

AHP 기법을 이용한 부유식 해상 풍력 단지 내 근해자망어업 위험 요인 분석

안종갑 · 박유진¹ · 정유진² · 안영수*

경상국립대학교 해양산업연구소 교수, ¹연세대학교 경영학 박사, ²연세대학교 시간강사

Analysis of the risk factors for offshore gillnet fisheries in the floating offshore wind farms based on AHP technique

Jong-Kap AHN, You-Jin PARK¹, Yu-Jin JEONG² and Young-Su AN*

Professor, Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

¹Ph.D. Doctor, Department of Business Administration, Yonsei University, Seoul 03722, Korea

²Lecturer, Department of Business Administration, Yonsei University, Wonju 26493, Korea

In this study, the AHP (analytic hierarchy process) technique was used to analyze the risk of expected risk factors and fishing possibilities during gillnet fishing within the floating offshore wind farms (floating OWF). For this purpose, the risks that may occur during gillnet fishing within the floating offshore wind farms were defined as collisions, entanglements, and snags. In addition, the risk factors that cause these risks were classified into three upper risk factors and ten sub risk factors, and the three alternatives to gillnet fishing available within the floating OWF were classified and a hierarchy was established. Lastly, a survey was conducted targeting fisheries and marine experts and the response results were analyzed. As a result of the analysis, among the top risk factors, the risk was the greatest when laying fishing gear. The risk of the sub factors for each upper risk was found to be the highest at the berthing (mooring), the final hauling of fishing net, and the laying of the bottom layer net. Based on the alternatives, the average of the integrated risk rankings showed that allowing full navigation/fisheries had the highest risk. As a result of the final ranking analysis of the integrated risk, the overall ranking of allowing navigation/fisheries in areas where bottom layer nets were laid was ranked the first when moving vessels within the floating OWF was analyzed as the lowest integrated risk ranking of the 30th at the ban on navigation/fisheries. Through this, navigation was analyzed to be possible while it was analyzed that the possibility of gillnet fishing within the floating OWF was not high.

Keywords: Risk factors for gillnet fishing in floating offshore wind farms, Analytic hierarchy process, Collisions, Entanglements, Snags, Ship navigation, Ship movement during fishing operations, Fishing gear deployment

Received 6 November 2023; Revised 27 November 2023; Accepted 28 November 2023

*Corresponding author: yosuan@gnu.ac.kr, Tel: +82-55-772-9041, Fax: +82-55-772-9039

Copyright © 2023 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

서론

날로 심각해지는 기후 변화에 대응하기 위해 우리나라를 포함한 세계 각국은 신재생에너지를 탄소중립을 위한 효과적인 수단으로 인식하고 있다. 신재생에너지 가운데 해상 풍력은 육상 풍력에 비하여 바람 자원이 우수하고, 소음, 환경 및 경관 훼손 등의 이슈가 상대적으로 적고, 풍력터빈의 대형화가 가능하므로 많은 국가에서 해상 풍력을 빠르게 확충하고 있다(KSETEP, 2019). 하지만 어업활동에 지장을 줄 수도 있고 군사지역 설정 등으로 인해 연근해에 해상 풍력 발전단지를 개발하는 것은 많은 제약이 따른다. 이에 대한 대안으로 연안으로부터 상대적으로 멀리 떨어져 있는 먼바다에서 전기를 생산할 수 있는 부유식 해상 풍력이 주목받고 있다.

부유식 해상 풍력은 발전기의 하부 구조물을 해저에 고정하지 않고 부유식 구조물에 고정하여 전기를 생산하는 방식이다. 풍력 발전기를 해저 면에 고정 설치하지 않고, 깊은 해역에 부유해 있도록 설계된 부유식 해상 풍력 발전은 수심 및 해저 면 형태의 영향이 적으므로 기존에 접근할 수 없었던 지역으로 영역 확대가 가능하다. 또한 해저 수심 60 m 이상에 부유식 풍력 발전기를 설치하는 것은 국가의 재생에너지 생산량을 증대시킬 뿐만 아니라 고정식 해상 풍력의 단점인 연안 생태계 훼손, 주민 민원, 소음 발생 등과 같은 문제를 최소화할 수 있다고 알려져 있다(Pham et al., 2021).

2017년 10월 세계 최초의 부유식 해상 풍력 발전단지인 하이윈드 스코틀랜드(Hywind Scotland)의 상용화 이후, 포르투갈 윈드플로트 아틀란틱(WindFloat Atlantic), 스코틀랜드 킨카딘(Kincardine)에 이어 2023년 8월에는 발전설비 용량이 88메가와트(MW)에 이르는 세계 최대 규모의 부유식 해상 풍력 발전단지인 하이윈드 탐펜(Hywind Tampen)이 상업용으로 가동되기 시작했다. 우리나라도 2019년 울산광역시와 동해 가스전 인근을 중심으로 1기당 5 MW급 풍력발전 터빈 40기를 설치하는 부유식 해상풍력발전단지 조성계획을 발표하였고, 현재 사업을 추진하고 있다.

그러나 부유식을 포함한 해상 풍력 발전단지는 넓은 수역을 점용하게 되어 해당 지역 내에서는 선박 통항이나 어업활동 등이 불가능할 수도 있고, 조업 구역 축소 및 어획량 감소 등과 같이 지역 주민들에게 피해를 유발할 가능성이 높다(Jung et al., 2019; Park et al., 2021).

해상 풍력 발전단지 내에서의 어업활동 및 접근에 관한 지침은 나라 별로 차이가 있다. 영국은 해상 풍력 발전단지에서 트롤링을 제외한 어업활동 및 레저 선박의 활동을 허가하고 있고, 덴마크의 니스테드(Nysted) 해상 풍력 발전단지의 경우에는 어업활동과 레저 선박의 진입에 대해 제한하지 않고 있다. 반면, 벨기에는 해상 풍력 발전단지의 접근을 500 m로 규제하고 있으며, 독일은 모든 해상 풍력 발전단지의 접근을 금지하고 있다. 우리나라의 서남해 해상 풍력 실증단지 역시 선박 통항 및 어업활동을 전면 금지하였다(Kwon et al., 2018). 그러나 현재는 풍력 터빈 인근 100 m 안으로 접근하지 않는 조건으로 일부 선주협회 회원들이 통항권을 인정받아 조업을 하고 있다.

부유식 해상 풍력 발전단지 내에서의 어업활동이나 선박 통항에 관한 지침들은 해상 풍력 발전단지에 비해 아직까지 잘 찾아볼 수 없다. 하지만 부유식 해상 풍력 발전단지에서는 수면 아래로 굽은 쇠사슬이 길게 늘어뜨려져 있어 단지 내에서 그물을 치는 것은 불가능하다고 알려져 있다. 실제로 울산 부유식 해상 풍력 사업이 추진되면 울산광역시 면적(1,057 km²) 이상의 조업지 상실(1,138 km²)은 불가피하다고 한다(Fishermen in Fisheries, 2023). 조업구역 축소에 따른 어업권 피해와 바다 환경의 오염으로 인한 어획량 감소 등은 어민들이 부유식 해상 풍력 사업을 반대하는 주요 원인이다. 그러나 풍력 발전단지 내에서의 통항 및 어업활동에 관한 지침이 나라 별로 상이하고, 어민들과 업계 관계자 간의 합의를 통한 조건부 조업 허용이라는 절충안을 마련한 사례를 볼 때, 통항 및 어업활동을 전면 금지하기 보다는 조업구역 축소를 최소화할 수 있는 방안을 찾기 위한 연구와 조사가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

우리나라의 부유식 해상풍력단지 예정지인 동해 가스전 인근은 울산 해안에서 58 km 떨어져 있다. 수협정보지인 ‘연근해조업정보’를 살펴보면 2020년 1월부터 2023년 4월까지 근해자망어업, 서남해외곽이중형저인망어업, 근해채낚기어업, 근해통발어업 등의 조업이 해당 구역에서 이루어지고 있고, 이 중 근해자망어업은 조업척수와 어획량이 가장 많은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 부유식 해상풍력단지 건설로 어획량 피해를 가장 많이 입을 것으로 예상되는 근해자망어업을 대상으로 부유식 해상풍력단지(floating Offshore

Wind Farms, floating OWF) 내·외로 선박 항해 시, 조업 시, 그리고 조업 중 해상풍력단지 내 이동 시에 발생할 수 있는 위험 요인들을 분석하고 조업 가능성에 대해 살펴본다.

재료 및 방법

근해자망어업

수산업법에 따르면 총톤수 10톤 미만의 동력어선을 사용하는 어업을 근해어업이라 하며, 이 중 근해자망어업은 1척의 동력어선으로 유자망 또는 고정자망을 사용하여 수산동물을 포획하는 어업이다. 그물은 기다란 띠 모양의 직사각형 그물감으로 되어 있는 것이 보통이고, 부딪친 어류가 잘 낚힐 수 있게 하려고 그물감의 상변에 뜸(부자)을 부착하고 하변에 발돌(침자)을 부착하여 수중에서 수직으로 뻗쳐 서도록 한다. 어구는 부설 수층에 따라 저층, 중층, 표층으로 나뉘고, 사용 방법에 따라 고정자망, 유자망, 선자망 등으로 분류하고 있다. 자망어업은 타 어업에 비해 어선과 어구의 규모가 소형임에도 불구하고 어획량과 어획고는 상위 수준을 유지함은 물론 어획물의 선도유지와 생산성이 높아서 경쟁력 있는 어업으로 평가받고 있다. Fig. 1과 Fig. 2에서는 근해자망 조업 및 어구 모식도를 보여주고 있다.

근해자망어업의 조업 과정은 다음과 같다. 일출 전·후인 새벽 05~07시경 조업을 위해 어장에 도착하여 어구

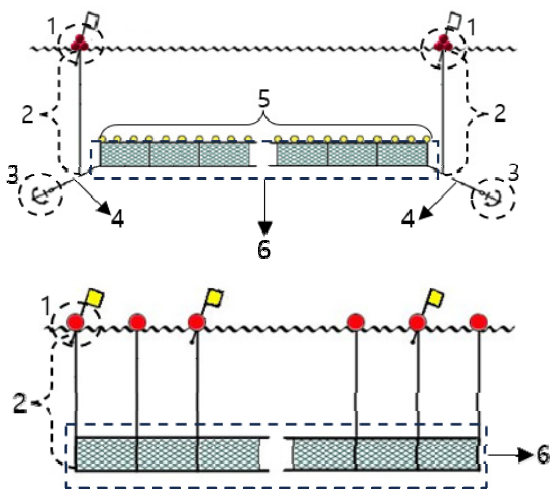


Fig. 1. Drawing of the targeting efficiency of gillnets (1 Buoy, 2 Buoy Line, 3 Anchor, 4 Anchor Line, 5 Float, 6 Net).

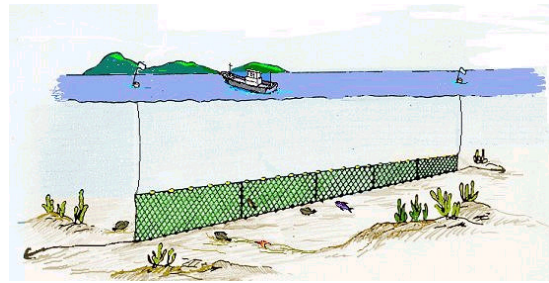


Fig. 2. Drawing of the schematic diagram of gillnet fishing operations.

투망 위치를 정한 후 어구의 첫 투망 시작 부분인 어망에 부표등이 부착된 부표기 연결줄을 연결하고 투하한다. 어구가 모두 투망되면 어구의 마지막 끝부분에 배잡이 줄을 길게 내어 어선을 고정한다. 다만, 해류나 조류를 따라 흘러가도록 어구를 부설할 경우에는 닻을 사용하지 않을 수 있다. 투망이 완료된 후 약 1~2시간 후 또는 일정 시간이 지난 후 양망이 이루어지며, 양망 시 어선은 조류나 풍향을 선수 정면으로 받으면서 주기관은 사용하지 않고 돌음줄이 감기는 힘과 속력에 의해 전진하면서 조업한다.

부유식 해상 풍력

부유식 해상 풍력은 부유체(원통형 쇄기둥이나 삼각 또는 사각 모양의 반잠수식 철 구조물)를 바다에 띄우고 그 위에 풍력 발전기를 올려서 전기를 생산하는 방식으로 와이어로프(wire rope)이나 체인(chain)로 바다 바닥에 설치한 닻(anchor)과 부유체를 연결해 조류나 바람에 떠내려가지 않도록 고정한다.

부유식 해상 풍력발전을 구성하고 있는 기술은 블레이드, 타워, 블레이드 종속기 등 다양한 요소들로 구성된 풍력 발전기, 타워를 고정하기 위한 부유체, 부유체가 일정한 범위를 벗어나지 않도록 제어하기 위해 계류선과 앵커로 구성된 계류 시스템, 그리고 전력 시스템으로 구성된다. 전력 시스템을 구성하는 해상변전소는 해상 풍력터빈에서 생산된 전기를 모아 육상변전소로 송전하

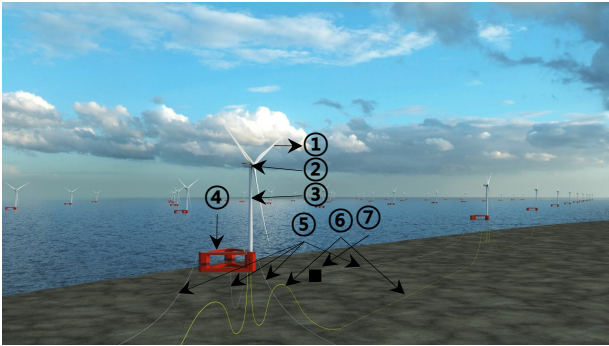


Fig. 3. The Wind Semi low draft semi-submersible concept (①Blade, ②Nacelle, ③Tower, ④Substructure(Hull), ⑤ Mooring Line, ⑥Dynamic Cable, ⑦Anchor or Pile).

는 가교역할을 담당한다. Fig. 3은 부유식 해상 풍력 발전단지의 예상도(Equinor, 2021)이다.

조사설계 및 측정 항목

본 연구에서는 부유식 해상풍력단지 내에서 자망어업 시 예상되는 위험을 Table 1과 같이 충돌, 걸림, 감김으로 분류하였다.

AHP (Analytic Hierarchy Process) 기법을 사용하여 부유식 해상풍력단지 내에서 자망어업 시 예상되는 위험을 발생시키는 요인에 대한 위험도와 어업 가능성에 대해 분석하기 위해 상위 요인과 하위 요인, 그리고 대안으로 구성된 계층도를 도출하고, 전문가를 대상으로 설

Table 1. Definition of risk for gillnet fishing in the floating offshore wind farms

Risk	Definition
Collisions	Accidents involving vessel or fishing gear collisions with floating structures resulting in damage to the vessel or gear
Entanglements	Accidents involving fishing gear entanglement with catenary mooring system, dynamic cables, transmission lines, etc., resulting in damage to the gear
Snags	Accidents involving fishing gear entangled with upper power generation equipment or related infrastructure, leading to damage to the gear

Table 2. Risk factors for gillnet fishing in the floating OWF

Top factor	Sub Factor	Contents
During vessel navigation, C1	During movement, F1	Navigation of vessels towards fishery points within OWF, leading to risks, is caused by human errors, limited visibility (during fog/heavy rain/night time), external forces (wind, currents, waves), and the independent movement of floating structures.
	During anchoring, F2	Anchoring within OWF, subject to risks due to seabed conditions, external forces (wind, currents, waves), human errors, limited visibility (during fog/heavy rain/night time), and independent movement of floating structures.
	During berthing/mooring, F3	Berthing/mooring relying on floating structures within OWF, susceptible to risks arising from external forces (wind, currents, waves), independent movement of floating structures, human errors, and limited visibility (during fog/heavy rain/night time).
During vessel movement within the farm, C2	Movement during casting, F4	Movement during net casting within OWF, susceptible to risks arising from human errors, limited visibility (during fog/heavy rain/night time), external forces (wind, currents, waves), and independent movement of floating structures.
	Drifting (waiting), F5	Drifting(waiting) after net casting within OWF, vulnerable to risks due to human errors, limited visibility (during fog/heavy rain/night time), external forces (wind, currents, waves), and independent movement of floating structures.
	Movement during hauling, F6	Movement during net hauling within OWF, susceptible to risks due to human errors, limited visibility (during fog/heavy rain/night time), external forces (wind, currents, waves), and independent movement of floating structures.
During gear deployment, C3	At the final hauling point, F7	The final stage of net hauling in OWF, marked by momentary instability of vessels due to abrupt reduction in fishing gear resistance (tension), human errors, limited visibility (during fog/heavy rain/night time), external forces (wind, currents, waves), and independent movement of floating structures, leading to potential risks.
	Surface net deployment, F8	Installation of nets at the surface layer in the OWF, posing risks due to mooring lines, anchors, power transmission cables, etc.
	Midwater net deployment, F9	Installation of nets at the midwater layer in the OWF, posing risks due to mooring lines, anchors, power transmission cables, etc.
	Bottom net deployment, F10	Installation of nets at the bottom layer in the OWF, posing risks due to mooring lines, anchors, power transmission cables, etc.

Table 3. Definition of alternatives for gillnet fishing in the floating OWF

Alternative	Definition
Prohibition of navigation/fisheries, A1	Restriction of navigation/fisheries within the floating OWF
Permitted navigation/fisheries within safety zone, A2	Limited navigation/fisheries allowed only within designated safety zones within the floating OWF
Full permission for navigation/fisheries, A3	Unrestricted navigation/fisheries allowed within the floating OWF

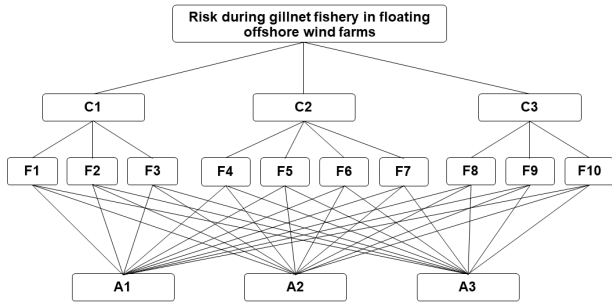


Fig. 4. Hierarchy analysis model.

문조사를 실시하였다.

해상풍력단지 내에서 충돌, 걸림, 감김의 위험을 일으키는 상위 요인들은 선박 항해 시(C1) 위험 요인, 단지 내 조업 중 선박 이동 시(C2) 위험 요인, 어구 부설 시(C3) 위험 요인이라는 3개의 상위 요인과 10개의 하위 요인(F1~F10), 그리고 항해/조업 금지(A1), 안전 구역 내 항해/조업 허용(A2), 항해/조업 전면 허용(A3)이라는 3개의 대안으로 분류하였다.

단지 내·외 선박 항해 시(C1) 위험 요인은 해상풍력단지 내·외로 선박의 항해나 해상풍력단지 내에서 조업이 없는 선박의 순수한 이동(항해) 중 존재하는 위험 요인을 의미하는 것으로, 이동 시(C1F1), 묘박 시(C1F2), 접안(계류) 시(C1F3) 위험 요인이라는 3개의 하위 요인으로 분류하였다.

단지 내 조업 중 선박 이동 시(C2) 위험 요인은 풍력단지 내에서 조업 중에 선박이 이동할 때 존재하는 위험 요인을 의미한다. 이것은 투망 중 이동 시(C2F4), 드리프팅

시(C2F5), 양망 중 이동 시(C2F6), 최종 양망 시점 시(C2F7) 위험 요인이라는 4개의 하위 요인으로 분류하였다.

어구 부설 시(C3) 위험 요인은 수층에 따른 어구 부설로 인해 존재하는 위험 요인을 의미한다. 이것은 표층 그물 부설 시(C3F8), 중층 그물 부설 시(C3F9), 그리고 저층 그물 부설 시(C3F10) 위험 요인이라는 3개의 하위 요인으로 분류하였다.

부유식 해상풍력단지 내에서의 자망어업 가능성에 관한 대안인 항해/조업 금지는 항해/어업 행위를 전면적으로 제한하는 것으로 정의하고, 안전구역 내 항해/조업 허용은 지정된 안전 구역 내에서만 제한적으로 항해/어업 행위를 허용하는 것으로 정의한다. 항해/조업 전면 허용은 모든 항해/어업 행위를 허용하는 것으로 정의한다.

Table 2에는 부유식 해상풍력단지 내 자망어업 시 충돌, 걸림, 감김 위험을 일으키는 요인에 대한 상위 요인과 하위 요인이 정리되어 있고, Table 3에는 3개의 대안이 정리되어 있다. Fig. 4에는 AHP 분석을 위한 계층도가 제시되어 있다.

연구 표본 및 조사·분석 방법

표본의 규모는 신뢰성 확보를 위한 전제 조건으로 전문가를 대상으로 하는 AHP 분석에서는 약 5~20명을 기준으로 선정하는 것이 일반적이다(Cho and Suh, 2018). 본 연구에서는 부유식 해상풍력단지 내에서 자망어업 시 예상되는 위험도를 분석하기 위해 국내 수산·해양 관련 전문가 12명을 대상으로 설문지를 이용한 면담 조사와 e-mail 조사를 수행하였다.

Table 4. Example of a survey using pairwise comparison

Risk factor	Risk Level														Risk Factor							
	←							→														
	High							Equal							High							
During movement	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	During anchoring				
During movement	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	During berthing/mooring				
During anchoring	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	During berthing/mooring				

Table 5. Sample characteristics in general

	Specification	N	Response rate (%)
Job	Professor	3	33.3
	Researcher	4	44.4
	Senior deck officer	2	22.2
Position	Education and research	2	22.2
	Policy research related to fisheries	2	22.2
	R&D in the shipbuilding and fisheries sectors	2	22.2
	Tasks related to navigation	3	33.3
Experience	5 ≤ year ≤ 10	1	11.1
	16 ≤ year ≤ 20	4	44.4
	Over year 21	4	44.4
	Total	9	100.0

부유식 해상풍력단지 내에서 자망어업 시 충돌, 걸림, 감김 위험을 일으키는 위험 요인을 분석하기 위한 설문지는 인구통계학적인 질문, 상위 위험 요인 3개, 하위 위험 요인 10개, 그리고 3개의 대안에 관한 질문으로 구성하였다. 설문조사는 Table 4에서 보는 바와 같이 기준에 대한 상대적 위험도를 더욱 정확하게 비교하기 위하여 1~9점 척도를 이용하여 쌍대비교를 실시하였다. 1점은 양쪽 기준이 동일하게 위험한 것을 의미하고, 9점은 점수가 큰 기준이 절대적으로 위험한 것을 의미한다. 도출된 쌍대비교 결과를 토대로 위험도를 산출하였다.

위험도 평가에 참여한 응답자의 설문 결과에 대한 신뢰도를 확인하기 위해 일관성 지수(Consistency Index, CI)를 평가하였고, 9명의 일관성 지수가 용납할 수 있는 수준인 0.2 이하(Satty and Kearns, 1985)로 나타났다. 따라서 최종 9개의 설문지를 분석하였다. 설문에 참여한 응답자의 특성은 Table 5와 같다. 응답자의 직업은 교수 3명(33.3%), 연구원 4명(44.4%), 주무관 2명(22.2%)으로 조사되었다. 직무는 항해 관련 업무가 3명(33.3%)으로 가장 많았고, 교육 및 연구, 수산 관련 정책 연구 업무, 그리고 조선 및 수산 분야 연구 개발 업무가 각각 2명씩(22.2%)인 것으로 조사되었다. 경력은 16년~20년, 21년 이상이 각각 4명(44.4%)으로 가장 많은 것으로 조사되었다.

결과 및 고찰

상위 위험 요인에 대한 위험도 분석

상위 위험 요인에 대한 쌍대비교 결과는 Table 6에서 보는 바와 같이 어구 부설 시(C3)가 1순위로 평가되었고,

Table 6. Analysis of the risk level of top factors of gillnet fishing in floating OWF

Top Factor	Risk Level	Rank
C3	0.6542	1
C2	0.2588	2
C1	0.0870	3

단지 내 조업 중 이동 시(C2), 단지 내 선박 항해 시(C1)가 2위와 3위로 평가되었다. 이를 통해 부유식 해상풍력 단지 내에서 자망 어업시 그물의 설치 위치가 위험을 발생시키는 가장 큰 상위 위험 요인임을 알 수 있었다.

하위 위험 요인에 대한 위험도 분석

하위 위험 요인에 대한 쌍대비교 결과는 Table 7과 같다. 단지 내 선박 항해 시(C1)의 하위 위험 요인 중 접안(계류) 시(C1F3)가 1순위로 평가되었고, 묘박 시(C1F2), 이동 시(C1F1)가 각각 2순위와 3순위로 평가되었다. 조업 중 선박 항해 시(C2)의 하위 위험 요인 중 최종 양망 시점 시(C2F7)가 1순위로 평가되었고, 양망 중 이동 시(C2F6), 투망 중 이동 시(C2F4), 드리프트링 시(C2F5)가 그 뒤를 이었다. 어구 부설 시(C3)의 하위 위험 요인 중 저층 그물 부설 시(C3F10)가 1순위로 평가되었고, 중층 그물 부설 시(C3F9), 표층 그물 부설 시(C3F8)가 각각 2순위와 3순위로 평가되었다.

Table 7. Analysis of the risk level of sub factors of gillnet fishing in floating OWF

Top Factor	Sub Factor	Risk Level	Rank
C1	F1	0.1759	3
	F2	0.2965	2
	F3	0.5276	1
C2	F1	0.2623	3
	F2	0.1558	4
	F3	0.2756	2
	F4	0.3063	1
C3	F1	0.1583	3
	F2	0.2882	2
	F3	0.5535	1

통합 위험도 분석

통합 위험도를 계산하기 위하여 상위 위험 요인, 하위 위험 요인, 그리고 대안 별로 조사된 가중치를 상호 곱하는 식 (1)을 적용하였다. 계산된 통합 위험도의 합은 1이 되고, 그 값을 기준으로 위험도 순위를 도출하였다.

Table 8. Integrated risk

Top Factor (C _i)	Risk Factors		Risk Level (C _i ×F _j ×A _k)	Rank (Integrated risk level based)	
	Sub Factor (F _j)	Alternative (A _k)			
C1 (0.0870)	F1 (0.1759)	A1	0.1240	0.0019	30
		A2	0.2355	0.0036	28
		A3	0.6405	0.0098	20
	F2 (0.2965)	A1	0.1166	0.0030	29
		A2	0.2347	0.0061	25
		A3	0.6487	0.0167	17
	F3 (0.5276)	A1	0.1292	0.0059	26
		A2	0.2491	0.0114	18
		A3	0.6218	0.0285	10
	F4 (0.2623)	A1	0.1194	0.0081	23
A2		0.2590	0.0176	16	
A3		0.6216	0.0422	8	
C2 (0.2588)	F5 (0.1558)	A1	0.1207	0.0049	27
		A2	0.2401	0.0097	21
		A3	0.6392	0.0258	11
	F6 (0.2756)	A1	0.1128	0.0080	24
		A2	0.2492	0.0178	15
		A3	0.6380	0.0455	6
	F7 (0.30630)	A1	0.1110	0.0088	22
		A2	0.2404	0.0191	14
		A3	0.6486	0.0514	5
	F8 (0.1583)	A1	0.1090	0.0113	19
A2		0.2421	0.0251	12	
A3		0.6489	0.0672	4	
C3 (0.6542)	F9 (0.2882)	A1	0.1128	0.0213	13
		A2	0.2344	0.0442	7
		A3	0.6528	0.1231	2
	F10 (0.5535)	A1	0.1003	0.0363	9
		A2	0.2226	0.0806	3
		A3	0.6771	0.2452	1

$$\text{Integrated Risk} = \sum_{i,j,k} C_i F_j A_k \quad (1)$$

여기서, C_i (i={1, 2, 3})는 상위 위험 요인의 위험도, F_j (j={1, 2, 3, ~, 10})는 하위 위험 요인의 위험도, A_k (k={1, 2, 3})는 조업 대안의 위험도이다. n은 각 계층의 위험 요인 수이다.

Table 8에는 통합 위험도와 그 순위를 분석한 결과가 정리되어 있다. 통합 위험도가 높은 순서대로 순위를 매긴 결과, 저층 그물이 부설된 곳에서 항해/조업 전면 허용(C3F10A3, 0.2452)의 통합 위험도 순위가 1위로 분석되었다. 2위는 중층 그물이 부설된 곳에서 항해/조업 전면 허용(C3F9A3, 0.1231), 3위는 저층 그물이 부설된 곳에서 안전 구역 내 항해/조업 허용(C3F10A2, 0.0806)

인 것으로 나타났다. 반면, 단지 내 선박 이동 시 항해/조업 금지(C1F1A1, 0.0019)는 통합 위험도 순위가 가장 낮은 30위로 분석되었다. 29위는 묘박 시 항해금지 허용(C1F2A1, 0.0030), 28위는 이동 시 안전 구역 내 항해 허용(C1F1A2, 0.0036)인 것으로 나타났다.

결론

본 연구에서는 부유식 해상풍력단지 내에서 자망어업 시 예상되는 위험을 충돌, 걸림, 감김으로 정의하였다. 이러한 위험을 발생시키는 위험 요인들을 3개의 상위 위험 요인과 10개의 하위 위험 요인으로 분류하고, 부유식 해상풍력단지 내에서 가능한 자망어업의 대안을 3개로 분류하였다. 상위 위험 요인, 하위 위험 요인, 대안을 이용하여 AHP 분석을 위한 계층도를 수립하고, 국내의

수산·해양 관련 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하고 응답 결과를 분석하였다.

본 연구의 결과를 통해 저층이나 중층 그물이 부설된 곳에서의 항해나 조업 허용의 경우 위험도가 높은 것을 알 수 있었다. 이는 투망과 양망 시, 투망 후 대기 시에 그물이 해저의 계류선이나 송전선 또는 계류선 고정을 위한 닻 등에 걸릴 가능성이 높기 때문으로 판단된다. 그러므로 자망어업 시 중요한 과정인 투망과 양망 시의 높은 위험으로 인해 부유식 해상풍력단지 내에서의 자망어업 가능성은 높지 않을 것으로 판단된다. 반면, 부유식 해상풍력단지 내에서 조업을 수반하지 않는 선박의 항해는 가능할 것으로 판단된다. 왜냐하면 대체로 부유식 해상풍력단지 내에서 조업 없는 이동이나 항해 시에는 항해 전면 허용이나 안전 구역 내 항해 허용의 위험도가 다른 위험 요인들에 비해 낮은 것으로 나타났기 때문이다.

본 연구는 AHP 기법을 활용하여 전문가를 대상으로 부유식 해상풍력 발전단지 내 근해자망어업 시 예상되는 위험 요인의 위험도를 분석하고, 조업의 가능성에 대해 분석하였다는 데 그 의의가 있다. 그러므로 앞으로 건설될 부유식 해상풍력 발전단지 내 자망어업의 가능성에 대한 판단의 근거자료로 활용할 수 있을 것이다. 그러나 이것은 절대적인 기준이 아니므로 보다 다양한 자료 분석과 관계자들 간의 협의, 전문가와 어민들의 합리적인 판단을 토대로 서로가 상생하는 방안을 도출해 낼 수 있어야 할 것이다.

그럼에도 본 연구의 결과는 다음과 같이 활용될 수 있을 것이다. 만약 부유식 해상풍력단지 내 자망어업이 불가능할 경우, 어민들에게 어업권 침해에 대한 근거 자료로 이용할 수 있을 것이고, 사업자들에게는 어민들과의 보상 문제를 해결하기 위한 자료로 이용할 수 있을 것이다. 만약 자망어업이 가능할 경우, 어민들에게는 부유식 해상풍력단지 내에서의 안전한 조업을 위한 지침을 제공할 수 있을 것이고, 사업자들에게는 안전한 해상풍력 발전단지 운영을 위한 지침을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 본 연구는 어구 어법 가운데 근해자망어업만을 대상으로 분석하였다는 데 그 한계가 있다. 그러므로 향후 부유식 해상풍력발전 단지 예정지 내에서 수행되는 모든 어구어법을 대상으로 위험도를 분석하는 연구를 수행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 2023년 해양수산부 재원으로 해양수산과 학기술진흥원(KIMST)의 (전기복합 추진어선의 검증 및 실용화를 위한 기술개발과 체계구축)지원을 받아 수행된 연구임.

References

- Cho HS, and Suh HJ. 2018. AHP analysis techniques for the weighted evaluation of cultural heritage disaster safety management systems. *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation* 18, 43-53. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2018.18.5.43>.
- Equinor. 2021. sepping up Korean offshore wind plans, 3GW collaboration with EWP. Retrieved from <https://www.equinor.com/news/archive/20211117-korean-offshore-wind-plans>. Accessed 27 Nov 2023.
- Fishermen in Fisheries. 2022. Our sea is covered by offshore wind power, resulting in the loss of fishing grounds. Retrieved from <http://www.suhyupnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=29700>. Accessed 23 Nov 2023.
- Jung CY, Hwang BK, and Kim SC. 2019. Possibility of fishery in offshore wind farms. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety* 25, 535-541. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2019.25.5.535>.
- KSETEP. 2019. Feasibility study report for 2018 floating offshore wind technology demonstration project, 1-254.
- Kwon YM, Lee CY, and Rim GS. 2018. A review of vessel traffic and fishing activity standards for offshore wind farm in domestic areas based on the analysis of foreign cases. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety* 24, 29-35. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2018.24.1.029>.
- Park J, Yim H, Park S, and Cho K. 2021. A study on the fishermen's acceptability of offshore wind farms. *Journal of Environmental Policy and Administration* 29, 83-109. <http://dx.doi.org/10.15301/jepa.2021.29.4.83>.
- Pham TQM, Im S, and Choung J. 2021. Prospects and economics of offshore wind turbine systems. *Journal of Ocean Engineering and Technology* 35, 382-392. <https://doi.org/10.26748/KSOE.2021.061>.
- Satty TL and Kearns KP. 1985. Analytical planning: the organization of systems. Pergamon Press, Inc., New York, 32.