Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety
Research Paper
Vol. 28, No. 2, pp. 244-253, April 30, 2022, ISSN 1229-3431(Print) / ISSN 2287-3341(Online) https://doi.org/10.7837/kosomes.2022.28.2.244

선박 통항로 내 장해물에 따른 위험도 평가에 관한 연구

김니은* · 박영수**† · 박상원*** · 김소라**** · 이명기*****
*, **** 한국해양대학교 일반대학원 석사과정, ** 한국해양대학교 해사대학 교수,
*** 한국해양수산개발원 연구원, ***** 한국해양대학교 연구교수

A Study on the Risk Assessment by Obstacles in Ship's Passage

Ni-Eun Kim* · Young-Soo Park**† · Sang-Won Park*** · So-Ra Kim**** · Myoung-Ki Lee*****
*, **** Master Candidate, Graduate School, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea
** Professor, College of Maritime Science, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea
*** Researcher, Korea Maritime Institute, Busan 49111, Korea
***** Research Professor, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 최근 해상풍력발전단지 등의 구조물 설치를 추진하는 사업이 증가하고 있는 추세이며, 이러한 해상장해물의 설치는 인근 해역을 통항하는 선박에게 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 연구는 통항로 내 장해물에 따라 통항하는 선박에게 주는 위험도를 정량적으로 평가하는 것이 목적이다. 이를 위해 위험도에 영향을 미치는 파라미터를 선정하고, 파라미터를 기반으로 시나리오를 설정하였다. 본 연구는 위험도 평가 모델인 ES 모델을 통해 시나리오 평가를 실시하였으며, 장해물의 크기가 커지고, 장해물과의 이격거리가 커지고, 통항 속력이 느리고, 통항량이 증가할수록 위험 비율이 높아짐을 확인하였다. 또한, 교통흐름 방향이 지정된 경우에 일반적인 교통흐름에 비해 낮은 위험 비율을 보임을 파악하였다. 본 연구는 수행된 시나리오 결과를 기반으로 일반화 모형을 제시하여 다대포 해상풍력발전단지에 적용하였으며, 일반화 모형을 통해 대략적인 위험 비율을 추정하는 것이 가능함을 나타냈다. 본 연구에서 제시된 일반화 모형은 해상장해물 설치에 있어 사전 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 해상풍력발전단지, 통항로, 장해물, ES 모델, 이격거리, 통항량, 교통흐름, 일반화 모형

Abstract : *Recently, installation projects of structures such as offshore wind farms have been increasing, and the installation of such marine obstacles could affect ships that pass nearby. Therefore, the purpose of this study was to quantitatively evaluate the risk posed to passing ships due to obstacles in their passage. Hence, parameters that affected the risk were selected, and scenarios were set based on the parameters. The scenarios were evaluated through the ES model, which is a risk assessment model, and we confirmed that the risk ratio increased as the size of the obstacle increased, the safe distance from the obstacle increased, the speed of ship decreased, and the traffic volume increased. Additionally, we found that when the traffic flow direction was designated, the risk ratio was lower than that of general traffic flow. In this study, we proposed a generalization model based on the results of the performed scenarios, applied it to the Dadaepo offshore wind farm, and demonstrated that the estimation of the approximate risk ratio was possible through the generalization model. Finally, we judged that the generalization model proposed in this study could be used as a preliminary reference for the installation of marine obstacles.*

Key Words : *Offshore wind farm, Passage, Obstacle, ES model, Safe distance, Traffic volume, Traffic flow, Generalized model*

1. 서 론

최근 친환경 에너지 창출을 위하여 풍력발전단지 등과 같은 해상구조물이 설치되고 있다. 해양수산부는 2030년까지 12GW의 해상풍력발전단지를 준공할 예정이라고 하였으며 (MOF, 2020a), Lee(2013)는 풍력분야가 태양광분야와 더불어 지속적인 성장추세로써 에너지 고갈 위험에 대한 능동적인 대처와 온실가스 감축, 일자리 창출의 핵심수단으로 인식하여 치열한 시장선점 경쟁을 전개 중이라고 하였다. 이렇게 풍력발전단지 설립은 현재 각광받고 있는 사업 중 하나이다.

* First Author : nieun1003@g.kmou.ac.kr
† Corresponding Author : youngsoo@kmou.ac.kr, 051-410-5085

해상풍력발전단지와 관련하여 Lee et al.(2019)은 유전 알고리즘을 활용하여 해상교통관점에서 부유식 해상풍력단지의 최적위치를 선정하는 연구를 진행하였으며, Son et al.(2019)은 AIS 데이터를 기반으로 통항 패턴을 분석하여 해양시설물과 인근 통항선박간의 안전 이격거리를 제안하였다. 또한, Yang(2014)은 국내에서 최초로 설치된 대정해상풍력발전단지 인근 해역의 통항안전성에 대해 평가하여, 선박의 안전운항에 필요한 대책을 제시하였다.

한편, 해상풍력발전단지 설치에 따른 교통 변화에 대한 연구로 Qing et al.(2020)은 AIS 데이터를 활용하여 해상풍력발전단지 설치 전후의 교통 데이터를 통계적으로 분석하여 해상풍력발전단지 설치가 교통흐름에 미치는 영향을 평가하였으며, Kawashima et al.(2019)은 부유식 해상풍력기가 추가로 설치될 때 충돌 빈도의 변화에 대해 분석하였다.

이처럼 선행연구들은 실제 데이터를 활용하여 해상 장해물에 대한 비교·분석을 실시하였으며, 해상교통 위험도에 대하여 평가하여 안전 대책 제시 및 기반을 마련하였다. 하지만 해상풍력발전단지가 설치되기 전 사전에 정량적으로 위험도를 파악할 수 있는 방안은 부재한 실정이다.

본 연구 목적은 통항로 내 존재하는 장해물이 선박 통항 위험도에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 것이다. 이를 위해 다양한 변수들에 의해 발생 가능한 시나리오를 설정하고, 시나리오의 위험도 평가를 통해 각 파라미터의 변화에 따른 위험도를 파악하여 일반화 모형을 제시하고자 하였다. 또한, 실제 사례와 비교를 통해 적용성을 검증하고자 한다.

2. 통항로 내 장해물 현황 및 시나리오 설정

2.1 통항로 내 장해물 현황

현재 국내에서 통항로 내 장해물이 존재한 사례는 부산신항 내 토도, 여수광양항 통항로 내 삼여암초 등이 있다. 해양수산부는 대형 컨테이너 선박의 급증과 신항 물동량 증가에 따른 해상교통 안전성 확보를 위해 부산신항 통항로 내에 존재하는 토도 제거를 추진하였으며(MOF, 2017), 여수·광양항의 교통안전특정해역 내에는 삼여 암초 및 인공어초가 많아 2024년 2월까지 제거할 예정이라 하였다(MOF, 2020b). 이처럼 통항로 내 통항 선박에게 영향을 주는 장해물이 존재하면 제거를 통해 안전성을 확보한다.

한편 통항로 내에 장해물이 설치되는 사례는 해상교량, 해상풍력발전단지가 대표적이다. 국토교통부는 2019년도 기준 136개소의 해상교량이 국내에 존재하고 있다고 하였으며(MOLIT, 2020), 국내 해상풍력발전단지는 6개소가 가동중이며, 89개소는 추진 중에 있다고 하였다(Fisheco, 2021). Kim et al.(2013)은 주요 통항로에 설치된 해상교량과 해상풍력발전단지는 선박의 안전항해에 지대한 영향을 미친다고 하였다. 이처럼 통항로 내 장해물의 설치 및 제거 시 일반적으로 통항 선박의 위험도가 어느 정도인지 정량적으로 분석할 필요성이 있다.

2.2 시뮬레이션 개요

통항로 내 암초, 해상교량, 해상풍력발전단지 등 장해물에 따른 위험도를 평가하기 위해 각종 파라미터를 통해 시나리오를 구성하였다. Fig. 1은 시뮬레이션을 위해 필요한 파라미터를 나타내는 그림이다. 파라미터는 단위시간당 통항량, 통항선박 속력, 장해물 크기, 이격거리(Safe Distance, 이하 SD), 교통흐름으로 설정하였다. Table 1은 시나리오들을 위해 설정한 파라미터의 상세를 나타낸다.

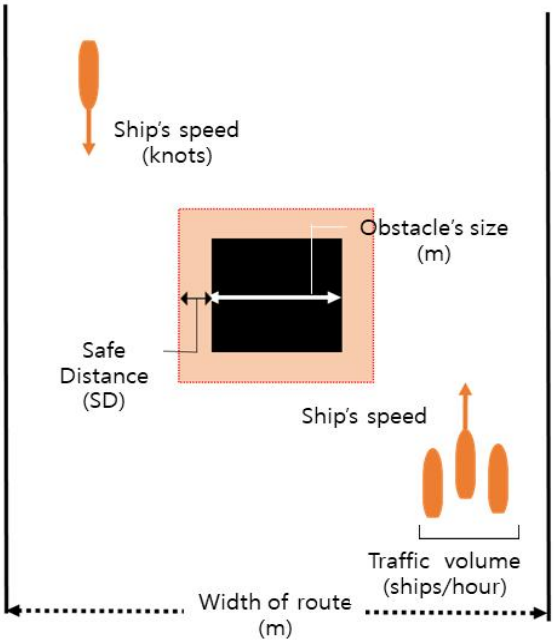

Fig. 1. Parameters for marine traffic simulation to calculate risk.

본 연구에서는 ES 모델(Environmental Stress model, 이하 ES 모델)을 통해 시나리오 위험도 평가를 실시하였다. ES 모델은 본선이 둘러싸고 있는 주변환경을 조선환경과 교통환경으로 구분하고, 이 두 환경이 선박운항자에게 가해지는 부하의 정도를 정량적으로 평가하기 위해 개발된 모델이다(Inoue, 2000).

Table 1. Variables for marine traffic simulation

Item	Width of Passage	
	5,000m	20,000m
Traffic Volume	5ships/hour, 10ships/hour, 20ships/hour	
Ship's Speed	10knots, 15knots	
Obstacle's Size	1,000m, 3,000m	5,000m, 10,000m
Safe Distance	500m	500m, 2,800m
Traffic Flow	6 Types (5 General Flow+1 Separation Flow)	

2.2.1 발생 선박 척수 및 길이

해상 교통류 시뮬레이션으로 선박을 발생할 때, 단위시간당 일정한 영역을 통과하는 선박 척수는 푸아송분포를 따른다(Park et al., 2013). 선박 척수는 단위시간당 평균 5척, 10척, 20척을 발생시켰다. 이때 Park et al.(2020)의 교통류 시뮬레이션과 동일하게 통항 선박 길이의 구성은 국내 최대 선박인 400m 길이까지 50 m 단위로 8개의 케이스를 나누어 각 케이스마다 12.5 %의 동일 비율로 발생하도록 하였다.

선박 발생 길이별 케이스마다 12.5 %의 동일 비율로 발생하는 것은 특정 해역을 반영하는 것이 아닌 해역마다 통항 선박 특성이 상이한 점을 고려하여 단순 척수가 아닌 L환산 척수의 개념을 도입하여 비교 지표가 될 수 있도록 하기 위함이다. 따라서 82 m 길이의 표준선박 기준으로 발생 척수에 대한 L환산 척수의 개념(Park et al., 2013)을 적용하면 평균 약 12척, 24척, 48척이다.

2.2.2 발생 선박 속력

Kim(2014)은 10일간의 AIS 데이터 분석을 통하여 우리나라 대표 항구인 부산항, 인천항, 여수·광양항의 출입항로를 통항하는 선박의 속력이 12.2 knots, 12.0 knots, 10.8 knots임을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 시나리오의 선박 속력을 설정할 때 평균 10 knots, 15 knots로 설정하였다.

2.2.3 통항로 폭 및 장해물의 크기

현재 추진중인 해상풍력발전단지 지역 중 하나인 다대포 인근 해역은 서도와 나무섬 사이에 선박이 통항을 하는 형태이다. 다대포 해상풍력발전단지는 서도와 나무섬 사이에 설치될 예정이며, 서도와 나무섬 사이 거리는 약 4,300 m이다. 또한, 현재 해상풍력발전단지 구축을 위해서는 풍황계측을 실시해야 하며, 계측기 설치 위치로부터 10 km까지 단지를 구축할 수 있다(MOTIE, 2021). 따라서 다대포 해상풍력발전단지 사례를 바탕으로 최소 5,000 m, 최대 해상풍력발전단지 크기인 10 km의 2배 크기를 고려하여 최대 20,000 m를 통항로 폭으로 고려하였다. 또한, 각 설정한 통항로 폭 내에 장해물의 크기를 2가지씩 설정하여, 장해물의 크기에 대한 변화를 볼 수 있도록 하였다.

2.2.4 장해물과의 이격거리

풍력기와 안전 이격거리(Safe Distance, 이하 SD)를 고려할 때, 해상풍력발전단지 외측 풍력기 위치를 기준으로 연근해는 블레이드 직경의 2배, EEZ 또는 근해는 500m 안전수역(통항금지해역)을 확보하고 있으며, KMOU Maritime Safety Aduit Center(2021)은 해역별 안전한 통항이 확보되기 위해서는 선박의 선회권 5 L ~ 7 L 수준이 필요하다고 했다. 이를 적용하여, 국내 현존하는 최대 선박 기준으로 약 1.5마일의 이격을 제시하였다. 따라서 본 연구에서는 최소 500 m와 최대 2,800 m를 이격거리 변수로 설정하였다.

2.2.5 교통흐름

선박은 왕복 통항로와 편도 통항로에서 정규 분포의 교통흐름을 나타낸다(Inoue, 1977). Fig. 2는 정규분포를 고려하여 선박이 통항로 내에서 나타낼 수 있는 다양한 교통흐름에 대해 나타내고 있으며, Table 2는 교통 흐름에 대한 상세를 나타낸다.

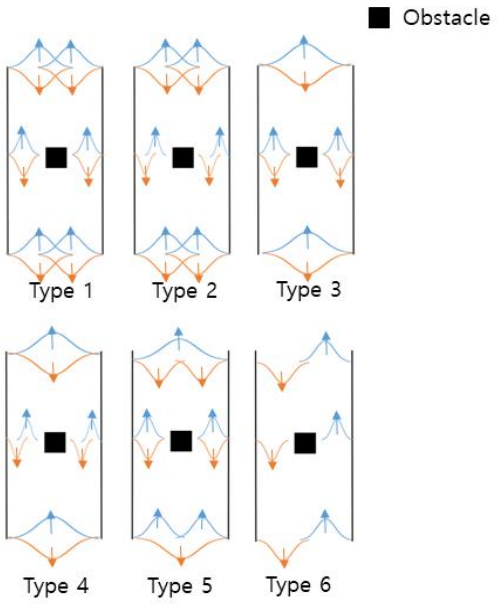

Fig. 2. Type of traffic flow.

Table 2. Detail of traffic flow in simulation

Type	Detail of Traffic Flow	
	Start & End of Route	Next to Obstacle
1	Two way pass without center line	Two way pass
2	Two way pass without center line	Two way pass without center line & Traffic Flow Separation
3	Two way pass	
4	Two way pass	Two way pass without center line & Traffic Flow Separation
5	Two way pass without center line (start), Two way pass (end)	Two way pass
6	Traffic Flow Separation	

Park et al.(2003)에서 제시한 항적분포모델에 따라 일반 왕복 수로, 중앙선 표시가 없는 왕복 수로, 통항 흐름이 분리된 수로에서의 흐름을 응용하여 발생할 수 있는 교통흐름을 유형별로 나타내었다. 본 연구에서는 교통흐름 방식의 차이에 따른 위험도 변화를 보고자 교통흐름을 변수로 설정하였다.

또한, Table 1에서 설정한 통항로 폭에 장해물이 없는 경우 평시 교통흐름에서 위험도를 파악하고자 통항로 폭 5,000 m와 20,000 m에서의 위험도 평가를 실시하였다.

2.3 평가 기준 및 범위 설정

본 연구에서는 ES 모델(Inoue, 2000)을 이용하여 다양한 상황 내에서 통항 선박의 위험도 평가를 실시하였다. Park et al.(2020)은 해상교통안전진단에서 ES value 750 이상의 비율(이하, 위험 비율)이 전체의 10 % 이상일 경우 안전대책이 필요한 수준이라고 판단하였으며, 본 연구도 위험 비율이 10 % 이상인 경우는 위험하다고 판단하여 비교 지표로 설정하였다.

또한, 교량 등이 있어 폭이 좁아지는 곳에는 가장 큰 통항 선박의 선체 길이의 최소 5배 이상의 길이를 갖는 직선통항로를 경계부 전후에 두고 그 구간에 양질의 항로표지를 설치하여야 한다(Park et al., 2013). 이를 고려하여 시나리오 평가 구역은 장해물 전후 가장 큰 통항 선박의 선체 길이(400 m)의 10배만큼의 직선통항로인 4 km로 설정하였다.

3. 통항 위험도 평가 요소별 분석

Table 3은 통항로 폭 5,000 m 및 20,000 m에 장해물이 존재하지 않는 경우 선박 속력, 통항량, 교통흐름에 따른 위험도 평가 결과를 나타낸 것이다.

Table 3. Risk result rate of none obstacle

Width of Passage	Ship's Speed	Traffic Volume (ships/hour)	Risk Result(%)
5,000m	10 knots	5	2.21
		10	5.22
		20	13.62
	15 knots	5	3.77
		10	4.72
		20	8.34
20,000m	10 knots	5	0.89
		10	2.13
		20	3.82
	15 knots	5	0.77
		10	0.81
		20	1.93

Table 4는 통항로 폭 5,000 m 및 20,000 m에 존재하는 장해물과 500 m 이격거리로 통항할 때 선박 속력, 통항량, 교통흐름에 따른 위험도 평가 결과를 나타낸 것이며, Table 5는 장해물과 2,800 m 이격거리로 통항할 때 선박 속력, 통항량, 교통흐름에 따른 위험도 평가 결과를 나타낸 것이다.

3.1 장해물 크기별 분석

통항 폭 5,000 m에 장해물이 존재하지 않는 경우, 선박의 속력이 낮고 통항량이 많을수록 위험한 경향을 보였다. 또한, 통항 폭 20,000 m에 장해물이 존재하지 않는 경우 마찬가지로 선박의 속력이 낮고 통항량이 많을수록 위험하였으며 전체 위험 비율이 4 % 미만으로 낮았다.

장해물 크기별로 분석한 결과, 선박의 통항량이 많고 속력이 낮을수록 위험한 경향이 있었다. Park et al.(2020)의 연구에서도 위험도에 가장 크게 영향을 미치는 요인은 교통량이라고 하였으며, 교통량이 많아지고 평가해역을 통과하는 속력이 낮아질수록 평가해역의 교통밀집도가 높아지면서 위험 비율이 높아졌다. 또한, 장해물의 크기 및 장해물과의 이격거리가 커질수록 위험 비율이 높았다. 즉, 선박이 통항할 수 있는 통항로 폭이 줄어드는 것을 의미하며, 통항로의 폭이 좁아질수록 위험 비율이 높아졌다. 이는 ES 750 이상의 값이 0.3 % 감소하는 것이 통항로의 폭 100 m만큼 넓어지는 효과가 있다는 정량적인 연구 결과(Park, 2002)에 의해 검증된 바 있다.

Table 4. Risk result rate of SD 500m (%)

Width of Passage	Obstacle's Size	Ship's Speed	Traffic Volume (ships/hour)	Type of Traffic Flow					
				1	2	3	4	5	6
5,000m	1,000m	10 knots	5	6.39	6.31	6.06	6.22	6.10	4.72
			10	9.63	10.38	9.32	10.55	9.49	8.17
			20	21.75	21.70	21.54	22.49	21.59	12.69
		15 knots	5	5.03	5.76	4.01	6.08	4.35	3.79
			10	7.82	9.50	7.55	9.53	7.73	5.10
			20	12.35	13.07	12.21	12.83	12.23	8.85
	3,000m	10 knots	5	8.46	8.87	8.21	8.68	8.37	7.61
			10	14.00	14.21	13.78	14.04	13.89	13.08
			20	29.16	29.25	28.48	28.77	28.83	20.05
		15 knots	5	8.48	8.86	8.59	8.86	8.39	4.84
			10	12.11	12.88	11.70	12.53	11.82	9.08
			20	19.10	19.17	18.81	18.96	18.89	13.29
20,000m	5,000m	10 knots	5	1.13	0.96	1.13	0.61	1.45	0.03
			10	4.51	4.55	4.61	4.78	4.43	1.24
			20	4.94	5.64	4.78	5.44	5.00	4.67
		15 knots	5	0.68	0.55	0.79	0.46	0.72	1.24
			10	1.72	1.99	1.52	1.97	2.12	1.28
			20	3.89	4.33	3.76	4.02	3.86	3.19
	10,000m	10 knots	5	1.98	1.82	2.19	1.92	2.24	0.92
			10	5.85	6.33	5.94	6.55	5.74	3.01
			20	8.28	9.02	7.88	8.97	8.43	6.97
		15 knots	5	1.34	1.43	1.22	0.90	1.24	1.55
			10	2.39	3.41	2.24	2.99	2.20	3.06
			20	5.74	6.12	6.09	6.21	5.62	5.22

Table 5. Risk result rate of SD 2,800m (%)

Width of Passage	Obstacle's Size	Ship's Speed	Traffic Volume (ships/hour)	Type of Traffic Flow					
				1	2	3	4	5	6
20,000m	5,000m	10 knots	5	2.07	1.76	2.12	1.52	2.17	0.14
			10	6.15	6.02	6.40	6.70	6.16	2.52
			20	8.02	8.72	7.58	8.89	8.07	6.75
		15 knots	5	0.89	0.72	1.00	0.64	0.90	1.61
			10	2.18	2.98	2.06	2.97	1.80	2.69
			20	5.26	5.83	5.45	5.93	5.27	4.30
	10,000m	10 knots	5	4.18	4.10	5.30	5.69	4.25	1.43
			10	9.12	10.70	9.77	11.05	9.11	5.91
			20	14.57	15.48	14.83	16.08	14.55	9.72
		15 knots	5	2.37	2.14	2.23	2.05	2.32	3.06
			10	4.08	5.46	3.95	5.26	4.05	4.21
			20	9.82	10.60	10.30	10.85	9.84	6.64

3.2 교통흐름별 분석

Fig. 3은 통항로 폭 5,000 m에서 1,000 m의 장해물이 존재하는 경우 각 교통흐름에 따른 위험 비율을 나타내며, Fig. 4는 통항로 폭 5,000 m에서 3,000 m의 장해물이 존재하는 경우 각교통흐름에 따른 위험 비율을 나타낸 것이다.

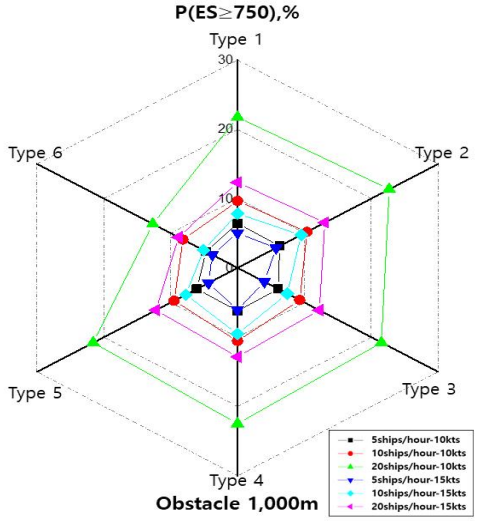

Fig. 3. Risk result of traffic flow in case of obstacle at 1,000m.

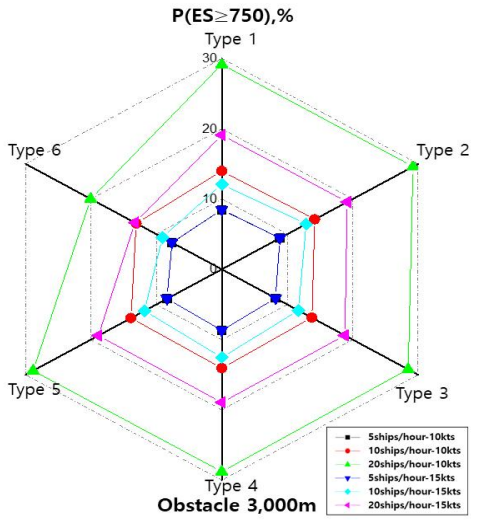

Fig. 4. Risk result of traffic flow in case of obstacle at 3,000m.

Type 1~5까지의 5가지의 일반적인 흐름에서는 비슷한 위험값을 보였으며 특정 상관관계를 보이지 않았다. 하지만 Type 6의 교통흐름 방향이 지정된 경우는 타 유형의 흐름에 비해 위험 비율이 낮았다. 특히, 1,000 m의 장해물과 10 kts의 속력, 시간당 20척의 통항량의 시나리오에서 가장 위험하게 평가된 Type 4의 교통흐름과 9.8 %로 가장 많은 차이를 보였다.

Fig. 5는 통항로 폭 20,000 m에서 5,000 m의 장해물이 존재하고 이격거리 500 m로 통항하는 경우 각 교통흐름에 따른 위험 비율을 나타내며, Fig. 6은 통항로 폭 5,000 m에서 3,000 m의 장해물이 존재하고 이격거리 500 m로 통항하는 경우 각 교통흐름에 따른 위험 비율을 나타낸 것이다.

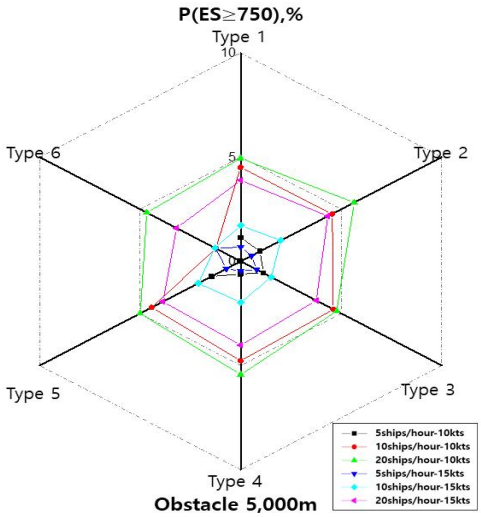

Fig. 5. Risk result of traffic flow in case of obstacle at 5,000m&SD 500m.

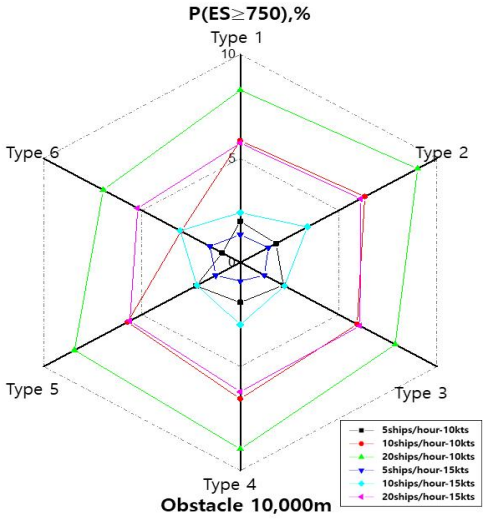

Fig. 6. Risk result of traffic flow in case of obstacle at 10,000m&SD 500m.

Fig. 7은 통항로 폭 20,000 m에서 5,000 m의 장해물이 존재하고 이격거리 2,800 m로 통항하는 경우 각 교통흐름에 따른 위험 비율을 나타내며, Fig. 8은 통항로 폭 20,000 m에서 10,000 m의 장해물이 존재하고 이격거리 2,800 m로 통항하는 경우 각 교통흐름에 따른 위험 비율을 나타낸 것이다.

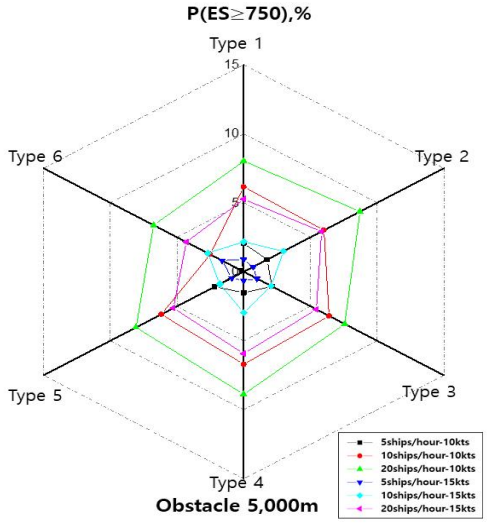

Fig. 7. Risk result of traffic flow in case of obstacle at 5,000m &SD 2,800m.

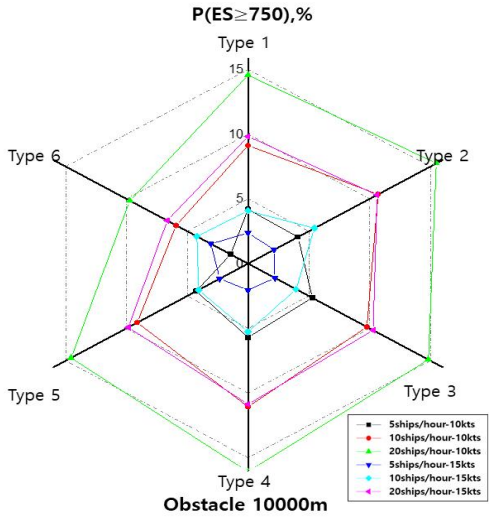

Fig. 8. Risk result of traffic flow in case of obstacle at 10,000m &SD 2,800m

통항로 폭 20,000 m에서는 장해물 및 이격거리와 상관없이 5가지의 일반적인 흐름에서는 1~2 % 내외의 유사한 위험 값을 보였고, Type 6의 교통흐름 방향이 지정된 경우, 타 유형의 흐름에 비해 위험 비율이 낮은 경향을 보였다. 15 knots로 통항 시, Type 6의 위험 비율이 다른 유형보다 높은 경우가 일부 존재하였으며, 통항량이 많아지고 속력이 느려지는 등 위험 비율이 높아지면 Type 6와 다른 흐름과의 차이가 커지는 것을 확인했다.

교통흐름면에서, 통항방향이 지정된 Type 6이 타 유형의 교통흐름에 비해 낮은 위험 비율을 보였다. 이는 Park et al.(2003)의 통항분리방식의 도입이 선박조종자에 부가되는 부하의 정도가 감소한다는 연구결과에서도 확인할 수 있다. 일부 시나리오는 Type 6 역시 타 유형과 차이가 거의 없었지만, 이는 통항할 수 있는 통항로 폭이 넓어 위험 비율이 전체적으로 낮은 값을 보였기 때문으로 사료된다. 또한, Type 6을 제외한 Type 1~5까지의 교통흐름에 대한 차이는 미미하였으며 특정 Type의 교통흐름이 일관적으로 위험한 경우는 없었다.

4. 일반모형 제시 및 적용

4.1 가항 폭에 따른 일반화 모형 제시

본 연구 수행 결과를 토대로 일반화 모형을 제시하기 위하여 설정한 시나리오의 파라미터별 종합적인 평가를 수행하였다. 종합적인 평가를 위해서 본 연구에서는 통항로의 폭을 제한하였기 때문에 장해물의 크기, 장해물과의 이격거리에 따라 실제 선박이 통항할 수 있는 가항 폭(Actual Width of Passage, 이하 WP_a)을 고려하였다. 식(1)은 실질적인 선박 통항 가항 폭을 계산하는 법을 나타낸 것이다.

$$WP_a = WP-(O+2SD) \tag{1}$$

여기서,

$WP_a = Actual\ \ Width\ \ of\ \ Passage(m)$

$WP = Width\ \ of\ \ Passage(m)$

$O = Obstacle's\ \ Size(m)$

$SD = Safe\ \ Distance(m)$

따라서, 본 연구에서 설정한 장해물의 크기 및 장해물과의 안전 이격거리를 통해 WP_a를 구한 것이 Table 6이다.

Table 6. Actual width of passage by parameters(m)

WP	O	SD	WP_a
5,000	1,000	500	3,000
	3,000		1,000
20,000	5,000	500	14,000
		2,800	9,400
	10,000	500	9,000
		2,800	4,400

본 연구에서는 교통흐름별 위험도 차이를 보고자 다양한 교통흐름을 고려하여 시나리오를 시행하였지만, 통항방향이 지정된 Type 6을 제외하고 교통흐름에 대한 일정 상관관계는 파악되지 않았다. 따라서 일반화 모형을 제시할 때는 교통량에 따라 상이하지만 왕복항로 통항 시, 별도의 통항 분리시설이 없는 경우 선박은 항로 중심에서 선수방향의 우측으로 통항 폭의 0.1배만큼 편위하여 통항한다는 연구(Inoue, 1977)에 따라 Type 2, 그리고 통항방향이 지정되어 있는 Type 6에 대해 제시하였다. Fig. 9는 평균 속력 10 knots로 통항할 시 Type 2의 교통흐름에서 WP_a 대비 L환산 통항량에서의 위험 비율의 추세를 그래프로 나타낸 것이다.

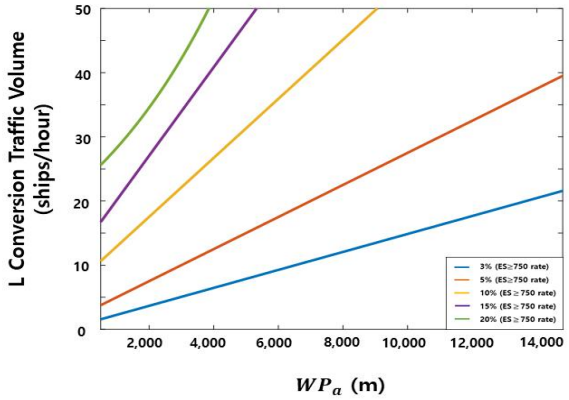

Fig. 9. Generalized model by 10 knots in type 2 traffic flow.

Fig. 10은 평균 속력 15 knots로 통항할 시 Type 2의 교통흐름에서 WP_a 대비 L환산 통항량에서의 위험 비율의 추세를 그래프로 나타낸 것이다.

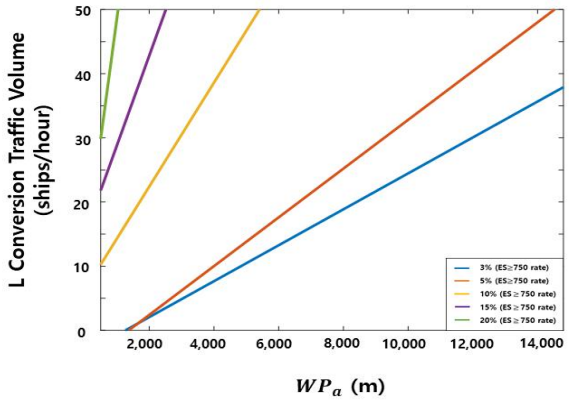

Fig. 10. Generalized model by 15 knots in type 2 traffic flow.

Fig. 11은 평균 속력 10 knots로 통항할 시 Type 6의 교통흐름에서 WP_a 대비 L환산 통항량에서의 위험 비율의 추세를 그래프로 나타낸 것이다.

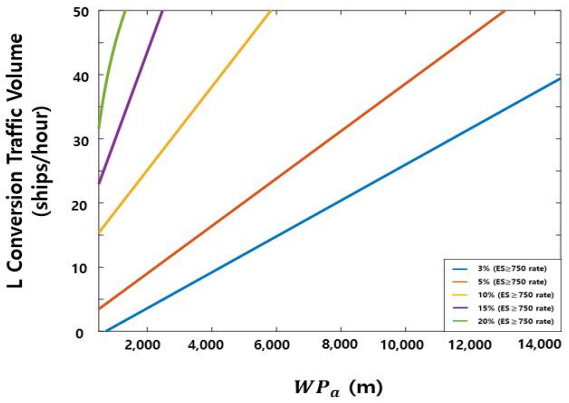

Fig. 11. Generalized model by 10 knots in type 6 traffic flow.

Fig. 12는 평균 속력 15 knots로 통항할 시 Type 6의 교통흐름에서 WP_a 대비 L환산 통항량에서의 위험 비율의 추세를 그래프로 나타낸 것이다.

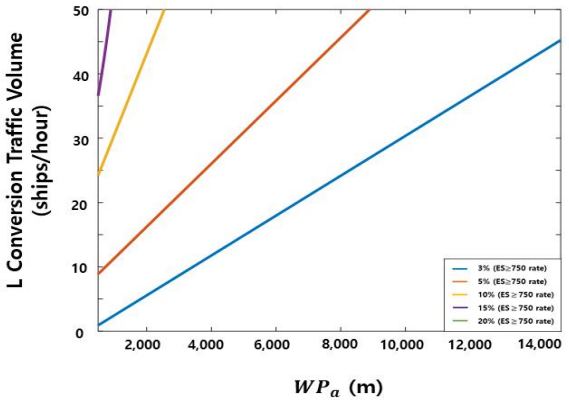

Fig. 12. Generalized model by 15 knots in type 6 traffic flow.

4.2 실 사례 적용

본 연구에서 제시한 일반화 모형을 통항로 내 장해물 존재 사례에 적용하고자 하였다. Table 7은 추진 중인 해상풍력발전단지 사업 중 하나인 다대포 해상풍력발전단지가 존재했을 시에 대한 정보이다.

Table 8. Information of obstacles in Dadaepo offshore wind farm.

Classification	Offshore Wind Farm in Dadaepo
Obstacle's Size	3,000m * 4,000m
Safe Distance	440m
Width of Ship Route	5,500m
Traffic Volume (L Conversion)	9.5ships/hour
Ship's Average Speed	11-12knots
Risk Rate	3.79%

Table 7에 따르면 다대포 해상풍력발전단지 설치 예정 인근 해역의 WP_a는 약 2,500 m이다. 또한, 해당 해역 교통관련 데이터는 3일간의 현장조사(2021.3.9.~2021.3.11.) 및 7일간의 GICOMS 데이터(2020.9.15.~2020.9.21.)를 분석하였으며, 다대포 해상풍력발전단지 설치 예정 인근 해역을 통항하는 선박 중 선박 종류별로 분류했을 때 어선이 49.64 %, 길이별로 분류했을 때 50 m 미만의 선박이 77.07 %를 차지하고 있다(KMOU, 2021). 따라서 소형어선들의 통항이 잦은 해역이다.

Fig. 13은 다대포 해상풍력단지 배치안 및 교통 분리 체계(Traffic Separation Scheme, 이하 TSS)을 나타낸 것이다.

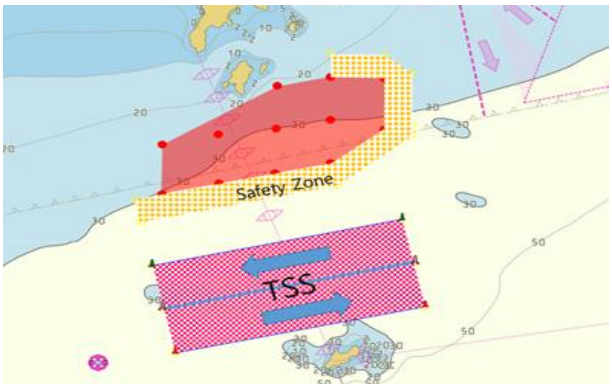

Fig. 13. Placement of offshore wind farm and TSS in Dadaepo.

Fig. 13과 같이 KMOU(2021)는 다대포 해상풍력발전단지 설치로 인해 통항 위험도가 높아질 것으로 예상되어 통항 흐름을 분리하고자 해당 해역에 TSS 도입을 안전 대책으로 제시하였다. TSS와 해상풍력발전단지 사이 해역은 20 m 미만 선박, 어선, 인접한 항구로 입출항하는 선박에 한하여 통항할 수 있으며, 그 이외의 선박은 TSS 해역을 통항하여야 한다.

Fig. 14는 평균 속력 10 knots로 통항할 시 Type 6의 교통흐름에서 WP_a별로 L환산 통항량 대비 위험 비율을 나타낸 그래프에 다대포 해상풍력발전단지 사례를 대입한 결과이다.

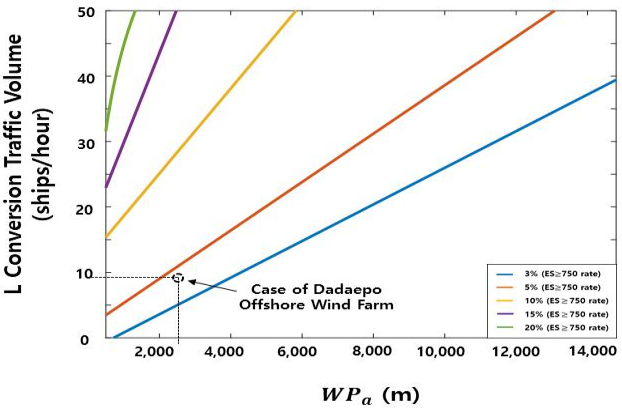

Fig. 14. Case study in generalized model (Type 6&10 knots).

다대포 해상풍력발전단지 해상교통 안전진단에서 제안된 안전대책에 따른 평가해역의 위험 비율은 3.79 %이다(KMOU, 2021). 다대포 해상풍력발전단지의 경우 통항 방식의 상세, 장해물이 한쪽에 위치한 점 등 본 연구에서 설정한 시나리오와 다소 다른 조건으로 인해 일반화 모형을 통해 추정한 값과 차이가 존재하였지만 대략적인 위험 비율 예측이 가능하다고 사료된다.

5. 결 론

최근 해상에 설치되고 있는 풍력발전단지는 선박의 가항수역을 좁혀 선박의 통항로 변화를 야기한다. 이에 본 연구는 통항로 내 장해물이 통항 선박에게 주는 위험도에 대해 각종 파라미터를 통한 시나리오를 설정하고, 시나리오의 정량적인 위험도 평가를 실시하여 일반화 모형을 제시하였다. 본 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 통항량 및 속력 면에서 선박의 통항량이 많아지고 속력이 느릴수록 위험 비율이 높은 경향이 있었다. 이는 평가해역을 통과하는 선박의 수가 많아 교통밀집도가 높아짐으로 사료되며, 교통밀집도가 높을수록 위험 비율이 높다고 판단된다. 장해물 크기 및 이격거리 면에서 장해물의 크기 및 이격거리가 커질수록 위험 비율이 높은 경향이 있었으며, 이는 통항하는 통항로 폭이 좁아질수록 위험 비율이 높아지는 경향이 있음을 알 수 있다.

(2) 교통흐름 면에서 통항 방향이 지정되어 있는 Type 6이 다른 흐름에 비해 낮은 위험 비율을 보였으며, 이는 통항 방향이 지정될 경우 위험 비율이 감소함을 나타낸다. 또한, 일반 왕복 수로, 중앙선 표시가 없는 왕복 수로 흐름을 조합한 Type 1~5까지의 교통흐름에 따른 위험 비율 차이는 미미하였으며 일정 상관관계를 보이지 않았다.

(3) 본 연구에서 수행한 시나리오 결과를 종합적으로 고려하여 WP_a의 개념을 정립하고 일반화 모형을 제시하였다. 제시한 일반화 모형을 다대포 해상풍력발전단지에 적용한 결과, 통항 방식의 상세, 장해물이 한쪽에 위치한 점 등 시나리오 구성과 상이하였지만 본 연구에서 도출한 일반화 모형을 통해 대략적 값을 예측할 수 있는 것으로 판단된다.

본 연구의 한계점은 항만과 인접한 좁은 항로는 고려하지 않았기에 가항 항로 폭이 좁은 경우 일반화 모형에 대한 신뢰성이 검증되지 않았다. 따라서 추후에는 좁은 항로에 대한 시뮬레이션을 추가 실시함으로 일반화 모형의 적용성을 제고하여야 할 것으로 보인다. 또한, 본 연구를 통해 해상교통안전진단 전 미리 위험 요소를 파악하는 과정에 있어 해상 장해물의 설치 및 제거 관련 사업추진자 및 이해관계자에게 참고자료로 쓰일 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 부산광역시 및 (재)부산인재평생교육진흥원의 BB21플러스 사업으로 지원된 연구입니다.

References

[1] Fisheco(2021), Current Status and Problems of Offshore Wind Power Generation, http://www.fisheco.com/news/articleView.html?idxno=76407/ (Accessed: September, 2021).

[2] Inoue, K.(1977), On the Separation of Traffic at Straight Waterway by Distribution Model of Ship, Japan Institute of Navigation, Vol. 56, pp. 103-115.

[3] Inoue, K.(2000), Evaluation Method of Ship handling Difficulty for Navigation in Restricted and Congested Waterways, Journal of Navigation, Vol. 53, No. 1, pp. 167-180.

[4] Kawashima, S., H. Itoh, and A. Kimura(2019), Collision Frequency to Offshore Floating Installations based on Analysis of Ship Traffic Flow, The Journal of Japan Institute of Navigation, Vol. 136, pp. 80-87.

[5] Kim, D. B.(2014), Development of the Speed Limit Model for Harbour and Waterway, Korea Maritime Ocean and University, PhD. Dissertation, pp. 31-35.

[6] Kim T. G., S. H. Byun, Y. J. Yang, and J. B. Im(2013), A study on the safety evaluation techniques of marine bridges and offshore wind farms, Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Conference, pp. 471-473.

[7] KMOU(2021), Final report on maritime traffic safety audit of Dadaepo offshore wind farm development project, pp. 20-23.

[8] KMOU Maritime Traffic Safety Aduit Center(2021), Criteria for selecting the location of the offshore wind farm and opinions on the safety distance, pp. 1-6.

[9] Lee, K. S.(2013), Current status and future perspective of offshore wind power, Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol 26, No. 2, pp. 7-12.

[10] Lee, J. S., W. J. Son, B. K. Lee, and I. S. Cho(2019), Optimal site selection of floating offshore wind farm using genetic algorithm, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 25, No. 6, pp. 658-665.

[11] Ministry of Land Infrastructure and Transport(MOLIT)(2020), National bridge and tunnel extension 5,744km 59.9% in 10 years, pp. 1-15.

[12] Ministry of Ocean and Fisheries(MOF)(2017), The Ministry of Oceans and Fisheries will remove the obstacle to Busan new port, pp. 1-4.

[13] Ministry of Ocean and Fisheries(MOF)(2020a), Announcement of offshore Wind Farm plan that coexists with residents and fisheries industry, pp. 1-5.

[14] Ministry of Ocean and Fisheries(MOF)(2020b), Make a safe path by removing reefs at Gwangyang Port, pp. 1-3.

[15] Ministry of Trade Industry and Energy(MOTIE)(2021), Act on Assistance to Electric Power Plants-Neighboring Areas, https://www.law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9/%EB%B0%9C%EC%A0%84%EC%86%8C%EC%A3%BC%EB%B3%80%EC%A7%80%EC%97%AD%EC%A7%80%EC%9B%90%EC%97%90%EA%B4%80%ED%95%9C%EB%B2%95%EB%A5%A0/ (Accessed: September, 2021).

[16] Park, H. G., Y. S. Park, and D. W. Kim(2020), Correlation of Marine Exploration-Survey Vessel Operation Factors and Grid-Type Operation Method through ES Model Analysis, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 26, No. 6, pp. 634-643.

[17] Park, J. S., Y. S. Park, and K. H. Lee(2013), Marine Traffic Engineering, pp. 56-57, 141-145. 173-174.

[18] Park, Y. S.(2002), A Study on Basic Analysis for Marine Traffic Management, Kobe University graduate school, PhD. Dissertation, p. 103.

[19] Park, Y. S., J. Y. Jeong, J. S. Park, and Inoue, K.(2003), An Assessment of the Quantitative Effect of TSS by Vessel Traffic Flow Simulation, Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 21, No. 1, pp. 41-49.

[20] Qing, Y., A. P. Teixeira, and G. S. Carlos(2020), Assessment of the Influence of Offshore Wind Farms on Ship Traffic Flow Based on AIS Data, The Journal of Navigation, Vol. 73, No. 1, pp. 131-148.

[21] Son, W. J., J. S. Lee, B. K. Lee, and I. S. Cho(2019), A Study on the Selection of the Recommended Safety Distance Between Marine Structures and Ships Based on AIS Data, Korea Institute of Navigation and Port Research, Vol. 43, No. 6, pp. 420-428.

[22] Yang, H. S.(2014), Study on the Vessel Traffic Safety Assessment for Routeing Measures of Offshore Wind Farm, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 20, No. 2, pp. 186-192.

Received : 2021. 10. 26.
Revised : 2021. 12. 07. (1st)
: 2022. 02. 07. (2nd)
Accepted : 2022. 04. 27.