

# 한반도 해양성 조류의 생활사적 특성을 고려한 해상풍력발전 환경영향평가에 대한 고찰

이승연\*·이후승\*\*

## A Review on Environmental Impact Assessment of Offshore Wind Farms Related to the life-history of Marine Birds on the Korean Peninsula

Seungyeon Lee\* and Who-Seung Lee\*\*

*Key Words* : Offshore Wind Farm (해상풍력발전), Marine Bird (해양성조류), Black-tailed Gulls (괭이갈매기),  
Environmental Impact Assessment (환경영향평가), Spatial Information Map (공간정보도)

### ABSTRACT

Offshore wind farms (OWFs) should be promoted as part of global efforts to respond to climate change, and efforts to preserve biodiversity in terms of climate change adaptation should also be considered. However, the ecological status of marine birds related to OWFs on the Korean Peninsula, such as habitat and reproduction, are not well known. In this study, ecological reasons for the reproductive status of Black-tailed gulls in Korea and representation related to OWFs, the evaluation direction of marine birds related to OWFs was presented. In a review of the techniques for monitoring marine birds, it was confirmed that Korea also needs to provide basic status information on marine birds at the national level. In addition, this study analyzed the reproductive status and related research status of Black-tailed gulls, an important indicator and dominant species on the Korean Peninsula, in relation to marine development projects including OWFs. Furthermore, the direction of environmental impact assessment preparation and impact prediction for various development projects promoted in the ocean, such as OWFs, was considered.

### 1. 서론

기후변화에 대한 대응전략으로서의 탄소중립 이행은 전 지구적인 노력으로 확대되고 있다[1,2]. 탄소배출을

최소화하기 위한 방안 중 해상풍력발전 설치는 신재생 에너지원으로서 유럽을 중심으로 증가하고 있다[3,4]. 우리나라도 해상풍력발전에 대한 적극적인 추진이 확대되고 있으나, 사업추진에 있어 환경영향평가 시 자연 및 사회 환경적 쟁점이 부각됨으로서 갈등이 초래되고 있다. 이에 해상풍력발전 사업으로 인한 환경적 영향에 주된 쟁점사항에 대해 체계적인 논의가 필요하다.

해양에서의 개발사업은 육상과 다른 높은 개방성(open space)으로 인하여 환경영향평가 시 자연생태와관련하여 세심한 접근이 요구된다. 해양생물(marine organisms)의 경우, 생활사가 대부분 바닷속(underwater)에 기반하기 때문에 개발사업의 영향 정도를 파악하는

\* 한국환경연구원 국토정책평가실 연구원

\*\* 한국환경연구원 국토정책평가실 연구위원(교신저자)

E-mail : wslee@kei.re.kr

DOI : <https://www.doi.org/10.33519/kwea.2023.14.3.008>

Received : June 05, 2023, Revised : August 29, 2023

Accepted : August 30, 2023

데 어려움이 있다. 하지만, 해양성 조류와 포유류의 경우, 이동(migration)과 분포(distribution) 등의 변화를 직·간접적으로 확인할 수 있기 때문에, 해상풍력발전 사업에 있어 주된 검토항목으로 주목받고 있다[5]. 예를 들어, 영국의 해상풍력발전 사업에 대한 영향평가 가이드라인을 보면 자연환경 측면에서는 해양성 조류와 포유류에 대한 영향예측과 저감방안 및 사업 이후 지속적인 모니터링을 통한 영향 최소화 노력을 강구하고 있다[6].

한반도는 해양성 조류를 포함한 다양한 생활사적 특성을 지닌 조류에게 국제적으로 중요한 서식역이다. 삼면이 바다인 반도적 특성과 사계절이 뚜렷한 기후적 영향으로 인해 시기별로 다양한 조류상이 도래하여 종 다양성의 시계열적 변화가 크다. 더불어, 국제적 보호종을 포함한 해양성 조류의 번식도서가 한반도 주변에 고르게 분포하고 있어 보전 가치가 높다. 이에 최근 유네스코는 한국의 갯벌을 세계유산으로 지정하였는데, 해양성 조류 등 중요 보호종의 서식기반으로서의 전 지구적 가치가 국제사회에서도 인정되었음을 의미한다.

한반도 해양성 조류의 대표 우점종인 갯이갈매기 (*Larus crassirostris*)는 서해를 중심으로 집단번식지가 삼면에 분포하고 있으며, 빨레비갈매기(*Thalasseus bernsteini*), 저어새(*Platalea minor*) 등 국제적 보호종

과 함께 집단번식한다. 한반도의 해양성조류 중 가장 많은 연구가 수행되었고, 중국, 일본, 러시아 등 주변 국가에서도 관련 연구가 지속적으로 보고되는 해양환경의 지표종(indicator species)이다. 특히, 환경부 등에서는 해상풍력발전, 기후변화영향 등과 관련하여 갯이갈매기를 중심으로 한 공간이용정보도 구축을 위한 연구사업도 수행중이다. 하지만 갯이갈매기 등 해양성 조류의 번식현황에 대한 정보가 미흡하여 해상풍력 등 해양관련 개발사업에 대한 환경영향평가 시 장시간의 현황조사로 인한 경제적·시간적 소비에 대한 문제점이 확인되고 있다.

본 연구에서는 해양개발사업 관련 주요 지표종이자 한반도에 번식·서식하는 갯이갈매기의 번식과 연구수행 현황을 사례로서 분석하고 해상풍력발전 등 해양에서 추진되는 개발사업에 대한 환경영향평가 방향에 대하여 고찰하고자 한다.

## 2. 해양성 조류의 생활사적 특성

해양성 조류는 바다를 이용하는 조류를 포괄하는 것으로 정의된다. 해양성 조류에는 물새(waterfowl), 바닷새(seabird), 섬금류(shorebird) 등 다양한 생활사적 특성(life-history traits)을 지닌 조류가 포함된다

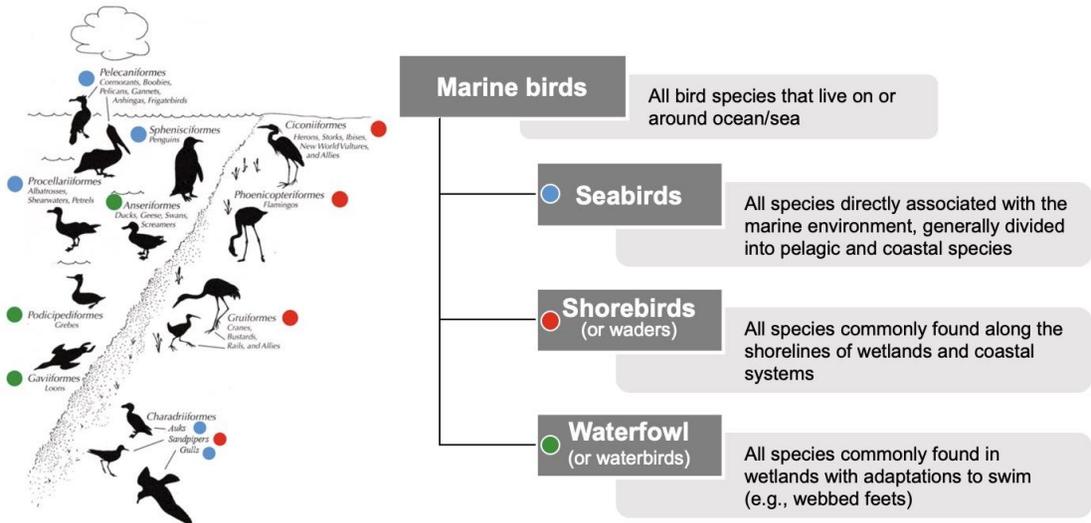


Fig. 1. Schematic illustration (modified from [7]) of the world's 10 order of living marine birds associated to their aquatic primary habitat and classified in the three main group: seabirds (blue circle), shorebirds (red circle), and waterfowl (green circle) (Left side), Definition of marine birds and the three related groups according to [7]

(Fig. 1). 해양성 조류의 가장 큰 생활사적 특징은 집단번식(colonial breeding)이다. 집단번식은 번식시기에 도서 등 번식지에 밀집하여 공동으로 번식하는 것을 말한다. 집단번식의 장점은 포식자에 대한 공동대응 및 먹이장소에 대한 정보공유 등이다. 반면 높은 번식 밀도로 인한 등지장소 선택에 대한 경쟁 및 종내·종간의 다툼 등 단점도 있다[8]. 하지만 생태적으로 그룹선택(group selection)에 따른 생태적 적응도(ecological fitness)의 극대화 측면에서 집단번식은 개체군 유지에 중요한 생태적 기능으로 진화되어 왔다[see 22].

집단번식은 해양성조류의 행동적 특성을 시계열적으로 다르게 하는 전략을 선택하게 하였다[23]. 쉽게 말해, 집단번식은 번식기와 비번식기의 취식행동과 개체군 분포를 다르게 하였는데 취식행동의 목적과 취식의 대상이 다르기 때문이다. 예를 들어, Manx shearwaters (*Puffinus puffinus*)는 번식기 동안 번식지와 취식지를 최단거리로 비행하는데, 이는 생존과 번식성공을 고려한 에너지최소화 전략에 따른 것으로 알려져 있다. 반면 번식 직후에는 스스로의 생존을 위한 취식이기 때문에 먹이확보와 생존에 유리한 지역에서의 활동을 우선적으로 선호한다[24]. 이에 행동학적 측면에서 번식기 공간이용은 번식지가 유지되는 한 명확하고 특정시기에 반복됨을 의미하며, 비번식기의 공간이용은 기후와 취식환경에 따라 변동될 수 있는 특징이 있음을 시사한다.

취식에 대한 해양성 조류의 가장 큰 특징은 어업 등 인간 활동에 대한 높은 의존도이다. 어선을 이용한 어업 활동과 양식장 운영이 해양성 조류 취식행동에 긍정적이거나 부정적인 영향을 함께 주는 것으로 보고되어 있다[25]. 예를 들어, 과도한 어업활동은 어류 개체군의 크기를 감소시켜 해양성 조류 개체군의 생존에 부정적인 영향을 초래할 수 있다. 또한 항구에서의 어민활동(그물정리 등)이나 연안에 인접한 쓰레기매립장 등은 먹이원 확보를 위한 해양성 조류의 유입을 초래하여 해양쓰레기로 인한 신체적 피해 등 부정적 영향을 초래할 수 있다[예, 갯이갈매기의 해양쓰레기 피해, 26].

해양에서의 개발사업 관련 환경영향평가 시 해양성 조류에 대한 영향은 생활사적 특성을 고려하여 직접적으로는 사업으로 인한 서식·번식환경의 교란·훼손 그리고 간접적으로는 생태적 에너지 수지(ecological energy budget) 영향으로 구분될 수 있다. 즉, 서식지에서의 시설물 설치에 따른 물리적 서식공간 감소[see 27]와 시설물 회피로 인해 증가된 비행에너지 등과 같

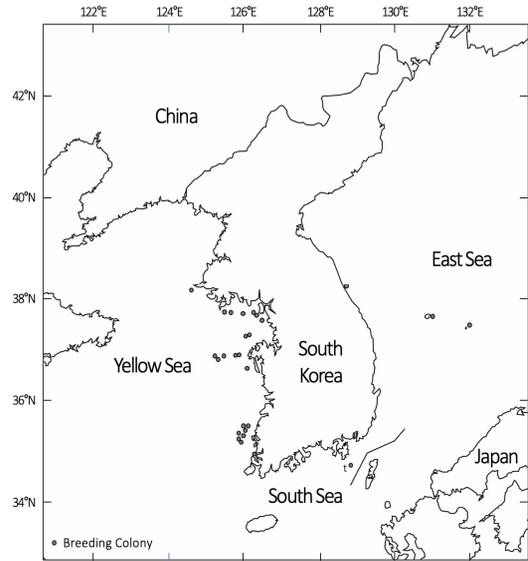


Fig. 2. Breeding colonies (black circles) around the Korea Peninsula

은 생태생리적 추가비용에 따른 부정적 영향 등이다 [see 28]. 예를 들어, 육상조류는 주변에 회피할 수 있는 수목 등 자연지형물이 존재하기 때문에 추가 비행 비용 증가에 대한 회복할 수 있는 공간이 존재하나, 해양의 개방된 환경은 회피할 수 있는 공간의 제약으로 인해 생태생리적 비용(eco-physiological cost)이 추가될 수밖에 없는 특징을 지내고 있다[29].

### 3. 사례고찰: 한반도 갯이갈매기 서식·번식 현황

#### 3.1 종의 생활사적 특성과 번식현황

한반도 해양성 조류 중 우점종인 갯이갈매기 (*Larus crassirostris*)는 도요목(Charadriiformes) 갈매기과(Laridae)에 속하는 종으로 한반도, 일본, 중국 동부, 러시아 동남부 등의 극동아시아 해양 및 해안에 주로 분포한다(Fig. 2)[30]. 암수는 외형적으로 차이가 없으나 보통 수컷의 몸 크기가 크다. 번식시기는 4월 초부터 8월 말까지이며, 육지에서 멀리 떨어진 도서 등에서 집단으로 번식하며 바위절벽이나 초지를 등지장소로 이용한다[31,32]. 한 배 산란 수(한 마리의 어미가 1회 번식에 낳는 알의 수)는 1-3개이며[33], 평균 번식 성공률은 약 33%이다[34]. 주요 먹이원은 멸치, 전갱이, 고등어, 까나리 등의 해양성 어류와 새우, 오징어

Table 1. General status of major breeding colonies in Black-tailed gulls around the Korean peninsula.

Sea	Colony (Island)	Location	Maximum size of population	Area(m <sup>2</sup> )	Spatiality	Ref.	
Yellow (west)	Baengnyeongdo	37°58'12"N 124°43'10"E	2,000('07)	51,120,000	-	[9]	
	Gujido	37°38'16"N 125°40'53"E	16,000('08)	50,082	Sp.	[10]	
	Eopyeongdo	37°14'33"N 126°23'31"E	4,000('07)	146,578	Sp.	[11]	
	Seomando	37°33'12"N 126°15'43"E	23,000('16)	91,835	Sp.	[12]	
	Dongmando	37°32'48"N 126°16'21"E	1,100('01)	82,314	Sp.	[12]	
	Shindo	37°30'27"N 126°02'42"E	6,100('16)	3,623	Sp.	[12]	
	Bido	37°36'36"N 126°58'04"E	4,000('12)	2,380	Sp.	[13]	
	Seogdo	37°37'25"N 126°15'38"E	7,300('14)	1,190	Sp.	[13]	
	SeoGyeongnyeolbido	37°36'39"N 126°32'37"E	6,400('15)	128,903	Sp.	[14]	
	DongGyeongnyeolbido	37°37'02"N 126°34'29"E	34,000('15)	277,686	Sp.	[14]	
	Nando	36°39'36"N 125°49'25"E	28,224('22)	47,000	Nm.	[23]	
	Gungsido	36°40'02"N 126°02'06"E	270('15)	150,000	-	[14]	
	Chilsan	Ilsan	35°18'31"N 126°16'13"E	1,182('19)	4,054	Nm.	[15]
		Yisan	35°18'47"N 126°15'44"E	5,500('16)	10,066	Nm.	[14]
		Samsan	35°19'09"N 126°16'01"E	5,600('16)	8,052	Nm.	[14]
		Sasan	35°19'12"N 126°16'14"E	13,153('19)	26,392	Nm.	[15]
		Yugsan	35°19'23"N 126°16'36"E	26,457('19)	41,355	Nm.	[15]
	Galguye	35°17'30"N 126°13'53"E	1,400('07)	16,420	-	[16]	
	Nabdaegi	35°15'57"N 126°13'17"E	2,590('16)	7,645	-	[12]	
	Sonoin	35°17'06"N 126°12'34"E	5,900('21)	18,446	-	[12]	
	Bulmugido	34°45'32"N 126°13'27"E	1,300('18)	32,590	Sp.	[15]	
	Gakheuldo	37°07'45"N 126°01'12"E	1,250('16)	382,314	Sp.	[14]	
	Tonggakheuldo	37°06'59"N 126°01'15"E	470('16)	9,223	Sp.	[12]	
	Sotonggakheuldo	37°08'17"N 126°00'47"E	1,600('14)	4,959	Sp.	[13]	
	Jungtonggakheuldo	37°07'11"N 126°01'11"E	4('14)	4,562	Sp.	[13]	
	Tokkiseom	37°03'27"N 126°00'37"E	180('16)	4,661	Sp.	[12]	
	Hwangseodo	37°12'36"N 126°21'46"E	7,500('18)	36,298	-	[11]	
	Sulibong	37°08'17"N 126°13'09"E	90('06)	5,157	Sp.	[17]	
	Hambackdo	37°40'40"N 126°01'41"E	1,000('06)	19,971	-	[17]	
	Mungteungdo	37°16'27"N 126°16'38"E	350('06)	5,112	Sp.	[18]	
	Nanggakheuldo	37°08'21"N 126°01'26"E	2,400('07)	44,727	Sp.	[11]	
	Sonanggakheuldo	37°08'10"N 126°01'29"E	1,600('14)	19,041	Sp.	[11]	
Nabseom	37°04'13"N 126°00'17"E	200('14)	16,000	-	[19]		
Gwando	37°05'03"N 125°59'08"E	2,000('14)	15,074	-	[19]		
Bulseom	37°11'30"N 126°12'46"E	2,800('07)	18,000	-	[11]		
Norusum	36°01'56"N 126°34'37"E	1,100('21)	3,200	-	[66]		
Habulseom	37°04'49"N 125°59'19"E	350('14)	28,000	-	[19]		
South	Hongdo	34°32'13"N 128°43'58"E	113,458('22)	98,380	Nm.+Sp.	[23]	
East	Gwaneumdo	37°32'36"N 130°55'16"E	1,000('21)	71,405	-	[20]	
	Dokdo	37°14'27"N 131°52'10"E	15,000('21)	73,297	Sp.	[20]	
	Wolmido	37°17'01"N 129°19'36"E	3,000('22)	8,541	-	[21]	

Note that Sp. and Nm. represent 'Specific Island' and 'Natural monument'. The parentheses show the recored year

등의 해양무척추동물이다[35].

한반도 주변의 갯벌이갈매기 번식지는 대부분 서해안에 위치하며(Table 1), 남해와 동해에는 각각 1개소(경남 통영시 홍도)와 3개소(독도, 울릉군 관음도, 강원도 삼척)로 알려져 있다. 현재까지 문헌과 보고 등을 통해

서해안 번식지는 백령도, 구지도, 어평도, 서만도, 동만도, 신도, 비도, 석도, 격렬비열도, 난도, 궁시도, 칠산도, 납대기, 불무기도, 각홀도 등이다[36]. 하지만 아직까지 한반도 전역에 대한 도서별 번식현황에 대해서는 체계적으로 조사가 수행되지 않아 향후 조사가 필요하다.

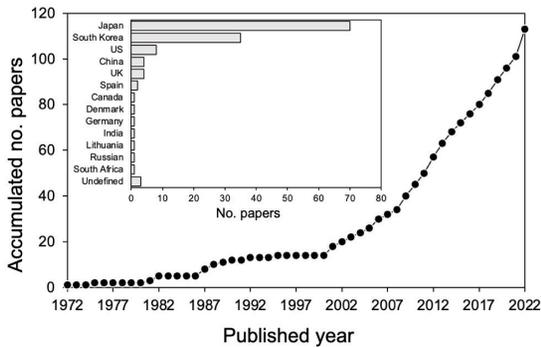


Fig 3. Growth in the research about Black-tailed gulls using 'black-tailed gulls' on the Scopus carried out in 28th May 2023. Scopus URL: <https://www.scopus.com>

괭이갈매기에 대한 연구는 국제적으로 1972년도에 처음 논문이 발표된 이후 지속적으로 증가하고 있다. 2007년 이후 관련 논문의 수가 이전에 비해 약 3.5배 빠르게 증가하였다. 국가별로는 괭이갈매기가 주로 서식하는 일본과 한국이 전체의 약 79%로 대부분 수행하였다(Fig. 3). 연구 주제는 번식생태, 기후변화, 공간이용 등 생태적 주제가 전체의 약 63%에 이르렀다. 특히 기후변화와 관련하여 주요 번식도서에 도래하는 개체군의 규모와 기초적인 번식현황에 대해 장기적인 모니터링이 수행되었고, 천연기념물인 경남 홍도와 충남 남도에서의 개체군 밀도가 일정하게 유지되고 있음이 보고된 바 있다[37].

최근 환경부, 해수부 등에서는 해상풍력발전 관련 환경영향평가를 위한 입지지원을 위해 괭이갈매기를 중심으로 한 연구를 수행중이다[38]. GPS 위치추적장치를 이용하여 괭이갈매기의 이동과 분포 등을 분석 중이며 서로 다른 번식지 및 비번식지에서 괭이갈매기를 포획하고 최소 2년간의 모니터링을 토대로 핵심 서식지 도출을 목적으로 하고 있다. 이와 관련하여 괭이갈매기 위치추적 기반의 서식역 분석은 독도, 일본 등에서 연구된 바 있고, 경남과 일본 오키섬 등의 지역으로 분산 결과를 분석한 바 있다[39].

### 3.2 해양생태계의 괭이갈매기 대표성에 대한 고찰

개발사업에 대한 환경영향평가 시 멸종위기야생생물 등 법정보호종에 대한 종과 서식역은 원형보전 수준의 보전방안이 우선되는 것이 필요하다. 육상생태계의 경우, 명확한 서식지와 종의 이동·분포에 대한 정보

를 확보할 수 있기 때문에 법정보호종 중심으로의 방안 마련은 적절한 방법이라 할 수 있다[40]. 하지만, 해양환경은 육상과 달리 도서역을 제외하고는 서식공간을 특정하는데 어려움이 있기 때문에 육상과 다른 접근이 필요하다.

괭이갈매기는 한반도 해양성 조류의 최대 우점종으로 한반도 주변 전역에 걸쳐 번식을 하고 있으며 나아가 다양한 멸종위기야생조류(예, 노랑부리백로, 저어새 등)와 함께 집단번식을 하고 있다. 따라서 집단번식이지는 취식 정보공유의 장점을 고려할 때 괭이갈매기와 멸종위기조류는 공간이용 패턴이 매우 유사할 것으로 사료된다[see 45]. 이에 멸종위기종이 아닌 일반종을 통해 간접적인 서식역을 분석하는 것은 멸종위기조류의 종과 서식역에 대한 보전적 측면에서 유리할 수 있기 때문에 괭이갈매기를 통한 해상풍력발전의 영향을 분석하는 것은 적절한 방법이 될 수 있다. 예를 들어, 2021년 이후 환경부에 접수된 대부분의 해상풍력 발전에 대한 사업 등에 있어 괭이갈매기를 이용한 공간분석 결과 저어새 등의 위치추적 분석 결과 취식역 등이 중첩되는 것이 확인되었다(unpublished data).

일부 괭이갈매기 집단번식지는 특정도서 또는 천연기념물 등으로 지정되어 있다. 환경부가 지정하는 특정도서는 「독도 등 도서지역의 생태계보전에 관한 특별법」에 의거하여 건축물 등의 신축·개축·증축 및 공유수면의 매립 등 행위가 제한된다. 또한 문화재청에서 지정하는 천연기념물은 「문화재보호법」에 의해 출입 및 포획·반출 등 행위가 제한된다. 즉 괭이갈매기의 일부 번식지는 행위제한과 같은 보전정책이 수립되어 있지만 그 외의(또는 알려지지 않은) 번식지에 대해서는 보호대책이 수립되어 있지 않다. 따라서 괭이갈매기의 생태적 특성과 번식도서가 가지는 보전적 가치 및 법적인 행위제한 등을 종합할 때, 해상풍력발전 등과 같은 해양환경에서의 개발사업에 대한 영향예측 대상종으로의 대표성은 충분하다고 판단된다. 또한 번식도서 및 주변지역에서의 개발사업 추진에 있어 괭이갈매기를 중심으로 한 면밀한 현황조사와 영향예측 및 보전방안을 고려하는 것이 필요하다.

## 4. 해상풍력발전과 해양성조류의 연계성

### 4.1 해상풍력발전이 해양성조류에 미치는 영향

국내 해상풍력발전에 대한 환경영향평가는 2010년 최초 협의된 이후 지속적으로 증가하고 있다(Fig. 4). 환경부 환경영향평가정보지원시스템에 따르면, 2002년부터 2022년까지 육상과 해상에서의 환경영향평가 대상 풍력발전사업은 총 171건이다. 이중 육상풍력발전이 146건(약 85.4%)이고 해상풍력발전은 25건(약 14.6%)이다. 연간 협의대상 사업은 지속적으로 증가하고 있으며, 특히 2015년 이후 빠르게 증가하는 추세를 보였다. 해상풍력발전의 경우 2014년 이후 일정하게 증가하였고 2021년 이후 증가속도가 빨라지는 경향을 보인다.

해상풍력발전을 추진함에 있어 가장 중요한 요소는 ‘바람’으로 연간풍속이 고르게 유지될수록 안정된 발전량을 확보할 수 있다. 해양에서의 풍력이 높은 공간은 해양성 조류에게도 중요하다. 예를 들어, Butler et al. [46]은 장거리 비행을 하는 도요물떼새류 및 물새류 등의 경우 바람의 세기는 이동성공을 결정하는데 매우 중요한 환경적 요인임을 보고하였으며, 최근 연구[예, 47]에서는 계절보다 바람의 세기가 이동시기 결정에 영향을 주고 있음이 확인되었다. 또한 해양성 조류의 취식 성공과 풍력의 세기는 긴밀한 관계인데, 먹이자원이 될 수 있는 어장 형성에 영향을 주는 해류가 풍력과 양의 상관관계가 있기 때문이다[48,49]. 따라서 높은 풍력과 풍부한 어장 및 해양성 조류의 취식공간은 서로 중첩되기 때문에 해상풍력발전 사업 추진은 직간접적으로 해양성조류에게 영향을 준다[50].

해상풍력발전이 해양성 조류에게 미치는 영향은 크게 다섯 가지로 구분될 수 있다(Fig. 5). 첫째는 해양의 개방된 환경에 조성되는 인공구조물로서 주변 집단번식지 개체군의 취식비행 교란과 물리적 충돌로 인한 번식성공률 감소를 초래할 수 있다. 두 번째는 해상풍력발전

기와의 조류충돌로 날개의 회전으로 발생하는 와류는 이 부근을 지나는 조류를 끌어들이어 터빈이나 타워 등에 충돌을 일으키거나 규칙적으로 휴식 및 취식하는 지역 등 중요 이동경로 및 지역적 경로상에 위치함으로 인한 충돌영향이 초래될 수 있다. 셋째는 인공구조물 설치에 따른 서식 방해와 교란영향으로 종의 일주행동, 주요 서식지와의 위치, 대체서식지 이용가능성 등 다양한 서식 환경적 특성에 따라 영향을 받을 수 있다. 넷째는 단지형태로 계획되는 해상풍력발전의 경우 발전기를 회피하기 위해 조류가 더 멀리 비행해야하기 때문에 이동을 위한 에너지 비용 증가 및 서식지간 단절 등과 같은 부정적인 생리생태적 영향을 초래할 수 있다. 예를 들어, Fig. 5에서 이동에 따른 에너지 비용이 ‘ $c(t)$ ’라고 할 때, 풍력발전기의 장벽효과로 인하여 비행경로가 변경될 경우 에너지비용의 합은 ‘ $c(t)+\alpha$ ’로 증가됨을 알 수 있다. 마지막으로는 직접적인 서식지 훼손으로 발전부지 및 설치·운영에 따른 해저지형 변화로 인한 먹이 자원의 변화 등을 초래할 수 있다(see [65]).

해상풍력발전에 있어 해양성 조류에 미치는 영향을 고려하는데 중요한 것이 번식지와 주요 취식지인 것으로 최근 보고되고 있다[41]. 영국과 미국에서는 최근 해상풍력발전으로 인한 해양성 조류 영향을 평가함에 있어 직접적인 발전기와 충돌과 함께 인접 번식지에서의 개체군 생존력 분석(population viability analysis, PVA) 결과를 이용하고 있다[42]. PVA는 대상 개체군의 위험도를 측정하는 분석방법으로 환경요소 및 종의 생태적 변수를 이용하여 개체군을 유지하기 위한 최소 개체군의 크기 등 관리 및 복원계획을 수립하는데 효과적인 방법이다[43]. 예를 들어, Horswill et al. [44]은 해상풍력발전 설치 이전과 이후의 PVA를 비교 시 시나리오 분석을 실시함으로써 풍력발전 사업에 의한 영향여부를 정략적으로 도출하였고 사업 추진여부를 결

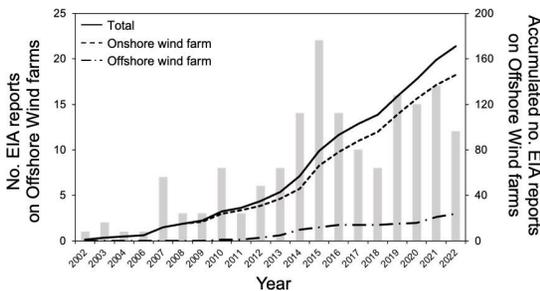


Fig. 4. Annual trends in EIA reports on both onshore and offshore wind farms (left) and cumulated number of EIA reports (right). Source data from EIASS (<https://www.eiass.or.kr>).

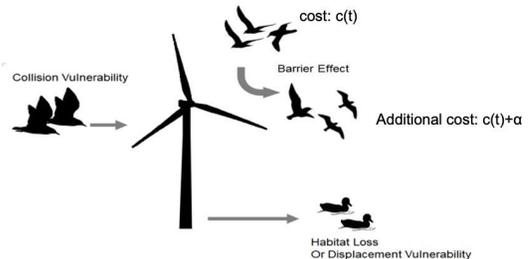


Fig. 5. Impact of offshore wind farms on marine birds. Modified from Fig. 2 on [53]

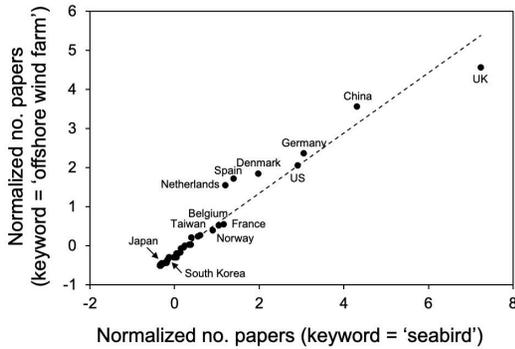


Fig. 6. No. publications in seabirds related to publications in offshore wind farms among countries. using 'offshore wind farm' and 'seabird' on the Scopus carried out in 28th May 2023. Scopus URL: <https://www.scopus.com>.

정할 수 있는 타당성 확보방안으로 제안하였다.

영국과 EU 등 해상풍력발전을 통해 탄소중립 이행을 빠르게 추진하는 국가에서의 환경영향평가 및 사후 모니터링 보고서를 보면, 해양성 조류에 대한 영향을 중요하게 다룬다[54]. Fig. 6은 문헌조사를 통해 해양성 조류 중 바다새의 생태와 환경 관련 해상풍력발전 에 대한 국가별 연구현황이다. 흥미롭게도 해상풍력발전 추진이 빠른 국가들에서 이미 기반연구로 바다새의 연구가 충실히 수행된 것을 확인할 수 있다. 우리나라의 경우도, 상위 18번째로 아시아에서는 중국과 대만 다음으로 높은 것을 확인할 수 있다. 비록 해양성 조류의 현황과 해상풍력발전을 추진하기 위한 입지적 특성 등에는 국가별 다양한 요인들의 영향이 있을 것이지만, 최소한 해상풍력에 대한 환경영향평가와 해양성 조류의 연구 고도화 수준이 비례하고 있음을 시사한다. 따라서 국내에서 수행된 해양성 조류 중 우점종이자 상대적으로 높은 빈도로 수행된 갯이갈매기를 토대로 해상풍력발전 에 대한 영향평가를 실시하는 것은 해상풍력 관련 환경영향평가가 고도화될수록 조류에 대한 관심도 높아지기 때문에 연구의 적절성이 확보된 것으로 사료된다. 다만, 연구주제와 관련종 등을 고려한 메타분석 등이 추가로 수행되는 것이 필요하다.

#### 4.2 한반도의 입지적 특성을 고려한 환경영향평가 방향

한반도는 국제적으로 중요 철새 이동경로 중 하나인 동아시아-대양주 철새이동경로에 해당한다. 또한 여름철새의 번식지 및 겨울철새의 월동지로서 생물지

리학적 관점에서 매우 중요한 입지적 특성을 지니고 있다[38]. 조류는 이동 시 에너지 소비를 최소화하기 위해 짧은 이동경로를 선택하거나 해양 상공을 통해 장거리를 이동하는 등 효율적인 이동 전략을 선택한다 [52]. 이와 같은 해양성 조류의 서식에 있어 한반도는 중요한 입지적 특성을 가지고 있기 때문에 해양성 조류의 생활사적 특성을 고려하여 지속적으로 관련 연구를 추진하는 것이 필요하다.

해양성 조류와 관련하여 한반도는 공간적으로 동서해안이 서로 상반된 생활사적 특성을 지니고 있다 (unpublished data). 서해안의 경우, 낮은 수심과 높은 밀도의 도서역으로 인해 갯이갈매기, 저어새 등 다양한 해양성 조류의 번식지가 분포하고 있다. 반면 동해안의 경우, 깊은 수심과 낮은 밀도의 도서역으로 인해 현재까지 3곳의 번식지만 보고되어 있다. 다만, 수심이 깊은 해양환경 특성으로 인하여 태평양의 다양한 잠수성 바다새의 월동지로서의 중요성이 높다. 남해의 경우, 현재까지 경남 홍도만이 유일한 번식지로 알려져 있고, 동해에서 번식한 조류가 서해 또는 일본과 제주 이하로 이동하는 길목으로 이용되고 있음이 보고된 바 있다[53]. 따라서 해양의 환경적 및 조류생태학적 차이에 따른 생태기능적 특성을 고려하여 해상풍력발전 환경영향평가 시 영향예측을 수행하는 것이 필요하다.

#### 4.3 해상풍력 관련 누적영향평가에 대한 고찰

환경영향평가에서 누적영향평가는 중요한 평가요소 중 하나로 부각되고 있다. 하지만 평가방법론이나 누적영향평가에 대한 필요성 등 지식의 부재에 따른 실효성 부분에서의 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 자연생태 평가항목과 관련하여 생태학적 관점에서의 누적영향평가는 기본적인 사항으로 고려될 수 있다. 환경영향평가에서의 영향예측은 대상사업으로 인한 영향 발생을 기본으로 하지만, 동식물의 경우 소위 배경적 영향이 할 수 있는 인접지역의 현황이 영향예측 결과의 증감을 초래할 수 있기 때문이다(Fig. 7a). 예를 들어, Masden et al.[55]은 최초 해상풍력발전을 설치할 경우의 해양성조류에 미치는 영향과 기 운영 중인 발전단지에 인접하여 추가로 풍력발전기가 설치될 경우 조류의 이동과 분포에 미치는 영향은 다를 수 있기 때문에 누적영향을 고려하여 평가해야 함을 제안하였다. Fig. 7b에서 보듯이 누적영향(CD)은 시간(t)에서 운영활동(Ai), 환경적민감성(Rj), 위치(x)를 이용한 함수

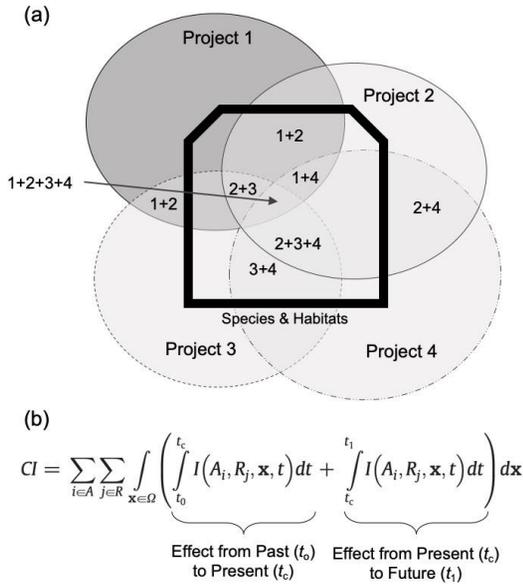


Fig. 7. (a) Schematic diagram in cumulated effect and (b) equation of cumulated effect from past to present or from present to future [55].

(I)의 과거( $t_0$ )에서 현재( $t_c$ )까지의 영향과 현재( $t_c$ )에서 미래( $t_1$ )까지의 영향을 더한 것으로 계산될 수 있다. 쉽게 말해, 장벽효과로서의 해상풍력발전 영향으로 추가적인 비행비용이 발생할 경우, 하나의 풍력단지(즉, 단일장벽)가 있을 경우와 복수의 풍력단지가 중첩적으로 있을 경우 비행의 생리생태적 추가비용은 달라질 수 있어 최종영향에 차이가 발생할 수 있다.

자연생태 측면의 누적영향평가 방법은 종과 서식환경 그리고 영향의 종류에 따라 달라질 수 있다[55]. 해상풍력발전의 경우, 장·단거리 비행 변화로 인한 에너지 소비 비용 증가, 직접적인 충돌위험성 및 비행교란영향 증가 등이 생태적 누적영향의 내용이라 할 수 있다. 구체적인 영향에 있어서는 영향이 예상되는 해양성 조류의 생존과 번식 등에 미치는 영향이 될 수 있으나, 조사의 범위와 시간 등을 고려할 때 국내 환경영향평가 제도에서 수행하는데 어려움이 있기에 포괄적 영향으로 접근하는 것이 시작으로서는 적절하다고 사료된다.

## 5. 해양성 조류의 환경영향평가 방향

### 5.1 해양성 조류에 대한 모니터링

해양성 조류의 모니터링은 육상과 달리 조사의 한계성이 명확하다[56]. 개방된 공간에서 조사할 때 갖는 장점도 존재하지만 해상풍력발전과 같이 대규모로 추진되는 사업규모의 특이성으로 인한 조사지역의 특이성으로 가지게 되는 한계이다.

해상풍력발전 관련 해양성 조류 조사방법은 크게 선박조사와 비행조사로 구분된다[53]. 선박조사는 사업 예정지를 격자로 구분한 뒤 해당격자를 선박을 통해 이동함으로써 선박 좌우에 비행·취식하는 조류를 관찰하는 방법이다. 하지만 선박조사는 선박을 이용할 수 있는 해양기상에 영향을 받아 연속적인 조사의 어려움이 있고 나아가 동시에 투입되는 선박과 인력의 규모에 따라 조사결과가 달라질 수 있는 단점을 가지고 있다[57]. 이에 선박조사는 단기간의 조사보다는 장기간에 걸쳐 수행된 결과를 이용하여 분석하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 주요 유럽의 해상풍력발전 선진국들의 경우 1970년대부터 해양성 조류에 대한 모니터링을 지속해오고 있어 입지적 타당성을 평가하는데 충분한 기반자료가 구축되어 있다[see 58]. 반면 국내의 경우는 주로 해양의 도서지역을 중심으로 모니터링을 실시하여 해양에서의 공간정보는 부재하다. 비행조사는 소형항공기와 드론을 이용하는 방법으로 나눌 수 있는데, 기체의 종류에 차이가 있을 뿐 하늘에서 카메라로 해양성 조류현황(종, 개체군 크기 등)을 조사하는 것은 동일하다[59]. 비행조사는 단시간에 넓은 범위를 조사할 수 있는 장점이 있으나, 사진의 해상도에 따라 종의 동정여부가 달라질 수 있기 때문에 전문적 지식과 사진정보에 대한 지식의 축적이 필요하다.

해상풍력발전 등 해양에서의 개발사업에 대한 해양성조류에 대한 모니터링 방법은 전술한 비행조사나 선박조사 등처럼 유사하다. 다만 사업자와 환경영향평가 대행자를 통해 수행하는 국내와 달리 국외에서는 국가 차원에서 제공하는 기초현황자료 연간단위로 구축되어 있고 항공조사 등 해양환경에서의 전문 조류조사 기관에서 조사를 실시한다. 예를 들어, 영국 HiDef는 영국 내 해상풍력발전 사업의 70% 이상과 EU에서 추진하는 사업의 50% 이상에 대한 항공조사를 실시하였는데 (personal communication), 해양성 조류와 포유류에 대한 전문조사를 수행하고 있다. 반면 국내에서는 아직 항공조사는 환경영향평가에서 수행된 바 없고, 선박조사의 경우도 매우 제한된 시간과 범위에서 수행되고 있다[예, 60]. 대신 GPS기반의 위치추적 연구를 통해 핑이갈매기 등 주요 종들에 대한 주요 서식지를 도출

하는 조사가 우선적으로 수행중이다. 더불어 영국의 자연공동보전위원회(Joint Nature Conservation Committee, JNCC)에서는 기존의 선박과 항공조사 이외에 GPS기반의 평가체계를 마련하기 위한 프레임워크를 수립 중에 있다[61]

국내 자연환경조사 등과 환경영향평가 등에서 해양성 조류에 대한 모니터링은 대부분 육상(갯벌 등)에서 수행되어 왔다. 해상풍력발전 관련 선박조사는 최초 협의된 영광 낙월해상풍력 사업에서 약 30개월 동안 총 7번 수행하였고, 현지조사 및 GPS기반의 위치추적 연구도 함께 수행한바 있다[62]. 조사의 방법론적 측면에서는 전형적인 방법(육안조사 등)과 고도화된 방법(위치추적 등)을 두루 사용하였으나, 분석방법에 있어 표본크기 및 조사시간을 고려하지 않은 개체군 분포의 도면화 및 행동권 분석 등을 실시하여 입력자료의 한계성과 국외의 평가기법과의 기술정보의 간극(technical-knowledge gap)이 존재하는 것으로 사료된다. 예를 들어, 장기간에 걸친 선박조사에 있어 영향예측 대상종의 생활사적 특성이 고려되지 않고 조사시기와 조사시간을 선정하는 수준의 조사가 수행된 것으로 판단된다. 하지만 이는 아직 국내에 해상풍력발전에 대한 구체적인 영향예측 매뉴얼 및 평가기법의 부재에 따른 것으로 사료된다. 따라서, 영향예측에 있어서도 주변지역으로의 회피 등 기초적인 예측결과를 서술하기 보다는 국외의 고도화된 평가기술 수준으로 지속적인 평가모델의 활용과 영향예측의 다양화를 고려한 하는 것이 필요하다. 또한 장기적인 차원에서 국외처럼 영향평가를 수행하기 위한 과학기반의 정책노력, 예를 들어 지속적인 평가기법의 개발 등이 필요하다고 사료된다.

## 5.2 국가차원의 장기모니터링과 정보제공 방향

해양성 조류와 같이 이동성이 강한 동물상에 대한 조사를 해양에서 수행하는 것은 많은 제약이 따른다. 특히 결과분석에 있어 다양한 가능성을 평가함에 있어 사업부지 및 일부 주변지역에 대한 결과를 토대로 분석하는 것은 해양 특성을 고려할 때 분명 한계가 존재한다. 이러한 사유로 국외의 해상풍력발전 관련 환경영향평가는 대부분 국가차원에서 제공하는 기본적인 조사결과와 사업예정지에 특화된 생물상에 대한 조사를 실시하고 있다. 예를 들어, 영국 스코틀랜드 정부(i.e., Marine Scotland, NatureScot 등)는 해상풍력발전 관련 해양성 조류의 비행고도 등에 관한 정보DB를 구

축하여 영향예측을 위한 기초자료로 제공하고 있다[63]

우리나라 육상의 경우, 생태·자연도 및 국토환경성 평가지도와 같은 국가차원의 기본정보를 제공하고 있다. 해양의 경우 해양생태도가 제공되고 있으나 사업 관련 영향예측을 수행하는데 있어 아직 미흡한 수준이다. 다만, 해상풍력발전 관련하여 환경부는 주요 종에 대하여 2년 이상의 정밀 위치추적을 통하여 공간이동 정보DB를 구축하고 결과를 토대로 해양성조류의 해양 공간이용 정보를 공간자료로 제공하기 위해 준비 중이다[38]. 특히, 해당 자료는 유럽 등 해상풍력발전 관련 주요 선진국가에서도 계획단계에 있는 것으로 우리나라가 선도적으로 수행한 연구결과라는데 의의가 있고 추후 해상풍력발전 사업추진 시 입지선정 등에 있어 갈등을 최소화하는데 기여할 것으로 사료된다.

해상풍력발전 관련 해양성 조류에 대한 모니터링은 기본조사와 정밀조사로 구분될 필요가 있다. 현재 환경부에서 준비 중인 해양성 조류의 해양공간이용 정보가 제공될 경우, 현재와 같은 우점종이나 일반종을 대상으로 한 일반적인 단기조사는 지양하고 사업예정지의 해양성조류의 서식 환경적 특성을 반영한 대상종(target species)의 생태적 특성에 대한 정밀조사를 실시 및 기본정보와 함께 종합적인 분석을 수행하는 것이 필요하다. 예를 들어, Farr et al. [64]은 부유식해상풍력발전 입지에 적합한 먼 바다의 경우, 깊은 수심의 특성으로 인하여 잠수성 바닷새(diving seabirds)의 서식 밀도가 높을 것으로 예상할 수 있음을 보고하였다. 잠수성 바닷새는 연안을 기반으로 서식하는 꿩이갈매기 등 보편적인 해양성 조류와 다른 생활사적 특성을 지니고 있기 때문에 공간이용 정보를 기초로 사업지역이 결정된 이후 환경영향평가서 접수 시까지 사전에 잠수성 바닷새에 대한 모니터링과 영향예측을 집중적으로 실시하는 것이 적정한 것으로 사료된다. 더불어 잠수성 바닷새에 대한 구체적인 모니터링 방법과 위치추적 등 정밀공간이용에 대한 조사가능성 및 조사기법 등에 대한 국가차원의 준비가 함께 추진될 필요가 있다.

## 6. 결론

해상풍력발전은 기후변화에 대한 전 지구적 대응 노력의 일환으로 그 필요성이 명확하지만 기후변화 적응 측면에서 생물다양성 보전을 위한 노력도 함께 고려되어야 한다. 우리나라는 삼면이 바다인 반도의 특성을 지니고 있어 국제적 보호종을 포함한 조류의 중

요 서식공간으로 중요성은 이미 잘 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 해상풍력발전 관련 한반도 해양성 조류에 대한 서식·번식 등 생태적 현황에 대해서는 종합적으로 정리된 바 없다.

본 연구에서는 국내 대표적인 꿩이갈매기에 대한 번식현황과 해상풍력발전 관련 대표성에 대한 생태적 사유를 고찰하였다. 소위 해상풍력발전 선도국에서 수행하는 해양성 조류에 대한 연구와 영향예측 기법 등을 토대로 해상풍력발전에 대한 환경영향평가에서 고려되어야 할 부분과 영향예측 시 우선되어야 할 자연생태적 요인을 고찰하였다. 특히 누적영향을 평가함에 있어 해상풍력발전 관련 해양성 조류의 평가방향에 대해 제시하였다.

해양성조류의 모니터링 기법에 대한 고찰을 통해 우리나라도 해양성 조류에 대한 기초적인 현황정보가 국가차원에서 제공될 필요가 있음을 확인하였다. 이는 육상에서의 생태자연도나 국토환경성평가지도 등 사전에 검토할 수 있는 정보가 해양에서는 현재 부재하고 있으므로 인하여 환경영향평가에서의 한계성과 시공간적 소모되는 비용적 측면의 어려움을 고찰하였다.

본 연구에서는 해상풍력발전을 포함한 해양개발사업 관련하여 한반도 중요 지표종이자 우점종인 꿩이갈매기의 번식현황과 관련 연구현황을 분석하였다. 또한 해상풍력발전을 추진함에 있어 해양성 조류 관련 영향예측과 한반도 해양서식 환경을 고려한 영향예측의 방향 및 누적영향평가에 대한 기법 등을 고찰하였다. 나아가 해상풍력발전 등 해양에서 추진되는 다양한 개발사업에 대한 환경영향평가 작성 및 영향예측의 방향에 대하여 고찰하였다. 다만 국내 해상풍력 관련 및 해양성 조류에 대한 생태적 연구가 아직 기초적인 수준으로 추후 조류의 생활사적 특성을 고려한 분석이 추가로 실시되는 것이 필요하다.

## 후기

논문에 대해 많은 시간을 들여 심사와 의견을 주신 편집위원과 익명의 심사위원들께 진심으로 감사드립니다. 본 논문은 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP) ‘신재생에너지핵심기술개발사업(NO.20203030020080)’의 지원을 받아 한국환경연구원이 수행한 “해상풍력 단지 해양공간 환경영향 분석 및 데이터베이스 구축(2022-007(R))” 사업의 지원으로 작성되었습니다.

## 참고문헌

- [1] Lyer G., Ou Y., Edmonds J., Fawcett A. A., Hultman N., McFarland J., Fuhrman J., Waldhoff S. and McJeon H., 2022, “Ratcheting of climate pledges needed to limit peak global warming,” *Nature Climate Change*, Vol. 12, pp. 1129–1135.
- [2] Fankhauser S., Smith S. M., Allen M., Axelsson K., Hale T., Hepburn C., Kendall J. M., Khosla R., Lezaun J., Mitchell-Larson E., Obersteiner M., Rajamani L., Rickaby R., Seddon N. and Wezer T., 2022, “The meaning of net zero and how to get it right,” *Nature Climate Change*, Vol. 12, pp. 15–21.
- [3] Kaldellis J. K., Apostolous D., Kapsali M. and Kondili E., 2016, “Environmental and social footprint of offshore wind energy: Comparison with onshore counterpart,” *Renewable Energy*, Vol. 92, pp. 532–556.
- [4] Dedecca J. G., Hakvoort R. A. and Ortt J. R., 2016, “Market strategies for offshore wind in Europe: a development and diffusion perspective,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 66, pp. 286–296.
- [5] Garthe S., Schwemmer H. S., Peschko V., Markones N., Müller S., Schwemmer P. and Mercker M., 2023, “Large-scale effects of offshore wind farms on seabirds of high conservation concern,” *Scientific reports*, Vol. 13, pp. 4779.
- [6] NatureScot., 2023. Advice on marine renewable development. <https://www.nature.scot/professional-advice/planning-and-development/planning-and-development-advice/renewable-energy/marine-renewables/advice-marine-renewables-development>.
- [7] McGowan K., 2001. The world of birds. In: Podulka S, Rohrbaugh R, Bonney R. (Eds.), *Handbook of Bird Biology*. The Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY.
- [8] Schreiber E. A., Burger J. 2001, *Biology of Marine Birds*. CRC Press, NY.
- [9] Ministry of Environment, 2007, 3rd National Natural Environment Survey (Baeknyeong). (in

- Korean).
- [10] Choi H. S., 2010, Development of mitigated habitat model for conservation of Black-faced spoonbill (*Platalea minor*) during breeding season in Korea. Master Degree thesis, Seoul National University.
- [11] National Institute of Environmental Research, 2007 Survey of specific islands (Ongjin), Ministry of Environment.
- [12] National Institute of Ecology, 2017, 2016 Natural Environment Survey in National unmanned island (Yeonggwang), Ministry of Environment.
- [13] Han-river Basin Environmental Office, 2014 Survey of specific islands (Gangwha and Ongjin), Ministry of Environment.
- [14] National Institute of Ecology, 2016, 2015 Natural Environment Survey in National unmanned island (Incheon Area 1), Ministry of Environment.
- [15] National Institute of Ecology, 2019 2018 Survey of specific islands (Sinan Southern 1), Ministry of Environment.
- [16] National Institute of Environmental Research, 2007, 2007 Natural Environment Survey in National unmanned island (Yeonggwang), Ministry of Environment.
- [17] Cultural Heritage Administration, 2006, 2006 Monitoring of Natural Monuments.
- [18] Han-river Basin Environmental Office, 2006 Survey of specific islands, Ministry of Environment.
- [19] National Institute of Ecology, 2014, 2014 Natural Environment Survey in National unmanned island (Incheon Area 1), Ministry of Environment.
- [20] Research Institute of Ulleungdo and Dokdo, 2019, 2019 Report on Dokdo Natural reserve monitoring project(birds), Kyungpook National University, Daegu.
- [21] Atlasnews, Exploring the East Coast... the Black-tailed gulls on Wolmido Island, Jangho, Available online: <http://www.atlasnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=5254>, accessed on date (예: June 01, 2023).
- [22] Barta Z. and Giraldeau L., 2001, "Breeding colonies as information centers: a reappraisal of information-based hypotheses using the producer-scrounger game," *Behavioral Ecology*, Vol. 12, pp. 121-127.
- [23] Brzeniński M., Chibowski P., Gornia J., Górecki G. and Zalewski A., 2018, "Spatio-temporal variation in nesting success of colonial waterbirds under the impact of a non-native invasive predator," *Oecologia*, Vol. 188, pp. 1037-1047.
- [24] Shoji A., Aris-Brosou S., Fayet A., Padget O., Perrins C. and Guilford T., 2015, "Dual foraging and pair coordination during chick provisioning by Manx Shearwaters: empirical evidence supported by a simple model," *Journal of Experimental Biology*, Vol. 218, pp. 2116-2123.
- [25] Grémillet D., Ponchon A., Paleczny M., Palomares M. D., Karpouzi V. and Pauly D., 2018, "Persisting worldwide seabird-fishery competition despite seabird community decline," *Current Biology*, Vol. 28, pp. 4009-4013.
- [26] Yang M. S., Yun S., Hong M. J., Moon Y. M., Yoo J. C. and Lee W. S., 2022, "Marine litter pollution of breeding colony and habitat use patterns of Black-tailed gulls in South Korea," *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 185, pp. 114363.
- [27] Kavelaars M. M., Baert J. M., Stienen E. W. M., Shamoun-Baranes J., Lens L. and Müller W., 2020, "Breeding habitat loss reveals limited foraging flexibility and increases foraging effort in a colonial breeding seabird," *Movement Ecology*, Vol. 8, pp. 45.
- [28] Warwick-Evans V., Atkinson P. W., Walkington I. and Green J. A., 2017, "Predicting the impacts of wind farms on seabirds: an individual-based model," *Journal of Applied Ecology*, Vol. 55, pp. 503-515.
- [29] Song S. and Beissinger S. R., 2020, "Environmental and ecological correlates of avian field metabolic rate and water flux," *Functional Ecology*, Vol. 34, pp. 811-821.
- [30] Won B. O. and Kim H. J., 2012, *The Birds of*

- Korea, Academic Press, Seoul (in Korean)
- [31] Lee W. S., Kwon Y. S., Yoo J. C., Song M. Y. and Chon T. S., 2006, "Multivariate analysis and self-organizing mapping applied to analysis of nest-site selection in Black-tailed gulls," *Ecological Modelling*, Vol. 193, pp. 602-614.
- [32] Lee W. S., Kwon Y. S. and Yoo J. C., 2008, "Habitat selection by Black-tailed gulls on Hongdo Island, Korea," *Waterbirds*, Vol. 31, pp. 495-501.
- [33] Kwon Y. S., Lee W. S. and Yoo J. C., 2006, "Clutch size and breeding success of Black-tailed gulls (*Larus crassirostris*) at Hongdo Island, Southeast Coast of South Korea," *Ocean and Polar Research*, Vol. 28, pp. 201-207. (in Korean)
- [34] Kwon Y. S., 1998, Some aspects of the breeding biology of the Black-tailed gull *Larus crassirostris*, PhD thesis, Kyunghee University, Seoul.
- [35] Kim M., Park C. U. and Kwon Y. S., 2016, "Negative impacts of human activities on seabirds in Korea National Park," *Journal of National Park Research*, Vol. 7, pp. 111-117. (in Korean)
- [36] Korea Environment Institute, 2020, Annual Report of Environmental Impact analysis on the Offshore Wind Farm and Database System Development. KETEP.
- [37] Kim M., Lee Y. S., Choi S. J., Kim Y. M., Kim J. H., Hwang B. Y. and Kwon Y. S., 2022, "Status of Black-tailed gulls breeding on Hongdo (Hallyeohaesang National Park) and Nando Island," *Journal of National Park Research*, Vol. 13, pp. 61-66. (in Korean)
- [38] KEI, 2022, Spatial analysis and establish movement DB of marine birds for environmental evaluation of offshore wind farms, Ministry of Environment. (in Korean)
- [39] Hong M. J., Kim M., Lee H. and Choi S. M., 2019, "First report of annual habitat ranges in Black-tailed gulls (*Larus crassirostris*) breeding on Dokdo Island," *Ocean and Polar Research*, Vol. 41, pp. 99-105. (in Korean)
- [40] Rho B. H., Yoo M. N. and Lim Y. S., 2011, A study on the evaluation of the suitability of endangered species for the development project, Ministry of Environment, South Korea. (in Korean)
- [41] Peschko V., Mercker M. and Garthe S., 2020, "Telemetry reveals strong effects of offshore wind farms on behaviour and habitat use of common guillemots (*Uria aalge*) during the breeding season," *Marine Biology*, Vol. 167, pp. 118.
- [42] Searle K. R., O'Brien S. H., Jones E. L., Cook A. S. C. P., Trinder M. N., McGregor R. M., Donovan C., McCluskie A., Daunt F. and Bulter A., 2023, "A framework for improving treatment of uncertainty in offshore wind assessments for protected marine birds," *ICES Journal of Marine Science* (In press)
- [43] Morris W. F. and Doak D. F., 2002, Quantitative conservation biology: Theory and practice of population viability analysis. Sinauer Assoc Inc. Sunderland.
- [44] Horswill C., Miller J. A. O. and Wood M. J., 2021, "Impact assessments of wind farms on seabird populations that overlook existing drivers of demographic change should be treated with caution," *Conservation Science and Practice*, Vol. 4, pp. e12644.
- [45] Morinay J., Riotte-Lambert L., Aarts G., De Pascalis F., Imperio S., Morganti M., Catoni C., Assandri G., Ramellini S., Rubolini D. and Cecere J. G., 2023, "Within-colony segregation of foraging areas: from patterns to processes," *OIKOS* (In press).
- [46] Butler R. W., Williams T. D., Warnock N. and Bishop M. A., 1997, "Wind assistance: a requirement for migration of shorebirds?" *The Auk*, Vol. 114, pp. 456-466.
- [47] Nussbaumer R., Schmid B., Bauer S. and Liechti F., 2002, "Favorable winds speed up bird migration in spring but not in autumn," *Ecology and Evolution*, Vol. 12, pp. e9146.

- [48] Weimerskirch H., 2007, "Are seabirds foraging for unpredictable resources?" *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, Vol. 54, pp. 211-223.
- [49] Bradbury G., Trinder M., Furness B., Banks A. N., Caldow R. W. G. and Hume D., 2014, "Mapping seabird sensitivity to offshore wind farms," *PLoS One*, Vol. 12, pp. e0170863.
- [50] Lee W. S. and Jeong S. G., 2021, "Ecological issues and improvement directions of marine wind power generation for Carbon-Neutral transition," *KEI Focus*, Vol. 9, pp. 1-16 (In Korean).
- [51] Yong D. L., Liu Y., Low B. W., Española C. P., Choi C. Y. and Kawakami K., 2015, "Migratory songbirds in the East Asian-Australasian Flyway: a review from a conservation perspective," *Bird Conservation International*, Vol. 25, pp. 1-37.
- [52] Alves J. A., Gunnarsson T. G., Hayhow D. B., Appleton G. F., Potts P. M., Sutherland W. J. and Gill J. A., 2013, "Costs, benefits, and fitness consequences of different migratory strategies," *Ecology*, Vol. 94, pp. 11-17.
- [53] Hong M. J., Choi J. H., Kim J. S., Yun S. H., Kang K. H., Bae G. W., Lee W. S. and Yoo J. C., 2019, "Necessity of bird monitoring for assessing impacts of offshore wind farms on birds," *Journal of Wind Energy*, Vol. 10, pp. 31-41 (In Korean).
- [54] Green R. E., Langston R. H. W., McCluskie A., Sutherland R. and Wilson J. D., 2016, "Lack of sound science in assessing wind farm impacts on seabirds," *Journal Applied Ecology*, Vol. 53, pp. 1635-1641.
- [55] Masden E. A., Fox A. D., Furness R. W., Bullman R. and Haydon D. T., 2009, "Cumulative impact assessments and bird/wind farm interactions: developing a conceptual framework," *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 30, pp. 1-7.
- [56] Gilbert G., Gibbons D. W. and Evans J., 2012, *Bird Monitoring Methods: a manual of techniques for key UK species*. RSPB.
- [57] Spear L. B., Ainley D. G., Hardesty B. D., Howell S. N. G. and Webb S. W., 2004, "Reducing biases affecting at-sea surveys of seabirds: use of multiple observer teams," *Marine Ornithology*, Vol. 32, pp. 147-157.
- [58] Piggott A., Vulcano A. and Mitchell D., 2021, Impact of offshore wind development on seabirds in the North Sea and Baltic Sea: Identification of data sources and at-risk species. BirdLife International.
- [59] Bishop A. M., Brown C. L., Christie K. S., Kettle A. B., Larsen G. D., Renner H. M. and Younkens L., 2022, "Surveying cliff-nesting seabirds with unoccupied aircraft systems in the Gulf of Alaska," *Polar Biology*, Vol. 45, pp. 1703-1714.
- [60] Kim H. W., Kim Y. H., An Y. R., Park K. J. and An D. H., 2014, "Seabird distribution patterns by strip transect in the Yellow sea in Spring," *Korea Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 47, pp. 973-977. (in Korean)
- [61] JNCC, 2022, OWSMRF Research Opportunity 1.2: Co-ordinated, strategic GPS tracking programme: multiple colonies. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.
- [62] KECC, 2019. Environmental impact assessment on the construction project of Yeonggwang Nakwol Offshore wind farms. Myeongwoon Industrial Development. (in Korean).
- [63] Wicikowski A., Zein B., Goddard B., Sweeney S., Coppack T. and McGovern S., 2022, Collection of seabird flight height data at an operational offshore Wind Farm using aircraft mounted LiDAR. Marine Scotland.
- [64] Farr H., Ruttenberg B., Walter R. K., Wang Y. H. and White C., 2021, "Potential environmental effects of deepwater floating offshore wind energy facilities," *Ocean and Coastal Management*, Vol. 27, pp. 105611.
- [65] van Kooten T., Soudijn F., Tulp I., Chen C., Benden D., and Leopold M., 2019. The consequences of seabird habitat loss from

offshore wind turbines, version 2 - displacement and population level effects in 5 selected species, Wageningen Marine Research, IJmuiden.

[66] [National Institute of Ecology, 2022, 2021 Survey of spatial use in marine birds around protected areas, Ministry of Environment.