

해상풍력 발전단지 주변 해역 해양보호생물 영향평가 현황 및 개선방안

- 해양포유류 및 바닷새 사례 중심 -

오현택[†] · 여민유^{*} · 정화은^{*} · 심정민^{**}

[†]국립수산과학원(연구사) · ^{*}국립수산과학원(연구원) · ^{**}국립수산과학원(연구관)

Status and Improvement of Environmental Impacts Assessment on the Marine Endangered Species around the Coastal Area of Offshore Wind Energy - Case Study of the Marine Mammals and Sea Birds -

Hyun-Taik OH[†] · Min-Yu YEO^{*} · Hwa-Eun JUNG^{*} · Jeong-Min SHIM^{**}

[†]National Institute of Fisheries Science(senior researcher) · ^{*}National Institute of Fisheries Science(researcher) · ^{**}National Institute of Fisheries Science(director)

Abstract

In this study, we assessed the environmental impact on marine endangered species, especially marine mammals and seabirds around offshore wind energy plant in Jeju Island and West-south coastal area during 2014-2020. To reduce fatalities of marine endangered species from noise, vibration and collision around offshore wind energy, we suggest below. First, we have to add the variable of assessment such as monitoring of marine mammals and seabirds. Second, we have to prepare the scientific monitoring platform such as high-tech vessel and flight control system. Third, we have to adopt the simulation model for seabird collision to wind energy blade.

Key words : Offshore wind energy, Marine protected species, Marine mammals, Seabirds

I. 서론

한국 정부는 「그린 뉴딜」 정책의 주요 이슈 중 하나인 신재생에너지 확대를 위해 해상풍력 단지 개발 계획을 발표하였다. 정부 주도하에 총 13개소에 풍력계측기를 설치하고, 테스트베드와 실증 단지를 구축하는 등 향후 2030년까지 약 11조원을 투자할 계획이다(Lee, 2020). 유럽, 중국 및 미국의 해상풍력 발전방향과 환경영향을 참고하여 한국은 정부주도의 적합부지 발굴과 인·허가 간

소화를 위한 통합기구(One-Stop Shop)를 설치하고자 한다(deCastro et al., 2019; MOF, 2020). 현재 운영 중인 해상풍력 발전단지 중에서는 60M 규모의 서남권 해상풍력 발전단지가 최대 규모이나, 향후 서남권 2.4GW, 전남 신안권 8.2GW, 울산 동남권 6GW를 확대할 계획이다. 이를 통해 한국은 2030년까지 세계 5대 해상풍력 강국으로의 성장을 목표로 하고 있다.

해상풍력사업은 풍향이 양호하고, 어업권이 위치하지 않는 등 기존의 사업이 간섭받지 않는 곳

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

* 이 논문은 2020년도 국립수산과학원 수산연구사업 어장환경모니터링 (R202047)의 지원으로 수행된 연구임.

에 입지를 선정하는 것이 매우 중요하다(Snyder and Kaiser, 2009). 하지만, 그동안의 환경영향평가와 해역이용협의를 진행하면서 어업인을 포함한 이해관계자와의 갈등이 증폭되었던 이유는 사업자의 판단 하에 사업대상지를 물색한 뒤 지역민의 의견을 듣는 절차에 기인한다. 개발 사업의 수용성 확보를 위해서는 풍향기 설치 및 단지개발 사업 준비단계에서부터 어업인의 의견을 최대한 반영해야 하며, 해양공간적합성 및 보호구역 배제 등 입지 적정성 검토가 필요하다(Cho, 2020). 어업인의 수용성 확보를 통한 협력적인 관계형성을 위하여 해상풍력 입지 발굴에서부터 공사 및 운영 시는 물론 사업 종료 시까지 전주기적 환경성 강화 방안이 논의되고 있다. 이와 관련하여 조업구역의 감소 등 수산업에 미치는 영향에 대한 수용성 논의와 병행하여 해상풍력 발전에 따른 환경영향평가 시 소음·진동에 의한 해양생태계 영향 및 해저면 교란 등 저서환경에 대한 연구가 진행된바있다(Oh and Yeo, 2019).

본 연구에서는 해상풍력 발전에 따른 해양환경의 영향평가 실태 중에서 해양보호생물의 피해여부와 피해저감 방안을 살펴보고자 한다. 특히, 제주연안 해상풍력 발전으로 인해 피해가 우려되는 해양보호생물인 해양포유류(남방큰돌고래)와 전남권 해상풍력 발전으로 인해 충돌 피해가 우려되는 바닷새를 중심으로 살펴보고자 한다. 해양포유류와 바닷새는 공사 및 운영 시 소음·진동·저주파에 대한 회피행동을 보이며 회유경로 이탈 등의 간접적 피해는 물론, 부딪쳐서 죽거나 다치는 직접적 피해가 우려된다. 따라서 제주 연안과 전남 해안에서 진행된 해상풍력 사업 해역이용협의 건을 검토하여 해양보호생물의 피해 최소화 방안 및 효율적인 모니터링 방법에 대해 다양한 시각에서 고찰하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 해상풍력 발전 관련 해역이용협의의 현황

가. 제주해역 해상풍력

해상풍력 발전단지 개발 시 사전환경성 검토는 발전용량 100MW 이상에 대해서는 해양수산부의 해역이용협의와 환경부의 환경영향평가가 동시에 이뤄지며, 100MW 미만에는 대해서는 환경영향평가는 제외되고, 해수부의 해역이용협의만 이뤄진다(Lee et al., 2015). 제주도에에서 이뤄지는 해상풍력 사업은 환경부가 아닌 제주도 자체적인 환경영향평가를 수행하는 등, 지역과 발전 용량에 따른 평가의 정도, 전문성, 범위 등이 상이한 실정이다. 이러한 상황에서 2014년부터 2019년까지 해상에서 풍력발전기 설치를 목적으로 총 17건의 해역이용협의를 진행되었다. 환경부의 환경영향평가는 서남권 해상풍력 1건에 국한되며, 제주연안 해상풍력 3건은 제주특별자치도 환경영향평가법에 근거하여 자체적으로 수행되었다(Fig.1). 따라서 본 연구에서는 국립수산과학원 해역이용영향평가센터에서 검토한 해상풍력사업 관련 해역이용협의를 상에 제시된 해양보호생물의 현장조사 결과 및 인용된 문헌조사 결과를 활용하였다. 실제 운영 중인 해상풍력 발전단지를 중심으로 제주권역과 서남권역의 해역이용협의 상에 기술된 해양포유류 및 해양조류 관련 자료를 중점적으로 분석하였다.

제주지역의 탐라 해상풍력사업(J1)은 2013년에 해역이용협의를 완료하였고, 2017년에 준공하여 3MW급 풍력기 10개에서 30MW의 전기를 생산하고 있다. 대정 해상풍력사업(J2)은 협의 의견을 2013년에 전달한 바 있으며, 2019년에 사업계획의 변경에 따른 재협의를 추진한 바 있다. 사업을 찬성하는 쪽과 핫핑크돌핀스와 같은 환경단체 등 반대하는 쪽의 의견이 맞서고 있어 향후 주민수용성을 확보한 뒤 환경영향평가 등의 행정절차가 진행될 예정이다. 대정 해상풍력사업(J2)은 약 20기의 풍력기 간격이 2~3km로 넓게 계획되어 있어, 발전용량이 유사한 한동-평대 해상풍력사업

(J4) 면적의 약 5배에 해당한다([Fig. 1], <Table 1>).

한림 해상풍력사업(J3)은 탐라 해상풍력사업(J1) 인근에 설치될 예정이며, 5.6MW급 18기의 풍력기가 설치되어 총 규모가 100MW에 달한다. 기존 협의 후 사업계획 변경에 따른 해역이용협의 절차가 완료되었으며, 지역 어업인의 반대로 어업인의 의견을 청취한 바 있다. 한동-평대 해상풍력사업(J4)은 풍력발전단지 지구지정을 2018년에 완료하였으며, 해역이용협의서(보완)를 제출한 바 있다. 한동-평대 해상풍력사업(J4)의 경우, 지역주민들이 풍력발전 사업에 지분 참여를 희망하고 있어 수용 입장에서 추진될 전망이었으나, 지구 지정 시 의견수렴과정에서 절차상의 문제 등이 발견되어 갈등의 소지가 남아 있다([Fig. 1], <Table 1>).

J1~J4 사업 모두 해양을 개발하는 행위의 적정성과 행위로 인해 예상되는 해양환경영향을 사전에 검토하는 해역이용협의는 완료되었다. 그러나 J2~J4 사업의 경우, 제주특별자치도 환경영향평가법에 근거한 사전영향평가를 시행해야 하나 이해관계자의 갈등과 절차상의 문제로 잔여 행정절차가 남아있는 상황이다.



[Fig. 1] Overview of offshore wind energy projects in Jeju island(J1: Tamla project in operation, J2: Daejeong project, J3: Halim project, J4: Handong-Pyeongdae project).

나. 전남권 해상풍력

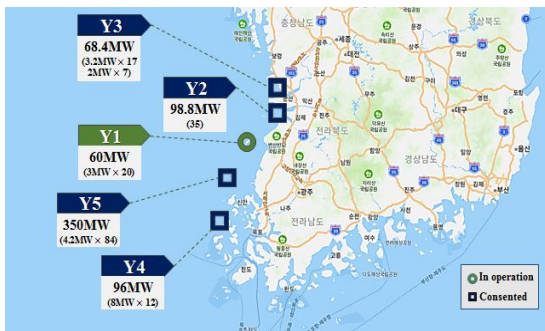
현재까지 전남권 해상풍력사업의 해역이용협의는 5건이 진행되었다. 서남해 해상풍력 실증단지(Y1)의 경우, 시설규모가 60MW (3MW × 20)로 2015년에 해역이용협의 완료 후 2019년에 준공하여 현재 운영 중에 있다. 향후 400MW 규모의 발전단지가 추가 될 예정이며, 민간 주도로 2.0GW 발전단지가 추가되어 총 2.5GW의 대규모 풍력단지 개발이 예정되어 있다. 새만금 해상풍력사업(Y2)과 전북 군산 해상풍력사업(Y3)은 2016년에 협의 요청이 있었으며, 이중 새만금 해상풍력은 새만금 방조제 내측에 풍력기가 설치되는 것으로 협의되었다. 반면, 전북 군산 해상풍력 사업대상지는 세계자연유산 등재를 추진하고 있는 서남해안갯벌(유부도 갯벌)을 입지로 선정하여 상위국가계획과의 관련 검토가 부족했다. 또한, 중점평가항목에 대한 충분한 현황 파악이 이루어지지 않았으며, 수리모델 예측에서도 다수의 문제점이 나타났다. 이와 같이 대상지역의 지역적 중요성을 고려해 볼 때 입지의 타당성 및 계획의 적정성 측면에서 사업의 재검토 의견이 전달되었고, 결국 전북 군산 해상풍력사업(Y3)은 사업자에 의해 협의가 취하되었다([Fig. 2], <Table 2>).

전남 해상풍력사업(Y4)은 전남 신안군 자은도 북서측 해상에서 100MW 규모로 협의 신청이 접수되었다. 이 사업은 입지의 타당성을 판단하기 위한 해상교통안전진단이 선행되지 않아 협의가 상당히 지연되었다. 또한, 전남 영광-낙월 해상풍력사업(Y5)은 전남 영광군 안마도와 송이도 중간 해역에 설치하는 것으로 민간 사업체가 건설하는 총 350MW 규모의 초대형 사업에 해당한다. 지역주민들과 협약을 체결하고 어업피해조사를 수행할 계획으로, 지역주민들은 수용 입장을 보이고 있으나 환경영향평가 의견수렴과정에서 조업구역의 축소, 보상 및 절차상의 문제 등이 드러나면서 어업인과의 갈등 소지가 남아 있다.

<Table 1> List of offshore wind energy projects in Jeju Island(ID: Name of project, Year: Consultation process, Cap.: Capacity of production, Note: Environmental impact assessment by Ministry of Environment)

ID	Year	Wind Energy	Site	Cap. (MW)	Use Public Water Area(m ²)	Note (EIA)
J1	'12	Tamra	Jeju	30MW (3MW × 10)	541,421	-
J2	'13 ('19)	Daejeong	Jeju	100MW (5~6MW × 17~20)	29,000,000	Applicable (Jeju)
J3	'20	Hallim	Jeju	100MW (5.56MW × 18)	953,805	Applicable (Jeju)
J4	'20	Handong-Pyeongdae	Jeju	104.5MW (5.5MW × 19)	5,630,000	Applicable (Jeju)

영광-낙월 해상풍력사업(Y5)의 경우 사업 규모가 100MW 이상으로, 해수부의 해역이용협의와 환경부의 환경영향평가를 동시에 거쳐야 하는 사업이며, 육상에 설치되는 변전소 일부구간을 제외한 약 98% 이상이 공유수면에 해당된다(Fig. 2), <Table 2>).



[Fig. 2] Overview of offshore wind energy projects in West-south coastal area(Y1: West-south project in operation, Y2: Saemangeum project inside the seawall, Y3: Gunsan project in cancelation, Y4: Jeonnam project, Y5: Yeonggwang-Nagwol project).

2. 해양보호생물 평가 현황(해양포유류, 바닷새)

해역이용협의의 평가항목 중 [보호종 및 보호구역]의 주요 평가내용에 '멸종위기 야생동·식물'과

'보호대상 해양생물(해양보호생물)'에 대한 분포 현황 및 보전대책이 포함되어 있다. 그러나 바닷새를 포함한 해양 동·식물은 조사 과정에 발견되는 해양보호생물에 대한 정밀조사와 보전대책을 마련하는 것이라기보다 해양보호생물 중에서 해상풍력 개발로 인한 영향을 직접적으로 받는 해양포유류와 바닷새에 한정해서 조사를 수행하고 있다. 이 경우 해양포유류와 바닷새에 관한 서식 특성 및 이동경로에 대한 전문적 검토 결과를 기반으로 영향 여부를 파악하도록 되어 있다.

해양보호생물은 우리나라 고유종으로 학술적 가치가 높고, 개체수가 크게 감소 중이며, 보호 가치가 높은 해양생물 중 개체군 감소 위협요인을 통합 관리할 필요가 있는 경우 지정하여 관리한다(Yook, 2014; Kim et al., 2017). 현재까지 총 80종이 지정되어 있으며, 해송(*Myriopathes japonica*)과 둔한진총산호(*Euplexaura crassa*) 등의 무척추동물이 34종으로 가장 많이 지정되어 있다(<Table 3>).

해상풍력기의 소음·진동 등으로 피해가 우려되는 남방큰돌고래(*Tursiops aduncus*)와 같은 해양포유류는 총 14종이 해양보호생물로 지정되어 있으며, 특히 상괭이(*Neophocaena asiaeorientalis*) 사체가 서남해 해상풍력 발전단지 인근에서 발견되는 등 해상풍력 사업과의 관련성에 대한 민원이 많이

<Table 2> List of offshore wind energy projects in West-south coastal area(same as Table 1)

ID	Year	Wind Energy	Site	Cap. (MW)	Use Public Water Area(m ²)	Note (EIA)
Y1	'15	Southwest	Jeon-buk	60MW (3MW × 20)	248,916	-
Y2	'16	Saemangeum	Jeon-buk	98.8MW (2.8MW × 35)	26,835	-
Y3	'16	Gunsan	Jeon-buk	68MW (3.2MW × 21)	7,683	Cancelation
Y4	'19	Jeonnam	Jeon-nam	96MW (8MW × 12)	635,015	-
Y5	'20	Yeonggwang-Nagwol	Jeon-nam	350MW (4.2MW × 84)	33,265,510	Applicable (Ministry of Environment)

제기되는 분류군이다(Oh and Yeo, 2019). 상괭이는 아시아 연안에만 분포하는 종으로 연안역 5~6km 이내의 얇은 수심에서 서식하는 것으로 보고되었다. 최근 들어 각종 어구에 의한 혼획이 문제되고 있으며, 특히 서남해 권역에서 안강망에 의한 혼획이 심각한 것으로 알려졌다. 이로 인해 상괭이의 개체 수는 2004년 3만여 개체에서 2016년 2만 개체 이하로 감소하는 추세이며, 보호가 시급하다고 여겨 2016년에 해양보호생물로 지정되었다.

특히, 상괭이는 울산 앞바다에 설치예정인 대규모 부유식 해상풍력기 설치에 따른 스트레스 영향평가지 주요평가 대상종에 해당된다. 또한, 어류에 해당하는 고래상어(*Rhincodon typus*)와 홍살귀상어(*Sphyrna lewini*)가 최근에 해양보호생물로 지정되었으나, 우리나라 전 해역에서 드물게 관찰되고 장거리를 이동하는 생태적 특성을 가지고 있어 해상풍력에 따른 영향평가를 따로 실시하고 있지 않다(<Table 4>).

또한, 바닷새 가운데 연안성조류, 해양성조류 14종이 포함되었다. 바닷새는 풍력기 블레이드와 의 충돌로 인해 피해가 우려되는 생물종이다. 해양보호생물 중 연안성조류는 총 6종이다. 검은머리물떼새(*Haematopus ostralegus*)와 넓적부리도요

(*Eurynorhynchus pygmeus*)가 연안성조류에 해당된다. 또한 해양성조류는 총 8종으로 서남권역에서 발견되는 알락꼬리마도요(*Numenius madagascariensis*), 저어새(*Platalea minor*), 청다리도요사촌(*Tringa guttifer*) 등이 이에 해당된다. 특히, 알락꼬리마도요는 서해권역 만경강 하구와 동진강 하구에서 자주 목격되며, 멸종위기야생생물 II급, IUCN VU, CMS Appendix II에 해당된다. 또한, 마도요는 주로 러시아의 습지에서 번식하고, 서해안의 갯벌에 도래하는 철새로 알려져 있다(<Table 4>).

III. 결과 및 고찰

1. 해역이용협의

최근 6년간 검토된 해상풍력과 관련한 일반 해역이용협의는 총 17건으로 이중 4건은 재협의를 해당된다. 이 중 30MW급 이상 대규모 풍력단지 건설과 관련한 협의 건수는 8건이며, 대부분 제주권역과 서남권역에서 추진 중이다. 또한, 울산 부유식 풍력단지 개발을 위한 풍향기 설치 등 사전 준비단계에서 공유수면 점·사용과 관련한 협의 건수는 9건이다. 2016년 서남권역 갯벌에서 40MW급(풍력기 13기)과 20MW급(풍력기 4기)

<Table 3> Number of marine protected species

Index	Mammals	Invertebrates	Seaweeds	Reptiles	Fishes	Birds	Total
No. species	16	34	7	4	5	14	80

<Table 4> List of marine protected species both marine mammals and seabirds

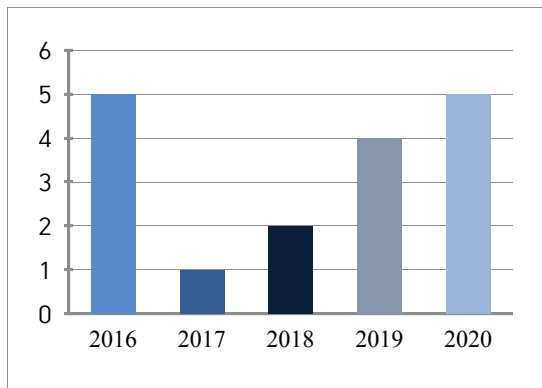
Index	Marine mammals	Seabirds
1	<i>Pusa hispida</i>	<i>Haematopus ostralegus</i>
2	<i>Eschrichtius robustus</i>	<i>Eurynorhynchus pygmeus</i>
3	<i>Tursiops aduncus</i>	<i>Egretta eulophotes</i>
4	<i>Balaenoptera musculus</i>	<i>Synthliboramphus antiquus</i>
5	<i>Histiophoca fasciata</i>	<i>Uria aalge</i>
6	<i>Callorhinus ursinus</i>	<i>Oceanodroma monorhis</i>
7	<i>Zalophus japonicus</i>	<i>Synthliboramphus wumizusume</i>
8	<i>Balaenoptera borealis</i>	<i>Phalacrocorax pelagicus</i>
9	<i>Eubalaena japonica</i>	<i>Calonectris leucomelas</i>
10	<i>Balaenoptera edeni</i>	<i>Gavia stellata</i>
11	<i>Neophocaena asiaorientalis</i>	<i>Numenius madagascariensis</i>
12	<i>Phoca largha</i>	<i>Platalea minor</i>
13	<i>Balaenoptera physalus</i>	<i>Tringa guttifer</i>
14	<i>Eumetopias jubatus</i>	<i>Cerorhinca monocerata</i>
15	<i>Physeter macrocephalus</i>	
16	<i>Megaptera novaeangliae</i>	

풍력단지 건설 건이 있었으나, 본 사업은 풍력기가 갯벌에 설치되고 연안육역과 인접해 있어 수중소음에 따른 해양포유류 영향이 제한적인 사업에 해당하여 본 연구에서는 사례로 선정하지 않았다. 서남해 해상풍력사업(Y1)은 해역이용협의 후 2016년에 행정조치 등을 하는 중에 이해관계자와의 갈등이 증폭되었다. 전북 부안, 고창 어업인을 중심으로 사업 중단을 요구하는 시위와 민원이 중앙부처로 전해졌고, 지역주민과 이해당사자들의 의견 재수렴을 요구하면서 해상풍력의 부정적인 영향이 강조된 바 있다. 이런 추세로

2017년과 2018년의 협의건수는 1~2건에 불과하였다. 그러나 정부의 「재생에너지 3020 이행계획」에 따른 탈원전, 신재생에너지 정책에 의해 해상풍력에 대한 개발요구가 증가하고 있는 추세이다. 이중 제주해역과 서남권역을 중심으로 대규모 풍력단지 건설을 위한 협의가 집중되고 있다(Fig. 3).

제주해역에서 해역이용협의를 이룬 대규모 풍력단지 개발은 탐라 해상풍력(J1), 대정 해상풍력(J2), 한림 해상풍력(J3), 한동-평대 해상풍력(J4)이다. 국내 최초로 협의되어 운영 중인 탐라 해

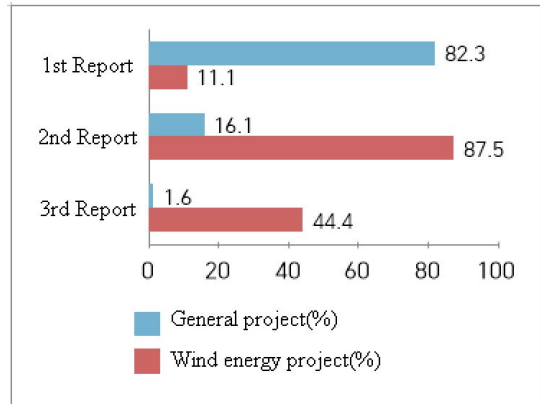
상풍력(J1)은 1회 검토 되었으며, 대정 해상풍력 (J2)과 한동-평대 해상풍력(J4)은 1회 보완 후, 총 2회의 협의서에 대한 검토가 진행된 바 있다. 또한, 한림 해상풍력(J3)은 2013년 최초 협의 후 2019년 재협의를 통해 총 2회의 검토가 진행되었다. 서남권 해역에서 해역이용협의를 이뤄진 대규모 풍력단지 개발은 서남해 해상풍력(Y1), 새만금 해상풍력(Y2), 전북 군산 해상풍력(Y3), 전남 해상풍력(Y4), 영광-낙월 해상풍력(Y5)이다. 이 중 전북 군산 해상풍력은 사업자에 의해 협의 신청이 취하되었으며, 나머지 사업은 본안, 보완, 2차 보완을 거친 총 3회의 검토를 통해 협의회가 진행된 바 있다([Fig. 4]).



[Fig. 3] Trend of offshore wind energy consultation cases(2016-2020).

최근 3년간(2017~2019) 일반해역이용협의 총 778건 중 보완 건수는 125건으로 약 16.1%, 재보완 건수는 13건으로 1.6%에 해당한다. 이 중 제주해역과 서남권역에서 협의된 해상풍력사업의 보완과 재보완의 비율이 다른 유형의 사업보다 상대적으로 매우 높다. 해상풍력 사업 중 협의 취하된 1건을 제외하고, 본안의 검토만으로 승인된 사업은 2013년 최초 협의된 탐라 해상풍력(J1)이 유일하다. 나머지 7건의 사업은 1차보완 보고서(87.5%)를 제출하였으며, 서남권역에서 수행된 해상풍력사업은 4건 모두 2차보완 보고서(44.4%)를 제출하였다([Fig. 4]). 이중 영광-낙월 해상풍력

(Y5)과 한동-평대 해상풍력(J4)은 환경영향평가 대상사업으로 해양수산부의 해역이용협의를 요구하는 바, 이에 대한 초안과 본안에 대한 검토의견을 추가로 전달하여 총 5회 이상의 검토의견을 전달하였다.



[Fig. 4] Comparison of Ratio of the report review in general project and wind energy projects.

사업별로 1차 보완과 2차 보완의 의견은 차이가 있을 수 있으나, 주요 원인으로 해양수산 측면의 입지분석 미흡, 풍력기 공사 및 운영 시 영향에 대한 실증적인 자료 분석과 평가 미흡, 해양공간을 점유함에 따라 어업활동 축소로 인해 발생하는 이해관계자와의 갈등 해결방안 미 제시 등이 있다. 특히, 개발 이전에 해양환경에 미치는 영향평가를 위한 해양보호생물(포유류, 무척추동물, 어류와 조류 등)에 대한 조사 부족, 해양보호생물에 대한 문헌조사 및 전문가 탐문조사 등을 통한 현황 파악 및 영향평가가 미흡했다. 또한, 서남권 해역에서는 법정보호종 중 노랑부리백로(*Egretta eulophotes*), 저어새 및 IUCN 지정 관심대상(LC: Least Concern) 팽이갈매기(*Larus crassirostris*) 등의 현황파악과 풍력단지 구성에 따른 조류 충돌에 관한 영향검토가 미흡했고, 조류 전문가의 자문을 통한 저감대책 수립 요구가 주요 보완 사유에 해당한다.

특히, 해역이용협의서의 경우 보완의 횟수, 기

한이 정해져 있지 않아 정책결정 과정에 있어 지연을 초래하고 있다. 환경부의 환경영향평가제도와 같이 보완 횟수를 기본 1회로 제한하거나, 특별한 사유가 있는 경우에는 2회에 한해 보완을 요구할 수 있도록 제도를 조정하는 등 정책결정 과정에 지연을 유발하는 요소를 정비할 필요가 있다. 이를 통해, 사업자는 협의가 이뤄지지 않은 경우에는 빠른 시기에 사업계획을 변경하거나 다른 사업대상지를 선정하는 등 발 빠른 조치를 취할 수 있게 될 것이다.

2. 해양보호생물

가. 제주권역

본 연구에서는 제주권역과 서남권역에서 운영 중인 해상풍력 사업 시 직·간접적인 피해가 우려되는 해양보호생물에 대한 영향평가 내용을 살펴 보았다. 해양보호생물은 2016년 이전에는 52종이었으나, 상괭이와 바닷새 등 총 27종이 추가 지정되었으며, 특히, 해상풍력 사업으로 인한 영향이 예상되는 상괭이 등 해양포유류와 연안성조류, 해양성조류 등 바닷새 14종이 포함되었다. 이후 서남해 해상풍력 발전사업에 따른 해양환경영향조사서 작성 시, 신규 해상풍력 발전사업 해역 이용협의서 작성 시 해양포유류와 바닷새에 관한 내용이 포함되기 시작했다.

제주권역 해상풍력 사업의 경우 중점 검토항목으로 연안을 회유하는 남방큰돌고래 등 고래류에 미치는 영향평가가 해당된다. 모든 사업구역(J1~J4) 주변해역에서 해양포유류의 회유·이동이 관찰되었으나 제주권역에서 해상풍력 공사 및 운영 시 발생하는 진동과 소음이 고래류 등에 미치는 영향이 어느 정도인지에 대한 평가는 일부 사업에만 국한되어 수행되었다. 탐라 해상풍력(J1)은 문헌을 통한 간접조사만 실시되었으며, 다른 사업들도 전문가에 의한 자문과 탐문조사 없이 자체적인 조사를 수행하는데 그쳤다. 탐라 해상풍력(J1)은 공사 및 운영 시 발생하는 수중소음과 관련한 영향평가를 수행하지 않았고, 대정 해상풍력(J2)은 항타 작업 시 발생하는 수중소음을 고려하였다. 또한, 한림 해상풍력(J3)과 한동-평대 해상풍력(J4)은 대기소음을 수중소음으로 변환하고 진동음을 포함한 복합 수중소음 예측을 수행한 바 있다. 하지만, 강풍이나 태풍 내습에 따른 소음의 증폭 및 영향 파악이 미흡하였고, 항타 과정에서 발생하는 소음에 대한 실행 가능한 저감방안이 마련되지 못했다(<Table 5>).

또한, J2와 J4사업의 경우, 생산된 전력을 해저 케이블을 통해 송전 시, 전자기장의 발생정도를 평가하여 해양생물들에 미치는 영향범위를 파악한 바 있다.

<Table 5> List of marine protected species in offshore wind energy in Jeju Island (Source: NIFS, [2020])

Project	Status of Mammals (Marine protected species)	Status of seabirds (Marine protected species)	Other endangered species
J1	Reference	-	<i>Myriopathes japonica</i> <i>Euplexaura crassa</i>
J2	Monitoring	-	-
J3	Reference + Monitoring (<i>Tursiops aduncus</i>)	Reference	<i>Pseudohelice quadrata</i> <i>Sesarmops intermedius</i>
J4	Reference + Monitoring + Expert Interview (<i>Tursiops aduncus</i>)	Reference + Monitoring	-

100MHz이하의 저주파 소음의 경우 해양포유류가 민감하게 반응하여 회피작용을 하나, 대체로 임계치 이하의 값을 나타냈다. 현재 풍력발전기 건설 공사 시 발생소음에 관한 실제 자료와 수중소음에 관한 국내 기준이 확립되어 있지 않기 때문에 참고문헌과 해외사례를 통하여 간접적인 영향평가만 수행되는 실정이다. 즉, 소음의 임계값과 임계범위가 과학적으로 산정되지 않았기에 이를 토대로 마련되어야 할 해양 포유류의 영향 예측과 저감대책은 전반적으로 미흡한 수준이다(<Table 5>).

제주권역에서 해상풍력 건설공사에 따른 바닷새의 충돌피해 영향은 공사 시 보다 운영 시에 크게 나타날 것으로 예상된다. 하지만, 공사 구간 바닷새에 관한 직접조사는 한동-평대 해상풍력사업(J4)에서만 이뤄졌으며, 해역이용협의의를 위한 조사라기보다 환경영향평가의 조류항목 조사에서 얻어진 자료를 상호 활용하는 수준에 그쳤다. 철새뿐만 아니라 인근 해역을 찾는 조류가 피해를 받는 일이 없도록 설계 시 부터 조류의 회피를 돕는 항구적인 시설이 필요하며, 해상풍력단지 건설과 운영에 따라 어떤 영향을 받을지 현황 조사와 함께 저감방안 마련이 요구된다.

이 밖에 한림 해상풍력 사업구역에서 직접조사를 통해 해양보호생물인 남방방개(*Pseudohelice quadrata*), 붉은발말뚝개(*Sesarmops intermidius*) 등이 서식하는 것으로 알려졌으나, 대체서식지를 마련하는 등 적극적인 보호대책은 수립하지 않았다. 한편, 탐라 해상풍력(J1) 인근에서 전력선 매설 공사 중 해양보호생물인 해송(*Myriophathes japonica*)과 둔한진총산호(*Euplexaura crassa*)의 출현이 확인된 바 있다. 이후 잠수조사를 통해 해송 5개체, 둔한진총산호 2개체가 확인되었고, 해송은 서식지 보존 후 관찰 중이며, 둔한진총산호는 대체서식지로 이식한 바 있다.

나. 서남권

서남권 해역에서 해역이용협의가 이뤄진 대구

모 풍력단지 개발은 서남해 해상풍력(Y1), 새만금 해상풍력(Y2), 전북 군산 해상풍력(Y3), 전남 해상풍력(Y4), 영광-낙월 해상풍력(Y5)이다. 서남해 풍력단지(Y1)가 위치한 위도 주변해역에는 해양보호생물이며, 멸종위기동식물 국제거래에 관한 협약(CITES)에 등재된 상괭이가 서식하는 것으로 조사되었다. 이에 따라 사업지구에 상괭이가 분포하는 4-9월에는 소음·진동 및 공사로 인한 영향을 최소화 할 수 있도록 작업시기의 조정, 저소음·저진동 공법의 채택을 요구한 바 있다. 사업지구에서 공사 진행 시 상괭이의 사체가 발견된 바 있으나, 소음으로 인한 피해여부는 밝혀내지 못했다. 해양환경영향조사서 상에는 상괭이 사체 신고 현황 및 수거 통계자료만 제시되었고, 사업추진 경과에 따라 소음·진동과 상괭이 피해와의 관련 여부가 파악되지 않았기에 운영 중 상괭이 피해여부에 대한 상시 모니터링 방법이 마련되었다.

새만금 풍력단지(Y2)는 새만금 내측에 위치하며, 바닷새의 이동에 매우 중요한 경로에 포함되어 있다. 이에 따라, 풍력 발전기가 철새의 이동에 영향을 미칠 수 있으므로 해상풍력단지 주변을 이동하는 조류에 대한 현황 파악과 영향 예측이 수행된 바 있다. 또한, 기수역 부근으로 법적 보호종인 수달(*Lutra lutra*, 천연기념물 제330호, 멸종위기종 I급), 삼(*Prionailurus bengalensis*, 멸종위기종 II급)이 확인되었다. 사업이 철회된 전북 군산 풍력단지(Y3)는 해양보호생물이자 IUCN 지정 멸종위기종인 넓적부리도요를 비롯한 다양한 해양성조류의 중간 기착지로 알려져 있어 충돌피해에 관한 영향평가가 요구된 바 있다. 바닷새는 해양생태계의 건강도와 생물다양성을 가능하는 중요 지표에 해당하므로 국가 간 보전 조치 마련에 대한 압력이 증가하는 추세이다(<Table 6>).

전남 해상풍력 발전사업(Y4) 협의 시, 심각한 조류의 충돌문제 검토를 위한 조류의 이동경로에 해당되는지에 대한 검토가 추가로 요구되었다. 특히, 인접한 도서에 두루미를 닮은 멸종위기의

희귀식물 두루미천남성(*Arisaema heterophyllum*)이 서식하고, 매(*Falco peregrinus*), 칼새(*Apus pacificus*) 등의 번식지이자 다양한 삿갓조개류가 서식하는 것으로 확인되었다. 또한, 상괭이와 밍크고래(*Balaenoptera acutorostrata*)와 같이 사업 지구에 출현할 것으로 예상되는 해양포유류에 대해서 현장조사를 통해 출현 여부를 밝혔고, 국립수산물학원 고래연구센터에서 수행된 연구 결과 등 신뢰할 수 있는 자료를 활용한 보완을 수행한 바 있다. 또한, 갯벌생태계 서식현황 조사 등을 통해 장수삿갓조개(*Scelidotoma vadososinuata hoonsooi*)가 발견된 바 있다(<Table 6>).

영광-낙월 해상풍력(Y5)은 해양보호생물(포유류, 무척추동물, 어류와 조류 등)에 대해 조사가 수행되었다. 특히 상괭이 등의 출현 가능성이 높은 지역을 중심으로 문헌조사, 현장조사, 전문가 탐문 자문 등을 수행하여 법정보호종인 노랑부리

백로, 저어새 및 IUCN 지정 관심대상인 꿩이갈매기 등의 서식지가 인근에 위치하는 것을 파악하였다. 그 결과 해상풍력단지 조성에 따른 조류 충돌에 관한 영향검토가 필요하였고, 조류 전문가의 자문을 통한 저감대책을 마련하였다.

최근 평가된 영광-낙월 해상풍력(Y5)은 반경 4km 내·외에서 조사된 해양포유류와 바닷새 등 자연환경분야를 조사한 반면, 전남 해상풍력(Y4)은 반경 9km 내·외에서 조사가 이뤄졌다. 생물은 생태적 특성에 따라 이동성이 다르며, 개발사업에 대한 반응도 다르게 나타날 수밖에 없다. 하지만, 인근에서 이뤄진 사업의 영향평가와 조사 범위 등도 차이가 발생하고 있는 것이 현실이다. 이러한 조사반경은 이동성이 떨어지는 해양식물과 저서생물, 공중에서 이동하는 바닷새, 해양에서 회유하는 습성을 갖는 해양포유류를 동일한 평가범위에 적용하는 것에 한계가 있다.

<Table 6> List of marine protected species in offshore wind energy in West-south coastal sea (Source: NIFS, [2020])

Project	Status of Mammals (Marine protected species)	Status of seabirds (Marine protected species)	Other endangered species
Y1	Monitoring (<i>Neophocaena asiaeorientalis</i>)	-	-
Y2	Monitoring (<i>Lutra lutra</i>)	Monitoring	<i>Lutra lutra</i> , <i>Prionailurus bengalensis</i>
Y3	Monitoring (<i>Tursiops aduncus</i>)	Monitoring (<i>Eurynorhynchus pygmeus</i>)	-
Y4	Reference + Monitoring + Expert interview	Reference + Monitoring + Expert interview (<i>Falco peregrinus</i> , <i>Apus pacificus</i>)	<i>Scelidotoma vadososinuata hoonsooi</i>
Y5	Reference + Monitoring + Expert interview (<i>Neophocaena asiaeorientalis</i>)	Reference + Monitoring (<i>Larus crassirostris</i> , <i>Egretta eulophotes</i> , <i>Platalea minor</i>)	-

IV. 결 론

1. 평가항목과 평가범위의 개선

해역이용협의 시, 개발행위로 인한 직·간접적인 영향을 받는 지역에 서식하는 해양보호생물에 대한 현황 파악과 영향 예측은 필수적이다. 그러나 해상풍력 사업에 대한 현황조사의 범위가 명확하게 정해진 바 없어 조사 범위를 사업구역 주변으로 선정하고 있다. 해양생태계 조사 범위는 직·간접 영향권과 대조구로 구분하여 이뤄지며, 대부분의 사업은 공사 시 부유사의 확산 범위를 기준으로 영향권을 고려한다. 본 연구에서 살펴본 해양포유류와 바닷새의 경우 서식환경과 생태적 특성에 따라 조사 계절과 범위에 차이가 있으므로 평가 범위에 대해 전문가의 자문을 받는 것이 바람직하다.

해역이용협의를 작성 시 평가항목은 9개로, 7개는 자연환경분야이며 나머지 2개는 사회환경 분야에 해당된다. 해양포유류는 자연환경 분야 항목 중 ‘어류 및 수산자원(어란 및 자치어 포함)’에 포함되어 평가하는 데 한계를 갖는다. 대부분의 협의서에서 ‘어류 및 수산자원’에 관한 내용은 수협의 위판자료에 근거한 문헌조사를 활용하고 있으며, 해양포유류 분야에 대한 내용은 사회환경 분야 보호종으로 일부분으로만 다루지고 있다. 대부분의 해양포유류는 보호종에 포함되어 있으나 사회환경 분야에 속해 있어 문헌조사에 그칠 가능성이 있으므로 자연환경 분야의 ‘해양포유류 분야’로 분류하고 새로운 항목으로 구분하여 면밀한 조사를 수행하는 것이 바람직하다. 심지어, 대규모 사업을 평가하는 해역이용영향평가에도 해양포유류를 포함할 수 있는 항목이 적절하지 않아 보호종의 일부로 문헌조사만 이뤄지고 있다(Kim et al., 2020).

해상풍력 관련 해역이용협의서에 포함된 바닷새에 관한 조사는 해양포유류 보다 더 부족하다. 바닷새 역시 별도 조사항목으로 분류되어 있지

않아 보호종의 일부로 제한된 내용만 다루지고 있다. 따라서 조류 항목은 자연환경 분야의 새로운 조사항목으로 추가하는 것이 바람직하다. 해상풍력 관련 사업의 경우, 조류 이동경로 및 서식지 유·무 파악이 필요하다.

해양포유류의 경우 회유경로와 충돌로 인한 사망을 고려한 시뮬레이션 결과 제시가 필요하며, 이러한 현황조사에 근거하여 해상풍력 관련 사업에 해당하는 경우, 공사 및 운영 시 수중소음과 진동으로 인한 해양포유류와 해양생물(수산자원 포함)에 미치는 영향을 파악해야 한다. 해역이용협의 제도의 특성상 법, 시행령, 시행규칙 등 관련규정의 개정을 필요로 하여 적용이 더딜 수 있으나, 중점사업의 협의 및 검토과정에서 사전 상담과 의견을 통해서 맞춤형 보고서가 작성될 수 있도록 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다(<Table 7>).

2. 해양포유류 평가방법의 개선

제주해역에 서식하는 남방큰돌고래에 관한 연구는 2000년대 초반 이후부터 활발해졌다. 김현우(2011)는 남방큰돌고래가 제주도 북부 해안으로부터 500m 이내의 좁은 해역을 주 서식지로 삼고 있다는 것을 밝혔고, 제주시 중심부와 서귀포시 연안은 단순 이동 경로로 추정된 바 있다. 따라서 제주 해역 해상풍력단지 입지를 선정하기 이전에 남방큰돌고래의 회유경로에 관한 조사는 필수적이다. 직접조사 이외에 기존의 연구 자료를 활용한 문헌조사와 돌고래 전문가와 시민단체를 포함한 전문가 면담 등을 활용하는 탐문조사가 수행 될 필요가 있다.

서남권역에 서식하는 상괭이에 대하여 제한적으로 분포, 풍도 및 계절적 변화 등에 관한 연구가 수행된 바 있다. 상괭이 조사의 경우 목시조사(Sighting survey)가 기본으로 수행되며, 항공조사의 타당성에 관한 연구가 수행된 바 있다(Zhang et al., 2004; Park et al., 2007; Park et al.,

<Table 7> Critical evaluation variables and list to write for offshore wind energy projects

Variable	Contents of consultation report
Marine mammals	<ul style="list-style-type: none"> ○ abundance, tendency of appearance, diversity ○ stress simulation caused by offshore wind energy
Seabirds	<ul style="list-style-type: none"> ○ flying route, habitat, diversity, population ○ bird strike simulation, alternative route
Weather	<ul style="list-style-type: none"> ○ wind direction and speed(monthly, yearly, 10-year moving average) ○ wind map for minimum 4m/s wind speed(average 7m/s)
Noise·Vibration	<ul style="list-style-type: none"> ○ status of noise and vibration during corporation and operation period ○ multi-noise stress simulation, plan for reduction and mitigation
Electromagnetic wave	<ul style="list-style-type: none"> ○ status of low frequency wave and electro-magnetic wave

2013; Park et al., 2015; Park et al., 2017). 서남해에는 상괭이가 자주 출몰하는 지역으로 알려져 있으나, 현지 조사 시 미숙련자에 의한 조사로 인해 모터소리 등을 듣고 모습을 감춰버리는 경우가 발생하기도 한다(Lee et al., 2014).

전남 해상풍력(J4) 주변에서 수행된 해양포유류 목시조사는 2019년 1월과 7월 총 2회 수행되었으나, 협의서 내용은 ‘해양포유류를 발견하지 못했다’는 짧은 기술에 그쳤으며, 목시조사 역시 횡적도만을 나타냈을 뿐, 상세한 내용은 포함하지 못한 채 ‘상괭이 출몰 지역이지만 조사 선박 모터소리로 인해 모습을 드러내지 않았다’는 결과를 제시하였다. 이 경우는 조사 날짜가 1월 초순으로 해황이 나빠서 관측이 어려웠을 것으로 보이며, 7월에는 해황이 양호하다 하더라도 소형 선박을 사용했거나 숙련되지 못한 조사자가 조사를 수행했다면 발견하기 어려웠을 것으로 판단된다.

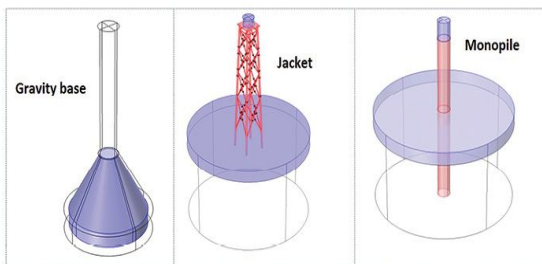
해상풍력 사업에 따른 협의서 작성 시, 해양포유류 조사 범위에 관한 디자인이 선행되어야 하며, 목시조사에 맞는 조사 장비, 조사 인원 및 조사 방법 등에 관한 교육이 필요하다. 목시조사를 통해 남방큰돌고래와 상괭이 발견 시에는 해상풍력 발전단지로부터 해양포유류 발견 장소까지의 추정 직선거리, 출현지점의 각도, 이동방향을 보고하는 등 변화양상 파악이 필요하다(<Table 8>).

선행 연구(Oh and Yeo, 2019)를 통해 제주 해역에 서식하는 해양포유류와 서식어류에 대한 임계치, 회피작용의 형태, 피해양상 등에 대한 다각적 조사가 필요함을 나타낸 바 있다. 또한, 이를 위해 손호선 등(2015)은 수중소음에 대한 공식적인 규정 및 가이드라인의 필요성을 강조한 바 있다. 이렇듯 해상풍력 공사 및 운영 시 발생하는 해양포유류의 영향 평가와 저감방안을 산정하는 방법은 중요한 평가항목이다. 수중소음·진동 영향 정도와 범위를 실제에 근거하여 산정해야 한다.

<Table 8> Survey and sightseeing for marine mammals in Jeonnam project(J4)

Survey	Survey area (km ²)	Survey dis.	Observations (Primary)	Perpendicular distance(m)		Sighting rate (n/km)
				Mean	Max.	
Wind energy	20,032	40	50(40)	-	-	-
Around	10,000	30	10(5)	-	-	-

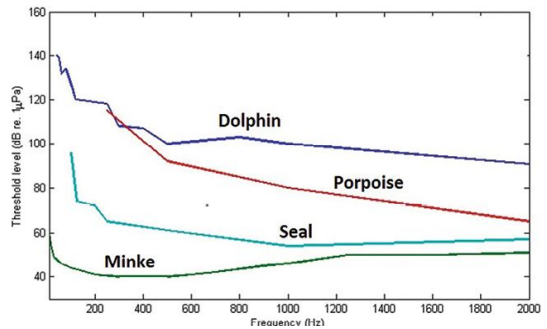
발생 소음값을 근거로 해양포유류의 영향 정도에 대한 임계값과 임계범위를 과학적으로 산정하고, 청각장애가 우려되는 해양포유류의 저감방안을 제시해야 할 것이다. 발전기 설치 시 항타소음 및 가동 시 터빈에서 발생하는 대기 중 소음이 수중으로 전파되어 발생하는 소음스트레스에 의해 인근에 서식하는 해양 포유류의 성장 지연, 산란율 저하와 같은 피해 발생에 대한 대안 마련이 필수적이다. 이와 관련하여 스코틀랜드 정부는 시뮬레이션 모델을 개발하여 평가 시 활용토록 하고 있다(Comsol, 2020). 이 모델은 터빈 공사의 유형을 중력기반(Gravity base), 자켓식(Jacket), 단일파일공법(monopile) 등으로 구분한다(Fig. 5). 공사 및 운영 시 발생하는 풍력기 소음이 해양생물에 미치는 영향을 파악하기 위해 해양포유류와 어류 생태를 연구하여 민감도 시뮬레이션이 가능하다. 소음 민감도 평가가 가능한 생물로는 남방큰돌고래, 거북류, 해마, 밍크고래, 연어 등이 해당하며, 상업어종을 중심으로 민감도 연구결과가 업데이트 되고 있다(Fig. 6). 국내에서도 이러한 수중소음 평가모델 도입이 요구되며, 민감도 연구에 적용할 수 있는 수산자원 및 상괭이 등 서식생물에 관한 사전 연구가 진행되어야 할 것이다.



[Fig 5] Type of pile of offshore wind energy (Source: Comsol, [2020]).

또한, 낮은 주파수의 소음조차 해양포유류에게 감지될 수 있으므로 보다 다양한 형태의 주파수, 소음도, 지속시간에 따른 어업자원과 해양포유류

의 피해 조사가 필요하다. 해양환경영향 조사 시 하이드로폰을 활용한 수중소음의 주기적 계측 결과를 운영 시에 모니터링 하여 임계치를 초과하는 경우, 조치 후 원인분석을 수행해야 한다(Koller et al., 2006). 추가로, 수산음향기법을 활용한 어군탐지기와 수중 음파 카메라를 이용해 실증단지 하부에 수산자원 변동 경향에 대한 체계적인 자료 분석이 요구된다.



[Fig. 6] The noise simulation model of marine mammals (Source: Comsol, [2020]).

3. 바닷새 평가방법의 개선

봄철과 가을철에 도요새, 물떼새를 포함한 바닷새들은 서해권역 해상풍력 단지주변을 통과하거나 기착지로 이용한다. 주변의 무인도서는 바닷새 및 물새류의 집단번식지로 이동이 상당히 빈번하다. 이러한 조류 중 저어새, 노랑부리백로 등은 해양보호생물이면서 국제자연보전연맹(IUCN)의 적색목록집에 국제적 멸종위기종으로 등재되어 있다. 따라서 서해권역 해상풍력단지의 입지는 국제적인 철새들의 이동과 번식 등에 중요한 서식지역이기 때문에 해상풍력 사업이 바닷새에 미치는 영향에 대한 영향평가는 매우 중요한 사항이다.

본 연구의 대상사업 중 최근 추진 중인 서해권역 일부 사업만 바닷새에 대한 내용이 포함되어 있으며, 아직까지 해양 개발사업에 대한 현황 파악과 영향 평가는 미흡한 편이다. 육상의 환경영향 평가항목에 있는 조류 수준의 간단한 평가만

이루어지고 있고, 게다가 2016년에 새롭게 해양 보호생물로 지정되어 협의서에 내용 자체가 포함 되지 못한 경우가 다수다. 전남해상풍력(Y4), 영광-낙월 해상풍력(Y5)의 경우, 바닷새에 대한 내용이 포함되었으나, 문헌자료 등을 통한 현황 파악 후, 육안에 의한 현지조사를 수행하여 미흡한 영향 예측과 저감방안을 제시하는 등 원론적인 언급에 그쳐 있다.

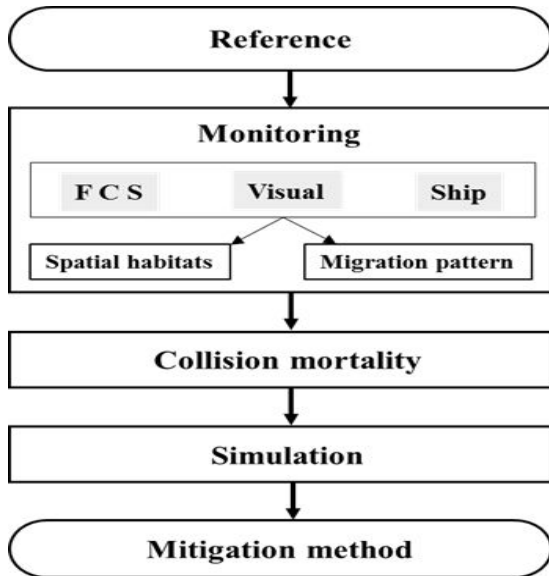
바닷새는 다른 해양 동물과 비교하여 해상에서 관찰이 용이하다. 이로 인해, 개체 수 증감이나 분포 변화를 통해 어업활동과의 관계 및 해양생태계의 변동을 파악할 수 있는 지표에 해당한다. 즉, 바닷새 조사 자료는 해양생태계를 파악하는데 있어서 매우 중요한 지시자(indicator)가 될 수 있다. 따라서 해상풍력사업에 따른 해양보호생물을 포함한 바닷새 영향평가를 위해서는 현지조사를 강화하고, 중별 민감도 평가가 우선되어야 한다(Kim et al., 2011, Kim et al., 2014). 이를 위해 과거 문헌자료(reference search)를 통한 충분한 기초자료를 확보한 후 이에 근거하여 바닷새의 생태분석(life cycle analysis)과 공간분포에 대한 정보를 파악해야한다. 항공(Flight control system: FCS), 육상(Visual) 선박(Ship)을 활용한 직접조사를 통해 바닷새의 공간분포(Spatial habitats) 및 이동패턴(Migration pattern) 자료를 얻을 수 있다. 선박 활용조사와 함께 위치추적기 부착 대상종을 선정하여 번식조류의 이동을 조사하고, 육상에 레이저 조류 관측 시스템을 마련하는 것이 바람직하다. 이러한 관측 자료를 종합하여 이동패턴과 공간분포를 밝힐 필요가 있다(Wind energy, 2020, [Fig. 7]). 해상풍력 발전으로 인해 조업구역의 축소가 우려되어 다양한 방법으로 이를 평가하는 연구가 진행 중이다(Oh and Yeo, 2019). 바닷새의 경우에도 풍력기가 위치한 곳을 회피하게 되는데, 이는 해산어류를 포함한 수산자원의 회피로도 이해할 수 있기에 그 변화 정도를 간접적으로 살필 수 있는 자료가 될 수 있다. 따라서, 조업구역 축소와 관련한 산업적 변화에 대한 정

량적인 연구와 더불어, 바닷새와 어류 회유경로 변화와 같은 정성적인 변화에 대한 종합적인 연구가 병행될 필요가 있다.

해상풍력 발전단지에 의한 바닷새의 피해는 시각적으로 회피하는 것, 서식지의 일부가 소실되는 것, 풍력기와 바닷새가 충돌되는 것으로 구분할 수 있다. 이중 가장 우려되는 것은 충돌로 인한 바닷새의 피해이며, 이로 인해 풍력기 회전날개에서 발생하는 외류가 감소되어 시설물의 안정성에도 영향을 끼치게 된다. 아직까지 풍력기와 같은 인공구조물에 부딪치는 바닷새에 관한 민감도 평가가 미흡한 실정이다. 충돌 위험 평가를 위해 풍력기와 서식지와의 이격거리를 고려하고, 풍력기 블레이드의 회전높이를 고려한 입체적인 평가방법을 제시하는 등 선진기법을 적용하는 것이 바람직하다.

해상풍력 사업이 대규모로 이뤄지는 영국에서는 GIS(Geographic information system) 툴과 Seamast(Seabird mapping and sensitivity tool)을 결합하여 풍력기에 부딪치는 바닷새의 민감도를 평가한다. 장기간에 걸친 바닷새 현황조사로 과학적인 자료를 구축하고, 격자를 세분화하여, 충돌 민감도를 수치화하고 정책결정에 활용한다. 미국 동부에 건설되고 있는 대규모 해상풍력단지에서 바닷새의 충돌은 시·공간적 플랫폼을 통해 분석한다. 수십 년간의 바닷새 분포와 이동패턴을 근거로 하여, 풍력기와의 충돌이 일어날 수 있는 비율을 수치로 제시한다. 영국과 미국의 충돌 모형실험은 바닷새에 국한되지 않고, 회유하는 패턴을 보이는 해양포유류의 충돌실험에도 적용이 가능하다. 영국에서는 GIS Mapping 시스템을 활용하여 현황조사와 모델결과를 중첩시켜 계절별 위험정도를 사전에 파악한다(Bradbury et al., 2014, [Fig. 8]). 미국의 경우에는 InVEST 모델을 활용한 풍력발전기 적지선정 연구가 수행된 바 있다(Kaldellis and Kapsali, 2013). 이를 응용하여 바닷새 자료를 추가한 뒤, 정보의 중첩을 통해 바닷새의 충돌 위험에 관한 평가가 이뤄진다(Best

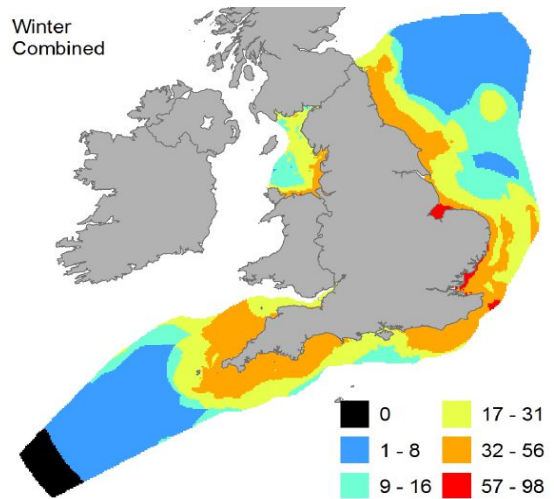
and Halpin, 2019; [Fig. 9]).



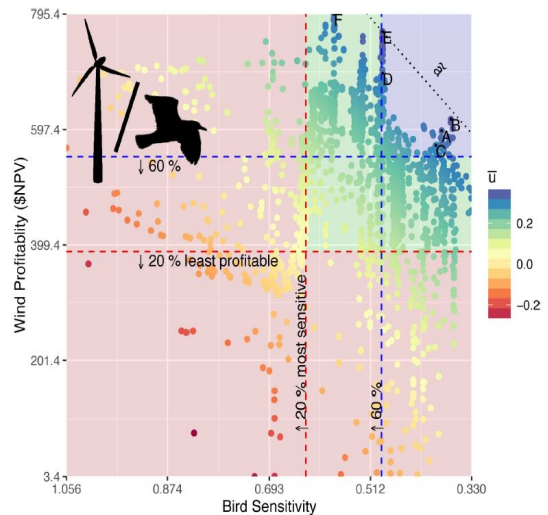
[Fig. 7] Overview of research plan (Source: Wind energy, [2020]).

바닷새의 시각적인 회피현상은 충돌의 위험에서 벗어날 수 있으나 회피행동에 따른 추가 에너지 손실이 발생할 수 있다. 또한, 도서 인근에서 케이블 매설에 따른 해저지형의 변화로 인해 먹이자원의 변화 및 생물다양성에 부정적 영향을 끼칠 수 있다. 그러나 시간이 지나고 바닷새들이 발전구역 자체를 회피하는 경향을 보이면서 충돌, 훼손과 같은 직접적인 위험요인은 감소될 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 운영 시 조류 모니터링의 기간을 산정하는데 기초 자료로 활용이 가능하다. 최근 들어 풍력 터빈의 날개 중 일부에 유색 페인트를 칠하여 조류 사망률이 낮아졌다는 연구결과가 보고되었다(May et al., 2020). May et al.(2020)은 노르웨이 서부 해안지대의 육상 풍력발전단지를 대상으로 흰색인 풍력 터빈 날개 3개 중 1개를 검은색으로 칠한 뒤 조류 사망률이 70%로 감소되었다고 보고하였다. 이처럼 운영 시 새를 쫓는 소음을 발생시키거나, 시각적인 회피를 유도할 수 있는 방안을 마련하여 피해

를 최소화시키고자 하는 다양한 연구가 진행 중에 있다.



[Fig. 8] UK's mapping seabird sensitivity to offshore wind energy (Source: Bradbury et al., [2014]).



[Fig. 9] US's InVEST results for tradeoff between bird sensitivity and wind energy(Source: Best and Halpin, [2019]).

해상풍력 발전단지 주변의 해양보호생물에 관한 서식지, 분포범위, 개체군 변동에 대한 기초적인 현황에 대한 자료는 현재 상당히 제한적이다.

해양환경공단에서 해양보호생물에 관한 정보를 제공하고 있으나, 해당 기관의 기본조사 결과를 축적할 뿐 해양 개발사업에 따른 현장조사 자료는 담고 있지 않다. 또한, 국립수산과학원 고래연구센터에서 제주해역의 남방큰돌고래, 상괭이 등 해양포유류와 바닷새에 관한 조사를 수행하고 있으나, 연구기관의 고유정보에 해당하기에 정보공개가 어려우며 출현공간이 특정되어 있지 못한 실정이다. 따라서 향후 해상풍력 발전단지를 종합적으로 살펴볼 수 있는 공간자료 확보와 공사 및 운영 시 해양환경 및 해양보호생물과 관련한 자료가 투명하게 공개되어야 한다. 이를 활용하여 해역이용협의서 내 해양보호생물에 관한 체계적인 자료처리가 이루어지는 것이 바람직하다. 추가적으로 레이더 및 카메라를 통해 획득한 실시간 자료를 활용한 플랫폼 개발을 통해 대책마련 및 시민홍보에 활용될 수 있도록 해야 할 것이다.

References

- Best BD and Halpin PN(2019). Minimizing wildlife impacts for offshore wind energy development: winning tradeoffs for seabirds in space and cetaceans in time. *PloS ONE* 14(5): e0215722. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215722>.
- Bradbury G, Trinder M, Furness B, Banks A, Caldow RWG and Hume D(2014). Mapping seabird sensitivity to offshore wind farms. *PloS ONE* 9(9): e106366. doi:10.1371/journal.pone.0106366
- Cho KJ(2020). Abstract, Ann meet. The Korean Society for Marine Environment and Energy, 133.
- Comsol(2020). Sea of change for wind turbines. Retrieved from <https://www.comsol.com/blogs/seas-change-wind-turbines> on Sep 8.
- deCastro M, Salvador M, Gomez-Gesteira M, Costoya X, Carvalho D, Sanzi-Larruga FJ and Gimeno L(2019). Europe, China and the United States: Three different approaches to the development of offshore wind energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 55~70. <https://doi:10.1016/j.rser.2019.04.025>
- Kaldellis JK, and Kapsali M(2013). Shifting towards offshore wind energy - recent activity and future development, *Energy Policy*, 53: 136~148. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.032>
- Kim CW, Yook KH, Choa MR and Lee HY(2020). Abstract, Ann meet. The Korean Society for Marine Environment and Energy, 133.
- Kim HW(2011) Distribution patterns and population abundance estimates of Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) off the Jeju Island, Korea, in the early 2000s. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea
- Kim HW, Kim JG and Choi SG(2011). Seabird distribution patterns by sighting survey in the East Sea in spring, *Kor. J. Eco.*, 25(2): 123~131.
- Kim HW, Kim YH, An YR, Park KJ and An DH(2014). Seabird distribution patterns by strip transect in the Yellow Sea in spring, *Kor. J. Fish Aquat. Sci.*, 47(6): 973~977. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0973>
- Kim J, Lim SY and Yoo SH(2017). Measuring the economic benefits of designating Baegnyeong Island in Korea as a marine protected area, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 24(3): 205~213. <https://doi.org/10.1080/13504509.2016.1232318>
- Koller J, Koppel J, and Peters W(2006). Offshore wind energy: Research on environmental impacts, Springer Science & Business Media, 77~84.
- Lee DI, Kim GY, Tac DH, Lee YM, Choi JH, Kim HJ, Lee JH and Yoon SS(2015). 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. <https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2015.18.3.179>
- Lee JG(2020). Green new deal, How to be an alternative of climate and economy crisis?, *Mareukeuseu* 21. 32, 65~78.
- Lee YW, Choi Y, Lee HH and Hwang BK(2014). Inhabitant and appearance of finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) in the coastal Wido,

- Korea, JFMSE, 26(3): 578~586.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2014.26.3.578>
- May R, Nygard T, Falkdalen U, Astrom J and Hamre O(2020). Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities, Ecology and Evolution, 2020(10): 8927~8935.
<https://doi.org/10.1002/ece3.6592>
- MOF(2020). Announcement of offshore wind energy development plan in cooperation with fishery industry and people. Retrieved from
<http://www.mof.go.kr/article/view.do?menukey=972&boardkey=11&articlekey=34932> on Sep 8.
- NIFS(2020). Annual review report of marine environmental impact assessment. National Institute of Fisheries Science, 1-5.
- Oh HT and Yeo MY(2019). Status and improvement of marine environmental impact assessment for offshore windfarm project, JFMSE, 31(5): 1470~1481.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2019.10.31.5.1470>
- Park KJ, Kim ZG and Zhang CI(2007). Abundance estimation of the finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, using models of the detection function in a line transect, J. Kor. Fish. Soc., 40(4): 201~209.
<https://doi.org/10.5657/kfas.2007.40.4.201>
- Park KJ, Sohn HS, An YR, Kim HW and An DH(2015). A new abundance estimate for the finless porpoise *Neophocaena asiaorientalis* on the west coast of Korea: An indication of population decline, Fish. Aquat. Sci., 18(4): 411~416.
<https://doi.org/10.5657/FAS.2015.0411>
- Park KJ, Sohn HS, Kim YH, Kim DN, Kim HW, An DH and An YR(2013). Note: Feasibility of aerial surveys of finless porpoise *Neophocaena asiaorientalis* off the west coast of Korea. Kor. J. Fish. Aquat. Sci., 46(6): 966~969.
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0966>
- Park KJ, Yoon YG, Sin JH, Sohn HS and Choi YM(2017). Distribution and seasonal change of finless porpoise *Neophocaena asiaorientalis* population near Gadeok island, Korea, Korean J. Fish. Aquat. Sci., 50(5): 561~566.
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0561>
- Snyder B and Kaiser MJ(2009). Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy, Renewable Energy, 34(6): 1567~1578.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.015>
- 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, Ocean Policy Research, 30(2): 163~186.
- Wind energy(2020). Impacts on marine mammals and sea birds impacts on marine mammals. Retrieved from <https://www.wind-energy-the-facts.org/impacts-on-marine-mammals-and-sea-birds.html> on Sep 8.
- Yook KH(2014). Abstract, Ann meet. The Korean Society for Marine Environment and Energy, 2288.
- Zhang CI, Park KJ, Kim ZG and Sohn HS(2004). Distribution and abundance of finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) in the west coast of Korea, J. Kor. Fish. Soc. 37(2): 129~136.
<https://doi.org/10.5657/kfas.2004.37.2.129>
-
- Received : 15 September, 2020
 - Revised : 14 October, 2020
 - Accepted : 04 November, 2020