Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety
Research Paper
Vol. 24, No. 7, pp. 848-857, December 31, 2018, ISSN 1229-3431(Print) / ISSN 2287-3341(Online) https://doi.org/10.7837/kosomes.2018.24.7.848

해상풍력발전단지의 최적 위치 선정을 위한 Grid-cell 평가 시스템 개념 설계

이보경* · 조익순**† · 김대해**
*, ** 한국해양대학교 선박운항과

A Study on the Design of the Grid-Cell Assessment System for the Optimal Location of Offshore Wind Farms

Bo-Kyeong Lee* · Ik-Soon Cho**† · Dae-Hae Kim**
*, ** Department of Ship Operation, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 최근 국제적으로 풍력, 태양광, 파도, 연료전지 등의 친환경 신재생에너지 개발이 활발하다. 특히, 해상에서의 풍력발전단지 개발은 대형화를 통한 단가 절감, 고품질의 풍력자원 활용, 발전기로 인한 소음 피해 최소화를 위해 해안에서 멀리 떨어진 위치에 대규모 부유식으로 건설되는 추세이다. 풍력발전단지의 개발은 해사안전법에 의한 해상교통안전진단제도에 따른 평가가 필요하다. 풍력발전단지의 평가는 해당 수역의 체계적인 개발, 관리, 활용을 위해 선과 면적 개념을 모두 적용하여 수행되어야 하며, 이를 위한 평가 방법과 기준이 개발되어야 한다. 이 연구에서는 해상풍력발전단지처럼 해양 공간을 평가할 수 있는 해상교통조사방법과 평가에 대한 적절한 기준을 수립하고, 이를 시스템적으로 처리할 수 있는 방안에 대해서 연구하였다. 먼저 해상교통조사를 위해 AIS와 레이더를 이용한 이동식 해상교통데이터 수집장치를 설계하였다. 그리고 선과 면적의 개념을 모두 적용한 해상교통 항적도, 밀집도, 경로 분석을 제안하였다. 해상교통밀집도는 Grid-cell의 크기를 조절하여 단위 cell에 대한 공간적, 시간적 점유율을 구분하고 해상교통 경로 분석은 해상을 통항로 또는 작업 공간으로 사용할 때를 구분하여 선박의 이동 패턴을 평가할 수 있도록 제안하였다. 최종적으로 시스템적인 해상교통데이터의 수집과 평가가 가능한 해상교통안전평가솔루션의 개념설계를 수행하였다. 이는 자동적인 해상교통데이터의 수집·저장·분류를 통해, 데이터 누락이나 오표기와 같은 인적 오류를 최소화하고 해상 공간의 용도에 따라 선과 면적 개념을 반영하여 분석함으로써 신뢰성 있는 해상 공간의 평가가 가능하게 한다.

핵심용어 : Grid-cell, 해상교통데이터 수집장치, 해상교통밀집도, 해상교통 경로 분석, 해상교통안전평가솔루션

Abstract : *Recently, around the world, active development of new renewable energy sources including solar power, waves, and fuel cells, etc. has taken place. Particularly, floating offshore wind farms have been developed for saving costs through large scale production, using high-quality wind power and minimizing noise damage in the ocean area. The development of floating wind farms requires an evaluation of the Maritime Safety Audit Scheme under the Maritime Safety Act in Korea. Floating wind farms shall be assessed by applying the line and area concept for systematic development, management and utilization of specified sea water. The development of appropriate evaluation methods and standards is also required. In this study, proper standards for marine traffic surveys and assessments were established and a systemic treatment was studied for assessing marine spatial area. First, a marine traffic data collector using AIS or radar was designed to conduct marine traffic surveys. In addition, assessment methods were proposed such as historical tracks, traffic density and marine traffic pattern analysis applying the line and area concept. Marine traffic density can be evaluated by spatial and temporal means, with an adjusted grid-cell scale. Marine traffic pattern analysis was proposed for assessing ship movement patterns for transit or work in sea areas. Finally, conceptual design of a Marine Traffic and Safety Assessment Solution (MaTSAS) was competed that can be analyzed automatically to collect and assess the marine traffic data. It could be possible to minimize inaccurate estimation due to human errors such as data omission or misprints through automated and systematic collection, analysis and retrieval of marine traffic data. This study could provides reliable assessment results, reflecting the line and area concept, according to sea area usage.*

Key Words : *Grid-cell, Marine traffic data collector, Marine traffic density, Marine traffic pattern analysis, Marine traffic and safety assessment solution*

* First Author : leona49@nate.com, 051-410-4868
† Corresponding Author : ischo@kmou.ac.kr, 051-410-5072

1. 서 론

최근 범국제적으로 석유에너지를 대체하는 풍력, 태양광, 파도, 연료전지 등의 친환경 신재생에너지 개발이 활발하다. 특히 해상에서의 풍력발전은 대형화를 통한 단가 절감, 고품질의 풍력 자원 활용, 수산과 같은 해양 작업 피해 최소화를 위해 해안에서 멀리 떨어진 위치에 대형 부유식풍력발전단지 형태로 개발되고 있다. 국외에서도 2016년 일본 고토시에서 부유식 해상풍력발전기를 설치하였고(Ishida, 2017), 2017년 9월에는 Hywind-스코틀랜드 부유식 해상풍력발전단지가 완공되어 2017년 11월부터 2018년 1월까지 이용률 65 %로 가동되고 있다(Owano, 2018). 국내에서는 울산시 인근에 대규모 풍력발전단지 설계를 위한 실증 연구가 진행되고 있다. 우리나라는 2017년을 기준으로 1,140 MW 규모로 운영되는 풍력발전을 2030년까지 해상풍력발전 12 GW를 포함하여, 전체 16.5 GW까지 단계적으로 증가할 계획이다.

해상풍력발전시스템은 수면 상부 구조물인 블레이드, 나셀, 타워와 수면 하부 구조물인 부유체, 체인, 앵커로 이루어져 있고, 육상으로의 전력 수급을 위해 송전케이블이 연결되어 있다. 이러한 풍력발전시스템이 다수로 구성된 해상풍력발전단지의 개발은 해양의 이용 또는 보존과 관련된 허가·인가·승인·신고에 해당되는 작업으로써 해사안전법에 의한 해상교통안전진단의 대상사업이다(NLIC, 2018).

해상풍력발전단지의 개발은 선박의 통항을 금지하거나 제한할 수 있는 수역의 설정 또는 변경, 수역에 설치되는 교량·터널·케이블 등 시설물의 건설·부설 또는 보수, 혹은 그 밖에 해상교통안전에 영향을 미칠 수 있는 사업에 해당될 경우 해상교통안전진단을 받아야 한다. 해상교통안전진단제도에 의한 진단항목에는 해상교통현황의 조사와 측정, 해상교통시스템의 적정성 평가가 포함된다(NLIC, 2017). 해상풍력발전단지의 개발은 기존의 교통 흐름을 방해하거나 변경하지 않아야 하므로 풍력발전단지 개발에는 현재의 해상교통현황의 신뢰성 있는 조사·분석·평가가 매우 중요하다.

해상교통현황조사는 해상교통안전진단 시행지침에 의해 레이더와 선박자동식별장치(AIS, Automatic Identification System)를 이용하여 현장에서 최소 72시간 이상의 교통량이 관측되어야 하고 해양종합안전정보시스템(GICOMS, General Information Center on Maritime Safety) 데이터를 추가하여 분석한다(NLIC, 2017). 해상풍력발전단지는 선박의 통항이나 작업과 같은 해상 활동에 영향을 미칠 수 있어 해상교통안전진단제도의 적용이 반드시 필요하다. 하지만 현재까지의 해상교통안전진단은 사람이 직접적으로 움직여서 해상의 교통량을 조사하고, 수집된 데이터를 수동으로 필터링하여, 사용된 데이터가 사람의 실수로 인해 잘못 반영될 위험성이 높았다. 또한 선의 개념을 적용한 항적도로만 분석하여 후보단지 활용도에 대한 공간적 평가 결과를 제시하기 어려웠다.

이 연구에서는 Fig. 1과 같이 해상풍력발전단지의 개발처럼 해양 공간을 계획하고 설계하기 전에 대상 해역의 적정성을 시스템적으로 평가할 수 있는 해상교통안전평가솔루션(MaTSAS, Marine traffic and safety assessment solution)의 개념 설계를 수행하였다.

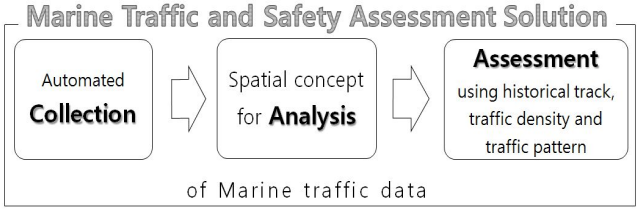


Fig. 1. Concept of MaTSAS.

MaTSAS의 개발은 해상풍력발전단지의 단계적이고 실질적인 확대에 따라 해상 공간의 적정성을 분석할 수 있는 자동적인 해상교통 조사방법과 적절한 평가기준을 적용하고, 이를 시스템적으로 처리하는 것을 가능하게 할 것이다.

2. 해상교통현황조사의 개선

해상풍력발전단지의 평가를 위해서는 GICOMS, AIS, 레이더를 이용한 현장관측 데이터가 필요하다. 기본적으로 해상풍력단지는 무역항 내와 선박의 항로를 피해서 설치되어야 하므로 조사범위는 해상교통안전진단시행지침 제 별표 3에 따라 발전단지 후보지의 반경 3NM(Nautical Miles) 이내가 되어야 하며 일자별, 시간대별, 선종별, 선박 규모별, 경로대별의 해상교통 분석이 이루어져야 한다(NLIC, 2017).

GICOMS 데이터는 해상교통안전진단의 목적으로 해양수산부 종합상황실에서 제공받을 수 있으나 AIS, 레이더 해상교통데이터는 사람이 현장에 가서 수동으로 수집해야 한다. 이를 개선하여 휴대가 가능하고, 원격 제어를 통해 무인 환경에서 데이터를 수집할 수 있으며, 자동으로 수집된 데이터를 누적 저장할 수 있는 개선된 해상교통데이터 수집장치를 설계하였다.

2.1 개선된 AIS를 이용한 해상교통데이터 수집장치

AIS는 선박의 표준 통신 프로토콜인 NMEA0183 방식으로 데이터를 수집하고 전송한다. 따라서 표준 포맷 데이터 전송을 따르는 다른 항해 장비와의 데이터 인터페이스가 용이

하다. 다만 통상의 AIS 장비는 수집된 정보를 저장하는 기능이 없다. 해상교통안전진단제도에서는 72시간 이상의 현장 조사를 요구하지만 월별, 계절별, 연도별 등의 특수한 상황을 모두 분석하려면 보다 광범위한 기간 동안의 데이터를 수집· 저장· 검색할 수 있는 기능이 필요하다. Fig. 2는 개선된 AIS를 이용한 해상교통데이터 수집장치의 구성도이다.

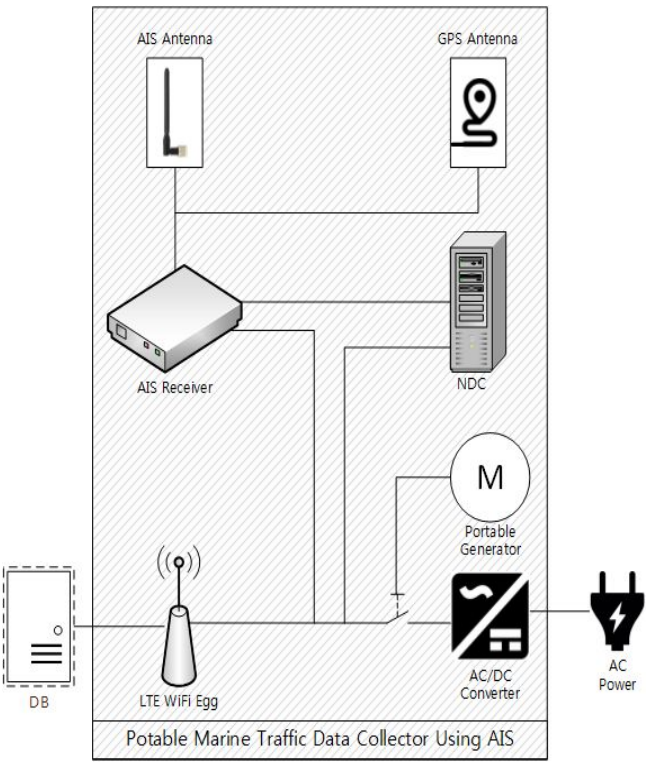


Fig. 2. Configuration of revised marine traffic data collector using AIS.

가정 및 사무실에 보편적으로 사용되는 AC 전원은 AC/DC 컨버터를 통해 DC로 전환되어 AIS 수신기, 항해데이터수집기(NDC, Navigational Data Collector), LTE Wifi Egg에 전력을 공급한다. AIS 수신기에는 AIS와 GPS의 안테나가 장착되어 있으며 AIS 안테나는 다른 선박의 AIS 정보를 수신한다. 수신된 정보는 NDC를 통해 수집되어 LTE 통신망을 타고 데이터베이스에 적재된다. 수집된 정보는 약 6개월 이상 보관할 수 있도록 설계하였다. 이때 전원은 이동식 발전기를 통해 공급받을 수도 있다. Fig. 2에서 빗금으로 표시된 부분은 AIS 해상교통데이터 수집장치로 원하는 장소에 휴대식으로 설치한다. 데이터베이스는 해상교통데이터 관측 현장 외에서도 접속 및 사용할 수 있도록 웹클라우드 환경을 이용한다.

AIS 안테나는 VHF를 이용하여 송·수신을 같이하며 안테나의 높이가 높을수록 탐지 범위가 길어진다. 두 AIS 안테나가 각각 150 m, 1.4 m라면 탐지거리는 약 31 NM이고, 150 m와 9 m라면 탐지거리는 약 35 NM이다. 각각, 150 m와 90 m라면 탐지거리는 약 50 NM로 증가하며 9 m, 1.4 m라면 탐지거리는 약 10 NM이다(UKHO, 2017). 즉 AIS를 이용한 해상교통데이터 수집장치를 주변 장애물이 없는 장소에 해수면 약 150 m 높이로 설치한다면 소형 어선은 30 NM, 대형선은 최대 50 NM까지 탐지 가능하다.

2.2 개선된 레이더를 이용한 해상교통데이터 수집장치

선박의 이동 정보는 AIS를 이용할 경우 안테나 설치 높이에 따라 최소 10 NM에서 50 NM 범위까지 수신할 수 있다. 하지만 AIS는 국제해상인명안전협약(SOLAS, International Convention for the Safety of Life at Sea)에 따라 300 GT 이상의 선박에만 설치가 요구되므로 그 이하 소형 선박의 AIS 정보는 수집되지 않을 수 있다. 이때, 레이더를 설치하면 레이더 스캐너 인근의 물표 이동을 탐지할 수 있다.

선박용 레이더의 레이더빔은 표준대기에서 수평으로부터 아주 약간 아래로 편향하여 거의 수평에 가깝게 이동한다. 이때, 레이더 스캐너와 물표의 높이가 높을수록 탐지 거리가 증가하며 이를 계산하는 이론적 근사식은 다음과 같다(Bole et al., 2005).

$$Rd_{NM} = 2.21\sqrt{h_m} + 2.21\sqrt{H_m} \quad (1)$$

여기서, Rd : 레이더의 이론적 탐지 거리
h : 레이더 스캐너의 평균 해수면으로부터의 높이
H : 탐지 물표의 평균 해수면으로부터의 높이

레이더 역시 AIS와 마찬가지로 물표와 안테나의 높이가 높을수록 탐지 거리가 길어진다. 레이더를 이용하여 현장 관측을 하는 주 이유가 AIS가 없는 소형 선박을 탐지하기 위해서이므로 탐지 물표를 소형으로 간주하면 해수면으로부터의 약 2 m 높이에 있다고 생각할 수 있다. 목표 탐지거리가 20 NM라면 식(1)에 근거하여 레이더 스캐너의 설치 위치는 평균해수면에서 약 58 m의 높이에 설치해야 한다.

레이더를 통해 수집한 데이터를 AIS와 같이 시스템에서 수집· 저장· 검색하기 위해서는 레이더에서 탐지되는 물표의 Echo는 ARPA 기능을 통해 수집(Acquisition) 및 추적(TT, Target tracking)되어야 한다. 레이더의 TT만이 표준 통신 프로토콜에 따라 시스템적으로 전송되고 데이터베이스에 저장될 수 있다. Fig. 3은 개선된 레이더를 이용한 해상교통데이터 수집장치의 개요이다.

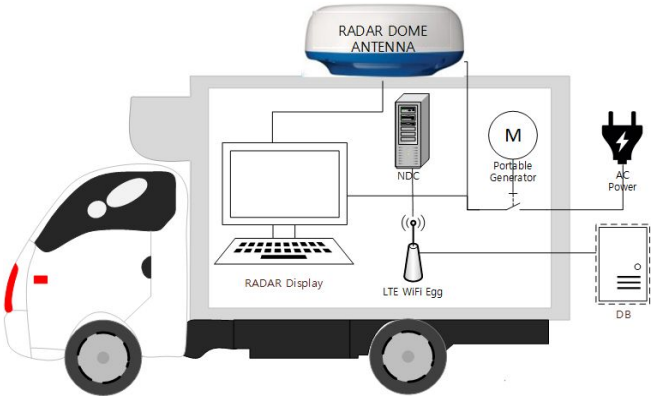


Fig. 3. Configuration of revised marine traffic data collector using RADAR.

레이더를 이용한 해상교통데이터 수집장치는 부피와 무게상 휴대하기가 어려우므로 이동식 차량에 탑재하였다. 전원은 외부, 또는 차량에 탑재한 이동식 발전기를 통해 공급받는다. 레이더 스캐너는 회전식이 아닌 돔 형태의 안테나를 사용하고 이를 통해 주변 물표를 탐지하면 그 영상이 레이더 디스플레이에 표시된다. 사용자는 현장에서 또는 LTE Wifi Egg를 이용한 원격 제어를 통해 레이더 영상을 수집하고 추적한다. 레이더의 TT는 NMEA0183 표준 프로토콜에 따라 NDC를 통해 수집되어 LTE 통신망을 타고 웹데이터베이스에 저장된다. 약 6개월 이상의 정보를 누적 보관할 수 있도록 설계하였고, 데이터베이스 역시 데이터 수집 현장 외에서도 접속 및 사용 가능하도록 웹클라우드 환경을 이용한다.

2.3 개선된 해상교통데이터 수집 장치의 장점

AIS와 레이더를 이용한 해상교통데이터는 사람이 직접 장비를 들고 현장으로 이동하여 관측하고 수집하는 것이 보편적이었다. 이러한 수동 방식은 장기간의 데이터 수집이 어렵고, 수집 과정에서 인적 오류에 의한 데이터 누락이 발생할 수 있다. 2장에서는 이러한 문제점을 개선하여 평가하고자 하는 해역에 따라 이동 가능하고, 외부 추가적인 전원이 없어도 일정 시간 구동될 수 있는 해상교통데이터 수집 장치를 설계하였다. 또한 일정 시간 동안의 통항량을 자동 또는 원격 제어로 수집·전송할 수 있고 웹클라우드 환경을 이용하여 오랜 기간의 데이터를 저장할 수 있도록 개선하였다. 누적된 데이터는 향후 해상교통안전진단 뿐 아니라 해양공간계획을 위한 기초 자료로도 활용될 수 있다.

3. 개선된 해상교통평가의 기본 개념

해상풍력발전단지와 같은 해상 면적을 평가하기 위해서는 선의 개념을 적용한 누적 항적도 뿐 아니라 면적의 개념을 적용한 추가적인 평가 방법이 보완되어야 한다. 이 장에서는 기존에 사용되었던 항적도 평가를 개선하고 추가적으로 밀집도와 해상교통 경로에 대한 평가 방법을 제안한다.

3.1 항적도 평가

선박의 항적도 평가는 해상교통안전진단시행지침에 따라 해상교통조사에 대한 결과를 일자별, 시간대별, 선종별, 선박 규모별, 경로대별 항적도로 나타내어야 한다(NLIC, 2017). Fig. 4는 해상교통안전진단 보고서에 수록된 항적도이다(Kim et al., 2015).

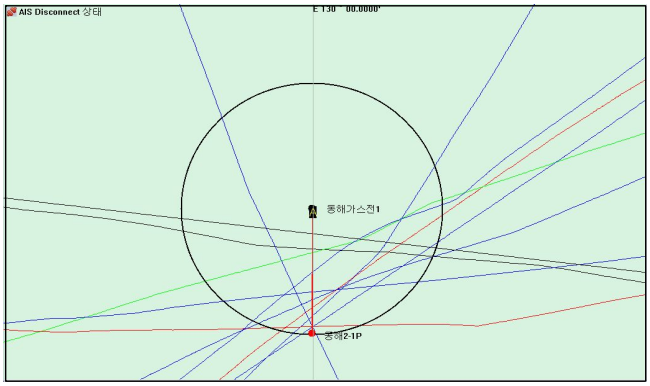


Fig. 4. All ship's historical track (Source: Kim et al., 2015).

이와 같은 항적도 평가는 선박의 이동 패턴을 확인하는데 필요하다. 다만 기존의 방식대로 사람이 직접 조사한 자료를 수동으로 필터링하면 수집과 분석에서 데이터 누락, 오표기와 같은 인적오류가 발생할 가능성이 높아진다. 따라서 이러한 인적 위험 요소를 개선하기 위해 항적도 평가 방법을 개선할 필요가 있다.

(a) Selection of analysis date and time (b) Selection of ship's type and size

Fig. 5. Example of selecting condition for analysing of ship's historical track.

Fig. 5는 수집된 정보를 시스템적으로 일자별, 시간대별, 선종별, 선박 규모별, 경로대별로 분류하는 기능을 예시적으로 나타낸 것이다. (a)는 분석 기간과 날짜를 선택하는 기능

이고 (b)는 분석할 선박의 종류와 길이를 선택하는 기능이다. AIS로 수집되는 정보에는 동적 정보인 날짜와 시간, 정적 정보인 선박의 종류, 길이, 선폭, 항차 관련 정보인 흘수가 있다(Jung et al., 2016). 하지만 선박의 톤수는 따로 기록되지 않기 때문에 크기를 구분할 때는 길이, 선폭, 흘수 정보를 이용한다. 이 정보들은 자동으로 수신되는 정보이므로 분석자가 일일이 필터링 할 필요 없이 시스템적으로 구분하여 날짜, 시간, 선종, 크기에 따른 항적도를 도출할 수 있다.

레이더에서 수집된 정보 역시 날짜와 시간은 자동적으로 기록된다. 다만, 선박의 종류와 크기는 수집되지 않기 때문에 메모 기능을 추가한다. 이는 현장 관측자가 해당 선박의 정보를 전자적으로 기록하는 기능이다. 기본적으로 레이더를 이용한 해상교통데이터는 AIS 정보가 없는 소형 선박이 대상이므로 레이더 ARPA 기록은 300 GT 이하의 선박 정보로 간주할 수 있다.

Table 1. Re-classification of ship's type

No	Ship's type and ID specified by ITU
1	30 : Fishing
2	31, 32 : Towing 52 : Tugs
3	50 : Pilot vessel
4	55 : Law enforcement vessels 59 : Ships and aircraft of states not parties to an armed conflict
5	60 ~ 64, 69 : Passenger ships
6	70 ~ 74, 79 : Cargo ships
7	80 ~ 84, 89 : Tanker
8	20 ~24, 29 : wig 33, 34 : engaged in dredging or underwater operations, 35 : Engaged in military operations 36 : Sailing 37 : Pleasure craft 40 ~ 44, 49 : HSC 51 : Search and rescue vessels 53 : Port tenders 54 : Vessel with anti-pollution facilities or equipment 56, 57 : Spare-for assignments to local vessels 58 : Medical transports 90 ~ 94, 99 : Other types of ship
Exemption : 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 25, 26, 27, 28, 38, 39, 45, 46, 47, 48, 65, 66, 67, 68, 75, 76, 77, 78, 85, 86, 87, 88, 95, 96, 97, 98	

AIS에서는 선박의 종류를 총 아흔 가지의 식별번호로 분류한다(ITU-R, 2014). 하지만 아흔 가지의 식별번호가 다 사용되고 있지 않으며 모든 선종을 구분하여 해상교통을 분석하는 것은 의미가 없기 때문에 Table 1과 같이 현재 사용되지 않는 서른여섯 개의 식별번호를 제외하고 나머지 쉰네 개의 선박 종류를 여덟 가지로 재분류하였다.

이전에 이용된 항적도 분석 방법과 개선된 항적도 분석방법은 Table 2와 같은 차이점을 가진다.

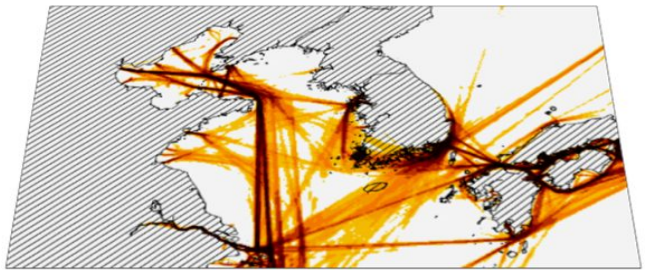
Table 2. Comparison of pre and post analysis of historical tracks

Item			Analysis of historical tracks before improvement	Improved analysis of historical tracks
Collecting of Marine traffic data	Data by RADAR	Acquire	by humans **on-site**	by human **remotely**
		Record	**manually** by the person.	**systematically**
		Control	by humans **on-site**	**remotely**
	Data by AIS	Acquire	by humans **on-site**	**systematically**
		Record	by humans **on-site**	**systematically**
		Control	by humans **on-site**	**remotely**
	Data by GICOMS, etc.	Acquire	received from the relevant authority	received from the relevant authority
		Record	data stored and managed **by human**	data saved to **database**
		Control	**data is easily lost** because people manage it.	data stored in database is still **available in the future**
Filtering and analysing of marine traffic data			**manually** filtering and analysis	**automatically** filtering and analysis

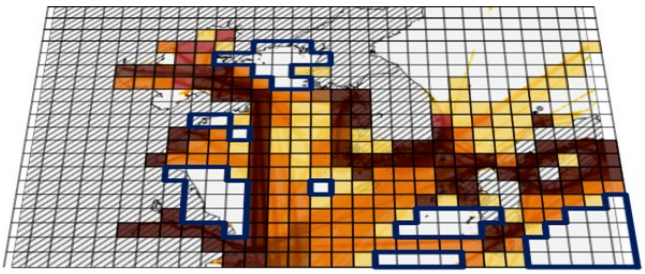
2장에서 설계한 개선된 해상교통데이터 수집장치를 통해 무인으로 데이터를 관측·수집하는 것에 추가하여 자동적인 정보 필터링과 분석이 가능해야 누적된 해상교통데이터의 효용가치도 상승한다. 시스템적으로 해상교통정보를 수집·제어·기록하고 자동으로 데이터를 분류·분석함으로써 인적 오류의 개입을 최소화하며 평가 결과의 신뢰성을 향상시킨다.

3.2 밀집도 평가

해상풍력발전단지의 효율적인 사용과 지속적인 관리를 위해서는 해양 공간을 구획화하여 설계하고 건설하는 것이 필요한데 이는 항적도 평가만으로는 충분치 않다. 이를 보완하기 위해서는 평가 해역을 적절한 단위 구획으로 나누어야 한다. Fig. 6은 선 개념과 면적 개념의 공간 분석을 비교한 그림이다.



(a) Analysis of line concept using ship's historical track



(b) Analysis of spatial concept by grid-cell

Fig. 6. Comparison of line concept analysis and spatial concept analysis.

Fig. 6의 (a)는 선 개념을 적용한 항적도 평가로써 해상교통의 흐름을 평가하는 데는 유용하다. 하지만 선박이 해역을 이용하는 용도와 작업의 면적을 알아보기 어렵고, 향후 시설물이 들어설 경우, 기존 수역 활용에 미치는 영향을 단위 해역별로 세분하여 분석할 수 없기 때문에 공간 활용도를 평가하는 데는 분명하지 않다. 해상풍력발전단지처럼 개발의 용도, 규모, 범위 등을 고려하여 평가하는데는 (b)와 같이 면적 단위의 밀집도 분석방법을 추가하여 평가하는 것이 타당하다. 밀집도는 면적의 개념을 적용한 평가법으로, 해당 수역을 분석자 요구에 따라 여러 단위(grid-cell)로 나눌 수 있고, 인접한 Grid-cell들을 비교하여 얼마만큼의 면적을 개발 대상으로 할지 고려할 수 있으며, 기존 수역의 이용율을 cell 단위로 세분하여 평가할 수 있다.

Grid-cell 평가란 해상 공간의 규모와 목적에 따라 기준 Grid를 설정하고 이로 구분되는 최소 단위인 cell로 평가하는 기법이다. 이는 풍력발전기가 설치되기 위한 매우 작은 소규모 공간이나, 해상에서의 레저·주거·연구 공간 등 다양한 크기와 목적을 가진 해양 공간의 개발 평가에 반영될 수 있다. 공간 활용 계획에 따라 Grid를 크게 또는 작게 나누어 최소 평가 단위인 cell을 다르게 설정할 수 있으며 연구자가 적절한 Grid-cell을 가늠하기 어려울 경우, 다양한 크기의 Grid별로 분석하고 그 결과를 비교할 수 있다. 평가하고자 하는 수역이 주변 해역에 미치는 영향이 적고 넓은 면적인 경우 Grid 간격을 넓게 설정하고, 평가 수역이 좁고 복잡할 경우 Grid 간격을 좁게 설정한다. 평가는 Grid-cell별로 하나의 cell에 대한 점유율 즉, 밀집도 개념으로 분석한다. 해상교통밀집도는 시간적 평가와 공간적 평가로 나눌 수 있다.

3.2.1 시간적 해상교통밀집도 평가

A라는 선박이 단위 Grid-cell을 지날 때, 얼마나 오랜 시간을 점유했는지를 평가하는 것이 해상교통밀집도의 시간적 평가방법이다. 이에 대한 개념은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$TTD = \frac{\sum TP \times l^2}{86400s \times day \times L^2} \tag{2}$$

여기서, TTD (Temporal Traffic Density) : 시간적 해상교통 밀집도
TP (Tracking Point) : 하나의 Grid-cell에 수집된 A 선박의 Tracking Point 합
l : A 선박의 길이
L : 표준 선박의 길이
day : 데이터 수집 기간(일)

식(2)와 같이 시간적 평가에서는 A 선박이 해당 Grid-cell을 지날 때 단위 시간 동안 몇 번의 항적점(tracking point)을 기록했는지가 밀집도 평가 기준이 된다. 예를 들어, 속도가 다른 두 척의 선박이 동일한 항로를 지나갔을 때, 속도가 낮은 선박이 해당 공간을 더 오랜 시간 점유했기 때문에 시간적 밀집도는 더 높게 평가된다.

3.2.2 공간적 해상교통밀집도 평가

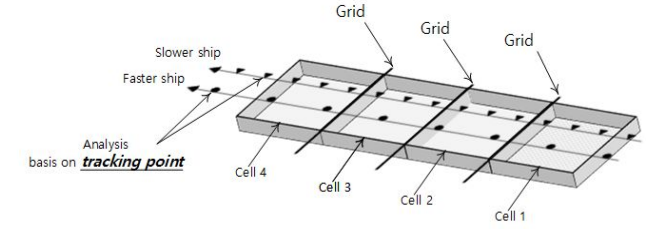
해상교통밀집도의 공간적 평가는 시간에 관계없이 해당 공간을 점유한 항적선(tracking line)의 수에 따라 평가한다. 이는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$STD = \frac{\sum TL \times l^2}{86400s \times day \times L^2} \tag{3}$$

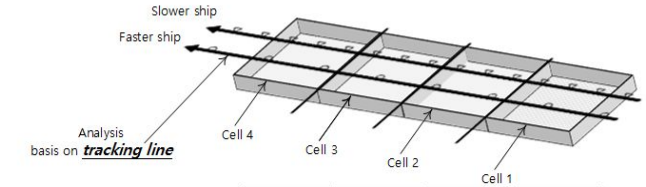
여기서, STD (Spatial Traffic Density) : 공간적 해상교통밀집도
TL (Tracking Line) : 하나의 Grid-cell에 수집된 A 선박의 Tracking Line 합
l : A 선박의 길이
L : 표준 선박의 길이
day : 데이터 수집 기간(일)

속도가 다른 두 척의 선박이 동일한 항로를 지나갔을 때, 각각 해당 공간을 차지한 시간이 다르다 하더라도 똑같이 하나의 항적선이 점유했기 때문에 두 선박의 공간적 밀집도는 동일하다.

Fig. 7은 각 cell을 시간적 밀집도와 공간적 밀집도의 개념을 적용하여 분석한 결과를 비교한 것이다. 해양 공간을 cell 1부터 4까지 네 개로 구분하고 속도가 빠른 선박과 속도가 느린 선박이 해상을 이동했을 때에 cell 단위로 각각의 밀집도를 평가하였다.



		Cell 4	Cell 3	Cell 2	Cell 1
Temporal density	Slower ship	3	3	3	3
	Faster ship	2	1	2	1



		Cell 4	Cell 3	Cell 2	Cell 1
Spatial density	Slower ship	1	1	1	1
	Faster ship	1	1	1	1

Fig. 7. Comparison of temporal and spatial traffic density.

Fig. 7에서처럼 밀집도의 시간적 평가에 의하면 속도가 느린 선박이 단위 cell을 오래도록 점유하고 있었기 때문에 속도가 빠른 선박보다 크다고 분석된다. 하지만 공간적 평가에 의하면 단위 cell을 동일한 항적선만큼 점유했기 때문에 속도에 관계없이 밀집도는 동일하다.

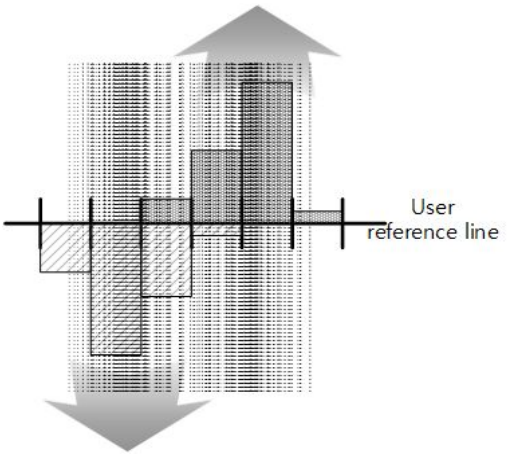
이처럼 밀집도를 두 가지 방식으로 나누어야 하는 이유는 해양 공간을 바닷길로 사용하여 빠르게 지나가는 경우도 있지만, 어로, 시추, 레저 등 공간에 오래 머물면서 사용하는 경우도 있기 때문이다. 분석하고자 하는 해상의 용도에 따라 시간적 점유율과 공간적 점유율로 구분하여 분석할 필요가 있다.

3.3 해상교통 경로 평가

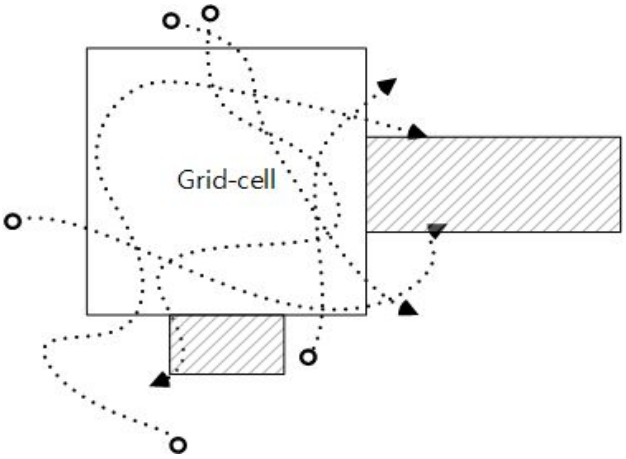
우리가 해상풍력발전단지에서 분석하고자 하는 해상에서의 면적은 앞서 설명한 바와 같이 바닷길로 이용될 수도 있고 풍력발전단지처럼 해양 공간 자체로 이용될 수도 있다. 하지만 해당 해역을 항로나 작업 장소로 이용하기 위해서는 외부에서 선박이 접근하고 벗어나야 한다. 선박의 해상교통 경로 평가는 분석하고자 하는 해상에서 선박이 어떤 진로로 진입하고 나가는지를 평가하기 위한 방법이다.

해상 공간이 항로로 이용될 경우에는 일반적인 통항패턴이 있다. 하지만 항로가 아닌 작업 장소로 이용되는 경우에도 주변에서부터 선박이 접근하고 벗어나는 패턴을 분석할 수 있어야 해상풍력발전단지와 같은 해양 공간을 개발하는데 주변 이동 환경도 고려할 수 있다.

Fig. 8은 선박의 해상교통 경로 평가를 위한 개념이다.



(a) Traffic pattern analysis of ship's route



(b) Traffic pattern analysis of ship's incoming and outgoing a cell

Fig. 8. Concept of traffic pattern analysis.

Fig. 8의 (a)는 선박이 통항 패턴이 특정할 때의 경로 평가 방법이다. 이 경우, 선박은 주로 반대되는 두 방향으로 이동하며, 항내 입구, 통항분리구역(TSS, Traffic separation scheme)과 같은 곳이 이에 해당한다. 먼저 항적도 평가를 하고 그 결과가 (a)와 같이 두 방향으로의 통항 패턴이 두드러지면 사용자 참조선(user reference line)을 설정하고 참조선을 일정한 간격으로 등분한다. 그리고 각각의 구간에서 통항한 선박의 방향과 빈도를 히스토그램으로 표시한다. (b)는 선박이 grid-cell에서 접근하고 벗어날 경우 동서남북 네 개의 방위를

기준으로 선박의 출입 패턴을 분석하는 방법이다. 이를 통해 해상 공간을 이용할 때 선박이 어느 방향에서 접근하고 벗어나는지 평가할 수 있다.

3.4 개선된 해상교통평가 방법의 특징

이처럼 개선된 평가방법은 해상교통데이터 항적도, 밀집도, 경로 분석의 세 가지 방법이다. 이전의 분석 방법과 이 논문에서 제안된 분석 방법에는 Table 3과 같은 차이점이 있다.

Table 3. Comparison of pre-revision and post-revision assessment

Item		Pre-revision	Post-revision (using MaTSAS)
Data for assessment	Spatial	line	point , line , polygon
	Attribute	Managing manually	Managing automatically
	Topology	Not available	Available
Assessment concept		- Line concept	- Line concept - Area concept
Assessment method		- Historical track - Traffic pattern analysis of ship's route	- Historical track - Temporal/spatial traffic density - Traffic pattern analysis of ship's route and incoming/outgoing a cell
Characteristic		- Assessment for concept of line - Not available for MSP (Marine Spatial Plan)	- Assessment for concept of line and area - Available for MSP (Marine Spatial Plan) - Use grid-cell

기존의 선박 통항 분석에서 사용되는 평가 데이터는 수동으로 관리되었고 선박의 항적만을 나타내어 선의 개념으로만 평가되었다. 또한 향후 해양 공간 계획을 위한 위상 정보는 이용할 수 없는 형태였다. 하지만 개선된 해상교통데이터 수집장치와 평가 방법을 활용하면 선의 개념이 적용된 항적도 평가에 추가하여 선박의 항적점과 항적선의 점유율을 모두 고려한 면적 개념의 평가도 가능하다. 또한 데이터의 수집·관리·제어가 시스템적으로 수행되며, 데이터의 공간, 속성, 위상정보를 모두 기록하여 향후 해양 공간 계획을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다. 기존에는 사용자가 별도의 분석툴을 적용하여 선박 항행로에 대한 통항 패턴만을 분석하였으나, 개선된 시스템에서는 해상교통데이터의 항적도, 밀집도, 경로 분석의 세 가지 방법으로 다양하게 평가된다. 특히 밀집도는 시간적 점유율과 공간적 점유율을 각각 계산하고 해상교통 경로 평가 역시 선박 항행로에 대한 통항 패턴에 추가하여 해양 공간 이용을 위한 선박의 접근과 벗어나는 경향까지 분석할 수 있다. 중요한 것은 항적도, 밀집도, 경로 평가가 개별적으로만 수행되는 것이 아니라 항적도 분석 결과에 따라 선박의 해상교통 경로 분석의 방향을 결정하거나, 항적도와 밀집도를 비교하거나, 밀집도와 해상교통 경로의 다중 평가를 이용하는 등 개별 평가를 단독으로 또는 유기적으로 모두 활용할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이다.

4. 해상교통안전평가시스템 설계

2장에서는 해상교통데이터 수집장치를 설계하였고 3장에서는 수집된 데이터의 분석을 위해 세 가지의 개선된 평가방법을 제안하였다. 4장에서는 이를 적용한 해상교통안전평가시스템을 설계한다. 이 시스템은 해상 공간의 목적과 규모에 맞게 해상교통데이터를 분석하고 평가하는 시스템으로서, 해상교통안전평가솔루션, MaTSAS라고 지칭한다. 수집된 해상교통정보는 웹클라우드를 이용하여 관리할 것이며 개발 도구로는 Java developer's kit를 사용할 예정이다.

Fig. 9는 MaTSAS의 개념이다. 그림에서 보면 이 시스템은 크게 데이터를 수집하는 Mobile Station, 수집된 데이터와 분석 결과를 저장하는 데이터베이스, 분석자가 수집된 정보에 접근하고 분석하는 장소인 Office 세 곳으로 구분된다. Mobile Station은 AIS와 레이더를 이용한 해상교통데이터 수집장치로 이동식 차량에 이동식 발전기와 같이 탑재하여 운용될 수 있다. 수집된 데이터는 무선랜을 통하여 웹데이터베이스에 저장된다. 이동식 해상교통데이터 수집장치와 별개로 여러 개소에 있는 다수의 솔루션 사용자는 네트워크를 통해 웹데이터베이스에 접근하여 개별적인 교통정보 이용과 평가가 가능하다. 데이터의 처리는 먼저 AIS와 레이더를 이용한 해상교통데이터 수집장치가 현장 관측을 실시하면 이를 처리하여 웹데이터베이스에 저장한다. 또한 GICOMS 데이터 역시 사용자에 의해 웹에 저장된다. MaTSAS 소프트웨어를 이용하여 웹 서버에 사용자가 접속하면 AIS와 레이더를 이용한 해상교통데이터 수집장치의 상태와 상황을 확인할 수 있고, 저장한 해상교통정보를 선박 종류나 기간 등의 조건을 넣어 검색할 수 있다. 검색을 통해 분석하고자 하는 해상 교통량을 미리 파악하고 이에 따라 적절한 분석 대상과 방법을 선택하여 해상교통데이터의 항적도, 밀집도, 경로 평가를 실시한다. 이 솔루션은 동일한 해상교통 데이터를 다수의 사용자가 동시에 사용하거나 분석 결과를 공유할

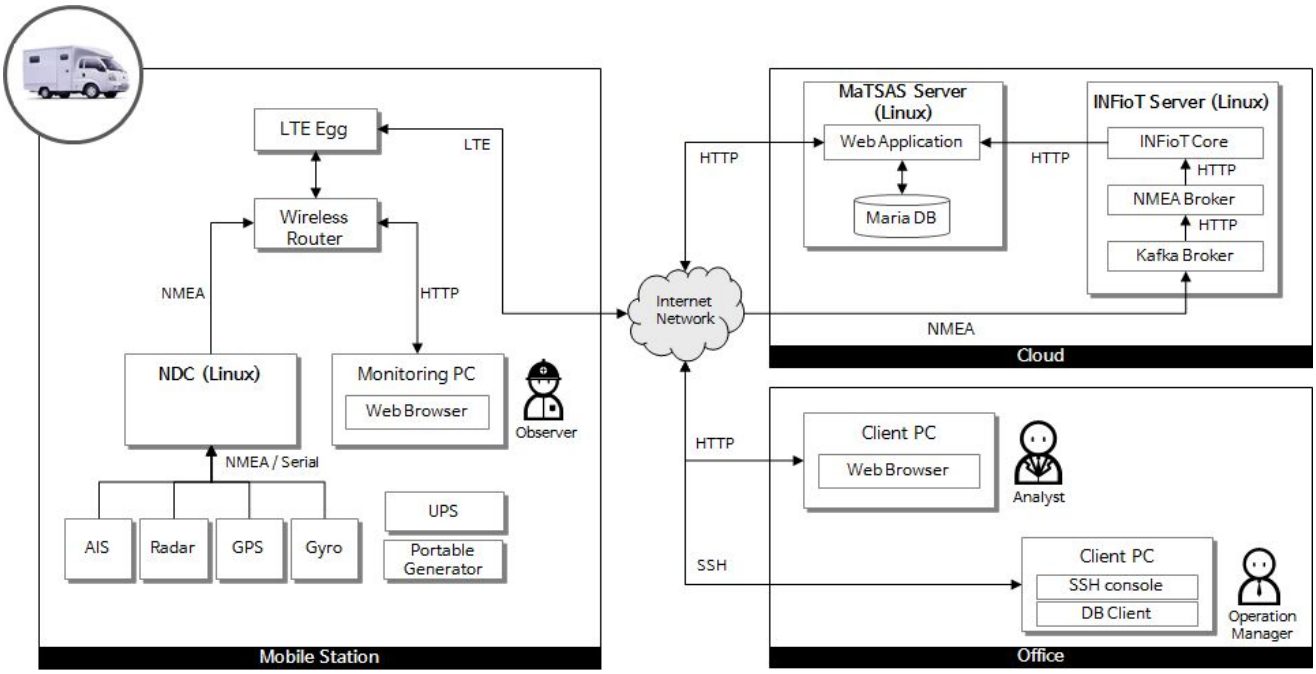


Fig. 9. Configuration of MaTSAS.

수 있도록 설계하였고 보안 및 신뢰성 유지를 위해 데이터와 사용자에 대해 별도 관리할 수 있는 기능도 추가할 예정이다. 또한 분석된 결과는 선박에서 사용하는 S-57 포맷의 해도, 구글맵 등의 오픈 해도를 기준으로 표현하는 것이 가능하다.

5. 결 론

최근 대규모 풍력발전단지의 개발이 현실적이고 체계적으로 진행되면서 해상교통안전진단에 따른 해상공간의 적정성 평가가 필요하다. 하지만 기존의 해상교통안전진단 평가는 주로 선박의 이동 방향과 패턴에 대해서만 고려하고 해양 공간을 계획하고 개발하는 데 필요한 면적 개념의 평가 방법은 적용되지 않았다.

이 연구에서는 사람이 현장에 상주하지 않아도 해상교통데이터를 수집·기록할 수 있는 휴대식 장치를 개발하고 선과 면적 개념을 모두 적용한 개선된 평가 방법을 제안하였다. 수집된 해상교통데이터와 GICOMS 데이터를 웹데이터베이스에 저장하고 자동적이고 시스템적인 데이터 필터링를 통해 목적에 맞는 데이터만 누락 없이 선택하여 분석할 수 있으며 해상교통데이터의 항적도, 밀집도, 경로 평가를 수행할 수 있는 MaTSAS의 개념설계를 수행하였다. 이 시스템의 설계 결과는 다음과 같다.

(1) 해상교통데이터 수집장치를 원격으로 통제할 수 있어 사람이 현장에 상주하지 않아도 데이터의 수집·제어·저장이 가능하다.

(2) 웹클라우드 환경에서 데이터를 저장하여 다수의 이용자가 기한에 구애받지 않고 지속적으로 이용할 수 있다.

(3) 데이터의 시스템적인 필터링으로 분석에 사용될 데이터의 누락, 오표기와 같은 인적 오류의 개입을 최소화한다.

(4) 해양 공간의 면적 개념의 평가가 가능하도록 Grid-cell 단위의 분석 개념을 제안하여 해양 공간 계획· 활용· 개발에 이용한다.

(5) 기존의 항적도 평가를 해상교통 항적도, 밀집도, 경로평가의 세 가지 방법으로 제안하였다. 해상교통밀집도는 시간적, 공간적 평가를 구분하였고, 경로 평가는 사용자 참조선을 설정하여 항로 또는 작업 공간으로 이용되는 각각의 상황에 대한 이동 패턴을 분석할 수 있다.

(6) MaTSAS의 설계는 해상교통조사와 평가에 대한 모든 과정을 자동적이고 시스템적으로 처리할 수 있다.

(7) MaTSAS는 향후 해상풍력발전단지를 포함한 미래 해양공간 개발의 평가와 활용을 위한 기초 자료로 이용될 수 있다.

향후 MaTSAS를 구현하여 실질적인 해상교통데이터 수집·분석을 통해 제안한 평가방법의 타당성을 검증하고 보다 안정적인 시스템으로 보완할 실증 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20183010025270)

References

[1] Bole, A., B. Dineley and A. Wall(2005), Radar and ARPA Manual, 2nd Edition, Elsevier's Science & Technology, pp. 192-193.

[2] Ishida, M.(2017), Japan's First Commercial Operation of Floating Body Type Offshore Wind Power Generation_In Goto City, Nagasaki Prefecture, We Aim to Live in Harmony with the Fishing Industry, Utilization of Natural Energy Report, No. 10, p. 1.

[3] ITU-R(2014), Radiocommunication Sector of International Telecommunication Union, ITU-R M.1371-5, Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band, p. 114.

[4] Jung, C. H., Y. S. Park, D. G. Yoon and M. S. Choi(2016), A Study on the Development of an Early Detection System for Altering Course of a Target Ship, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 22, No. 6, p. 626.

[5] Kim, S. W., Y. S. Lee, J. G. Kim, J. K. Kim, Y. J. Ahn, D. H. Kim and M. R. Cho(2015), Marine Traffic Safety and Ship's Navigation Safety Assessment according to East Sea 2 Gas Platform Project, pp. 53-54.

[6] NLIC(2017), National Law Information Center, Enforcement Regulation on the Maritime Safety Audit Scheme, http://www.law.go.kr/admRulSc.do?tabMenuId=tab107&query=%ED%95%B4%EC%83%81%EA%B5%90%ED%86%B5#AJAX. (25th Oct. 2018).

[7] NLIC(2018), National Law Information Center, Enforcement Decree of the Maritime Safety Act, http://www.law.go.kr/lsSc.do?tabMenuId=tab18&query=%ED%95%B4%EC%82%AC%EC%95%88%EC%A0%84%EB%B2%95#AJAX. (25th Oct. 2018).

[8] Owano, N.(2018), Three Months Show Hywind Scotland Floating Wind Farm Exceeding Expectations, p. 1.

[9] UKHO(2017), United Kingdom Hydrographic Organization (2017/18), NP285: Admiralty List of Radio Signals: Global Maritime Distress and Safety System, p. 112.

Received : 2018. 10. 29.
Revised : 2018. 11. 11. (1st)
: 2018. 12. 03. (2nd)
Accepted : 2018. 12. 28.