어 지지 않는 경우도 있다. 따라서 계통연계비용 역시 육상으로 부터의 거리, 환경적 조건, 케이블등 재료의 가격에 따라 크게 달라질 수 있다. 계통연계비용 산출을 위해 Eeckhout의 2008년 연구결과를 인용하여 9.2 억원/MW로 추정하였다.<sup>4)</sup> 하지만 사업 추진에 있어서 중요한 고려 사항이므로 실제 국내 해안 풍력 사업사례 연구를 통한 국내 실정에 맞는 공사비 산출이 필요할 것으로 여겨진다.<sup>2)</sup>

공사비 및 사업관리, 설계등 기타비용으로는 전체 비용의 9%정도로 고려하여 전체 한림은 42억원/MW 모슬포는 41억원/MW의 건설비를 산정 하였다.

### 3.2 OMCE를 이용한 유지보수 비용 산출

기존의 풍력 발전 사업성 평가에 있어서 유지보수 비용은 대략적으로 책정 될 정도로 간과 되는 경향을 보였다. 하지만 실제 풍력 단지의 유지 보수 시 크레인 사용, 전문 인력 동원, 기어박스, 블레이드, 제너레이터 등 고가의 부품에 대한 교환, 그에 따른 발전기의 Down Time에 의한 운전 손실 등 유지보수에 소요되는 경비는 사업성에 영향을 미칠 정도로 중요성이 커지고 있는 실정이다.<sup>1)</sup> 특히 해상 풍력의 경우에는 단지로의 접근을 위한 교통수단(바지선, 헬리콥터)에 대한 경비와 기초 구조물, 파도 및 염분에 대한 유지 보수 등 육상 풍력 발전 보다 유지보수 비용이 증가 된다. 따라서 단지의 경제성 평가를 위하여 정확한 유지보수 비용의 산출이 요구됨으로 이를 위하여 ECN에서 개발한 OMCE 상용 프로그램을 이용하여 단지 설계에 따른 구체적인 유지보수 비용 예측을 실시하였다.

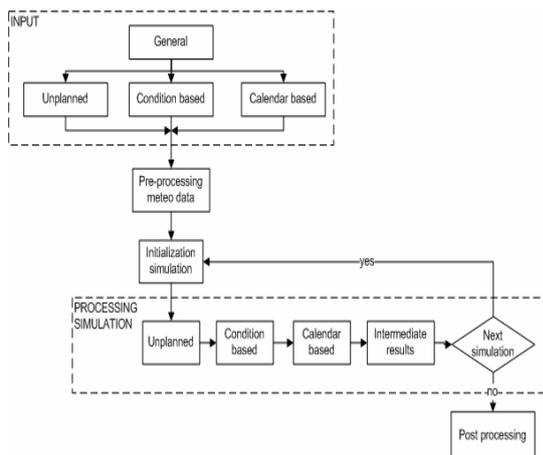


Fig. 4 OMCE simulation structure

다음의 Fig. 4는 OMCE를 통한 시뮬레이션의 절차를 보여주고 있다.

OMCE 사용을 위한 입력 데이터 값으로는 실패율, 실패로 인해 예상되는 시간, 예방적인 유지보수, 복구 전략, 바람과 파고 정보, 비용, 선박등과 같은 유지보수에 필요한 장비들과 예비부분들 등이 요구된다. 풍황 데이터는 발전량 예측에 사용되었던 Met Master에서 측정된 데이터를 사용하였고 파고데이터의 경우 기상청에서 측정된 데이터를 사용하였다.

고장이 발생하면 장비와 전문가를 위해 물류시간이 적용된 일부 유지보수 시스템이 구성된다. 하지만 기상 조건에 따라 유지보수가 수행 될 수 없는 경우에는 유지 보수가 가능한 기상 조건이 될 때 까지 수

행 되지 못하고 그 시간 동안 발전기는 가동 중단 상태가 된다. 또한 발전기의 실제적인 점검도 부품 교체, 복구 단계에서 필요한 부품을 바로 사용할 수 없는 경우, 물류관리, 해상 날씨 상태에 따라서도 가동 중단이 발생된다. 이에 따라 총 가동 중단 시간은 터빈의 오류 발생 단계에서 다시 작동을 시작하는 시간으로 정의되어 총 유지보수 가격이 산출된다.

Table 4에서는 시뮬레이션을 위한 입력 데이터를 보여주고 있다. 유지보수를 위한 vessel 및 크레인의 사용료는 제주 월정리에 설치한 3MW급 풍력 발전기의 설치 때 실제 지출되었던 금액을 선정하였다. 비슷한 연안 지역에 같은 발전기를 설치하였기 때문에 유지보수 비용은 두 지역 모두 같게 계산되었다.

Table 4 OMCE simulation Input data and result

parameters	value
turbine power rating	5MW(NREL)
number of turbines	1
economic lifetime of project	20 years
wind farm efficiency	<b>hanlim - 100%, moseulpo - 100%</b>
maintenance vessel	access vessel, helicopter, support vessel, Jack-up barge and internal crane
cost of jack-up barge	5,000,000 WON (daily rate)
cost of helicopters or access vessels	1,000,000 WON (daily rate)
travel time to turbine	1hour
total annual operation and maintenance costs	<b>hanlim - 1,210,000,000 moseulpo - 1,210,000,000</b>

### 3.3 기타비용

기타비용으로는 법인세, 지방소득세, 보험료, 노무비 등이 있다. 법인세의 경우 현행 법인세법 제 55조에 의거하여 법인세 20% 및 지방 소득세 2%를 포함한 소득의 22%로 산정하였고 보험료 노무비를 포함하여 전체 기타비용을 소득의 24%로 산정하였다.

## 4. 경제성 분석

경제성 분석을 위하여 위에서 얻은 경제성 평가 변수들을 소득과 지출로 구분하여 Table 5에 나타내었다. 건설비, 유지보수비용 및 기타비용을 포함한 20년 동안의 단지의 총비용은 한림이 686.2억, 모슬포

가 675.2억으로 계산 되었다. 건설비내역에서 기초 구조물에 대한 건설비가 수심이 더 깊은 한림이 MW당 1억이 더 지출 되었고 이에 따른 기타비용이 약 4 억원이 소요되었다. 수익의 경우 한림이 20년간 975.7억원 모슬포가 959.1억원의 발전 수익이 계산 되었다. 수익과 지출의 비용의 비로서 설계된 단지를 평가할 경우 한림이 1.422 모슬포가 1.420으로 경제성 확보가 가능함을 확인하였다. 하지만 위의 계산은 투자비용이 모두 확보 되었다고 가정하여 책정되었기 때문에 실제 단지 조성 사업에서 투자비용을 확보하지 못해 대출 받을 경우에는 그에 대한 이자율에 의해 수익성이 내려갈 수도 있다. 따라서 계산된 결과의 분석을 통해 경제성을 높일 수 있는 부분에 대한 분석이 필요할 것으로 판단되어 각 내역에 따른 민감도 분석을 실시하였다.

Table 5 Cost and benefit for 20years

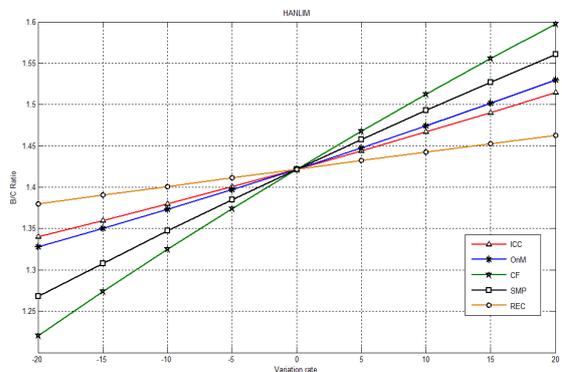
	Contents	Hanllim	Moseulpo
Cost	Construction	4.2 billion/MW	4.1 billion/MW
	O&M	1.21 billion	1.21 billion
	Others	23.42 billion	23.02 billion
	Total	68.62 billion	67.52 billion
Benefit	SMP	211/KWh	211/KWh
	REC cost	40/KWh	40/KWh
	REC value	1.5	1.5
	Price	271/KWh	271/KWh
	C.F.	41.1%	40.4%
	APG	17,998.3MWh	17,728.6MWh
	Total	약 97.57billion	95.91billion
B/C Ratio		1.422	1.420

### 5. 민감도 분석

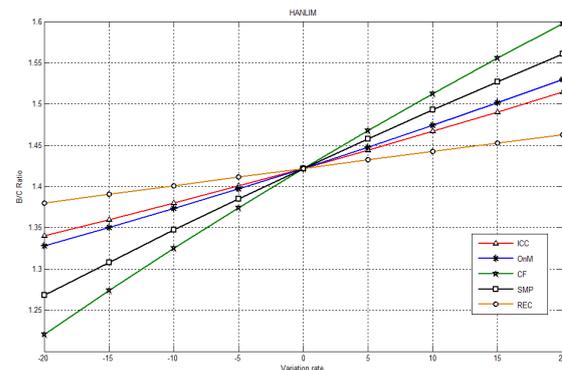
민감도 분석은 풍력발전 단지의 경제성 지표에 포함되는 항목들을 각각 5%씩 증가 또는 감소시켜 그에 따른 전체 B/C ratio의 변화를 그래프로 나타내어 비교함으로써 각 항목이 전체 B/C ratio에 얼마큼의 영향을 차지하는지를 나타내는 분석이다.<sup>2)</sup> 아래의 Fig.5(a)와 (b)에 모슬포와 한림의 민감도 그래프를 나타내었다.

그래프에서와 같이 두 지역 모두 발전량과 관계있는 C.F(Capacity Factor)가 가장 큰 기울기를 보여 B/C ratio에 가장 큰 영향을 차지하는 것으로 나타났

다. 이는 발전량이 얼마나 되는가가 경제성 확보에 가장 중요한 요소임을 의미한다. 따라서 높은 경제성 확보를 위하여 풍황 조건이 좋은 곳에 고장률이 적은 발전기를 어떻게 배치하는 지가 경제성 확보에 가장 중요한 요소라고 해석된다. 두 번째로 높은 민감도를 보인 것은 SMP값으로 이는 정부가 사업자에게 정해주는 금액이므로 설계자가 조정할 수 없는 값이다.<sup>3)</sup> 세 번째로 높은 민감도는 유지보수 비용이다. 즉 유지보수 비용을 줄일수록 경제성 확보에는 크게 유리할 것으로 분석된다. 유지보수 비용의 경우, 단지의 조건에 따라 어떻게 변화하는 가를 알아보기 위해 OMCE를 이용하여 발전기 수에 따른(1기,10기, 30기) 발전기 한대당 유지보수 비용 변화를 조사하였다.



(a) Moseulpo



(b) Hallim

Fig. 5 Sensitivity analysis results

Fig. 6에서와 같이 발전기가 1기만 존재할 때 한대당 유지보수 비용은 연간 12억원이 산출 되었다. 하지만 발전기 수가 10일 경우엔 1억8천만원 30기일 경우 8천만원이 산출 되었다. 원인을 알아보기 위하여 Fig. 7 에서와 같이 각각의 비용 내역을 조사하였

다. 발전기 수가 증가 할수록 다른 비용들은 소폭 상승하지만 장비사용료에 따른 비용은 크게 감소하였다. 발전기의 수를 증가 시킬 경우 발전량은 늘어나지만 배치에 따라 후류에 의한 손실이 생겨 에너지 손실이 증가하고 또한 건설비가 증가하게 된다. 하지만 위에서와 같이 한 대에 따른 유지보수 비용은 감소하기 때문에 단지의 경제성의 최대화를 위해서는 발전기 수에 따른 지출과 수익을 고려하여 단지를 설계해야 할 것으로 분석된다.

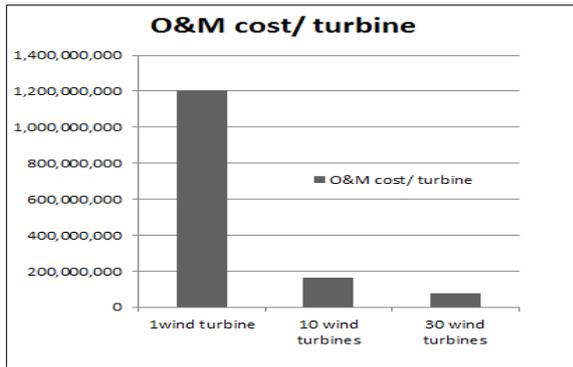


Fig. 6 O&M cost per turbine

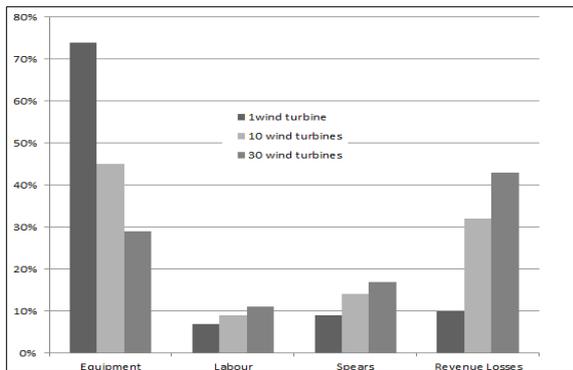


Fig. 7 Details of O&M cost

## 6. 결 론

본 연구에서는 제주 연한 풍력 발전 단지의 정확한 발전량 예측을 위한 설계와 민감도 분석을 통한 경제성 평가 방법을 제시하였다. 민감도 분석의 결과로서 발전량과 유지보수 비용이 민감도가 높은 것으로 나타났다. 따라서 설계된 단지의 정확한 경제성 평가를 위해서는 정확한 발전량과 유지보수 금액을 산출하는 것이 가장 우선순위로 이루어 져야 할 것으로 판단된다. 또한 해상 풍력 발전 단지의 유지보수 비용의 경우 고가의 장비 사용료가 포함되기 때문에 설치 발전기 수, 육상에서 단지로의 이동거리

등과 같은 단지의 설계 상태에 따라 발전기 한 개당 비용이 크게 변함으로 경제성 확보를 위해서는 유지 보수 비용 또한 단지 설계의 중요한 요소로 고려되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 향후 연구에서 유지 보수 비용과 건설비, 후류 손실을 고려한 발전단지의 설계가 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP) 풍력특성화대학원 인력 양성사업과 한국산업기술진흥원, 제주광역경제권 선도산업지원단의 지원으로 수행된 광역경제권 선도산업 육성사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (NO.20094020200020)

## 참고 문헌

1. L.W.M.M. Rademakers, 2011 "Properties of the O&M Cost Estimator (OMCE)" ECN, Netherlands, pp. 4-12
2. Keum-Seok Kang, 2011, "Economic Analysis of Offshore Wind Farm considering Domestic Development Conditions of Korea", Korea Wind Energy Journal, vol. 2, No.1, pp. 37-43
3. Karlynn Cory, Paul Schwabe, 2009, "Wind Levelized Cost of Energy: A Comparison of Technical and Financing Input Variables, NREL, America
4. Eeckhout, B. V. (2008). The economic value of VSC HVDC compared to HVAC for offshore wind farms. K. U. Leuven(master thesis). pp.70-78