

볼록 껍질 알고리즘을 이용한 등부표 위치패턴 최적화 기간 연구

최원진* · 문범식** · 송재욱*** · † 김영진

*한국해양대학교 박사후연구원, **한국해양대학교 연구원, ***한국해양대학교 해사융합학부 교수, † 해양수산부 사무관

A Study on the Optimization Period of Light Buoy Location Patterns Using the Convex Hull Algorithm

Wonjin Choi* · Beom-Sik Moon** · Chae-Uk Song*** · † Young-Jin Kim

*Postdoctoral Researcher, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

**Researcher, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

***Professor, Division of Navigation Convergence Studies, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

† Deputy Director, Aids to Navigation Division, Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong-City 30110, Korea

요 약 : 등부표는 해상에 부유하는 구조물로, 해양 기상 등 외력에 의해 표류하여 위치가 고정되어 있지 않고 이동하므로 등부표의 유실 또는 위치 이탈을 감시하는 것이 필요하다. 이에 해양수산부는 등부표의 과거 위치 데이터를 기반으로 등부표별 위치패턴을 분석하여 등부표의 위치 이탈에 대한 경보를 제공하고자 한다. 하지만, 매 2년 주기로 실시되는 인양점검에 의해 등부표의 위치패턴이 변화하므로, 인양점검 후 새로운 위치패턴을 분석하여 위치를 감시하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 볼록 껍질 알고리즘과 거리 기반 군집 알고리즘을 사용하여 다양한 기간 동안의 등부표 위치 데이터를 분석하였다. 또한, 등부표의 정확한 위치패턴 인식을 위한 최적의 데이터 수집 기간을 식별하였다. 연구 결과, 안정적인 위치패턴을 확립하는 최적의 데이터 수집기간은 9주이며, 위치 데이터의 약 89.8%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 위치패턴 기반 등부표 관리 기능을 향상하는 데 활용될 수 있으며, 효과적인 모니터링과 등부표 위치 이탈 여부의 조기 감지에 기여할 것으로 기대한다.

핵심용어 : 등부표, 인양점검, 위치패턴 분석, 볼록 껍질 알고리즘, 거리 기반 군집 알고리즘

Abstract : The light buoy, a floating structure at sea, is prone to drifting due to external factors such as oceanic weather. This makes it imperative to monitor for any loss or displacement of buoys. In order to address this issue, the Ministry of Oceans and Fisheries aims to issue alerts for buoy displacement by analyzing historical buoy position data to detect patterns. However, periodic lifting inspections, which are conducted every two years, disrupt the buoy's location pattern. As a result, new patterns need to be analyzed after each inspection for location monitoring. In this study, buoy position data from various periods were analyzed using convex hull and distance-based clustering algorithms. In addition, the optimal data collection period was identified in order to accurately recognize buoy location patterns. The findings suggest that a nine-week data collection period established stable location patterns, explaining approximately 89.8% of the variance in location data. These results can improve the management of light buoys based on location patterns and aid in the effective monitoring and early detection of buoy displacement.

Key words : light buoy, lifting inspection, location pattern analysis, convex hull algorithm, distance-based clustering algorithm

1. 서 론

항로표지는 등화, 형태, 색상, 소리, 전파 등을 사용하여 선박의 위치, 방향 및 장애물의 위치를 안내하여 해상교통의 안전을 도모하고 선박 운항의 능력을 향상하는 데 도움을 주는 항해 보조 장치를 의미한다(MOF, 2023). 대부분의 항로표지는 육상 또는 해상에 고정되어 운영되지만, 등부표는 침추를 해저에 고정시켜 물 위에 띄우는 구조물로 항로 주변

등의 해상에 정치되어 있다. 이러한 위치적 특성 때문에 등부표는 바람, 조류, 파고 등 해양 기상 에 의해 표류하면서 위치가 자주 변하게 되며, 기상 악화나 강한 조류, 선박과의 충돌로 인해 최대 이출 위치를 벗어나는 사고(항로표지 사고)가 발생하기도 한다(Moon et al., 2020).

지난 23년간(2000-2022년) 발생한 총 4,227건의 항로표지 사고 중 기상 악화, 선박 충돌, 조류 등으로 인한 등부표 사고는 691건으로 전체의 약 16.3%를 차지했으며, 이 중 약

† Corresponding author, ds3kgu@korea.kr 044)200-5877

* 종신회원, choenjeen@g.kmou.ac.kr

** 종신회원, tigerfood@hanmail.net

*** 종신회원, songcu@kmou.ac.kr

62.3%(433건)가 등부표의 유실, 침몰 또는 위치 이탈로 나타났다. 항로표지 사고가 발생할 경우, 통항 선박의 항해자가 기존 항로표지를 제대로 식별하지 못하여 해양 사고의 원인이 될 수 있으므로, 등부표의 위치 이탈 여부에 대한 감시가 필요하다(Moon et al., 2022; Moon et al., 2023a).

이를 위해 해양수산부는 항로표지 관리운영시스템을 운영하고 있다. 항로표지 관리운영시스템은 등부표 등에 AtoN AIS(Aids to Navigation Automatic Identification System) 또는 RTU(Remote Terminal Unit)를 설치하여, 항로표지의 상태정보를 24시간 원격으로 감시할 수 있고, 등부표의 경우에는 실시간 위치정보를 이용하여 등부표의 위치 및 중심에서 이동한 거리 등을 통해 등부표의 위치 이탈 여부를 확인할 수 있다.

이에, 해양수산부는 2021년부터 등부표의 위치를 이용한 등부표 위치기반 서비스를 개발하고 있다. 등부표 위치기반 서비스는 AtoN AIS 또는 RTU가 설치된 등부표의 위치 데이터를 실시간으로 전시할 수 있다. 또한 등부표로부터 수집된 과거 위치 데이터를 통해 등부표의 위치패턴을 학습함으로써 등부표 위치 이탈 경보를 제공하고자 한다. 하지만, 등부표는 매 2년 주기(3년 이내)로 인양점검을 실시하기 때문에, 인양점검 후 재설치 시 외력 등의 영향으로 인해 이격거리가 발생하거나 위치패턴의 변화가 발생할 수 있다. 실제로, 2년간(2021-2022년) 등부표의 위치 데이터를 이용해 인양점검 전후의 위치패턴 변화를 분석한 결과, 인양점검 후 위치패턴의 변화가 발생하는 것으로 나타났으며, 이를 보완하기 위한 모델 개발의 필요성을 제기하였다(Moon et al., 2023b).

이와 같이 등부표 인양점검 후에는 침추의 미세한 위치 차이, 등부표에 작용하는 외력의 변화 등으로 인양점검 전과 다른 위치패턴을 보일 수 있다. 따라서, 인양점검 후에는 등부표의 위치 데이터를 새로 수집하고, 이를 기반으로 새로운 위치패턴을 분석할 필요가 있다. 데이터 수집 기간이 너무 짧으면, 분석된 위치패턴이 데이터의 특성을 제대로 포함하지 못하는 과소적합(underfitting)이 발생할 수 있으며, 반대로 데이터 수집 기간이 지나치게 길어지면 과대적합(overfitting)이 발생하여 실제 등부표의 이출거리보다 범위가 더 넓은 위치패턴을 제공할 수 있다. 따라서, 적절한 데이터 수집기간을 설정하여 등부표의 위치패턴을 정확하게 분석하는 것이 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 등부표 인양점검 후의 위치패턴을 분석하는 방안을 제안하고, 등부표의 정확한 위치패턴 인식을 위한 최적의 데이터 수집기간을 제시하여 항로표지 관리자에게 효율적인 등부표 관리와 신속한 이상감지를 가능하게 하고자 한다.

이를 위해 2년간(2021-2022년) AtoN AIS 또는 RTU를 통해 수집된 등부표의 위치 데이터 중 해당 기간 내 인양점검이 수행된 데이터만을 분석하였다. 전체 데이터 중 시간, 위치 등 오류가 존재하는 데이터를 제외한 후, 인양점검 전후

로 구분하여 위치 데이터를 표시하였다. 이를 통해 등부표 인양점검 후 위치패턴을 분석하고 데이터 수집기간별 위치패턴 변화를 확인하였다.

2. 등부표 관리 및 인양점검

2.1 등부표 관리

우리나라 전 해역에 운영되는 항로표지 중 국유표지는 2023년 말 기준 3,491기이며, 이 중 등부표는 856기로 전체의 약 24.5%를 차지하고 있다. 등부표는 항해 중인 선박에게 암초나 얕은 수심 등 장애물의 위치를 알려거나 항로를 안내하기 위해 해저에 고정시켜 물 위에 띄우는 구조물로, 빛을 발산하는 역할을 한다. 따라서 침추의 위치가 등부표의 중심이 되며, 고시되는 등부표의 위치는 침추의 정착지점을 의미한다(MOF, 2021a).

일반적으로 등부표는 침추와 부표 구조물을 체인으로 연결하는 부유식 등부표를 의미한다. 등부표의 표체(Buoy)는 침추(Sinker)와 체인에 의해 연결되어 있으므로 바람, 파도, 조류 등 외력에 의해 이출거리가 발생하며, 회전 반경이 만들어진다(Lee et al., 2020).

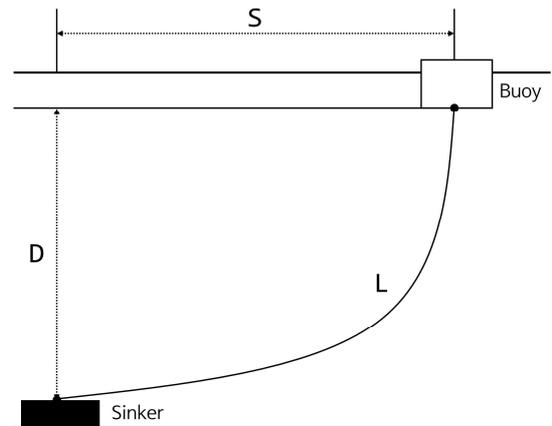


Fig. 1 Conceptual Diagram of Separation Distance of Floating Lighted Buoy

Fig. 1은 등부표의 이출거리를 설명하는 그림이다. 여기서, L 은 등부표의 체인 길이(m), D 는 계산기준 수심(m), S 는 등부표의 이출거리(m)를 의미한다. 등부표의 이출거리는 동일 형식의 등부표일지라도 등부표가 설치된 지점의 수심, 외력 등에 따라 다르게 나타날 수 있다. 등부표의 체인 길이는 등부표의 종류, 수심, 체인의 수중중량 등을 고려하여 식(1)과 같이 계산되며, 등부표의 이출거리는 일반적으로 식(2)와 같이 계산되지만, 근사적으로 식(3)을 사용할 수도 있다(MOF, 2017).

$$L = \sqrt{D^2 + (2T_0/P)D} \quad (1)$$

$$S = \int dx = \frac{T_0}{P} \sinh^{-1}\left(\frac{PL}{T_0}\right) \quad (2)$$

$$S = \sqrt{L^2 - D^2} \quad (3)$$

여기서, T_0 는 앵커 지점에서 체인의 수평방향 장력성분(kgf), P 는 체인의 수중중량(kgf/m)이다.

등부표는 외력의 영향으로 최대 이월거리 내에서 수시로 위치가 변하며 기상악화, 선박추돌, 조류 등의 요인으로 인한 유실, 위치 이탈 등의 사고가 발생할 수 있다. 해양수산부는 원격으로 등부표를 관리하기 위해 항로표지 관리운영시스템을 2015년부터 운영하고 있다. 항로표지 관리운영시스템은 13개 지방청별로 구축되었던 항로표지 집약관리시스템을 연계·통합한 것으로 항로표지에 AtoN AIS, RTU 등을 설치하고 VHF(Very High Frequency), TRS(Trunked Radio System), CDMA(Code Division Multiple Access) 등의 통신망을 이용하여 항로표지 기능을 감시 및 제어하는 시스템이다. 이를 통해 등명기 점·소등, 축전지 전압, 태양전지 전압, 등명기 전류 및 표지 위치(이탈거리) 등 항로표지 상태정보를 실시간으로 원격감시 및 제어할 수 있다(MOF, 2015).

항로표지 집약관리시스템에서는 등부표 총 856기 중 258기(AtoN AIS 52기, RTU 206기, 2023년 말 기준)를 실시간으로 감시하고, 등부표의 위치 이탈 여부를 확인할 수 있다. 다만, 등부표 이탈범위는 각 지방청별 확인 결과 관리자의 주관적 판단(경험)에 의해 결정되고 있다.

해양수산부는 효율적인 등부표 관리와 등부표 이탈에 대한 객관적 판단을 지원하기 위한 목적으로 2021년부터 ‘등부표 위치기반 정보 서비스’를 개발하고 있다. 등부표 위치기반 정보 서비스는 과거 위치 데이터(2018년-2021년)를 이용하여 등부표별 이격위치, 분포도, 이월거리 등을 분석하며, 이를 기반으로 안전, 주의, 위험 등 등부표의 위치 이탈에 대한 경보를 제공하는 것이 목적이다.

2.2 등부표 인양점검

해상에 설치한 등부표는 ‘표준형 부표 제작 및 품질관리 기준에 관한 규정’ 제16조(부표의 설치·교체 등)에 따라 2년 주기(3년 이내)로 인양점검을 실시한다(MOF, 2021b). 인양점검은 부표정비선을 이용하여 등부표를 해상에서 인양하여 표체에 붙은 어패류 제거, 표체 도장, 계류구 확인 및 교체 등의 작업을 수행한다. 인양점검이 완료되면, 등부표를 재설치하는데 이때 DGPS를 이용해 등부표의 위치를 측량하여 고시된 좌표 값과 최대한 일치되도록 하고 있다. 등부표 인양점검은 등부표의 위치 기준이 되는 침추를 인양한 후 재설치하기 때문에 외력에 의해 인양 전에 고시된 위치와의 차이가 발생할 수 있다.

인양점검 전후의 위치 차이를 확인하기 위해, 본 연구에서

는 등부표 52기의 인양점검 전후 위치 데이터를 분석하였다. 인양점검 전후 위치패턴의 차이가 확연하게 나타난 등부표는 20기이며, 위치패턴이 유사한 등부표는 32기로 나타났다.

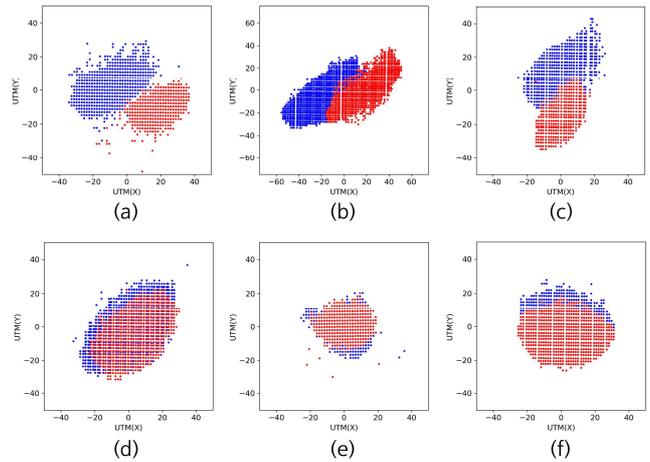


Fig. 2 Floating Lighted Buoy Position Before and After Inspection

Fig. 2는 분석한 등부표 52기 중 6기의 인양점검 전(파란색)과 후(빨간색) 등부표의 위치를 표시한 그래프이다. 왼쪽 위에서부터 시계방향으로 군산항제16호등부표(군산청, a), 대산항장안포A호등부표(대산청, b), 대산항장안포E호등부표(대산청, c), 아산만2호등부표(평택청, f), 마산청, e), 대산항2항로3호등부표(대산청, d)이다.

비교적 파도나 조류 등의 영향을 적게 받는 항만 내측에 설치된 등부표는 인양점검 전후 위치패턴 변화가 드물게 발생한다(Fig. 2의 d, e, f). 반면, 항만 외측에 설치된 등부표의 경우에는 인양점검 전후 위치패턴 변화가 비교적 빈번하게 발생하는 경향을 보인다(Fig. 2의 a, b, c). 항로의 구조나 재설치 시 파도나 조류의 영향으로 인한 침추의 이동 등 여러 변수가 존재하므로, 인양점검에 따른 위치패턴 변화 유무를 단정할 수는 없지만, 위치패턴이 변화할 가능성은 항상 존재한다.

현재 개발 중인 ‘등부표 위치기반 정보 서비스’는 과거 등부표의 위치 데이터를 기반으로 등부표 위치패턴을 식별하며, 이를 통해 등부표의 위치 이탈 여부를 감시한다. 따라서 인양점검 후 등부표 위치를 적절하게 감시하기 위해서는 인양점검 후 새로운 위치패턴을 분석하기 위한 모델이 필요하다.

3. 등부표 위치패턴 분석 기법

등부표의 위치패턴 분석은 수집된 위치 데이터의 이상치를 제거하기 위한 거리 기반 군집 알고리즘(Distance-based Clustering)과 위치패턴을 생성하기 위한 볼록 껍질 알고리즘(Convex hull)을 활용하였다.

3.1 이상치 식별(거리 기반 군집 알고리즘)

등부표에서 전송되는 위치 데이터는 장비에서 발생하는 오차가 존재하며, 다양한 요인으로 인한 오류가 발생한다. 연구결과에 따르면 5년간(2017년-2021년) 수심과 체인의 길이가 확인된 등부표 197기의 위치 데이터를 분석한 결과 전체 데이터 중 약 17.8%의 데이터에 위치 오류가 존재하는 것으로 나타났다(Moon et al., 2022).

본 연구에서는 위치 데이터의 이상치를 제거하기 위해 거리 기반 군집 알고리즘을 이용하였다. 거리 기반 군집 알고리즘은 군집 분석에서 많이 활용되고 있는 DBSCAN (Density-based spatial clustering of application with noise)에 비해 직관적이고 간결하며, 복잡한 파라미터 조정 없이 쉽게 구현할 수 있다는 장점이 있다. 거리 기반 군집 알고리즘은 특정 거리 내에서 충분한 수의 이웃(neighbors)이 존재하는지 확인하는 것으로 Fig. 3과 같이 위치 데이터의 이상치를 식별한다.

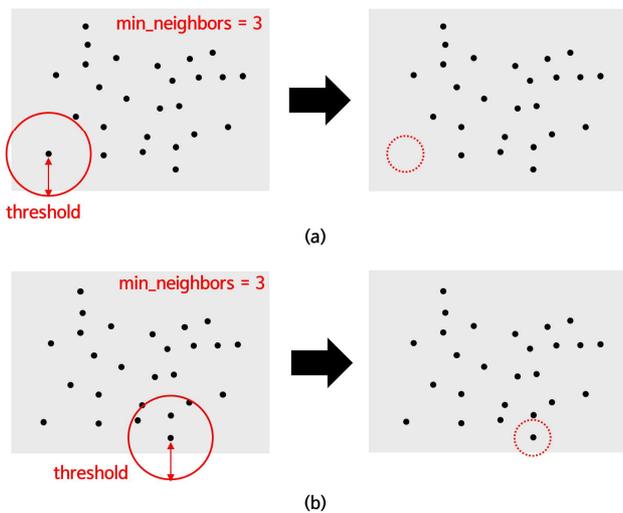


Fig. 3 Outlier Detection Method Using Distance-based Clustering Algorithm

거리 기반 군집 알고리즘을 사용하여 위치 데이터의 이상치를 식별하는 방법은 다음과 같다.

- 1) 위치 데이터 사이의 최소 간격을 고려하여 임계 거리 (threshold) 및 최소 이웃 수(min_neighbors)를 설정한다.
- 2) 모든 위치 데이터 사이의 거리를 계산하고, 설정된 임계 거리 내에 최소 이웃 수 이상의 위치 데이터가 포함되는지 확인한다.
- 3) 설정된 임계 거리 내에 최소 이웃 수 이상의 위치 데이터가 포함되지 않을 경우, 이상치로 판단하여 해당 데이터를 제거한다(Fig. 3의 a).
- 4) 설정된 임계 거리 내에 최소 이웃 수 이상의 위치 데이

터가 포함될 경우, 해당 데이터를 정상 데이터로 간주한다(Fig. 3의 b).

3.2 위치패턴 분석(블록 껍질 알고리즘)

수집한 위치 데이터에서 이상치를 제거한 후, 블록 껍질 알고리즘을 통해 위치패턴을 분석한다. 블록 껍질은 2차원 좌표 평면에 좌표를 가진 모든 점을 포함하는 가장 작은 블록 다각형을 의미한다. 블록 껍질 알고리즘에는 기준점을 정한 후, 다른 점들을 기준점과의 각도에 따라 정렬하여 블록 껍질을 형성하는 Graham Scan, 가장 왼쪽과 오른쪽 점을 잇는 선을 기준으로 선들을 분할하여 재귀적으로 블록 껍질을 찾는 Quickhull, 가장 왼쪽의 한 점을 시작점으로 하여 그 점을 기준으로 반시계 방향으로 가장 각도가 큰 점을 반복해서 찾는 방식으로 블록 껍질을 생성하는 Jarvis march 등이 있다.

본 연구에서는 분할 정복(Divide and Conquer) 방식에 기반을 두고 있어 구현이 비교적 간단하면서도 빠른 실행 속도를 보이는 Quickhull 방법을 사용하였다(Barber et al., 1996).

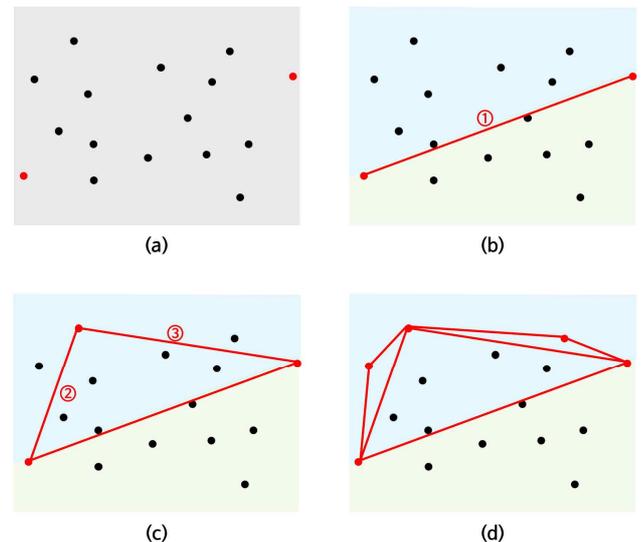


Fig. 4 Method for Computing Convex Hull Using the Quickhull Algorithm

Fig. 4는 Quickhull 알고리즘을 사용하여 블록 껍질을 구하는 절차이며 방법은 다음과 같다.

- 1) 전체 데이터에서 최소 및 최대 x 좌표를 가진 점들을 찾는다. 단, 최소 또는 최대 x 값을 가진 점들이 여러 개 있을 경우, 각각 최소 및 최대 y 값을 가진 점들을 사용한다.
- 2) 1)번에서 찾은 두 점을 잇는 선(1)을 생성한다. 생성된 선에 의해 전체 데이터는 위쪽과 아래쪽 영역으로 구분

된다.

- 3) 먼저, 위쪽 영역부터 블록 꺾질을 생성한다. 위쪽 영역 중 선으로부터 최대 거리를 가진 점을 찾고, 1)번에서 찾은 두 점을 이어 삼각형을 만든다.
- 4) 3)번에서 형성된 삼각형의 두 변(②, ③)에 대해 각 선으로부터 최대 거리를 가진 점을 찾고, 삼각형을 만든다 (3번 단계와 동일). 점이 남지 않을 때까지 반복한다.
- 5) 아래쪽 영역에 대해 3)번과 4)번 단계를 반복하면 전체 데이터에 대한 블록 꺾질이 생성된다.

거리 기반 군집 알고리즘과 블록 꺾질 알고리즘을 적용하면 이상치를 제거한 등부표의 위치 데이터로 가장 작은 블록 다각형을 생성할 수 있게 되므로, 본 연구에서는 등부표의 위치패턴 분석에 적용하였다.

4. 등부표의 위치패턴 분석 및 최적화

위치패턴을 파악하여 등부표의 위치 이탈에 대한 경보를 제공하기 위해서는 적절한 위치 데이터 수집 기간을 설정하는 것이 중요하다. 데이터 수집 기간이 너무 짧을 경우, 정확한 위치패턴을 파악하지 못하여 잘못된 위치 이탈 경보를 제공할 가능성이 높다. 또한 데이터 수집 기간이 너무 길면 위치가 반복되므로 과적합의 위험과 학습 시간 증가를 초래할 수 있다.

Table 1 Status of light buoys to analysis

Regional	AtoN	Position data	Average period
Masan	6	150,489	572 day
Gunsan	4	161,827	285 day
Pyeongtaek	8	1,086,343	433 day
Daesan	2	91,764	220 day
Total	20	1,490,423	423 day

본 연구에서는 인양점검 후 등부표의 위치 데이터를 이용하여 위치 데이터 수집 기간을 최적화하고자 한다. 이를 위해 인양점검 후 6개월 이상 수집된 위치 데이터가 존재하고, 인양점검 전후 위치패턴 변화가 뚜렷한 등부표 20기를 식별하였다. Table 1은 본 연구에서 사용한 등부표의 설치 해역, 위치 데이터 수, 수집 기간을 나타낸 것이다.

각 등부표가 적절한 위치패턴을 생성하는 데 소요되는 기간을 파악하기 위해, 위치패턴 분석 방법 절차에 따라 인양점검 후 1주에서 12주까지의 데이터를 이용하여 블록 다각형을 생성하였다. 이후 각 주차별로 사용된 데이터를 제외한 나머지 위치 데이터가 생성된 블록 다각형 내부에 포함되는 비율을 분석하였다.

Fig. 5는 분석에 사용된 20기의 등부표 중 아산만25호등부표(평택청, Fig. 6의 AtoN 13)의 인양점검 후 주차별 위치패

턴을 분석한 결과이다. 각 주차별 분석된 위치패턴은 빨간색 다각형으로 표시하였으며, 각 주차별로 사용된 데이터를 제외한 나머지 위치 데이터는 점으로 표시하였다. 그래프 오른쪽에 표시된 색상지도(Color-map)와 같이 위치 데이터 중 밀도가 높은 곳은 남색, 밀도가 낮은 위치는 노란색으로 표현하였다.

분석결과, 1주 차에는 생성된 위치패턴 내부에 존재하는 위치 데이터 비율(이하 위치패턴 내부 비율)이 약 52.86%로 나타났으며, 2주 차에는 위치패턴 내부 비율이 약 67.60%로 급격하게 상승하였다. 2주 차부터 9주 차까지는 위치패턴 내부 비율이 점진적으로 증가하여 약 85.82%까지 상승하였으나, 9주차 이후에는 큰 변화를 보이지 않았다.

Fig. 6은 전체 등부표 20기의 주차별 위치패턴 내부 비율을 수치와 색상으로 표현한 히트맵(Heatmap) 그래프이다. 위치패턴 내부 비율이 낮을수록 검은색, 높을수록 흰색으로 표현하였다.

먼저, 1주 차에 위치패턴 내부 비율이 약 10.4%로 가장 낮게 나타난 12번 등부표의 경우, 8주 차에는 약 83.96%까지 증가한 것으로 나타났다. 1주 차에 비교적 위치패턴 내부 비율이 낮았던 4번, 7번, 18번 등부표도 각각 6주, 5주, 9주 차까지 위치패턴 내부 비율이 점진적으로 상승하였다.

3번, 15번, 18번 등부표는 위치패턴 내부 비율 상승 경향이 가장 늦게까지 발생하였으며, 9주 차까지 점진적으로 상승하고 이후에는 큰 변화를 보이지 않는 것으로 나타났다. 또한, 전체 등부표의 평균 위치패턴 내부 비율은 9주 차 데이터를 사용했을 때 약 89.76%의 높은 수치를 나타내었고, 이후 주차가 증가할수록 증가 폭의 변화가 적었다.

1주 차부터 12주 차까지의 데이터를 이용하여 위치패턴을 생성하고, 생성된 위치패턴 내부에 존재하는 나머지 위치 데이터 비율을 분석한 결과, 수집되는 데이터가 많을수록 위치패턴 내부 비율이 증가하였다. 그러나, 10주 차 이상의 데이터를 사용할 경우 위치패턴 내부 비율의 증가폭이 적었고, 이로 인해 반복되는 과적합과 학습 시간 증가 등의 요인이 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 9주 차까지 데이터를 분석하여 등부표의 위치패턴을 설정하는 것이 적합한 것으로 확인되었다.

5. 결 론

등부표는 침추를 해저에 고정하여 물 위에 띄우는 구조물로 위치가 유동적이므로 유실되거나 위치 이탈이 발생할 수 있다. 등부표가 항로표지로서 안정적 기능을 유지하기 위해서는 최대이출거리, 위치패턴 등을 파악하여 위치 이탈 여부를 감시하는 것이 필수적이다. 다만, 등부표는 매 2년을 주기로 인양점검을 실시하기 때문에, 재설치 과정에서 위치패턴의 변화가 발생할 수 있으므로 새로운 위치패턴을 분석하여 적용하는 것이 필요하다.

블록 껍질 알고리즘을 이용한 등부표 위치패턴 최적화 기간 연구

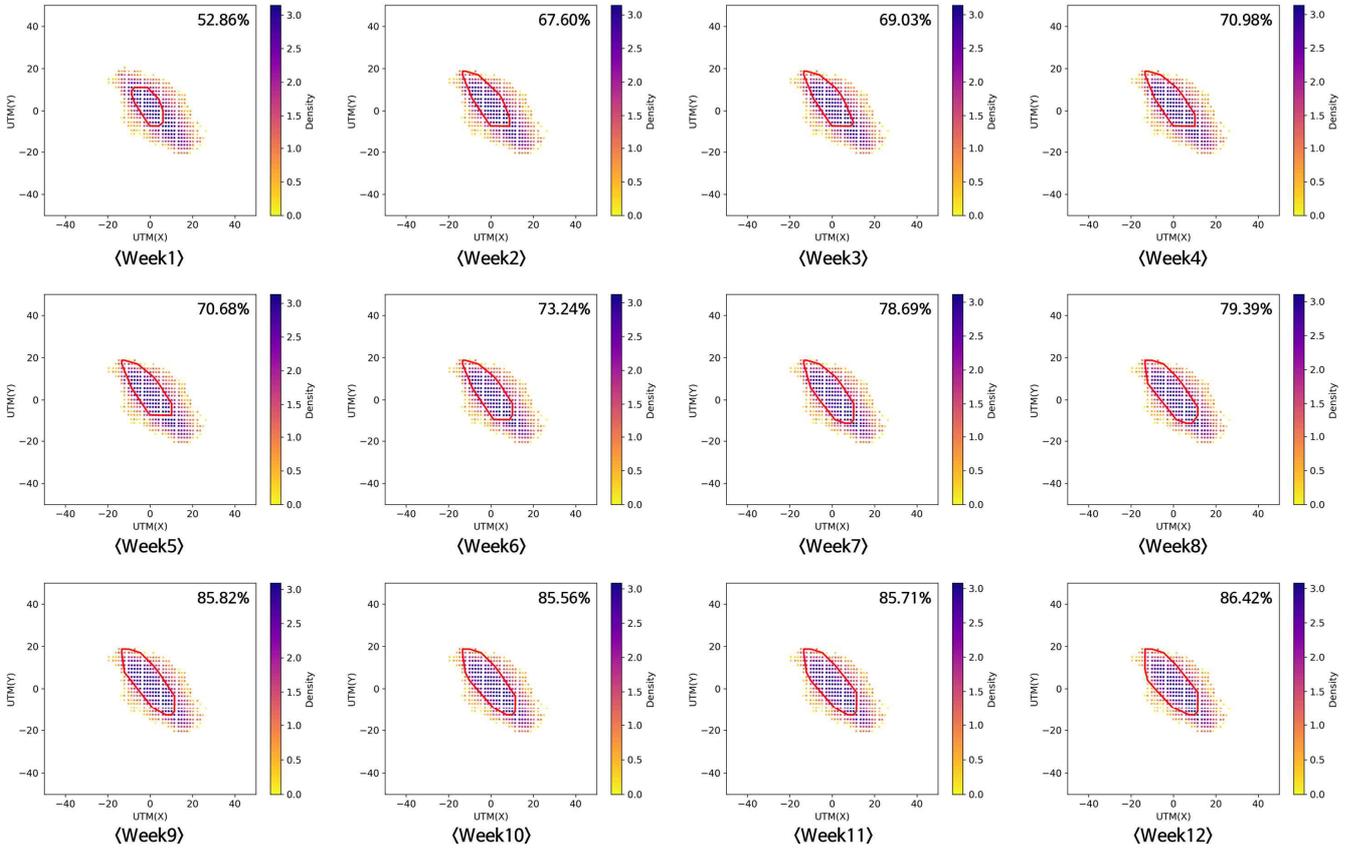


Fig. 5 Analysis of Weekly Location Patterns for Buoy No. 25 in Asan Bay After Inspection

AtoN 1	81.1	83.43	83.76	83.14	83.58	84.74	88.47	90.73	90.29	89.9	92.91	92.52
AtoN 2	62.85	73.94	89	88.89	89.63	89.5	94.19	94.14	94.81	94.75	96.9	97.1
AtoN 3	53.1	55.87	60.25	60.68	77.45	81.82	88.16	88.18	91.77	91.63	91.21	90.76
AtoN 4	30.72	29.37	28.59	33.11	55.62	86.98	87.25	86.89	88.18	91.41	91.08	90.79
AtoN 5	69.87	72.7	78.71	80.74	90.79	90.65	90.52	90.37	90.37	89.98	89.5	95.36
AtoN 6	94.49	94.69	94.88	94.65	95.3	95.06	94.8	94.51	94.64	94.3	93.95	93.54
AtoN 7	41.8	54.4	56.07	59.94	72.78	72.58	72.35	72.34	72.15	72.09	72.29	72.05
AtoN 8	63.66	67.74	74.27	74.39	75.14	76.96	76.8	76.57	76.31	76.1	80.88	80.61
AtoN 9	60.85	65.99	76.72	77.88	78.9	78.62	78.4	78.31	78.05	77.81	77.56	77.24
AtoN 10	59.41	82.81	87.4	87.35	88.37	88.66	91.47	93.77	93.7	93.64	93.58	93.51
AtoN 11	82.71	90.38	91.22	91.41	93.67	94.53	94.94	95.94	96.13	96.3	96.27	96.23
AtoN 12	10.4	8.214	10.48	9.834	31.04	65.36	69.18	83.96	83.12	82.02	85.71	84.9
AtoN 13	52.86	67.6	69.03	70.98	70.68	73.24	78.69	79.39	85.82	85.56	85.71	86.42
AtoN 14	86.45	86.15	94.58	94.91	94.78	94.66	94.56	94.46	94.89	94.82	95.22	97.71
AtoN 15	61.93	67.21	69.75	74.18	79.45	79.91	80.5	81.56	92.84	93.47	93.69	93.73
AtoN 16	81.51	93.22	93.55	93.38	93.05	93.99	93.68	93.32	93.16	92.98	93.29	94.55
AtoN 17	89.99	95.1	96.43	97.46	98.24	98.21	98.63	98.61	99.06	99.08	99.06	99.21
AtoN 18	40.8	47.45	54.6	55.45	61.78	75.73	80.66	84.27	86.59	86.47	88	87.91
AtoN 19	59.61	88.69	92.05	92.22	92.09	93.94	95.33	95.36	96.19	96.1	95.99	96.51
AtoN 20	63.12	92.51	92.42	95.1	95.82	97.28	97.25	97.22	97.2	97.22	97.18	97.15
Average	62.36	70.87	74.69	75.78	80.91	85.62	87.29	88.5	89.76	89.78	90.5	90.89
	Week1	Week2	Week3	Week4	Week5	Week6	Week7	Week8	Week9	Week10	Week11	Week12

Fig. 6 Analysis of Weekly Location Pattern Internal Ratios for All Buoys After Inspection

본 연구에서는 2년간(2021-2022년) 인양점검이 실시된 등부표 20기에 볼록 껍질 알고리즘을 이용하여 최적의 데이터 수집기간을 제시하였다.

연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 분석에 사용한 전체 등부표 52기 중 20기는 인양점검 전후 위치패턴의 변화가 확연하게 나타났으며, 32기는 위치패턴 변화가 거의 없었다. 다만, 등부표가 설치된 항로의 구조, 외력의 영향 등 다양한 변수에 의해 위치패턴의 변화가 나타나기 때문에 등부표별 인양점검에 따른 위치패턴 변화 유무를 단정할 수는 없었다.

둘째, 등부표 20기의 인양점검 후 1주 차부터 12주 차까지의 데이터를 이용하여 위치패턴을 생성한 결과, 최적의 데이터 수집기간은 9주이며, 위치패턴 내부 생성 비율은 약 89.8%였다. 1주 차부터 9주 차까지의 위치 데이터로 분석한 위치패턴의 영역은 점진적으로 확대되었으나, 10주 차 이후의 데이터에서는 위치패턴 영역의 변화가 미미한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 등부표 위치 이탈 정보 제공을 위해 해양수산부가 개발 중인 ‘등부표 위치기반 정보 서비스’의 등부표 위치패턴 분석에 활용될 수 있을 것이다. 이를 통해 항로표지 관리자는 등부표 위치 이탈 여부를 효율적으로 감시하여, 통항선박의 안전을 증대시키고 해양사고도 예방할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 위치 데이터가 수집된 일부 등부표만을 대상으로 수행되었으며, 추후에는 전체 등부표를 대상으로 장기적인 데이터를 수집하여 분석함으로써 위치패턴 분석 및 최적화 기간을 일반화하고 고도화할 필요가 있다.

후 기

이 논문은 2024년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(해양 디지털 항로표지 정보협력시스템 개발(4/5) (20210650)).

References

- [1] Barber, C. B., Dobkin, D. P. and Huhdanpaa, H.(1996), "The Quickhull Algorithm for Convex Hulls", ACM Transactions on Mathematical Software(TOMS), Vol. 22, No. 4, pp. 469-483.
- [2] Lee, M. K., Park, Y. S., Jeong, H. S. and Gug, S. G.(2020), "Risk Assessment for Contact Accident of Buoy - Focusing on Busan New Port", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 44, No. 3, pp. 158-165.
- [3] Ministry of Ocean and Fisheries(2015), "The 2nd Basic plan of Aids to Navigation", pp. 2-37 - 2-38.

- [4] Ministry of Ocean and Fisheries(2017), "Harbour and Fishing Design Criteria-Navigational Aid Facilities", pp. 41-80.
- [5] Ministry of Ocean and Fisheries(2021a), "Regulations on the Standard Production and Quality Control of Buoys", p. 10.
- [6] Ministry of Ocean and Fisheries(2021b), "Guidelines for Handling the Notification of Navigational Aids".
- [7] Ministry of Ocean and Fisheries(2023), "Aids to Navigation Act".
- [8] Moon, B. S., Gug, S. G. and Kim, T. G.(2020), "A Study on the Sea Areas Dynamic Stability of LL-26(M) Light Buoy", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 44, No. 3, pp. 166-173.
- [9] Moon, B. S., Yoo, Y. J., Kim, M. J. and Kim, T. G.(2022), "A Study on the Separated Position of Floating Light Buoy Equipment with AtoN AIS and RTU", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 46, No. 4, pp. 313-320.
- [10] Moon, B. S., Kim, T. G., Song, C, U. and Kim, Y. J.(2023a), "A Study on the Re-establishment of the Accident Classification for Aids to Navigation", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 47, No. 3, pp. 128-133.
- [11] Moon, B. S., Kim, T. G., Song, C, U. and Kim, Y. J.(2023b), "A Study on the Analysis of Location Pattern According to the Lifting Inspection of Light Buoys", Proceeding of the Korean Institute of Navigation and Port Research Conference 2023, pp. 188-189.

Received 10 June 2024

Revised 12 June 2024

Accepted 12 June 2024