



해상풍력사업에 따른 해역이용협의 현황 및 개선방안

오현택* · 여민유

†국립수산과학원(연구사) · 국립수산과학원(연구원)

Status and Improvement of Marine Environmental Impact Assessment for Offshore Windfarm Project

Hyuntaik OH[†] · Minyu YEO

†National Institute of Fisheries Science(senior researcher) · National Institute of Fisheries Science(researcher)

Abstract

In this study, we study the status of marine environmental impact assessment for offshore windfarm project for 2008-2017. In the agreed marine environmental consultation, 80% of windfarm sites located within 2 km from coastal line, among this 75% of windfarm located within 0.5 km away from the coastal line. To assess the underwater noise, most of project presented unverified dataset and limited one-time monitoring data of underwater noise, vibration, and microwave. When the southwest windfarm project assessed the impact of wind jacket, the underwater noise could affect within 20m from the square jacket based on the 210dB uPa. Between project and fishermen got conflict with the fishing area around windfarm due to the no fishing zone. Through the assessment of current status of consultation, we wish support the decision making process between a development party and conservation group, including the fishermen and local community.

Key words : Offshore windfarm, Marine environmental impact assessment, Site selection, Noise and microwave assessment, Bottom-up communication

I. 서론

정부의 ‘재생에너지 3020 이행계획’에 따라, 2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 전체에너지 생산량의 20% 까지 증가시키려하며, 이에 따라 풍력과 태양광 등 신재생에너지가 주목받고 있다. 신재생에너지 중 해상풍력발전은 육상풍력과 달리 고 풍력에너지 밀도로써, 균일한 풍속·풍향의 분포, 초대형 풍력발전 시스템 건설의 가능성, 대형부지 확보의 용이성 등의 장점을 가지고 있어 대안으로 제시되고 있다(Kyong et al., 2003).

정부의 이행계획 목표 달성을 위해서는 12 GW 규모의 해상풍력 보급 확대가 필요한 실정이지만, 정부주도의 전기발전사업자 선정 후 이해관계자의 동의를 구하는 Top Down 단지개발 방식은 어업인과의 공감대 형성에 한계가 있으며, 이로 인해 조업구역 축소에 따른 어업피해 등 사업자와 주민간의 갈등은 심화되고 있다(Park and Kim, 2016).

기 수행된 연구에서 풍력단지 입지선정과 민원 해결책의 중요성을 강조한 바 있으나(Lee et al., 2011), 이후 협의가 이뤄진 사업에서 눈에 띄는

† Corresponding author : 051-720-2962, ohtek@korea.kr

* 이 논문은 국립수산과학원 수산연구사업 어장환경모니터링(R201945, RP-2019-ME-030)의 지원으로 수행되었음.

개선사항은 미미한 실정이며, 해상풍력건설에 따른 환경영향과 이해관계자간의 갈등해법에 대한 개선방안이 연구되었으나, 주민 수용성, 인·허가의 중복 및 풍황에 따른 경제성 등의 이유로 사업추진은 미흡한 수준이다(Kim et al., 2012). 한편, 국내에서는 해상풍력 발전에 따른 수산자원과 해양환경에 미치는 영향에 대한 평가기준에 대한 연구와(Maeng et al., 2013), 풍황이 양호한 제주지역에서 적지선정과 관련하여 연구가 진행된 바 있으며(Kim et al., 2009; Kim et al., 2016) 풍황 및 경제성, 보호구역 및 경관영향, 어업피해의 정도 등을 고려하여 적지를 선정해야 한다는 정책대안을 제시했다.

해상풍력 사업 시 해양환경영향평가의 중점평가항목으로 풍황, 소음, 수산자원 등의 우선순위에 대한 연구가 진행된 바 있다(Lee et al., 2016). 하지만, 풍력 사업 시 풍황 자료에 기반을 둔 입지타당성에 관한 중점평가는 여전히 미흡하며, 공사 시 및 운영 시 환경영향, 피해저감대책은 원론적인 수준일 뿐이다. 특히, 해상 소음, 진동, 전자기장에 의한 해양생물 및 수산자원의 피해에 관한 법적 기준이 없어, 사업자와 이해당사자간의 갈등해소가 부족한 실정이다(Kim et al., 2015; Sohn et al., 2015).

본 연구에서는 해상풍력사업에 따른 해역이용협의 현황을 검토한 뒤, 해상풍력 발전기 건설과 운용에 따른 문제점과 개선방안을 살펴보고자 한다. 이를 바탕으로 향후 정부의 해상풍력사업 확대에 따라 해양환경영향 평가방법의 대안을 제시하여 보전과 개발이 공존할 수 있는 관리방안을 제안하고자 한다. 따라서, 본 연구에서는 해상풍력 사업 시 제출하는 해역이용협의서에 포함된 ① 해양 환경적 측면에서의 입지타당성, ② 공사 시 및 운영 시 블레이드 소음, 케이블 저주파 영향평가, ③ 이해관계자의 의견수렴을 통한 Bottom-up 방식의 갈등해소방안에 대한 적용현황과 개선방안을 중점적으로 살펴보고자 한다.

II. 연구재료 및 방법

1. 해상풍력 개발 시 해역이용협의제도

본 연구에서는 해상풍력 개발행위 이전에 해양수산부 장관과 협의하기 위해 제출한 해역이용협의서를 분석하여 연구하였다. 해역이용협의서는 해상풍력 개발 사업 등 공유수면을 점·사용하고자 할 때 행정기관의 장이 면허 등을 허가하기 전에 대통령령이 정하는 바에 따라 미리 해양수산부장관과 협의하기 위한 평가서이다(Kim et al., 2009). 육상에서 이뤄지는 환경부의 환경영향평가제도와 유사하며, 해역이용협의서는 해양환경에 미치는 영향을 중점적으로 살펴보는 제도이다(Lee et al., 2011). 이에 따라 해상풍력과 관련하여 일정 규모 이상은 환경영향평가를 받도록 하고 있으며, 공유수면 이용대상은 환경영향평가본안 전에 해역이용협의를 공유수면 점·사용하는 규모에 따라 일반해역이용협의 또는 간이해역이용협의를 거쳐야 한다. 그리고 전원개발촉진법의 전원개발사업 실시계획 승인을 받은 경우 공유수면 점·사용 허가를 받은 것으로 보도록 규정하고 있지만, 해역이용협의 절차를 거쳐 계획의 적절성과 해양환경에 미치는 영향을 사전에 평가받도록 규정되어 있다.

2. 해역이용협의의 평가항목의 선정

해역이용협의서 작성 시 자연환경분야, 사회·경제 환경 분야의 평가항목 중 해양환경에 영향을 미칠 것으로 예상되는 항목을 평가항목으로 선정한다(Kim et al., 2012). 해역이용협의의 평가항목은 9개 분야로 구분되어 있으며, 이중 작성주체인 사업자에 의한 스코핑을 통해 항목별 선정사유 또는 미선정사유를 나타낸다(<Table 1> 참조). 즉, 해상풍력 사업에 따른 해역이용협의서에는 해양물리, 해양화학, 해양지형·지질, 해양퇴적물, 부유생태계, 저서생태계, 어류 및 수산자원, 경관·위락, 보호종 및 보호구역에 관한 내용을 기술한

다. 현황 파악 시 조사범위는 사업시행으로 인해 해양환경에 미치는 영향을 평가할 수 있어야 한다. 또한, 해상풍력사업으로 인한 해수유동 변화 범위, 최대부유사확산범위, 탐문조사, 문헌조사 등을 통한 영향예측을 포함해야 한다.

<Table 1> List of reviewing variables of marine impact assessment consultation report for offshore windfarm project

Index	Reason
Physics	ocean circulation, tide, wave
Water quality	suspended particulate matter
Sediments	sediment resuspension
Geography	erosion, settlement
Plankton	phytoplankton and zooplankton
bottom eco	benthos
fisheries	fisheries, aquaculture
view	scenery
species	endangered species

해상풍력 사업은 사업시행 이전에 입지의 적정성을 평가하기 위해 풍황 자원 검토를 통한 발전량 및 이용률 산정이 필요하다. 이러한 기상항목은 대규모 사업에 적용하는 해역이용영향평가에만 포함되어 있을 뿐, 해역이용협의서 항목에는 포함되어 있지 않다(Kim et al., 2012). 즉, 과거 10년 이상 관측한 풍향과 풍속 등 바람장을 근거로 월별, 연간으로 정리하여 도표화해야 하나 해역이용협의서 항목에는 빠져있다. 또한, 사업시행에 따른 소음 및 진동 영향을 검토하기 위한 소음, 진동 항목도 사회경제분야에 포함되어 있지 않고, 해저 송전케이블에 따른 저주파 및 전자기장 영향도 중점평가 되어야 함에도 불구하고 작성지침에는 빠져있는 실정이다(Lee et al., 2016).

하지만, 해역이용협의서 검토 시 평가항목에 빠져있는 기상, 소음 등의 중점항목에 대해서는 보완하도록 요구한다. 보완 요구에 따라 평가항목 선정사유와 평가내용을 수정하여 해상풍력개발 사업 시 영향을 미칠 것으로 예상되는 항목을

재조정하여 보완서에 반영하고 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 해상풍력사업에 따른 해역이용협의 검토 결과

해상풍력발전사업 관련 해역이용협의 검토현황을 2008년부터 2017년까지 조사하였다. 이 중 협의서 제목은 해상풍력발전해당하나 기상탐, 지반조사 등 전력을 생산하기 이전에 수행하는 사전조사협의 내용은 제외했다. 협의 완료 후 발전기가 운영되는 곳은 2곳(A; agreed with consultation and now in operation)이며 제주연안에 위치해 있다. 이중 ‘2012년에 협의 완료 후 2017년에 준공이 이뤄진 탐라해상풍력발전단지*는 3MW용량 해상풍력발전기 10기를 설치하여, 총 30MW 규모의 대형해상풍력발전 사업에 해당한다. 사업규모는 연간 약 8만 5천 MWh를 생산하여 제주도민 2만 4천여 가구가 연간 사용할 수 있는 에너지 생산을 계획하고 있다. 이후 협의는 완료되어 공유수면 점사용 허가를 득했으나 공사중이거나 착공이 이뤄지지 못한 곳은 13곳(B; agreed with consultation but now in the construction process)이다(<Table 2> 참조). 이중 서남해 해상풍력**은 실증단계의 60MW에 대한 협의만 완료되었으며, 향후 시범단계 400MW, 확산단계 2GW는 경제성과 주민 수용성을 확보하여 추진할 계획이다(Sung, 2019). 서남해 해상풍력은 공사가 진행 중인 상태이며, 사업에 따른 인근 해양환경 및 수산자원에 미치는 영향을 고려하기 위하여 해양환경영향조사를 수행 중에 있다. 조사서를 통해 공사 이전 협의 시와 비교하여 해양수질, 해양퇴적물, 해양생물(부유생태계, 저서생태계, 어류 및 수산자원)의 변동여부를 기술하고 있다. 2015년 협의이후 공사가 착공된 2017년과 2018년의 반기조사결과가 보고된 바 있으며, 이 조사서에는 공사 시 발생하는 소음스트레스에 대

한 모니터링 결과를 포함하고 있다. 그리고 공사 중인 실증사업은 2019년에 준공예정이다.

<Table 2> List of wind farm project(A: in operation, B: consented, Cap: total power capacity, DT: distance to shore, D: water depth)

ID	Yr	Wind farm	Cap (MW)	DT (km)	D (m)
A	'12	Tamra	30	0.5	2.0
A	'13	Woljung	5	0.0	0.0
B	'09	Ansan	2.25	0.5	0.5
B	'09	Taeon	97.2	0.25	3.0
B	'12	Pohang	12	0.1	2.0
B	'12	Hallim	150	1.0	10
B	'13	Daejeong	203	2.6	30
B	'14	Yeonggwang1	34	0.1	10
B	'15	Southwest **	60	10.2	10
B	'15	Saemangeum	98	5.0	4.0
B	'16	Gunsan	68	1.5	4.0
B	'16	Aphae1	40	0.1	0.5
B	'16	Aphae2	20	0.1	0.5
B	'16	Yeonggwang2	48.3	0.1	0.5
B	'17	Ulsan	0.75	2.0	40

정부 에너지 수급정책에 기반 한 탈 원전, 탈 석탄으로 에너지를 전환하고, 개인 및 지역사회의 에너지 분권화를 추구하고자 한다. 이에 따라 향후 2030년까지 해상풍력발전용량은 약 12GW 수준으로 확대될 예정이다(KWEIA, 2018). 중앙정부의 해상풍력 에너지 수급계획에 따라 해안에 인접한 지자체는 해상풍력발전을 위한 전략적 단지개발계획(C: planning near future)을 정부에 제출하였다. 지금까지 계획을 제출한 해상풍력은 단지의 규모는 500MW 이하이며, 입지가 구체화 되지 못했다(<Table 3> 참조). 2017년 해역이용협의 받은 울산의 부유식해상풍력은 0.75M 단일 부유식해상풍력기에 해당하며, 이는 향후 울산 앞바다의 깊은 수심해역에 설치하고자 계획하는 부유식해상풍력기 R&D과제로 수행된 것이다. 부유식해상풍력은 육상으로부터 5-10km 이상 이격되어 광대한 해역의 바람자원을 활용하고, 어업

권이 주변에 없어 민원의 소지가 낮을 것으로 기대된다. 게다가, 지질조사 및 기초구조물 공사 시 추가비용이 소요되지 않아 경제적, 환경적으로 안정적인 대안으로 인식되고 있다(Kim et al., 2009). 하지만, 연안에 전력케이블을 설치 시 근해에 위치한 어업권에 대한 보상 문제, 수중소음에 따른 해양생태계 파괴문제, 시각공해를 최소화할 수 있는 민원해결방안은 면밀히 평가되어야 할 것이다.

<Table 3> List of the planning wind farm project. Distance to shore and water depth are not determined in detail yet (C: planning wind farms, Cap: total power capacity)

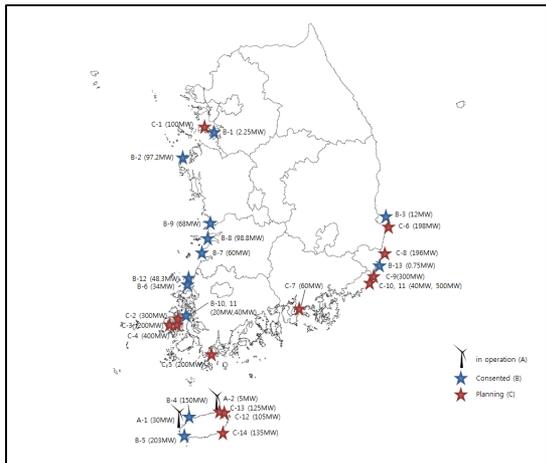
ID	Wind farm	Site	Cap (MW)
C	Incheon Yeongheung	Gyeonggi	100
C	Jeonnam Offshore1	Jeonnam	300
C	Jeonnam Offshore2	Jeonnam	200
C	Jeonnamn Sinan	Jeonnam	400
C	Jeonnam Wando	Jeonnam	200
C	Pohang	Gyeongbuk	198
C	Samchonpo	Gyeongnam	60
C	Gangdong	Gyeongnam	196
C	Gori	Gyeongnam	300
C	Haegi 1	Gyeongnam	40
C	Haegi 2	Gyeongnam	500
C	Jeju Dongbu	Jeju	105
C	Woljung Hangwon	Jeju	125
C	Pyosun Sewha	Jeju	135

향후 해상풍력의 대량 보급 시에는 각 단지의 규모가 1-3GW 정도이며, 수심은 30미터 내외, 해안선으로부터 이격거리는 5km이상인 원해로 확대되어 민원최소화를 우선으로 따져야 할 것이다. 또한, 부유식 해상풍력의 경우 해안선으로부터 10km 이상 이격시켜 대량의 전력을 생산하는 단지개발도 준비 중인 실정이다(Shin et al., 2017). 예를 들어 울산에서는 먼 바다의 고품질 바람자원을 활용하며, 깊은 수심에 적용하고 민

원소지가 거의 없는 부유식 해상풍력발전이 대안으로 준비 중에 있다.

2. 입지의 타당성

해상풍력발전의 공간적인 분포를 살펴보면, 해상풍력 발전기가 가동 중인 제주해역의 성산, 월정, 표선 등에서는 단지개발에 관한 계획입지 심사 완료 후 부처별 인·허가를 준비 중이다([Fig. 1]).

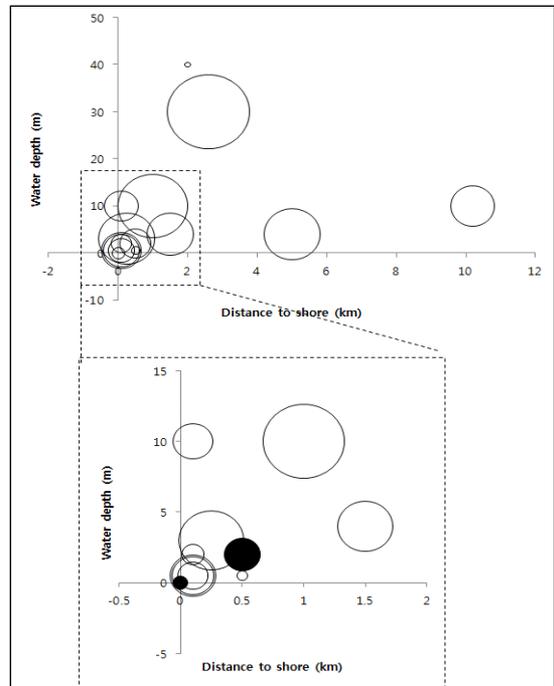


[Fig. 1] Overview of wind farm in coastal areas(A: in operation, B: finished the marine environmental consultation, C: planning by local authorities based on the report by wind farm association).

최초 설치 시에는 평균 풍황이 8.5-9.0m/s로 매우 양호한 제주도 서측에 공사가 되었으며, 향후 계획 중인 풍력기는 평균 풍황이 7.5-8.5m/s로 비교적 양호한 동측해역에 예정되어 있다. 서해안은 협의가 완료된 곳은 충남과 전북지역에 인접한 공유수면이며, 계획 중인 곳은 평균 풍황이 7.0m/s 이상인 전남지역에서 약 1.1GW가 행정절차를 준비 중이다. 또한, 경남지역에서는 협의가 진행된 바 없으나, 향후 통영 육지도 앞바다에 해상풍력발전이 예정되어 있다. 울산에서 부유식 풍력발전기 테스트베드가 협의된 바 있었으며,

이는 향후 먼 바다에 설치될 200MW 급 부유식 해상풍력 실증단지에 대한 파일럿 시험을 위한 내용이었다. 이와 같이 계획 중인 부산·울산·경남의 시설용량은 약 1.1GW에 달하며, 통영을 비롯한 경남지방에 구체적인 계획이 제출된 바 있다.

해상풍력기의 용량, 수심, 연안이격거리를 고려하여 기 협의된 결과를 살펴봤다([Fig. 2]).



[Fig. 2] Distance from the shore of offshore wind farms which were consulted already.

규모가 큰 풍력사업의 경우 인위적인 구조물로 인한 생태계에 끼치는 영향을 고려하여 해안으로부터 멀리 떨어진 곳에 위치하는 것이 타당하다. 하지만, 실제 해역이용협의를 거친 사업들은 연안육역에 인접한 경우가 대부분이고, 연안으로부터 10km 이상 이격되어 위치한 곳이 거의 없는 실정이다. 기 협의된 15건 중에서 연안 2km 이내에서 협의가 완료된 경우는 12건(80%)에 달하며, 이중 0.5km 이내에서 이뤄진 해상풍력공사가 75%에 달한다. 비록 기존 협의가 이뤄진 사업의

규모가 작다고 할지라도 연안육역 0.5km의 수면에 해상풍력기가 놓여 있으면 시각공해를 포함한 경관상의 문제를 일으킬 소지가 높다. 또한, 운영 시 블레이드 공중소음 및 수중소음으로 인한 주민생활과 양식생물의 피해가 불가피하다. 특히, 사업대상지 주변의 어업권과 관련한 민원으로 인해 갈등이 증폭될 소지가 매우 높다.

이러한 이유로 해상풍력 발전 시에는 강한 바람이 지속적으로 유입되는 풍향 조건에 대한 검토를 통해 이용률 향상에 대한 점검이 필요하다. 과거 10년 이상 관측한 국지기상자료와 풍력자원 Map을 활용하여 후보지를 선정하되, 대규모사업의 경우 육지와 이격거리가 먼 해상에 설치하여 민원 최소화를 먼저 고려해야 한다. 이후 대상해역에서 발견되는 수산자원, 해양생물 등 생태여건에 대한 현황을 파악한다. 이를 통해 얻어진 후보지에 대한 제약요건(군사보호지역, 항행통로, 어업권 등)을 조사하고, 잠재적 위협요인에 대한 조사 및 종합평가 지표 등을 토대로 적지를 선정하는 과정이 요구된다.

3. 수중소음에 따른 해양생태계 영향평가

해상풍력발전단지 공사 및 운영 시 수중소음이 해양생태계에 미치는 영향평가가 필요한 단계는 4가지로 구분된다. ① 풍력발전기 공사 중 대기 및 수중소음예측과 평가가 해당한다. ② 풍력발전기 운영 중 발생하는 대기 및 수중소음에 대한 예측과 평가를 수반해야 한다. ③ 운영 시 지속적으로 발생하는 저주파에 대한 소음예측과 평가가 요구된다. ④ 공사장에서 발생하는 소음예측과 평가를 하는 경우도 있다. 하지만, 기 협의된 사업 중 환경영향평가와 해역이용협의가 중복 진행된 제주 대정단지(203MW)와 서남해 해상풍력 실증단지(최초 98MW, 변경 60MW)를 제외하고, 대부분 사업은 해상풍력발전의 수중소음에 대해 체계적이지 못한 평가를 수행했다. 즉, 핵심적으로 진단하여야 할 수중소음, 진동에 따른 영향,

해저 송전케이블에 따른 저주파 및 전자기장 영향에 대해서 1회성의 조사 또는 검증되지 않은 자료를 인용하거나 예측결과를 제시하고 있다. 서남해 해상풍력 협의 시 수중소음에 대한 측정은 장비와 공간의 제약으로 인해, 전용 측정기인 하이드로폰(Hydrophone)을 사용하지 않았다. 다만, 육상 소음계로 공중소음을 측정한 뒤, 공중소음과 수중소음의 차이를 기준레벨에 의한 차이분 26dB와 임피던스에 의한 차이분 36dB를 합해 62dB로 환산하여 사용했다(Lim et al., 2010). 부연하면, 수중소음의 음압레벨(SPLwater; Sound Pressure Level in water)을 산출하기 위해 일반적인 임피던스비 약 3600을 사용하여(Dickens et al., 2007) 물속에서 +36dB만큼의 값의 차이를 반영했다. 또한, 공중소음과 수중소음의 기준레벨에 의한 차이분 +26dB를 합해서 결과값을 얻었다. 즉, 수중소음이 해양포유류인 돌고래에 악영향을 끼치는 임계치가 140dB에 해당하면, 이는 매질의 차이 62dB를 고려하여 공중소음이 78dB에 해당한다고 여긴 것이다(<Table 4> 참조). 돌고래종류에 따라 일부종의 수중소음 임계치가 연구된 바 있으며, 하이드로폰으로 측정한 남방큰돌고래(bottlenose dolphin)는 140dB uPa로 알려졌다. 또한, 쇠돌고래(Harbour porpoise)는 민감시기에는 90dB uPa로 임계치가 매우 낮으며, 일반적으로는 155dB uPa에 해당한다. 이러한 쇠돌고래는 소음원으로부터 적극적으로 회피하는 반응을 보인다는 사실이 보고된 바 있다(Sohn et al., 2015). 추가로, 밍크고래는 이보다 다소 낮은 143dB uPa의 임계치를 나타내는 등 해상풍력단지는 해양포유류의 생태적 장벽이 될 수 있다(Bailey et al., 2010). 국내에서는 해상풍력발전이 제주해역에 공사가 시작된 이래 인근에 서식하는 남방큰돌고래의 분포에 미치는 영향에 대한 다수의 연구가 진행 중이나, 다양한 종류의 해양포유류와 서식어류에 대한 임계치, 회피작용의 형태, 피해양상 등에 대한 다각적인 조사는 미미하다.

<Table 4> The threshold value for marine mammals

Species	Threshold for behavioural disturbance	Reference for threshold
Bottlenose dolphin	140dB re 1uPa	(Southall et al., 2008)
Harbour porpoise	155dB re 1uPa	(Southall et al., 2008)
Minke whale	143dB re 1uPa	(Bailey et al., 2010)

해양포유류에 비해 수산생물 및 해양생물의 임계치는 미국, 벨기에, 네덜란드에서 해상풍력발전기 항타 시 충격소음에 대한 규제기준이 일부 마련되어 있을 뿐이다. EU의 경우 MSFD(Marine Strategy Framework Directive)를 발효하고, 수중소음에 대한 가이드라인을 통해 수중소음피해인정기준값(예. 197dBpeak)을 제정했다(Brennan et al., 2014). 하지만, 한국은 수중소음에 대한 공식적인 규정 및 가이드라인이 존재하지 않는 실정이며, 고속도로 공사장 인근에 위치한 뱀장어 양식업의 피해유무를 판별키 위한 판례정도만 있을 뿐이다(Sohn et al., 2015).

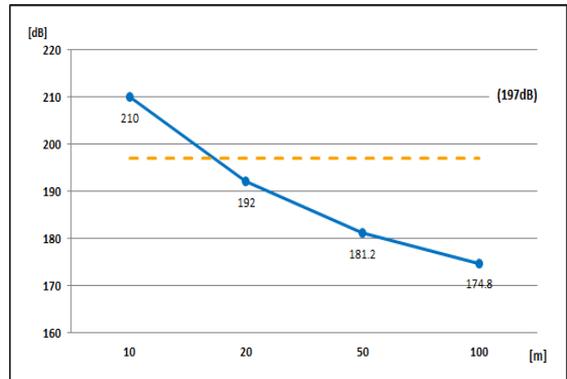
이런 일반론을 근거로 서남해 해상풍력 실증단지 발전기 설치 시 항타 소음 기준소음도에 사용한 예측식은 다음과 같다. 수중소음피해인정기준값은 197dBpeak이며, 항타 시 발생하는 소음원은 210dB uPa값을 사용하여 감쇠식을 이용했다.

$$SPL = SL - 18\log R \dots\dots\dots (1)$$

$$SL = 210dB/uPa @10m \dots\dots\dots (2)$$

이런 기준 값과 감쇠식을 통해 항타 시 자켓으로부터 이격거리 10m의 소음 값은 210dB uPa로 임계치를 초과하며, 20m 이상부터 192dB uPa로 임계치 이하로 낮아지게 된다. 이후 50m에서 181.2dB uPa, 100m에서 174.8dB uPa로 수중소음 피해인정기준에 미치지 못하는 것으로 평가됐다 ([Fig. 3]). 이 경우, 기준소음도는 자켓구조물의

규모와 항타 방법 등에 따라 차이가 발생하며, 충격항타시 기준소음도를 해외연구결과에 따라 235dB uPa 나 220dB uPa를 사용 시에는 충격항타시 이격거리 90m 이후에 임계치 이하의 값이 나타난다(<Table 5> 참조).



[Fig. 3] Underwater noise threshold at Southwest wind farm project.

하지만, 사업규모에 따른 충격항타 및 진동항타의 기준소음에 대한 실제값이 상세히 보고된 바 없어, 예측이전 현황에 대한 사례연구가 필요하다. 또한 공사 시 및 가동 시 터빈에서 발생하는 대기 중 소음이 수중으로 전파되어 발생하는 소음스트레스에 의한 어업피해 및 인근에 서식하는 해양 포유류의 성장 지연, 산란율 저하 등의 피해 발생에 대한 사례연구가 수행되어야 한다.

<Table 5> Piling and vibrate underwater noise based on different noise and vibration

Index	Underwater noise(dB uPa)					
	10	20	50	90	200	300
Pile (235 dB)	235	215	203	196	189	185
Vibrate (200 dB)	200	180	168	161	154	150

해상풍력기가 설치되는 해역의 특성에 따라 어류 및 해양생물은 다양한 종류가 분포하고, 생물종에 따라 청각의 반응 양상이 다르다. 일반적으

로 어류의 청력은 담수어가 해수어에 비해 민감하며, 부레가 없는 어류는 머리 부분에서 수신하는 음파의 입자운동을 내이에서 감지하거나 측선에서 입자운동을 감지하는 것으로 알려져 있다. 특히, 해양포유류 종별로 행동 장애를 일으키는 임계치에 관한 연구가 수행된 바 있으나(Southall et al., 2008), 생물 종에 따른 행동해석과 장애 여부 판단을 위한 법적기준을 설정하지는 못하고 있어 기준 마련이 필요한 실정이다(Sohn et al., 2015).

서남해 해상풍력 사업지구 인근 해안에서 소음에 민감한 해양포유류 상괭이(*Neophocaena asiakororientalis*)가 발견되며, 어류 우점종은 농어목(Perciformes) 어류이며, 아우점종은 망둑어과(Gobiidae), 솜뱅이목(Scorpaeniformes), 가자미목(Pleuronectiformes), 청어목(Clupeiformes), 복어목(Tetraodontiformes)으로 조사되었다. 또한, 어류자원은 병어(*Pampus argenteus*), 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 문치가자미(*Pleuronectes yokohamae*), 돌가자미(*Kareius bicoloratus*), 노랑각시서대(*Zebrias fasciatus*), 흰점참복(*Takifugu pseudommus*)이며, 대부분 저서성어류로 이동성이 적은 정착성어류에 해당 하며(KOWP, 2015), 유영력이 적고 서식해역에서 산란이 이뤄지는 종으로 공사 시 소음과 진동으로부터 회피하지 못하고 직·간접적인 피해가 우려된다(Choi et al., 2014). 항타 시 넙치 등 저서성어류와 바지락 등 패류는 모래위로 노출되어 대부분의 주파수에서 임계치를 넘는 경우 피해가 불가피하다. 또한 운영 중 블레이드 소음에 의해 어류의 피해가 나타나며 주로 풍력단지 주변에 서식하는 어류들은 회피 작용을 하게 된다(<Table 6> 참조).

해상 풍력 운영 시 해저 전선에서 발생하는 자기장의 영향으로 수중 생태계에 변화를 우려하고 있다(Thomsen et al., 2006; Drewitt and Langston, 2006). 즉, 해저 케이블 매설 주변 전자기장의 영향으로 어류의 행동과 회유변화를 우려하나, 실

<Table 6> Possible impact of underwater noise for fish, shellfish, and seaweed

Index	Fish	Shellfish	Sea-weed	
Pile noise	Impact	○	○	×
	Species	<i>Paralichthys olivaceus</i>	<i>Manila clam</i>	-
	Causes	Expose to sand	(Same)	-
Threshold	120dB(10-15Hz)	100dB(30Hz)	-	
Blade noise	Impact	○	×	×
	Causes	Away	-	-
	Threshold	-	-	-

측한 자료가 부족하고 제한된 연구로 인해 영향 파악이 전무하다. 따라서 해역이용협의에 따른 해양환경영향 조사 시 연구과제 등을 통해 운영 시 전자파(전자기장)에 의한 해양환경, 수산자원에 미치는 영향을 살펴볼 필요가 있다. 지금까지 알려진 것은 상어와 가오리 등의 연골어류가 자기장을 이용한 먹이탐지를 하나, 풍력단지 주변에서 능력저하를 확인하지 못했다. 또한 돌고래와 물개류의 탐지능력을 저해하지 않았고, 경골어류에도 큰 영향은 끼치지 않은 것으로 밝혀졌다(Sempreviva et al., 2008; Dai et al., 2015).

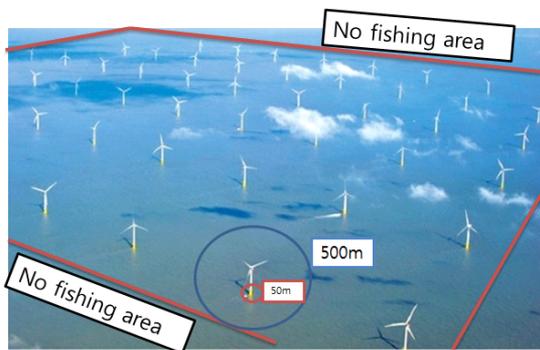
4. 이해관계자 수용성평가

해상풍력발전 사업으로 인해 조업구역의 감소 등 수산업 영향, 소음진동에 의한 해양보호생물의 피해로 인한 시민사회 및 지역주민과의 갈등이 우려된다.

해상풍력 건설 시 개별법에 근거한 인·허가는 10여 가지가 넘으며, 해양수산부에서는 해상교통안전진단, 해역이용협의, 공유수면 점·사용 등의 절차를 거친다. ‘해상교통안전진단’은 해역이용협의나 해역이용영향평가와는 다른 별도의 행정절차이며, 해상교통안전과 관련된 의견을 관계부처 의견조회 절차 등을 활용하여 처분기관으로부터

받도록 되어 있다(Kim et al., 2012). 이러한 ‘해상교통안전진단’은 해사안전법에 의거 수행되며, ‘해역이용협의’는 해양환경관리법에 근거한다. 두 제도와 관련된 선후관계는 법문화 되어 있진 않으나, 통상 ‘해상교통안전진단’을 먼저 수행한다. 이에 따라, 서남해 해상풍력 사업의 경우에도 개별법 인허가 협의를 국방부, 해양수산부, 국민안전처, 문화재청과 진행했으며, 해양수산부에서는 해상교통안전진단을 마친 뒤 해역이용협의 절차를 마무리하였다.

해상풍력단지 개발로 조업구역이 축소되어 초래되는 어업손실에 대한 수치는 이해관계자 수용성에 있어 핵심사항이다. 해상풍력 발전기 주변 통행금지구역의 설정은 항로를 확보하여 선박 간 충돌 등 안전사고를 방지하기 위한 예방대책이다(Sohn et al., 2019). 이 경우 해상풍력발전기 발전기간에 안전거리에 관한 국내기준이 마련되어 있지 않고, 「유엔해양법 제 60조」에 의거 반경 500m를 금지구역으로 권고하고 있다. 서남해 해상풍력단지의 조업금지구역은 단지 바깥쪽에 위치한 발전기 외측 500m 이격된 곳에서 직사각형 형태로 설정되어, 금지구역(no fishing area) 내측에서 항해와 조업을 금지하였다(Fig. 4).



[Fig. 4]. No fishing area related to offshore windfarm (Europe:50m no-go area, fisherman: 500m no-go area).

이는 발전기 사이에서 이뤄질 수 있는 어로행위가 불가함을 의미하며, 영국 등에서 이뤄지는

공사 시 500m와 운영 시 50m 내측공간을 제외하고 어로행위를 승인한 것에 비해 과한 점용이라는 것이 어업인등을 비롯한 지역 이해관계자의 주장이다(Hooper et al., 2015).

해상교통안전진단의 결과로 설정된 통행금지구역은 풍력기와 충돌가능성이 있는 대형선박을 위한 것이지, 어선 등 소형선박의 조업을 제한코자 마련한 것은 아니다. 비록 풍력단지 건설 중 500m이내 접근 제한 설정은 유럽과 미국 등 해상풍력개발 국가에서 공통적으로 적용하나, 운영 중 제한 설정은 상이하다. 영국과 덴마크에서 적용하는 운영 시 터빈으로부터 주변 반경 50m 이내 접근금지(safety zone)를 서남해 해상풍력에 적용하면 전체면적은 0.16km²으로 기존면적에 1.78%에 불과하다(<Table 7> 참조). 그리고 지금의 통행금지구역이 아닌 직접 점·사용면적에 해당하는 발전기 주변 반경 100m의 면적을 적용하면 면적은 2.73km² 이고, 이는 전체의 30.9%에 불과하다. 이 조업제한구역에서도 해저면은 물리적인 충격이 가해지지 않는 어업활동은 가능하기에, 어업인의 조업구역 축소에 대한 불만을 낮출 수 있을 것이다.

<Table 7> Comparison of area of southwest offshore windfarm and safety zone, which adopted by England and Denmark

Index	Offshore windfarm	Safety zone
Area(km ²)	8.84	0.16
No-go area	-	within 50m
Ratio(%)	-	1.78

해상풍력사업에 따른 해역이용협의 시 주민설명회나 공청회 같은 의견수렴절차가 없기에, 이해관계자의 수용성을 담보할 수 있는 정책결정도가 마련되어야 한다. 해상풍력에 따른 해역이용협의시 정부의 정책결정에 의한 Top-down 방식을 지양하고, 어민수용성과 사업성을 고려한

bottom-up 방식으로 전환하는 계기를 마련하기 위해서는 ① 협의제도의 개선 ② 이해관계자의 의견수렴방법 강화 ③ 어업피해보상을 통한 현장 수용성의 증대방안이 마련되어야 한다.

첫째, 해상풍력발전사업의 경우에는 해역이용협의의 대상이나, 환경부의 환경영향평가대상(100MW 이상)과 상충되지 않는 선에서 해역이용영향평가대상으로 포함시킬 필요가 있다. 이는 해양환경영향이 크고, 이해관계자와의 갈등 요소가 큰 일정규모 이상의 해상풍력발전사업에 해당하기 때문이다. 면밀한 사전연구를 거쳐 해상풍력을 위한 발전시설용량을 제시할 필요가 있다. 이를 통해 해상풍력사업을 해역이용영향평가대상에 포함시키게 되면 평가항목수도 증가하고, 사업 설명회 등이 의무사항이 되므로 보고서의 내용과 질을 향상시킬 수 있을 것이다.

둘째, 해상풍력 사업에 따라 개발과 보전에 대한 가치가 수시로 상충될 소지가 있다. 즉, 환경갈등을 사전에 해소할 수 있는 이해당사자와 관련전문가로 구성된 지역협의체를 상시 운영할 필요가 있다. 현행 골채채취제도에서 운영되는 이해관계자의 협의서 첨부을 의무화하는 것을 참고해야 할 것이다. 즉, 해상풍력 단지개발에 따른 해역이용협의 시 주변 어업인의 동의서 또는 협의서 첨부을 의무화해야 할 필요가 있다.

셋째, 어업피해조사를 통해 해상풍력으로 인한 어업피해구역 및 대상을 과학적으로 결정해야 할 것이다. 연평균어획량과 생산 감소율을 기초로 어종별 또는 수산물별 평균연간판매단가, 평년어업경비, 수익피해율을 산정하여 어업권별 손실보상액이 평가되어야 한다. 사업지역을 어업인의 의견을 청취하여 포괄적으로 접근한 후 피해범위를 포괄적으로 설정해야 할 것이다.

본 사업에 따라 개발과 보전에 대한 가치가 수시로 상충될 소지가 있는 만큼, 환경갈등을 해소할 수 있는 이해당사자와 관련전문가로 구성된 지역협의체를 개발초기부터 상시 운영할 필요가 있다. 또한, 공사 시 수산자원에 미치는 영향과악

을 위해 가급적 어민읍서버를 활용하여 연구진과 어민의 동승조사를 시행하는 것이 바람직하다. 특히, 해당지역의 계절별 주요 상업어종의 출현 시기에 공사 시 해당해역에서 어업활동을 하는 어업인의 의견을 청취할 필요가 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 해상풍력 개발 사업 시 공유수면 공작물 설치에 따른 해양환경의 영향을 평가하는 해역이용협의제도의 현황과 개선방향을 살펴봤다. 해역이용협의를 통해 해상풍력 입지의 적절성과 공사 시 및 운영 시 해양생태계에 미치는 영향을 평가하여 최적의 저감방안을 찾아내어 해양환경에 미치는 영향을 최소화시키고자 한다.

기 협의된 사업은 연안육역에 인접한 경우가 대부분이고, 연안으로부터 10km 이상 이격되어 위치한 곳이 거의 없다. 기 협의된 15건 중에서 연안 2km이내에서 협의가 완료된 경우는 12건(80%)에 달하며, 이중 0.5km이내에서 이뤄진 해상풍력공사가 75%에 달한다. 기 협의된 사업 중 환경영향평가와 해역이용협의를 중복 진행 된 제주 대정단지(203MW)와 서남해 해상풍력 실증단지를 제외하고, 대부분 사업은 해상풍력발전의 수중소음에 대해 체계적이지 못한 평가를 수행했다. 즉, 핵심적으로 진단하여야 할 수중소음, 진동에 따른 영향, 해저 송전케이블에 따른 저주파 및 전자기장 영향에 대해서 1회성의 조사 또는 검증되지 않은 자료를 인용하거나 예측결과를 제시하고 있다. 향후 해상풍력에 따른 해역이용협의 시 정부의 정책결정에 의한 Top-down 방식을 지양하고, 어민수용성과 사업성을 고려한 bottom-up 방식으로 전환하는 계기를 마련하기 위해서는 ① 협의제도의 개선 ② 이해관계자의 의견수렴방법 강화 ③ 어업피해보상을 통한 현장 수용성의 증대방안이 마련되어야 한다.

References

- Bailey H, Senior B, Simmons D, Rusin J, Picken G and Thomson P(2010). Assessing Underwater Noise Levels During Pile-driving at an Offshore Windfarm and its Potential Effects on Marine Mammals. *Marine Pollution Bulletin*, 60(6): 888~897.
- Brennan J, Fitzsimmons C, Gray T and Raggatt L(2014). EU Marine Strategy Framework Directive(MSFD) and Marine Spatial Planning(MSP): Which is the More Dominant and Practicable Contributor to Maritime Policy in the More Dominant and Practicable Contributor to Maritime Policy in UK?. *Marine Policy*, 2014(43): 359~366.
- Choi Y, Lee HH and Oh JK(2014). Distribution of Fishes Around the Offshore Wind Farm at the Southern Part of Yellow Sea by Trawl Net. *Korean Journal of Ichthyology*, 26(3): 222~229.
- Dai K, Bergot A, Liang C, Xiang WN and Huang Z(2015). Environmental Issues Associated with Wind Energy. *Renewable Energy*, 75(2015): 911~921.
- Dickens P, Smith J and Wolfe J(2007). Improved Precision in Measurements of Acoustic Impedance Spectra Using Resonance-free Calibration Loads and Controlled Error Distribution. *Acoustical Society of America*, 121(3): 1471~1481.
- Drewitt AL and Langston RH(2006). Assessing the Impacts of Wind Farms on Birds. *Ibis*, 148(1): 29~42.
- Hooper T, Ashley M and Austen M(2015). Perceptions of Fishers and Developers on the Co-location of Offshore Wind Farms and Decapod Fisheries in the United Kingdom. *Marine Policy*, 61(2015): 16~22.
- Kim GY, Lee DI, Jeon KA, Eom KH and Woo YS(2009). Diagnosis for Review of Statement and System Improvement of Consultation on the Coastal Area Utilization in Korea. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, 15(4): 345~354.
- Kim GY, Lee DI, Jeon KA, Eom KH and Yu J(2012). Improvement for Marine Environment Impact Assessment on the Development of Offshore Wind Power. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 21(1): 1~13.
- Kim HW, Sohn HS, An YR, Park KJ and Choi YM(2015). Occurrence of Indo-pacific Bottlenose Dolphins *Tursiops aduncus* off Jeju Island, Korea During the Early 2000s. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(6): 940~946.
- Kim JY, Kang KS, Oh GY, Lee JS and Yoo MS(2009). Assessment of Possible Resources and Selection of Preparatory Sites for Offshore Wind Farm Around Korean Peninsula. *Renewable Energy of Korea*, 5(2): 39~48.
- Kim TY, Park JI and Maeng JH(2016). Offshore Wind Farm Site Selection Study Around Jeju island, South Korea. *Renewable Energy*. 94(2016): 619~628.
- KOWP(Korea Offshore Wind Power Company)(2015). A Consultation Report for the Construction of Southwest Offshore Wind Farms Project(3rd version). 85~99.
<http://www.kowp.co.kr>
- KWEIA(Korea Wind Energy Industry Association) (2018). The Status of Offshore Wind Farm in S. Korea. <http://www.kweia.or.kr>
- Kyong NH, Yoon JE, Jang MS and Jang DS(2003). An Assessment of Offshore Wind Energy Resources Around Korean Peninsula. *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 23(2): 35~41.
- Lee DI, Kim GY, Jeon KA, Eom KH, Yu J, Kim YT, Moon JH and Kam MJ(2011). An Application Status and Consideration of System Improvement on the Sea Area Utilization Conference and Impact Assessment. *Journal of the Korean Society Marine Environment Energy*, 14(4): 239~248.
- Lee DI, Kim GY, Tac DH, Yi YM, Choi JH and Kim HJ(2016). Diagnosis of Scoping and Type of Review on the Marine Environmental Impact Assessment for Ocean Energy Development Project. *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy*, 18(3): 179~188.
- Lim DK, Shin YC and Jun YB(2010). A Study on the Establishment of Management Criteria for Underwater Noise. *Journal of Korean Society of Explosive and Blasting Engineering*, 28(2): 119~132.

- Maeng JH, Cho BJ, Lim OJ and Seo J(2013). A Study on the Environmental Impact of Offshore Wind Farms Through Monitoring Case in Overseas country. *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy*, 16(4): 276~289.
- Park JI and Kim TY(2016). Institutional Improvement Measures for Environmental Assessment in the Pursuit of Eco-friendly Ocean Renewable Energy Development in S. Korea. *Renewable and Sustainable Energy*, 58(2016): 526~536.
- Sempreviva AM, Barthelmie RJ and Pryor SC(2008). Review of Methodologies for Offshore Wind Resource Assessment in European Seas. *Surveys in Geophysics*, 29(6): 471~497.
- Shin HK, Kim DJ, Kim JY and An HJ(2017). Floating Offshore Wind Turbine-vision and Present. *The Proceeding of Korean Marine Environment and Energy Society*, 162~162.
- Sohn HS, An DH and Kim HW(2015). A Study on the Legal Frame to Manage Anthropogenic Underwater Noise for Marine Mammal Protection in Korean Waters. *Korean Journal of Maritime Policy*, 30(2): 165~188.
- Sohn WJ, Lee BK and Cho IS(2019). A Study of Ship Safety Distance Between AIS Based Ships Route and Offshore Wind Farm. *Proceedings of Korea Institute of Navigation and Port Research Conference*. Korean Institute of Navigation and Port Research. 79~81.
- Southall BL, Bowles AE, Ellison WT, Finneran JJ, Gentry RL, Greene Jr CR, Kastak D, Ketten DR, Miller JH, Nachtigall PE, et al.,(2008). *Marine Mammal Noise-exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations*. *Bioacoustics*, 17(13): 273~275.
- Sung JK(2019). Challenges and Strategies of Korea's Offshore Wind Power. *Proceeding of Korean Society of Renewable Energy*, 2019(5): 47~47.
- Thomsen F, Ludemann K, Kafemann R and Piper W(2006). *Effects of Offshore Wind Farm Noise on Marine Mammals and Fish*, Biola, Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd, 2006.
-
- Received : 21 August, 2019
 - Revised : 24 September, 2019
 - Accepted : 14 October, 2019