한국항해항만학회지 제43권 제6호
J. Navig. Port Res. Vol. 43, No. 6 : 420-428, December 2019 (ISSN:1598-5725(Print)/ISSN:2093-8470(Online))
DOI : http://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2019.43.6.420

AIS 기반 해양시설물과 선박간 권고 안전이격거리 선정에 관한 연구

손우주* · 이정석** · 이보경*** · † 조익순

*,**한국해양대학교 석사과정생, ***한국해양대학교 선박운항과 박사후연구원, † 한국해양대학교 해사글로벌학부 교수

A Study on the Selection of the Recommended Safety Distance Between Marine Structures and Ships Based on AIS Data

Woo-ju Son · Jeong-seok Lee** · Bo-kyeong Lee*** · † Ik-soon Cho*

*,**Student, Graduate School of National Korea Maritime & Ocean University, Busan, Korea
***Post-doctor, Department of Ship Operation, National Korea Maritime & Ocean University, Busan, Korea
† Professor, Division of Global Maritime Studies, National Korea Maritime & Ocean University, Busan, Korea*

요 약 : 해양시설물은 선박의 통항에 간섭이 되는 위험요인이지만 현재 국내 법령 및 규정 상 해양시설물과 선박간의 명확한 이격거리의 규정은 없는 상황이다. 이에 본 연구에서는 해양시설물과 선박의 안전이격거리를 분석하기 위하여 해양시설물 인근 선박의 통항량을 실측 AIS 정보를 기반으로 선박 통항 폭을 설정하여 해당 범위에서 통항하는 선박의 항적을 선박 길이별로 분류하여 분석하였다. 통항 분포 분석 결과, 통항 선박의 길이별 분포 모두 정규성을 가지며 해양시설물로부터 멀어지는 패턴을 가지고 통항을 하는 것으로 분석되었다. 본 연구의 통항 분포 분석 결과와 정규분포를 비교한 선박의 이격거리를 통계적으로 나타내기 위해 해양시설물 인근 통항 패턴 분석을 수행하였다. 그 결과, 통항 패턴은 선박 길이별로 상이하였으며 그에 따라 길이별 선박 권고 안전이격거리를 제시하고자 하였다. CESMA(유럽 선장 연합), PIANC(국제수상교통시설협회)의 안전이격거리 및 선박의 길이요인 중 IMO(국제 해사 기구)의 조종성능의 기준이 되는 선회경의 Tactical diameter를 활용되었으며, 다양한 선박 권고 안전이격거리의 안을 분석하기 위해 적정 이격거리를 전장의 5배에서 7배로 설정을 하여 설정 값 이하로 통항하는 차이 값이 근소하게 통항하는 선박을 조사하였다. 그 결과, 가장 차이 값이 근소한 5.5배의 전장을 적정 선박 권고 안전이격거리로 선정하였다. 위 결과를 바탕으로 선박 길이별 신뢰구간의 좌측 값에 따른 선박 권고 안전이격거리 및 전장의 5.5배의 이격거리를 활용한 선박 권고 안전이격거리를 비교하였으며. 선박 권고 안전이격거리에 대한 2가지 안을 제시하였다.

핵심용어 : 선박 권고 안전이격거리, 이격거리, 선회경, 선박 통항 폭, AIS 정보, 해양시설물

Abstract : *Although marine structures are a risk factor interfering with the passage of ships, there are no obvious guidelines on the required safety distance between ships and marine structures under regulations and laws. In this study, the width of the shipping route width was set based on the AIS data to analyze the separation distance between marine structures and ships, and the ships were classified by the length of each ship. By analyzing the distribution at marine structures, this study confirmed that the ships' traffic volume was in the form of normal distribution. To statistically analyze the separation distance between the traffic distribution results and the normal distribution of ships in this study, the traffic pattern analysis around the marine structures was performed. As a result, the traffic pattern was different by length and the recommended safety distance for each length is presented accordingly. Referring to the IMO (International Maritime Organization) the standard turning circle and reference of safety separation distance between ships and offshore wind turbines of the CESMA (Confederation of European Shipmasters' Associations) and PIANC (World Association for Waterborne Transport Infrastructures), the analysis was conducted on ships that did not follow the set distance among the AIS data by setting the distance within the recommended ship safety distance to 5-7 overall length. As a result, the 5.5 length over all of the safety recommendations were selected as appropriate, and based on the above results, the two cases recommending ship safety distance were proposed.*

Key words : *Recommended Ship Safety Distance, Separation Distance, Turning Circle, Shipping Route Width, AIS Data, Marine Structure*

1. 서 론

최근 우리나라는 제주 탐라해상풍력단지, 월정해상풍력단지를 비롯하여 서남해 해상풍력 실증단지가 운영 중에 있으며 이 외에도 청사포 해상풍력 발전단지, 대정 해상풍력단지, 태안 해상풍력 발전단지 등 해상풍력 발전사업이 다수 계획되고 있다. 그러나 현재는 선박과 해양시설물 사이의 안전이격거리에 대하여 세계적으로 활용되고 있는 UN해양법(United

† Corresponding author : ischo@kmou.ac.kr 051)410-5072
* wooju@kmou.ac.kr 051)410-4763
(주) 이 논문은 "Analysis of Traffic Distribution and Pattern around Marine Structure Based on AIS data"이란 제목으로 "2019 Asia Navigation Conference(부산항국제전시컨벤션센터(BPEX), 2019.11.21., pp.474-482)" 에 발표되었음.

Nations, 1982) 60조에 따른 해양시설물과의 이격거리 500m 이외에 명확한 규정 및 법령이 별도로 규정되어 있지 않은 상황이다. New York State Energy Research and Development Authority(2017)에 따르면 국제적으로 활용되고 있는 이격거리 관련 권고사항은 Table 1과 같다. 이와 같은 세계 각지의 선박 통항에 대한 권고 안전이격 기준은 대부분 선박의 길이를 고려하지 않은 채 단순하게 2NM(Nautical Mile)와 같이 거리만으로 권고되는 경우가 많았다.

Table 1 Reference for ship safety distances

Group	Nationality	Safety Distance
Nautical Institute	UK	2NM
Steamship Mutual	UK	2NM
Federal Waterways and Shipping Administration	German	500m+2NM
Atlantic Coast Port Access Route Study	United States	2NM
Confederation of European Shipmasters' Associations	-	6Length +500m

본 연구에서는 해양시설물과 선박간 이격거리를 정량적으로 분석하기 위해 AIS(Automatic Identification System)정보를 분석하였다. 데이터 수집방법은 Lee et al.(2019)의 데이터 수집 절차를 활용하여 AIS가 탑재된 선박의 항적 및 길이 정보를 분석하였다. 데이터는 2019년 1월 26일 00시부터 4월 24일 00시까지 13주간 수집하였다.

해상교통조사에 활용한 프로그램은 Lee et al.(2018)이 개념설계를 수행한 MaTSAS(Marine Traffic & Safety Assessment Solution)을 활용하였다. 선박의 권고 안전이격거리 선정에는 IMO(International Maritime Organization)에서 규정하는 선박 조종성능 중 선박의 선회경 기준(IMO, 2002) 및 PIANC WG 161(2018)에서 제시하는 선박과 해상풍력 발전단지간 이격거리 관련사항을 활용하였다. 이를 바탕으로 선박의 길이 요인에 기반을 둔 설정 권고 안전이격거리 값을 실측값에 대입하여 권고 안전이격거리를 분석하였다.

2. 해상교통조사 및 분석

2.1 Historical track

해상교통조사 및 분석은 특정 해역의 선박 통항 흐름을 조사하여 그 자료를 수집하고 분석하는 과정이며, 통항하는 선박이 이용하는 항로와 해양시설물이 선박의 통항에 어떠한 영향을 미칠 가능성이 있는지 예측할 수 있다. 또한 해상교통 조사는 현행의 교통량에 대한 정량적 평가는 물론 통항 선박의 행동을 예측하고 장래의 교통량을 추정하는 중요한 기초 자료로 이용된다. 본 연구에서는 Kim et al.(2005)의 부산 중앙 부두 해상교통조사 사례, Song et al.(2005)의 포항항 해상교통조사 사례, Kim and Gug(2006)의 감천항 인근 해상교통조사 사례를 참고하여 동해가스전 인근 AIS 정보를 기반으로 historical track과 gateline조사를 수행하였다. 다만, 앞서 설명한 선행연구는 항로나 항구 인근의 해상교통조사 사례로 해양시설물이 설치된 해역의 해상교통조사에 대한 선행연구는 부족하다는 한계가 있었다. 동해가스전 인근 해역은 항로 및 TSS가 지정되어 있지 않은 해역으로서 Fig. 1은 해양시설물 중심 10마일 범위의 항적도를 나타내며 실선으로 동해가스전 인근 순시선 2척(KOROL No.1,2)의 통항 범위를 표시하였다. 전체 선박을 대상으로 수행한 항적도에서는 순시선 2척 및 50m 이하 소형 어선의 영향으로 인해 해양시설물 인근 통항 분포가 매우 불규칙적으로 나타났다.

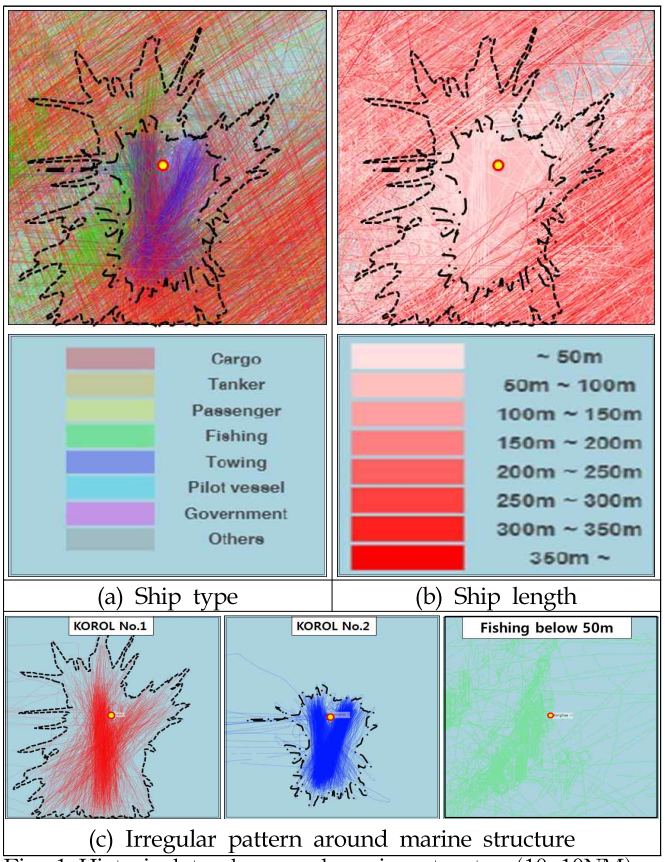
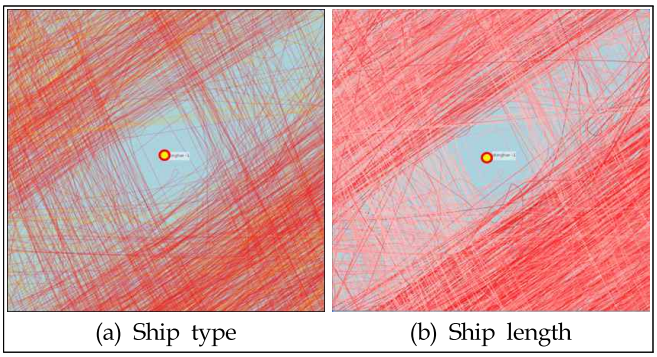


Fig. 1 Historical track around marine structure(10x10NM)

본 연구에서는 순시선 2척 및 50m 이하의 어선에 대한 영향을 줄이고 상대적으로 규칙적인 통항을 수행하는 선박을 대상으로 분석을 수행하기 위해 대상 선박을 50m 이상의 상선으로 설정하여 분석을 수행하였다. 50m 이상의 상선을 대상으로 분석한 항적도는 Fig. 2와 같다.



(a) Ship type (b) Ship length

Fig. 2 Historical track 50m over merchant ships

통항선박에 대한 선박의 길이별 분포 비율은 Table 2와 같이 전체적으로 고른 비율을 보이며 100-150m의 선박이 23.7%로 가장 많았다.

Table 2 Count of ship length over 50 meters

Size (m)	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	over 350
Count	286	412	339	257	137	253	53
Percent (%)	16.5	23.7	19.5	14.8	7.9	14.6	3.1

50m 이상 선박의 historical track 분석 결과, 불규칙한 통항을 보이는 선박이 현저히 줄었으며 해양시설물 중심으로 갈수록 통항량은 감소하였다. 통항 방향은 크게 NE(북동), NW(북서), SW(남서), SE(남동) 방향으로 통항을 하는 것을 확인할 수 있었다.

2.2 Gateline

Historical track 분석 결과를 바탕으로 gateline의 방향을 해양시설물 기준으로 045°, 135°, 225°, 315°로 설정하였으며 간격은 50m로 설정하였다. gateline의 길이는 서론의 Table 1에서 해양시설물과 선박간의 권고 안전이격거리로 자주 활용되고 있는 2NM의 안전이격거리로 설정하였으며, PIANC WG 161(2018)에서 언급된 MARIN의 연구결과를 통해 설정 Gateline 길이의 적정성을 조사하였다. MARIN의 연구결과에 따르면 선박의 통항 경로 폭은 연간 통항량에 따라 2~4 ships side to side의 통항 경로 폭을 설정하며 해당 해역을 통항할 선박의 최대길이를 기준으로 Fig. 3과 같이 선박 양측 각각 1Length over all(이하 L)씩 2L의 여유 폭을 둔다.

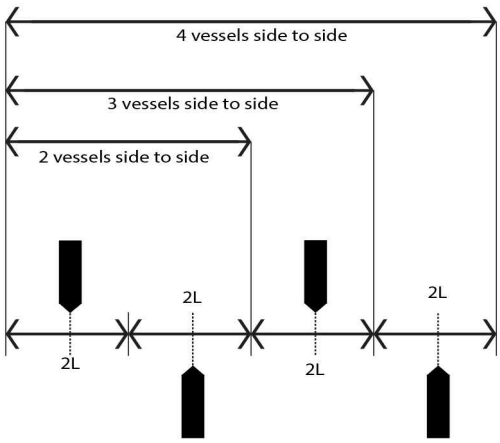


Fig. 3 Shipping lanes according to traffic volume

본 연구에서는 해당 해역을 통과한 선박 중 최대 길이인 367m를 기준으로 해양시설물 기준에서부터 UN해양법의 기준 500m를 더하여 연간 통항량에 따른 적절한 통항 경로 폭을 분석하였다. 그 결과, Table 3과 같이 본 연구에서 설정한 gateline의 길이 2NM(3,704m)은 최대 교통량에서의 안전 확보에 필요한 통항 경로 폭 기준(2,936m)을 만족하였다.

Table 3 Appropriate shipping route width by traffic volume

Traffic volume / Classification	LOW	MEDIUM	HIGH
X_t : traffic volume per year (number of ships)	4,400 > X_t	18,000 > X_t, X_t > 4,400	X_t > 18,000
x : x ships side to side	2	3	4
Appropriate width (500m + 2L * x)	1,468m	2,202m	2,936m

Gateline의 분석에 앞서, 해양시설물과 선박 사이의 이격거리에 대해 총 통항량의 합이 일반적인 항로와 같은 정규분포를 가진다고 가정하여 해양시설물 인근 2NM의 해상교통분석을 수행하였다. UK MCA(2016)에서는 Fig. 4와 같이 전체 통항량에서 양측 5%를 제외한 90%의 범위를 ALARP(As Low As Reasonably Practicable)으로 설정한다. 본 분석에서는 이를 참고하여 해양시설물과의 평균 이격거리, 가장 근접하여 통과한 선박간의 이격거리 및 통항량의 90%의 범위 중 좌측 끝단까지의 이격거리를 측정하였다.

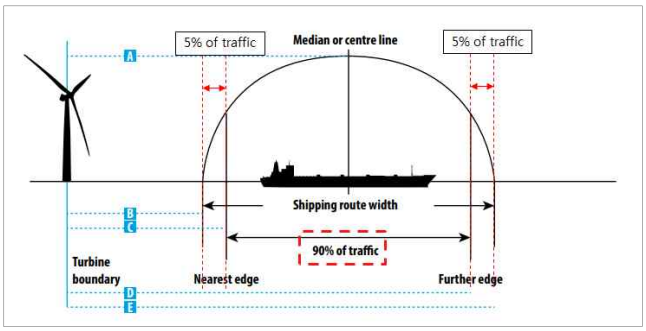


Fig. 4 Safety distance between traffic and wind turbine

Fig. 5는 해양시설물과 gateline통과 선박간의 이격거리에 대한 그래프이며 통과 선박은 총 149척이였다. 해양시설물과 선박간의 이격거리의 평균값은 2,921m로 조사되었으며 선박 통항량의 90% 범위 좌측 값에서부터 해양시설물간의 거리는 1,750m 이상 이격하여 통항하였다. 이를 통해 전체의 약 95%에 해당하는 선박이 해양시설물로부터 1,750m 이상의 안전 여유거리를 확보하여 통항함을 알 수 있었다.

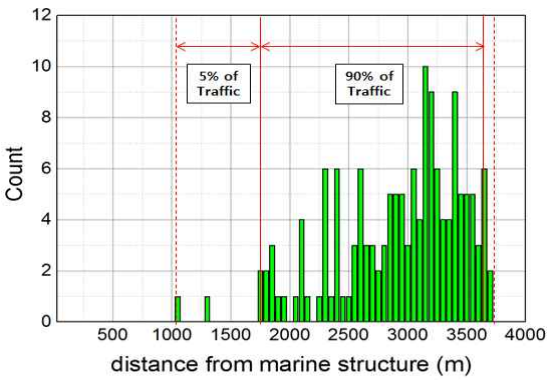


Fig. 5 Total ship separation distance from marine structure

3. 통항 분포 및 패턴 분석

3.1 통항 분포 분석

Inoue(1977)는 왕복 항로와 편도 항로에서 통항 분포는 정규분포를 가진다는 것을 검증하였고 Nguyen et al.(2013)은 AIS 전 처리 프로그램 개발을 위해 선박의 분포를 정규분포로 분석하였다. 해상교통안전진단제도 중 통항 안전성 평가에 사용되는 충돌 확률은 통항 분포를 정규분포로 가정하고 수행되어 왔다. 그러나 항로가 지정되어 있지 않은 해역의 통항 분포 분석은 선행연구가 부족하다는 한계가 있었다. 본 연구에서는 해상교통조사 분석 결과를 바탕으로 해양시설물 반경 2NM의 통항 분포를 분석하기 위해 범위 내 선박 138척을 대상으로 Small(50~100m), Medium(100~200m), Large(200m~)로 분류를 하였으며 선박 길이별 분류에 대한 Histogram은 Fig. 6과 같다.

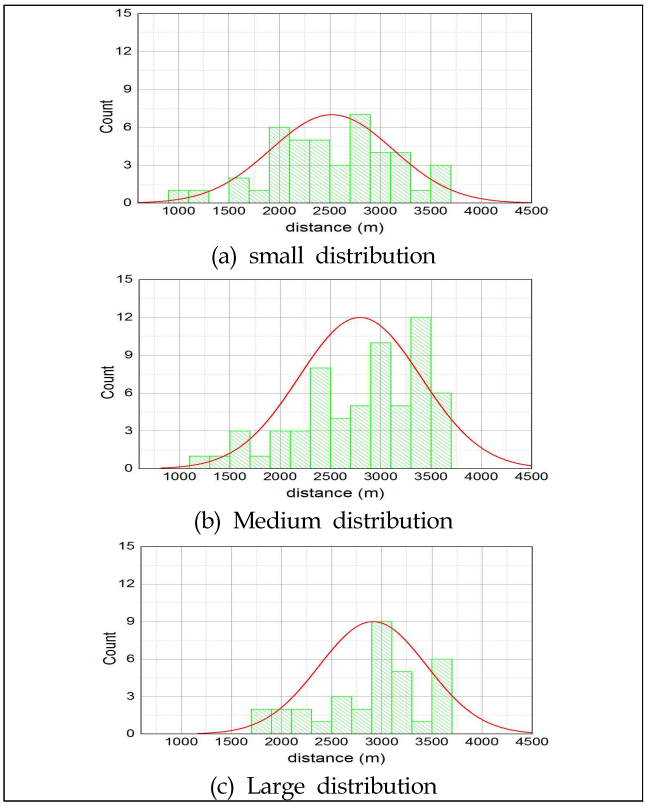


Fig. 6 Histogram of separation distance by ship's length

해당 연구에서는 Kim et al.(2017)의 부산 북항, 감천항에서의 통항 패턴 연구에서 수행된 Kolmogorov-Smirnov test(이하 KS Test)와 Shapiro-Wilk test(이하 SW test)를 참고하여 정규성 검정을 통한 통항 분포를 분석하였다. 또한 Q-Q plot을 통하여 시각적으로 정규성 검정을 수행하였다. 선박의 통항 분포를 분석하기 위한 평가 프로그램은 일반적으로 통계분석에서 많이 활용되고 있는 R version 3.6.1을 활용하였다.

3.1.1 KS test

정규분포 평가 방법 중 KS test는 표본분포함수$F_n(x)$가 누적분포함수$F_0(x)$와 같다는 귀무가설 하에 수행하는 검정법으로 표본의 개수가 많을수록 검정 신뢰도가 높아지는 검정법이다. 활용하기 위한 표본분포함수 $F_n(x)$는 식(1)으로 정의된다.

$$F_n(x) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\psi_i \tag{1}$$

여기서 ψ_i 는 식 (2)와 같이 정의되는 지시함수이다.

$$\psi_i = \begin{cases} 1, \text{if } X_i \le x \\ 0, \text{if } X_i > x \end{cases} \tag{2}$$

즉, 표본분포함수 $F_n(x)$는 전체 표본 크기 n 중에서 x보다 작거나 같은 관측값 X_i의 개수에 대한 비율이다. 검정통계량 D는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$D = \max_x(|F_0(x) - F_n(x)|) \quad (3)$$

위 계산 결과에 의해 선정된 p-value값에 따라 해당 수준보다 높으면 귀무가설이 채택되어 정규성을 가진다고 평가하였으며 모든 선박 길이별 분류 집단에서 정규성을 가지는 것으로 판단되었다.(p-value = 0.05)

3.1.2 SW test

정규분포 평가 방법 중 SW test는 표본수가 일반적으로 50개 이하일 경우에 검정 신뢰도가 높은 검정법으로 식 (4)로 정의된다.

$$W = \frac{\sum_{i=1}^{n}(a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

여기서 n은 표본의 크기를, $x_{(i)}$는 표본에서 i번째 최솟값을, $\bar{x}$는 표본의 평균을 나타내며, 상수 a_i는 식 (5)에 의해 주어진다.

$$(a_1,\ldots,a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

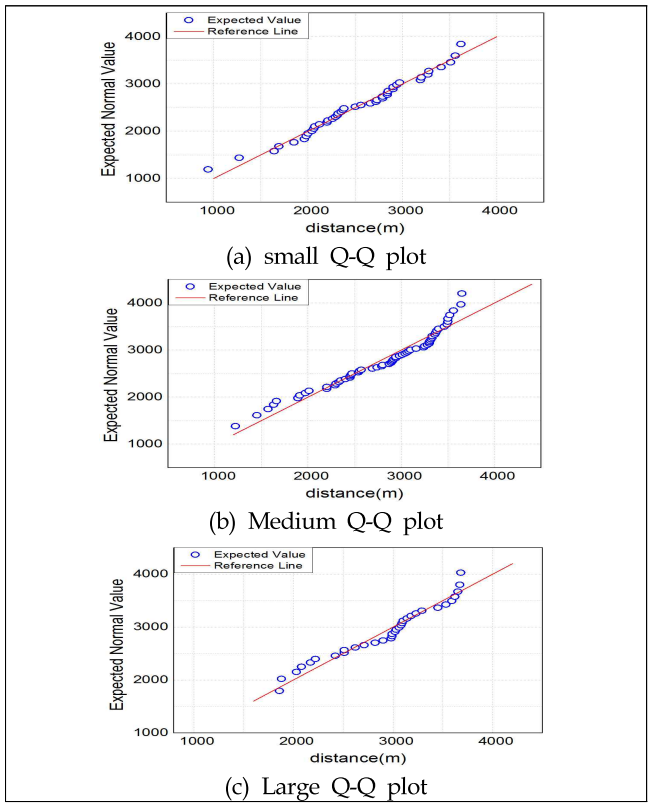
여기서 m은 $m = (m_1,\ldots,m_n)^T$이며, $m_1,\ldots,m_n$은 표준정규분포로부터 추출된 순서통계의 기댓값이며, V는 통계의 공분산 행렬이다. 위 계산결과에 의해 선정된 p-value값에 따라 해당 수준보다 높으면 귀무가설이 채택되어 정규성을 가진다고 평가하였다. SW test 결과 Medium을 제외한 모든 선박 길이별 분류 집단에서 정규성을 가지는 것으로 판단되었다.(p-value = 0.05) 본 연구에서는 표본 수가 50개를 초과하는 Medium의 경우에는 KS test의 결과를 적용하였으며 표본수가 50개 이하인 Small과 Large의 경우에는 SW test의 결과를 바탕으로 정규성을 평가하였다. KS test와 SW test를 통한 정규성 검정 결과를 종합하여 정리하면 Table 4와 같다.

Table 4 Result of normality test

Ship size	Count	KS test	SW test
Small	43	0.950	**0.675**
Medium	62	**0.387**	0.004
Large	33	0.592	**0.067**

3.1.3 Q-Q plot

Q-Q plot은 확률 누적분포함수의 역함수를 이용하여 두 분포가 선형적으로 얼마나 일치하는지 Q-Q line을 보고 시각적으로 확인하여 각 분포의 분위수가 일치하는 값끼리 대응시켜 2차원 그래프에 나타내는 방법이다. Q-Q plot은 별다른 검정통계량이 존재하지 않고, 직관적으로 잔차의 선형적 분포 일치여부를 확인하는 방법이므로 주관성이 개입되지 않도록 주의해야한다. Q-Q plot을 통한 시각적 정규성을 확인한 결과는 Fig. 7과 같으며 Q-Q plot은 Q-Q line과 잔차의 선형적 분포 여부가 유사한 것으로 판단되었다.



(a) small Q-Q plot

(b) Medium Q-Q plot

(c) Large Q-Q plot

Fig. 7 Q-Q diagram of distance from marine structure

3.2 통항 패턴 분석

본 연구의 통항 분포 분석 결과와 정규분포를 비교한 선박 간의 이격거리를 통계적으로 나타내기 위해 통항 패턴 분석을 수행하였다. 통항 패턴 분석은 Kim(2018)의 항로 통항 패턴 분석 연구 사례를 바탕으로 선박 길이 분류별 평균값, 표준편차, 최솟값, 신뢰구간의 좌측 값, 왜도, 첨도, 변동계수 값을 분석하였다.

변동계수(CV, Coefficient of Variation)는 데이터의 분포 지수를 나타내며 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 사용된다. 이 값은 s(표준편차)를 $\bar{x}$(표본평균)으로 나눈 값으로 서로 성격이 다른 여러 모집단의 상대적인 변동 혹은 산포를 측정하기 위해 식(6)과 같이 계산된다.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad (6)$$

신뢰구간은 정규분포 곡선의 원리에 따라 표본집단에서 얻은 통계치를 가지고 모집단에서 표본을 추출하여 표본평균을 이용하여 모평균이 포함될 가능성이 있다고 추정하는 구간이다. 일반적으로 90%, 95%, 99%의 신뢰구간을 많이 활용하며 본 분석에서는 3가지 경우의 신뢰구간에 해당하는 좌측 값을

모두 분석하여 해양시설물과의 이격거리를 측정하였다. 첨도(Kurtosis)는 관측값의 산술평균 주위에 밀집된 정도를 측정하는 것을 말하며 Fig. 8과 같이 평가값 0을 기준으로 0보다 크면 평균값에 밀집한 뾰족한 통항 패턴, 작으면 납작한 통항 패턴을 지니게 된다. 왜도(Skewness)는 관측값의 비대칭성을 측정하며 Fig. 8과 같이 평가 값이 0보다 크면 왼쪽으로 치우친 통항 패턴을, 0보다 작으면 오른쪽으로 치우친 통항 패턴을 가진다.

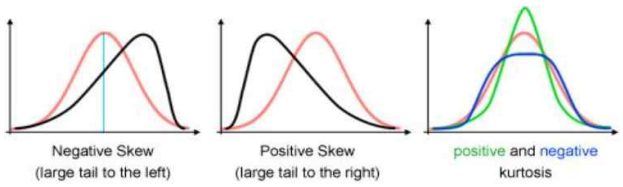


Fig. 8 Skewness and kurtosis distribution

패턴 분석 결과, Small의 경우 최솟값과 평균값이 가장 해양시설물로부터 근접하여 통항하는 것을 확인 할 수 있었으며 변동계수 또한 가장 커 이격거리에 대한 상대적인 변동이 가장 큰 것으로 판단되었다. Medium의 경우 표준편차는 Small과 비슷하게 측정되었으나 변동계수는 상대적으로 Small에 비해 낮게 책정되었다. Large의 경우 상대적으로 다른 경우에 비해 해양시설물로부터 가장 이격하여 통항하나 변동계수에 따른 상대적인 변동률은 가장 작게 통항하는 것으로 판단되었다. 왜도와 첨도의 경우 전체적으로 음의 값으로 나타나 우편향하며 완만한 정규분포의 형태를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 첨도의 경우 선박의 길이가 커질수록 더욱 완만한 형태를 가지는 것으로 분석되었다. 왜도의 경우 Small이 가장 작게 우편향하는 패턴을 가지며 Medium의 경우 가장 크게 우편향하는 패턴으로 분석되었다. 그 결과는 Table 5와 같다.

Table 5 Statistical analysis results for separation distance

Classification	Small	Medium	Large
Count	43	62	33
Mean(m)	2,519.5	2,793.2	2,912.1
SD(m)	607.0	606.9	537.4
Min(m)	940	1,220	1,860
90% left(m)	1,517.9	1,791.8	2,025.4
95% left(m)	1,329.8	1,603.7	1,858.8
99% left(m)	953.4	1,227.4	1,525.6
CV	24.1	21.7	18.5
Skewness	-0.24	-0.67	-0.40
Kurtosis	-0.28	-0.45	-0.89

통계적 기법을 통한 통항 패턴 분석 결과, 통항 패턴은 선박 길이별로 상이한 특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 본 연구에서는 선박의 길이별로 선박 권고 안전이격거리를 각각 선정하고자 하였다.

4. 선박 권고 안전이격거리 선정

4.1 해외문헌 검토

본 연구에서는 해양시설물 2NM 반경 실제 통항선박 138척의 통항 분석 결과를 대상으로 선박과 해양시설물 사이의 안전이격거리를 도출하기 위해 선박의 조종성능 중 가장 많이 활용되는 길이요인을 활용하였다. IMO의 선박 조종성능 중 선회장 및 Tactical diameter, 그리고 CESMA 및 PIANC WG 161에서 권고하는 해양시설물과 항로 및 TSS를 통항하는 선박간의 안전이격거리를 활용해 AIS 정보를 선박 길이별로 분류하여 선박길이별 적정 이격거리를 제시하고자 하였다.

4.1.1 Tactical diameter

선박의 조종성능 기준 중 선회장은 선박이 일정한 속력으로 타각 없이 직진하는 상태에서 타각을 주고 360°회전하면서 선박의 무게중심이 그리는 궤적을 말하며, Tactical diameter는 선박이 선회를 하였을 때 그리는 전체 선회 지름을 말한다. 이는 선박의 안전 이동반경을 확보하는데 중요한 역할을 한다. 선회장 및 Tactical diameter는 선박의 형상 및 조타법에 따라 달라지므로 IMO(2002)에서 규정한 선회장의 기준은 좌·우현 전타 시 Advance 4.5L 이하, Tactical diameter 5L 이하를 만족하여야 한다.

4.1.2 해양시설물과 선박간 안전이격거리

CESMA(2016)는 ColRegs에 기반을 두어 해양시설물과의 이격거리를 선정할 것을 권고하고 있다. PIANC WG 161(2018)는 해양시설물이 설치되어 있는 해역에서의 TSS 통항 시 이격거리에 대해 UN해양법 제60조의 이격거리 기준 500m와 IMO 조종성능을 기반으로 운항자의 심리를 고려한 6L 만큼을 더한 6L + 500m를 시설물로부터 이격하여 통항 할 것을 권고하고 있다.

4.2 선박 길이별 안전이격거리 분석

본 연구에서는 위에서 언급된 기준 뿐만 아니라 다양한 케이스에서 실제 선박 운항자들의 이격거리를 분석하였다. 설정 이격거리 값을 5.0L~7.0L까지 0.5L 단위로 분류하였으며 해양시설물 반경 500m를 기준으로 하여 해양시설물 반경 2NM(3,704m)범위의 통항선박 138척을 대상으로 분석을 수행하였다.

4.2.1 선박 권고 안전이격거리 분석

설정 값 이하로 통항한 선박을 대상으로 총 척수를 비교 한 결과는 Table 6과 같다. 5.0L의 경우에는 해양시설물 기준 500m에서부터 모든 통항선박이 설정 값 이상으로 통항하였다. 5.5L, 6.0L의 경우 전체 선박 중 2.17%에 해당하는 선박이

설정 값 이하로 통항하였으며 6.5L, 7.0L으로 값이 커질수록 설정 값 이상으로 통항하는 척수는 증가했다.

Table 6 Number of ships passing below safety distance

Safety distance	Count	Percentage(%)
5.0L	0	0.00
5.5L	**3**	**2.17**
6.0L	**3**	**2.17**
6.5L	6	4.35
7.0L	11	7.97

본 연구에서는 Table 7과 같이 이격거리 차이의 평균값을 비교하였다. 67.17m인 5.5L에 비해 다른 설정 값인 6.0L은 232.67m, 6.5L은 227.25m, 7.0L은 229.45m로 차이가 큰 것을 알 수 있었다. 또한 이를 길이로 나누어 무차원화 시킨 D/L의 평균값은 5.5L일 경우에 0.21으로 6.0L의 0.71, 6.5L의 0.76, 7.0L의 0.83보다 현저히 차이가 작음을 확인 할 수 있었다. 그러므로 본 연구에서는 실제 통항과 가장 근소한 차이를 보인 5.5L으로 선박 권고 안전이격거리 기준을 선정하였다.

Table 7 Comparison of safety distance difference

Safety distance	Average distance difference(m)	Average distance difference / length(D/L)
5.5L	**67.17**	**0.21**
6.0L	232.67	0.71
6.5L	227.25	0.76
7.0L	229.45	0.83

이를 Fig. 9와 같이 그래프로 나타내었으며 5.5L이 다른 값에 비해 이격거리 차이가 근소한 것을 확인할 수 있었다.

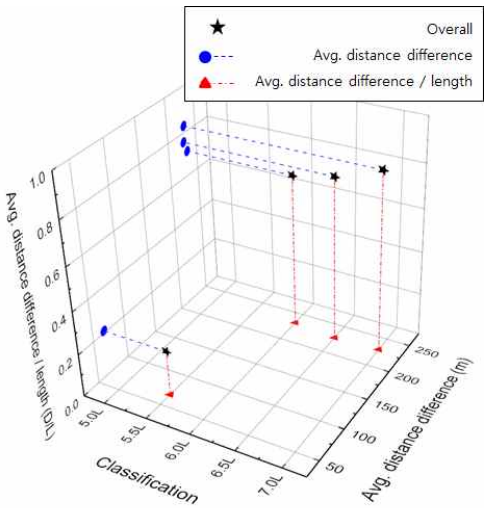


Fig. 9 Comparison of set safety distance

4.2.2 선박 길이별 신뢰구간에 따른 안전이격거리

해양시설물로부터 권고이격거리 기준으로 선정 된 5.5L값을 기준으로 도출한 선박 권고 안전이격거리는 식 (7)와 같다.

$$Safety\,distance = 5.5L + 500m \quad (7)$$

위 식에서 Table 5에 언급된 선박 길이별 신뢰구간 90%, 95%, 99%의 좌측 값을 Safety distance로 설정하고 식 (7)에 대입하여 길이 구간 Small(50~100m), Medium(100~200m), Large(200m~)에 대해 L값을 각각 구하였다. 구해지는 L값을 기준으로 하여 길이구간의 최댓값에 가깝게 나온 신뢰구간을 선박 길이별 신뢰구간에 따른 안전이격거리로 선정하였다.

Table 8을 살펴보면 Small은 99%일 경우에 82.9m로 Small(50~100m)의 최댓값인 100m에 가장 근접하였고, Medium(100~200m)은 95%일 경우에 200.7m로 각 구간별 최댓값에 가장 근접하였으며 Large는 200m 이상의 선박으로 분류되어 별도의 최댓값이 선정되어 있지 않으므로 가장 큰 값인 90%의 신뢰구간에 해당되는 277.8m로 선정하였다.

Table 8 Ship length according to confidence left interval

Ship size	90% left	95% left	99% left
Small	185.6m	150.9m	**82.9m**
Medium	235.4m	**200.7m**	132.7m
Large	**277.8m**	247.1m	186.9m

각 신뢰구간별 좌측 값에 대한 선박 길이별 적정 신뢰구간은 Small은 99%, Medium은 95%, Large는 90%으로 판단되었다. 본 연구에서는 Fig. 4의 UK MCA에서의 선박과 해양시설물간의 이격거리를 참고하여 이를 Fig 10과 같이 나타내었다. A는 해양시설물과 선박 통항량 중간 값의 거리를 나타내며 B는 해양시설물로부터 선박 통항 폭의 최 근접 거리를 나타낸다. C는 신뢰구간 x에 따른 선박과 해양시설물간의 이격거리를 나타낸다. 신뢰구간 x는 선박 길이별로 Small일 경우 99%, Medium일 경우 95%, Large일 경우 90%이다.

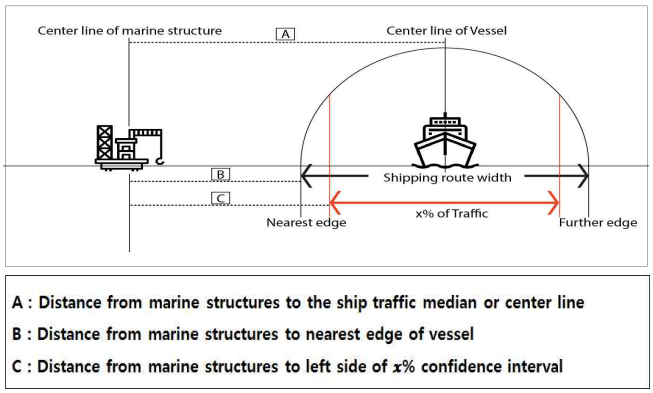


Fig. 10 Concept of safety distance by confidence interval

4.3 선박 권고 안전이격거리 비교

본 연구를 통해 선정한 선박 권고 안전이격거리의 기준은 선박 길이요인을 활용한 5.5L+500m와 신뢰구간의 좌측 값에 따른 선박 길이별 이격거리(Small 99%, Medium 95%, Large

90%)이다. 위 2가지 기준의 차이를 검토하기 위해 권고 안전 이격거리의 차이, 이격거리 차이를 길이요인으로 나누어 무차원화 시킨 D/L값, 5.5L+500m의 선박 권고 안전이격거리를 기준으로 실측 AIS 값의 신뢰구간별 안전이격거리에 대한 차이를 비율로 나타낸 값을 Table 9와 같이 비교하였다. 단, 본 연구에서는 5.5L+500m의 권고 안전이격거리에 대해 각 길이구간별 최댓값(Small : 100m, Medium : 200m)을 L값에 대입하였으나 해양시설물 반경 2NM을 통항하는 Large 구간의 선박은 최소 200m에서 최대 367m로 길이의 편차가 심하였다. 그러므로 Large는 신뢰구간 90%의 좌측 값 선박 길이로 도출된 길이인 277.8m 및 Small과 Medium의 최댓값이 각각 100m, 200m인 점을 감안하여 Large의 권고 안전이격거리에는 L을 300m로 대입하였다. 또한 두 값의 유사성 및 차이점을 시각적으로 검토하기 위해 선박 권고 안전이격거리에 대한 두 가지 결과값을 Fig. 11과 같이 나타내었다.

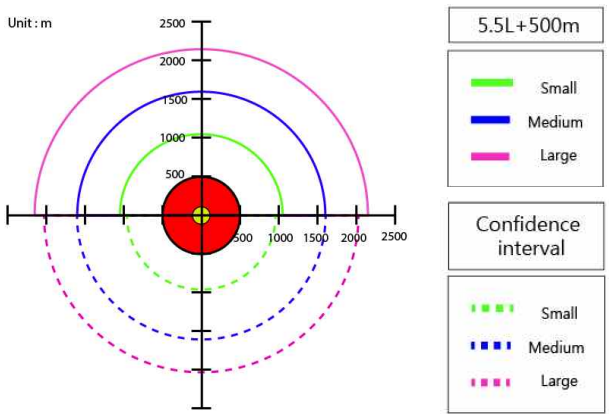


Fig. 11 Safety contour of recommended ship safety distance

이격거리에 대한 5.5L과 AIS data 기반 신뢰구간의 차이 비교 결과, Small은 96.56m의 차이와 1.00의 D/L차이, 9.20% 차이를 나타났으며 가장 차이가 컸다. Medium의 경우에는 3.68m의 이격거리 차이와 D/L차이는 0.01로 나타났으며 비율은 0.23%의 차이로 가장 차이 값이 근소하였다. Large는 122m의 이격거리 차이로 단순 수치는 가장 차이가 컸으나 D/L의 차이는 0.14로 나타났으며 비율은 5.80%의 차이를 나타냈다.

Table 9 Comparison of recommended ship safety distance

Ship size	Recommend safety distance	Distance (m)	Distance /Length(D/L)	Distance Difference(m)	D/L Difference	Difference Percentage(%)
Small	Confidence interval	953.44	11.50	96.56	1.00	9.20
	5.5L+500m	1,050.00	10.50			
Medium	Confidence interval	1,603.68	7.99	3.68	0.01	0.23
	5.5L+500m	1,600.00	8.00			
Large	Confidence interval	2,025.39	7.30	124.61	0.14	5.80
	5.5L+500m	2,150.00	7.16			

5. 결 론

본 연구에서는 우리나라의 해양시설물 중 동해가스전을 대상으로 AIS 정보에 기반을 둔 해양시설물과 선박간의 권고 안전이격거리 선정에 대한 연구를 수행하였다. AIS 정보는 2019년 1월 26일 00시부터 4월 24일 00시까지 13주간 수집하였다. Historical track 분석은 순시선 및 소형 어선의 불규칙한 항적을 제외하기 위해 50m 이상의 상선을 대상으로 분석을 수행하였다. 그 결과, 통항 방향은 크게 NE(북동), NW(북서), SW(남서), SE(남동) 방향을 띄는 것을 알 수 있었다.

Gateline분석은 historical track결과를 참고하여 방향을 선정했으며 그 길이는 해외에서 주로 활용되는 권고 이격거리 기준인 2NM, 간격은 50m로 설정하였다. 그 결과, 해양시설물과 가장 근접한 선박은 1,050m이격하여 통항하였으며 선박 통항량의 95% 거리는 해양시설물로부터 1,750m떨어져 통항하는 것을 알 수 있었다.

해상교통조사 및 분석 결과를 바탕으로 해양시설물 반경 2NM의 통항 분포를 분석하기 위해 선박을 길이별로 분류하여 KS test, SW test를 통한 정규성 검정 및 Q-Q plot과 같은 시각적 검정법을 통한 정규성 검정을 수행하였다. 본 연구에서는 표본 수에 따라 표본이 50개 미만인 경우 SW test, 50개 이상인 경우 KS test의 결과를 바탕으로 정규성을 평가하였다. 그 결과, 해양시설물 반경 2NM의 통항 선박 분포는 모두 정규성을 가지는 것으로 평가되었다.

통항 분포 분석 결과와 정규분포를 비교한 선박간의 이격거리를 통계적으로 나타내기 위해 통항 패턴 분석을 수행하였다. 그 결과, 선박의 길이가 커질수록 평균, 최솟값, 신뢰구간에 따른 좌측 값은 상승하였으며, 표준편차 및 변동계수는 낮아졌다. 첨도는 선박의 길이가 커질수록 감소하였으며 왜도는 Small에서 가장 높게 나타나고 Medium에서 가장 낮게 나타났다. 이를 바탕으로 통항 패턴은 선박 길이별로 상이한 특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 본 연구에서는 선박의 길이별로 권고 안전이격거리를 각각 선정하고자 하였다.

선박 길이별 권고 이격거리는 해양시설물에서 500m반경 지점부터 2NM까지 0.5L~7.0L의 값을 설정하고, 설정 이격거리 값의 구간을 0.5L으로 분류하여 설정 값 이하로 통항하는 선박을 대상으로 이격거리의 차이를 분석하였다. 그 결과, 5.5L이 가장 차이가 근소한 값으로 분석되었으며 선박 권고 안전이격기준을 5.5L+500m로 선정하였다.

본 연구에서는 5.5L+500m의 권고 안전이격거리를 선박 길이별 신뢰구간의 좌측 값으로 선정 하였을 때 각 구간별 길이의 최댓값에 가깝게 나온 값을 선박 길이별 신뢰구간에 따른 안전이격거리로 선정하였다. 그 결과, Small 99%, Medium 95%, Large는 90%의 신뢰구간의 좌측 값에 해당하는 범위가 적정 값으로 분석되었다. 5.5L+500m와 신뢰구간에 따른 안전이격거리를 비교한 결과, Small의 차이가 다른 값에 비해 다소 큰 것으로 평가되었다. 이 연구를 통해 제시하는 2가지의 권고 안전이격거리 안에 대한 활용방안은 다음과 같다.

첫째, 해양시설물과 선박의 이격거리를 신뢰구간의 좌측 값에 따라(Small : 99%, Medium : 95%, Large : 90%)설정하여 길이별 권고 안전이격거리를 선정하는 것이다. 이는 선박의 통항 안전성 및 해양시설물의 안전 확보 측면에서 활용도가 높을 것으로 판단된다.

둘째, 해양시설물 설치 후보지를 선정할 경우, 5.5L+500m를 권고 안전이격거리로 선정하는 것이다. 이는 해양시설물의 설치가 해상교통에 미치는 영향을 사전에 파악하여 교통흐름에 영향을 최소화하는 후보지 선정에 유용할 것으로 판단된다.

다만, 본 연구는 동해가스전 인근의 통항 선박만을 대상으로 수행한 연구인만큼 향후 보다 다양한 환경에서의 권고 안전이격거리 선정에 대한 후속연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구과제(No.20183010025270)입니다.

References

[1] CESMA(2016), “International regulations and guidelines for maritime spatial planning related to safe distances to multiple offshore structure(e.g. wind farms)”, Accessed date February 10, 2019. http://www.cesma-eu.org/MSP.pdf.

[2] IMO(2002), “Standards for Ships Manoeuvrability” Resolution MSC.137(76), Annex 6, p. 5.

[3] 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.

[4] Kim, J. H. and Gug, S. G.(2006), “Analysis on the Marine Traffic Flow Characteristics for Gamcheon Harbor”, Korea Institute of Navigation and Port Research, Vol. 30, No. 5, pp. 397-404.

[5] Kim, J. K., Kim, S. W. and Lee, Y. S.(2017), “A Study on the Traffic Patterns of Dangerous Goods Carriers in Busan North and Gamcheon Port”, Korea Society of Marine Environment & Safety, Vol. 23, No.1, pp. 9-16.

[6] Kim, J. K.(2018), “A Study on the Analysis of Traffic Distribution and Traffic Pattern on Traffic Route using ND-K-S”, Korea Institute of Navigation and Port Research, Vol. 42, No. 6, pp. 446-452.

[7] Kim, S. W., Lee, Y. S., Park, Y. S., Kim, J. S., Yun, G. H. and Kim, D. H.(2005), “A Study on the Traffic Stream and Navigational Characteristics at the Adjacent Sea Area of Busan Central Wharf”, Korea Institute of Navigation and Port Research, Vol. 30, No. 1, pp. 9-15.

[8] Lee, B. K., Cho, I. S. and Kim, D. H.(2018), “A Study on the Design of the Grid-Cell Assessment System for the Optimal Location of Offshore Wind Farms”, Korea Society of Marine Environment & Safety, Vol. 24, No.7, pp. 848-857.

[9] Lee, J. S., Son, W. J., Lee, B. K. and Cho, I. S.(2019), “Optimal Site Selection of Floating Offshore Wind Farm using Genetic Algorithm”, Korea Society of Marine Environment & Safety, Vol. 25, No.6, pp. 658-665.

[10] Nguyen, X. T., Park, Y. S., Park, J. S. and Jeong, J. Y.(2013), “Developing a Program to Pre-process AIS Data and applying to Vung Tau Waterway in Vietnam : Based on the IWRAP Mk2 program”, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 19, No. 4, pp. 345-351.

[11] New York State Energy Research and Development Authority(2017), “New York State Offshore Wind Master Plan; Shipping and Navigation Study“, Appendix A, pp. 1-2.

[12] PIANC(2018), ″WG 161 Interaction Between Offshore Wind Farms and Maritime Navigation″, pp. 15-16.

[13] Song, C. U., Lee, Y. S., Kang, J. G., Jung, M. and Jung, C. H.(2005), “A Study on the Traffic Flow and Navigational Characteristics for the Ship’s routing of Po-hang Port”, Korea Institute of Navigation and Port Research, Vol. 29, No. 1, pp. 821-826.

[14] The Nautical Institute(2013), “The shipping Industry and Marine Spatial planning”, pp. 6-14.

[15] UK MCA(2016), ″MGN 543 safety of navigation offshore renewable energy installations(OREIs) - Guidance on UK Navigational Practice, Safety and Emergency Response″, p. 18.

[16] United Nations(1982), ″United Nations Convention on the Law of the Sea“, Part V. Article 60, p. 45.

Received 23 September 2019
Revised 18 October 2019
Accepted 25 October 2019