

## 항로표지 배치 적합성 검증 방안에 관한 연구

백인흠 · 이미라 · 박준모<sup>†</sup>  
목포해양대학교(교수)

### A Study on the Conformity Verification Method for the Placement of the Aids to Navigation

In-Huhum BAEK · Mi-Ra YI · Jun-Mo PARK<sup>†</sup>  
Mokpo National Maritime University(professor)

#### Abstract

Since aids to navigation play an important role in ensuring that ships navigation safely on fairway, many countries periodically review the suitability of aids to navigation placement. In this study, algorithms using distance ratio concept and aids to navigation's placement standard were implemented to verify the suitability of new aids to navigation placement verification using machine learning, and a system applicable to fairway was developed. By presenting a method for verifying the suitability of aids to navigation placement, a quantitative evaluation tool for aids to navigation placement was prepared, and a user-friendly evaluation standard was prepared through the design of a aids to navigation placement verification system using big data of navigating vessel through the fairway.

**Key words :** Aids to navigation, Machine learning, Placement standard, Distance ratio, Conformity verification

#### 1. 서론

우리나라 항로표지법에서 정의하는 항로표지는 항행하는 선박에 대하여 등광·형상·색채·음향·전파 등을 수단으로 선박의 위치·방향 및 장애물의 위치 등을 알려주는 항행보조시설로서 광파표지, 형상표지, 음파표지, 전파표지 및 특수신호표지 등을 포함하는 것이다(MOF, 2022a). 이러한 항로표지는 안전하고 효율적인 해상교통 환경을 조성하기 위하여 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 5년 단위로 항로표지에 관한 기본계획을 수립·시행하도록 하고 있다(MOF, 2022b).

MOF(2020b)에 의하면 2020년부터 2025년까지

의 항로표지 기본계획은 스마트 항로표지 인프라 구축, 다기능화, 노후시설 개량, 시설 확충 중점으로 한 사업 추진 계획을 수립하였으며 이에 따라 항로표지의 위해요소 제거 및 시설 확충을 목적으로 주기적으로 항로표지 배치에 대한 안전진단을 실시하고 있다.

MOF(2022c)에 따르면 항로표지를 설치하고자 할 때는 이용자의 요구, 해안가의 특성, 수로의 상태와 수로에서의 해상교통 형태 및 밀집도 등을 고려하여 그 설치 위치, 종류 및 규격을 결정해야 함을 강조하고 있다. 그렇다면, 이러한 내용을 기존에 설치된 항로표지에 대한 적절성을 검토에 적용해 보면 규정에서 요구하는 사항에 대

<sup>†</sup> Corresponding author : 061-240-7180, jmpark@mmu.ac.kr

\* 이 논문은 2022년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (해양 디지털 항로표지 정보협력시스템 개발(2/5) (20210650)).

한 객관적인 근거와 정량적인 자료에 의해서 평가 되어야 한다고 볼 수 있다.

그러나 항로표지 배치의 안전진단에 있어 가장 중요한 부분이라고 할 수 있는 항로표지 배치 적절성 평가는 대부분 항로표지 시인성의 평가와 선박 운항 전문가 자문을 통한 항로표지 위치 적정성 평가로 이루어지고 있다(Busan Regional Office of Oceans and Fisheries, 2016). 즉, 항로는 국내외 국적의 많은 선박이 통항하는 항로임에도 불구하고 일부 선박 운항자 의견을 항로표지 배치 적정성 검토 시 가장 중요한 판단 근거로 삼는 것은 적절하지 않다고 판단된다. 또한, 국내의 항로표지 배치기준 및 IALA 기준 등 객관적인 지표가 있음에도 불구하고 주관적 의견을 통해 항로표지 배치 적절성 판단을 하는 것 또한 문제가 있다고 판단된다.

최근 항로표지 배치와 관련한 학술 연구에서, Lee et al.(2022)는 서남해안 좁은 수로에 배치된 항로표지가 해상교통 환경 변화 이후, 선박운항 안전에 대한 역할을 제대로 수행하고 있는지 검토하였다. 그리고 Kim et al.(2014)은 항로표지 배치에 대한 의사결정을 지원하기 위한 방안으로 항로표지 시뮬레이터 시스템 개발에 관한 연구를 진행하였다. Moon et al.(2021)은 부산항 제2항로를 대상으로 통항선박과 항로표지 간 이격거리 및 통항 분포를 분석하여 항로표지의 운영 방안을 제시한 바 있다. 또한, Faizal et al.(2019)은 신규 건설 항만의 항로표지 배치를 위해 선박조종 시뮬레이션을 이용하는 방법론을 제시하였으며, 실제 항만에 적용한 결과를 제시하였다. 그리고 Jeong(2022)은 선박 통항로의 Risk를 기반으로 항로표지 배치 최적화 방법을 제시하였다.

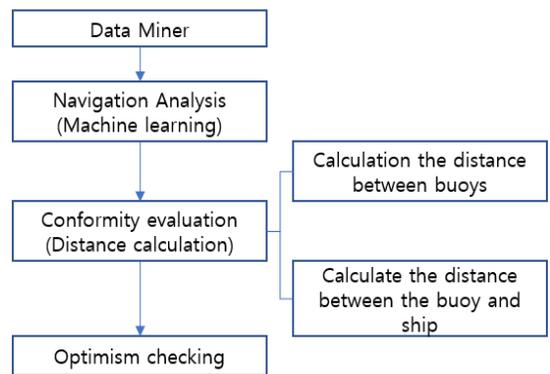
상기의 항로표지와 관련된 연구들은 주로 기 설치된 항로표지가 적절하게 운용되는지 실제 사례를 들어 분석하거나 항로표지 배치 적절성 분석을 위한 도구 개발 등을 목표로 한 것으로, 항로표지 배치의 적정성을 검토할 수 있는 정량적인 기법을 제시하는 연구는 찾아보기 어렵다.

항로표지 배치 적합성 평가를 위해 사용하던 시인성 평가와 선박 운항 전문가의 주관적 의견 수렴 과정에 대한 방법론은 잘 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 항로표지 배치의 적합성을 검증할 수 있는 정량적인 방법론으로서 프로그램을 개발하고자 한다. 다만, 항로표지 배치 적합성 검증 대상이 되는 항로표지의 종류는 측방표지로 한정하였다. 그리고 이 방법론을 항로 길이가 길고 상선과 어선의 통항이 활발한 목포 입출항 항로를 대상으로 현재 설치되어 있는 항로표지 배치의 적절성을 검증하여 개발한 프로그램의 적정성을 검토하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 항로표지 적합도 검증 방법론

항로표지 배치 적합성 검증을 위한 방법론은 [Fig. 1]과 같다.



[Fig. 1] Component structure of the conformity verification system for AtoN arrangement.

구체적으로 살펴보면, 데이터를 필터링하는 데이터 마이닝 모듈, 기계학습이 이루어지는 항해 분석 모듈, 거리 계산이 이루어지는 적합성 모듈, 적합성을 검증하는 검증 모듈로 구성되어 있고 적합성 모듈은 다시 각 항로표지 사이의 거리를 계산하는 모듈과 대표 항적과 항로표지 사이의

거리를 계산하는 모듈로 구성된다.

항로표지 배치 적합도 검증 시스템의 각 컴포넌트 모듈의 기능을 살펴보면 <Table 1>과 같다.

<Table 1> List of system configuration components

Component name	Function
Data Miner	· Collect and filter data from external systems
Navigation Analysis	· AIS trajectory analysis through machine learning & Calculation GPS position of buoy and trajectory
Calculating the distance between buoys	· Conformity assessment of AtoN by calculating the distance between buoy
Calculate the distance between the buoy and the ship	· Calculation of the distance between buoys and representative trajectory and evaluation of the suitability of AtoN
Optimism Checking	· Verifying the suitability of the AtoN in consideration of results

데이터 마이닝 모듈은 항로표지 적합성 검증을 위해 필요한 데이터를 외부 빅데이터로부터 수집 및 가공한다. 여기서 외부 빅데이터는 AIS 항적 데이터, 항로표지 경위도 좌표, 그리고 적정성 검토 구역(boundary) 등이다. 그리고 항해 분석 모듈은 기계학습을 통해 AIS 항적을 분석하고 해당 구역을 통항한 선박들의 대표 항적을 도출하고, 각 부표 및 각 항적에 대한 공간 정보를 계산한다. 그리고 항로표지 사이의 거리, 항로표지와 항적 간의 거리, 거리율을 계산하여 최종적으로 항로표지 적합 여부를 검증한다.

## 2. 데이터 수집 및 필터링

데이터 수집 및 필터링 절차는 항로표지 배치 적합성 검증을 위한 시스템 설계에 있어 첫 번째 단계로서 AIS 항적 데이터, 항로표지 경위도 좌표, 그리고 적정성 검토 구역(boundary) 등이다.

<Table 2>와 <Table 3>은 데이터 인터페이스 연계 방식과 선박 항적 정보 인터페이스 정보를

보여주고 있다. 항로표지 및 선박의 항적 정보를 위한 입출력 인터페이스는 CSV(comma separated value)파일을 배치(batch)처리하는 방식이며, 실험 영역설정은 항로별/섹터별로 분리 설계된 직선 항로영역을 대상으로 하였다.

<Table 2> Data interface association method

index	description
interface name	Interface of buoy and ship's trajectory information
linkage method	batch of csv files
occurrence frequency	occasional and data changes
Set experimental zone	Separation processing by fairway/sector

<Table 3> Input/output interface of ship's trajectory

Transmit				Receive	
start system	data name	data type	data capacity	arrival system	data name
ship	lat.	float	4byte	AIS system	distance between buoy
	long.				shortest distance between buoy and ship route
AIS system	buoy name	string	50byte	verification system	distance ratio
	buoy sight distance		4byte		adequacy

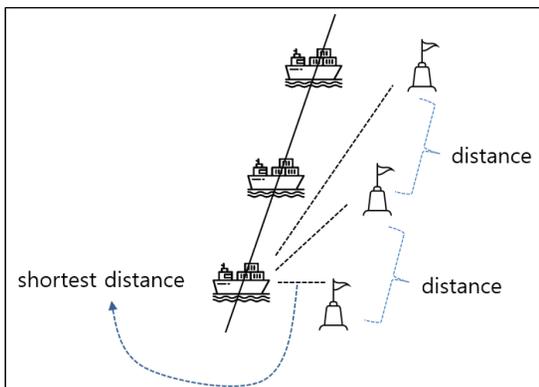
선박 항적 데이터에 대한 입출력 인터페이스를 보면 AIS 시스템으로부터 선박과 항로표지의 경위도 좌표, 항로표지 이름, 그리고 항로표지의 시인거리 데이터를 외부 시스템으로부터 전송받아 항로표지 배치 적합성 검증 시스템에서 처리하는 방식이다.

## 3. 평가 요소 및 방법

항로표지 배치 규정 검토 결과를 토대로 정량적인 항로표지 배치 적정성 검토를 위해 2가지의 평가 요소를 도출하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

가. 항로표지와 선박 간 이격거리

항로표지와 선박 간의 이격거리는 [Fig. 1]과 같이 각 항로표지와 선박의 대표 항적 간의 최단 거리를 의미한다. 이것은 선박과 항로표지와의 이격거리에 대한 정량적인 기준을 토대로 평가가 이루어진다.



[Fig. 2] Distance between the AtoN and the ship.

본 연구에서는 규정에서 요구하는 항로표지와 선박 간 이격거리를 검증하기 위해 거리율 (Distance rate, DR)이라는 개념을 도입하였다. 거리율이란 항로표지와 선박 간의 거리를 항로표지 식별 가능 거리로 나눈 값으로 정의한다.

나. 항로표지 2기 식별 최소간격

항로표지 2기를 식별할 수 있는 최소간격은 이안거리와 항로표지 2기 간의 거리를 비교하여 적정성을 검증하며, 규정에서 제시한 항로표지 2기의 최소간격을 기준으로 정량적인 평가가 이루어진다.

4. 적합성 검증을 위한 분석 도구

본 연구에서 항로표지 적합성 검증을 구현하기 위한 시스템은 Python 3.9.6 프로그램을 사용하였고, 데이터의 입력과 출력은 CSV 파일을 이용했고, RestAPI를 위해 JSON 파일도 함께 생성하였다.

Ⅲ. 연구 결과

연구 결과에서는 항로표지 배치 적합성 검증을 위한 국내외 규정, 기계학습을 통한 항적 분석, 항로표지 적합성 분석, 그리고 이를 실제 항로에 적용한 결과를 제시하고자 한다.

1. 적용 기준

항로표지를 배치하고자 할 때 적용하는 기준은 대표적으로 우리나라 항로표지의 기능 및 규격에 관한 기준, PIANC 기준, 그리고 IALA 기준이 대표적이다. 본 장에서는 항로표지 배치 관련 기준을 살펴보고 항로표지 배치 적합성 검증에 사용할 수 있는 정량적인 평가 요소를 도출하고자 하였다.

우리나라 항로표지 배치에 관한 기준은 MOF(2022c)의 ‘제3장 부표의 설치·관리기준 및 이용 방법’에서 정의하고 있으며, 이 중 ‘제28조 (부표의 배치기준 및 설치 간격)’에 대한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

안전항로에서 연속적으로 부표를 설치하기 위해서는 여러 사항을 고려하여 설치해야 한다. 첫째로 안전항로의 시작점은 뚜렷하게 눈에 띄는 부표로 한 쌍의 부표를 설치해야 한다. 둘째 부표의 거리 간격은 선박에서 가장 가까운 부표에 접근하기 전 약 100미터 이상의 위치에서 그 다음에 설치된 부표 또는 연속된 2개의 부표를 확인할 수 있어야 한다. 셋째 대부분의 선박이 레이다를 3해리 범위에서 이용하고 있기 때문에 선박이 안전항로에서 운항할 때에는 항로 내에서 연속적으로 설치되는 부표의 설치 간격은 3해리를 초과해서는 안된다.

안전항로에서 부표의 설치 간격은 설치 장소에 따라서 달라진다. 먼저, 항해 정밀도가 높거나 연속적인 부표 설치가 요구되는 항로는 ‘부표의 거리 간격’(이하, D)은 ‘부표 식별가능 거리’(이하, L)의 1/2보다 작아야 한다. 일반적인 안전수로는

D보다 L이 커야 한다. 그리고 대양항로의 선박 통항로는 D가 L의 2배보다 작아야 한다.

마지막으로 항로 폭이 150미터부터 600미터까지에 이르는 협수로에서의 부표의 설치 간격은 1해리부터 1.5해리까지가 항행에 가장 적정하나, 항로 내의 선박통행 흐름, 배후광 및 그 밖의 해상환경 여건에 따라 적절히 설치간격을 증감 할 수 있도록 하고 있다.

국제항로표지협회(IALA)는 항로의 설계에 관련하여 PIANC의 내용을 참고하고 있으며, IALA 내부 가이드에서 항로설계상 위험을 감소시키는 요소로서 부표와 도등의 배치 및 그 수를 예시로 제시하고 있다.

IALA 항로표지 배치 기준은 부표의 배치, 표준 개수, 그리고 최적 분리거리를 제시하고 있다.

수로에 설치되는 부표와 도등의 최적의 수와 배치는 항로의 평균 폭, 항로의 길이, 항로의 직선 혹은 굴곡 여부, 이들 항로표지가 행하는 기능, 항해자에 대한 도움의 용이성 등에 따라 상당한 차이가 있다. 이들 항로표지는 다음 두 가지 사항에 관련되지만, 다른 목적을 제공한다는 것을 고려할 수 있다.

부표는 기본적으로 선박이 안전하게 통항할 수 있는 항로를 표시하기 위함이고, 지리적 및 다른 자연적 위험물을 고려하는 것이다. 통상 사용되고 있는 부표의 배치에는 4가지가 있다. 중심선 한줄 배치방식(Single center buoys), 갈빗자형 한쪽배치방식(Single Staggered buoys), 비동기의 대칭배치방식(Unsynchronized paired buoys), 동기대칭배치방식(Synchronized buoys) 등이다.

가. 한줄(한쪽) 혹은 대칭배치방식에서 부표의 최적 분리거리와 부표의 표준 개수

수로에서 부표의 최적 분리거리는 해당 항로의 평균 항로 폭과 직선 혹은 굴곡 여부에 따라 다르다. 수로의 어느 구역에서든 부표의 최적 분리거리는 다음과 같이 계산한다.

① 직선구역에서 대칭방식의 최적 분리거리 :

평균 항로 폭의 3배

② 굴곡구역에서 대칭방식의 최적 분리거리 : 평균 항로 폭의 2.8배

③ 직선구역에서 한줄배치방식(갈빗자 포함)의 최적 분리거리 : 평균 항로 폭의 2.1배

④ 굴곡구역에서 한줄배치방식(갈빗자 포함)의 최적 분리거리 : 평균 항로 폭의 2배

나. 수로의 해당구역에서 대칭배치방식 혹은 한줄 배치방식에서 부표 표준 개수

수로의 해당구역에서 대칭배치방식 혹은 한줄 배치방식에서 부표 표준 개수는 다음과 같이 그곳의 길이와 적절한 최적 분리거리의 함수이다.

① 항로의 해당구역에서 대칭배치방식의 부표 표준개수 : 그 구역의 길이를 최적 분리거리로 나눈 값의 2배

② 항로의 해당구역에서 한줄 배치방식의 부표 표준개수 : 그 구역의 길이를 최적 분리거리로 나눈 값

유럽 지역을 중심으로 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 항로설계 지침이 PIANC(국제상설항행협회, Permanent International Association of Navigation Congresses) Rule이다. 주로 유럽 지역의 항만 및 항로 설계전문가, 선체 운동에 관한 연구자 및 항해 전문가들로 구성되어 있다.

항로표지 배치에 대한 기준은 PIANC(2014)의 제4장에 기준을 제시하고 있으며, 항로의 수심, 접근 항로의 배치, 항로의 폭, 조선 수역과 관련하여 선박의 위치 및 행동에 관한 정보와 데이터를 이용할 수 있는 기술적 장비를 언급하고 있다. 다만, 항로표지를 혼동하지 않도록 정확한 위치시스템을 사용하도록 개량이 되어야 하며, 항로표지는 장차 바람직한 방향으로 기술 향상이 이루어질 것으로 예측하고 있으나, 항로표지의 배치나 간격에 대하여는 언급하고 있지 않다.

항로표지는 해상 위험을 감소시키는데 아주 중요하므로, 항로표지의 종류와 크기 및 위치 등은 설계 차원에서 필수적으로 검토하여 할 내용들이

다. 이 경우 제안된 항로표지의 종류와 설치위치를 결정할 때에는 그 지역의 선박 조종자, 주로 도선사의 자문을 받도록 하고, 도선사의 검증이나 실시간 시뮬레이션을 통하여 평가하도록 한다.

항로를 표시하는 항로표지는 특정 등질 혹은 레이더 반사기를 달아 뚜렷하게 보이도록 하여, 다른 배후광이나 시정이 나쁜 상태에서도 쉽게 식별할 수 있도록 해야 한다.

직선 항로에는 대칭 배치방식이 좋고, 항로표지의 간격은 예상 시정상태에 적합하여야 한다. 위험한 항로 구간에서는 그 간격을 최대 약 1마일로 한다. 이 간격은 도선사가 항로상 부표를 눈으로 감지하고, 이에 따라 조선히기에 편한 거리로 정하고 있다.

## 2. 기계학습을 통한 선박 항적 분석

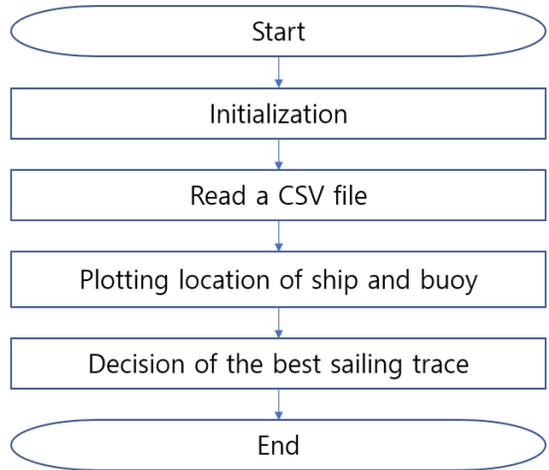
최적의 항적을 결정하기 위한 기계학습법은 선형회귀 모델과 최소제곱법으로 함수의 기울기와 절편을 계산하여 최적 항적선을 구하는 방법이 가장 일반적으로 사용된다.

최소제곱법은 함수값과 측정값의 차이인 오차를 제곱한 것의 합이 최소가 되는 함수를 구하는 방법이다. 이때 선박 항적과 항로표지의 좌표를 얻기 위해 CSV형 외부 파일을 읽어 들여 각 선박들의 항적을 산점도로 계산하고 이를 통해 선형회귀모델로부터 오차가 가장 작은 최적 항적선을 결정한다.

본 연구에서 적용한 AIS 대표 항적 결정 알고리즘 모델은 [Fig. 3]과 같다.

일반적인 선형회귀 모델에서 주어진 훈련 데이터(x, y)로부터 기울기와 절편을 찾는 과정은 아래의 절차로 수행되며 일반식은 식(1)과 같다.

- ① 무작위로 기울기(w)와 절편(b)를 정한다.
- ② 훈련데이터 x에서 샘플(sample) 하나를 선택하여 예측값을 계산한다.



[Fig. 3] Component structure of the conformity verification system for AtoN arrangement.

- ③ 예측값과 실제값 y를 비교한다.
- ④ 예측값이 실제값과 더 가까워지도록 w와 b를 조정한다.
- ⑤ 모든 훈련데이터(train data)의 처리가 끝날 때까지 ②에서 ④까지 반복한다.

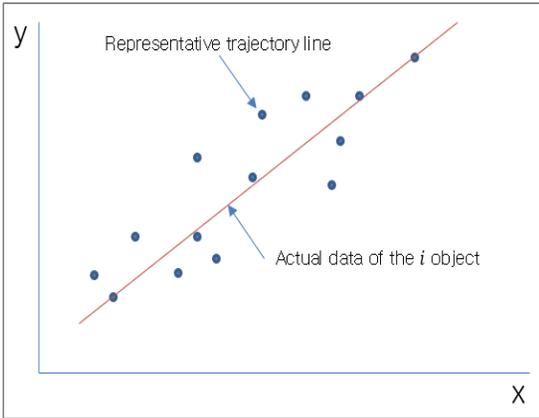
$$Y_i = b + wX_i + \epsilon_i \dots\dots\dots (1)$$

여기서, b : 절편  
 w : 기울기  
 $\epsilon_i$  : 변화율

[Fig. 4]는 기계학습을 통해 선박 항적을 분석하고 회귀분석 기법으로 대표항적 결정 결과의 예시를 나타낸 것이다.

선형회귀 모델에서 입력 데이터와 목표 데이터를 통해 기울기와 절편을 찾는 과정은 여러 방법이 있지만 주로 경사 하강법을 사용한다. 경사 하강법은 기울기와 절편을 찾는 과정에서 변화율을 조정하여 알고리즘을 조정하는 방법이다.

본 연구에서는 AIS 대표 항적 도출을 위해 회귀분석 알고리즘을 사용하였다.



[Fig. 4] Example of a representative trajectory decision.

훈련 데이터를 입력하기 위해 CSV파일에서 데이터를 읽어 들이고, 기울기(w)와 절편(b)을 초기화하기 위해 각각 0.1로 부여하였다. 그리고 가중치를 갱신하기 위해 변화율(w\_rate)을 더해 주었다. 변화율은 예측값의 증가율을 기울기의 증가율로 나눈 값이다. 같은 방법으로 절편의 변화율을 계산하면 상수 1이 되기 때문에 절편값의 갱신은 절편에 단순히 1을 더했다. 그리고 실측값과 예측값의 차이가 큰 경우 큰 폭으로 기울기와 절편을 갱신하기 위해 오차(error)를 변화율에 곱하는 방법으로 기울기와 절편의 값을 수정하였다.

위 알고리즘에서 전체 데이터를 처리하기 위해 여러 개의 배열에서 동시에 요소들을 꺼내오는 방법을 사용했다. 그리고 학습은 주어진 훈련 데이터로 학습의 정확도를 높이기 위해 연산을 반복하는 기법인 경사하강법(gradient descent)을 사용하였다.

그리고 기계학습을 위해 파이썬의 scikit-learn 라이브러리에서 제공하는 regression() 선형 회귀 함수를 사용하였다. 이 함수는 훈련 세트를 여러 개의 하위 훈련세트로 나누고, 훈련과 테스트를 반복하며 파라미터를 최적화 할 수 있도록 도와주기 때문에 모델의 편향(underfitting)과 분산(overfitting)을 방지해준다. 즉 프로그램 내에서

반복문을 통해 인위적으로 반복 회수를 변화시켜도 편향과 분산이 나타나지 않는 특징이 있다 (Abraham et. al, 2014). 따라서 본 연구에서는 학습 반복 회수를 100번, 200번, 300번 반복하여 비교한 결과, 각각의 파라미터(기울기, 절편)가 동일한 것으로 나타나 학습 회수를 100회로 설정하였다.

### 3. 항로표지 적합성 평가

가. 항로표지와 선박 간 이격거리 도출 방법

항로표지와 선박 간 이격거리 도출은 식(2)의 하버사인 공식(haversine formula)을 사용하였다. 하버사인 공식은 지구를 구(sphere)로 가정하여 두 지점의 좌표(위도, 경도)를 이용하여 지구 표면을 따라 측정한 거리, 즉 대원 거리(great-circle distance)를 구하는 곳에 활용된다.

$$hav\left(\frac{d}{r}\right) = haversin(\phi_2 - \phi_1) + \cos(\phi_1)\cos(\phi_2)haversin(\lambda_2 - \lambda_1)$$

$$\text{where, } hav(\theta) = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1 - \cos(\theta)}{2}$$

$$d = r \cdot \text{rarchav}(h) = 2r \arcsin(\sqrt{h}) = 2r \arcsin \times$$

$$\left( \sqrt{\sin^2\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) + \cos(\phi_1)\cos(\phi_2)\sin^2\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}\right)} \right) \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $\phi$  : Latitude(위도)

$\lambda$  : Longitude(경도)

$r$  : 지구 반지름(6,371km)

$h$  : haversin( $d/r$ )

$d$  : 두 지점 사이의 거리

나. 항로표지 2기 식별 최소간격

항로표지 2기를 식별할 수 있는 최소간격은 이 안거리와 항로표지 2기 간의 거리를 비교하여 적

정성을 검증하는데, 여기서 이안거리는 식(3)과 같다.

$$SD = D \times \tan(70) \dots\dots\dots (3)$$

여기서, SD : 이안거리

D : 항로표지와 선박 간 최단거리

즉, 항로표지 2기 간의 거리가 항로표지 2기의 식별 가능거리보다 크면 항로표지 2기 식별 최소간격을 초과하는 것으로 도출되는 방법이다.

다. 항로표지 적합성 여부 검증

항로표지 적합성 평가는 거리율을 이용하여 항로표지와 선박간 이격거리를, 이안거리를 이용하여 항로표지 2기의 식별 최소간격을 도출하여 검증한다. 거리율이 0보다 크고 1보다 작은 값일 경우 규정을 만족하며, 거리율이 1보다 커지면 식별거리를 초과하게 되므로 규정을 만족하지 못하는 것으로 평가한다.

즉, 항로표지 사이의 거리를 기준으로 국내규정과 IALA 규정에 따라 협수로 적정거리 초과, 대양항로 적정거리 초과, 일반 안전수로 적정거리 초과 등을 검증한다. 그리고 식(4)와 같이 적정 거리율은 0.15보다 크거나 같고, 1.0보다 작거나 같을 때 적절한 것으로 평가한다.

$$0.15 \leq \text{거리율} \leq 1.0 (150\text{미터} \sim \text{시인거리}) \dots (4)$$

4. 시스템 구현 및 평가

가. 항로표지 배치 평가 및 검증 시스템 구현

항로표지 배치 적합도 검증 시스템의 화면 설계는 6개의 하부 화면으로 구성된다.

첫 번째는 특정 항로, 특정 섹터의 선박 이동에 대한 항적자료와 부표의 경위도 데이터를 입력하기 위해 메뉴 바로 구성된 GUI 화면이다.

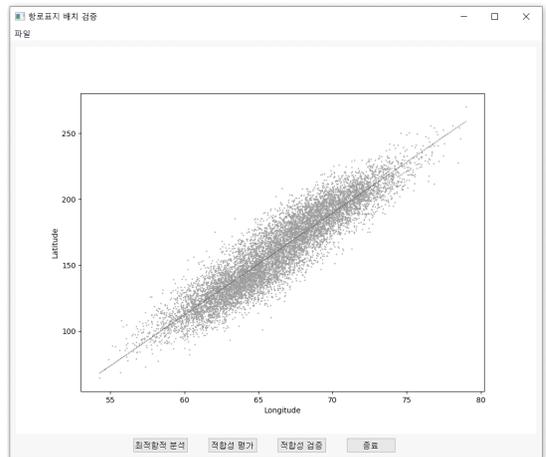
두 번째는 파일 선택 다이얼로그 박스를 팝업(pop up)하여 특정 폴더에 기록된 CSV 형식의 파일을 입력할 수 있도록 한다.

세 번째는 [Fig. 5]와 같이 특정 항로, 특정 섹터에서 항해한 선박들의 항적들을 산점도 형태로

출력하고, 선박 항적도에서 산점들을 대표할 수 있는 대표 항적선을 기계학습을 통해 결정한 화면이다.

네 번째는 [Fig. 6]과 같이 항로표지 적합성을 평가한 결과를 테이블 형태로 표시한 것이다. 이때 각 항로표지와 대표항적선과의 최단 거리를 계산하고 해당 해역에 설치된 부표들 간의 거리도 계산된다.

마지막 다섯 번째는 [Fig. 7]과 같이 부표별 배치를 법적 규정과 정성적 지식들을 반영해 항로표지의 적합성을 검증한 결과 화면이다.



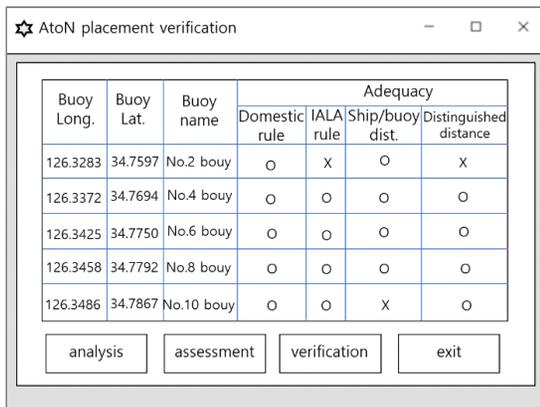
[Fig. 5] Optimal trajectory line derivation screen.

The figure shows a window titled 'AtoN placement verification'. It contains a table with the following data:

Buoy Long.	Buoy Lat.	Buoy name	Distance Between buoy	Distance Buoy-route
126.3283	34.7597	No.2 buoy	1.3520	0.3472
126.3372	34.7694	No.4 buoy	0.7836	0.3183
126.3425	34.7750	No.6 buoy	0.5544	0.3635
126.3458	34.7792	No.8 buoy	0.8717	0.3504
126.3486	34.7867	No.10 buoy	nan	0.0847

Below the table, there are four buttons: 'analysis', 'assessment', 'verification', and 'exit'.

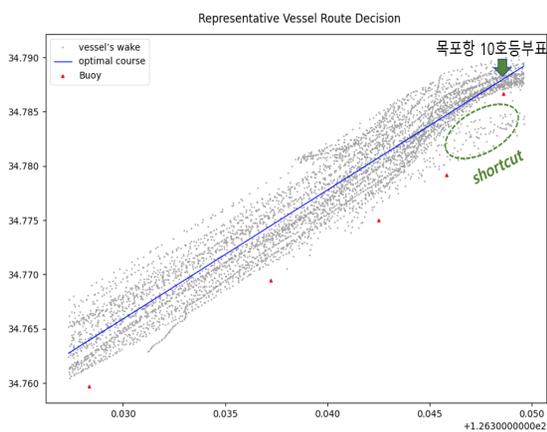
[Fig. 6] AtoN placement conformity assessment screen.



[Fig. 7] AtoN placement conformity verification screen.

나. 항로표지 배치 평가 및 검증 시스템 평가  
 본 연구에서 시험적으로 적용한 해역은 목포해양대학 인근의 해역으로 1일 동안 왕래한 선박들의 항적들을 AIS(Automatic Identification System)에서 추출하고 선박의 선수방향(HDG)을 기준으로 필터링하여 입항과 출항으로 데이터를 구분하였다. 필터링 결과 입항에 사용한 자료는 5,014개의 경위도 데이터가 추출되어 사용되었다.

[Fig. 8]은 필터링을 통해 도출된 선박의 항적 및 목포항 항로표지를 도출한 결과이다.



[Fig. 8] AtoN placement conformity verification result of Mokpo fairway.

[Fig. 8]에서 붉은색의 삼각점은 항해부표를 의미하고 푸른색의 직선은 대표항적선을 회색의 산점도는 선박들이 항해한 항적도를 의미한다.

<Table 4>는 목포해양대학 인근 해역에서 실시한 항로표지 배치 적합성 검증 결과이다.

<Table 4> AtoN placement conformity assessment result

	Buoy name of Mokpo fairway				
	No.2	No.4	No.6	No.8	No.10
distance between buoy	1.352	0.7836	0.5544	0.8717	nan
shortest distance between buoy and ship route	0.3472	0.3183	0.3635	0.3504	0.0847
distance ratio	0.0625	0.0573	0.0654	0.0631	0.0152
adequacy domestic regulation	○	○	○	○	○
adequacy IALA regulation	X	○	○	○	○
adequacy buoy/ship distance	○	○	○	○	X
adequacy buoy identification distance	X	○	○	○	○

검증 결과, 목포항 2호 항로표지에서는 4호 항로표지와와의 거리가 IALA 규정에서 정한 한쪽 배치 직선 구역 적정거리를 초과하고 있으며 부표2기의 동시 식별 최소간격도 초과하고 있다. 4호, 6호, 8호 항로표지는 국내 규정 및 IALA 규정에 모두 적합한 것으로 나타났다.

목포항 10호 항로표지에서는 국내 규정과 IALA 규정에는 적합하지만, 항로표지와 대표 항적선 간의 최소거리가 150m 이내로 접근한 것으로 나타났다. 이는 목포항 10호 항로표지 부근에서 많은 선박들이 항해거리와 이동시간을 단축하기 위해 정규 항로로 항해하지 않고 가로 지르기(shortcut)를 시행하고 있어 항로표지 배치에 대한 검토가 필요한 것으로 보인다.

## IV. 결론

본 연구에서는 항로표지 배치 적합성을 정량적으로 평가하고 이를 검증하기 위한 방법을 제시하였으며, 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

첫 번째로 정량적 수치를 기반으로 한 항로표지 배치 적합성 평가를 위해 빅데이터 기반 데이터 전처리 알고리즘 개발, 기계학습을 통한 항적 분석 알고리즘 개발, 그리고 항로표지 적합성 평가 알고리즘을 개발하였다.

두 번째로 선박 항적 데이터와 항로표지 자료를 추출하고 학습하여 항로표지 배치를 검증하기 위해 항로표지 배치 검증 알고리즘을 개발하였고 파이썬 프로그램을 기반으로 한 GUI형 시스템으로 구현하였다.

마지막으로 본 연구를 통해 개발한 시스템을 목포항 입출항 항로의 2번, 4번, 6번, 8번, 10번 항로표지의 배치 적합성을 검증하였다. 검증 결과, 2번 항로표지는 4번 항로표지와 이격거리가 IALA 규정을 초과하며, 부표 2기의 동시 식별 최소간격도 초과하고 있다. 또한, 10번 항로표지는 항로표지와 대표 항적선 간의 최소거리가 150m 이내로 접근하여 항로표지 배치에 대한 검토가 필요한 것으로 보인다.

본 연구는 항로표지 배치 적합성 평가 시 항해자의 주관적 판단 위주로 결정되던 기존의 방식에서 국내 및 해외의 항로표지 배치기준을 토대로 정량적인 항로표지 배치 적합성 평가 및 검증을 할 수 있는 시스템을 개발했다는 측면에서 가치있는 연구라고 판단된다. 또한, 전문가 뿐 아니라 일반인도 항로표지 배치 적합성 평가 및 검증을 쉽게 해볼 수 있는 것이 특징이다.

향후에는 본 연구를 확장시켜 항로표지 배치 적합성 평가 및 검증 결과를 토대로 최적의 배치를 권고해 줄 수 있는 시스템을 개발할 필요가 있으며, 이를 통해 현재 이루어지고 있는 항로표지 재배치 연구를 위한 인력 및 예산을 획기적으

로 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- Alexandre Abraham, Fabian Pedregosa, Michael Eickenberg, Philippe Gervais(2014). Machine Learning for Neuroimaging with Scikit-Learn, *Frontiers in Neuroinformatics* 8(14), 2p  
[https://doi: 10.3389/fninf.2014.00014](https://doi.org/10.3389/fninf.2014.00014)
- Busan Regional Office of Oceans and Fisheries (2016). Design of the Relocation of Aids to Navigation for Major Fairway in Busan Port. 15~18.
- Faizal F, Mohammed Ismail RS and Mohd HS(2019). Study to Establish New Marine Aids to Navigation at Kuantan Port New Deep Water Terminal, *Maritime Safety International Conference*, 330~335.
- IALA(2011). IALA Guideline No. 1078 on The Use of Aids to Navigation in the Design of Fairways.
- Jeong HS(2022). Optimization of Marine Aids to Navigation Arrangement Based on the Risk for Ship Fairways, *Graduate School of Korea Maritime and Ocean University*, 63~77.  
[http://kmou.dcollection.net/public\\_resource/pdf/200000603151\\_20221221093745.pdf](http://kmou.dcollection.net/public_resource/pdf/200000603151_20221221093745.pdf)
- Kim AY, LEE YJ, Park SK, Oh JY and Kim YG(2014). A Study on the AtoN Operational Software Development for the AtoN Management and the Decision Support of its Placement Planning, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety* 20(5), 543~551.  
<http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2014.20.5.543>
- Lee HH, Kim DB and Kwon YM(2022). Study on the Arrangement and Function of AtoN on Narrow Channels -Focused on the Cases of Narrow Channels on Southwestern Coast of Korea-, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety* 28(2), 297~306.  
<https://doi.org/10.7837/kosomes.2022.28.2.297>
- MOF(2020). Plan of Implementation of the Aids to Navigation, 5-15.
- MOF(2022a). Aids to Navigation Act, Provision 2.  
<https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?efYd=20220705&lsiSeq=238841#0000> on November 02.
- MOF(2022b). Aids to Navigation Act, Provision 6.

- <https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?efYd=20220705&lsiSeq=238841#0000> on November 02.  
MOF(2022c). Standards for the Functions and Specifications of Aids to Navigation.  
<https://law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?chrClsCd=&admRulSeq=2100000212365> on November 02.
- Moon BS, Park YS and Kim TG(2021). A Study on the Vessel Separation Distance from Aids to Navigation : Focus on 2nd Sea Route on Busan Harbor, Korean Association of Maritime Police Science 11(1), 229~244.  
<https://doi.org/10.30887/jkmpps.2021.11.1.229>  
PIANC(2014). Harbour Approach Channels Design Guidelines.
- 
- Received : 28 November, 2022
  - Revised : 29 December, 2022
  - Accepted : 12 January, 2023