

# 전략환경평가실무

## 12. 전략환경평가사례 : 해상풍력단지의 전략환경평가



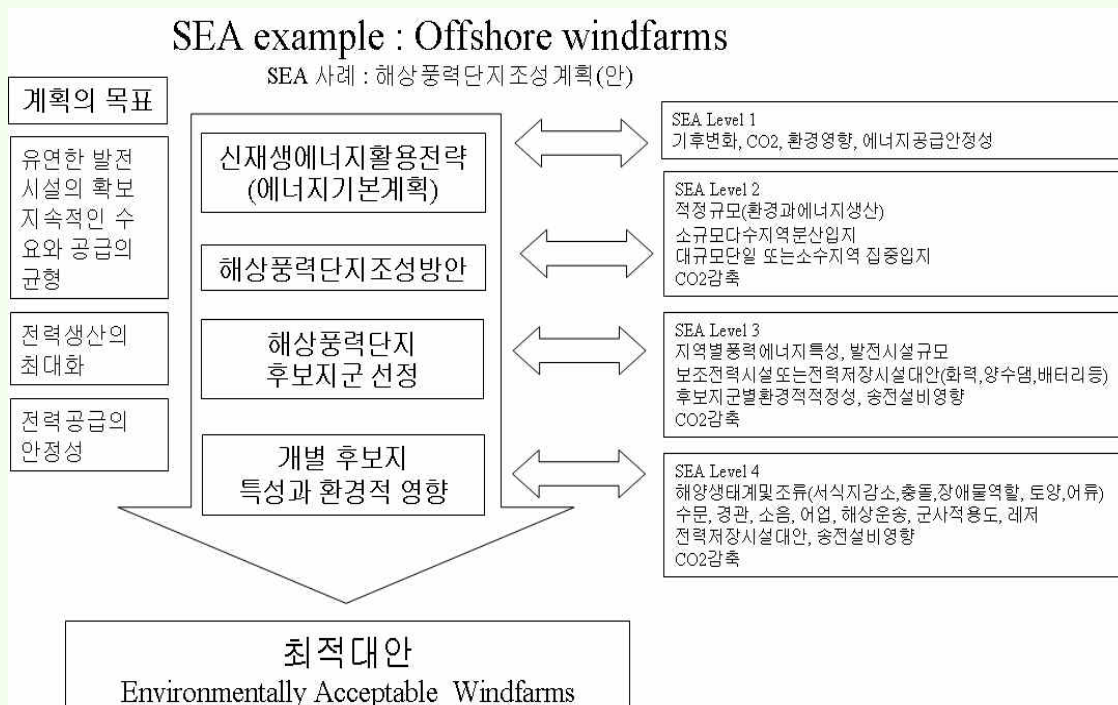


## 1. 해상풍력단지계획의 단계별 SEA 필요성


이번 강의에서는 해상풍력단지를 조성할 경우의 예를 들어 계획 위계별로 이에 따른 SEA를 실시해야 하며 그 때의 주요 관점이 다름을 보이고자 한다. 각 계획 단계별(즉, level 별)로 검토되어야 할 사항들을 알아보기로 한다.

<그림>은 해상풍력단지 조성에 있어 SEA의 과정을 모식적으로 정리한 것으로, 현재 해상풍력단지의 조성계획을 수립할 경우 그 계획 수립과정에 SEA를 실제적으로 어떻게 할 수 있는가를 나타내었다.

해상풍력단지 조성의 SEA 과정을 단순화하면 크게 4개의 단계로 나눌 수 있을 것이다. 우선 첫 번째 단계는 (그림의 SEA Level 1)에너지기본계획 가운데 신재생에너지 보급목표(신재생에너지 활용전략)가 설정될 것이고 조금 더 구체화 하면, 두 번째 단계로 신재생에너지 중에서 풍력에너지의 경우, 육상풍력, 해상풍력의 두가지로 대별될 수 있는데 어떤 것이 주요 에너지 공급원이 되는 것이 적정한가에 대한 전략적 선택 또는 두가지 방안의 혼합 방법과 이에 따른 환경적인 문제들을 검토하는 단계가 있을 수 있다. 세 번째는, 해상풍력단지를 조성하는 방법에 대한 검토가 있을 수 있으며 넓은 지역에 큰 해상 풍력단지를 조성하는 방안과 지역별로 소규모 해상풍력 단지를 여러 지역에 분산하는 방안 등의 전략적 선택에 대한 검토가 필요할 것이다(그림의 SEA Level3). 다음으로, 해상풍력단지를 어떻게 조성할 것인가 하는 부분, 그리고 구체적인 부지 위치를 어떻게 결정할 것인가, 각 후보부지는 어떠한 환경적 영향이 있겠는가에 대해 검토하는 네 번째 단계(그림의 SEA Level 4), 하는 총 4단계의 레벨로 SEA가 진행될 수 있을 것이다.



<그림> 계획위계별 SEA 사례 : 해상풍력단지



에너지기본계획부터 시작하여 해상풍력단지를 조성하는 계획이 구체화되기까지의 각 단계별로 검토되어야 하는 환경적 주요 사항이 다음에 따라 SEA가 여러 단계에 걸쳐 수행되어야 함을 보여주고 있다. SEA Level별 주요 검토사항에 언급된 것들은 다양한 자료로부터 발췌하였고 추가적인 의견을 포함하여 재정비한 것이다.

## 2. 상위단계에서의 SEA

에너지기본계획에서는 신재생에너지 보급목표가 설정될 것이며 이를 충족시킬 적정한 신재생에너지원의 확보계획이 수립될 것이며 전반적으로 신재생에너지의 확보 목표가 제시될 것이다. 또한 발전사업자에게는 RPS가 의무화 된다<sup>1)</sup>. 이러한 계획이 가져야 할 목표로서는 ‘유연한 발전시설 확보’ 및 ‘지속적 수요공급의 균형’, ‘전력생산의 최대화’ 및 ‘안정적 공급’ 등이 될 것이다.

에너지기본계획에서 신재생에너지 공급목표(활용전략)에 대해 고려할 때 이 첫 번째 단계의 SEA는 그림의 SEA Level 1로 표시한 것과 같이 CO<sub>2</sub>와 관련된 저감효과와 환경에 미치는 일반적 영향, 에너지 공급에 대한 안정성이 있는가 등에 대한 SEA가 진행될 수 있을 것이다. 여기서는 신재생 에너지의 활용에 대한 전반적인 환경 영향과 에너지 공급원으로서의 역할 등이 검토 될 것이며 국가의 장기적 계획이 설명될 것이다.


## 3. 해상풍력단지 조성계획의 SEA

앞서 에너지기본계획에서 신재생에너지 활용전략이 환경을 고려하여 정리되고 신재생에너지를 몇 % 정도 사용하고 주된 에너지원으로 어떤 것을 활용할지에 대해 전략이 수립되었다면, 해상풍력단지를 어떠한 방식으로 조성할 것인가 하는 검토가 필요하게 되며 관련한 계획(해상풍력단지조성방안)이 수립될 것이다.

이 단계에서 수행될 수 있는 SEA를 그림에서 SEA Level2로 표시하였다. SEA Level 2는 ‘환경을 고려한 적정한 에너지 생산 규모가 어느 정도인가’, ‘어떠한 형태의 입지를 적용할 것인가’와 같은 전략적 문제를 고려하는 단계가 될 것이다. 풍력발전에서의 바람은 에너지원으로서의 안정성이 부족하기 때문에 전력수요에 대한 기여도를 충분히 고려하여야 하며 이를 보완하기 위해서는 보조적인 <완충 전력 생산 시설>(즉, 디젤시설 등과 같은 시설- 그림에는 ‘보조전력시설 또는 전력저장시설대안’이라고 표시되어있다,

---

1) RPS(Renewable Portfolio Standard)는 공급의무자인 전기사업자가 공급하는 에너지의 일정량을 신재생에너지로 공급하도록 의무화하는 제도이다. RPS는 규제를 통하여 신재생에너지 시장을 형성시켜주며 가격메커니즘이 작동되고 다양한 신재생전원간의 경쟁을 통해 공급순위가 결정될 수 있다(이창호, 2013).



이후 ‘완충시설’이라고 표기한다)이 필요할 수 있다. 또는 풍력에너지로 저장한 후 균일하게 전기를 공급할 수 있도록 해주는 에너지저장시설이 고려되어야 할 것이다<sup>2)</sup>, 그렇기 때문에 이러한 완충시설(발전시설)의 입지 또는 에너지저장시설의 입지를 고려한 전략이 필요하며 <소규모 다수분산입지> 형태인지 아니면, <대규모 집중입지> 형태인지를 결정하는 전략 등이 필요하게 될 것이다.

즉, 해상풍력발전단지를 건설하는 것이 또 다른 화력발전단지를 건설하는 것을 추가해야 할 필요가 있을 수 있음을 유념하여 전략환경평가시 이를 고려해야 할 것이다. 또는 이러한 완충시설이 아닌 다른 발전원의 총 용량을 함께 고려하여 전력수요에 대한 기여 정도 및 전력의 안정적 공급 가능성을 분석 결정하여야 할 것이다. 또한 완충시설들이 입지하기 때문에 이러한 시설입지 및 운영에 따른 CO<sub>2</sub> 감축의 변화 등도 SEA에서 고려할 수 있는 사항일 것이다.

---

2) 이러한 에너지 저장시스템 (ESS, Energy Storage System)은 현재 각국이 다양한 방법들과 기술들을 연구중이며 실용화되지는 않았다. 신재생에너지의 활용을 확대하기 위해서 넘어야 할 기술적, 방법적인 제약이다.

#### 4. 전력에너지 소비의 계절적 변화 특성

전력에너지 사용량은 시간과 계절에 따라 변화한다. 아래 그림은 계절별 전력 사용량의 변화를 보기 위하여 작성된 것으로 2011년과 2012년의 월 최대 전력 사용량을 그래프로 나타낸 것이다. 여름과 겨울에 전기수요가 크고(7,000만 kWh 이상) 봄, 가을에 잠시 수요가 줄어드는 것을 볼 수 있다(6,000~7,000만 kWh). 12, 1, 2월과 7, 8, 9월에 사용량이 높은 두 개의 고소비대를 특징적으로 보여준다. 그러나 풍력발전 에 의한 전기생산량은 이러한 전력소비패턴과 무관하며 바람에너지가 강할 때 많이 생산된다. 해상 풍력에너지가 이러한 전력수요의 계절적 변화에 어느정도 기여할 수 있을지에 대한 검토가 필요하다. 이러한 분석결과가 해상풍력단지의 장기적인 전력공급규모를 결정하게 하거나 또는 해상풍력단지의 규모에 따라 전력공급 기여도가 결정되거나 할 것이다. 대부분 겨울에 풍력의 발전량이 많아지는 것이 일반적이다.

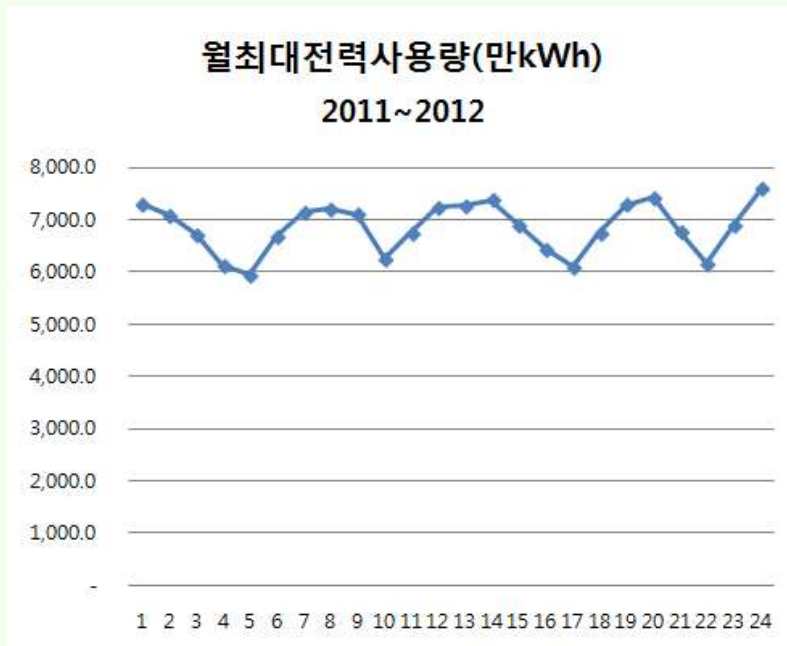


그림 : 전력의 계절별 사용량 변화. 가로축은 1달 단위로 24개월의 기간을 보여준다.

(Source : 전력거래소 통계자료를 이용하여 작성)

## 5. 전력에너지 소비의 시간대별 변화특성

아래 그림은 전력수요가 시간대별로 변화하는 특성을 보여주는 그래프이다. 여름철 오전 10시부터 오후 11시까지의 전력소비가 매우 많은 고소비대를 형성한다. 풍력발전량이 전체 발전량 중에서 차지하는 비중이 많아진다고 가정하면 풍력발전이 이러한 시간대별 수요특성에 얼마나 기여할 수 있는가에 대한 검토가 필요하다.

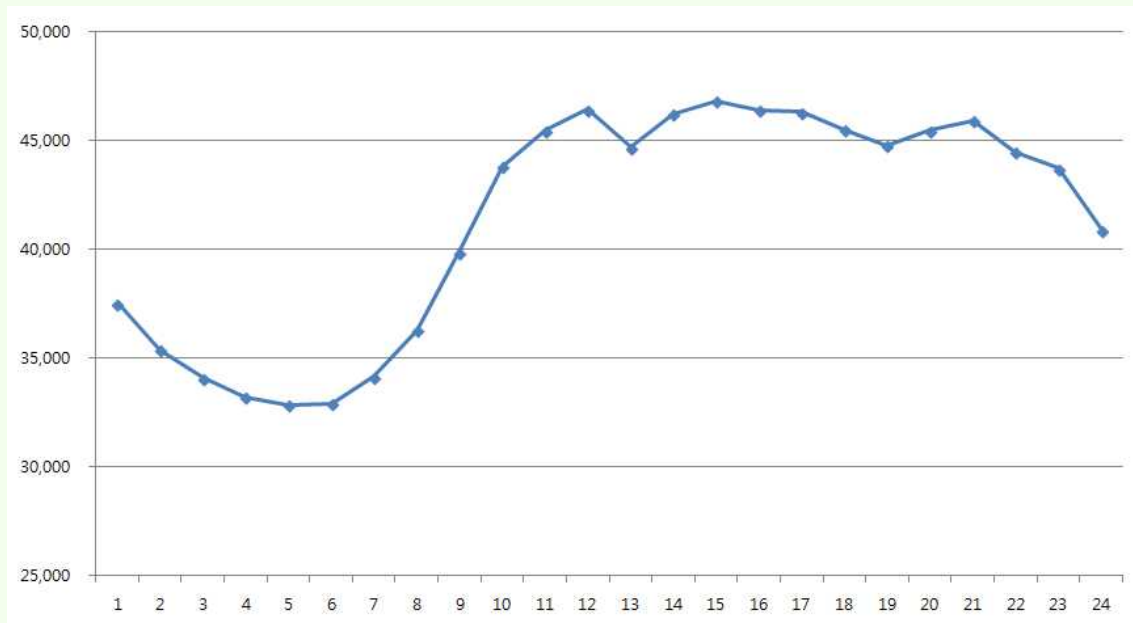


그림 3 전력수요의 시간대별 변화

2005년 7~8월 시간대별 평균수요 분석결과 (단위 MW)

가로축은 시간을 나타낸다. 한여름 오전 10시에서 오후 11시까지 전력사용량이 높은 상태를 유지하고 있다.

Source : 한수원내부자료(2006, 신재생 및 집단에너지 전력수급 피크용량기여도 평가검토보고)

아래 그림은 풍력발전과 전력부하간의 관계를 모식적으로 보여주는 그림이다. 1월 (January)은 J로 표시하고 12월(December)은 D로 표시하였다. Surplus(잉여)라고 표시한 부분은 풍력발전이 주요 전기생산방식이 된다고 가정했을 때 동계에 발전되는 발전량이 소비량을 넘을 수도 있다는 설명을 위한 것이다. 반면, Shortage(부족)라고 표시한 부분 풍력발전이 대부분의 전기를 공급한다고 가정했을 때 하계에 발전량이 소비량을 채우지 못할 것이라는 설명을 하기 위한 것이다. 전력 잉여발생시에는 다양한 에너지저장장치에 저장해두었다가 전력이 부족할 때 사용하며, 전력부족시에는 에너지저장장치의 저장전력 방출과 보조발전기의 가동을 필요로 한다.



풍력발전기의 용량이 실제 수요에 기여하는 바를 나타내기 위해 신뢰용량(용량 크레딧)이라는 개념을 사용하여 설명할 수 있다. 용량크레딧은 아래와 같이 정의 된다(전력거래소, 2011).

- 용량크레딧(Capacity credit, 신뢰용량) :  
전력시스템의 신뢰도를 유지하면서 기존의 비 신재생 에너지 자원을 대체할 수 있는 신재생 에너지 자원의 실질적인 용량
- 용량크레딧(신뢰용량)<sup>3)</sup> 아래와 같이 표시된다  
용량크레딧 = 설비용량(Installed Capacity) x 부하율 (Load Factor)


아래 표는 신재생 에너지 중 일부를 3개년간 분석한 결과이다. 피크기여도는 전력수요가 최대 피크에 이르는 때에 해당 발전원이 어느정도나 전기를 공급해줄 수 있는가를 용량대비 발전량으로 나타낸 것이다. 표에서 볼 수 있듯이 피크기여도가 10%이면 2MW 풍력발전기가 실제로는 중요한 전기소비 시점에는 0.2MW 발전기 역할을 한다고 볼 수 있다.

신재생에너지 3개년 실적 분석결과  
최대부하시는 3개년 피크일 피크 1시간에 대한 평균임  
최대부하는 전력수요 전체의 최대부하를 말함  
(단위 : %)

구 분		소수력	풍 력	태양광	바이오가스 (LFG)
피크 기여 도	①최대부하시	65.6	0.6	42.8	47.8
	②상위 10% 부하	58.5	<b>10.4</b>	<b>34.47</b>	51.6
	③상위 30% 부하	59.1	<b>9.6</b>	<b>21.02</b>	52.3
	④상위 50% 부하	59.0	9.7	20.82	52.4

풍력발전이 하루의 전력수요에 대응하는 신뢰도가 얼마인지, 위의 표로부터 정리해보면, 피크시간대에서의 기여도가 최대부하시에는 0.6%의 용량만이 전력공급에 기여하고 있다. 30% 피크시간대의 평균값은 1.5%부터 46.5%까지 다양하나 대체적으로는 10% 정도의 값을 보인다. 현재는 대체로 피크수요가 있는 주요시간대 중 우선순위 분포로 하여서 최대피크수요시간대로부터 30% 까지의 피크수요시간대에 대한 기여도를 풍력의 경우 용량의 약 10% 정도라고 추정하고 있다. 구체적인 사항은 지속적인 데이터의 갱신과 전력통계를 통해서 조정될 수 있을 것이나 전반적으로 풍력발전에 의한 피크기여도수준은 크게 향상되기 어렵다고 보아야 할 것이다. 이와 같은 전기에너지 소비 및 풍력발전의 특징을 고려할 때 대규모로 풍력을 사용하려면 보조전력시설이나 전력에너지 저장시스템이 동시에 준비되어야 함을 알 수 있다.

3) 용량크레딧(신뢰용량)과 위의 표에 있는 피크기여도는 다른 방식으로 계산된 것이어서 동일한 값을 보이지는 않는다.



## 6. 풍력발전과 전력부하의 관계

아래 그림은 풍력발전의 발전특성과 전력소비사이의 관계를 일반화하여 나타내 보여주는 것이다. 가로축의 알파벳은 1월부터 12월을 말한다. 크기는 모식적으로 표시한 것이다. 초록색 곡선이 우리나라의 특징적인 전력소비패턴이었다. 이 패턴은 전력수요가 하계 3~4개월에 피크를 이루는 특징을 보여준다. 즉, 여름철 냉방수요가 전력수비 피크를 이루었다. 그러나 이러한 소비패턴이 최근들어 급격히 바뀌어 지금은 동계 전력소비가 급격히 증가하였다. 그림의 빨간색 곡선이 그 소비패턴을 모식적으로 나타내보여주는 것이다. 파란색으로 그려진 곡선은 풍력발전량을 모식적으로 나타낸 것이다. 상대적인 크기는 실제와 다르다. 풍력발전량은 바람의 세기가 큰 동계에 많으며 전력소비의 전반적인 패턴과는 다른 패턴을 보여준다.

풍력발전이 주요한 전원역할을 하게 되면 어떤 현상이 일어날 것인지를 그림을 통해 가상적으로 알아보고자 한다. 비교시에는 여름에만 피크를 이루는 소비곡선과 대비하였다. 그림에서 Surplus(잉여)라고 표시된 부분은 풍력발전이 대부분의 전기를 공급한다고 가정했을 때 동계에 발전되는 발전량이 소비량을 넘을 경우를 나타내주는 것이다. Shortage(부족)라고 표시한 부분은 풍력발전이 대부분의 전기를 공급한다고 가정했을 때 하계에 발전량이 소비량을 채우지 못하는 경우를 보여주고 있다.

따라서 풍력발전이 주요 전원으로 사용될 경우에는 전력 잉여발생시는 저장장치에 저장하는 계획이 필요하고 전력부족시에는 보조발전기 또는 저장된 전기를 사용하는 계획이 필요하다. 이상과 같은 풍력발전과 전력수요를 고려할 때, 풍력발전소의 증가는 화력발전소, 양수발전소 또는 에너지저장장치의 증가가 동시에 수반되어야 함을 알 수 있다. 풍력발전이 친환경적인 에너지라고 해서 모든 면에서 다 동일한 효과를 갖지는 않는 것이다. 풍력발전소를 증가시키면 다른 기존의 발전소도 증가시켜주어야 하는 것이다.



### Characteristics of Wind-producing Energy

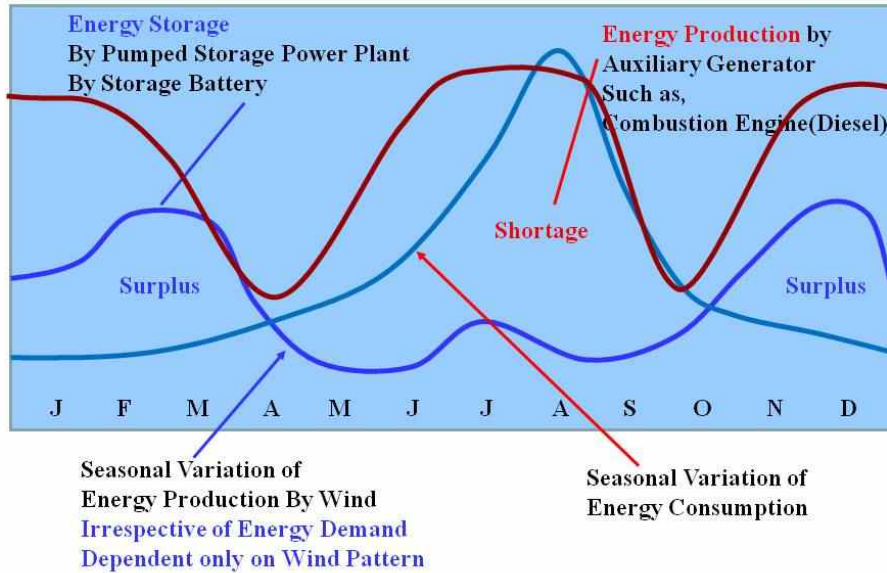


그림 : 풍력발전의 발전특성과 전력소비사이의 관계. 가로축의 알파벳은 1월부터 12월을 말한다. 크기는 모식적으로 표시한 것이다.


Surplus(잉여)는 풍력발전이 대부분의 전기를 공급한다고 가정했을 때 동계에 발전되는 발전량이 소비량을 넘을 수도 있다는 설명을 위한 것이다.

Shortage(부족)은 풍력발전이 대부분의 전기를 공급한다고 가정했을 때 하계에 발전량이 소비량을 채우지 못할 것이라는 설명을 위한 것이다.

전력 잉여발생시는 저장장치에 저장하고 전력부족시에는 보조발전기 또는 저장된 전기를 사용하는 것이 필요하다.

### 7. 해상풍력단지의 SEA Level3

입지의 형태 전략 등이 선정되었다면 후보지군을 선정하게 될 것이며, 이 과정에서 SEA Level 3이 적용될 수 있을 것이다. SEA Level 3에서는 조금 더 구체적인 환경적 문제를 다루게 될 것이다. 지역별 풍력에너지의 특성, 발전시설의 규모, 보조전력시설의 대안 등이 고려하여야 할 사항들이 후보지군별로 환경적으로 적정한 가를 파악하여야 할 것이다. 완충시설로서 바람이 많이 불어 전력생산이 많아졌을 때의 에너지를 저장할 수 있는 배터리를 사용하거나, 또는 남는 전력으로 양수담에 물을 끌어올려서 위치에너지로 저장하였다가 필요할 때 사용하거나 또는 다른 에너지저장시스템을 사용할 수 있을 것이다. 화력(디젤 또는 LNG)발전기를 설치하여 풍력생산이 줄어들 때 보조적으로 사용하는 방법도 고려할 수 있다.



양수댐이 에너지 효율은 낮으나 유용한 완충시설이 될 수 있을 것을 보인다. 따라서 SEA에서는 해상풍력 발전시설과 함께 다수의 양수발전시설을 입지하는 것을 함께 고려하고 이로 인한 환경적 영향이 함께 고려되어야 할 것이다. 또한 후보지와 연계성을 위한 송전설비의 설치로 인한 영향, 그리고 CO<sub>2</sub> 감축 등에 대한 사항을 SEA Level 3에서 검토할 수 있을 것이다. 개별 풍력발전시설에 보완적으로 안정공급 보조발전시설을 고려하지 않을 경우에는 국가 전체의 전력 공급의 안정성 측면에서의 검토가 필요할 것이다.

## 8. 해상풍력단지의 SEA Level 4


후보지가 결정되게 되면, 개별후보지의 특성과 환경적 영향 등에 대해 구체적인 SEA Level 4가 적용될 수 있을 것이다. 이 과정에서는 해양생태계 및 조류의 영향, 수문, 경관, 소음, 레저 등의 영향, 전력저장시설의 입지 대안 및 방법, 그리고 CO<sub>2</sub> 감축 등에 대해 검토할 수 있을 것이다. 해양생태계 및 조류에의 영향은 주로 생태계 서식지의 영향, 건설시의 충격소음의 영향, 조류충돌 또는 조류진로의 장애물로서의 역할, 해저토사의 변동으로 인한 어류서식지 영향 등이 고려될 것이다. 해상운송로와의 관계 및 주변도서간의 여객운항, 어선의 활동영역, 기존 어업활동지역 등에 대한 영향 및 대안이 검토될 필요가 있다. 그리고 해상물류루트에 변경이 발생하거나 군사적 용도로 사용되는 지역 또는 루트에의 변동 등이 검토되어 하며 적절한 대안들이 있는지 대안을 수립하여야 한다. 레저생활에도 변화가 발생하므로 이에 대한 검토도 포함될 것이다.

이상과 같은 4단계의 SEA를 통해 최적대안이 나올 수 있을 것이다. SEA 리포트가 4회 제출되며 각 단계별 결정에 SEA가 기여할 수 있도록 진행하는 것이 해상풍력단지 조성을 위한 SEA의 바람직한 진행과정이라고 정리할 수 있을 것이다.

## 9. 해상풍력단지의 SEA 고려사항

앞서 제시된 과정은 SEA의 과정을 단순화하여 제안한 것으로서, 크게 중요하지 않은 항목 및 건설방식과 관련되는 일시적 영향에 대한 부분은 생략하여 나타내었다.

독일의 경우 입지선정과 관련해서 제일 중요한 요소로서 인간의 활동(어업활동, 관광레저)과 생태계로 선정하여 영향을 고려하고 있는데, 앞서 제안된 4단계의 SEA Level 가운데에서는 에너지기본계획이 결정되고 풍력단지를 어떻게 조성할 것인가 고려하는 SEA Level 2에서부터 이를 고려하는 것이 바람직할 것이라고 생각된다. 우리나라의 경우, 서해안은 해상에서의 운송, 어업 등의 활동이 매우 활발하게 이루어지고 있는데, 해상풍력단지를 조성하게 되는 경우 육상에서 도로를 건설하는 것과 같이 인근지역 주민들의 생활패턴을 바꿔놓는 장벽 역할을 할 가능성이 매우 높으며, 사고의 가능성도 높고, 그리고 저소음으로 인한 영향에 대한 부분들이 있을 수 있기 때문에 상위단계에서부터 고려하는 것이 바람직할 것이다.



관련 문헌들을 참고하였을 때, 고려해야 할 사항 중의 하나로 역사문화, 경관요소도 중요한 것으로 생각된다. 예를 들어 유명한 경관지역과 발전시설이 함께 위치하고 있는 곳은 경관적으로 영향이 크므로 이러한 사항을 고려하여야 할 것이다. 또한 외국의 경우 고래와 같은 포유류를 고려하기도 하는데, 우리나라에서는 고려하지 않아도 될 사항으로 보인다.

참고문헌 :

김지영 외, 2008, 2008 전략환경평가포럼, KEI 2008 FR-03 정책자료집, 111쪽.

이창호, 2013, RPS 정책동향, 미발간 세미나자료

전력거래소 전력계획처, 2011, 신재생에너지 공급의무화제도(RPS) 도입이 전력수급기본계획에 미치는 영향 분석, 257쪽

한수원, 2006, 신재생 및 집단에너지 전력수급 피크용량기여도 평가검토보고, 기획홍보 전력기획처, 신재생에너지팀