

해상풍력발전단지의 대체통항로 통항안전성 평가에 관한 연구

양형선*†

* 목포해양대학교 해상운송시스템학부

Study on the Vessel Traffic Safety Assessment for Routeing Measures of Offshore Wind Farm

Hyoung-Seon Yang*†

* Division of Maritime Transportation System, Mokpo Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 본 연구에서는 대정해상풍력단지 설치 해역과 인근수역을 이용하는 선박교통량과 해상교통흐름의 패턴을 분석하고 단지 조성 후 합리적인 대체통항로 지정에 따른 교통량을 예측하였다. 또한 예측된 교통량을 근거하여 통항로별 통항안전성을 평가하고 검토함으로써 선박의 안전운항에 필요한 제반조건 및 대책을 제시하였다. 풍력단지 설치 해역과 인근수역의 해상교통흐름 패턴을 분석한 결과 총 8가지의 교통흐름으로 분류되었고, 연간 교통량은 8,975 척으로 예측되었다. 이를 근거로 단지 조성 후 4가지의 대체 통항로 지정에 따른 교통량을 예측하였다. 예측된 교통량과 SSPA의 동력선충돌모델을 이용하여 통항안전성을 평가한 결과 충돌 및 침로이탈확률에 관한 국내 안전기준 10^{-4} 이하를 만족하므로 계획된 대체통항로가 유용함을 확인하였다.

핵심용어 : 해상풍력발전단지, 해상교통흐름, 통항안전성평가, 해상교통량, 대체통항로

Abstract : In this paper, we analysed vessel traffic volume and patterns of traffic flow for ships using areas where included wind farm site and adjacent waters of Daejeong Offshore Wind Farm, and estimated traffic volume by classified navigational routes according to suggestion of rational routeing measures on the basis of classified patterns after installation of offshore wind facilities. Also, we assessed vessel traffic safety for each designed routeing measures on the basis of estimated traffic volume and proposed requisite countermeasures for the safe navigation of ships. With a result of analysing patterns of traffic flow, the current traffic flow was classified by 8 patterns and the annual traffic volume was predicted to 8,975 ships. On the basis of these, expected the vessel traffic volume according to designed four routeing measures after installation of wind farm. As result of assessing vessel traffic safety by using powered-vessel collision model of SSPA on the basis of the estimated traffic volume, the value of collision probability was less than safe criteria 10^{-4} . Thereby we made sure usability of the designed routeing measures for the safe navigation of ships.

Key Words : Offshore wind farm, Marine traffic flow, Vessel traffic safety assessment, Marine traffic volume, Routeing measures

1. 서 론

오늘날 선박의 안전한 항해에 영향을 미치는 해양구조물이 증가하고 있다. 정부는 신재생에너지발전 전략을 수립에 따라 2011년 11월 “서남해안 2.5 GW 해상풍력개발 종합추진 계획”을 발표하였다. 따라서 한국전력공사는 2019년까지 한반도 남서해안에 2.5 GW 규모의 해양풍력단지를 건설할 계획을 수립하였다(Sung and Lee, 2013). 1 단계 사업으로 제주 서귀포시 대정읍 해상에 대정해상풍력지구를 설정하고 2016

년까지 7 MW급 발전기 29기를 설치하여 총 203 MW의 발전 용량을 가진 해상풍력발전단지가 건설될 예정이며, 단지의 면적은 29,000,000 m²이다.

해상에 설치되는 풍력발전단지는 넓은 수역을 점용하게 되고 해당 수역을 이용하는 선박 통항에 장애물이 될 수 있다. 해상풍력발전의 선진국가인 영국의 DECC(Department of Energy & Climate Change) 관리국에서는 해상풍력단지과 같은 재생 에너지 장치나 구조물을 해상에 설치하는 경우, 해상운송에서의 통항안전성을 고려하도록 규정하고 있다(DECC, 2012a). 지금까지 국내에서는 해상에 풍력발전단지를 설치한 적이

† epicyang@mmu.ac.kr, 061-240-7178

없이 단지의 인근해역을 항해하는 선박의 통항안전성 평가에 관한 연구가 진행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 국내 해상에서 처음으로 설치되는 대정해상풍력단지 설치 해역과 인근수역을 이용하는 선박 교통량과 해상교통흐름의 패턴을 분석하고 단지 조성후 합리적인 대체통항로 지정에 따른 교통량을 예측한다. 또한 예측된 교통량을 근거하여 통항로별 통항안전성을 평가하고 검토함으로써 선박의 안전운항에 필요한 제반조건 및 대책을 제시하고자 한다.

2. 해상교통량분석

2.1 해상풍력단지의 개요

대정해상풍력단지 조성사업의 1단계는 발전기 12기 건설로 2014년 12월 완공예정이며, 2단계는 2016년 12월 완공목표로 17기 건설예정이다. 이 발전단지는 제주특별자치도 서귀포시 모슬포항에서 약 2Km 떨어진 해역에 위치하며, 수심은 20~50m의 분포를 이루며, 단지의 면적은 29,000,000 m²이다. Fig. 1은 대정해상풍력발전단지의 배치를 나타낸 것으로, 가장자리 붉은색 실선은 풍력단지 설치를 위한 공유수면 점용 해역을 의미하며 붉은색 심볼은 풍력타워가 설치될 위치를 의미한다. Fig. 2는 풍력발전기의 주요제원을 나타낸 것으로서, 타워의 높이 110m, 회전날개의 직경 171.2m, 타워의 직경 7m로 설계되었다.

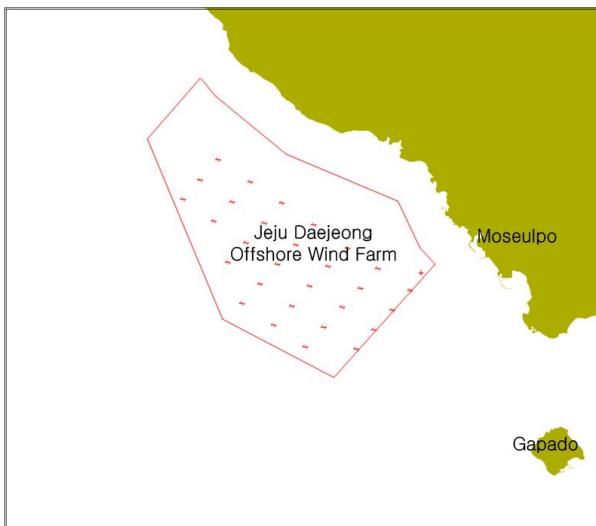


Fig. 1. The Arrangement of Daejeong Offshore Wind farm.

2.2 해상교통량 측정 및 분석

선박의 항적도는 현재 대상해역에서 선박 크기별, 선종별,

항로별로 선박들이 어떤 특징을 가지고 통항하고 있는가를 나타내는 것으로 현행 해상교통환경을 평가하는데 매우 중요 역할을 한다. 대상해역의 해상교통량과 교통흐름을 파악하기 위해 GICOMS 자료를 활용하였으며, 조사기간은 2012년 7월 4일 00:00시부터 12일 00:00시까지 9일간의 교통량 데이터를 분석하였다. Fig. 3은 분석된 자료를 토대로 해상풍력단지가 조성될 해역을 이용하는 전체 선박의 통항 항적도를 나타낸 것으로서 선종별로 색을 달리하여 표시하였다. 여기서 검정색으로 표시된 기타선박은 관광선, 요트, 유람선 그리고 잠수함 등에 해당한다.

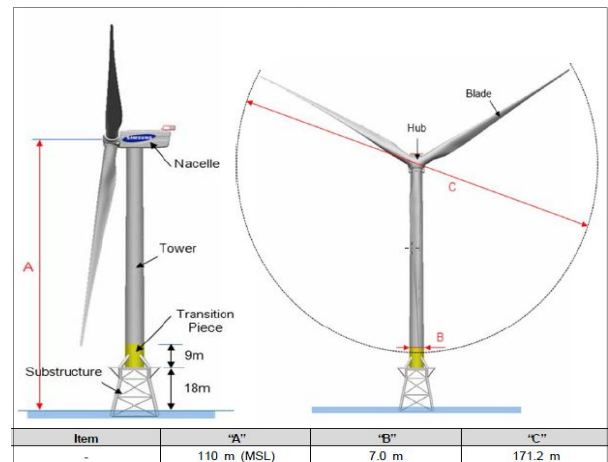


Fig. 2. The specification design of generator tower.

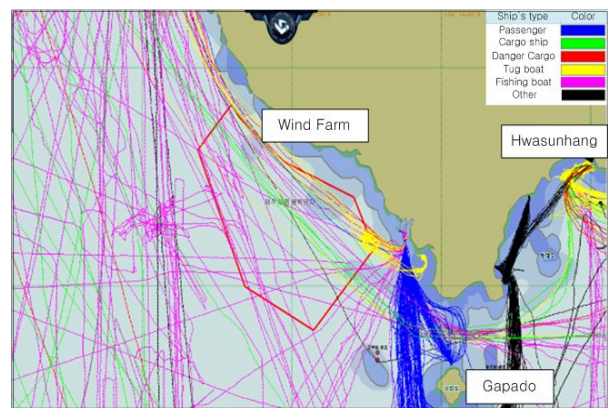


Fig. 3. Track chart of vessels using object sea area during 9 days.

대상해역이 광활하므로 선박의 교통량을 측정하기 위해서는 교통흐름 패턴에 따른 통항로(Traffic line) 구분이 필요하다. 항적도를 바탕으로 통항 패턴을 분석한 결과 Fig. 4와 같이 총 8가지 대표적인 통항로로 분류하였다.

양형선

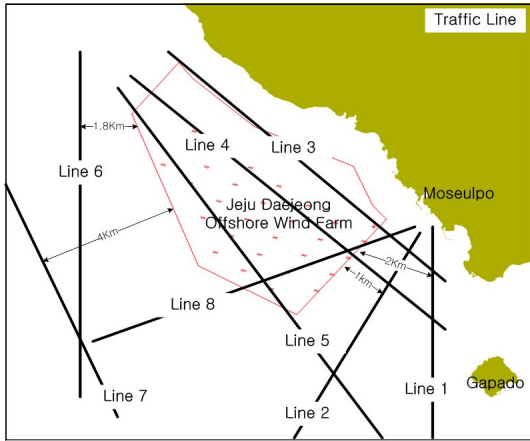


Fig. 4. Division of traffic lines according to the traffic flow.

풍력단지 남서쪽의 수역을 항해하는 선박은 주로 Line 1 과 2의 통항패턴을 나타낸다. Line 1을 주로 이용하는 선박은 가파도와 마라도를 정기 운항하는 여객선이 주가 되고 Line 2는 어선이 주로 이용한다. 풍력단지 내의 수역을 항해하는 선박은 주로 Line 3, 4, 5, 8의 통항패턴을 나타낸다. Line 3은 예부선이 주로 이용하며, Line 4와 5를 이용하는 선박은 어선이 대부분을 차지한다. 단지의 서쪽을 항해하는 선박은 주로 Line 6과 7 통항패턴으로 대표할 수 있다. Line 6은 어선, Line 7은 화물선이 주로 이용하는 통항로이다.

Fig. 4에서 통항패턴을 따라 구획된 8 가지 통항로를 이용하는 선박의 9일간 교통량을 분석하여 Table 1에 나타내었다. 대상해역을 이용하는 선박 중에서 마라도와 가파도를 운항하는 여객선이 약 44.8%로 가장 많이 조사되었으며, 그 다음으로 어선이 약 34.4%를 차지하고 있다. 예인선은 주로 통항로 Line 3을 이용하는 패턴을 나타낸다. 일반화물선 중에서 DWT 3,000 ton 미만의 선박은 주로 통항로 Line 4를 이용하며, 3,000 ton 이상의 선박은 주로 통항로 Line 6과 7을 이용하는 경향을 보이는 것으로 분석되었다.

Table 1. Analysis of traffic volume classified by traffic lines during 9 days(Unit : ship)

Ship class	Traffic Line								Sum	Ratio (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Passenger	98	0	1	0	0	0	0	0	99	44.8
Cargo ship	0	0	1	4	0	1	13	0	19	8.6
Danger cargo ship	1	0	1	0	0	0	2	0	4	1.8
Tug boat	0	0	15	1	1	0	0	0	17	7.7
Fishing boat	7	12	4	4	14	20	9	6	76	34.4
Others	0	0	1	1	0	3	1	0	6	2.7
Sum	106	12	23	10	15	24	25	6	221	100
Ratio(%)	48.0	5.4	10.4	4.5	6.8	10.9	11.3	2.7	100	

Table 2는 통항로별 연간 교통량을 예측한 것을 나타낸 것으로서 Table 1에서 분석된 자료를 근거로 1 년간의 교통량을 예측한 것이다. 대상해역을 이용하는 전체 교통량은 연간 약 8,975 척으로 예측되었으며, 통항로 Line 1, Line 7 순으로 이용 빈도가 높았다.

Table 2. Estimation of annual traffic volume classified by traffic lines(Unit : ship)

Ship class	Traffic Line								Sum
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Passenger	3,975	0	41	0	0	0	0	0	4,016
Cargo ship	0	0	41	163	0	41	528	0	773
Danger cargo ship	41	0	41	0	0	0	82	0	164
Tug boat	0	0	609	41	41	0	0	0	691
Fishing boat	284	487	163	163	568	812	365	244	3,086
Others	0	0	41	41	0	122	41	0	245
Sum	4,300	487	936	408	609	975	1,016	244	8,975

Table 3은 해상풍력단지가 조성될 해역 내의 통항로를 이용하는 9 일간의 선박교통량 분석한 것이다. DWT 500 미만의 소형선박, 어선 그리고 예인선이 주로 풍력단지내의 수역을 이용하는 것으로 조사되었으며, 500 ton 이상의 선박은 일반화물선 3 척만이 통과하였다. 500 ton을 기준으로 분류하여 분석한 이유는 대체 통항로를 지정할 경우에 Fig. 5에 표시한 연안통항로(Coastal route)와 근해통항로(Offshore route)를 이용할 선박의 톤수별 제한을 설정하기 위한 것이다.

Table 3. Analysis of traffic volume classified by traffic lines in the Wind Farm during 9 days(Unit : ship)

Ship class	Ton (DWT)	Traffic Line				Sum
		3	4	5	8	
Passenger	<500	1	0	0	0	1
	≥500	0	0	0	0	0
Cargo ship	<500	0	2	0	0	2
	≥500	1	2	0	0	3
Danger cargo ship	<500	1	0	0	0	1
	≥500	0	0	0	0	0
Tug boat	<500	15	1	1	0	17
	≥500	0	0	0	0	0
Fishing boat	<500	4	4	14	6	28
	≥500	0	0	0	0	0
Others	<500	1	1	0	0	2
	≥500	0	0	0	0	0
Sum		23	10	15	6	54

Table 4는 해상풍력단지가 조성될 수역을 이용하는 통항로별 연간 교통량을 예측한 것을 나타낸 것으로서, Table 3

해상풍력발전단지의 대체통항로 통항안전성 평가에 관한 연구

에서 분석된 자료를 근거로 1 년간의 교통량을 추정한 것이다. 이 수역을 이용하는 교통량은 연간 약 2,198 척으로 예측되었다.

Table 4. Analysis of annual traffic volume classified by traffic lines in the Wind Farm(Unit : ship)

Ship class	Ton (DWT)	Traffic Line				Sum
		3	4	5	8	
Passenger	<500	41	0	0	0	41
	≥ 500	0	0	0	0	0
Cargo ship	<500	0	82	0	0	82
	≥ 500	41	82	0	0	123
Danger cargo ship	<500	41	0	0	0	41
	≥ 500	0	0	0	0	0
Tug boat	<500	609	41	41	0	691
	≥ 500	0	0	0	0	0
Fishing boat	<500	163	163	568	244	1,138
	≥ 500	0	0	0	0	0
Others	<500	41	41	0	0	82
	≥ 500	0	0	0	0	0
Sum		936	409	609	244	2,198

3. 대체 통항로 지정

해상풍력발전 구조물은 선박과 레이더 시스템에 영향을 미치므로 통항로가 풍력발전단지 경계부분과 가깝거나 풍력단지 내부에 결정되는 것은 국제충돌방지규칙을 충분히 준수해야 하는 선박의 충돌회피 능력에 악영향을 미친다. 따라서 풍력단지를 설계할 때, 이것이 항해에 미치는 영향을 검증하는 것이 바람직하다. 대정해상풍력단지의 건설이 완료되면 풍력단지 수역을 이용하는 기존의 선박들은 단지를 회피하여 운항하여야 할 것이다. 또한 풍력단지 수역과 인접하여 운항하던 선박들도 단지로부터 안전한 거리를 두어 항해해야 할 것이다. 이러한 선박들이 단지를 회피하여 안전한 운항을 할 수 있도록 유도하기 위해서는 대체 통항로 지정이 필요하다.

영국 DECC에서는 IMO의 규정에 의거한 대체 통항로의 지정 방법을 제시하고 있으며, 가장 우선적으로 고려해야 할 사항은 “대체 통항로는 가능한 현존하는 교통흐름 패턴에 따라야 한다.”라는 것이다(DECC, 2012b). 또한 영국해양경비대(Maritime and Coastguard Agency, MCA)에서는 항행통보(Marine Guidance Note, MGN)를 통하여 통항로에서부터 풍력단지의 경계까지 안전한 거리에 관한 지침을 Table 5와 같이 제시하였다(MGN 371(M+F), 2012). 이 분석표에 의하면 풍력발전 터빈의 가장자리에서부터 통항로까지의 거리 500 m 미만에서는 소형선박만이 이용하도록 권고하고 있으며, 통항

분리대가 설치될 수 있는 최소한의 이격거리는 1 마일로 권고하고 있다.

Table 5. Wind Farm : "SHIPPING ROUTE" Template

Distance(nm) of turbine boundary from shipping Route	Factors	Risk	Tolerability
< 0.25 nm (500 m)	500 m inter-turbine spacing = small craft only recommended	VERY HIGH	INTOLERABLE
0.25 nm (500 m)	X band radar interference	VERY HIGH	
0.45 nm (800 m)	Vessels may generate multiple echoes on shore based radars	VERY HIGH	TOLERABLE IF ALARP (As Low As Reasonably Practicable)
0.5 nm (926 m)	Mariners' high traffic density domain	HIGH	
0.8 nm (1481 m)	Mariners' ship domain	HIGH	TOLERABLE IF ALARP (As Low As Reasonably Practicable)
1 nm (1852 m)	Minimum distance to parallel boundary of TSS	MEDIUM	
1.5 nm (2778 m)	S band radar interference ARPA affected	MEDIUM	TOLERABLE IF ALARP (As Low As Reasonably Practicable)
2 nm (3704 m)	Compliance with COLREGS becomes less challenging	MEDIUM	
> 2 nm (> 3704 m)	But not near TSS	LOW	BROADLY ACCEPTABLE
3.5 nm (6482 m)	Minimum separation distance between turbines opposite sides of a route	LOW	
5 nm (9260 m)	Adjacent wind farm introduces cumulative effect Distance from TSS entry/exit	VERY LOW	BROADLY ACCEPTABLE
10 nm (18520 m)	No other wind farms	VERY LOW	

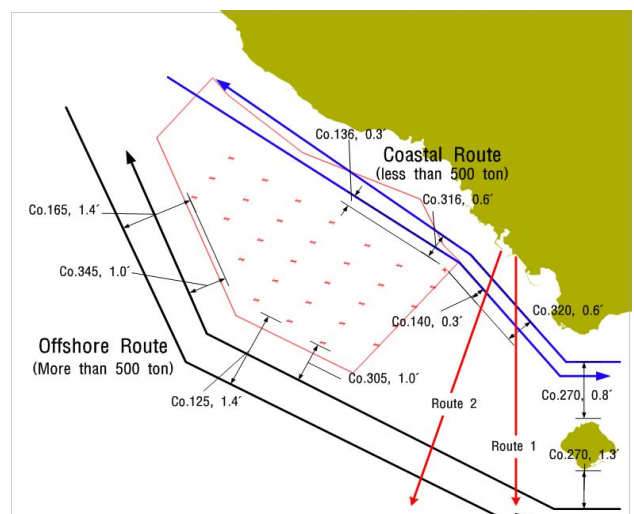


Fig. 5. Proposed establishment of alternative routing measures.

Fig. 5는 대상해역의 대체 통항로를 제안한 것으로서, 현존하는 교통흐름 패턴을 최대한 고려하면서 풍력단지를 회

피하여 운항할 수 있는 통항로를 나타낸 것이다. 국내의 “항만 및 어항설계 기준”에서는 소형선박의 크기를 DWT 500 ton 미만으로 분류하고 있다. 따라서 연안통항로(Coastal route)는 500 ton 미만의 소형선박이 이용하고 500 ton 이상의 선박은 근해통항로(Offshore route)를 이용할 수 있도록 계획하였다. 통항로 Route 1과 2는 현존하는 선박 교통흐름을 그대로 반영하여 계획한 것이다.

기존의 교통량 분석을 위해 사용된 Fig. 4의 통항로와 제안된 대체 통항로를 비교분석한 결과, Route 1은 Traffic Line 1의 교통량을 유지할 것이며 Route 2는 Traffic Line 2와 8의 교통량을 포함하게 될 것이다. 또한 Coastal Route는 Traffic Line 3과 4의 교통량 중에 어선을 포함한 500톤 미만 선박의 교통량을 담당하게 될 것이며, Offshore Route는 Traffic Line 5, 6, 7의 교통량과 Traffic Line 3과 4의 교통량 중에 500톤 이상의 선박 교통량을 담당하게 될 것으로 가정하였다. 이러한 가정 하에 풍력단지가 조성된 이후 대체 통항로별 연간 교통량을 예측한 결과를 Table 6에 표시하였다. Route 1은 주로 여객선이 이용할 것이며, Route 2는 주로 어선이 이용하는 통항로가 될 것이다.

Table 6. Estimation of annual traffic volume classified by alternative routeing measures(Unit : ship)

Item	Route 1	Route 2	Coastal route	Offshore route
Traffic volume	4,300	731	1,221	2,723
Limitation of passing	-	-	< 500 ton	-

4. 통항안전성 평가 및 고찰

4.1 동력선 충돌위험 모델

스웨덴의 SSPA사에서는 선박이 적절하지 못하게 해상풍력발전단지로 항해할 확률을 추정하는 동력선충돌위험 모델을 연구하였다(SSPA, 2008). 적절하지 못한 항해는 인적태만, 기술부족 또는 견시 실패 등에 의해 발생하며, 항로를 따라 항해하는 동력선의 연간충돌빈도는 식 (1)과 같다.

$$F_{CP} = \sum_x \sum_{offset} \sum_{course} N \cdot P_x \cdot P_{offset} \cdot P_{course} \cdot P_{C1} \cdot P_{C2} \cdot P_{C3} \cdot P_{react}(x) \quad (1)$$

- F_{CP} : 항과하는 동력선의 연간 충돌빈도
- N : 항로상의 총 교통량(척수/연)
- x : 항로상의 위치
- P_x : 항로상에서 위치 x 에 있을 확률
- P_{offset} : 위치 x 에서 항로를 이탈할 확률

- P_{course} : 목표물을 향해 선수방향이 이루어질 확률
- P_{C1} : 항해계획 수립과 이를 실행하는 동안 인적오류 확률
- P_{C2} : 항해장비의 기술적 고장 확률 또는 주의부족이나 시계불량에 의한 견시 실패 확률
- P_{C3} : 해상풍력발전단지의 안전장비 오류/인력의 실수확률 또는 적절한 시점에 통항선박에 충돌경고하기 위한 경계선박의 실패 확률
- $P_{react}(x)$: 항해오류를 적시에 수정하지 못할 확률

식 (1)의 P_x 는 해상풍력발전단지 인근해역의 전체 선박교통량을 조사하고 통항 패턴에 따른 대체 통항로를 여러 개로 구획하여 계획된 통항로를 따라 항해할 확률을 의미한다. 그러나 본 연구에서는 이미 대체 통항로를 이용할 교통량을 분석하였으므로 이 값을 생략한다. P_{C1} , P_{C2} 그리고 P_{C3} 는 인적과실에 대한 것으로, 종종 항로에서 장애물회피 실패확률 P_C 로 대표하여 사용된다. P_{course} 는 선수방위 편차가 -90° 에서 90° 사이에서 다양하게 발생할 수 있으나, 이러한 사항은 현실상 불가능하므로 네덜란드 MARIN 연구소에서는 선수방위 편차가 -30° , -20° , -10° , 0° , 10° , 20° , 30° 에 해당하는 각각의 확률을 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.2, 0.1, 0.05로 적용하고 있다(SSPA, 2008). 하지만 풍력단지와의 충돌확률에 대한 보수적인 계산을 위해 이를 생략한다. 따라서 풍력단지 인근해역에서 제안된 각각의 대체 통항로를 이용하는 동력선의 연간충돌빈도 계산식은 식 (2)와 같이 수정하였다.

$$F_{CP} = N \cdot P_{offset}(x) \cdot P_C \cdot P_{react}(x) \quad (2)$$

$$P_C = 3 \times 10^{-4}$$

$$P_{react}(x) = \exp\left(-\left(\frac{D}{1852}\right)^{1.5}\right)$$

여기서, P_C 의 값은 선박이 충돌침로상에 있을 때, 적절한 행동을 취하지 못할 확률로 분석한 값을 장애물회피 실패확률에 사용하기로 GL(Germanischer Lloyd) 선급과 DNV(Det Norske Veritas) 선급에서 동의한 것이다(SAFESHIP, 2005). P_{react} 의 값은 SSPA사에서 사용하는 항로와 해상풍력단지 사이의 거리 D 에 관한 지수분포 함수이며 단위는 m이다.

P_{offset} 의 값은 항로 폭에서 선박이 분포할 확률을 가우스 분포함수로 가정하고 구한 것이다. 여기서, 사용되는 인자는 항로 중심선과 풍력발전타워까지의 거리(기대값= D), 항로 중심선의 위치(평균값 0) 그리고 표준편차(σ)가 사용된다. σ 는 Table 7에서 표시한 값을 사용하였으며, 이것은 항해환경에 따른 항로상의 선박 횡분포에 대한 표준편차를 추정한다(SSPA, 2008).

해상풍력발전단지의 대체통항로 통항안전성 평가에 관한 연구

Table 7. Estimation of standard deviation for the Course offset

Description	Standard deviation for Gaussian distribution [nm]
Port approach	0.2 to 0.3
Conspicuous navigational points, e.g. navigational marks, buoys	0.3 to 0.4
Navigational channel with traffic separation	0.5
Waypoints in wider shipping lanes	0.5 to 1.0
Waypoints in open sea areas	2.0

4.2 통항안전성 평가 및 고찰

통항안전성 검토를 위해 대체 통항로를 이용하여 선박이 풍력발전단지의 경계에 위치하는 터빈과 충돌할 연간빈도수를 위에서 제시한 동력선 충돌모델을 사용하여 계산하였다. Route 1, 2 그리고 Coastal route의 P_{offset} 의 표준편차 값의 결정은 이 통항로를 이용하는 선박들이 주로 소형선으로 분포하고 모슬포항을 입출항하며, 가파도와 마라도를 정기 왕복하는 여객선의 운항형태를 보이므로 Table 7에서 제시한 항구 접근에 해당하는 것으로 간주하여 0.2 nm을 적용하였다. 또한 Offshore route의 표준편차 값은 풍력단지의 서쪽 해역을 일정한 이격거리로 운항하는 통항분리방식의 형식을 따를 것으로 기대되므로 0.5 nm을 적용하였다.

Table 8은 대체 통항로를 따라 항해하는 선박이 풍력단지 와 충돌할 연간빈도수를 나타낸 것이다. 여기서 P_{CP} 는 연간 충돌확률을 의미한다. Coastal route와 Offshore route의 교통량은 각각 1,221 척과 2,723 척이 되고 이들 통항로가 교행을 한다면 통항로의 안쪽과 바깥쪽의 교통량은 각각 절반을 차지하게 될 것으로 가정하였다.

Table 8. Analysis of annual collision frequency between wind farm and powered ships

Factor	Route 1	Route 2	Coastal route		Offshore route	
			Inner	Outer	Inner	Outer
Traffic (ship)	4300	731	610.5	610.5	1361.5	1361.5
D(m)	2000	1,000	556	1,111	1,852	2,593
σ (nm)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5
P_{offset}	3.3.E-08	3.5.E-03	6.7.E-02	1.4.E-03	2.3.E-02	2.6.E-03
P_C	3.0.E-04	3.0.E-04	3.0.E-04	3.0.E-04	3.0.E-04	3.0.E-04
P_{react}	8.0.E-01	9.2.E-01	9.7.E-01	9.1.E-01	8.2.E-01	7.2.E-01
P_{cp}	8.0.E-12	9.6.E-07	1.9.E-05	3.7.E-07	5.6.E-06	5.5.E-07
F_{cp}	3.4.E-08	7.0.E-04	1.2.E-02	2.3.E-04	7.6.E-03	7.5.E-04
Return to year	29,048,907	1,423	85	4,431	131	1,335

연간충돌빈도수 분석을 통해 Coastal route의 안쪽 수역을 이용하는 통항로의 빈도수가 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 우리나라의 해양수산부에서 고시한 “해상교통안전진단 시행지침”에서는 충돌 및 침로이탈확률의 안전기준을 10^{-4} 이하로 정하고 있으므로 제안된 대체 통항로 모두의 연간충돌확률이 국내 기술기준을 만족하고 있다.

Table 9. Acceptable time between collisions(years) in German

Acceptance	Time between collisions(years)
Acceptable	> 100
Further analysis necessary	50 ~ 100
Not acceptable	< 50

Table 9에는 독일에서 정한 해상풍력발전단지의 구조물 과 선박의 충돌에 관한 허용 가능한 충돌사고 재현기간을 나타내었다. 독일에서는 해상풍력발전지와 선박의 충돌재현기간이 100년 이상일 경우 허용하며, 단 위험화물운반선이 관련되면 추가적인 검토를 요구하고 있다. 충돌주기가 50 ~ 100년일 경우 자세한 검토 또는 충돌 경감대책을 간구하여야 하고 충돌주기가 50년 미만일 경우 허용되지 않는다.

독일의 기준을 적용하면 Coastal route의 안쪽 통항로는 충돌재현 기간이 85년으로 충돌빈도를 경감하기 위한 안전대책이 필요하며, 이 통항로를 제외한 모든 대체 통항로는 수용할 수 있는 기술 기준을 만족하고 있다. 따라서 Coastal route의 통항안전을 위해 다음과 같은 해상교통안전대책을 제안한다.

- ① ‘항로표지법’에 따른 해상발전기 타워의 선명한 표식, 도색, 등화, 무중신호기 설치
- ② 항행통보를 이용한 해도, 수로서지에 표시 및 홍보
- ③ 충돌사고시의 비상계획조치절차 수립
- ④ 해상풍력발전단지의 동쪽 구조물의 경계선으로부터 일정거리의 안전수역 설정(충돌완충수역 설정)
- ⑤ 안전을 위한 홍보 및 지도단속

5. 결 론

국내 해상에 처음으로 조성되는 대정해상풍력발전단지 인근 수역을 운항하는 선박의 통항안전성을 검토하였다. 통항안전성 분석을 위해 현존하는 선박의 교통량 및 교통흐름 패턴을 조사한 결과, 총 8 가지의 통항로 패턴을 나타내고 있었으며, 연간 교통량은 8,975 척으로 예측되었다. 이러한 통항패턴과 교통량을 바탕으로 기존의 교통흐름을 최대한 반영하고 풍력발전단지를 회피하여 운항할 수 있는 총 4 가

지의 대체 통항로를 제안하고 각각의 대체 통항로를 이용할 것으로 예상되는 연간 교통량을 추정하였다.

대체 통항로별 연간교통량 자료를 토대로 SSPA사의 동력선충돌모델을 수정한 모델식을 이용하여 해상풍력발전단지 와 연간충돌확률, 연간충돌빈도수 및 충돌재현 기간을 산정하였다. 모든 대체 통항로는 국내 기술기준을 만족하고 있는 것으로 검토되었다. 하지만 Coastal route의 안쪽 통항로는 충돌재현 기간이 85 년으로 독일의 기술기준인 100 년 이상을 만족하지 못하고 있어 추가적인 검토 또는 경감대책이 필요할 것으로 검토되었다. 따라서 충돌을 경감할 수 있는 해상교통안전대책으로서, 항로표지, 해도 및 수로서지 표시, 비상계획절차 수립 및 충돌을 완충할 수 있는 안전수역 설정 등이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 향후 더욱 정량적이고 신뢰성 향상을 위해 해상풍력단지 설치해역의 특성 및 일정기간의 선박통항패턴 분석에 대한 연구가 이루어진다면, 국내 신규 해상풍력발전단지 인근 해역에 설정되는 대체항로의 통항안전성 평가에 활용 가능할 것이다.

Future Direction of Korean Offshore Wind Power, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 62, No. 3, pp. 312-321.

원고접수일 : 2014년 03월 13일

원고수정일 : 2014년 04월 02일 (1차)

2014년 04월 11일 (2차)

게재확정일 : 2014년 04월 25일

References

- [1] DECC(2012a), Department of Energy & Climate Change, (http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/meeting_energy/wind/offshore/planning, access dated : 2012.12.15.).
- [2] DECC(2012b), “Routeing measures for adoption by the International Maritime Organisation - guidance for navigation stake-holders and round 2 developers”, Department of Energy & Climate Change, UK, (http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/meeting_energy/wind/offshore/planning/, access dated : 2013.12.15.).
- [3] MGN 371(M+F)(2012), “Offshore Renewable Energy Installations (OREIs) - Guidance on UK Navigational Practice, Safety and Emergency Response Issues”, Maritime and Coastguard Agency, UK, pp. 12-13.
- [4] SAFESHIP(2005), “Reduction of Ship Collision Risks for Offshore Wind Farms, Collision Frequencies”, Deliverable No. 6; Version 2.0, 2005-01-27, Germanischer Lloyd AG, Maritime Research Institute Netherlands MARIN, Technical University of Denmark (section Maritime Engineering), pp. 197-201.
- [5] SSPA(2008), “Methodology for Assessing Risks to Ship Traffic from Offshore Wind Farms”, VINDPILOT-to Vattenfall AB and Swedish Energy Agency, Appendix D, pp. 2-18.
- [6] Sung, J. K. and T. J. Lee (2013), Study on Present Status and