

환경포럼

ENVIRONMENT
FORUM

Korea
Environment
Institute

해양기반 에너지산업의 현황 및 과제

- I. 머리말
- II. 해상풍력, 파력, 열 및 조력발전 현황
- III. 해상풍력, 파력, 열 및 조력발전의 환경적 영향
- IV. 해양기반 에너지산업의 사회·경제적 영향
- V. 맺음말



VOL.18 • NO.3

인류의 해양공간 이용으로 과도한 어류남획, 오염물질의 해양배출, 해양 공간의 매립 및 건설로 인한 해양생물 서식처 감소, 저산소해역의 확대 등의 문제점이 발생하고 그로 인해 해양생태계가 지속적으로 훼손되고 있어 이에 대한 국제적인 협력과 개선노력이 필요하게 되었다. 그리하여 유엔은 세계 해양 전체에 대한 환경상태를 정기적으로 보고하고 평가하는 보고서 (유엔정기해양환경평가보고서, UNRP 평가보고서)를 작성하고 있다. 현재 우리나라에서도 2013년부터 UNRP 평가보고서의 목차를 바탕으로 우리나라의 주변의 해양환경상태를 기술하는 보고서를 작성하고 있다. 본 원고에서는 재생에너지의 중요성이 국제적으로 강조되면서 해양이 갖는 다양한 에너지 자원 개발이 확대되고 있는 시점에서, 우리나라에서 이루어지고 있는 해양기반 에너지산업의 현황, 환경적 영향 및 사회·경제적 영향을 고찰하고자 한다. 또한 이 자료는 우리나라 주변의 해양환경상태를 기술하는 보고서에 이용될 예정이다.

부연구위원 김태윤

환경평가2실
kimty@kei.re.kr

신철오

한국해양수산개발원
shin@kmi.re.kr

I. 머리말

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 해양기반 에너지 개발에 지형학적 이점을 가지고 있으며, 조력에너지 6.5GW, 파력에너지 6.5GW, 조류에너지 1GW의 잠재 해양에너지를 보유하고 있다(홍기용, 2009). 그뿐만 아니라 해수 열에너지, 해상풍력과 같은 무한한 에너지 자원이 존재하고 있어 지속적인 개발 및 상용화 계획을 추진 중이다. 현재 해상풍력, 조류에너지, 파력에너지, 해수온도차발전은 소규모 실증단지를 건설하여 성공적인 실험을 하였으나 이를 대규모 발전단지로 확대시키는 데에는 추가적인 연구와 시간이 필요할 것으로 예상된다. 다른 해양기반 에너지와는 달리 조력발전은 시화호에 254MW 규모의 시설을 설치하여 가동하고 있어 에너지 생산측면에서는 가장 앞서 있다. 그러나 조력발전을 하기 위해서는 방조제를 건설해야 하기 때문에 환경적으로 그 영향이 다른 해양기반 에너지발전에 비해 매우 크고 방조제 건설에 따른 지역주민 의견도 대립되어 있어 추가적인 조력발전사업의 계획이 잠시 보류되거나 무산될 처지에 놓여 있다. 따라서 이 글에서는 우리나라 해양기반 에너지산업의 현황을 제시하고 대규모 발전단지로 개발 시 야기될 수 있는 환경적 영향뿐만 아니라 사회·경제적 영향을 고찰해 보고자 한다.



II. 해상풍력, 파력, 열 및 조력발전 현황

해상풍력발전은 해상의 강한 바람을 이용하여 터빈을 돌려 전력을 생산하는 것으로, 발전원리는 육상풍력과 일치한다. 해상풍력은 이용할 수 있는 면적이 넓고 소음과 시각적인 영향이 육상풍력보다는 자유롭다. 또한 해안에서 멀어질수록 풍속이 높고 바람이 균일하여 풍력발전기의 수명이 증가한다. 하지만 설계, 설치, 운전 비용이 높고 해저케이블을 이용하여 전력을 수송하여야 하기 때문에 이에 대한 건설 및 연결비용이 많이 소요된다(맹준호 외, 2012b). 2008년 말 기준으로 연안지역에 설치된 풍력발전 용량은 약 62MW로 풍력발전 전체 용량의 약 22%에 해당된다. 이 중 54MW가 제주도에서 위치하고 있으며 나머지 8MW는 서해안에 설치되어 있다(표 1 참조). 우리나라 연안의 17.5%가 해상풍력개발에 적합한 수심 0~30m 지역이라 공급 가능 전력량은 20.1TW로 추정된다(한경섭, 2009; 김귀영 외, 2012). 지식경제부(2010, 2011)가 제안한 해상풍력 추진 로드맵에 의하면 2014년까지 부안·영광지역 해상에 100MW(5MW급 20기) 실증단지를 건설하고 2016년까지 400MW(5MW급 80기) 시범단지를 건설할 계획을 세우고 있다. 또한 2019년까지 1,500MW(5MW급 300기) 해상풍력발전 단지를 건설하여 2020년까지 해상풍력발전 강국으로 도약하려는 시도를 하고 있다. 이와 더불어 점진적인 해상풍력기술 개발로 인하여 해상풍력발전용량은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

파력발전은 파의 원운동(위치에너지와 운동에너지의 주기적인 상하운동)을 에너지로 변환시키는 것으로 파고가 크고 주기가 길수록 에너지를 많이 얻을 수 있다. 우리나라 연안역에서의 파력잠재량은 약 6.5GW 정도이나 접근성, 운영가능성, 경제성 등을 고려한 천해역에서의 개발가능량은 650MW로 추정된다(홍기용 외, 2007; 홍기용, 2009). 국내에서는 산업적으로 실용화단계에 아직 이르지 못하였으며, 한국해양과학기술원(KIOST)의 주관으로 하

표1. 우리나라 해상풍력발전 운영 현황

(2008년 말 기준)

해상풍력발전 지역		규모
새만금		7,900kW
제주도	월령	100kW
	한경	22,700kW
	월정	1,500kW
	행원	9,795kW
	성산	20,000kW
총규모		약 62MW

자료: 김귀영 외. 2012.

그림1. 제주도에 위치하고 있는 해상풍력기



자료: 신철오, 육근형. 2011.

는 연구형 파력발전시설이 설치되어 운영되었다. 먼저 60kW 부유식 진동수주형 파력발전장치가 개발되었으며(1993~2001년), 150W 등부표용 부유식 소형파력발전기가 실해역에 실증시험(2006년)을 하였다. 이들은 독립전원으로서의 기본적인 검토가 이루어졌으며, 전력 계통을 포함한 실전 발전단계까지 이르지 못했다(신승호, 2013). 현재 500kW 고정식 진동수주형 파력발전시스템이 개발되어 제주도에 설치 중이며 2013년도에 시범 운영될 예정이다.

그림2. 등부표용 부유식 소형파력발전기



해수온도차발전은 해수의 온도차(주로 심층수와 표층수의 온도차)에 의한 열에너지를 기계적인 일로 변화시켜 전기를 생산하는 방식으로, 동해안 지역의 지하 200m 수심에서는 연중 2°C 이하의 해수가 존재함으로 표층수와 온도차이가 17°C 이상만 되더라도 온도차발전이 가능하다. 그러나 우리나라는 여름철을 제외하고는 표층해수의 온도가 20°C 이상 유지되기 어렵기 때문에 연중 발전을 할 수 없는 실정이다. 반면에 해수를 이용한 온도차냉난방 시스템은 연중 이용 가능하고 해수 열에너지 부존량이 많아 에너지를 영구적

으로 사용할 수 있다(오철외, 2011). 우리나라 해안도시 7개 지역을 해수 이용 가능 지역으로 선정하여 이용가능 열량을 조사한 결과, 히트펌프 이용의 경우 난방은 12,528Tcal/year, 냉방은 7,757Tcal/year로 예측되었다(오철, 2013).

조석력으로 발생하는 해양에너지는 조류에너지발전과 조위차발전으로 나눌 수 있다. 조류에너지발전은 조류흐름을 이용하여 발전하는 방식으로 경제성을 고려할 때 2m/s 이상의 흐름이 필요하다(장두석, 2010). 우리나라 서·남해안이 조류에너지 부존지역으로, 대표적인 적지로는 울돌목, 장죽수도, 맹골수도, 대방수도 등이 있다(표 2 참조). 지역별 예상되는 조류발전 용량은 울돌목 약 90MW, 장죽수도 약 100MW, 맹골수도 약 200MW, 대방수도 약 10MW 등으로 총 조류에너지 부존량은 1000MW 이상으로 추정되며, 이 중 적정개발규모는 약 470MW 정도로 평가된다(지식경제부, 2012). 우리나라 전남 진도군 진도대교 부근에 1MW 규모의 울돌목 시험조류발전소가 2009년 5월에 준공되어 지속적인 에너지를 생산하다가 2012년 태풍 피해로 인하여 현재 운영이 중단된 상태이다. 울돌목 시험조류발전소 이외에 장죽수도에서 소규모 조류발전기가 발전타당성을 검토하기 위해 시험 가동되었으며, 조류발전 수차 성능개발과 대규모 조류에너지발전 단지 개발을 위한 계획이 진행 중이다.

표2. 우리나라 연안 조류발전 후보지 현황

구분	수심 (m)	폭 (m/s)	대조기 평균유속 (m/s)	최대 에너지 (kW)	적정 개발규모 (kW)	연간 발전량 (kWh)
울돌목	20	300	6.50	366,354	49,809	122,171,461
장죽수도	30	3,500	3.59	1,867,359	146,855	360,206,124
맹골수도	45	4,200	5.49	3,088,113	242,859	595,684,819
횡간수도	30	2,000	2.50	360,352	28,339	69,510,390
대방수도	15	250	2.50	22,522	1,771	4,344,399
합계	-	-	-	6,971,700	469,634	1,151,917,193

자료: 지식경제부, 2012, p.85.

그림3. 울돌목 시험조류발전소



조위차발전은 연안역에 방조제를 설치하여 방조제 내에 해수를 가두어 놓고 방조제 내외의 수위차를 이용하여 전력을 발전하는 방식이다. 따라서 조위차가 높을수록 발전가능량이 증가하며 우리나라 인천지역의 경우 조위차가 최대 9m까지 되고 남쪽으로 내려갈수록 조위차가 줄어드는데 전라남도 목포지역은 대략 5m 정도이다. 따라서 조위차가 높은 경기도와 충청도 지역 연안에 조위차발전(또는 조력발전)이 유리하며, 현재 시화호조력발전이 가동 중이고 인천만, 강화, 가로림만이 후보지로 거론되고 있다. 시화호 조력발전은 창조식 발전방식으로 25.4MW 발전기 10기를 사용하고 있으며 2004년도에 공사를 착수하여 2011년도 8월에 상업발전을 개시하였다. 발전되고 있는 조력발전시설과 계획단계에 있는 시설을 고려하면 약 2.9GW의 에너지를 얻을 수 있으며 향후 추가적인 개발가능지역이 존재하고 있다(표 3 참조).

표3. 우리나라 연안 조력발전 후보지 현황

구 분	시화호	인천만	강 화	가로림만
대 조 차	7.80M	7.20M	7.70M	6.81M
발 전방식	창조식	낙조식	낙조식	낙조식
시 설용량	254MW	1,320MW	838.2MW	520MW
사 업현황	가동 중	계획단계	계획단계	계획단계

자료: 수자원공사, 2012.

그림4. 시화호 조력발전소



III. 해상풍력, 파력, 열 및 조력발전의 환경적 영향

해상풍력발전 사업은 제주도를 시작으로 시범 실시단계에 접어들었다. 유럽의 풍력발전 산업 선진국들은 해상풍력발전 단지 개발에 총력을 기울이면서 건설 및 운영단계 시 해양환경에 미치는 다양한 영향을 세심하게 파악하고 모니터링 해오고 있다. 우리나라도 해상풍력발전 개발사업 진행 시 환경적 부작용에 대하여 입지선정 단계에서부터 면밀하게 파악하여야 한다. 일반적인 환경적 영향으로 공사 시 파일 항타에 의한 해저지형 변화(세굴영향), 해양환경 피해, 해양생태계 교란 및 훼손 정도 등이 있으며, 운영 시 발전기 터빈의 소음 및 진동으로 인한 해양생태계와 어장에 미치는 영향, 해양경관 훼손, 해양보호구역 훼손, 풍력발전기와 새의 충돌, 철새의 이동장애 그리고 장기적인 서식지 손실 등이 있다. 양호한 입지의 고갈과 민원의 증가에 따라 추가적인 입지확보가 어려운 육상풍력에 비해 광활하면서도 평균 수심이 약 40m에 불과한 황해가 있어 해상풍력발전 단지의 좋은 입지조건을 갖추고 있다. 따라서 환경적 영향을 분석하여 국내 해역에 적합한 분야별 현황조사, 영향예측, 저감방안과 사후조사 등이 필요하다(맹준호 외, 2012b).

파력발전과 조류발전은 해상풍력발전과 거의 유사한 환경적 영향을 줄 것으로 예상된다. 하지만 해상풍력발전은 터빈이 대기에 위치하는 반면에 파력발전이나 조류발전은 발전기가 해양에 위치하고 있어 해양생물에 직접적인 영향을 미친다. 특히 발전기는 회유성 어류 이동에 장애물이 되며 물리적 손상, 압력변화, 전단력, 공동현상으로 인하여 피해를 준다. 어류는 터빈의 회전날에 걸리거나 부딪혀서 몸이 잘려나갈 수 있으며, 속도가 다른 흐름 사이에 어류가 들어갈 경우 전단력이 발생하여 눈이 빠지거나 아가미 덮개가 휘는 손상이 발생한다(천영진 외, 2011; Nietzel et al., 2000). 또한 터빈 주변으로 압력의 차이가 발생하는데 터빈 내부의 압력이 가장 크며 회전날을 통과하면서 압력이 급격히 떨어진다. 이러한 압력변화로 인하여 물

고기의 눈이 튀어나오거나 부레가 터지게 된다(Turnpenny et al., 2000). 공동현상은 수압차이에 의해 기포와 충격파가 발생하는데, 이들에 의해 어류가 외상을 입거나 내출혈이 발생한다(Davies, 1988). 이러한 환경적 영향들은 각 발전기의 특성에 따라 차이가 나므로 발전방식에 따라 주요 환경적 피해를 파악하는 것이 필요하다.

해수온도차발전은 해양심층수 또는 표층수를 취수하기 때문에 해양생물 및 해양생태계에 직간접적인 영향을 준다. 소형 발전기의 경우, 취수 및 배출되는 양이 크지 않기 때문에 환경적 영향이 비교적 적으나 상업적으로 활용하기 위해 대용량의 취수와 배출이 이루어질 경우, 환경적 문제가 야기될 수 있다. 특히 해양생물의 취수관 인입, 냉해수 및 온해수의 배출 시 주변 해역의 수온차로 인한 해양생물의 일시적 충격, 배출수에 함유된 영양염으로 인한 해양생태계의 균형 변화, 파울링 방지를 위해 주입된 물질로 인한 해양생물들의 피해 등을 신중히 검토하여야 한다(김현주 외, 2011). 연안 주변에 위치하는 발전소의 온배수 또는 냉배수 배출에 대한 예측평가와 개선 방안에 관한 연구가 많이 진행되고 있기 때문에 이를 바탕으로 해수온도차 발전 운영 시 환경적 문제를 최소화하는 방안을 모색하여야 한다(한국수력원자력, 2012).

조력발전은 다른 해양에너지와 달리 커다란 방조제 건설이 필요하기 때문에 방조제 내의 연안생태계가 크게 훼손될 것으로 예상된다. 특히 프랑스의 랑스 조력발전소의 경우 방조제 건설 기간 중 조지와 외해 간의 해수교환이 차단되어 해양 생물들이 거의 전멸하였다(Retiere, 1994; Kirby and Retiere, 2009). 운영 중인 시화호 조력발전소는 조력발전사업을 위해 방조제 건설이 진행된 것이 아니라 간척지를 확보하기 위해 건설되었으나 방조제 내측 수질이 점점 악화되는 문제가 발생하였다. 그리하여 방조제 내측 수질을 개선하고 에너지를 얻기 위하여 조력발전소를 건설하였다. 그러나 신규로 방조제를 건설하여 조력 발전을 하는 것은 환경적인 영향이 지대하며 특히 다음과 같은 분야(연안물리 및 수질, 퇴적물, 해양동·식물)에 대한 심각한 환경적 영향이 우려된다.

연안물리의 경우는 조간대 면적, 만 내 흐름 변화, 해수교환율, 조간대 노출

시간, 수온·염분변화 등의 우려가 있으며 방조제 건설 후 만내 흐름이 줄어들어 부영양화와 저산소 현상 등 수질 악화가 발생될 것이다. 퇴적물은 만입구를 통해 이송되는데 방조제 건설로 인하여 이송특성인자, 퇴적물 공급원과 공급량, 퇴적상, 해저·조간대 지형, 퇴적물 물성특성인자, 수층 부유사 농도 등의 변화가 예측된다. 조력발전사업으로 인해 해양생물에 미치는 영향을 파악하는 것은 매우 중요하며 주요 생물항목은 조류(鳥類), 어류, 저서동물, 난·자치어, 동물 플랑크톤, 식물 플랑크톤, 해조·해초류, 저서미세조류, 점박이물범 등이다. 이들 생물에 미치는 주요 영향은 만내·외측의 흐름 변화, 염분도 변화, 해수교환율 변화, 수층의 탁도 변화, 조간대·조하대의 면적 및 노출시간 변화, 퇴적현상 변화, 수질 변화, 수문과 수차 운영으로 인한 영향 등이 있으며 이런 영향들을 고려하여 각 해양생물에 미치는 환경적 영향을 파악하여야 한다(맹준호 외, 2012a). 위에 제시된 환경적 분야 이외에도 염생습지 감소 및 전이, 새로운 해양환경의 형성으로 인한 조류(새) 서식지 변화 등의 문제도 야기된다.

해양기반 에너지 사업을 위해서는 전력 케이블 공사가 필수적이다. 전력 케이블은 크게 내부연결 케이블과 육지전송 케이블로 구성된다. 내부연결 케이블은 각각의 발전기로부터 해상변전소(substation)까지 연결하는 것이며, 육지전송 케이블은 각각의 발전기로부터 모인 전력을 해상변전소에서 초고압으로 승압한 후 육지까지 전송하는 역할을 한다. 일반적으로 해양기반 에너지 발전기는 서로의 간섭을 최소화하기 위해 일정 거리를 유지하고 있어 전력 케이블의 총 길이는 단지의 크기에 비례하여 증가된다. 따라서 해양에너지 발전 단지가 클수록 전력 케이블 공사로 인한 영향은 무시할 수 없을 만큼 크다. 따라서 전력 케이블 공사가 저서생물을 포함한 주변 해양생물에 직접적으로 미치는 영향을 충분히 고려해야 한다.

IV. 해양기반 에너지산업의 사회·경제적 영향

해양기반 에너지는 이용가능한 여러 자원 가운데서 점차 중요한 역할을 차지하고 있으며, 관련 분야의 산업적 측면에서도 큰 기대를 받고 있다. 최근 기후변화 문제가 본격적으로 대두하면서 화석연료의 사용을 대체할 수 있는 에너지원으로서 해양을 통한 신재생에너지를 적극적으로 개발하려는 노력이 이루어지고 있다. 따라서 에너지 공급을 위한 현재의 기술과 비용 부분에 온실가스 저감과 같은 외부비용의 저감을 고려할 때 향후 해양을 통한 신재생 에너지의 확대는 충분한 성장 잠재력을 갖출 수 있는 분야로 평가받고 있다. 해상 풍력이나 조력, 조류, 온도차발전과 같이 해양을 통해 개발가능한 신재생 에너지의 경우, 사회·경제적 영향을 두 가지 측면에서 고려해 볼 필요가 있다.

먼저 일반적으로 사회적 영향이라 함은 지역사회에 미치는 영향, 인간과 인간의 의사소통 및 행동양식에 미치는 영향을 의미한다. 이 경우 해양기반 에너지의 사회적 영향은 해당 분야의 공급이나 산업발전이 사회적으로 미치는 영향을 포함한다. 그러나 사회적 영향을 보다 넓게 이해하는 경우 환경적 영향이나 정책적 필요성, 그리고 향후 발전 가능성 측면까지도 포함될 수 있다. 두 번째로는 해양기반 에너지 개발에 따른 경제적 효과, 즉 경제성의 측면에서 살펴볼 수 있다. 여기서 의미하는 경제성은 사회적 영향을 포함한 넓은 의미의 경제성을 의미하며, 특정 사업의 추진에 따른 사적 편익과 사적 비용만을 고려하는 사업의 타당성을 뜻하지는 않는다. 따라서 경제적 영향을 이해하기 위해서는 해양기반 에너지가 갖는 사회적 영향까지도 계량화할 필요가 있다.

해양분야 R&D에 참여한 경험이 있는 전문가 30인으로 패널을 구성하여 해양 R&D 분야별 정책의 우선순위와 예산 투자의 중요도 등을 Fuzzy-AHP 분석에 따라 평가한 바에 의하면, 현재 우리나라에서 해양자원, 해양환경, 해양관측 및 예보 등의 순으로 정책개발의 우선순위가 도출되어 해양분야 내에서도 타 분야에 비해 해양자원개발과 관련된 분야의 중요도가 매우 높은 것을

알 수 있다(신철오, 2013). 또한 세부분야별 R&D 예산투자의 우선순위 평가에서도 해양기반 에너지자원의 개발이 전체 28개 분야 가운데 가장 높은 정책적 타당성을 지니는 것으로 조사되어 현재 우리나라의 상황에서 해양기반 에너지자원의 개발에 거는 높은 관심과 사회적 파급효과를 확인할 수 있다(윤진숙 외, 2012).

우리나라의 경우 신재생에너지의 보급이 어떠한 사회적 효과를 미칠 것인가에 대해서 본격적으로 연구한 사례는 매우 드문 상황이다. 배정환·안지운(2007)의 연구에서는 신재생에너지 가운데 풍력발전과 같은 시설물이 지역 사회에 미치는 사회적 영향에 관해 컨조인트 분석(conjoint analysis)을 활용하여 정량화하는 연구를 시도하였다. 연구에 따르면 신재생에너지의 보급 확대라는 측면이 상당히 높은 정책적 타당성과 사회적 지지를 얻을 수 있는 것으로 나타났으며, 풍력의 개발이 불러올 수 있는 소음·진동 등 생태계에 미치는 영향과 주변 풍경에 미치는 시각적인 영향, 환경적인 부작용보다 에너지 개발, 지역경제 활성화, 대기질 개선효과가 상대적으로 크게 나타나고 있다. 따라서 우리나라는 최소한 풍력과 관련해서는 풍력단지를 지속적으로 확대하거나 개발하는 경우 사회적 편익이 부정적인 영향을 넘어서게 되어 지역의 후생을 증가시킬 수 있는 것으로 기대된다.

표4. 순위선택법에 의한 지불의사액 분석 결과

변수	계수	SD	t-value	P-value	WTP (month)	WTP (year)
경제	0.327266	0.043	7.545	0.000	774	9,283
에너지	0.873420	0.042	20.946	0.000	2,065	24,775
편의	-0.129894	0.042	-3.073	0.002	3.7	3,684
생태계	0.207407	0.042	4.944	0.000	490	5,883
조망	-0.037638	0.041	-0.908	0.364	-89	-1,068
비용	-0.000423	0.000	-54.352	0.000		42,558

자료: 배정환, 안지운. 2007. p. 110.

한편 해상 풍력 발전 기술이 육상 풍력 발전에 비해 환경적 영향 및 주민 생활에 미치는 영향은 적을지라도 지역에서 반대하는 의견(소음 발생, 경관 훼손, 풍력기로 인한 그림자 등)이 있을 수 있다. 우리나라의 경우 연안에 대한 경제적 이용이 활발한데 특히 어업이나 양식을 위한 집약적 이용수준이 매우 높다. 또한 해상 풍력단지가 연안에 건설될 경우 지역의 관광산업이나 어업에 영향을 미칠 가능성이 제기된다. 이 경우, 부정적 환경 영향을 최소화할 수 있도록 입지와 기종을 선정하고 충분한 설명, 지역주민들을 사업에 참여시키며, 이익이 지역에 환원될 수 있도록 하는 방안을 모색할 필요가 있다(신철오, 육근형, 2011).

해상풍력 이외에 현재 우리나라에서 상용화가 이루어진 해양기반 에너지로는 앞서 언급한 바와 같이 조력 발전을 들 수 있다. 우리나라 서해안의 경우 조력 발전에 있어서 상대적으로 높은 부존량을 지니는 것으로 평가받고 있으며, 이에 따라 기존에 상업 발전이 이루어지는 시화호 외에도 인천만, 강화도, 가로림만 등이 예비 후보지로 거론되고 있다. 이러한 과정에서 조간대 갯벌 환경이 가장 잘 보존되고 있는 가로림만 지역에 조력 발전을 설치하는 경우 주변 지역의 환경가치가 훼손될 가능성이 매우 높은 상황이다. 만일 가로림만 지역에 조력 발전소가 건설될 경우 가로림만의 갯벌면적은 최대조간대의 30.3%, 최소조간대의 69.8%가 감소할 가능성이 있으며, 해수교환율도 현재 62.24%에서 43.2%로 감소할 가능성이 있는 것으로 지적된다(한국서부발전(주), 2007; 유승훈, 이주석, 2008).

이러한 우려에 따라 우리나라에서 조력 발전에 대한 논의와 진행은 상당히 조심스럽게 진행되고 있으며, 조력 발전소 건설에 따라 영향 받는 환경의 가치에 대해서 정량화를 시도한 연구도 추진된 바 있다. 유승훈, 이주석(2008)의 연구에서는 환경가치의 평가 작업에 널리 활용되고 있는 조건부 가치 측정법을 활용하여 가로림만의 환경가치를 추정하였고, 그 결과 평균 지불의사액의 측면에서 조력 발전의 영향을 직접적으로 받는 지역에서는 4,531원, 그 외 전국 7대 대도시에서는 6,850원의 평가액을 도출하였다. 이러한 가로림만의 경제적 환경가치는 연간 약 1,007.2억 원에 달하는 것으로 나타났다. 그리고 이와 같은 환경가치를 타당성 평가에 적용하는 경우 개발을 추진하지 않는 것이

경제적으로 타당하다는 분석결과가 얻어진다.

표5. 가로림만 조력발전소의 경제성 분석 결과

구분	편익/비용	내부수익률 (%)	순현재가치 (백만 원)
환경비용 미포함시	2.23	14.43	1,315,902
환경비용 포함시	0.82	2.09	-538,276

자료: 유승훈, 이주석, 2008, p.23.

해양기반 에너지의 하나로 적극적인 개발을 모색하고 있는 조력발전은 아직까지는 단기적인 경제성 확보의 측면에서는 미흡하다고 판단된다(강신원, 2013, p.271). 신재생에너지 보급 확대를 위한 발전차액지원제도(feed-in tariff), 융자지원제도(financing support program) 등이 주요 정책수단으로 활용되고 있으나 이러한 보조금 제도가 제외된 생산-판매가격을 이용한 경제성 재산정이 이루어질 경우 전통적인 발전산업과 비교한 경제성의 확보는 우리나라의 상황에서는 아직까지 어렵다고 볼 수 있다. 그러나 해양을 활용한 신재생에너지의 특성상 폭넓은 전후방 연쇄효과를 지니고 있어 생산과급 및 부가가치 발생 효과가 큰 것으로 분석된다(이준행 외, 2009, p.21; 윤진숙 외, 2012, p.17). 따라서 해양기반 에너지 분야의 경우에는 단기적인 사업의 경제성 관점보다는 장기적인 경제적 효과에 주목하여 정책개발이 이루어져야 할 것이다.

V. 맺음말

해양기반 에너지는 주로 청정에너지 개념으로 인식되고 있으나 해양에 대단위 에너지사업이 진행되지 않아 해양생태계에 미치는 영향에 대한 고찰이 미흡한 실정이다. 일반적으로 육상에서 개발되는 에너지 사업은 대형화에 따른 공간적 제약과 운송, 소음, 진동 및 자연 훼손 등에 따른 민원, 시각적인 위압감 등의 문제가 유발되었다. 해양에서는 육상에서 제기되는 문제점들이 부각되지 않을 수 있으나 해양이라는 또 다른 생태계와 연계되어 있어 새로운 문제들이 나타날 수 있다. 또한 실험단계에 있는 소규모 발전 시설만 운영되어 실제적인 환경적 영향에 대한 조사나 모니터링 자료도 부족한 실정이다. 따라서 기존에 시행되었던 해양건설사업(해사채취, 항만건설, 항로준설 등)을 통한 환경영향피해, 해외에서 시행된 해양기반 에너지 사업에 대한 환경영향 조사 및 분석자료, 수치모델을 통한 환경적 영향예측 등을 바탕으로 우리나라의 연안환경에 적합한 환경영향평가기법을 도출하는 것이 시급하다.

해양기반 에너지의 사회적 영향에 관한 연구는 아직 진행 중이며 주로 지역 사회에 미치는 영향 또는 사람들의 의사소통 및 행동양식에 미치는 영향에 중점을 두고 있다. 그러나 환경적 영향이나 정책적 필요성, 향후 발전 가능성 등의 다양한 측면을 고려한 사회적 영향 평가가 행해져야 한다. 해양기반 에너지의 경제적인 영향의 경우는 단순히 편익과 비용만을 계산하여 사업의 타당성을 확보하는 것이 아니라 사회적 영향을 포함한 넓은 영역에서의 영향평가가 이루어져야 하며 이를 계량화할 필요가 있다.

참고문헌

- 강신원. 2013. "New Renewable Energy Policies and Its Economic Efficiency: Based on Tidal Power". 「과학기술법연구」 19(2): 259-282.
- 김귀영 외. 2012. "해상풍력개발사업의 바다환경영향평가 개선방안". 「환경영향평가」 21(1): 1-13.
- 김현주 외. 2011. "해양온도차발전의 실용화 추진계획". 「한국해양환경공학회 2011년도 추계학술대회 논문집」. pp. 233-240.
- 맹준호 외. 2012a. 「조력 및 해상풍력사업 환경평가방안 연구: I 조력발전사업」. 한국환경정책·평가연구원. pp. 227.
- 맹준호 외. 2012b. 「조력 및 해상풍력사업 환경평가방안 연구: II 해상풍력발전사업」. 한국환경정책·평가연구원. pp. 264.
- 배정환, 안지운. 2007. 「지역 신재생에너지 시설물이 지역사회에 미치는 영향 및 사회적 가치 추정: 풍력단지를 중심으로」. 에너지경제연구원. pp. 07-16.
- 수자원공사(K-water). 2012. 「시화개발사업 및 조력발전소」. 세미나 발표자료
- 신승호. 2013. "해양에너지 기술개발의 필수 관문, 실패역 시험". 「Coastal and Ocean」 6(1): 20-35.
- 신철오. 2013. "Fuzzy-AHP를 통한 해양과학기술 분야 투자 우선순위 분석". 「한국해양환경·에너지학회 춘계학술대회」. 포스터세션.
- 신철오 외. 2011. 「해상풍력발전의 환경적·경제적 영향 연구」. 한국해양수산개발원.
- 오철 외. 2011. "해양온도차를 이용한 냉난방시스템 및 발전시스템의 현황과 미래전망". 「대한설비공학회 2011 하계학술발표대회 논문집」. pp. 154-159.
- 오철. 2013. "해수온도차를 이용한 냉난방시스템 및 발전시스템의 현황과 미래전망". 「Coastal and Ocean」 6(1): 9-19.
- 유승훈, 이주석. 2008. "가로림만의 환경가치 평가". 「경제학연구」 56(3): 5-28.
- 윤진숙 외. 2012. 「한국해양과학기술진흥원 중장기 발전전략」. 한국해양수산개발원.
- 이준행, 노용환, 유경원. 2009. "서·남해안 지역 조력·조류 에너지 개발사업의 경제성에 관한 소고". 「에너지경제연구」 8(1): 1-30.
- 지식경제부. 2010. "서남해안에 대규모 해상풍력단지 건설 추진". 지식경제부 보도자료.
- _____. 2011. "서남해 2.5GW 해상풍력 종합추진계획". 지식경제부 보도자료.
- _____. 2012. 「2012 신재생에너지 백서」. pp. 486
- 장두석. 2010. "조력·조류·파력 발전의 최근 동향과 전망". 「이슈분석」.
- 천영진 외. 2011. 「조력발전소 건설사업에 의한 해양생물상 영향 사례 고찰」. 한국환경정책·평가연구원. pp. 70.
- 환경섭. 2009. "국내외 해상풍력 현황 및 전망". 「제 5회 강관사업발전 세미나」.
- 한국서부발전(주). 2007. 「가로림만 조력발전소 건설 환경영향평가」.

- 한국수력원자력. 2012. 「원전 온배수 확산 예측평가 및 사후환경영향조사 개선방안 연구(최종보고서)」, pp. 443.
- 홍기용. 2009. “무한 청정 해양에너지의 기술현황과 전망”. 「해양국토」 21(1): 37-57.
- 홍기용 외, EWEA. 2009. 「The Economics of Wind Energy」.
- Nietzel, D. A. et al. 2000. *Laboratory studies on the effects of shear on fish*. Technical Report for the U.S. Department of Energy. PNNL-13323.
- Kirby, R. and C. Retiere. 2009. “Comparing environmental effects of Rance and Severn barrages. Proceedings of the Institution of Civil Engineers”. *Maritime Engineering*, 162(1): 11-26.
- Retiere, C. 1994. “Tidal power and the aquatic environment of La Rance”. *Biological Journal of the Linnean Society*, 51(1-2): 25-36.
- Turnpenny, A. W. H. et al. 2000. *Risk assessment for fish passage through small low-head turbines*. Technical Report for ETSU on behalf of Department of Trade and Industry.
- Davies, J. K. 1988. “A review of information relating to fish passage through turbines: implication to tidal power schemes”. *Journal of Fish Biology*, 22: 111-126.





한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

<http://www.kei.re.kr>