

# 첨단 지상파항법시스템(eLoran) 시범서비스의 LDC 메시지 변조기법에 따른 수신성능 분석

손표웅\* · 이삭\*\* · 황태현\*\*\* · † 서기열

† 선박해양플랜트연구소 책임연구원, \*선박해양플랜트연구소 선임연구원, 과학기술연합대학원대학교 조교수, \*\*국립해양측위정보원, \*\*\*선박해양플랜트연구소 책임연구원

## Analysis of LDC Message Reception Performance of Korean eLoran Pilot Service according to Modulation Methods

Pyo-Woong Son\* · Sak Lee\*\* · Tae Hyun Fang\*\*\* · † Kiyeol Seo

† Principal Researcher, Korea Research Institute of Ocean and Ships Engineering, Daejeon, 34013, Korea

\*Senior Researcher, Korea Research Institute of Ocean and Ships Engineering, Daejeon, 34013, Korea

\*\*Assistant Professor, University of Science and Technology, Daejeon, 34113, Korea

\*\*\*National Maritime PNT Office, Chungcheongbuk-do Okcheon-gun, 29040, Korea

\*\*\*Principal Researcher, Korea Research Institute of Ocean and Ships Engineering, Daejeon, 34013, Korea

**요 약** : eLoran 시스템에서 보다 높은 정확도로 시각 및 위치 정보를 제공하기 위해 별도의 데이터 채널인 Loran Data Channel (LDC)를 사용한다. LDC 메시지는 기존의 8개의 Loran 펄스 중 항법에 사용하지 않는 3-8번째 펄스의 전송시각을 변조하여 송출하는 Eurofix 방식과 9번째 추가 펄스를 이용해 데이터를 변조하는 9<sup>th</sup> 펄스 방식으로 변조될 수 있다. 본 논문에서는 eLoran 송신국에서 송출하는 LDC 메시지의 변조방법에 따른 수신 성능을 분석하였다. 인천에 설치하여 시범운영 중인 eLoran 시험 송신국에서 9<sup>th</sup> 펄스 변조방법과 Eurofix 변조방법으로 동시에 LDC 메시지를 송출할 수 있도록 설정하고, 인천과 평택의 eLoran 보정기준국의 데이터베이스 내 저장된 LDC 메시지를 분석해 변조방법에 따른 LDC 메시지 수신률을 분석하였다. 또한 항로표지 관리선 인성 1호를 이용해 인천항 인근에서 실제 사용자의 LDC 메시지 수신률을 분석하였다. 본 연구결과는 향후 정식 eLoran 서비스 과정에서 공식적인 LDC 방송 메시지를 확정하기 위한 기술자료로 활용될 수 있을 것이다.

**핵심용어** : eLoran, LDC, Eurofix, 9<sup>th</sup> pulse modulation, PNT

**Abstract** : In the eLoran system, the Loran Data Channel (LDC) is used to provide precise timing and positioning. The LDC message can be modulated with the Eurofix method, which modulates the transmission time of the 3rd-8th pulse not used for navigation, and the 9th pulse method, which modulates data using the 9th additional pulse after the existing 8 Loran pulses. In this paper, we analyzed the reception performance of the LDC message transmitted from the eLoran transmitter according to the modulation method. The eLoran testbed transmitter in Incheon was set to transmit LDC messages simultaneously with the 9th pulse modulation method and the Eurofix modulation method. Then, the LDC messages stored in the databases of the eLoran differential stations in Incheon and Pyeongtaek were analyzed in terms of the message reception rate according to the modulation method. Using the navigation aid management ship Inseong No. 1, the range of LDC message reception of actual sea users near Incheon Port was also analyzed. The results of this study are expected to be utilized in the full operational capability service after the eLoran pilot service.

**Key words** : eLoran, LDC, Eurofix, 9<sup>th</sup> pulse modulation, PNT

### 1. 서 론

1950년대부터 해양 분야에서 선박의 항법시스템으로 널리 이용되었던 Loran-C 시스템은 저주파 대역의 고출력 신호를 이

용해 선박의 위치를 계산할 수 있도록 고안되었다(Park, 2019). 1978년 미국의 Global Positioning System (GPS) 위성 이 발사되고 2000년 Selective Availability 사용이 중지되면서 본격적으로 위성항법시스템이 기존 Loran-C 항법시스템을 대

† Corresponding author : 정희원, kyseo@kriso.re.kr 042)866-3684

\* 정희원, pwson@kriso.re.kr 042)866-3693

\*\* 정희원, issac1015@korea.kr 043)730-8062

\*\*\* 정희원, thfang@kriso.re.kr 042)866-3625

(주) 이 논문은 “한국 첨단 지상파항법시스템(eLoran) 시범서비스의 LDC 메시지 변조기법 별 수신 성능 분석”란 제목으로 “2022 항해항만학회 추계 학술대회 논문집(BPEX, 2022.11.10.-11, pp. 204-206)”에 발표되었음.

체하였다. 하지만 GPS와 같은 위성항법시스템의 전파 교란에 대한 취약성이 부각되면서 전파 교란에 강인한 독립적인 항법 시스템에 대한 필요성이 제기되었다 (Park, 2020a; Park, 2020b). 해양수산부에서는 기존의 Loran-C 시스템의 수평 측위정확도를 20 m 이하(95%)로 개선하는 첨단 지상파항법 시스템(eLoran) 개발을 2020년 완료하였으며 (Seo, 2021), 현재는 국립해양측위정보원에서 인천항과 평택항 인근해역을 대상으로 시범서비스를 운영하고 있다 (Son, 2020).

eLoran 시스템은 고정된 위치에서 실시간으로 변하는 전파지연을 측정하여 보정정보를 생성하고 이를 근처의 사용자에게 전달하는 보정기준국(dLoran) 기술을 사용한다 (Kim, 2021). 실시간으로 사용자에게 보정정보를 전달하기 위하여, 항법용 eLoran 신호 이외의 별도 데이터 채널이 필요하게 되었으며, 이를 LDC(Loran Data Channel)이라 한다 (Son, 2022). LDC를 통해 데이터를 전송하기 위해 기존 신호의 송출시각을 기준으로 펄스의 위치를 변조하는 방식들이 제안된 바 있고, 유럽에서는 8개의 eLoran 신호 중 3번째부터 8번째까지 신호의 송출시각을 3단계의 수준으로 변조하는 Eurofix(또는 3-state pulse position modulation) 방식이 제안되었으며 미국에서는 8개의 기존 신호 이외에 추가로 9번째 신호를 전송하고 32개의 서로 다른 전송 시각을 이용하여 데이터를 전송하는 9th pulse modulation 방식이 제안되었다 (Lo, 2007).

두 변조 방법에 따른 LDC 메시지 수신 성능에 대해서는 시뮬레이션 기반으로 선행연구가 수행된 바 있지만 (Han, 2020), 실제 방송된 eLoran 신호를 수신하여 분석한 결과는 연구된 바 없다. 현재 시각동기와 관련된 정보는 두 변조방법에 대해 동시 송출이 가능하지만, 실시간 보정정보에 관한 LDC 메시지는 한가지 변조방법으로만 송출될 수 있다. 그러므로 eLoran 상용 서비스 단계에서 보다 더 넓은 범위의 사용자에게 보정정보를 전달할 수 있도록, 실제 데이터를 활용하여 보다 더 좋은 LDC 메시지 수신율을 확보할 수 있는 변조 방법에 대한 비교분석이 필요하다.

본 논문에서는 국립해양측위정보원이 운영하고 있는 eLoran 테스트베드 내에서 실제 신호를 수신하고 변조 방법에 따른 LDC 메시지의 수신율과 신호대 잡음비(SNR)에 따른 LDC 메시지 수신율을 분석하고자 한다. 먼저, 2장에서는 본 논문의 연구대상의 주요 개념인 LDC 메시지 변조방법에 대한 간단하게 설명한다. 그리고 3장에서는 결과 도출을 위한 실험 구성에 대해 설명하고 4장에서는 이에 대한 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결과를 요약한다.

## 2. eLoran LDC 메시지 변조 방법

eLoran 신호는 하나의 Loran 펄스를 정해진 위상 코드(phase code)에 따라 연속적으로 8개 또는 9개를 1,000  $\mu$ s 간격으로 송출하게 되어 있다. 여기서 처음 2개의 Loran 펄스는 항법해를 계산하는데 사용되지만, 나머지 Loran 펄스는 신호 탐색 및

GRI(Group Repetition Interval) 추정 단계에서만 사용되는 것으로 알려져 있다.

### 2.1 Eurofix 변조 방법

Eurofix 변조 방법은 항법해 계산에 사용되지 않는 3~8번째 Loran 펄스의 송출 시각을  $-1 \mu$ s,  $0 \mu$ s,  $+1 \mu$ s 만큼 조정하여 데이터를 변조하는 방법이다.

eLoran 송신기 규격의 표준을 정의한 SAE9990-1 문서에 따르면 하나의 펄스 그룹에서 사용되는 선행, 지연 펄스의 개수는 서로 같아야 한다 (SAE International, 2018a). 예를 들어,  $-1 \mu$ s 만큼 송출시각이 변경된 펄스가 2개라면,  $+1 \mu$ s 만큼 송출시각이 변경된 펄스도 2개이어야 한다는 뜻이다. 이런 규칙 하에서는 아래 Table 1과 같이 총 141개의 변조 패턴조합이 생성될 수 있고, 이 중 128개를 사용하여 Eurofix 방식으로는 하나의 펄스 그룹당 7 비트의 데이터를 송출할 수 있다.

Table 1 Eurofix modulation combination (Table 3 of [5])

Timing difference between the standard signal and modulation signal			Example	The number of combination
$-1 \mu$ s	$0 \mu$ s	$+1 \mu$ s		
0	6	0	0 0 0 0 0 0	1
1	4	1	0 0 + 0 - 0	30
2	2	2	0 + - + 0 -	90
3	0	3	+ + - - - +	20
Total number of combination				141

### 2.2 9<sup>th</sup> 펄스 변조 방법

9<sup>th</sup> 펄스 변조 방법은 기존 펄스 그룹의 Loran 펄스를 사용하지 않고 마지막 Loran 펄스의 시작점으로부터 1,000  $\mu$ s 떨어진 곳에 데이터 전송을 위한 펄스를 별도로 추가하고, 이 펄스의 송출 시각을 이용해 데이터를 변조한다 (SAE International, 2018b). 추가 펄스의 시작점을 기준으로 식 (1)과 같은 송출시각 변조를 통해 총 32 개의 조합을 이용할 수 있고 이는 하나의 펄스 그룹당 5 비트의 데이터를 전송할 수 있음을 의미한다.

$$\text{변조시각}(\mu\text{s}) = 1.25 \times \text{mod}(i, 8) + 50.625 \times \text{floor}(i/8), i = 0, 1, \dots, 31 \quad (1)$$

## 3. eLoran LDC 메시지 수신 실험 구성

인천의 eLoran 시험송신국에서는 두 가지 변조 방법 중 한 가지 방법으로도 실시간 보정정보를 LDC로 송출할 수 있다. 하지만 시각동기와 관련된 정보의 경우 두 가지 변조 방법으로도 모두 송출이 가능하도록 설계되어 있다. 그러므로 시각동기와 관련된 LDC 메시지를 분석하면 변조 방법에 따른 LDC 메시지

의 수신율을 비교 분석할 수 있다.

전송기법 간의 성능을 분석하기 위해 첫 번째로 인천항 및 평택항 인근 육상에 구축된 eLoran 보정기준국(dLoran) 2개소에서 인천 아라뱃길 시험송신국에서 방송하는 eLoran LDC 메시지를 수신하는 정적상태 실험과 두 번째로 해상에서의 성능을 분석하고자 인천지방해양수산청 향로표지선(인성1호)에서 eLoran LDC 메시지를 수신하는 동적상태 실험을 수행하였다.

상기 실험에 eLoran LDC 전송기법 이외 모든 조건을 동일하게 적용할 수 있도록 Ursanav 사의 eLoran 송신기(NL-40) 및 수신기(UN-152B)를 설정하였고, eLoran LDC 메시지 수신 실험을 위해 Fig. 1과 같이 eLoran E-Field 안테나를 설치하였다.



Fig. 1 E-field antenna establishment for eLoran LDC message reception campaign (left: Pyeongtaek differential Loran station, center: Incheon differential Loran station, right: Insung 1-ho)

Ursanav사 eLoran 수신기(UN-152B)는 1개의 LDC 메시지를 수신하면 1개의 RMSGA 태그를 출력한다는 특성을 이용하여 2022년 7월 1일부터 7월 31일까지 총 3대(인천 보정기준국·평택 보정기준국·인성1호) 수신기의 원시데이터가 저장된 전체 시간 동안 이론적인 RMSGA 태그 출력 수 대비 실제 출력 수의 비를 통해 각각의 eLoran LDC 전송기법에 따른 수신율과 신호대 잡음비에 따른 eLoran LDC 메시지 수신율 계산하여 성능을 분석하였다.

#### 4. 실험 결과 분석

##### 4.1 변조 방법에 따른 eLoran LDC 메시지 수신율

본 연구에서 비교하고자 하는 2가지 LDC 메시지 변조방법 중 Eurofix 방식은 하나의 메시지 단위가 총 210 비트로 구성되어 있다. 2장에서 언급한 것처럼 Eurofix 변조방식은 하나의 펄스 그룹에서 7 비트만큼 데이터를 전송할 수 있으므로, 30번 전송하는 것이 필요하다. 9<sup>th</sup> 펄스 변조방식은 하나의 메시지 단위가 120 비트이며 하나의 펄스 그룹에서 5비트만큼 데이터를 전송할 수 있으므로 24번 전송해야 한다.

한국 eLoran 시범서비스는 하나의 펄스그룹이 신호를 다시 송출하는데까지 99,300 μs의 시간간격이 소요되므로 아래 식 (2)에 의해 각 변조방식 별 LDC 메시지 전송주기를 계산할 수 있

고, 계산결과 Eurofix의 경우 2.98초, 9<sup>th</sup> 펄스의 경우 2.38초가 소요된다.

$$\text{메시지 전송주기(초)} = \frac{\{\text{메시지 총길이(비트)} \times 99,300 \div 10^6\}}{1\text{개 펄스그룹당 전송가능한비트수}} \quad (2)$$

Ursanav사 eLoran 수신기(UN-152B)는 1개의 LDC 메시지를 수신하면 1개의 RMSGA 태그를 출력하므로 총 신호 수신 시간을 변조기법에 따른 메시지 전송주기로 나누어 이론적으로 수신기가 출력하여야 하는 RMSGA 태그 수를 산출하고, 실제 수신기에 저장된 RMSGA 태그 수를 식 (3)과 같이 나누어 eLoran LDC 메시지 수신율을 분석하였다.

$$\begin{aligned} \text{Message reception rate(\%)} & \quad (3) \\ & = \frac{\text{The number of RMSGA tags}}{\text{Total received time} \div \text{Message transmission period}} \end{aligned}$$

인천 보정기준국에 설치된 eLoran 수신기에서 7월 1일부터 7월 31일까지 총 신호 수신 시간은 31일 × 86,400초이므로 2,678,400초가 된다. 해당 시간을 각 변조방법별 메시지 전송주기로 나누면, 수신기에 저장된 Eurofix와 9<sup>th</sup> 펄스 메시지의 RMSGA 태그 수는 각각 898,791개, 1,125,378이어야 한다. 실제 인천 보정기준국에 설치된 eLoran 수신기에 7월 한 달동안 저장된 RMSGA 태그 수는 Eurofix가 891,543개였으며, 9<sup>th</sup> 펄스는 1,108,976개였다. 결과적으로, 인천 보정기준국에서 Eurofix 변조방식의 LDC 메시지 수신율은 891,543/898,791\*100= 99.2% 이고 9<sup>th</sup> 펄스 변조방식의 LDC 메시지 수신율은 1,108,976/1,125,378\*100= 98.5%이다. 평택 보정기준국과 인성1호에 설치된 eLoran 수신기에서의 데이터도 같은 방식으로 결과를 도출하고 정리하면 아래 Table 2와 같다.

Table 2 eLoran LDC message reception rate according to the modulation method (1st - 31th July, 2022)

Modulation method	Incheon differential Loran station	Pyeongtaek differential Loran station	Insung 1-ho
Eurofix	99.2 %	88.0 %	99.4 %
9 <sup>th</sup> Pulse position modulation	98.5 %	12.2 %	61.5 %

결과에 따르면 Eurofix 변조방법은 상대적으로 송신국으로부터 거리가 먼 평택 보정기준국 (약 65 km)에서도 높은 확률로 LDC 메시지를 수신할 수 있는 것으로 확인되었다. 인성 1호는 인천 인근 해상에서 활동한다는 점에서 신호 수신위치가 eLoran 시험송신국으로부터 인천 보정기준국보다는 멀고 평택 보정기준국보다는 가깝다는 특징이 있는데, 결과적으로도 두 데이터의 중간값을 가지는 것으로 확인된다. 이로부터 송신국으로부터 거리가 멀어짐에 따라 신호 세기의 감쇠가 일어나고

LDC 메시지 수신율이 낮아지지만, 신호 감쇠에 따른 성능 저하가 Eurofix 변조방식이 9<sup>th</sup> 펄스 변조방식에 비해 작다는 것을 확인할 수 있다.

#### 4.2 SNR에 따른 eLoran LDC 메시지 수신율

eLoran 신호는 지표를 따라 전파하는 지상파 신호이므로 전파환경의 상태에 따라 신호의 SNR이 달라질 수 있다. 예를 들어, 비나 눈과 같은 기상 환경으로 인해 지표면의 습도가 변화하고, 유효대지도전율이 변화하여 신호의 전파환경이 달라지게 된다. 또한 계절에 따라 대기잡음의 세기가 달라지게 되므로 전파 신호의 SNR이 변화할 수 있다.

eLoran 시스템의 서비스 구축에 따른 권고서인 IALA GUIDELINE G1125 문서에 따르면, 보정기준국인 LDC 메시지를 잘 수신하기 위해서는 7 dB 이상의 SNR 성능을 확보할 수 있어야 한다고 권장하고 있으므로 이를 기반으로 실제 보정기준국에서 수신된 eLoran 신호의 SNR과 그에 따른 LDC 메시지 수신율 분석해보고자 한다.

4.1 장에서 사용한 동일한 데이터를 이용해 RMSGA 태그가 출력된 시간의 인천 시험송신국 eLoran 신호의 SNR을 분석하였다. 이는 LDC 메시지가 정상적으로 수신기에서 복조되어 해석되었을 때의 eLoran 신호의 SNR을 의미하는 것으로, 전체 신호 수신 시간에서 eLoran 신호의 SNR을 모수로 설정하여 비교한다면 특정 SNR에서의 LDC 메시지 수신율을 분석할 수 있다.

예를 들어, 평택 보정기준국에서 측정된 인천 시험송신국 eLoran의 신호 SNR이 10~11 dB 범위에 있는 시간은 총 383,284초였으며, 9<sup>th</sup> 펄스 변조방법의 전송 주기가 2.38초임을 감안하면 해당 시간동안 383,284초/2.38(초/개)이므로 161,044개의 RMSGA 태그가 저장될 수 있다. 평택 보정기준국 수신기 데이터 내에 실제로 저장된 9<sup>th</sup> 펄스 변조방법의 RMSGA 태그 수는 27,828개였으며, 이에 따라 SNR이 10~11 dB 범위인 경우 9<sup>th</sup> 펄스 변조방법의 eLoran LDC 메시지 수신율은  $27,828/161,044 \times 100 = 17.3\%$ 가 된다.

위와 같은 방식으로 인천 보정기준국과 평택 보정기준국에서 eLoran 신호의 SNR에 따른 LDC 메시지 수신율을 분석하면 각각 아래 Fig. 2와 Fig. 3과 같다. 인천 보정기준국의 경우 인천 eLoran 시험송신국과의 거리가 가깝기 때문에 거의 모든 시간에 높은 SNR로 신호가 수신되었고, 이에 따라 높은 LDC 메시지 수신율을 나타내고 있다. 9<sup>th</sup> 펄스 변조방식의 경우 SNR이 10 내외일 때, 39일 때 메시지 수신율이 낮게 나타나지만, 이는 모수가 매우 작아서 통계적으로 유의미한 결과는 아니라고 할 수 있다.

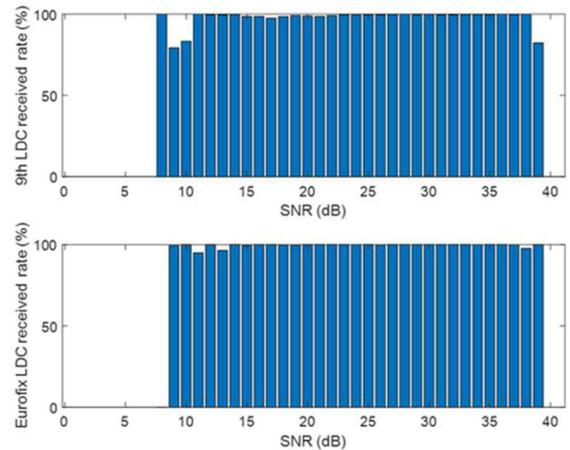


Fig. 2 LDC message reception rate according to the SNR of eLoran signal in Incheon differential Loran station

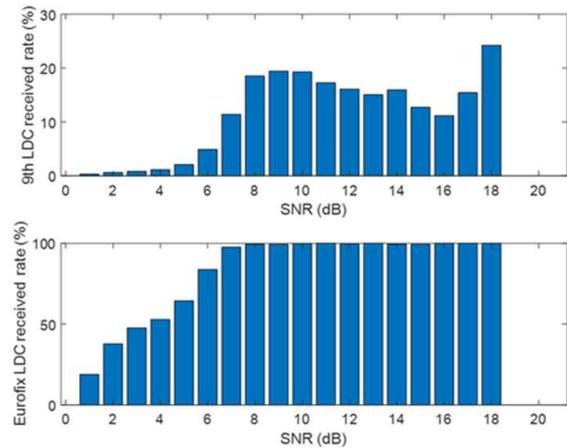


Fig. 3 LDC message reception rate according to the SNR of eLoran signal in Pyeongtaek differential Loran station

반면에 평택 보정기준국은 인천 보정기준국보다 eLoran 시험송신국으로부터 거리가 멀기 때문에 eLoran 신호의 SNR이 인천 보정기준국에서보다 낮게 측정되었다. IALA GUIDELINE G1125에 따른 권고 사양인 SNR 7 dB 이상의 신호 수신 상황에서는 두 변조 방법 모두 일관적인 LDC 메시지 수신율을 보였으나 SNR이 7 dB 이하일 경우 급격히 LDC 메시지 수신율이 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 우리나라의 eLoran 서비스 이전에 시범운영 과정에서 더 넓은 범위의 사용자에게 보정정보를 전달할 수 있는 LDC 메시지 변조방법을 결정하기 위해 대표적인 2가지 변조방법에 따라 실제로 메시지를 송출하고 수신하여 서로 다른 3곳

에서 수신된 데이터를 이용해 LDC 메시지 수신율을 분석하였다. 7월 1일부터 31일까지의 데이터 분석 결과 Eurofix 변조방법의 경우 평택 보정기준국에서 약 88%의 수신율을 보였으며, 약 12%의 수신율을 보인 9<sup>th</sup> 펄스 변조방법보다 더 우수한 성능을 가짐을 확인하였다. 또한 인천과 평택 보정기준국에서의 데이터를 이용해 SNR에 따른 LDC 메시지 수신율을 분석하였고, IALA GUIDELINE G1125에서 권고한 바와 같이 SNR이 7 dB 이하로 떨어지게 되면 급격히 LDC 메시지 수신율이 낮아진다는 점을 확인하였다. 본 논문에서의 연구결과를 통해 추후 공식적인 eLoran 서비스의 LDC 메시지 유효커버리지를 예측하는데 큰 도움이 될 것이라고 기대한다.

## 후 기

본 논문은 해양수산부의 지원으로 수행된 “첨단 지상파항법시스템 (eLoran) 기술개발 [PMS4020]” 과제와 “지상파 통합 항법시스템 (R-Mode) 기술개발 [PMS5030]” 과제로 수행된 연구결과입니다.

## 참 고 문 헌

- [1] Kim, W. et al.(2021), “First Demonstration of the Korean eLoran accuracy in a narrow waterway using improved ASF maps”, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 58, No. 2, pp. 1492-1496.
- [2] Park, S. G. and Son, P. W.(2019), “Design for Back-up of Ship’s Navigation System using UAV in Radio Frequency Interference Environment”, *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 23, No. 4, pp. 289-295.
- [3] Seo, K. et al.(2021), “Design of Performance Monitoring System for eLoran Time Synchronization Service”, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 27, No. 6, pp. 815-821.
- [4] Lo, S. C. et al.(2007), “Loran Data Modulation: Extensions and Examples”, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 43, No. 2, pp. 628-644.
- [5] SAE International(2018a), “Transmitted Enhanced Loran (eLoran) Signal Standard for Tri-State Pulse Position Modulation”, pp. 1-11.
- [6] SAE International(2018b), “Transmitted Enhanced Loran (eLoran) Signal Standard for 9th Pulse Modulation”, pp. 1-13.
- [7] Son, P. W. et al.(2020), “eLoran:Resilient Positioning, Navigation, and Timing Infrastructure in Maritime Areas, *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 193708-193716.
- [8] Son, P. W. et al.(2022), “Compensation Method of eLoran Signal’s Propagation Delay and Performance Assessment in the Field Experiment”, *Journal of Positioning, Navigation, and Timing*, Vol. 11, No. 1, pp. 22-28.
- [9] Park, K. and Seo, J.(2020a), “Performance Analysis of MUSIC-Based Jammer DOA Estimation Technique for a Misaligned Antenna Array”, *Journal of Positioning, Navigation, and Timing*, Vol. 9, No. 1, pp. 7-13.
- [10] Park, K. and Seo, J.(2020b), “Performance Analysis of GPS Anti-Jamming Method Using Dual-Polarized Antenna Array in the Presence of Steering Vector Errors”, *Journal of Positioning, Navigation, and Timing*, Vol. 9, No. 2, pp. 59-63.
- [11] Han, Y. et al.(2020), “Data Transmission Method and Performance Comparison of eLoran System”, in the *Proceedings of 2020 IPNT Conference*, pp. 1-4.

---

Received 15 November 2022

Revised 02 December 2022

Accepted 02 December 2022