

서남해 해상풍력발전단지 내 항로형태에 따른 선박통항 위험도 평가에 관한 연구

장다운* · 김득봉*** · 정재용**

* 목포해양대학교 대학원, ** 목포해양대학교

Study on Vessel Traffic Risk Assessment according to Waterway Patterns in a Southwest Offshore Wind Farm

Da-Un Jang* · Deug-Bong Kim*** · Jae-Yong Jeong**

* Graduate School Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

** Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요약 : 서남해 해상풍력발전단지 내 선박 통항 금지와 조업 제한으로 인해 사업자와 어민간의 갈등이 심화되고 있다. 이러한 문제 해결을 위하여 국내에서도 유럽의 해상풍력발전단지과 같이 발전단지 내 선박 통항과 어로작업 허용을 검토하고 있다. 이 연구는 서남해 해상풍력발전단지 내 선박 통항을 가정하여 항로의 형태에 따른 해상교통위험도 발생비율을 ES 모델과 IWRAP을 이용하여 분석하였다. 또한, 항로의 형태(십자형 항로 및 격자형 항로)와 선박 통항량(현재, 3배, 5배, 10배)에 변화를 주어 위험도를 정량적으로 평가하였다. 주요 평가결과는 다음과 같다. 현재의 교통량에서 십자형 항로와 격자형 항로를 운영할 경우 조선부담감(종합환경스트레스치가 750 이상)이 높은 구간은 발생하지 않았으며, 연간 충돌확률도 큰 차이가 발생하지 않았다. 그러나 통항량이 현재보다 3배, 5배, 10배 증가함에 따라 교차지점에서 조선부담감과 연간 충돌확률이 급격히 증가함을 확인하였으며, 이를 통해 격자형 항로에서 교통류 분리를 통해 위험도를 효과적으로 분산시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 서남해 해상풍력발전단지 내에서 항로설정, 항로운영방식, 안전대책 등에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

핵심어 : 해상풍력발전단지, 통항로, 해상교통위험도 평가, 항로형태, ES 모델, IWRAP

Abstract : Domestic southwest offshore wind farms have problems such as the reduction in fishing rights by prohibiting vessel traffic, which delays their development. As such, there is a need to develop offshore windfarms in Europe to permit the passage of vessels and fishing operations in specific offshore windfarm areas. In this study, we used the environmental stress (ES model) and the IALA Waterway Risk Assessment Program (IWRAP) to determine the ratio of risk to the route type (cross pattern, grid pattern) and traffic volume (present, 3 times, 5 times and 10 times) to derive the risk factors of specific vessels for offshore windfarms. As a result, ship operators' risk related to offshore windfarms did not rise in both route types and there was no significant difference in the annual probability of collision in the present traffic volume. In conditions that increased traffic volume by 3 times, 5 times and 10 times, the risk ratio increased as ship operator risk and collision probability increased at the crossing points. Furthermore, when the traffic volume of the ship increased, the risk could be more effectively distributed in the grid route compared to the cross route. The results of this study are expected to apply to the operation type, route operation method, safety measures, etc. in offshore wind farms.

Key Words : Offshore wind farm, Waterway, Marine traffic risk assessment, Waterway pattern, ES model, IWRAP

* First Author : dujang@mmu.ac.kr, 061-240-7454

† Corresponding Author : kdb@mmu.ac.kr, 061-240-7179

1. 서론

국내의 해상풍력사업은 지속적으로 활성화 되고 있으며, 정부의 '재생에너지 3020 이행계획' 통해 2030년까지 추가적으로 해상에 약 13GW의 용량을 설치할 예정이다(Kim and Oh, 2018). 그러나 해상풍력사업의 증가로 선박 통항 제한(또는 금지) 해역은 확대될 것이며, 그로 인해 연·근해 어업권 축소 및 통항 위험성 증가라는 부작용이 수반될 것이다. 실제로 어업권 보상 협상과 단지개발에 대한 관련기관의 인허가 문제로 국내의 해상풍력사업은 당초 예상과 달리 많은 어려움을 겪으며 지연되고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 관련 기관에서는 발전사업자와 해역 이용자가 서로 공존하고 협력할 수 있는 방안을 찾고 있다. 국외의 몇몇 해상풍력발전단지들은 특정 선박의 통항을 허용하고 있으며, 대표적으로 영국의 Greater Gabbard 해상풍력발전단지에서는 어선 및 소형선박(작업용, 레저 등)의 통항을 허용하고 있다. 이처럼 국내 해상풍력발전단지에서도 특정 선박에 대한 풍력단지 내 통항 허용과 어선의 어로작업이 가능한 방향으로 제도를 마련할 필요성이 대두되고 있다.

하지만 해상풍력발전단지 내 특정선박의 통항허용을 위해서는 우선적으로 통항하는 선박 및 풍력터빈의 안전 확보가 전제되어야 한다. 이를 위해서 선박통항에 대한 위험성 평가가 선행되어야 하며, 그 결과를 바탕으로 그 위험을 합리적으로 제거·감소시키기 위한 안전대책이 제시되어야 한다. 국내에서는 해상풍력발전단지의 대체통항로 통항안전성 평가에 관한 연구(Yang, 2014)와 서남해 해상풍력발전단지 부근 해역의 어선 통항 안전평가 연구 해상풍력발전단지 해역에서의 선박 통항 안전성 평가에 관한 연구(Yoo and Jeong, 2017)가 있었다. 그러나 현재까지 대상해역 내 항로형태에 따른 선박운항자의 조선투담감(스트레스)을 토대로 한 위험도 평가 연구는 아직까지 없다. 따라서 본 연구에서는 풍력터빈의 배치형태가 기존의 국내 해상풍력단지와 달리 직사각형의 형태로 건설 예정인 서남해 해상풍력발전 실증단지를 대상으로 항로의 형태에 따른 선박통항 위험도를 ES Model(Environment Stress Model, 이하 ES 모델)을 통해 위험도를 평가하였다. 또한, IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment Programme, 이하 IWRAP) 프로그램을 이용하여 대상해역 내 항로에서의 연간 충돌확률을 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 대상해역 내 항로의 지정 및 계획 시의 안전대책을 검토하고자 한다.

2. 대상해역의 교통현황

2.1 서남해 해상풍력발전단지의 개요

서남해 해상풍력발전단지 1단계 실증단지는 서남해 연안

의 부도·위도 인근부터 영광 안마도 해상에 현재 국내에서는 찾아볼 수 없는 직사각형의 형태로 건설 예정이다.

Fig. 1은 서남해 해상풍력발전단지 실증단지 내 풍력터빈의 제원을 나타낸 것으로 날개의 수직 높이는 약최고고조위수면부터 풍력터빈 날개 회전반경 끝단까지의 수직거리가 19.17m이며, 날개 회전직경은 100m 내외로 설계된다. 또한, 터빈간의 이격거리는 약 800m로 건설되며, 터빈의 배치형태는 Fig. 2와 같이 총 20기의 풍력터빈이 4×5의 직사각형 형태로 배치될 예정이다.

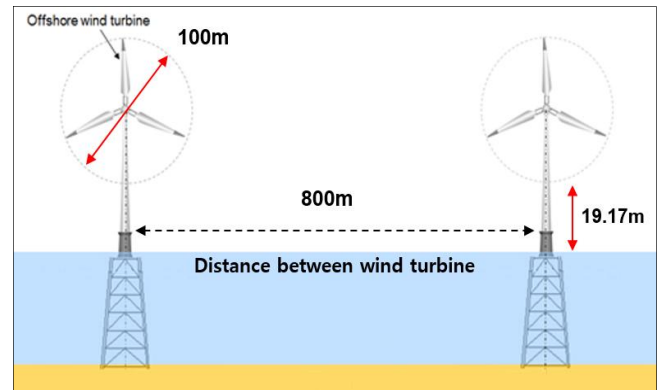


Fig. 1. Distance between wind turbine.

2.2 교통조사

서남해 해상풍력발전단지 해역 내 교통현황을 조사하기 위하여 Fig. 2와 같이 대상해역에 총 4개의 통과선을 설정하고 2017년 분기별 7일간의 교통흐름과 교통량을 분석하였다. 대상해역 내 주 통항선박은 소형선박 및 어선인 것으로 분석되었으며, Fig. 3은 대상해역 내 한해 분기별 통항량으로 당해 연도 3분기에 312척으로 가장 많았으며, Fig. 4는 3분기에 대상해역 내 통항선박들의 교통흐름을 나타낸 것이다.

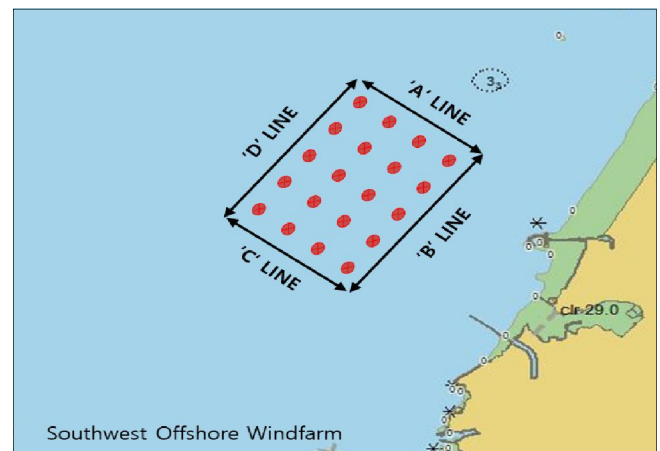


Fig. 2. Layout of Southwest offshore wind farm.

서남해 해상풍력발전단지 내 항로형태에 따른 선박통행 위험도 평가에 관한 연구

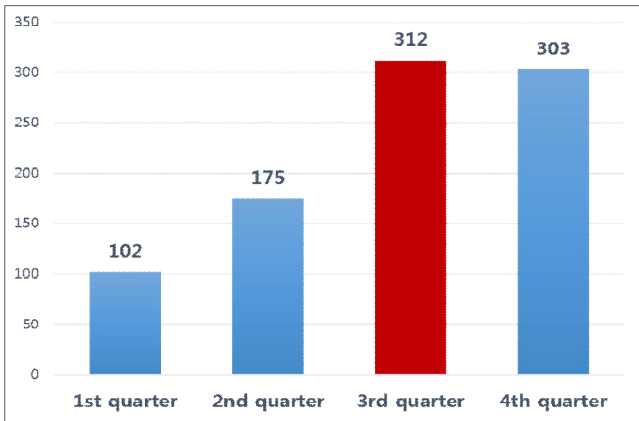


Fig. 3. Quarterly traffic volume for the sea areas.

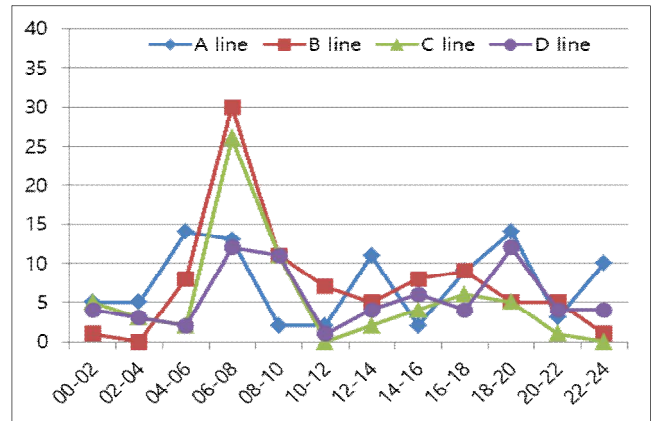


Fig. 5. Entering vessel of time for gate line.

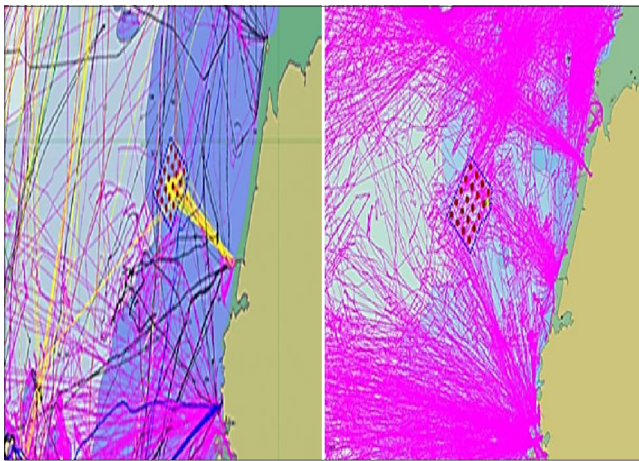


Fig. 4 Ship trajectories of 7 days in 3rd quarter.

Table 1은 3분기 중 대상해역 내 통과선박의 크기별 교통량을 분석한 것으로 0~10톤 미만의 선박이 277척(88.7%)으로 가장 많은 것으로 조사되었다. 또한, Fig. 5는 조사기간 중 시간대별 통항척수를 Table 2는 각 Gate line별 시간당 통항량을 나타내고 있다.

Table 1. Vessel distribution according to size

| Ton. (G/T) | Number of vessel | Ratio (%) |
|---------------|------------------|-----------|
| 0 ~ 10 ton | 277 | 88.7 |
| 10 ~ 20 ton | 18 | 5.8 |
| 20 ~ 50 ton | 6 | 1.9 |
| 50 ~ 100 ton | 6 | 1.9 |
| 100 ~ 500 ton | 5 | 1.6 |
| Total | 312 | 100.0 |

Table 2. Traffic volume of per hour in gate line

| Gate line | A | B | C | D |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Traffic Volume (Vessel/Hour) | 0.9 | 2.1 | 1.9 | 1.0 |

3. 해상풍력발전단지 내 통항 위험도 평가조건

3.1 선박 통항로

1) 해상풍력발전단지 내 항로 형태

서남해 해상풍력발전단지 해역의 교통현황 조사결과 통항선박 대부분은 10톤 미만의 소형어선으로 분석되었다. 일반적으로 어선은 어로작업 및 어획물 수송이 주된 목적으로 통항경로대의 설정에 있어 일정한 교통흐름이 존재하지 않아 통항로의 형성이 어렵다. 그러나 본 연구에서는 해상풍력발전단지 내 실제 선박이 통항하는 경우를 가정하기 위해, 선박의 항로형태를 Fig. 6과 같이 풍력터빈의 사이에 십자형(Cross pattern)으로 왕복하여 통항할 수 있는 4개의 직선 항로와 및 Fig. 7과 같이 격자형(Grid pattern)으로 왕복하여 통항할 수 있는 14개의 직선 항로를 설정하여 평가하고자 한다.

2) 해상풍력발전단지 내 항로의 폭

직선항로에 있어 동일한 통항척수일 경우 항행 폭이 증가 되면 선박운항자가 느끼는 위험도는 낮아진다는 연구결과를 바탕(Park et al., 2006)으로 통항로 내 가항수역의 폭은 터빈간의 설계계획상 이격거리 800m에 선박의 보호를 위한 내측안전구역(Inner safety zone)을 제외한 최대 범위로 설정하였다. 통항로의 내측 안전구역 설정은 터빈날개 회전직경(100m)에 터빈으로부터의 여유수역(Margin) 150%를 적용(Ohn et al., 2018)하여 Fig. 8과 같이 600m로 설정하였다.

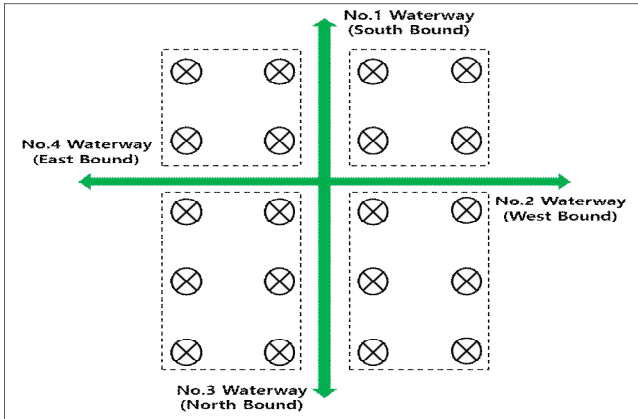


Fig. 6. Route design by cross pattern.

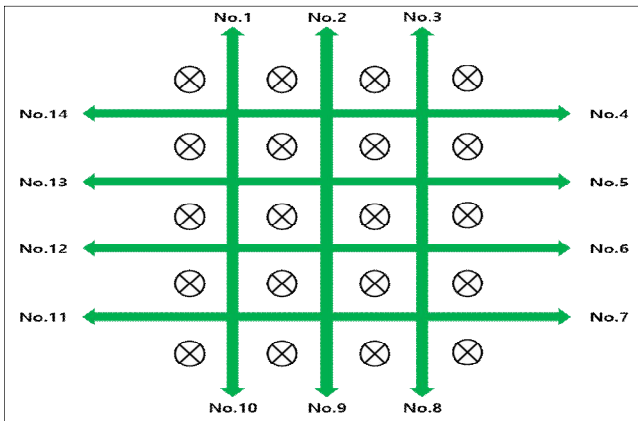


Fig. 7. Route design by grid pattern.

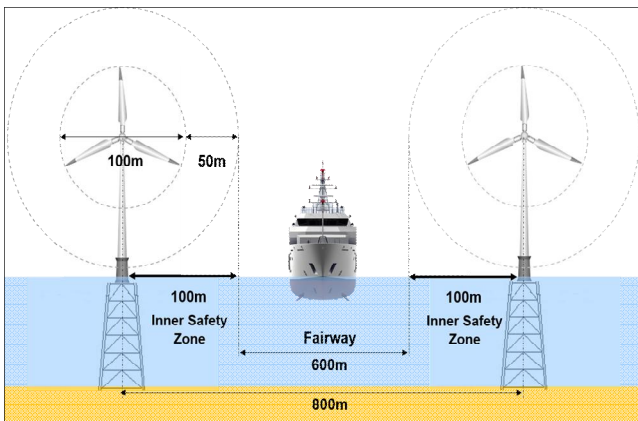


Fig. 8. Arrangement of waterway.

3.2 통항선박의 발생

서남해 해상풍력발전단지 내 가상으로 설정된 2개의 통항로에 통항할 선박은 해상교통조사 결과를 기반으로 하여 선박 교통량, 선박크기, 선박속력을 구성하였다. 교통량은 통

항이 가장 많았던 피크타임(Peak time) 시간대에 각 Gate line 별로 Table 4와 같이 발생시켜 재현하였다. 특히, 격자형 항로에 발생하는 교통량은 십자형 항로에서 발생하는 선박의 척수를 각 항로에 균등하게 나누어 교통류가 분리되어 발생하도록 하였다. 항로선박의 크기 비율은 Table 3과 같이 현재 설정과 동일하게 적용하였다. 또한, 각 대표 선형별 선박 속력은 10~15노트의 범위 내에서 발생되도록 설정하였다. 선박은 구성된 조건 내에서 시뮬레이션 동안 난수를 통한 선박 크기별 선형계수가 임의로 조합되어 발생되도록 하였다(Park et al., 2017). 한편, 장래 통항량 증가 및 향후 해상풍력발전단지 내 선박 통항량을 제한할 것을 가정하여 현재의 교통량, 현재보다 3배, 5배, 10배 증가한 경우에 대하여 시뮬레이션을 실시하여 비교 분석하였다.

Table 3. Occurrence vessel's length & percentage

| Classification | Ship Length (m) | | Percentage (%) |
|----------------|-----------------|-----------|----------------|
| | Average | Deviation | |
| 0-10 GT | 9.3 | ±3.8 | 88.7 |
| 10-20 GT | 15.8 | ±1.7 | 5.8 |
| 20-50 GT | 23.0 | ±0.8 | 1.9 |
| 50-100 GT | 23.5 | ±2.0 | 1.9 |
| 100-500 GT | 52.5 | ±20.5 | 1.6 |

* Standard of ship's length as per MOF, 2017

Table 4. Occurrence vessel's during simulation in present traffic

| Pattern | Water way | Direction | Traffic Volume (Vessel/Hour) |
|---------|----------------|-------------|------------------------------|
| Cross | No.1 | South bound | 1.0 |
| | No.3 | North bound | 1.9 |
| | No.2 | West bound | 2.1 |
| | No.4 | East bound | 0.9 |
| Grid | No.1,2,3 | South bound | 0.3 |
| | No.8,9,10 | North bound | 0.6 |
| | No.4,5,6,7 | West bound | 0.5 |
| | No.11,12,13,14 | East bound | 0.2 |

3.3 시뮬레이션의 구성

위험도 평가를 위하여 항로의 형태, 시간당 발생척수를 토대로 Table 5와 같이 총 8가지의 시나리오를 구성하여 시뮬레이션을 진행하였다.

Table 5. Scenarios for risk assessment

| Item | Waterway | Traffic volume |
|--------|---------------|----------------------|
| Case 1 | | Present traffic |
| Case 2 | Cross pattern | Present traffic x 3 |
| Case 3 | | Present traffic x 5 |
| Case 4 | | Present traffic x 10 |
| Case 5 | | Present traffic |
| Case 6 | Grid pattern | Present traffic x 3 |
| Case 7 | | Present traffic x 5 |
| Case 8 | | Present traffic x 10 |
| Total | 8 Cases | |

시뮬레이션에 대한 위험도 평가는 ES 모델(Inoue, 2000)을 이용하였다. 또한, 동일한 시뮬레이션 조건을 기반으로 IWRAP(Peter Friis Hansen, 2008)을 프로그램을 이용하여 대상해역에서의 충돌 확률을 분석하여 비교하였다. ES 모델은 운항 중 선박을 둘러싸고 있는 자연, 지형, 시설, 교통 조건 등의 주변 환경으로부터 선박이 느끼는 조건부담감을 정량화한 모델이다. ES 모델은 선박 침로를 중심으로 ±90도 범위를 탐색하여 본선 주변의 지형적인 제약 조건 및 타선의 분포 등을 감안하여 시간적 여유를 산출하며, 이 시간적 여유를 선박운항자가 느끼는 스트레스 치로 단계적으로 정량화한다. ES 모델의 스트레스치는 0~500, 500~750, 750~900, 900~1000의 4단계로 분류되며, 종합환경 스트레스 수치가 750 이상으로 나타나면 대상해역에서 선박 운항자가 위험을 느끼는 ‘위험’ 상태로 평가된다. IWRAP은 특정 수로에서 선박의 충돌 및 좌초의 가능성을 평가하기 위한 목적으로 교통량, 항적분포, 선속, 선박길이, 통항로, 선박의 흘수 등의 자료와 수심, 해상구조물 등의 자연환경 등의 기하학적인 자료를 기반으로 대상해역에서의 연간 선박의 충돌 및 좌초 확률을 산출하여 위험도를 분석하는 프로그램이다.

4. 해상풍력발전단지 내 통항 위험도 평가결과

4.1 ES 모델 평가 결과

1) 십자형 항로에서의 시뮬레이션 결과

Fig. 9는 서남해 해상풍력발전단지 내 십자형태의 통항로를 이용하여 선박이 통항하였을 경우 선박운항자가 느끼는 위험도를 분석한 결과이다. 먼저 Case 1의 시뮬레이션의 결과 현재의 교통량에서 종합환경스트레스치 750 이상이 나타나는 해역은 없는 것으로 분석되었다. Case 2의 시뮬레이션 결과 전체 해역에서 선박운항자가 위험을 느끼는 구간의 발생비율은 약 0.18%이며, 1일 약 0.2시간 동안 위험도가 발생할 것으로 예상된다. 위험도 발생비율이 십자형태에 비해 약 0.10% 감소하였다. Case 7의 시뮬레이션 결과 전체 해역에서 선박운항자가 위험을 느끼는 구간의 발생비율은 약 0.13%이며, 1일 약 0.2시간 동안 위험도가 발생할 것으로 예상된다. 위험도 발생비율이 십자형태에 비해 약 0.51% 감소하였다.

생비율은 약 0.18%이며, 1일 약 0.2시간 동안 위험도가 발생할 것으로 예상된다. Case 3의 시뮬레이션 결과 전체해역에서 선박운항자가 위험을 느끼는 구간의 발생비율은 약 0.35%이며, 1일 약 0.7시간동안 위험도가 발생할 것으로 예상된다. Case 4의 시뮬레이션 결과 전체해역에서 선박운항자가 위험을 느끼는 구간의 발생비율은 0.82%이며, 1일 약 3.6시간 동안 위험도가 발생할 것으로 예상된다. 교통량의 증가에 따라 위험도 발생비율이 증가하였으며 특히 교차점에서 높아짐을 확인할 수 있었다.

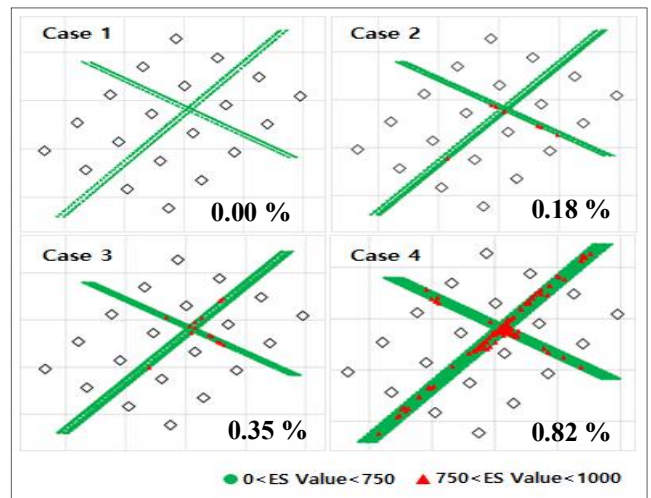


Fig. 9. Result of ES model in cross pattern waterway.

2) 격자형 항로에서의 시뮬레이션 결과

Fig. 10은 서남해 해상풍력발전단지 내 격자형태의 통항로를 이용하여 선박이 통항하였을 경우 선박운항자가 느끼는 위험도를 분석한 결과이다. Case 5의 시뮬레이션 결과 현재의 교통량에서 종합환경스트레스치 750 이상이 나타나는 해역은 없는 것으로 분석되었다. Case 6의 시뮬레이션 결과 전체 해역에서 선박운항자가 위험을 느끼는 구간의 발생비율은 약 0.08%이며, 1일 약 0.1시간 동안 위험도가 발생할 것으로 예상된다. 위험도 발생비율이 십자형태에 비해 약 0.10% 감소하였다. Case 7의 시뮬레이션 결과 전체 해역에서 선박운항자가 위험을 느끼는 구간의 발생비율은 약 0.13%이며, 1일 약 0.2시간 동안 위험도가 발생할 것으로 예상된다. 위험도 발생비율이 십자형태에 비해 약 0.22% 감소하였다. Case 8의 시뮬레이션 결과 전체해역에서 선박운항자가 위험을 느끼는 구간의 발생비율은 약 0.31%이며, 1일 약 1.2시간 동안 위험도가 발생할 것으로 예상된다. 위험도 발생비율이 십자형태에 비해 약 0.51% 감소하였다.

평가결과, 선박 침로 범위 내에 고정 장애물인 터빈과 타선의 분포가 밀집되는 항로의 교차구간에서 공통적으로 위

험도가 높아졌다. 또한, Fig. 11과 같이 전체해역에 대하여 교통량이 분산된 격자형 항로에서 십자형 항로에 비해 위험도가 낮아짐을 확인할 수 있었다. 이는 ES 모델이 선박 침로를 중심으로 주변의 지형적인 제약 조건 및 타선의 분포 등을 감안하여 시간적 여유를 산출하며, 이 시간적 여유를 선박 운항자가 느끼는 스트레스 수치로 나타내기 때문이다.

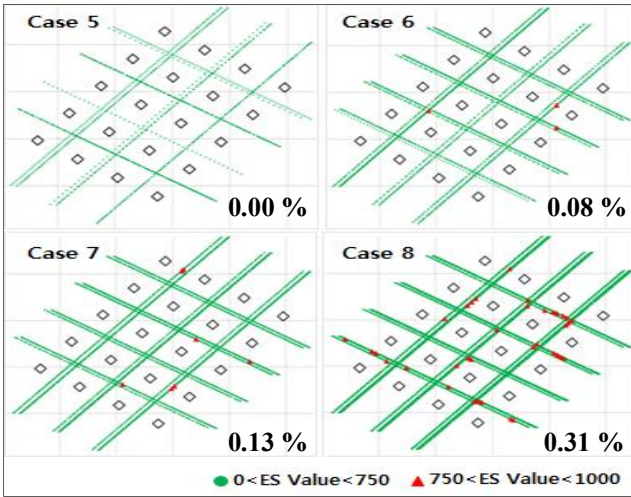


Fig. 10. Result of ES model in grid pattern waterway.

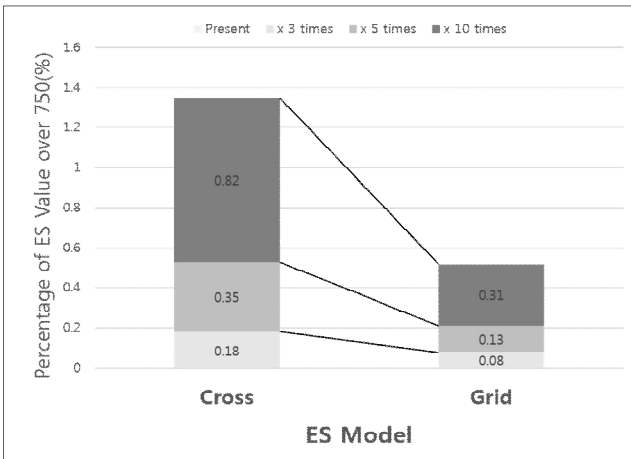


Fig. 11. Risk difference waterway patterns on ES model.

4.2 IWRAP 평가 결과

1) 십자형 항로에서의 시뮬레이션 결과

Table 6은 서남해 해상풍력발전단지 내 십자형 항로에서 현재의 교통량에서부터 교통량이 10배까지 증가하였을 경우에 IWRAP을 통한 선박간의 연간 충돌확률을 나타낸 것이다. Case 1은 현재의 교통량에서 십자형 항로를 운용하는 경우 연간 충돌확률 결과이다. 전체해역에서 선박간의 연간 충돌확률은 4.5×10^2 이며, 그 중 교차상태에서의 연간 충돌

확률이 3.1×10^2 로 가장 높은 것으로 분석되었다. Case 2는 교통량이 현재보다 3배 증가하고 십자형 항로를 운용하는 경우 연간 충돌확률 결과이다. 전체해역에서 선박간의 연간 충돌확률은 4.1×10^1 이며, 그 중 교차상태에서의 충돌확률이 3.8×10^1 로 가장 높은 것으로 분석되었다. Case 3은 교통량이 현재보다 5배 증가하고 십자형 항로를 운용하는 경우 연간 충돌확률 결과이다. 전체해역에서 선박간의 연간 충돌확률은 9.5×10^1 이며, 그 중 교차상태에서의 연간 충돌확률이 7.8×10^1 로 가장 높은 것으로 분석되었다. Case 4는 교통량이 현재보다 10배 증가하고 십자형 항로를 운용하는 경우 연간 충돌확률 결과이다. 전체해역에서 선박간의 연간 충돌확률은 5.2이며, 그 중 교차상태에서의 연간 충돌확률이 3.1로 가장 높은 것으로 분석되었다.

Table 6. Result of IWRAP in cross pattern waterway

| Cross pattern | Result (Incident/Year) | | | |
|---------------|------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| | Overtaking Collision | Head-on Collision | Crossing Collision | Total |
| Case 1 | 1.4×10^2 | 8.9×10^{80} | 3.1×10^2 | 4.5×10^2 |
| Case 2 | 3.3×10^2 | 2.2×10^{-3} | 3.8×10^1 | 4.1×10^1 |
| Case 3 | 6.5×10^2 | 1.0×10^{-1} | 7.8×10^1 | 9.5×10^1 |
| Case 4 | 1.5×10^1 | 1.9 | 3.1 | 5.2 |

2) 격자형 항로에서의 시뮬레이션 결과

Table 7은 서남해 해상풍력발전단지 내 교차형 항로에서 현재의 교통량에서부터 교통량이 10배까지 증가하였을 경우에 IWRAP을 통한 선박간의 연간 충돌확률을 나타낸 것이다. Case 5는 현재의 교통량에서 격자형 항로를 운용하는 경우 연간 충돌확률 결과이다. 전체해역에서 선박간의 연간 충돌확률은 3.7×10^2 이며, 그 중 교차상태에서의 연간 충돌확률이 3.2×10^1 로 가장 높은 것으로 분석되었다. Case 6은 교통량이 현재보다 3배 증가하고 격자형 항로를 운용하는 경우 연간 충돌확률 결과이다. 전체해역에서 선박간의 충돌확률은 3.2×10^1 이며, 그 중 교차상태에서의 연간 충돌확률이 2.7×10^1 로 가장 높은 것으로 분석되었다. Case 7은 교통량이 현재보다 5배 증가하고 교차형 항로를 운용하는 경우 충돌확률 결과이다. 전체해역에서 선박간의 연간 충돌확률은 8.4×10^1 이며, 그 중 교차상태에서의 연간 충돌확률이 7.7×10^1 로 가장 높은 것으로 분석되었다. Case 8은 교통량이 현재보다 10배 증가하고 격자형 항로를 운용하는 경우 연간 충돌확률 결과이다. 전체해역에서 선박간의 연간 충돌확률은 3.2이며, 그 중 교차상태에서의 연간 충돌확률이 3.0로 가장 높은 것으로 분석되었다.

Table 7. Result of IWRAP in grid pattern waterway

| Grid pattern | Result (Incident/Year) | | | |
|--------------|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| | Overtaking Collision | Head-on Collision | Crossing Collision | Total |
| Case 5 | 6.4×10^{-3} | - | 3.0×10^{-2} | 3.7×10^{-2} |
| Case 6 | 4.1×10^{-2} | 6.9×10^{-85} | 2.7×10^{-1} | 3.2×10^{-1} |
| Case 7 | 7.8×10^{-2} | 1.9×10^{-31} | 7.7×10^{-1} | 8.4×10^{-1} |
| Case 8 | 1.7×10^{-1} | 7.6×10^{-6} | 3.0 | 3.2 |

5. 결론

본 연구는 서남해 해상풍력발전단지 내 1차 실증단지내 항로를 설정하고 선박운항자의 환경적 스트레스를 기반으로 한 ES 모델과 좌초 및 충돌의 해양사고확률을 계산하는 IWRAP을 통하여 특정선박의 통항에 대한 위험도를 평가하였다. 본 논문에서 도출된 항로형태에 따른 선박운항자의 위험도와 선박간의 충돌확률에 대한 분석결과는 다음과 같다.

현재의 교통량에서는 선박운항자의 조선부담감이 위험한 구간은 없는 것으로 나타났으며, 연간 충돌확률도 큰 차이가 없었음을 확인하였다. 교통량이 3배 증가한 경우 십자형 항로에서의 위험도를 100%로 볼 때 격자형 항로에서의 운항자의 조선부담감으로 인한 위험도는 약 55.6%, 선박간의 연간 충돌확률은 22.0%의 감소 효과가 있음을 알 수 있었다. 교통량이 5배 증가한 경우 십자형 항로에서의 위험도를 100%로 볼 때 격자형 항로에서의 운항자의 조선부담감으로 인한 위험도는 약 62.9%, 선박간의 연간 충돌확률은 11.6%의 감소 효과가 있음을 알 수 있다. 교통량이 10배 증가한 경우 십자형 항로에서의 위험도를 100%로 볼 때 격자형 항로에서의 조선부담감으로 인한 위험도는 약 62.2%, 선박간의 연간 충돌확률은 61.5%의 감소효과가 있음을 알 수 있다. 또한, 각 항로형태에서 교통량이 증가함에 따라 교차지점에서의 위험도가 공통적으로 높아짐을 확인할 수 있었다.

그러나 본 연구의 결과가 서남해 해상풍력발전단지 내 항로를 격자 형태로 설정해야 한다는 것은 아님을 밝혀둔다. 격자형 항로형태는 교통량을 분산시킴으로써 전체해역에 대한 위험도는 낮으나, 대상해역 내 선박의 진입과 동시에 교차구간에서의 선박간의 충돌위험이 발생할 수 있기 때문이다. 향후 서남해 해상풍력발전단지 내 항로의 지정 및 계획에 있어 본 연구의 결과를 토대로 대상해역 내 어업활동으로 인한 교통량 증가를 고려한 다수의 항로확보와 교차구간을 최소화 하여 설계할 필요가 있다고 판단된다. 또한, 본

연구에서 검토된 조건 이외 대상해역 내 통항선박에 대하여 어로작업 중인 선박과의 위험도, 양식장 설치 등을 추가적으로 평가한다면 향후 해상풍력발전단지 내 항로설정, 조업형태 및 운영방안 등에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] Inoue, K.(2000), Evaluation Method of Ship Handling Difficulty for Navigation in Restricted and Congested Waterways, The Royal Institute of Navigation, Vol. 53, No. 1, pp. 167-180.
- [2] Kim, K. S. and J. B. Oh(2018), Experts Survey of Technology level and Industry status of Korea Offshore Wind Power, Journal of Wind Energy, Vol. 9, No. 2, pp. 5-11.
- [3] MOF(2017), Ministry of Ocean and Fisheries, Port and Harbor Design Standards, p. 13.
- [4] Ohn, S. W., C. H. Lee and C. S. Kim(2018), A Study on the Establishment of Allowable Criteria for Sailing Ship at Offshore Wind Farms, Journal of the Korean Society of Maritime Environment & Safety, Vol. 24, No. 7, pp. 841-847.
- [5] Park, J. S., Y. S. Park and H. K. Lee(2017), Marine Traffic Engineering, pp. 81-86.
- [6] Park, Y. S., J. Y. Jeong and J. S. Park(2006), A Study on the Validity of Proper Maximum Navigation Speed in a Straight Waterway, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 12, No. 2, pp. 139-144.
- [7] Peter Friis Hansen(2008), IWRAP Mk II Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies, Technical University of Denmark.
- [8] Yang, H. S.(2014), Study on the Vessel Traffic Safety Assessment for Routeing Measures of Offshore Wind Farm, Journal of the Korean Society of Maritime Environment & Safety, Vol. 20, No. 2, pp. 186-192.
- [9] Yoo, S. R. and J. Y. Jeong(2017), A Study on Traffic Safety Assessment for Fishing Vessels Near the Southwest Sea Offshore Wind Farm, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 23, No. 3, pp. 231-241.

Received : 2019. 07. 25.

Revised : 2019. 08. 26. (1st)

: 2019. 09. 24. (2nd)

Accepted : 2019. 10. 28.