

자율운항선박 도입을 위한 수치해도 데이터 활용 해상교통분석 개선방안

황태웅* · 황태민** · 윤익현****

* 목포해양대학교 해상운송시스템학부 박사과정, ** 목포해양대학교 해상운송시스템학부 석사과정,

*** 목포해양대학교 항해정보시스템학부 교수

A Study on Improvement of Maritime Traffic Analysis Using Shape Format Data for Maritime Autonomous Surface Ships

Taewoong Hwang* · Taemin Hwang** · Ik-Hyun Youn****

* Graduate Student, Department of Maritime Transportation System Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

** Graduate Student, Department of Maritime Transportation System Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

*** Professor, Division of Navigation & Information Systems, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요약 : 해상교통분석은 복잡해지는 해양환경에 따라 발생하는 문제해결을 위해 다방면으로 시행되고 있다. 하지만 4차 산업혁명으로부터 도래된 자율운항선박 개발 등의 해사분야 동향은 해상교통분석에도 변화가 필요함을 암시한다. 이에 해상교통분석의 개선점을 식별하고자 관련 연구를 분석하였으며, AIS데이터의 활용도가 높은 반면에 해도정보의 활용은 그 중요도에 비해 부족한 것으로 조사되었다. 이에 본 연구는 자율운항선박의 상용화에 대비한 해상교통분석의 개선점으로서 수치해도 데이터와 선박운항데이터인 AIS데이터를 복합적으로 활용하는 방법을 제시하였다. 연구결과로써 해상교통분석에 수치해도데이터를 활용하였을 때 추출 가능한 해상교통특성을 제시하였으며 이는 향후 자율운항선박의 도입을 위한 해상교통분석에 활용가능할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 해상교통분석, AIS 데이터, 수치해도 데이터, 자율운항선박, 해상교통특성

Abstract : The maritime traffic analysis has been conducted in various ways to solve problems arising from the complex marine environment. However, recent trends in the maritime industry, such as the development of the maritime autonomous surface ships (MASS), suggest that maritime traffic analysis needs change. Accordingly, based on the studies conducted over the past decade for improvements, automatic identification system (AIS) data is mainly used for maritime traffic analysis. Moreover, the use of geographic information that directly affects ship operation is relatively insufficient. Therefore, this study presented a method of using a combination of shape format data and AIS data to enhance maritime traffic analysis in preparation for the commercialization of autonomous ships. Consequently, extractable marine traffic characteristics were presented when shape format data were used for marine traffic analysis. This is expected to be used for marine traffic analysis for the introduction of autonomous ships in the future.

Key Words : Maritime traffic analysis, AIS data, Shape format data, Maritime Autonomous Surface Ships, Maritime traffic feature

1. 서론

오늘날 해상교통량은 해상운송, 어로활동 등의 인간의 활동영역 확장에 맞추어 지속적 증가해왔다(Kim et al., 2020). 해상교통량의 증가는 해양사고 뿐만 아니라 환경오염, 해상교통관리에 영향을 미쳐왔다(Oh and Kim, 2020).

해상교통분석은 이러한 해상교통량의 증가로 인한 문제

를 파악하고 개선안을 제시하기 위해 그 목적에 따라 다양한 관점에서 활용되어 왔다. 하지만 4차 산업혁명으로부터 도래된 Shipping 4.0과 같은 해사분야의 동향은 해상교통분석 연구 분야 또한 변화가 필요함을 암시한다. 특히 지금까지 없었던 새로운 선박 형태인 자율운항선박은 해상교통분석의 개선필요성을 시사한다. 자율운항선박은 기존의 유인운항선박과 비교했을 때 운항주체가 다르기 때문에 해상교통분석의 관점 변화가 요구되며, 이러한 관점 변화는 현재 특정 해역을 대상으로 하는 국지적인 해상교통분석에서 자율운항선박의 운항해역을 포괄하는 광범위한 분석으로의 변

* First Author : hwangtw6539@gmail.com, 061-240-7283

† Corresponding Author : iyoun@mmu.ac.kr, 061-240-7283

화를 의미한다.

이에 현행 해상교통분석의 개선점을 식별하고자 지난 10년간 해상교통분석에 관련하여 수행된 연구를 조사 하였다. 구글 학술검색엔진을 활용하였으며 ‘Traffic analysis’와 ‘Waterway analysis’의 키워드를 중심으로 조사한 결과 60여건의 관련 연구가 식별되었다. Table 1은 조사된 해상교통분석관련 연구를 그 목적에 따라 정리한 것으로 ‘선박의 충돌방지’, ‘해상교통류 파악’, ‘해상교통관리’, ‘이상운항선박 추출’ 등의 다양한 목적으로 시행되었음을 알 수 있다.

활용된 데이터는 Fig. 1에서 볼 수 있듯, 빈도 순서대로 선박의 ‘Automatic Identification System(AIS) 데이터’, ‘통계 데이터’, ‘관측 데이터’, ‘GIS 데이터’ 등이 사용되었다. AIS데이터는 실시간으로 300G/T 이상의 선박의 AIS에서 송신되는 동적정보(Dynamic information), 정적정보(Static information), 항차관련정보(Voyage related information)의 수집이 가능하기 때문에 그 활용 빈도가 높다(Robards et al., 2016). 반면에 GIS 데이터는 선박의 운항에서 전반적으로 활용되는 요소임에도 불구하고 그 활용도가 가장 낮음을 알 수 있다. 선박의 운항에서 해도 정보는 항해계획부터 피항, 입출항을 포함하며 전반적으로 활용 된다(Gasper and Leitão, 2018). 선박 운항자는 해도정보를 바탕으로 피항 구역, 안전 구역 등을 결정하므로 선박의 해상교통평가에 필수 고려 요소라고 할 수 있다(Acomi, 2020).

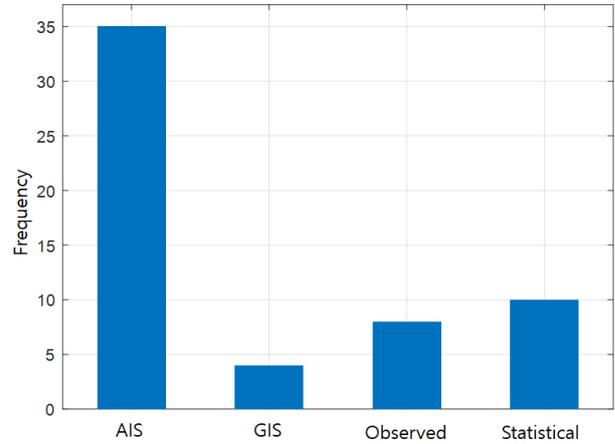


Fig. 1. Frequency of data type.

기존의 자율운항선박 관련 연구에서 해도정보를 자율운항선박 알고리즘에 적용한 사례도 있었듯(Reed and Schmidt, 2016), 해당해역의 해도정보를 해상교통분석에 추가로 활용하면 얻을 수 있는 분석 결과는 더욱 다각화 될 것이다.

해상교통분석에 활용 기대가 높은 해도데이터로는 수치지도 데이터가 있다. 기존의 GIS데이터를 활용한 연구사례는 육지정보만을 활용 하였기에 실제 선박의 항해에 영향을 미치는 수심, 항로표지, 인공구조물 등의 영향이 고려되지 않았지만, 수치지도는 해도정보를 수치화한 데이터세트이기 때문에 해도 정보를 직접적으로 분석에 활용 가능한 장점이 있다.

Table 1. Literature search results

Purpose	Number of cases	Reference
Ship collision avoidance	14	"Du et al., 2020", "Kim et al., 2011a", "Hänninen, 2014", "Baldauf et al., 2011", "Álvarez et al., 2021", "Teixeira et al., 2018", "Zhen et al., 2017", "Lei, 2020", "Xiao et al., 2012", "Jeong et al., 2012", "Zhang et al., 2020", "Probha and Hoque, 2018", "Mehta et al., 2016", "Kim et al., 2011b"
Ship traffic flow analysis	10	"Xin et al., 2019", "Tafá et al., 2019", "Altan and Otay, 2017", "Xiao et al., 2019", "Zhou et al., 2019", "Kontopoulos et al., 2021", "Kim et al., 2012", "Kim et al., 2017", "Mazaheri et al., 2015", "Sang et al., 2015"
Ship traffic management	8	"Bodunov et al., 2018", "Yang et al., 2014", "Mansson et al., 2017", "Aps et al., 2017", "Xiao et al., 2017", "Serry, 2016", "Wei et al., 2013", "Li et al., 2013"
Ship traffic monitoring	6	"Jiacai et al., 2012", "Arguedas et al., 2017", "Praetorius and Hollnagel, 2014", "Perera et al., 2012", "Vaněk et al., 2013", "Praetorius, 2014"
Anomaly detection	5	"Vespe et al., 2012", "Venskus et al., 2019", "Abreu et al., 2021a", "Abreu et al., 2021b", "Zissis et al., 2020"
Navigation decision support	5	"Jiacai et al., 2012", "Xue et al., 2019", "Ray et al., 2013", "Kim et al., 2013", "Mladineo et al., 2017"
Ship route analysis	4	"Lei et al., 2016", "Coscia et al., 2018", "Arguedas et al., 2014", "Lu et al., 2020"
Marine biology	2	"Campana et al., 2015", "Campana et al., 2017"
Marine environment	2	"Hofbauer and Putz, 2020", "Feng et al., 2012"
Environment effect	1	"Magnier et al., 2020"

이에 본 연구는 자율운항선박의 상용화에 대비한 해상교통분석의 개선방안으로서 수치해도 데이터와 선박운항데이터인 AIS데이터의 복합적인 활용방법을 제시하고자 한다. 본 연구의 분석과정은 데이터의 수집과 데이터의 전처리, 해상교통특징추출로 구성된다. 데이터의 수집은 해역의 선정과 수집된 데이터의 상세를 포함하며, 데이터의 전처리는 AIS와 수치해도 데이터의 데이터 변환과 데이터 정제과정을 설명한다. 마지막으로 해상교통특징의 추출에서는 AIS와 수치해도 데이터를 통합했을 때 기대되는 해상교통특징의 분석결과와 활용방안을 제시한다.

2. 해도 정보를 활용한 해상교통 특성의 추출

수치해도 데이터를 활용한 해상교통 특성의 추출방법은 Fig. 2와 같은 순서를 따른다. 데이터 수집 단계에서는 대상해역을 선정하고 AIS와 수치해도 데이터를 수집하는 과정을 기술하였다. 전처리 단계에서는 수집된 AIS와 수치해도 데이터를 특성에 따라 형식 변환하는 과정과 정제하는 과정을 기술하였으며, 마지막으로 해상교통특성 추출 단계에서는 전처리된 AIS와 수치해도 데이터를 활용하여 몇 가지 해상교통특성을 추출하는 과정을 기술하였다.

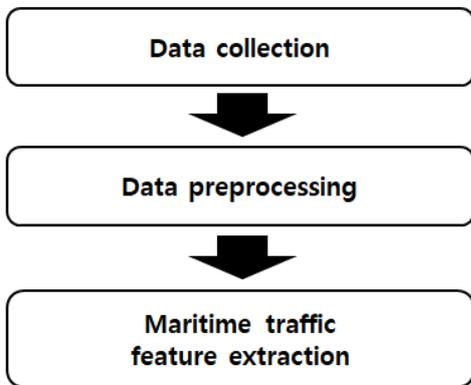


Fig. 2. Workflow of method.

2.1 데이터 수집

본 연구에 활용된 데이터는 AIS데이터와 수치해도 데이터이다. 데이터의 수집 해역의 선정은 해상교통분석이 필요한 구간을 우선적으로 파악하였고, 그 중 Fig. 3와 같이 거제도 동쪽의 저도와 중죽도 사이 교량 구간으로 선정하였다. 해당 구간은 도선사 승선 해역과 인접해 있고 어로활동, 교차항행을 포함한 복잡한 해양환경이 존재하는 구간으로, ‘선박 충돌방지’, ‘해상 교통류 파악’ 등의 목적에 적합할 것으로 판단되어 대상해역으로 선정하였다.



Fig. 3. Selected area for data collection.

활용된 AIS데이터는 2019년 9월 1일부터 9월 10일까지 10일 간 수집된 데이터이며, 수치해도 데이터는 해당구간의 접근도인 해도번호 ‘KR4G3A40’를 활용하였다. 수치해도 데이터는 해당 해역의 수심, 육지, 등부표 등의 다양한 객체를 포함하며, 이 중 선택된 해역의 객체 데이터만 추출하여 데이터 분석에 활용하였다. AIS데이터와 수치해도데이터의 상세는 Table 2와 같다.

Table 2. Collected data and description

Data	Variables	Description
AIS data	Timestamp	Date and Time (in UTC)
	MMSI	MMSI number of the vessel
	Latitude	Geographical latitude (WGS84)
	Longitude	Geographical longitude (WGS84)
	COG	Course over ground (degrees)
	SOG	Speed over ground (knots)
Shape format data	Heading	Heading (degrees) of the vessel's hull
	'COALNE'	Coast line
	'CTNARE'	Caution area
	'CTRPNT'	Control point
	'DEPARE'	Depth area
	'DEPCNT'	Depth contour
	'LIGHTS'	Light
	'LNDARE'	Land area
	'LNDELV'	Land elevation
	'LNDRGN'	Land region
	'MAGVAR'	Magnetic variation
'M_COVR'	Coverage	
'M_NPUB'	Nautical publication information	
'M_NSYS'	Navigational system of marks	
'M_QUAL'	Quality of data	

'OBSTRN'	Obstruction
'PILPNT'	Pile
'PONTON'	Pontoon
'RDOCAL'	Radio calling-in point
'RESARE'	Restricted area
'SBDARE'	Seabed area
'SLCONS'	Shoreline construction
'SOUNDG'	Sounding
'TESARE'	Territorial sea area
'TOPMAR'	Topmark
'TSELNE'	Traffic separation line
'TSSBND'	Traffic separation scheme boundary
'TSSLPT'	Traffic separation scheme lane part
'TUNNEL'	Tunnel
'TWRTPPT'	Two-way route part
'UWTROC'	Underwater/awash rock

Table 3. Extracted shape format data objects

Data	Variables	Description
Shape format data	'COALNE'	Coast line
	'CTNARE'	Caution area
	'DEPARE'	Depth area
	'DEPCNT'	Depth contour
	'LIGHTS'	Light
	'LNDARE'	Land area
	'OBSTRN'	Obstruction
	'PILPNT'	Pile
	'PONTON'	Pontoon
	'RESARE'	Restricted area
	'SBDARE'	Seabed area
	'SLCONS'	Shoreline construction
	'SOUNDG'	Sounding
'TESARE'	Territorial sea area	
'UWTROC'	Underwater/awash rock	

2.2 데이터 전처리

수집된 AIS데이터는 시계열 테이블로써 수신되는 시간 순으로 다양한 선박의 AIS 정보가 혼재하므로 선박을 구분하여 분석하기 위해 테이블을 셀 형 배열로 변환 하였다. 셀 형 배열로 구분된 AIS 데이터의 Time-stamp는 선박의 항해 상태에 따라 그 간격이 상이하기에 1분 간격으로 정규화 하였다. 이 과정에서 경도와 위도, 침로, 그리고 대지속력을 선형 보간 하였다(Hwang and Youn, 2021). Fig. 4는 Time stamp 정규화를 통한 선형 보간의 예시를 보여준다. Fig. 4(a)는 Raw data의 선박 위치를 활용한 항적이며 그 간격이 일정하지 않은 반면에, Fig. 4(b)는 Time-stamp가 정규화 되어 일정한 간격으로 위치가 보간 되었음을 알 수 있다. 또한 보간 된 선박의 위치가 기존의 항적과 다르지 않고 시간 간격만 일정하게 바뀐 점을 알 수 있다.

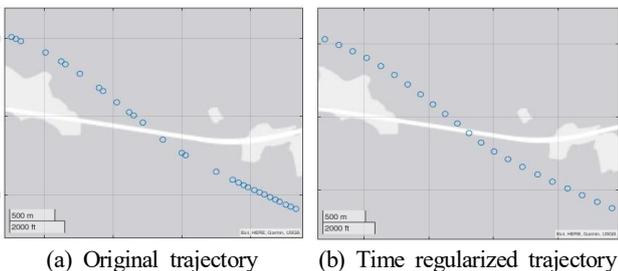


Fig. 4. Sample of time stamp regularization.

수치지도 데이터는 물리적인 위험이 있는 객체를 선별하고 각 객체별 셀형 배열로 변환하였다. Table 3는 추출된 수치지도 데이터의 객체와 그 상세이다.

2.3 해상교통특성의 추출

기존 AIS데이터만 활용한 경우 추출 가능한 해상교통 특성은 선박 통항 분포, 선박 통항 경로대, 그리고 선박 통항 밀도 등의 선박 고유의 해상교통특성이 추출이 가능하다. 반면에 수치지도 데이터와 AIS데이터 복합적으로 활용하면 AIS데이터만을 활용하였을 때보다 실제 해상교통 환경을 고려한 해상교통특성이 추출 가능하기 때문에 다각적인 해상교통의 분석이 가능하다. 수치지도 데이터를 활용하였을 때 도출되는 특성의 예시 중, 해당 해역의 AIS data의 분포와 수치지도 객체를 검토 하여 추출한 3가지의 교통 특성은 다음과 같다.

1) 등심선과 통항 선박과의 거리 분포

등심선은 다수의 점이 연결된 다각형의 형태를 가진다. 따라서 통항선박의 등심선으로부터 거리는 선박의 항적 행렬과 등심선의 위치 행렬간의 거리계산을 필요로 하며, 이는 수치지도 데이터를 활용하였을 때 얻을 수 있는 가장 큰 장점이라고 할 수 있다. 설정된 범위가 0.5해리의 가까운 거리이기 때문에 각 점간의 쌍별 거리 계산은 유클리드 거리를 활용하였다. 이 해상교통특성의 추출과정은 Fig. 5와 같은 순서를 거쳐 추출 되었다. 먼저 셀형 배열로 변환 되어있는 대상 등심선의 위치행렬을 선택하고, 다음으로 위치행렬에서부터 0.5이내의 선박을 추출하였다. 위치등심선은 Fig. 5의 초록선 으로 표시된 섬 주변 2미터 등심선으로 설정 되었으며, 추출 된 선박 항적은 파란점으로 표시 되었다.

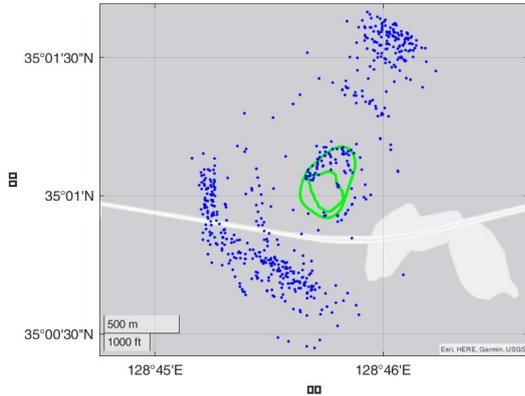


Fig. 5. Ship's trajectories within distance 0.5 NM.

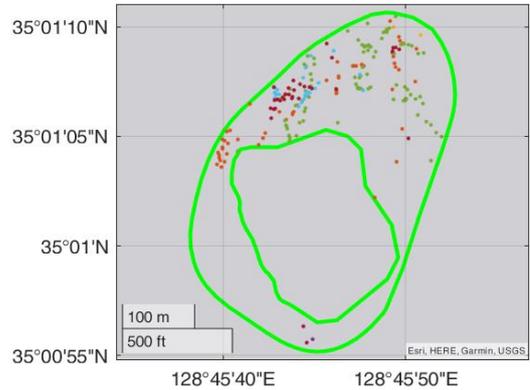


Fig. 7. Ship trajectories in contour area

해당 등심선을 기준으로 선박의 통향이 나뉘어 선박으로부터 섬을 정형으로 변칙하려는 경향과 선박들의 통향분포 경향을 그룹화 하여 해석할 수 있다. 예시의 경우만 보아도 섬의 서남쪽선박 그룹, 섬 부근의 선박 그룹, 섬의 동북쪽 통향선의 분포를 나누어 분석하거나, 이격 거리의 분포를 도출할 수 있다. Fig. 6의 선박 항적의 이격거리분포는 최빈값 0.38마일, 평균값 0.37마일로 나타나 등심선 주변을 항해하는 선박들이 주로 확보하는 이격 거리를 알 수 있다.

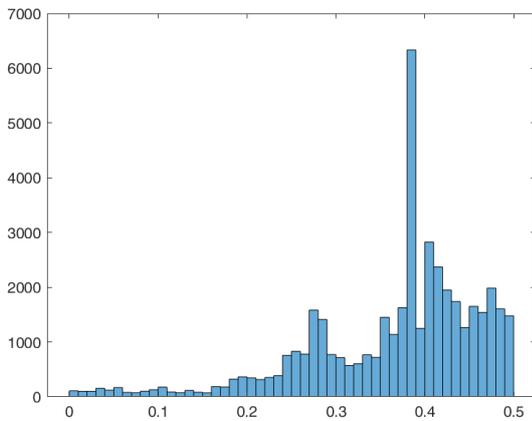


Fig. 6. Ship distance distribution from contour line.

3) 교량 통과 선박의 분포

해당 구역의 두 섬 사이 교량 하부를 통과하는 선박의 통향 분포 또한 추출 하였다. 일반적으로 교각과의 충돌확률을 추산하기 위한 목적으로 수행되는 해상교통특성이지만 수치해도 데이터를 활용했을 때는 육지와와의 거리, 교각과의 거리와 같은 주변 장애물을 다양하게 고려하여 그 분포를 확인할 수 있는 장점이 있다. 추출된 특징은 Fig. 8과 같이 교량을 통과한 선박들의 분포를 서쪽에 위치한 섬을 기준으로 도출한 거리 분포이다.

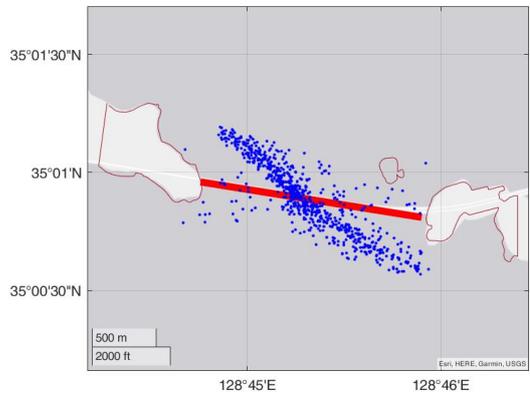


Fig. 8. Ship's trajectory passing under the bridge.

2) 등심선내부 선박통향 특성

등심선 바깥으로 항해한 선박들의 이격 거리뿐만 아니라 등심선 안쪽으로 항해했던 선박에 대한 분석 또한 수치해도의 등심선 데이터를 통해 분석이 가능하다. 등심선 데이터를 연결한 다각형 내부의 AIS데이터를 추출하였으며 이를 선박별 항적으로 변환시킨 결과 그 항적은 불규칙함을 Fig. 7과 같이 불규칙함을 알 수 있다. 해당 선박들의 MMSI 식별 번호를 AIS 정적정보를 활용하여 선종을 확인할 수 있으며 등심선 안쪽으로 진입한 선박은 총 6척의 선박이고 5척은 어선, 1척은 플레저 보트로 확인 되었다.

빨간색으로 표시된 게이트라인을 통과한 선박들의 거리 분포를 Fig. 9와 같이 나타내었다. 그 분포는 정규분포의 종 형태를 가지며 노란색 그래프로 표시된 부분은 평균 ± 1 표준편차 구간을 나타내며 보라색은 ± 2 표준편차 구간 녹색은 ± 3 표준편차 구간의 선박 분포를 나타낸다. ± 3 표준편차 규칙에 따라 68%의 선박은 두 섬 사이의 중앙을 따라 0.3에서 0.6해리 거리를 두고 통과를 한다고 볼 수 있고 95%의 선박은 약 0.2에서 0.7마일 거리를 두고 통과함을 알 수 있다. 마지막으로 그 외의 5% 미만의 선박은 섬으로부터 0.2해리 이내의 거리를 두고 통과함을 알 수 있다.

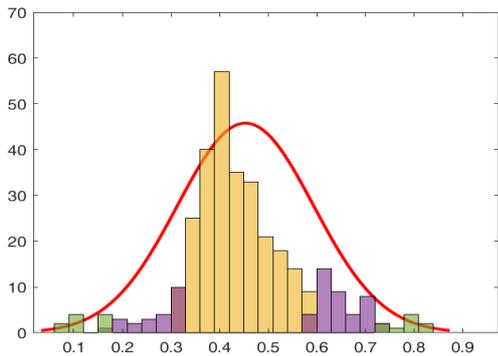


Fig. 9. Ship's distance distribution from west island.

위와 같이 교량을 통과한 선박의 섬으로부터 거리분포를 3개 표준편차 구간으로 구분하였으며 구간별 선박의 크기를 Fig. 10과 같이 분석할 수 있다. 해당 수역이 주 항로에서 벗어난 구역이기 때문에 통항 선박의 크기는 대체로 소형선임을 알 수 있고 선박의 크기가 커질수록 두 섬의 중앙을, 작아질수록 섬에 가깝게 통과하였음을 알 수 있다.

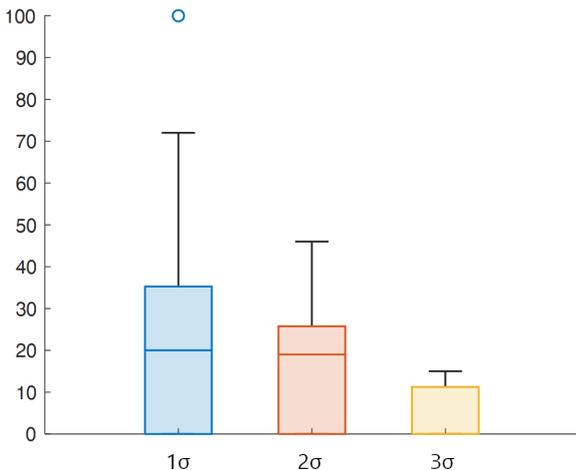


Fig. 10. Ships' length of each sigma range.

3. 해상교통특성 추출 결과 고찰

현행 해상교통분석에 가장 높은 빈도로 활용되는 AIS데이터와 빈도가 낮은 수치해도 데이터를 통합하여 새로운 해상교통분석 방법을 제시하였다. 기존의 AIS데이터 기반의 연구는 Fig. 11과 같이 AIS를 활용하여 선박만의 항적 분포, 밀도, 교통류 등을 활용하였지만 이러한 접근은 해상자연환경과 긴밀한 연관이 있는 선박의 교통 분석에는 적절하다고 보기 힘들다.

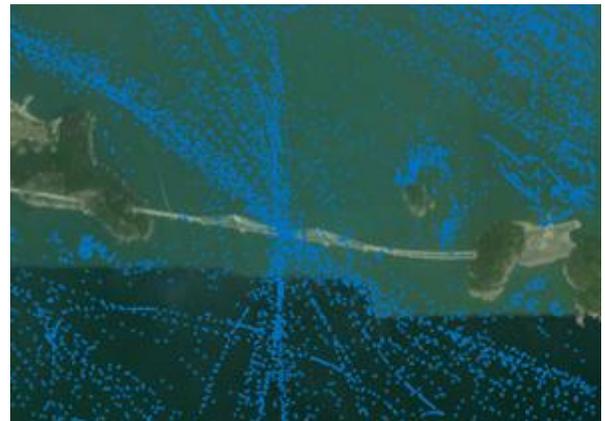


Fig. 11. Visualization of ship trajectory data driven analysis.

따라서 이 연구에서는 수치해도 데이터를 활용하여 새로운 형태의 해상교통특성을 제시함으로써 해상교통분석을 다른 관점에서 접근해보았다. 추출된 해상교통특성은 아래와 같이 3가지 특성이 제시되었으며 수치해도 데이터를 활용했을 때 추출 가능한 해상교통특징들이다.

- 등심선으로부터 선박의 이격 거리 분포
- 등심선 내부 선박의 통항 특성
- 교량 통과 선박의 분포

선박의 이격 거리 분포는 AIS만을 활용한 선박의 항적 분포에 비해 내제된 위험요소인 저수심 구역과의 거리분포를 확인할 수 있었다. 이는 여러 점이 연결된 다각형 형태의 저수심으로부터의 거리 계산이 필요하기에 수치해도 데이터를 활용했을 때에 추출 가능한 장점이라고 할 수 있다. 등심선 내부 선박의 특성 또한 수치해도 데이터를 활용했을 때만 추출 가능한 특징이며, 특정 수심이하의 해역을 통과하는 선박의 선종, 항적 분포를 확인할 수 있는 특성이었다.

교량 통과 선박의 분포는 이미 기존 연구에서 활용되고 있는 특성이라고 볼 수 있으나, 이격 거리의 기준을 육지, 교각, 저수심등 다양하게 변경이 가능하다는 점이 수치해도 데이터의 장점이라고 할 수 있다. 이 연구에서 교량을 통과한 선박 분포의 기준점을 왼편의 섬 끝단으로 설정하였으며 정규분포의 형태를 보인 선박 이격거리 분포를 표준편차를 기준으로 3개 구간으로 나누었고 그 구간별 선박의 크기 차이를 확인 하였다.

제시된 교통특성은 해상교통분석에 수치해도 데이터를 활용하였을 때 추출 가능한 다양한 해상교통특성 중 일부이며, 위의 특성과 더불어 ‘제한 해역 내 통항 밀집도’, ‘해상구조물 인근의 해상교통분석’ 등 수치해도 데이터를 활용한 다양한 접근이 가능할 것으로 보인다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 해상교통분석에 해도정보의 활용빈도가 낮음을 확인하고 해도정보의 활용의 장점을 확인하기 위해 AIS데이터와 수치해도 데이터를 복합적으로 활용하여 새로운 해상교통특성 추출 방법을 제시하였다.

기존 해상교통분석에서 주로 선박위주의 정보를 AIS데이터, 관측 데이터, 통계 데이터를 통해 수집, 활용했던 것에 비하여, 본 연구에서는 수치해도 데이터를 활용하여 육지, 저수심, 교량과 관련된 해상교통특성을 제시하였다. 그 결과 AIS데이터만을 활용했을 경우보다 더욱 다양한 관점에서 해상교통분석이 가능하며 데이터 기반 해상교통특성 추출 방법이기 때문에 향후 자율운항선박의 상용화에 대비한 넓은 수역의 해상교통분석에도 용이할 것으로 기대된다.

한편, 본 연구는 AIS 데이터와 수치해도 데이터의 복합적인 접근으로써의 기초 연구이기 때문에 해상교통특성으로 추출 가능한 다양한 특성 중 일부만 추출하였다. 따라서 후속연구를 통해 해상교통분석의 개별 목적에 따라 고도화된 해상교통특성의 추출이 필요할 것으로 보인다. 또한 자율운항선박의 상용화에 앞서 다양한 해역에서 자율운항선박의 검증에 위해 해역별 해상교통분석이 필요할 것이기에 국내 주요항만을 포함하여 대상 해역의 확장해야 할 것이다. AIS 데이터 또한 단기간의 통항정보의 수집으로는 그 해역의 교통특징을 대표할 수 없기 때문에 최소 1년의 AIS 데이터를 활용하여 계절변화에 따른 해상교통분석을 진행할 계획이다.

사 사

본 논문은 2022년도 해양수산부 및 해양수산과학기술진흥원 연구비 지원으로 수행된 '자율운항선박 기술개발사업(20200615)'의 연구결과입니다.

References

- [1] Abreu, F. H. O., A. Soares, F. V. Paulovich, and S. Matwin(2021b), A trajectory scoring tool for local anomaly detection in maritime traffic using visual analytics. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(6), 412.
- [2] Abreu, F. H. O., A. Soares, F. V. Paulovich, and S. Matwin(2021a), Local anomaly detection in maritime traffic using visual analytics. Paper presented at the EDBT/ICDT Workshops.
- [3] Acomi, N.(2020), Impact of chart data accuracy on the safety of navigation. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 14(2).
- [4] Altan, Y. C. and E. N. Otay(2017), Maritime traffic analysis of the strait of istanbul based on AIS data. *The Journal of Navigation*, 70(6), pp. 1367-1382.
- [5] Álvarez, N. G., B. Adenso-Díaz, and L. Calzada-Infant(2021), Maritime traffic as a complex network: A systematic review. *Networks and Spatial Economics*, 21(2), pp. 387-417.
- [6] Aps, R., M. Fetissov, F. Goerlandt, P. Kujala, and A. Piel(2017), Systems-theoretic process analysis of maritime traffic safety management in the gulf of finland (baltic sea), *Procedia Engineering*, 179, pp. 2-12.
- [7] Arguedas, V. F., G. Pallotta, and M. Vespe(2014), Automatic generation of geographical networks for maritime traffic surveillance. Paper presented at the 17th International Conference on Information Fusion (FUSION), pp. 1-8.
- [8] Arguedas, V. F., G. Pallotta, and M. Vespe(2017), Maritime traffic networks: From historical positioning data to unsupervised maritime traffic monitoring. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(3), pp. 722-732.
- [9] Baldauf, M., K. Benedict, S. Fischer, F. Motz, and J. U. Schröder-Hinrichs(2011), Collision avoidance systems in air and maritime traffic. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 225(3), pp. 333-343.
- [10] Bodunov, O., F. Schmidt, A. Martin, A. Brito, and C. Fetzer(2018), Real-time destination and eta prediction for maritime traffic. Paper presented at the Proceedings of the 12th ACM International Conference on Distributed and Event-Based Systems, pp. 198-201.
- [11] Campana, I., D. Angeletti, R. Crosti, C. Luperini, A. Ruvolo, A. Alessandrini, et al.(2017), Seasonal characterisation of maritime traffic and the relationship with cetacean presence in the western mediterranean sea. *Marine Pollution Bulletin*, 115(1-2), pp. 282-291.
- [12] Campana, I., R. Crosti, D. Angeletti, L. Carosso, L. David, N. Di-Méglio, et al.(2015), Cetacean response to summer maritime traffic in the western mediterranean sea. *Marine Environmental Research*, 109, pp. 1-8.
- [13] Coscia, P., P. Braca, L. M. Millefiori, F. A. Palmieri, and P. Willett(2018), Multiple Ornstein - Uhlenbeck processes for maritime traffic graph representation. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 54(5), pp. 2158-2170.

- [14] Du, L., F. Goerlandt, and P. Kujala(2020), Review and analysis of methods for assessing maritime waterway risk based on non-accident critical events detected from AIS data. *Reliability Engineering and System Safety*, 200, 106933.
- [15] Feng, X. X., M. Zhang, and Z. Liu(2012), Analysis on sediment environment and waterway siltation characteristics of panjin port. Paper presented at the Applied Mechanics and Materials, 212. pp. 205-210.
- [16] Gaspar, J. A., and H. Leitão(2018), What is a nautical chart, really? uncovering the geometry of early modern nautical charts. *Journal of Cultural Heritage*, 29, pp. 130-136.
- [17] Hänninen, M.(2014), Bayesian networks for maritime traffic accident prevention: Benefits and challenges. *Accident Analysis and Prevention*, 73, pp. 305-312.
- [18] Hofbauer, F. and L. Putz(2020), External costs in inland waterway transport: An analysis of external cost categories and calculation methods. *Sustainability*, 12(14), 5874.
- [19] Hwang, T. and I. Youn(2021). Navigation Situation Clustering Model of Human-Operated Ships for Maritime Autonomous Surface Ship Collision Avoidance Tests. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12), 1458.
- [20] Jeong, J. S., G. Park, and K. I. Kim(2012), Risk assessment model of maritime traffic in time-variant CPA environments in waterway. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 16(7), pp. 866-873.
- [21] Jiakai, P., J. Qingshan, H. Jinxing, and S. Zheping(2012), An AIS data visualization model for assessing maritime traffic situation and its applications. *Procedia Engineering*, 29, pp. 365-369.
- [22] Kim, D., H. Shin, and D. Jang(2020), Analysis of Long-Term Variation in Marine Traffic Volume and Characteristics of Ship Traffic Routes in Yeosu Gwangyang Port. *The Korean Society of Marine Environment and Safety*, 26(1), pp. 31-38.
- [23] Kim, D., J. Park, and Y. Park(2011a), Comparison analysis between the IWRAP and the ES model in ulsan waterway. *Journal of Navigation and Port Research*, 35(4), pp. 281-287.
- [24] Kim, K., G. Park, and J. Jeong(2011b), Analysis of marine accident probability in mokpo waterways. *Journal of Navigation and Port Research*, 35(9), pp. 729-733.
- [25] Kim, K., J. S. Jeong, and G. Park(2012), A study on development of maritime traffic assessment model. *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, 22(6), pp. 761-767.
- [26] Kim, K., J. S. Jeong, and G. Park(2013), Assessment of external force acting on ship using big data in maritime traffic. *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, 23(5), pp. 379-384.
- [27] Kim, S., H. Rhee, and I. Gong(2017), Improving assessments of maritime traffic congestion based on occupancy area density analysis for traffic vessels. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, 23(2), pp. 153-160.
- [28] Kontopoulos, I., I. Varlamis, and K. Tserpes(2021), A distributed framework for extracting maritime traffic patterns. *International Journal of Geographical Information Science*, 35(4), pp. 767-792.
- [29] Lei, P.(2020), Mining maritime traffic conflict trajectories from a massive AIS data. *Knowledge and Information Systems*, 62(1), pp. 259-285.
- [30] Lei, P., T. Tsai, and W. Peng(2016), Discovering maritime traffic route from AIS network. Paper presented at the 2016 18th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), pp. 1-6.
- [31] Li, Q., B. Zhan, and Q. B. Zhang(2013), The analysis of feasibility between waterway transportation and economy of hubei province based on DEA model. Paper presented at the Advanced Materials Research, , 694. pp. 3333-3335.
- [32] Lu, N., M. Liang, R. Zheng, and R. W. Liu(2020), Historical AIS data-driven unsupervised automatic extraction of directional maritime traffic networks. Paper presented at the 2020 IEEE 5th International Conference on Cloud Computing and Big Data Analytics (ICCCBDA), pp. 7-12.
- [33] Mazaheri, A., J. Montewka, P. Kotilainen, O. E. Sormunen, and P. Kujala(2015), Assessing grounding frequency using ship traffic and waterway complexity. *The Journal of Navigation*, 68(1), pp. 89-106.
- [34] Mansson, J. T., M. Lutzhoft, and B. Brooks(2017), Joint activity in the maritime traffic system: Perceptions of ship masters, maritime pilots, tug masters, and vessel traffic service operators. *The Journal of Navigation*, 70(3), pp. 547-560.
- [35] Mehta, V. A. Zaloom, and B. N. Craig(2016), Analysis of waterway transportation in southeast texas waterway based on AIS data. *Ocean Engineering*, 121, pp. 196-209.
- [36] Mladineo, N., M. Mladineo, and S. Knezic(2017), Web MCA-based decision support system for incident situations in maritime traffic: Case study of adriatic sea. *The Journal of Navigation*, 70(6), pp. 1312-1334.
- [37] Oh, J. and H. Kim(2020), Spatiotemporal Analysis of Vessel Trajectory Data using Network Analysis. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, 26(7), pp.

- 759-766.
- [38] Probha, N. A. and M. S. Hoque(2018), A study on transport safety perspectives in bangladesh through comparative analysis of roadway, railway and waterway accidents. Paper presented at the Proceedings of the Asia-Pacific Conference on Intelligent Medical 2018 and International Conference on Transportation and Traffic Engineering 2018, pp. 81-85.
- [39] Perera, L. P., P. Oliveira, and C. G. Soares(2012), Maritime traffic monitoring based on vessel detection, tracking, state estimation, and trajectory prediction. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(3), pp. 1188-1200.
- [40] Praetorius, G. and E. Hollnagel(2014), Control and resilience within the maritime traffic management domain. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 8(4), pp. 303-317.
- [41] Praetorius, G.(2014), Vessel Traffic Service (VTS): A Maritime Information Service Or Traffic Control System?: Understanding Everyday Performance and Resilience in a Socio-Technical System Under Change.
- [42] Ray, C., A. Grancher, R. Thibaud, and L. Etienne(2013), Spatio-temporal rule-based analysis of maritime traffic. Paper presented at the Third Conference on Ocean and Coastal Observation: Sensors and Observing Systems, Numerical Models and Information (OCOSS).
- [43] Reed, S. and V. E. Schmidt(2016), Providing nautical chart awareness to autonomous surface vessel operations. Paper presented at the OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey, pp. 1-8.
- [44] Robards, M. D., G. K. Silber, J. D. Adams, J. Arroyo, D. Lorenzini, K. Schwehr, et al.(2016), Conservation science and policy applications of the marine vessel automatic identification system (AIS) - a review. *Bulletin of Marine Science*, 92(1), pp. 75-103.
- [45] Sang, L., A. Wall, Z. Mao, X. Yan, J. and Wang(2015), A novel method for restoring the trajectory of the inland waterway ship by using AIS data. *Ocean Engineering*, 110, pp. 183-194.
- [46] Serry, A.(2016), The automatic identification system (AIS): A data source for studying maritime traffic. Paper presented at the Maritime Transport'16.
- [47] Tafa, L. N., X. Su, J. Hong, and C. Choi(2019), Automatic maritime traffic synthetic route: A framework for route prediction. Paper presented at the International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms and Networks, pp. 3-14.
- [48] Teixeira, A. P. and C. Guedes Soares(2018), Risk of maritime traffic in coastal waters. Paper presented at the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 51326, pp. V11AT12A025.
- [49] Vaněk, O., M. Jakob, O. Hrstka, and M. Pěchouček(2013), Agent-based model of maritime traffic in piracy-affected waters. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 36, pp. 157-176.
- [50] Vespe, M., I. Visentini, K. Bryan, and P. Braca(2012), Unsupervised learning of maritime traffic patterns for anomaly detection.
- [51] Venskus, J., P. Treigys, J. Bernatavičienė, G. Tamulevičius, and V. Medvedev(2019), Real-time maritime traffic anomaly detection based on sensors and history data embedding. *Sensors*, 19(17), 3782.
- [52] Wei, L., Y. Xiaowen, and L. Chunxia(2013), Analysis of container transportation in yangtze river delta: Waterway-road transport versus road transport. *Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science)*, 32(2), p. 274.
- [53] Xiao, F., H. Ligteringen, C. Van Gulijk, and B. Ale(2012), Artificial force fields for multi-agent simulations of maritime traffic: A case study of chinese waterway. *Procedia Engineering*, 45, pp. 807-814.
- [54] Xiao, Z., X. Fu, L. Zhang, and R. S. M. Goh(2019), Traffic pattern mining and forecasting technologies in maritime traffic service networks: A comprehensive survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(5), pp. 1796-1825.
- [55] Xiao, Z., X. Fu, L. Zhang, L. Ponnambalam, and R. S. M. Goh(2017), Data-driven multi-agent system for maritime traffic safety management. Paper presented at the 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 1-6.
- [56] Xin, X., K. Liu, X. Yang, Z. Yuan, and J. Zhang(2019), A simulation model for ship navigation in the "Xiazhimen" waterway based on statistical analysis of AIS data. *Ocean Engineering*, 180, pp. 279-289.
- [57] Xue, J., P. Van Gelder, G. Reniers, E. Papadimitriou, and C. Wu(2019), Multi-attribute decision-making method for prioritizing maritime traffic safety influencing factors of autonomous ships' maneuvering decisions using grey and fuzzy theories. *Safety Science*, 120, pp. 323-340.
- [58] Yang, D., A. T. Chin, and S. Chen(2014), Impact of politics, economic events and port policies on the evolution of maritime traffic in chinese ports. *Maritime Policy and Management*, 41(4), pp. 346-366.

- [59] Zhen, R., M. Riveiro, and Y. Jin(2017), A novel analytic framework of real-time multi-vessel collision risk assessment for maritime traffic surveillance. *Ocean Engineering*, 145, pp. 492-501.
- [60] Zhang, W., X. Feng, F. Goerlandt, and Q. Liu(2020), Towards a convolutional neural network model for classifying regional ship collision risk levels for waterway risk analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 204, 107127.
- [61] Zhou, Y., W. Daamen, T. Vellinga, and S. Hoogendoorn (2019), Review of maritime traffic models from vessel behavior modeling perspective. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 105, pp. 323-345.
- [62] Zisis, D., K. Chatzikokolakis, G. Spiliopoulos, and M. Voudas(2020), A distributed spatial method for modeling maritime routes. *IEEE Access*, 8, pp. 47556-47568.

Received : 2022. 09. 30.

Revised : 2022. 10. 26.

Accepted : 2022. 10. 28.