

해양사고 신속대응을 위한  $k$ -평균 군집화 기반 경비함정 최적배치

유상록\* · 정초영\*\*†

\* 해양경찰청 완도해상교통관제센터, \*\* 군산대학교 해양산업·운송과학기술학부

Optimal Arrangement of Patrol Ships based on  $k$ -Means Clustering  
for Quick Response of Marine Accidents

Sang-Lok Yoo\* · Cho-Young Jung\*\*†

\* Wando Vessel Traffic Services, Korea Coast Guard, Wando 59126, Korea

\*\* Division of Marine Industry - Transportation Science and Technology, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

**요약** : 현 경비 함정의 위치는 해양사고 위치와의 접근성이 떨어져 있어 합리적이고 과학적인 기준이 아닌 주관적인 판단으로 배치되어 있다. 이에 본 연구에서는 과거 해양사고 데이터를 기반으로 정량적으로 최적의 경비 함정 배치 위치를 도출하고자 한다. 연구 해역은 포항 연안을 대상으로 하였다. 본 연구에서는  $k$ -평균 군집화 알고리즘으로 경비 함정의 배치 위치를 도출한 후, 보로노이 다이어그램으로 각 경비 함정 간 경비 구역을 구획하였다. 연구 결과, 해양사고 1건당 경비 함정의 평균 항해 거리는 4.4해리, 평균 도착 시간은 13.2분이 개선될 수 있었다. 경비 함정을 유동적으로 배치 수를 달리해야 할 경우 본 연구에서 적용한 기법을 활용하여 최적 배치가 가능하며, 신속한 구조 지원 체계가 더욱 확보될 것으로 판단된다.

**핵심용어** :  $k$ -평균 군집화, 보로노이 다이어그램, 경비 함정, 최적 배치, 해양사고

**Abstract** : The position of existing patrol ships has been decided according to subjective judgments, not purely by any reasonable or scientific criteria, because of a lack of access to marine accident positions. In this study, the optimal location of patrol ships is quantitatively determined based on historical marine accident data. The study area used included the coastal sea of Pohang in South Korea. In this study, a  $k$ -means clustering algorithm was used to derive the location of patrol ships, and then a Voronoi diagram was used to divide the region around each patrol ship. As a result, the average navigation distance for patrol ships was improved by 4.4 nautical miles, and the average arrival time was improved by 13.2 minutes per marine accident. Moreover, if the locations of patrol ships need to be changed flexibly, it will be possible to optimally arrange limited resources using the technique developed in this study to ensure a fast rescue.

**Key Words** :  $k$ -means clustering, Voronoi diagram, Patrol ship, Optimal location, Marine accident

## 1. 서론

해양사고 발생 시 시간이 경과할수록 조난자나 조난 선박을 구조 및 발견할 가능성이 급격히 낮아지므로 경비 함정이 신속하게 현장에 도착하는 것은 중요하다(Jang et al., 2003; Cooper, 2005; Jung, 2017). 해양사고에 대비하여 한정된 자원인 경비 함정을 평상시 관할 구역 내에서 어디에 배치하느냐에 따라 항해 거리 단축으로 인적, 물적 피해를 최소화 할

수 있다.

그동안 경비 함정 배치는 별도의 이론적 기반 없이 접근이 용이하거나 선박 교통량이 많은 곳에 배치하여 왔다. 경비 함정간 경비 구역 설정과 배치 위치는 과학적이고 합리적 기준에 근거해야 한다.

구급차, 순찰차 등과 같이 공급자가 찾아가는 공급자 중심의 공공서비스는 출동의 기동성, 효율성 등이 중시되며(Kim et al., 2007), 이러한 최적 배치를 도출하기 위해 많은 연구들이 지리정보체계(Geographic Information system) 기반으로 수행되어왔다(Lee, 1999; Oh et al., 2012; Kim and Lim, 2013; Kim et al., 2013; Yeon et al., 2014; Jeong et al., 2017).

\* First Author : yoosangrok82@naver.com, 061-555-2550

† Corresponding Author : wjdchdud@kunsan.ac.kr, 063-469-1815

반면 해상에서의 경비 함정 배치에 관한 연구는 많지 않다. Jang et al.(2003)은 우리나라 전 해역을 180개 소구역으로 나누어 구조선의 대응 시간과 해양사고 등을 고려한 최적 배치 모델을 구축하였으며, 구조선의 예상 소요 척수를 도출하였다. 하지만, 배치된 경비 함정간 경비 구역을 구획화하지 못한 한계가 있다.

따라서 본 연구는 관할 구역에 배치된 경비 함정 수에 따른 최적 배치 위치를 정량적으로 산출하고 각 경비 함정별로 경비 구역을 구획하고자 한다. 또한, 상황에 따라 경비 함정을 유동적으로 증감 배치할 수 있는 상황을 고려하여 각 경비 함정 수에 따른 최적 배치 위치 도출과 경비 구역을 구획하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 해양사고 데이터를 기반으로 한정된 자원인 경비 함정을 치안 수요가 많은 해역에 전진 배치시키기 위해 인공지능, 패턴인식 등 분야에 활용되고 있는 군집화(clustering) 이론을 적용하였다. 또한, 경비 함정 간 경비 구역을 구획하기 위해 기하학 분야에 사용하고 있는 보로노이 다이어그램(voronoi diagram)을 이용하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구 설계

#### 1) 연구 대상

해양사고 발생 위치에 따라 육상에 대기 중인 경비 함정이 경비 중인 함정보다 먼저 사고 해역에 도착하여 해양사고를 처리할 수도 있지만, 출동 소집 및 실제 출동까지 소요되는 시간 등을 고려하여 해당구역 근처를 경비 중인 경비 함정이 해양사고 현장으로 이동하여 사건을 처리하는 것이 일반적이다. 그리고 헬기를 이용하여 환자 이송 및 인명 구조도 가능하지만, 경비 중인 함정 역시 해양사고 사건 처리를 위해 현장으로 이동하므로 평상시 경비 함정에 할당된 경비 구역과 배치 위치를 설정하는 것이 중요하다. 이에 본 연구에서는 현 경비 함정을 대상으로 최적 위치를 도출하고자 한다.

#### 2) 연구 범위

본 연구에서는 평상시 경비 중인 경비 함정 대기 위치에서 해양사고 현장까지 섬이나 어장 등의 장애물로 우회하지 않고 항해 가능한 포항 연근해 해역으로 선정하였다. 포항항 인근 호미곶은 어망이 산재하여 통항 선박의 안전성을 저해하는 위험 요소가 되고 있으며(Song et al., 2005), 강한 파랑 유입 시 운항 선박들의 보침성을 유지하기 어려운 해역이어서 해양사고가 빈번히 발생하는 해역으로 알려져 있다(Park, 2011). 포항항 정박지 또한 기상 악화 시 외력의 직

접적인 영향을 받는 취약한 외해 개방형이므로 해양사고가 빈번히 발생하는 해역이다(Kim and Gug, 2015). 특히 2015년에는 포항 연근해는 전국에서 선박 충돌 사고가 가장 많이 발생하여 경비 함정의 신속한 대응이 요구되는 해역이다(MPSS, 2016).

본 연구 범위는 포항 연근해의 우리나라 영해와 배타적 경제수역 등을 포함한 해역으로 Fig. 1과 같이 포항해양경찰서 관할 구역을 참고하여 설정하였다(KCG, 2017). 세부적인 위치는 위도 35° 39.0' ~ 37° 8.4' N, 경도 129° 21.6' ~ 133° 0.0' E 해역으로 연구 대상 면적은 약 46,247 km<sup>2</sup> 이다.

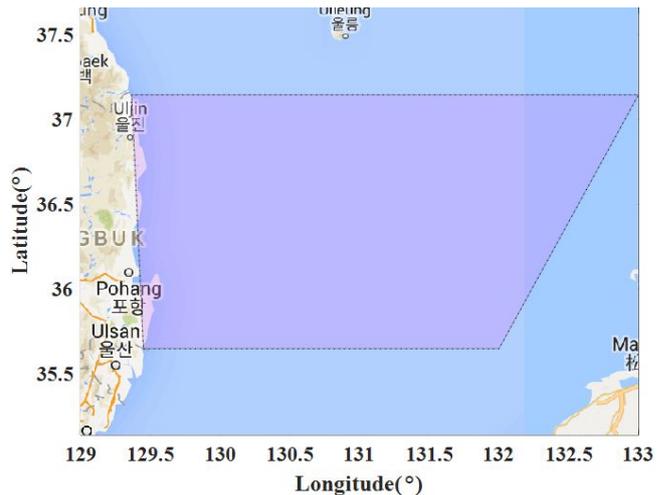


Fig. 1. Study area.

#### 3) 연구 자료

1997년부터 2016년까지 20년간의 해양안전심판원 재결서를 기반으로 해양사고(기관손상, 인명사상, 전복, 좌초, 충돌, 폭발, 화재 등) 위치를 수집하였다(KMST, 2017).

#### 4) 연구 설계

경비 함정 운용은 풍랑특보 발효 등으로 소형 함정 운항이 불가할 때 중·대형 함정에 할당된 경비 구역이 평소보다 더 넓어질 수도 있다. 우리나라 풍랑특보의 분포 특성을 분석한 연구 결과에 의하면, 앞바다와 먼바다 모두 동해남부 해역에서 풍랑특보 일수가 가장 많은 것으로 나타났고, 남해와 서해 해역에는 상대적으로 적은 것으로 분석되었다. 특히 본 연구 해역인 동해남부 앞바다와 먼바다는 12월 한 달 동안 연평균 풍랑특보 일수가 각각 13일과 16일로 나타나 기상 악화시 경비 중인 중·대형 함정으로만 운용해야 할 경우가 많다(Seol, 2017).

반면, 치안 수요에 따라 경비 함정이 증감 배치되어 각 경비 함정에 할당된 경비 구역이 더 작아질 수도 있다. 경비

함정은 과거 2003년 151척에서 2016년 기준 185척으로 34척이 증가되었으며, 향후에도 지속 증강 배치될 예정이다.

이에 따라 본 연구에서는 풍랑특보 발효로 소형 함정 운항 불가에 따른 경비 중인 중·대형 함정만으로 경비 구역을 할당해야 할 경우부터 현재 경비 함정 수보다 증강 배치될 상황까지 가정하여 최적 배치 위치 도출과 경비 구역을 구획하였다.

## 2.2 $k$ -평균 군집화 개념

군집화(clustering)는 유사한 개체들끼리 묶는 통계적 방법으로 인공지능, 패턴인식 등 여러 분야에 활용되고 있다.  $k$ -평균 군집화( $k$ -means clustering) 알고리즘은 가장 일반적으로 사용되는 분할 군집화 알고리즘이다(MacQueen, 1967; Lloyd, 1982).  $k$ -평균 군집화 절차는 Fig. 2와 같다. 먼저 임의의  $k$ 개 군집수를 결정하고 각 군집들의 초기 기준점(centroid)을 설정한다. 각 해양사고 위치 데이터에 대하여  $k$ 개의 기준점까지 거리를 구하고, 이 중 거리가 가장 가까운 기준점을 갖는 군집으로 해양사고 데이터를 할당한다. 이렇게 새롭게 구한 군집 기준점 위치가 수렴할 때까지 반복한다.

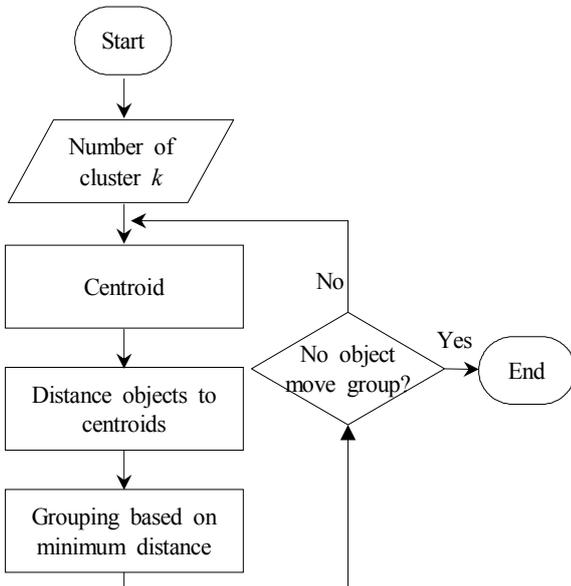


Fig. 2. Procedure of  $k$ -means clustering.

$k$ -평균 군집화는 해양사고 데이터를  $k$ 개의 군집  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ 으로 분할한다. 군집 크기  $k$ 는 연구 해역에 배치할 경비 함정 수를 의미하고,  $i$ 번째 해양사고 군집  $S_i$ 의 위치 평균값이 경비 함정의 배치 위치이다.  $k$ -평균 군집화의 목표는 식 (1)과 같이  $i$ 번째 군집의 기준점  $p_i$  (위도  $p_i^{lat}$ , 경도  $p_i^{lon}$ )에서  $i$ 번째 군집으로 할당된  $j$ 번째 해양사고

위치  $q_j$  (위도  $q_j^{lat}$ , 경도  $q_j^{lon}$ )까지의 항해 거리인  $\overline{p_i q_j}$  합을 구하고, 모든  $k$ 개 군집의 누적 항해 거리를 최소로 하는 집합  $S$ 를 찾는 것이다.

$$D = \underset{s}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^k \sum_{j \in S_i} \overline{p_i q_j} \quad (1)$$

본 연구에서는 항해 거리  $\overline{p_i q_j}$ 를 산출하기 위해 하버사인(haversine)과 구면 코사인법칙(Spherical law of cosines) 이론에 따른 식(2)를 적용하였다(Sinnott, 1984).

$$\overline{p_i q_j} = R \arccos \{ \sin(p_i^{lat}) \sin(q_j^{lat}) + \cos(p_i^{lat}) \cos(q_j^{lat}) \cos(p_i^{lon} - q_j^{lon}) \} \quad (2)$$

여기서,  $R$ 은 지구의 반지름을 의미하며 3440.064해리를 적용하였다.

## 2.3 보로노이 다이어그램 개념

보로노이 다이어그램은 지리, 의학, 로봇 경로 계획, 이미지 처리, 공간 점유율 해결 등의 여러 기하학 분야에 많이 사용되는 효율적인 지역 분할 방법이다(Suzuki and Drezner, 1996; Ohsawa and Imai, 1997; Okabe and Suzuki, 1997; Ahn et al., 2004).

보로노이 다이어그램은 각 기준점이 하나만 포함되도록 전체 영역을 분할하고자 할 때,  $k$ -평균 군집화 알고리즘으로 도출한 기준점들로부터 동일한 거리에 있는 점들의 집합이다. 한 평면 위에 있는 기준점  $k$ 개의 집합을  $p = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ 이라고 할 때, 기준점  $p_m$ 의 보로노이 다각형  $V(p_m)$ 은 식(3)과 같이 정의된다.

$$V(p_m) = \{p \mid \|p - p_m\| \leq \|p - p_n\| \} \quad \forall n \neq m, n \in \{1, 2, \dots, k\} \quad (3)$$

즉, 분할된 영역의 임의의 점이 다른 영역의 기준점까지 유클리드 거리보다도 자신이 속한 영역의 기준점까지 유클리드 거리가 항상 짧게 분할하는 방식이다. 각 기준점 두 점을 연결하는 수직선 사이의 이등분선을 긋고, 이 이등분선들의 교차점에 의해 둘러싸인 영역이 각 경비 함정들의 경비 구역이다.

## 3. 해양사고 조사 및 현 경비 함정 위치 분석

### 3.1 해양사고 조사

1997년부터 2016년까지 최근 20년간의 해양안전심판원 재

결서를 분석한 결과, 본 연구 해역의 해양사고는 총 210건이 발생하였다. Table 1은 연구 해역의 해양사고를 종류별로 분류한 것으로 충돌이 104건으로 가장 많았으며, 선원 부상 및 사망 관련 사고는 23건, 화재 22건 등 순으로 나타났다. Fig. 3은 총 210건의 해양사고 위치를 표기한 것이다. 해양사고는 전반적으로 외해보다는 해안 쪽에 상대적으로 많이 분포하는 것을 알 수 있다.

Table 1. Status of marine accidents in Pohang coastal seas

Type	Number of marine accidents
collision	104
grounding	15
capsized	10
sinking	8
distress	3
casualty	23
engine trouble	16
fire	22
explosion	3
others	6
Total	210

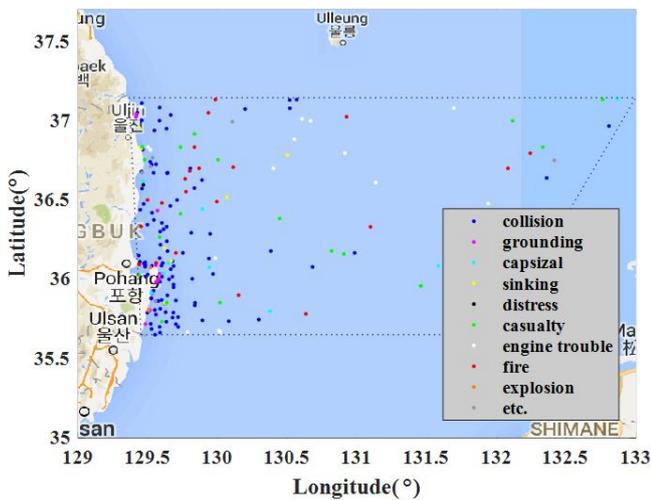


Fig. 3. Location of marine accidents.

### 3.2 현 경비 함정 위치 분석

일반적으로 경비 함정의 경비 구역은 연안, 내해, 광역 구역으로 세분화하여 운용한다. 연안 구역은 항포구를 포함한 해안에서 약 10해리 해역에 100톤급 미만 소형 함정을 배치하고, 내해 구역은 연안 구역 외측에서 약 30해리에 200~1,000톤급 미만 중형 함정을 배치하며, 광역 구역은 내해 구역 외측에서부터 배타적 경제수역에 1,000톤급 이상 대형 함정을 배치하고 있다(MMU, 2003; Park, 2003; KMU, 2010). 본 연구 해역에는 현재 연안 구역 3척, 내해 구역 1척,

광역 구역 1척 등 총 5척의 경비 함정이 배치되어 있다.

경비 함정은 해양사고 발생에 대비하여 각 할당된 경비 구역에서 종횡으로 서행하며 표류 대기 하므로 실제 해양사고 신고 접수 당시 경비 함정이 어디에 위치하고 있었는지 데이터를 확보하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 현재 각 경비 함정에 할당된 경비 구역의 무게중심인 경위도 ( $C^{lon}, C^{lat}$ )를 평상시 대기 위치로 가정하였다. 할당된 경비 구역 다각형 꼭짓점  $x$ 의  $t$ 번째 경위도를  $x_t^{lon}, x_t^{lat}$  라고 할 때, 식(4)를 이용하여 경비 함정의 대기 위치를 산출하였다 (Al-Shatnawi and Omar, 2009).

$$C^{lon} = \frac{1}{6A} \sum_{t=0}^{n-1} (x_t^{lon} x_{t+1}^{lon}) (x_t^{lon} x_{t+1}^{lat} - x_{t+1}^{lon} x_t^{lat})$$

$$C^{lat} = \frac{1}{6A} \sum_{t=0}^{n-1} (x_t^{lat} x_{t+1}^{lat}) (x_t^{lon} x_{t+1}^{lat} - x_{t+1}^{lon} x_t^{lat}) \quad (4)$$

여기서,  $A = \frac{1}{2} \sum_{t=0}^{n-1} (x_t^{lon} x_{t+1}^{lat} - x_{t+1}^{lon} x_t^{lat})$

Fig. 4는 현 경비 함정에 할당된 경비 구역과 대기 위치를 표기한 것이다. 해양사고는 경비 구역별로 연안 구역은 빨강, 파랑, 초록, 내해 구역은 자주, 광역 구역은 청록색으로 나타냈으며, 기준점은 검정색 'x'로 표기하였다.

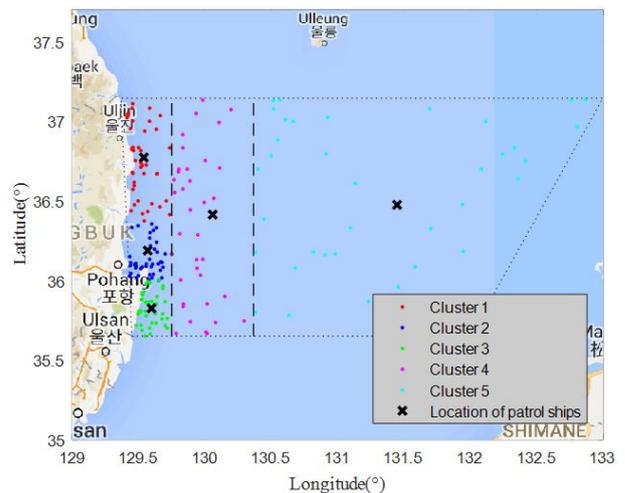


Fig. 4. Assignment area and allocation location of present patrol ships.

## 4. 연구 결과 및 고찰

### 4.1 현 경비 함정 수에 따른 최적 배치

본 연구에서 적용한  $k$ -평균 군집화로 도출한 기준점과 현

## 해양사고 신속대응을 위한 $k$ -평균 군집화 기반 경비함정 최적배치

경비 함정의 대기 위치에서의 해양사고까지의 누적 항해 거리를 비교하였다.  $k$ 는 현 연구 해역에 평상시 배치되어 경비 중인 5척을 적용하였다.

Fig. 5는  $k$ -평균 군집화 결과를 도식화한 것이다. 각 군집에 따라 색깔을 달리 나타냈다. 각 배치된 경비 함정별 할당된 경비 구역을 알 수 없으므로 보로노이 다이어그램을 이용하여 Fig. 6과 같이 각 경비 구역을 검정색 점선으로 구획하여 표기하였다.

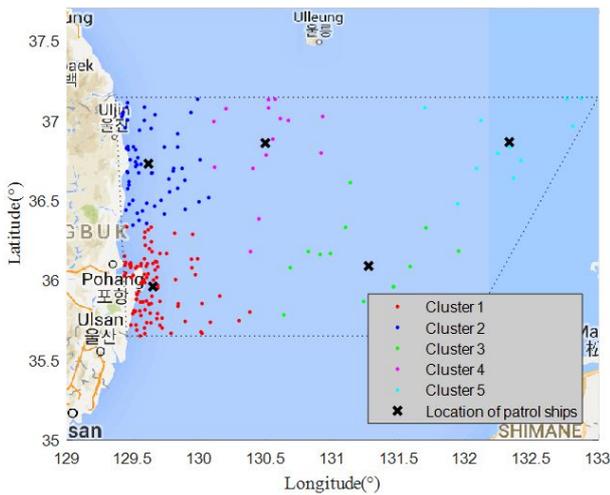


Fig. 5. Clustering of marine accidents and allocation location of patrol ships using  $k$ -means clustering.

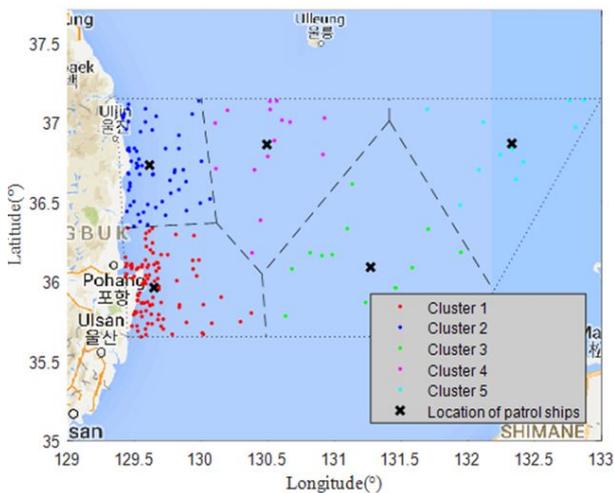


Fig. 6. Assignment area according to patrol ship using voronoi diagram.

Table 2는  $k$ -평균 군집화로 도출한 경비 함정 기준점과 평상시 대기 위치로부터 해양사고까지의 누적 항해 거리를 나타낸 것이다. 누적 항해 거리를 비교한 결과  $k$ -평균 군집화

로 도출한 기준점이 평상시 대기 위치 보다 922.1해리 더 짧은 것으로 나타났다. 이는 현재 광역 구역에 경비중인 함정에 할당된 구역이 광범위하기 때문에 누적 항해 거리가 긴 것으로 판단된다. 따라서  $k$ -평균 군집화로 도출한 기준점이 평상시 대기 위치에 비하여 해양사고 1건당 평균 항해 거리 약 4.4해리, 평균 도착 시간은 약 13.2분이 개선되는 것으로 분석되었다.

Table 2. Accumulated navigation distance

	Accumulated navigation distance
From optimal location using $k$ -means clustering to marine accidents	8764.9 NM
From present location to marine accidents	9687.0 NM

현재 경비 함정 5척 가운데 연안 구역인 Fig. 4의 군집 1, 2, 3구역에 3척의 소형 함정을 배치하고 있는데, 본 연구에서 도출한 Fig. 6의 군집 1, 2구역에는 기존과 동일한 소형 함정을 배치하더라도, 동해남부 해역의 기상 특성상 잦은 풍랑특보 발효를 고려하여 군집 3, 4, 5구역에는 200톤급 이상의 중·대형 함정으로 운용해야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 4.2 경비 함정 수에 따른 최적 배치

기상 악화시 현 경비 중인 중·대형 함정 2척만으로 운용해야 할 경우와 이에 육상에 대기 중인 중·대형 함정 1척씩이 증강된 3척, 4척으로 경비 구역을 구획할 경우를 가정하였다. 또한, 기존 경비 함정 수 5척에 소·중·대형 함정이 각 1척씩이 증강된 총 8척까지 배치된 상황을 가정하여 경비 함정 수에 따른 최적 배치 위치를 도출하였다.

Table 3은 적용한  $k$  수에 따른 각 경비 함정의 최적 배치 위치를 나타낸 것이며, Fig. 7은 군집화 결과를 도식화한 것이다. 수요가 많은 위치 즉, 해양사고가 빈번히 발생하는 해안에 경비 함정이 상대적으로 진진 배치된 양상을 볼 수 있다. 이 중 경비 함정 한 척은 사고가 잦은 호미곶 해안으로부터 5해리 부근에 배치되는 것을 알 수 있다. 이 지역은 어망이 산재하고, 강한 북동향 파랑으로 해양사고가 빈번히 발생하는 지역으로 알려져 있어, 적절한 배치가 된 것으로 판단된다.

한편, 외해에 설정된 경비 구역 면적은 해안에 설정된 면적보다 상대적으로 더 넓은 것을 알 수 있다. 이는 해양사고가 전반적으로 외해보다는 해안 쪽에 상대적으로 많이 발생하여 치안 수요가 많은 해역에 경비 함정을 진진 배치한 결과로 판단된다.

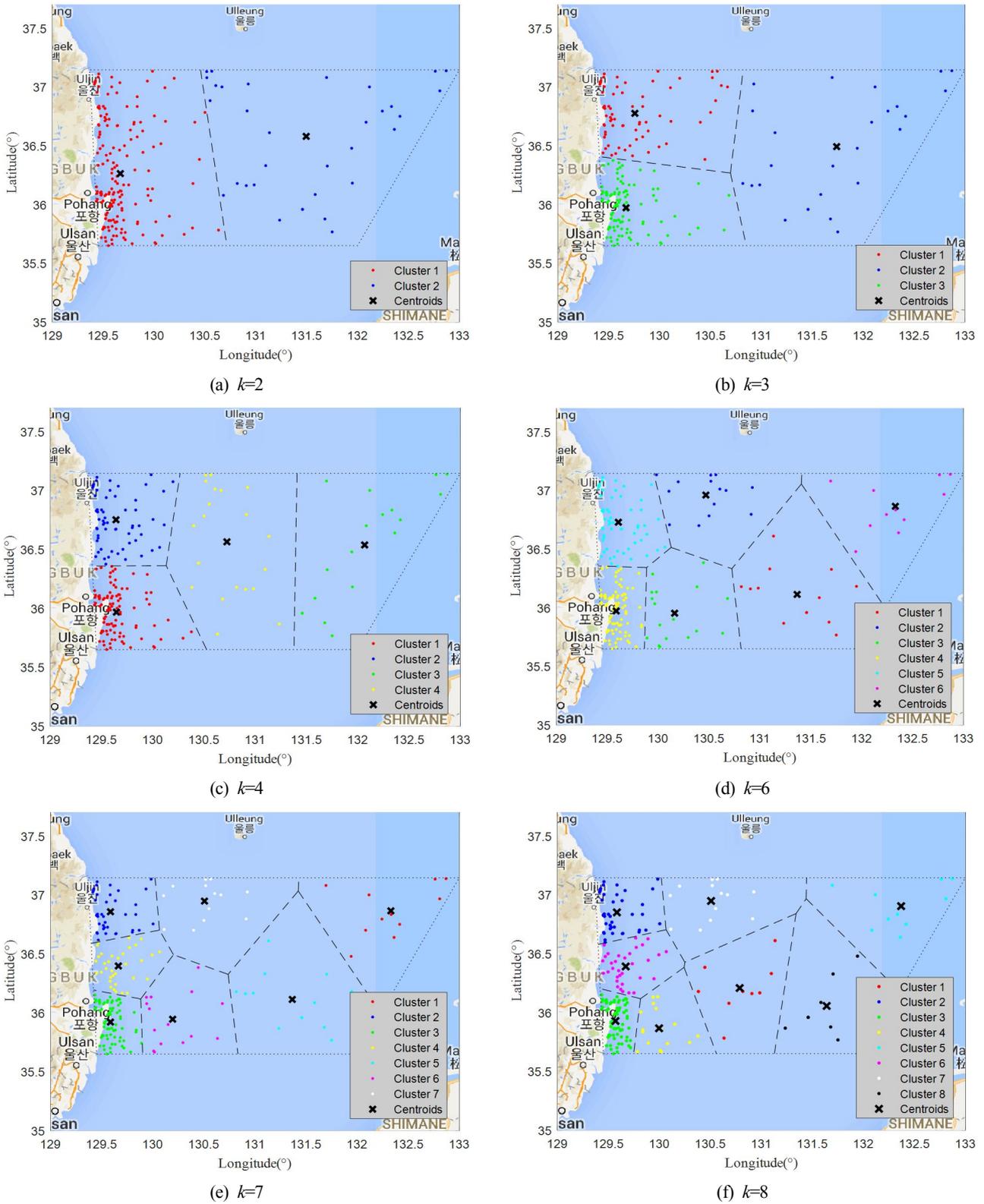


Fig. 7. Assignment area and centroids by number of cluster  $k$ .

Table 3. Location of centroid by cluster  $k$

$k$	Location of centroid
$k=2$	36° 15.8' N 129° 40.1' E, 36° 34.8' N 131° 29.7' E
$k=3$	36° 29.5' N 131° 44.4' E, 36° 46.5' N 129° 45.4' E 35° 58.3' N 129° 40.2' E -
$k=4$	35° 58.0' N 129° 38.7' E, 36° 32.2' N 132° 4.0' E 36° 45.1' N 129° 38.5' E, 36° 33.8' N 130° 43.4' E 36° 51.5' N 130° 29.6' E, 36° 5.3' N 131° 16.3' E
$k=5$	36° 43.7' N 129° 36.8' E, 35° 57.6' N 129° 38.8' E 36° 51.9' N 132° 19.8' E - 36° 43.7' N 129° 36.5' E, 36° 6.8' N 131° 21.9' E
$k=6$	36° 51.9' N 132° 19.8' E, 36° 57.7' N 130° 28.1' E 35° 57.2' N 130° 9.7' E, 35° 58.3' N 129° 35.2' E 36° 23.5' N 129° 40.1' E, 36° 54.4' N 130° 30.1' E
$k=7$	36° 51.9' N 132° 19.8' E, 35° 55.4' N 129° 34.9' E 36° 54.1' N 129° 35.0' E, 36° 6.8' N 131° 21.9' E 35° 54.1' N 130° 9.4' E - 36° 51.0' N 129° 35.0' E, 36° 56.8' N 130° 30.4' E
$k=8$	36° 23.5' N 129° 40.1' E, 36° 12.5' N 130° 47.2' E 36° 54.2' N 132° 22.1' E, 35° 52.0' N 129° 59.8' E 35° 55.7' N 129° 34.1' E, 36° 3.3' N 131° 38.3' E

## 5. 결론

해양사고 발생 시 신속한 구조 지원이 뒤따른다면 인명 피해를 줄일 수 있기 때문에 한정된 자원인 경비 함정을 관할 구역 내에서 평상시 어디에 배치해야 하는지 중요하다. 본 연구에서는 포항 연근해를 대상으로  $k$ -평균 군집화를 적용하여 배치할 경비 함정 수에 따른 최적 배치 위치를 도출하였다.

연구 결과,  $k$ -평균 군집화로 도출한 경비 함정 기준점이 현재 대기 위치 보다 누적 항해 거리가 922.1해리 더 짧은 것으로 나타났다. 해양사고 1건당 평균 항해 거리는 4.4해리, 평균 도착 시간은 13.2분이 개선될 수 있음을 확인하였다.

또한, 풍랑특보 발효 등으로 소형 함정 운용 불가에 따른 중·대형 함정만으로 경비 구역을 할당해야 할 경우와 치안 수요 증가에 따라 경비 함정을 기존 보다 증강 배치할 상황을 가정하여  $k$ -평균 군집화를 적용하였다. 분석 결과, 경비 함정 한 척은 사고가 잦은 호미곶 해안으로부터 5해리 부근에 배치되는 것을 확인하였다.

본 연구는 해양안전심판원 재결서만을 대상으로 분석하였기 때문에 중국 어선 검색이나 응급 환자 이송 등 다양한 사건을 반영하지 못한 한계가 있다. 이에 따른 경비 함정의 배치 위치는 다소 달라질 수는 있으나 본 연구에서 적용한 기법으로 최적 배치가 가능하여 신속히 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

한편 섬과 암초 등을 우회 항해해야하는 서남해권 해역에서는 정확한 항해 거리 산출에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한, 경비 함정 크기에 따른 감항 능력을 고려한 최적 배치 연구도 함께 병행되어야 할 것으로 판단된다.

## Reference

- [1] Ahn, H. K., S. W. Cheng, O. Cheong, M. Golin and R. Van Oostrum(2004), Competitive Facility Location: the Voronoi Game, Theoretical Computer Science, Vol. 310, pp. 457-467.
- [2] Al-Shatnawi, A. M. and K. Omar(2009), Skew Detection and Correction Technique for Arabic Document Images based on Centre of Gravity, Journal of Computer Science, Vol. 5, No. 5, pp. 363-368.
- [3] Cooper, D. C.(2005), Fundamentals of Search and Rescue, National Association for Search and Rescue Incorporated, Jones and Bartlett Publishers, pp. 1-341.
- [4] Jang, W. J., J. S. Keum and C. H. Shin(2003), A Study on the Optimal Allocation Model of the Korean Maritime SAR Fleet, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 27, No. 2, pp. 121-127.
- [5] Jeong, Y. H., H. N. Jeong and J. H. Ko(2017), Optimal Decisions on the Quantity and Locations of Ambulances for the Timely Response to Emergency Requests, Journal of Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 3, pp. 137-143.
- [6] Jung, C. Y.(2017), A Study on the Estimation of the Arrival Time of the Rescue Ship for Maritime Safety, Mokpo National Maritime University, Ph.D thesis, pp. 1-152.
- [7] KCG(2017), Enforcement Regulations of Korea Coast Guard and the Affiliated Organization, Korea Coast Guard.
- [8] Kim, H. J. and H. B. Lim(2013), Location Efficiency and Optimal Location of Police Boxes and Police Station Branches for Crime Prevention, Journal of the Korean Regional Science Association, Vol. 29, No. 2, pp. 85-104.
- [9] Kim, J. R. and S. G. Gug(2015), Study on Anchored Safety Improvements for Open Sea Anchorage - Focused on Pohang Port, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 39, No. 3, pp. 233-239.
- [10] Kim, J. W., J. H. Kang, E. Y. Lee and Y. J. Kang(2007), Study on the Service Area Determination of the Public Facilities Applying Voronoi Diagrams-Case Study of the Fire Services in Gangnam-Gu, Seoul, Journal of Korea Spatial Information Society, Vol. 15, No. 3, pp. 203-218.
- [11] Kim, M. H., H. S. Kim, D. K. Kim and C. W. Lee(2013),

- Optimal Location of Expressway Patrol Vehicle Stations using Maximum Covering and Weighted P-center Problems, The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 12, No. 1, pp. 43-50.
- [12] KMST(2017), Korea Maritime Safety Tribunal, Verdict, <http://www.mpss.go.kr/> (accessed 10<sup>th</sup> June. 2017).
- [13] KMU(2010), Research Report on the Advancement of Ocean Weather Information Service, Research Report, Korea Maritime University, Chapter 4, pp. 39-40.
- [14] Lee, S. H.(1999), A Study on Location of the Public Facilities, Pusan National University, Master thesis, pp. 1-61.
- [15] Lloyd, S.(1982), Least Squares Quantization in PCM, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 28, No. 2, pp. 129-137.
- [16] MacQueen, J.(1967), Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Vol. 1, No. 14, pp. 281-297.
- [17] MMU(2003), Research Report on Optimal Patrol Ship Operation Plan, Mokpo Maritime University, pp. 7-9.
- [18] MPSS(2016), 2015 Statistical Yearbook of Marine distress accidents, Ministry of Public Safety and Security, p. 68.
- [19] Oh, C. S., S. W. Lee, I. M. Lee and S. Y. Kho(2012), A Spatial Analysis about Arrival Delay and Dispatch Distribution of the 119 Rescue-aid Service Utilizing GIS - Gyeongsangbuk-do Case Study, Journal of The Korean Society of Civil Engineers, Vol. 32, No. 1, pp. 13-22
- [20] Ohsawa, Y. and A. Imai(1997), Degree of Locational Freedom in a Single Facility Euclidean Minimax Location Model, Location Science, Vol. 5, pp. 29-45.
- [21] Okabe, A. and A. Suzuki(1997), Locational Optimization Problems solved through Voronoi Diagrams, European Journal of Operational Research, Vol. 98, No. 3, pp. 445-456.
- [22] Park, J. H.(2003), Study on the Improvement of Working Conditions for Crew Members on Naval Vessels : Focus on Fatigue Reduction for the National Maritime Police Agency, Mokpo University, Master thesis, pp. 1-105.
- [23] Park, U. H.(2011), Advanced VTS by Weather Analysis, Proceedings of the Navigation and Port Research, pp. 129-131.
- [24] Seol, D. I.(2017), Distribution Characteristics of High Seas Watch and Warning in Korea, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 41, No. 3, pp. 103-108.
- [25] Sinnott, R. W.(1984), Virtues of the Haversine, Sky and Telescope, Vol. 68, No. 2. p. 159.
- [26] Song, C. U., Y. S. Lee, Y. S. Park, J. G. Kang, M. Jung and C. H. Jung(2005), A Study on the Traffic Flow and Navigational Characteristics for the Ship's Routing of Po-hang Port, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 29, No. 10, pp. 821-826.
- [27] Suzuki, A. and Z. Drezner(1996), The P-center Location Problem in an Area, Location Science, Vol. 4, pp. 69-82.
- [28] Yeon, K. H., H. Y. Hwang and E. D. Hong(2014), An Analysis on 119 Safety Center depending on the Distribution of Fire Occurrence in Chungju-Cheongwon City, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 14, No. 6, pp. 289-296.

---

Received : 2017. 09. 07.

Revised : 2017. 10. 24. (1st)

: 2017. 11. 29. (2nd)

Accepted : 2017. 12. 28.