

# 중심점 기법을 이용한 통항패턴 분석에 관한 연구

김혜진\* · † 오재용

\*,† 선박해양플랜트연구소 해양안전환경연구본부

## Research on the Analysis of Maritime Traffic Pattern using Centroid Method

Hye-Jin Kim\* · † Jae-Yong Oh

\*,† Maritime Safety Environmental Research Division, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Korea

**요 약** : 해상교통 분석은 대상 해역의 환경 특성을 파악하고, 선박의 교통 패턴을 분석하는 일련의 과정을 일컫는다. 이는 최근 해상 교통량이 늘어나고 관제 영역이 확장됨에 따라 그 필요성이 증가하고 있으며, 실제로 해상교통관제(VTS, Vessel Traffic Service)와 항만 시설의 안전성 평가에 적용되기도 한다. 본 논문에서는 공간정보 분석 방법 중 히트맵(heatmap)과 중심점(centroid) 기법을 이용하여 선박의 통항패턴을 분석하는 방법을 제안한다. 이 방법은 시간에 따라 공간적 특성이 변하는 항적 데이터를 분석하기에 적합한 방법이며, 실제 목포항에서 수집된 항적 데이터를 이용한 실험을 수행하였다. 실험에서는 시간대별 교통 밀도와 중심점 분석을 수행하였고, 이를 통해 해상교통의 공간적 변화를 쉽게 식별할 수 있었으며, 제안하는 방법이 해상교통 분석법으로 활용될 수 있음을 확인하였다.

**핵심용어** : 중심점 기법, AIS, 해상교통 분석, 통항패턴, 해상교통관제

**Abstract** : The analysis of maritime traffic refers to the processes that are used to analyze the environmental characteristics of the target area and, based on this analysis, predict the traffic pattern of the vessels. In recent years, maritime traffic analysis has become significant with increase maritime traffic volume and expansion of VTS coverage area. In addition, maritime traffic analysis is also applicable in the safety assessment of port facilities and the VTS (Vessel Traffic Service). In this paper, we propose a method to analyze the vessels' traffic pattern by using the heat map and the centroid method. This method is efficient for the analysis of the vessel trajectory data where spatial characteristics change with time. In the experiments, the traffic density and centroid by time have were analyzed. Trajectory data collected at Mokpo harbor was adopted. Finally, we reviewed the experimental results to verify the feasibility of the proposed method as a maritime traffic analysis method.

**Key words** : Centroid Method, AIS, Maritime Traffic Analysis, Traffic Pattern, Vessel Traffic Service

### 1. 서 론

해상교통 분석은 선박 및 항만의 안전을 위해 대상 해역의 환경적인 특성을 파악하고, 운항하는 선박의 교통 패턴을 분석하는 일련의 과정을 말한다. 이는 최근 해상 교통량이 늘어나고, 관제 영역이 확장됨에 따라 그 필요성이 증가하고 있으며, 분석된 결과는 해양사고의 발생 위험을 줄이고, 항만의 효율성을 극대화하는데 적극 활용되고 있다. 특히, 해상교통관제센터(VTS, Vessel Traffic Service)에서는 해상교통에 대한 보다 다각적인 분석이 필요하며, 실제로 분석 결과를 바탕으로 계절별 해상교통 안전대책을 수립하거나 선박 교통량의 증가에 대비하여 어선 및 연안 항해 선박 등에 대한 집중관제를 실시하기도 한다. 또한, 해상교통관제를 위한 관제구역 및 관

제섹터를 설정하거나 관제사를 배정하는 등 관제 자원을 효율적으로 할당하기 위해 해상교통 분석을 수행하기도 하며, 항로표지의 최적 배치 및 안전 항로의 설계, 안전성 평가 등에도 해상교통 분석 결과를 활용하고 있다. 이러한 해상교통 분석에는 교통 밀집도 분석, 교통류 및 교통 혼잡도 예측, 충돌 위험도 평가 등 다양한 방법들이 적용되며, 분석의 목적에 따라 적합한 방법을 선정하여 분석을 수행하게 된다. 한편, 공간정보 분야에서는 공간 정보의 변동 추이를 거시적으로 관찰하기 위해 중심점(centroid) 분석법을 주로 사용하며, 이는 공간 데이터의 밀집 분포 특성과 시간에 따른 변화를 파악하기 용이한 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 중심점 기법을 이용하여 선박의 통항패턴을 분석하는 방법을 제안하며, 목포항의 적용 사례를 통해 해상교통 분석 방법으로서의 활용 가능성을 검토하고자 한다.

† Corresponding author : 정희원, ojyong@kriso.re.kr 042)866-3648

\* 정희원, hjk@kriso.re.kr 042)866-3649

(주) 이 논문은 “중심점 기법을 이용한 해상교통 분석 방법에 관한 연구”라는 제목으로 “2017 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 한국해양학회논문집(부산 BEXCO, 2017.4.19-20, pp.299-300)”에 발표되었음.

## 2. 해상교통 안전성 평가 기법

해상교통 조사에는 다양한 분석 방법이 적용되며, 특히 해상교통 안전성 평가 분야에서 활발한 연구 개발이 진행되고 있다. 해상교통 안전성 평가는 해상의 통항로에 설치되는 각종 항만 시설물의 설치 및 공사 등이 선박의 항행 안전에 미치는 영향을 사전에 평가하여 잠재된 위험요소를 사전에 식별하기 위해 수행한다. 이러한 해상교통 안전성 평가를 위해서 국제항로표지협회(IALA, International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)에서는 전용 소프트웨어인 IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment Program)의 사용을 권고하고 있다(IALA, 2017a). IWRAP은 Fig. 1과 같이 선박의 교통량 및 통항로의 항적 분산 정보를 이용하여 대상 항만의 충돌 및 좌초 확률을 계산하는 정량적인 평가 모델이며, 이를 활용하여 많은 해상교통 안전성 평가가 수행되고 있다(Kim et al., 2011). 이와 함께 전문가 그룹에 의해 해당 해역의 위험요소를 평가하는 정성적 평가 모델로 PAWSA(Ports and Waterways Safety Assessment)를 제시하며, 정량적인 평가 기법과 정성적인 평가 기법을 함께 사용하도록 권장하고 있다(IALA, 2017b).

또한, 우리나라 해역 실정에 적합한 평가 항목의 분석을 통해 독자적인 해상교통안전성 평가 모델을 개발하기도 하였으며(Park et al., 2011), 진입수로의 위험도 평가를 위해 위험 수준을 정의하고 각 위험 요소별 출연빈도와 중요도를 반영하여 위험도 지수를 산출하는 방법이 제안되기도 하였다(Lee et al., 2013). 한편, 현재의 해상 교통 현상을 반영하는 모델을 만들어 교통류를 재현하고 이를 평가하는 방법도 연구되고 있다. 그 중 환경 및 교통 스트레스 모델이 대표적이며, 이 환경 스트레스 모델(ES model, Environment Stress model)은 자연, 지형, 시설, 교통 조건 등이 선박 운항자에게 미치는 영향을 정량화 한 모델로 안전항로의 개선에 적용된 바 있다(Park et al., 2012).

또한, 해상교통관제를 위한 해상교통 분석은 다양한 평가요소들이 함께 고려되어야 하며, 해양사고 현황, 해상교통 흐름 및 혼잡도, 이용자 및 관제사 설문조사, 해상교통류 시뮬레이션 평가 등의 요소들을 종합적으로 분석하여 관제구역 및 섹터의 운영 방식을 결정하게 된다.

## 3. 공간정보 분석 기법

히트맵(heatmap)은 공간 데이터의 분포를 가시화하기 위한 방법으로 대상 이미지 위에 열분포 형태로 데이터를 표시하여 값의 분포를 직관적으로 보여주는 것이 특징이며, 대상 영역의 이미지와 중첩하여 출력하는 것이 일반적이다. 공간 데이터의 히트맵을 생성하기 위해서는 먼저 대상 영역을 일정 크기의 격자로 구분하고, 대상 데이터 중 각 격자에 포함되는 데이터 값을 누적한다. 누적된 데이터의 크기에 따라 값이 큰

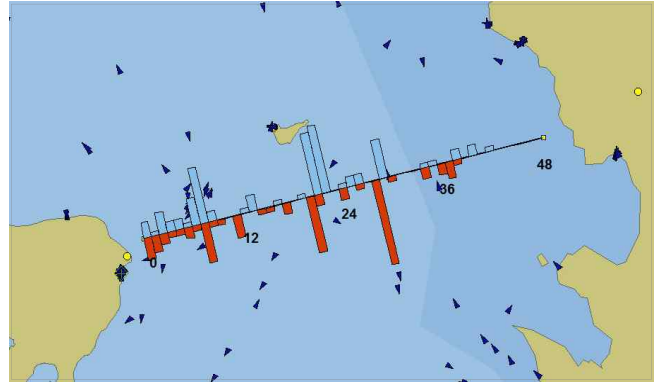


Fig. 1 Maritime risk analysis using IWRAP(IALA)

영역은 붉은색, 상대적으로 값이 작은 영역은 푸른색으로 분류하고, 지도 데이터와 함께 중첩하여 분석 작업을 수행한다. Fig. 2는 서울 지역에서 특정 기간 동안 유동인구 분포를 히트맵과 등치선의 형태로 표시한 예이다. 이처럼 히트맵은 위치적 공간 특성을 가지는 교통 데이터를 가시화하는데 매우 적합한 방법이며, 교통량 및 교통밀도 분석 등에 활용되고 있다(Vatin et al., 2013).

한편, 중심점 분석 기법은 공간 데이터의 전체적인 경향을 파악하는데 효율적인 분석 방법이며, 주로 대상 지역의 인구 분포를 분석하기 위해 사용된다. 중심점은 포인터 데이터 집합의 무게 중심점이며, 식 (1)과 같이 각 포인트 데이터의 가중 평균값으로 정의한다.

$$Centroid(x,y) = \left( \frac{\sum_{i=1}^m w_i x_i}{\sum_{i=1}^m w_i}, \frac{\sum_{i=1}^m w_i y_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \right) \quad (1)$$

여기서,  $w_i$ 는 *weight of each data*

이러한 인구 중심점 모델은 인구의 공간적 분포 상태로부터 인구 집중 경향 및 이동 궤도, 방향 등 시간에 따른 변동 추이를 거시적으로 파악하는데 활용된다(Park et al., 2008).

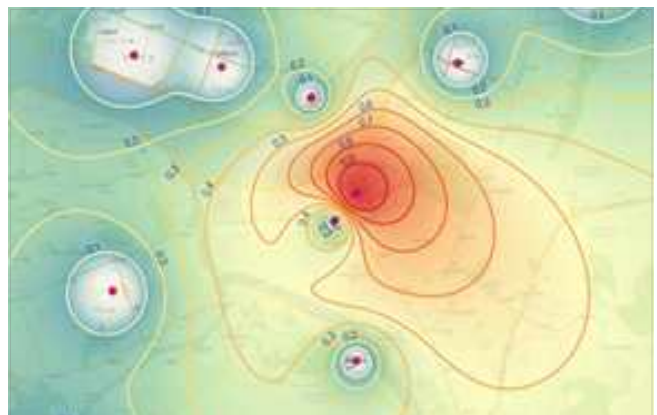


Fig. 2 Example of heatmap using floating population data

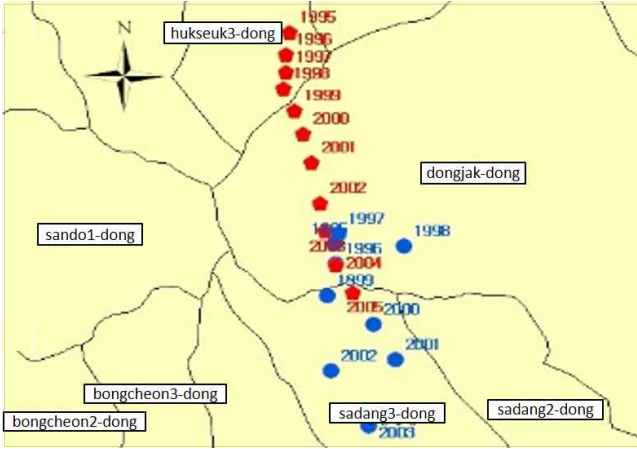


Fig. 3 Example of population centroid analysis in seoul metropolitan area

Fig. 3은 수도권 지역의 인구 중심점 변화를 나타내며, 이를 통해 교통, 주거, 고용 등의 사회 현상과 인구 이동간의 관계를 분석하고 향후 이동 추세를 예측하기도 한다.

#### 4. 공간정보 분석 기법 적용

##### 4.1 실험 개요

본 절에서는 히트맵과 중심점 기법을 이용한 통행패턴 분석 사례를 기술한다. 실험 대상항만은 목포항이며, 시간대에 따른 교통 밀도 및 중심점 이동 분석을 수행하고, 그 결과를 고찰한다. 시간대는 Table 1과 같이 3시간 단위의 총 8개의 구간으로 구분하였다.

Table 1 Time index of experiment

index	time (hh:mm:ss)	index	time (hh:mm:ss)
T0	00:00:00 - 02:59:59	T4	12:00:00 - 14:59:59
T1	03:00:00 - 05:59:59	T5	15:00:00 - 17:59:59
T2	06:00:00 - 08:59:59	T6	18:00:00 - 20:59:59
T3	09:00:00 - 11:59:59	T7	21:00:00 - 23:59:59

실험 항목은 교통 밀도 분석, 교통 중심점 분석, 교통 분포 분석으로 구성되며, 각 시간대별로 실험을 수행하였다. Table 2는 실험 항목의 세부사항이다.

Table 2 Items of experiment

item	details
traffic density	<ul style="list-style-type: none"> <li>generate heatmap by time</li> <li>analysis traffic density</li> </ul>
traffic centroid	<ul style="list-style-type: none"> <li>extract centroid by time</li> <li>analysis traffic centroid movement</li> </ul>
traffic distribution	<ul style="list-style-type: none"> <li>analysis traffic distribution by time</li> </ul>



Fig. 4 Experimental coverage area in Mokpo harbor

##### 4.2 실험 대상항만의 특징

목포항은 남항, 북항, 신항으로 구성되며, 연간 132만 톤의 하역능력을 가진 무역항이다. Fig. 4와 같이 관제구역 내에는 총 11개의 부두가 설치되어 있으며, 항계 내 10개의 정박지가 운영되고 있다. 주위에는 다수의 산업 단지가 연결되어 있고, 여러 도서 지역을 연결하는 연안 여객 터미널이 운영되고 있어서 화물선, 여객선, 어선, 레저선박 등 다양한 선종이 혼재하는 특징을 가진다(Mokpo Regional Office of Ocean and Fisheries, 2018). 또한, 주위 도서 구간을 통항하는 항로가 많아 협수로 구간이 많고, 불법 어망 및 양식장이 산재해 있기 때문에 항해에 특별한 주의가 필요하다. 이에 항내에 VTS 센터가 설치되어 운영 중이며, 최근에는 가사도에서 사하도 구간의 입출항 항로를 포함하도록 관제범위를 확대하여 현재 총 3개의 관제섹터가 운영되고 있다(Jong et al., 2005).

##### 4.3 분석 데이터 구성

실험에는 목포 VTS 센터에서 6개월 동안(2017년 7월부터 12월까지) 수집된 항적 데이터를 사용하였으며, 실험 범위는 목포 VTS 센터의 1 관제섹터와 2 관제섹터를 포함하는 영역으로 설정하였다. 수집된 항적 데이터는 AIS 데이터와 RADAR 물표 데이터로 구성되며, AIS 선박정보와 RADAR 물표간의 연결 정보를 포함하고 있다. 본 실험에서는 이를 이용하여 항적 데이터의 중복 제거 작업을 수행한 후, 앞서 정의한 시간대 별로 데이터를 구분하였다. 그 후, 시간대 별로 구분된 데이터 중 2 백만 건의 데이터를 무작위로 선별하였고, 8개의 시간대에 대해 총 1천 6백만 건의 항적 데이터가 포함된 데이터 세트를 생성하였다.

각각의 항적 데이터는 선박의 위도, 경도, 침로, 속도로 구성된다. 선박의 위치 정보는 위도와 경도로 표현되며, 단위는 도(degree)이다. 또한, 선박의 침로 정보는 북쪽을 기준으로 0°에서 360° 사이의 방위 값으로 표현되며, 선박의 속도 정보는 대지속도(SOG, Speed Of Ground)를 사용하고, 단위는 노

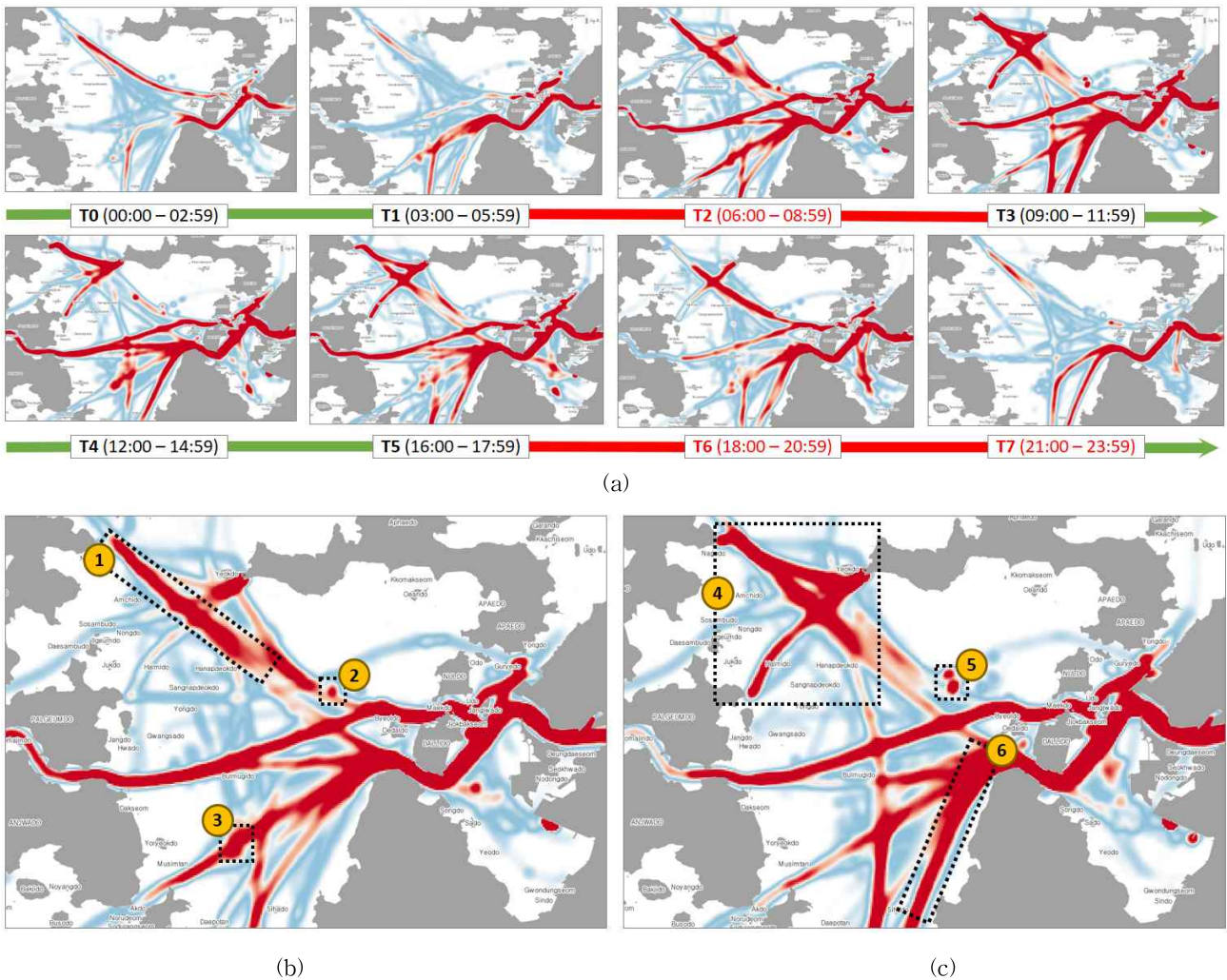


Fig. 5 Results of traffic density analysis; (a) variation of traffic density in time, (b) heatmap of  $T_2$ , (c) heatmap of  $T_3$

트(knot)이다. 또한, 각 데이터 항목은 콤마(,)로 구분하여 텍스트 파일 형태로 저장하였다.

#### 4.4 교통 밀도 분석

시간대 별로 생성된 항적 데이터 세트를 바탕으로 히트맵을 생성하였으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다. 히트맵에는 항적 데이터의 밀도가 상대적으로 높은 부분이 붉은색으로 표시되며, 이를 통해 항적 분포의 밀도를 한눈에 파악할 수 있다. Fig. 5의 (a)와 같이 히트맵을 통해 밀집도의 변동이 있는 시간대를 쉽게 식별할 수 있으며, 본 절에서는 이 중 뚜렷한 변화가 있는  $T_2$ ,  $T_3$  시간대의 히트맵 정보를 이용하여 다음과 같이 교통 밀도 분석을 수행하였다.  $T_2$  시간대는 06시부터 09시까지이며, Fig. 5의 (b)에서와 같이 목포항의 북서쪽에 위치한 송공항과 신석항 방향으로의 항로에 밀집도가 증가한 것으로 나타났다(①번 영역). 해당 항적의 세부 정보를 분석한 결과, 어선과 여객선, 화물선 등 다양한 선종이 분포하며, 입항과 출항의 비율도 비슷하였다. 이는 일과시간의 시작과 함

계 어선 및 여객선의 통행량이 증가한 것으로 판단된다. 한편, 불무기도 남단의 묘박지 영역의 교통 밀도 변화도 식별되었다(③번 영역).  $T_3$  시간대는 09시부터 12시까지이며, Fig. 5의 (c)와 같은 교통 밀도를 보였다.  $T_2$  시간대에 이어서 목포항의 북서쪽에 위치한 주위 도서들을 연결하는 항로의 통행량이 증가하였으며, 특히, 송공-팔금도 간 교통 밀도 변화가 뚜렷하였다(④번 영역). 한편, 불무기도 근처 해상의 항로 교차 영역의 밀집도가 증가하였으며, 화원반도 해안을 따라 이동하는 선박의 이동이 많아짐을 알 수 있었다(⑥번 영역). 또한, Fig. 5의 (b), (c)에서 No. 10 묘박지의 밀도가 지속적으로 증가하는 추세를 보였다(②번, ⑤번 영역). 이처럼 교통 밀집도가 높은 영역은 충돌사고가 발생할 가능성이 크다고 판단할 수 있으며, 특히 급격하게 밀집도가 증가하는 경우는 해당 시간대와 해당 영역에 특별한 관제 주의가 필요할 것으로 생각된다. 또한, 묘박지 영역의 시간대별 교통 밀도 정보는 묘박지 운영에 참고가 될 수 있으며, 이를 통해 항만의 운영 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

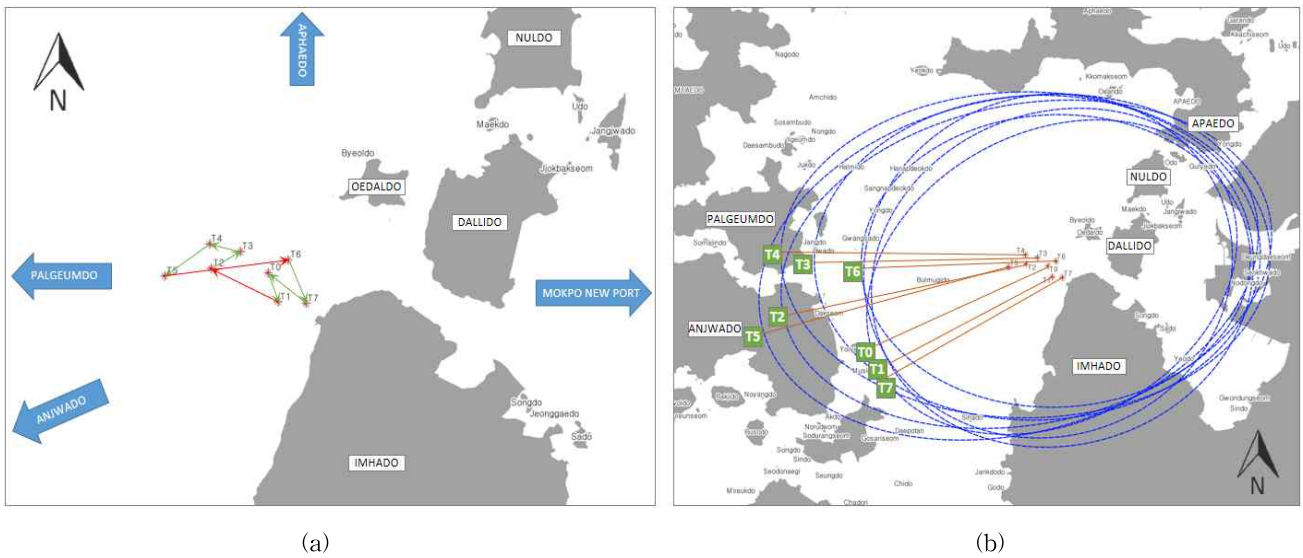


Fig. 6 Result of centroid analysis; (a) centroid of traffic density, (b) distribution of traffic density

#### 4.5 교통 분포 중심점 분석

본 논문에서 교통 분포 중심점은 항적 데이터의 무게 중심점을 의미하며, 속도값(SOG)을 중심점 계산의 가중치로 사용하였다. 교통 분포 중심점은 시간에 따라 Fig. 6의 (a)와 같이 임하도 부근에서 이동하였으며, 이를 통해 시간에 따른 교통 패턴의 추이를 분석할 수 있다. 각 시간대의 중심점은 Table 3의 A 와 같으며, B 항목은 시간에 따른 중심점의 이동 거리를 나타낸다. 실험 결과, T1-T2, T5-T6 구간에서 중심점 이동이 큰 것으로 나타났으며, 각각 북서쪽, 동쪽으로 교통 분포 중심점이 이동한 것을 알 수 있었다. 이렇게 중심점

이동이 큰 구간은 유의미한 통행패턴의 변화가 있음을 시사하며, 이에 따라 해당 구간에서 해상교통관제를 위한 차별한 주의가 필요하다고 판단할 수 있다.

또한, Fig. 6의 (b)와 같이 항적 데이터의 표준편차타원(SDE, Standard Deviation Ellipse)을 통해 데이터의 분포 특성을 파악할 수 있다. 표준편차타원은 2차원 공간 데이터의 분포를 각 차원의 표준편차를 이용하여 타원 형태로 표현하는 방법으로 분포의 방향성과 분포 범위를 추정하는데 활용이 가능하다(Shi et al., 2018). 본 실험에서의 표준편차타원의 장축 표준편차와 기울기 값은 Table 3의 C, D 항목과 같으며, T2, T3, T4, T5 시간대의 표준편차가 상대적으로 크게 나타났고, 해당 시간대의 교통 분포가 동-서 방향으로 넓어짐을 알 수 있었다. 이러한 결과는 관제구역 및 관제섹터를 설정하는데 기초자료로 활용될 수 있으며, 관제사의 특별한 주의가 필요한 시간대와 구역을 설정하는데 참고가 될 수 있다.

Table 3 Details of traffic density centroid

	A <sup>1)</sup>	B <sup>2)</sup>	C <sup>3)</sup>	D <sup>4)</sup>
T0	34.7651187N, 126.2772472E	785	0.086	79.2
T1	34.7602312N, 126.2790191E	485	0.089	66.6
T2	34.7658150N, 126.2671813E	<b>1,120</b>	<b>0.115</b>	80.0
T3	34.7686652N, 126.2722996E	546	<b>0.103</b>	88.5
T4	34.7699032N, 126.2668209E	524	<b>0.113</b>	90.0
T5	34.7645472N, 126.2589354E	889	<b>0.117</b>	78.4
T6	34.7672604N, 126.2808171E	<b>2,055</b>	0.090	88.6
T7	34.7599724N, 126.2839121E	738	0.089	77.3

1) A : centroid position, (latitude, longitude), [degree]  
 2) B : variation of centroid position, [m]  
 3) C : major axis of standard deviation ellipse  
 4) D : orientation angle of standard deviation ellipse, [m]

## 5. 결 론

본 논문에서는 공간정보 분석 기법인 히트맵과 중심점 기법을 소개하고, 목표항의 적용 사례를 통해 해상교통 분석 방법으로서의 적용 가능성을 검토하였다. 중심점 기법은 데이터의 중심점 정보를 통해 공간적 분포 상태를 분석하고, 시간에 따른 변동 추이를 거시적으로 파악할 수 있는 특징이 있어서 항적 데이터의 시계열 분석에 매우 적합한 분석 방법이다.

또한, 실제 목표항에서 수집된 항적 데이터를 적용한 실험에서는 히트맵과 중심점 이동 분석을 통해 다양한 분석 결과들을 도출할 수 있었으며, 이는 관제구역 및 섹터 설정을 위한 정량적인 지표로 활용될 수도 있을 것이다.

본 논문에서는 항적 데이터를 3시간 단위로 구분하고, 교통

밀도와 중심점 이동을 분석하였다. 그러나 입출항이 많은 교통 혼잡 시간대의 경우, 여러 통항패턴이 동시에 발생하기 때문에 이를 구분하기 어려운 문제점이 있었으며, 이를 해결하기 위해 통항량에 따라 시간대를 세분화하는 방법을 적용할 수 있을 것이다. 특히, 어선의 경우 운항 시기에 따라 매우 다른 통항패턴을 가지고 있으며, 이에 항적 데이터를 선종별, 계절별, 월별, 연간으로 구분하여 교통 밀도와 중심점 이동을 분석하는 것도 큰 의미가 있을 것으로 사료된다. 또한, 항적 데이터에 포함되어 있는 정박 선박에 대한 필터링 방법을 통해 분석 결과의 신뢰도를 향상 시킬 수도 있을 것이다.

본 실험에는 6개월간의 항적 데이터만을 사용했기 때문에 분석 결과 중 일부는 통항패턴으로 일반화하기에 다소 무리가 있을 수 있으며, 보다 오랜 기간의 데이터를 적용한다면 이러한 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 관점에서 해상교통 데이터의 확보는 매우 중요한 이슈이며, 특히 VTS 센터에서 수집되는 관제 정보는 빅데이터로서 큰 의미를 가진다고 할 수 있다. 이에 다양한 형태의 관제 정보들을 체계적으로 관리할 수 있는 관제 빅데이터 시스템이 필수적이며, 이를 바탕으로 다양한 연구개발이 진행되어 향후 해양사고 방지에 기여할 수 있기를 기대한다.

## 후 기

본 연구는 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소의 주요연구사업 “해양사고 분석 및 재현 시뮬레이션 핵심기술 개발 - 2단계(2/3)[PES9350]”의 연구결과 중 일부를 밝힌다.

## References

[1] IALA(2017a), “The Use of IALA Waterway Risk Assessment Program (IWRAP MKII)”, IALA Guideline G1123, Edition 1.0

[2] IALA(2017b), “The Use of Ports and Waterways Safety Assessment (PAWSA) MKII Tool”, IALA Guideline 1124, Edition 1.0

[3] Jong, J. Y., Kim, C. S. and Park, S. H.(2005), “A Study on Proposal of the Improved Marine Traffic System in the Mokpo Harbor”, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 11, No. 2, pp. 1-8.

[4] Kim, K. I., Park, G. K. and Jeong, J. S.(2011), “Analysis of marine accident probability in Mokpo waterways”, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 35, No. 9, pp. 729-733.

[5] Lee, H. H. and Kim, C. S.(2013), “Evaluation on Risk at the Port of Mokpo and its Approaches based on Relative Importance of Risk Factors for Marine Traffic Environment”, Journal of the Korean Society of Marine

Environment and Safety, Vol. 19, No. 4, pp. 375-381.

[6] Mokpo Regional Office of Oceans and Fisheries(2018), Port information, <http://mokpo.mof.go.kr>

[7] Park, J., Chang, H. and Kim, J. S.(2008). “Spatial association of population concentration in Seoul Metropolitan Area”, Journal of The Korean Society of Civil Engineers, Vol. 28, No. 3D, pp. 391-397.

[8] Park, Y. S., Park, S. W. and Cho, I. S.(2015), “A Basic Study on Prediction Module Development of Collision Risk based on Ship’s Operator’s Consciousness”, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 39, No. 3, pp. 199-207.

[9] Park, Y. S., Chio, K. Y. and Park, S. W.(2012), “A Basic Study on Proper Straight Route Distance under Marine Bridge using ES Model”, Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 24, No. 2, pp. 133-139.

[10] Shi, Y., Matsunaga, T., Yamaguchi, Y., Li, Z., Gu, X. and Chen, X.(2018), “Long-term trends and spatial patterns of satellite-retrieved PM 2.5 concentrations in South and Southeast Asia from 1999 to 2014”, Science of The Total Environment, Vol. 615, pp. 177-186.

[11] Vatin, G. and Napoli, A.(2013), “Guiding the controller in geovisual analytics to improve maritime surveillance”. In GEOProcessing 2013: the Fifth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services, pp. 26-31.

Received 27 September 2018

Revised 17 October 2018

Accepted 17 October 2018