

## 네트워크 분석 기법을 이용한 항적 데이터의 시공간적 특징 분석

오재용\* · 김혜진\*\*†

\*, \*\* 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 책임연구원

## Spatiotemporal Analysis of Vessel Trajectory Data using Network Analysis

Jaeyong Oh\* · Hye-Jin Kim\*\*†

\*, \*\* Principal Researcher, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon, Korea

**요 약 :** 최근 해상교통 환경의 변화가 다양해지고, 해상 교통량이 지속적으로 증가함에 따라 해상교통 분석에 대한 요구가 다양해지고 있다. 이러한 해상교통 분석 작업은 교통 특성에 대한 모델링이 선행되어야 하지만, 기존의 방법은 자동화되어 있지 않아 전처리 작업에 시간이 많이 소요되고, 분석 결과에 작업자의 주관적인 견해가 포함될 수 있는 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 해결하고자 본 논문에서는 해상교통 분석을 위한 자동화된 교통 네트워크 생성 방법을 제안하였으며, 활용 가능성을 검토하기 위해 실제 목포항에서 수집된 6개월간의 항적 데이터를 이용한 실험을 수행하였다. 실험 결과, 대상 해역의 교통 특성을 반영한 교통 네트워크를 자동으로 생성할 수 있었으며, 대용량의 항적 데이터에도 적용할 수 있음을 확인하였다. 또한, 생성된 교통 네트워크는 시공간적 특징 분석이 가능하여 다양한 해상교통 분석에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

**핵심용어 :** 해상교통, 네트워크 분석, AIS, 항적, 시공간 분석

**Abstract :** In recent years, the maritime traffic environment has been changing in various ways, and the traffic volume has been increasing constantly. Accordingly, the requirements for maritime traffic analysis have become diversified. To this end, traffic characteristics must first be analyzed using vessel trajectory data. However, as the conventional method is mostly manual, it requires a considerable amount of time and effort, and errors may occur during data processing. In addition, ensuring the reliability of the analysis results is difficult, because this method considers the subjective opinion of analysts. Therefore, in this paper, we propose an automated method of traffic network generation for maritime traffic analysis. In the experiment, spatiotemporal features are analyzed using data collected at Mokpo Harbor over six months. The proposed method can automatically generate a traffic network reflecting the traffic characteristics of the experimental area. In addition, it can be applied to a large amount of trajectory data. Finally, as the spatiotemporal characteristics can be analyzed using the traffic network, the proposed method is expected to be used in various maritime traffic analyses.

**Key Words :** Maritime traffic, Network analysis, AIS, Vessel trajectory, Spatiotemporal analysis

## 1. 서 론

최근 해상교통 환경의 변화가 다양해지고, 해상 교통량이 지속적으로 증가함에 따라 해상교통 분석에 대한 요구가 다양해지고 있다. 해상교통 분석은 선박과 항만의 안전을 확보하기 위해 대상 해역의 환경 특성을 파악하고 선박의 운항 패턴을 분석하는 일련의 과정을 의미한다. 대표적인 해상교통 분석 사례는 해양수산부에서 시행하는 “선박통항로 안전성 평가”이다. 이는 폭이 좁은 연안수로나 위험물 취급

항만에서의 선박 사고를 예방하고, 해상교통 환경을 개선하기 위해 2015년 이후 매년 수행되고 있다(MOF, 2020). 또한, 해양수산부가 고시하고 있는 “해사안전법”에서는 항만 혹은 부두 시설의 개발에 의해 발생하는 항행안전 위험 요인을 전문적으로 조사, 평가하기 위해 “해상교통안전진단” 제도를 규정하여 사전 진단을 의무화하고 있다(MOF, 2014). 이러한 분석 작업은 주로 해양사고 사례 분석, 선박 교통량 및 혼잡도 조사, 해역 이용자 설문조사 등을 수행하여 선박 교통 환경을 파악한 후, 선박 조종 시뮬레이션을 통해 개선 사항을 도출하는 순서로 진행된다(MOF, 2016).

그 중, 선박 교통량 및 혼잡도 조사 작업에서는 수집된 항적 데이터의 통계 분석을 통해 해상교통 특성을 수치적으로

\* First Author : ojyong@kriso.re.kr, 042-866-3648

† Corresponding Author : hjk@kriso.re.kr, 042-866-3649

모델링하게 된다. 그러나 항적 데이터가 대상 해역에 따라 다양한 특징을 가지기 때문에 작업의 일반화가 어려우며, 자동화되어 있지 않은 실정이다. 이에 따라 항적 데이터 처리에 시간과 노력이 많이 소요되며, 작업자의 데이터 처리 오류 혹은 주관적인 견해가 포함되는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 해상교통 분석을 위한 자동화된 교통 네트워크 생성 프로세스를 제안하며, 목포항의 적용 사례를 통해 해상교통 분석 방법으로서의 활용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 선행 연구 분석

### 2.1 해상교통 분석

앞서 언급한 바와 같이 해상교통 분석 작업은 대상 영역의 선박 교통량 및 통항 패턴을 파악하는 것에서부터 시작하며, 주로 AIS(Automatic Identification System) 데이터의 선박 운항 정보를 이용한다.

AIS 데이터는 각 선박의 위치, 속도, 침로 정보를 모두 포함하고 있기 때문에 해상교통 흐름을 파악하기에 매우 유용하며, 많은 해상교통 분석 작업에 활용되고 있다(Xiao et al., 2013; Tassedra and Shoji, 2018). 그러나 AIS 데이터는 데이터의 용량이 매우 크기 때문에 데이터의 처리가 쉽지 않아 그 활용이 제한적이다. 이러한 문제점을 해결하고자, Fig. 1과 같이 Port-MIS(해운항만물류정보시스템)의 선박 입출항 정보를 이용하여 선박의 통항 경로를 추정하고, 이를 바탕으로 교통특성을 분석하는 방법이 제안되기도 하였다(Kim et al., 2019). 또한, 대상 영역에서의 시간에 따른 항적의 위치 중심점(centroid) 이동 정보를 바탕으로 교통 흐름을 분석 방법이 제안되었지만, 항만 내 시설 간의 세부적인 교통 특성을 파악할 수 없는 문제점이 있다(Kim and Oh, 2018).

한편, 국제항로표지협회(IALA, International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)는 해상교

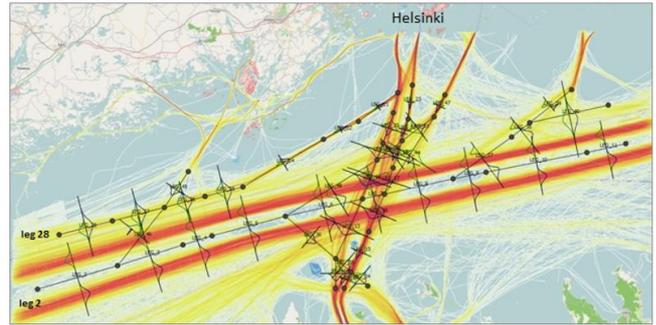


Fig. 2. Maritime risk analysis using IWRAP (IALA, 2017).

통 안전성 평가를 위한 전용 소프트웨어인 IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment Program)의 활용을 권장하고 있다(IALA, 2017). IWRAP은 Fig. 2와 같이 선박의 통항량과 통항로의 항적 분산 정보 등을 이용하여 선박의 충돌 및 좌초 확률을 계산하는 정량적인 평가 모델을 사용하며, 해상교통 안전성 평가 틀로 널리 활용되고 있다(Kim et al., 2011).

IWRAP을 이용한 해상교통 분석 작업은 수집된 항적 데이터로부터 교통 밀집도를 파악한 후, 사용자가 주요 통항로 등 분석이 필요한 위치에 탐색선(gateline)을 설치하여 통항 확률 분포를 추정한다(GateHouse, 2018).

그러나 통항로와 탐색선을 설정하는 과정이 자동화되어 있지 않기 때문에 분석 영역 내 통항 경로가 복잡한 경우 작업 시간이 많이 소요되며, 분석 항목이 누락되거나 설정에 오류가 포함될 수도 있는 문제점이 있다.

### 2.2 네트워크 분석

네트워크 분석 기법은 개체들을 구조화하여 개체들 간의 연결 관계를 생성하고, 이를 통해 데이터의 숨은 의미를 찾아내는 데이터 분석 방법이다. 네트워크 분석법은 주로 자연어 처리나 사회 연결망(social network) 분석에 활용되며, 지리적 위치를 연결하는 교통 체계와 그 개념이 유사하여 물류 혹은 최적 이동 경로 등을 분석하는데 활용되기도 한다(Lee et al., 2020).

해상교통 분석 분야에서는 기존의 정량적인 통계 분석 방법이 가진 문제점들을 개선하고자 네트워크 분석 기법이 도입되고 있는 추세이며, 이와 함께 교통 네트워크 생성 방법에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있다.

Filipiak et al.(2020)은 CUSUM 알고리즘과 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 이용하여 항적 데이터로부터 교통 네트워크를 생성하는 방법을 제안하였으며, Dobrkovic et al.(2018)은 처리 성능 향상을 위해 공간을 재분할하고, 개선된 유전자 알고리즘을 적용하는 방법을 제안하였다. 교통 네트워크를 자동으로 생성하기 위해서는 대용량의 항적 데이터 처리

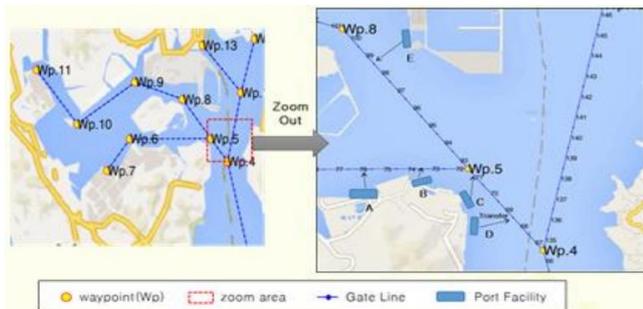


Fig. 1. Traffic Analysis using Port-MIS (Kim et al., 2019).

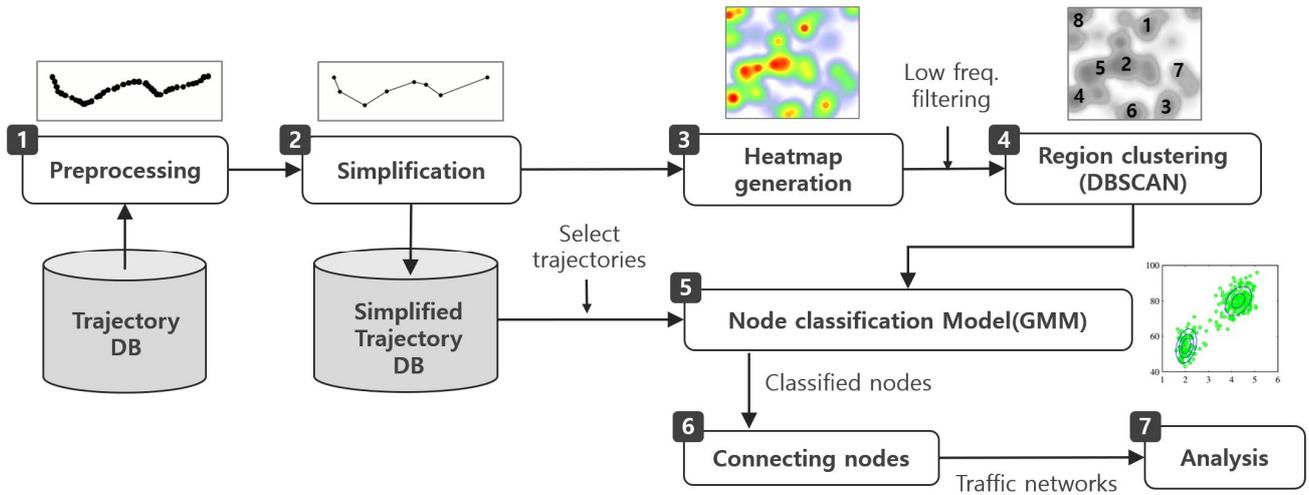


Fig. 3. Concept of vessel trajectory data processing procedure for network analysis.

가 필수적이며, 기존 연구 사례에서도 대용량의 AIS 데이터를 처리하기 위해 대상 영역을 트리(tree) 형태로 분할하여 처리하고 있다. 그럼에도 불구하고 대용량 처리를 위해 고성능의 시스템이 필요하며, 데이터의 용량이 증가할수록 처리 시간이 급격하게 늘어나기 때문에 분석 대상 기간이 길어지는 경우 적용이 어려운 문제가 있다.

### 3. 교통 네트워크 모델링

교통 네트워크는 분석 대상 영역을 통항하는 선박의 항적 데이터로부터 생성된 네트워크 모델을 의미하며, 해상교통 특성을 정량적으로 표현할 수 있는 특징이 있다.

그러나 앞서 언급한 바와 같이 교통 네트워크 모델링을 위해서는 대용량 항적 데이터를 처리하는 절차가 자동화되어야 하며, 생성된 교통 네트워크는 대상 영역의 교통 특성을 효과적으로 표현할 수 있어야 한다.

Fig. 3은 본 논문에서 제안하는 해상교통 네트워크 분석을 위한 항적 데이터 처리 및 분석 절차를 도식화하였다. 처리 절차는 총 7단계로 구성되어 있으며, 크게 모델링 단계(1-5 단계)와 분석 단계(6-7단계)로 나눌 수 있다. 각 단계의 세부 내용은 다음과 같다.

- STEP 1** : 항적 데이터베이스로부터 교통 특성 추출에 필요한 항적 데이터를 추출하는 단계
- STEP 2** : 선별된 항적 데이터를 단순화하여 데이터베이스에 저장하는 단계
- STEP 3** : 단순화 된 항적 데이터의 출현 빈도에 따른 히트맵(heatmap)을 생성하는 단계

- STEP 4** : 히트맵 영역을 군집화(clustering)하는 단계
- STEP 5** : 교통 네트워크의 노드를 분류하기 위한 확률 모델을 생성하는 단계
- STEP 6** : 선택된 단순화 항적 데이터를 노드별로 분류하고 각 노드를 연결하여 교통 네트워크를 생성하는 단계
- STEP 7** : 생성된 교통 네트워크를 분석하는 단계

#### 3.1 항적 데이터 및 전처리

해상교통 분석에 필요한 항적 데이터는 일반적으로 AIS 장치로부터 수신된 선박의 운항 데이터를 누적 저장하여 사용한다. AIS 장치는 10톤 이상의 선박에 의무적으로 탑재해야 하는 장치로 선박의 위치, 침로, 속도 뿐 만 아니라 선박의 제원 정보가 포함되어 있어서 해상교통 흐름을 파악하는데 매우 유용하다.

그러나 분석 대상 기간이 길어질수록 항적 데이터의 용량이 증가하게 되어 처리 작업이 원활하지 못하는 경우가 발생하기 때문에 항적 데이터의 선별 작업이 선행되어야 한다.

본 연구의 분석 대상은 선박으로 한정하며, 선박으로부터 수신된 데이터만을 선별하고, 분석 영역에 포함되지 않거나 해상교통을 분석하는데 불필요한 항적 데이터를 제외하였다.

특히, 저속 선박 항적은 이동 속도(SoG, Speed over the Ground)가 1 노트 미만인 선박의 항적을 의미하며, 주로 정박지에 정박 중이거나 부두에 접안 중인 선박으로 해상교통 흐름에 영향을 주지 않기 때문에 분석 대상 데이터에서 제외하였다. 또한, AIS 데이터의 식별번호(MMSI)와 선종 정보를 기준으로 예인선, 도선선, 급유선, 실습선, 작업선 등의 항적 데이터를 제외함으로써 분석 대상 데이터의 용량을 줄일 수 있다.

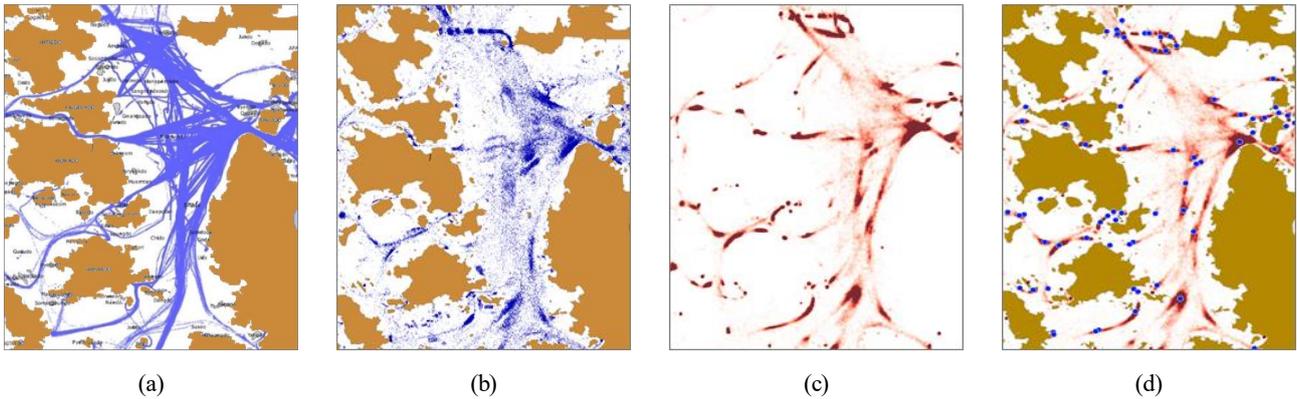


Fig. 4. Results of vessel trajectory data processing, (a) vessel trajectories from AIS, (b) simplified trajectories, (c) heatmap of simplified trajectories, (d) clustering heatmap regions.

### 3.2 항적 분할 및 단순화

항적 데이터는 일반적으로 수신된 시간 순서로 저장되어 있는 점(point) 데이터이며, 선박의 이동 경로 분석을 위해서는 각 선박별로 데이터를 분류하고 다시 시간 순으로 연결하여 선(line) 데이터로 변환해야 한다. 이 경우 항적이 연속적인 시간 간격을 가지도록 데이터를 분할해야 하며, AIS 데이터의 최대 송신 간격이 3분임을 고려하여 분할 시간 간격 기준을 5분으로 설정하였다.

한편, AIS로부터 수신된 항적 데이터는 이동 속도에 따라 주기적으로 수신되기 때문에, 각각의 항적은 매우 많은 점 데이터로 구성된다. 특히, 항로상의 침로가 변하지 않는 직선 운항 구간에서는 선박의 위치 추정이 가능하며, 침로가 변하는 지점 즉, 변침점(waypoint)에서의 운항 정보가 선박의 이동 경로를 표현하는데 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 분석 대상 항적 데이터의 경량화를 위해 단순화(simplification)과정을 거치며, 연속선(polyline) 단순화 알고리즘 중 하나인 Ramer-Douglas-Peucker(RDP) 알고리즘을 적용하였다(Ramer, 1972).

RDP 알고리즘은 점들 간의 거리 값을 이용하여 직선 형태로 단순화 할 수 있는 구간을 식별하는 알고리즘이며, 처리 속도가 빠르고, 임계거리( $\epsilon$ )에 따라 단순화 정도를 조절할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 대상 항만에서의 항해 경험을 바탕으로 단순화 결과와 변침점의 위치를 비교하여 임계거리 값( $\epsilon=0.005$ )을 결정하였다. 그 결과 실제로 10,000개 이상의 항적 포인트 데이터가 단순화 과정을 거쳐 주요 변침점만으로 구성된 10개 이하의 포인트 데이터로 변환되었다.

Fig. 4의 (a)는 수신된 AIS 항적 데이터를 지도상에 표시한 결과이며, (b)는 단순화 된 항적 데이터를 표시하였다. 이처럼 항적 단순화 작업은 선박의 이동 경로 특성을 최대한 유지하면서 데이터의 용량을 대폭 줄이는 효과가 있다.

### 3.3 네트워크 노드 모델링

교통 네트워크는 대상 영역의 특정 지점 간 선박 이동 특성을 표현할 수 있어야 하기 때문에 분석의 기준이 되는 네트워크 노드의 위치 설정이 매우 중요하다.

본 연구에서는 항로상의 주요 변침점을 네트워크 노드로 설정하였으며, 항적 데이터로부터 주요 변침점 정보를 추출하기 위해서 히트맵 정보를 이용하였다. 히트맵은 데이터의 분포에 따라 밀집도를 계산하여 2차원 공간상에 표시하는 방법으로 데이터의 밀집 영역을 가시화 할 수 있는 특징이 있다.

본 연구에서 히트맵의 해상도는  $500 \times 500$  pixel을 사용하였으며, 총 250,000 포인트의 밀집도를 계산할 수 있다. 이렇게 계산된 히트맵 데이터에서 저빈도 영역을 제외한 후, 군집화 알고리즘인 DBSCAN(Ester et al., 1996)을 수행하면, 각 영역에서의 중심점(centroid)을 구할 수 있고, 이를 교통 네트워크의 노드로 설정하였다. DBSCAN의 세부 파라미터는  $\epsilon=1$ ,  $minPts=10$ 로 설정하였다.

Fig. 4의 (c)는 단순화 된 항적에 대한 히트맵 이미지이며, (d)는 히트맵 영역의 군집화 결과(파란색 점이 각 영역의 중심점)를 나타낸다.

이러한 히트맵 기반의 노드 식별 방법은 항적 데이터 전체를 군집화 하여 노드를 식별하는 경우에 비해 처리 속도가 빠를 뿐만 아니라, 항적 데이터의 수가 증가하더라도 일정한 처리 성능을 확보할 수 있게 된다.

다음 단계로, 이전 단계의 군집화 결과 얻어지는 군집 개수 정보를 이용하여 노드 분류 모델을 생성한다. 노드 분류 모델은 가우시안-혼합모델(GMM, Gaussian Mixture Model)(Reynolds and Rose, 1995)을 이용하며, 이를 통해 2차원 공간에서 노드의 위치 확률 분포를 추정한 후, 임의의 항적 데이터가 각 노드로 분류될 확률에 따라 항적 데이터를 분류할 수 있게 된다. GMM의 세부 파라미터는 Table 1과 같다.

Table 2. Parameters of GMM

parameters	value
number of components	153
covariance type	share the covariance matrix
convergence threshold	0.001
max iterations	100
method of initialize weights	kmeans

### 3.4 교통 네트워크 생성

교통 네트워크 모델링 과정을 통해 생성된 네트워크 노드 식별 모델에 항적 데이터를 적용하면 노드 간 이동 정보를 식별할 수 있게 되고, 이를 교통 네트워크의 에지 가중치로 설정하여 최종적인 교통 네트워크를 생성할 수 있다. 이때 분석의 목적에 따라 항적 데이터의 선별 조건을 설정할 수 있으며, 각 조건별 교통 네트워크를 생성하여 분석을 수행하게 된다. 예를 들어 시간대에 따른 교통 분석이 필요한 경우, 항적 데이터를 시간대별로 구분하고, 각각의 교통 네트워크를 생성하여 교통 특성을 비교 분석할 수 있다.

## 4. 항적 데이터의 시공간적 특징 분석

본 절에서는 네트워크 분석 기법을 이용한 해상교통 분석 사례를 기술한다. 실험 대상 항만인 목포항은 남향과 북향, 신항으로 구성된 주요 무역항이다. 관제구역 내에는 11개의 부두와 10개의 정박지가 설치되어 운영되고 있으며, 주변 산업 단지와 도서 지역을 연결하는 지역적 특성 때문에 화물선, 여객선, 어선 등의 다양한 선종이 혼재하여 통항하는 특징이 있다. 실험에서는 목포 VTS에서 약 6개월(2017년 4월부터 9월까지)간 수집된 AIS 데이터를 사용하였으며, 데이터는 AIS 메시지 수신 시간, 선박의 위치, 속도, 침로, 선종, 크기 정보를 포함하고 있다. 실험에 사용된 AIS 데이터는 약 3억 5천만 건이며, 전처리 시간을 포함하여 교통 네트워크를 생성하는 데 약 30분(Intel i7-8700 기준) 가량이 소요되었다.

분석 작업은 크게 공간 분석과 시계열 분석으로 진행하였다. 공간 분석에서는 대상 영역에서의 전체 항적에 대한 교통 네트워크를 구성하여 해상교통의 공간적 흐름을 분석하였으며, 시계열 분석에서는 통항 시간대별 교통 네트워크의 비교 분석을 수행하고 그 결과를 검토하였다.

### 4.1 공간 분석

Fig. 5의 (a)는 6개월의 항적 데이터를 이용하여 생성한 목포항의 교통 네트워크이다. 네트워크는 총 153개의 노드로 구

Table 3. Node list and degrees (order by degrees)

rank	node ID	degrees	position
1	9	41	34°45'48.8"N, 126°17'02.5"E (Mokpogu)
2	27	29	34°37'08.9"N, 126°13'45.0"E
3	69	29	34°48'02.8"N, 126°15'34.0"E
4	78	26	34°48'27.4"N, 126°13'19.1"E
5	1	23	34°47'07.2"N, 126°14'28.3"E
	...		
12	37	20	34°50'55.1"N, 126°13'26.9"E (Songong terminal)
	...		
41	87	14	34°48'15.0"N, 126°21'36.1"E (Mokpo Bukhang)
	...		
63	24	10	34°46'55.2"N, 126°23'11.8"E (Mokpo Namhang)

성되며, 각 노드 간 연결 관계를 그래프 형태로 표현하였다.

네트워크 특성을 표현하는 요소인 차수(degree)는 노드로 들어오는 에지의 수인 입력차수(In-degree)와 노드에서 나가는 에지의 수인 출력차수(Out-degree)로 구분된다. 특히 교통 네트워크에서의 노드 차수가 가지는 의미는 교통 흐름이 병합되거나 분기되는 지점을 의미하기 때문에 교통 분석에 중요한 요소가 된다.

Table 2는 각 네트워크 노드의 차수와 위치 정보를 나타낸다. 높은 차수를 가지는 노드는 9, 27, 69, 78번의 순서였으며, 9번과 37번의 세부 네트워크 정보는 Fig. 5의 (b)와 (c)에 나타내었다. 9번 노드는 목포항을 입출항하는 선박이 밀집되는 목포구 해역으로 네트워크에서도 여러 노드와 동시에 연결되는 높은 차수를 가지며, 노드 간 연결 빈도가 높은 통항 밀집 영역으로 식별되었다. 37번 노드도 상대적으로 높은 차수를 가지지만, 해상에 노드가 밀집되어 있는 특이한 형태로 나타났다. 이는 분석 대상 기간 동안 수행된 교량 공사(천사대교)에서 기인한 것으로 파악되어 교통특성 분석의 대상에서 제외하였다. 이처럼 네트워크 기반 항적 분석 방법은 항적이 네트워크 형태로 구조화되어 있기 때문에 분석에 불필요한 항목을 제외하는 것이 매우 용이하다.

또한, 분석 대상 영역의 주요 진출입 지점은 자은도(북서쪽), 팔금도, 안좌도(서쪽), 가사도(서남쪽), 진도(동남쪽)부근이며, 가사도 부근을 거쳐 화원반도를 지나 목포항으로 입출항 하는 통항로, 자은도 부근을 지나 입출항하는 통항로, 팔금도와 안좌도 사이를 이동하는 통항로, 진도 울돌목을 지나하는 통항로 등의 주요 통항로를 식별할 수 있다.

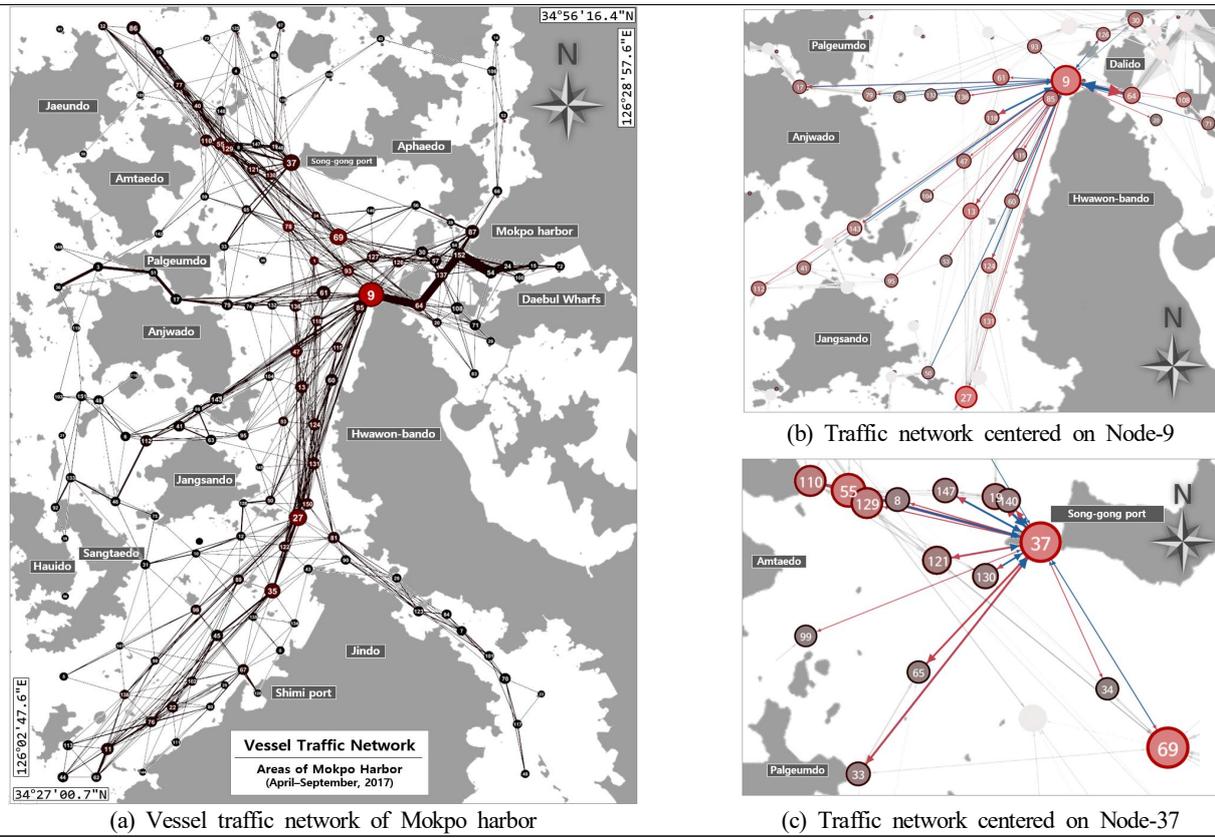


Fig. 5 Spatial analysis of traffic network in Mokpo harbor.

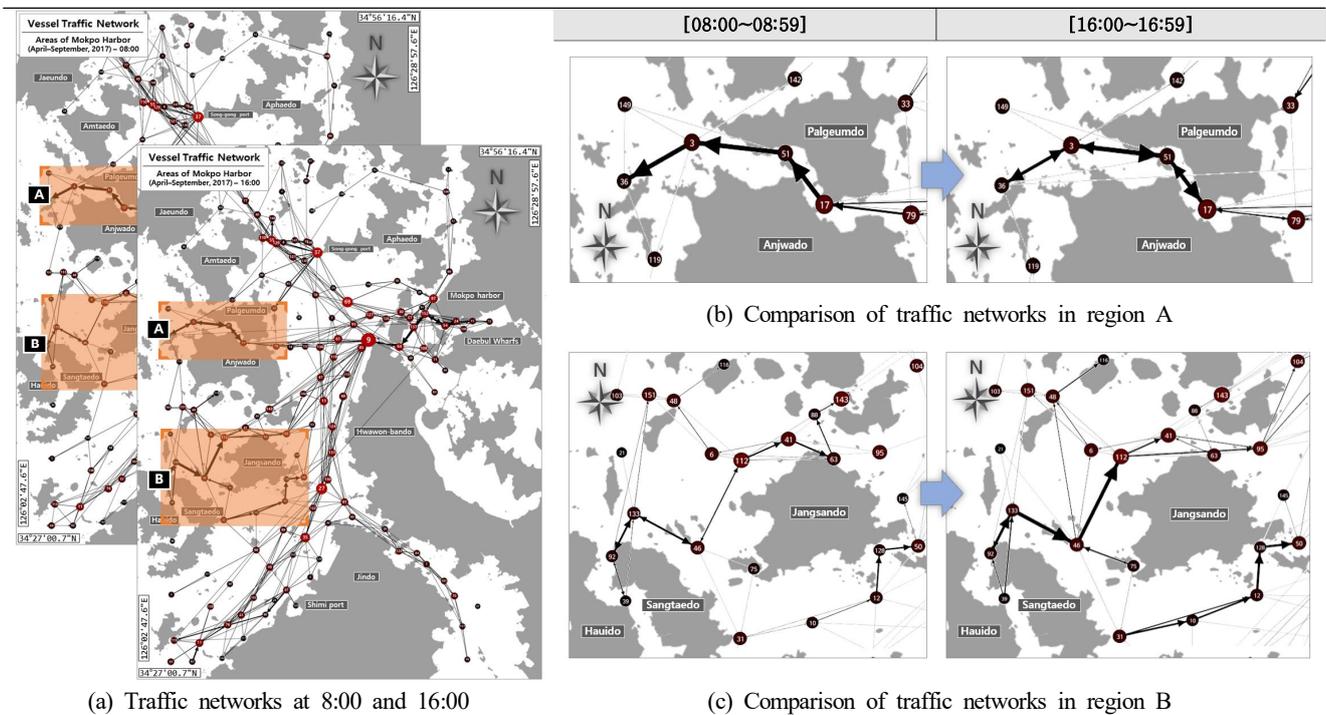


Fig. 6. Temporal analysis of traffic network in Mokpo harbor.

#### 4.2 시계열 분석

교통 네트워크의 시계열 분석을 위해 항적을 시간대별로 구분하고 교통 네트워크를 생성하였다. 1시간 간격으로 구분된 시간대에 따라 총 24개의 교통 네트워크가 생성되며, 각 교통 네트워크를 비교하여 분석을 수행하였다.

앞서 언급한 바와 같이, 네트워크의 각 노드 간 연결 정보와 에지별 가중치 정보는 네트워크의 특징을 결정하는 중요한 요소이며, 본 논문에서는 네트워크의 비교를 위해 다음과 같은 수식을 적용하였다.

$$D(A, B, N_T) = \sum_{n=0}^N |W_A(N_T, n) - W_B(N_T, n)| \quad (1)$$

where,  $A, B$  is traffic networks,  $N_T$  is target node,

$W_A(m, n)$  is weight from node  $m$  to node  $n$  in network  $A$

수식(1)은 각 노드에 연결된 가중치의 차이를 합산한 값이며, 이를 두 네트워크를 비교하는 기준 값으로 사용하였다.

목포항의 주요 통항 시간대인 오전 8시와 오후 4시의 교통 네트워크를 비교한 결과, 확연한 차이를 보이는 두 영역을 식별하고 세부 분석을 수행하였다.

영역 A는 Fig. 6의 (b)와 같이 팔금도와 안좌도 사이의 항로를 포함하고 있다. 오전 시간대에는 항계 밖으로 출항하는 통항 패턴이 주를 이루었으며, 반대로 오후 시간대에는 입항과 출항이 혼재하는 통항 패턴을 보였다. 한편, 영역 B는 Fig. 6의 (c)와 같이 상태도와 장산도 간 통항로를 포함하고 있으며, 16:00 시간대에 통항량의 변화가 뚜렷하게 나타났다.

영역 A와 영역 B 모두 항적을 구성하는 선종이 주로 어선과 여객선으로 조사되었으며, 이를 고려할 때 해당 영역의 주요한 교통 흐름은 주기적으로 운항하는 어선과 여객선의 통항에 의한 것으로 분석할 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 해상교통 분석을 위한 교통 네트워크의 자동 생성 방법을 제안하였으며, 이를 이용한 목포항 항적 데이터의 적용 사례를 통해 해상교통 분석 방법으로서의 활용 가능성을 확인하였다.

제안하는 방법을 통해 교통 특성 모델링 작업을 자동화함으로써 항적 데이터의 처리에 소요되는 시간을 줄이고 작업의 오류 발생을 최소화 할 수 있다. 또한, 대용량의 항적 데이터 처리가 가능하기 때문에 월간 또는 연간 항적 데이터의 분석이 용이해진다. 특히 자동화된 모델링 작업

은 분석 과정에서 개입될 수 있는 작업자의 주관적인 견해를 최대한 배제하여 보다 객관적인 분석 자료를 생성할 수 있게 되며, 이를 통해 분석 결과의 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 생성된 교통 네트워크 정보는 통항경로대 분석과 항내 선박의 이동 분석 등에 활용이 가능하며, 특정 시간대에 나타나는 교통 특성을 미리 파악하여 해상교통관제를 위한 참고 자료로 활용할 수도 있다.

본 논문의 실험에서는 AIS 항적 데이터만을 사용했지만, AIS 데이터와는 특성이 다른 RADAR 항적 데이터를 추가 적용하여 분석하는 것도 큰 의미가 있을 것이다.

객체들 간의 연결 관계를 중심으로 데이터의 특성을 분석하는 네트워크 분석 기법은 항만 간, 부두 간, 선박 간의 연관 관계를 분석하는 해상교통 분야에 매우 적합한 분석 방법이라 판단된다. 본 연구를 바탕으로 해상교통 분야에 네트워크 분석 기법을 적용하는 다양한 연구가 진행되어 해상교통 분석 분야에 기여할 수 있기를 기대한다.

### 후 기

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “해상교통 분석을 위한 에이전트 모델링 및 연동 기술 개발(2/5 [PES3600])”의 연구 결과 중 일부입니다.

본 논문은 2019년 (사)해양환경안전학회 추계학술발표회에서 발표한 “해상교통 분석을 위한 교통 특성 데이터 모델 설계”의 내용을 보완하여 작성하였습니다.

### References

- [1] Dobrkovic, A., M. Iacob, and J. van Hillegersberg(2018), Maritime pattern extraction and route reconstruction from incomplete AIS data, International Journal of Data Science and Analytics, Vol. 5, pp. 111-136.
- [2] Ester, M., H. P. Kriegel, J. Sander, and X. Xu(1996), A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise, In Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 226-231.
- [3] Filipiak, D., K. Węcel, M. Stróżyna, M. Michalak, and W. Abramowicz(2020), Extracting Maritime Traffic Networks from AIS Data Using Evolutionary Algorithm, Business & Information Systems Engineering, Vol. 62, pp. 435-450.
- [4] GateHouse(2018), IWRAP Mk2 User Manual, Engberg GateHouse Logistics A/S.

- [5] IALA(2017), The Use of IALA Waterway Risk Assessment Program (IWRAP MKII), IALA Guideline G1123, Edition 1.0.
- [6] Kim, H. J. and J. Y. Oh(2018), Research on the Analysis of Maritime Traffic Pattern using Centroid Method, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 42, No. 6, pp. 453-458.
- [7] Kim, K. I., G. K. Park, and J. S. Jeong(2011), Analysis of marine accident probability in Mokpo waterways, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 35, No. 9, pp. 729-733.
- [8] Kim, K. I., J. S. Jeoung, and J. S. Lee(2019), Analysis of Ship Route Traffic Characteristics using Port-MIS data, Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Conference, pp. 93-95.
- [9] Lee, J. H., G. T. Yeo, S. H. Park, and H. C. Lee(2020), Structural analysis of the liner shipping network of the Asia-North America trade route adopting Social Network Analysis, Journal of The Korean Association of Shipping and Logistics, Vol. 36, No. 2, pp. 133-159.
- [10] MOF(2014), The implementing guidelines for maritime traffic assessment, No. 2014-164, Ministry of Oceans and Fisheries.
- [11] MOF(2016), The Task Instructions of Research project about maritime traffic safety assessment, Ministry of Oceans and Fisheries.
- [12] MOF(2020), The summary of the maritime traffic safety assessment project, Ministry of Oceans and Fisheries.
- [13] Ramer, U.(1972), An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves, Computer Graphics and Image Processing, Vol. 1, No. 3, pp. 244-256.
- [14] Reynolds, D. A. and R. C. Rose(1995), Robust text-independent speaker identification using Gaussian mixture speaker models, IEEE transactions on speech and audio processing, Vol. 3, No. 1, pp. 72-83.
- [15] Tasseda, E. H. and R. Shoji(2018), Statistical Modeling Framework of Vessel Traffic Streams in Tokyo Bay, Transactions of Navigation, Vol. 3, No. 2, pp. 31-42.
- [16] Xiao, F., H. Ligteringen, C. van Gulijk, and B. Ale(2013), Nautical traffic simulation with multi-agent system for safety, 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), pp. 1245-1252.

---

Received : 2020. 10. 19.

Revised : 2020. 11. 02.

Accepted : 2020. 12. 28.