

실측치 보정 시뮬레이션 기반 개선된 eLoran 서비스 커버리지 예측

서기열, 김영기, 한영훈, 황태현[†]

Improved eLoran Service Coverage Prediction Based on Field-Measurements-Corrected Simulation

Kiyeol Seo^{id}, Youngki Kim^{id}, Younghoon Han^{id}, Tae Hyun Fang^{† id}

Ocean & Maritime Digital Technology Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO), Daejeon 34103, Republic of Korea

ABSTRACT

To enhance the resilience of the national Positioning, Navigation, and Timing (PNT) infrastructure and address the vulnerabilities of satellite navigation systems, the Republic of Korea has initiated the deployment of the Enhanced Loran (eLoran) system, a terrestrial navigation technology led by the Ministry of Oceans and Fisheries (MOF). Currently, three eLoran transmitting stations are operational in Pohang, Gwangju, and Socheongdo, providing service coverage across the West Sea region. In parallel, differential reference stations (dLoran) have been installed at the ports of Incheon, Pyeongtaek, and Daesan, providing positioning accuracy within 20 meters for vessels. This paper presents a comparative analysis of eLoran service coverage based on both simulation-based predictions and field measurements collected from 26 locations nationwide. The analysis evaluates the signal strength (SS) and signal-to-noise ratio (SNR) of the eLoran transmissions. Furthermore, a regression model is developed using empirical data to improve the accuracy of coverage prediction. The results are expected to contribute to a clearer understanding of the current eLoran service area and provide a policy basis for future expansion of the system.

Keywords: eLoran, service coverage, signal strength, signal to noise ratio, position accuracy, simulation

주요어: 이로란, 서비스 범위, 신호세기, 신호대잡음비, 측위정확도, 시뮬레이션

1. INTRODUCTION

우리나라는 위성항법시스템(global navigation satellite system, GNSS) 신호를 사용하지 못하는 상황이 발생하더라도 국가 주요 산업 인프라 및 선박 등에 우리나라 독자적인 위치·항법·시각(positioning, navigation, and timing, PNT) 정보를 안정적으로 제공하여 해당 산업의 경제적 피해를 예방하고자 2016년부터 첨단지상파항법시스템(enhanced long range navigation, eLoran) 기술개발을 시작하여 2020년에 핵심기술 개발을 완료하였으며, 시험송신국 및 테스트베드 운영을 통해 eLoran 서비스와 그 성능에 대한 검증을 수행하였다 (NMPO 2025a). 이를 기반

으로 소청도에 신규 eLoran 송신국(8 kW)을 구축하여 포항송신국(150 kW), 광주송신국(25 kW)에서 eLoran 신호를 각각 송출하고 있으며 현재 서해 중북부 해역에서 항법신호의 이용이 가능하다. 또한 인천항, 평택항, 대산항에 보정기준국(differential Loran station)을 설치하여 항만 인근을 운항하는 선박들이 보정기준국 반경 30 km 범위 내에서 측위정확도(position accuracy) 20 m 이내의 성능을 얻을 수 있다 (Son et al. 2020, 2022). Fig. 1은 우리나라 eLoran 송신국 및 보정기준국, 통합운영제어국 구성 현황을 나타낸다 (Seo et al. 2022, NMPO 2025b).

일반적으로 eLoran 서비스의 가용 커버리지를 예측하기 위하여 시뮬레이션 툴을 활용하는데, 시뮬레이션 환경변수로 유효대

Received May 20, 2025 Revised May 30, 2025 Accepted Jun 05, 2025

[†]Corresponding Author E-mail: thfang@kriso.re.kr



Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

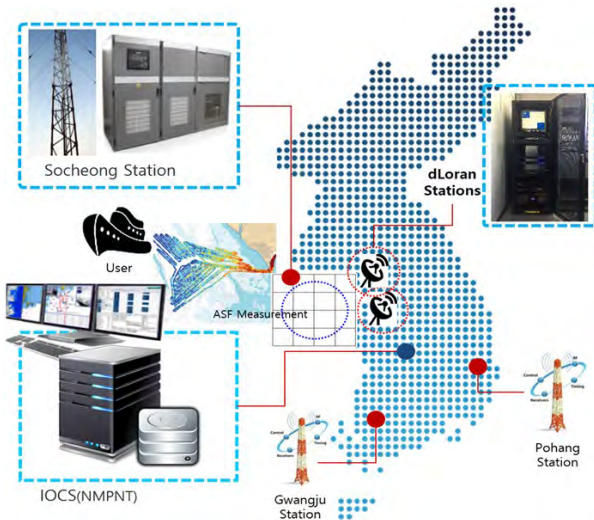


Fig. 1. Deployment and operational status of the eLoran system (Seo et al. 2022).

지전도율, 대기잡음 등의 파라미터 입력을 통해 송신기로부터 송출되는 신호 전달특성에 따른 전파감쇄 (ITU 2007) 정도와 신호 대잡음비(signal to noise Ratio, SNR) 영향을 분석하여 측위정확도를 예측할 수 있다 (Rhee et al. 2021). 본 논문에서는 eLoran 서비스 커버리지를 예측하기 위해 eLoran 시뮬레이션 툴을 이용하여 현재 운영 중인 포항, 광주, 소청도 송신국 출력신호의 신호세기(signal strength, SS), 신호대잡음비, 측위정확도 측면에서의 가용범위를 예측한다 (Rhee et al. 2021). 이를 기반으로 실제 eLoran 신호 이용자 관점에서의 보다 정확한 가용범위를 파악하기 위해 eLoran 상용수신기 (UrsaNav 2025)를 이용한 실측 데이터를 기반으로 시뮬레이션 결과와 비교를 수행한다. 시뮬레이션 예측치와 실측치에 대한 오차 결과를 회귀분석모델식을 적용하여 보정한 최종 시뮬레이션 결과를 도출하고 개선된 eLoran 서비스 가용 커버리지를 제시한다. 개선된 eLoran 서비스 커버리지 예측을 통해 보다 정확한 이용자 이용범위를 파악할 수 있어 향후 eLoran 서비스 성능향상과 지상파 PNT 정책 결정을 위한 기반자료로서의 활용을 기대할 수 있을 것이다.

2. COMPARISON OF ELORAN SIMULATION AND MEASURED DATA

2.1 Simulation and Experimental Configuration

2.1.1 Configuration of eLoran simulation

우리나라 eLoran 송신국 환경에 따른 서비스 성능예측 시뮬레이션을 위해 연세대학교 eLoran 시뮬레이션 툴을 이용하여 신호세기, 신호대잡음비, 측위정확도를 분석하였다. 시뮬레이션 툴에서는 eLoran 시스템의 측위정확도 예측 성능을 높이기 위해서 송신기의 지터(jitter)를 추정하였고 토지피복도(land cover map) (MOE 2005)를 이용하여 정밀한 유효대지전도율 정보를

Table 1. Input parameters and values for eLoran simulation.

Input parameter	Value
Pohang output power (ERP)	150 kW
Gwangju output power (ERP)	25 kW
Socheong-do output power (ERP)	8 kW
Pohang Transmitter jitter	2.11 m
Gwangju Transmitter jitter	3.21 m
Socheong-do Transmitter jitter	2.11 m
Season	'Averaged'
Noise level	95%
SNR threshold	-15 dB

Table 2. Experimental equipment.

Equipment	Model
eLoran receiver	UrsaNav UN-152
eLoran antenna	E-Field/H-Field
High precision GNSS Receiver & Antenna	NovAtel Propak with TerraStar-C Pro
Laptop for data logging	HP ProBook 440

적용하였다 (Rhee et al. 2021). 포항송신국(9930M), 광주송신국(9930W), 소청도송신국(9930V) 출력 (NMPO 2025a)에 따른 신호세기, 신호대잡음비, 측위정확도 성능예측 시뮬레이션을 위해 설정한 입력 파라미터는 Table 1과 같다.

2.1.2 Field experimental set up

현장 실측을 위한 시스템 구성은 Table 2에 나타난 바와 같이, UrsaNav 사의 UN-152 수신기와 안테나를 이용하였고, 수신기의 정밀위치를 얻기 위해 NovAtel 사의 Flexpak 6 수신기와 TerraStar-C Pro 고정밀 보정서비스를 이용하였으며 (NovAtel 2025), eLoran 수신기의 원시계측정보를 로깅하여 분석하였다. Fig. 2와 같이 차량에 필드 측정장비를 탑재하고 시스템 연결을 통해 eLoran 서비스 커버리지 및 수신환경에 대한 실측을 수행하였다.

2.2 Comparison of Simulation Prediction and Field Measurement

2.2.1 Signal strength comparison

시뮬레이션 예측치와 실측치 비교 분석을 위하여 전국 26점을 대상으로 9930M(포항), 9930W(광주), 9930V(소청도) 신호의 수신 신호세기와 신호대잡음비에 대한 시뮬레이션 결과를 도출하였고 이를 실측 결과와 비교하였다. 송신국 신호별로 시뮬레이션을 이용한 결과(예측치)와 수신기를 이용하여 필드 측정한 결과(실측치)를 신호세기 관점에서 비교하여 정리하면 Table 3과 같다. 시뮬레이션 예측치 결과가 실측치 결과 보다 전반적으로 높게 나온 것으로 보아 전파 전달 경로상의 유효대지전도율에 대한 추가 고려가 필요함을 파악할 수 있다.

2.2.2 Signal to noise ratio comparison

전국 26점을 대상으로 9930M(포항), 9930W(광주), 9930V(소

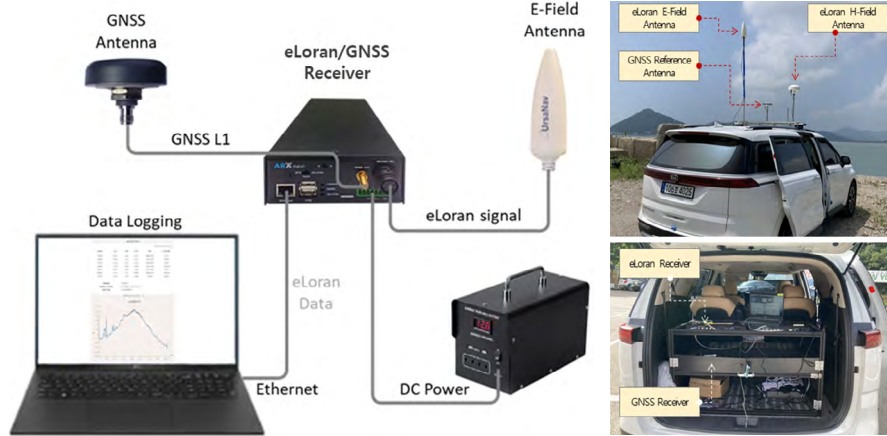


Fig. 2. Equipment connection and Vehicle-mounted installation.

Table 3. Comparison of simulation results with field measurements –SS (unit: [dB (uV/m)]).

Location	Tr. Stations		9930M (Pohang)		9930W (Gwangju)		9930V (Socheong-do)	
	Lat.	Lon.	Field SS	Simulation SS	Field SS	Simulation SS	Field SS	Simulation SS
Baengnyeondo (Youngipo)	37.95500	124.73510	47.48	61.43	43.99	61.29	66.26	65.42
Gunsan (Eocheongdo)	36.11390	125.98590	60.81	67.46	64.44	73.01	55.84	65.65
Jeju Island (Haye Port)	33.23320	126.37580	67.18	55.45	64.92	67.61	49.4	51.41
Yeosu (Geomundo)	34.04610	127.29660	65.23	62.31	65.32	70.99	46.9	52.51
Pohang (Yeongil Bay)	36.11070	129.43530	89.08	97.81	48.14	58.84	38.31	53.44
Ulleundo (Sadong Port)	37.46430	130.87860	66.73	75.33	36.47	52.01	28.53	52.37
Goseong (Chogyeri)	38.49940	128.42670	55.35	67.74	34.66	55.74	32.14	62.61
Mallipo Port	36.79003	126.14618	55.42	67.56	-	68.42	52.4	71.57
Anmyeondo Port	36.58663	126.31823	56.42	68.44	-	69.75	51.11	70.00
Daeheon Port	36.31300	126.51774	54.09	69.39	-	71.74	47.06	67.69
Seocheon	36.12957	126.62717	54.91	70.00	-	73.37	48.19	66.18
Saemangeum	35.83550	126.48888	46.88	69.52	-	76.82	47.39	64.30
Seonunsan	35.46937	126.67478	51.78	69.81	-	82.15	43.36	61.81
Hampyeong	35.07012	126.47879	50.62	67.71	-	96.97	42.25	59.94
Mokpo (North Port)	34.80850	126.36672	53.26	66.12	-	87.25	41.22	58.37
Yeongdong (Hwanggan Rest area)	36.24880	127.85341	68.7	77.00	-	68.17	35.53	63.22
Seongju (Namseongju Rest area)	35.86816	128.31716	72.6	80.65	-	66.83	-	58.33
Haman (Uriyeong Botanical Garden)	35.32353	128.27989	68.1	76.17	-	68.26	-	56.39
Jinju (Munsan Rest area)	35.17167	128.15281	67.44	74.24	-	69.16	-	56.54
Sacheon (Sacheon Rest area)	35.07441	128.01227	65.61	72.91	-	70.20	-	56.26
Gwangyang (Seomjingang Rest area)	34.98415	127.76821	57.54	70.58	-	72.54	-	57.01
Boseong (Green tea Rest area)	34.81425	127.12570	54.85	67.95	-	80.47	41.59	57.37
JangHeung (Jeongnamjin Rest area)	34.72065	126.93083	55.21	66.96	-	82.21	41.79	57.28
Haenam (Dinosaur Museum)	34.59079	126.43185	53.87	64.84	-	82.41	44.68	57.36
Jindo (Jindo Port)	34.37614	126.13743	50.99	63.55	-	77.57	45.24	56.08
Hampyeong (Cheonji Rest area)	35.13143	126.48170	53.29	67.91	-	94.20	44.94	60.23

청도) 신호의 수신 신호대잡음비에 대한 시뮬레이션 결과와 수신 기를 이용한 실측 비교결과를 Table 4에 정리하였다. 시뮬레이션 예측치 결과에 비해 실측치 결과가 비교적 높게 나온 것은 필드 측정 위치의 수신잡음 환경이 시뮬레이션 상의 잡음 수준보다 보편적으로 좋은 환경이었을 것으로 추정되며 측정 안테나의 이득이 반영된 결과로 보인다.

3. CORRECTION METHOD USING FIELD MEASUREMENT: REGRESSION ANALYSIS

시뮬레이션 결과와 실측 결과의 차이에 대한 신호세기와 신호대잡음비 비교분석을 위해 상관분석과 회귀분석을 수행하였

으며, Tables 3과 4의 1~7행의 실측치 데이터는 측정 시스템의 차이(안테나의 종류와 공급 전원)로 인하여 본 시뮬레이션에서는 8~26행에 대한 표본만을 사용하여 상관분석과 회귀분석을 수행하였다.

3.1 Signal Strength

신호세기에 대한 시뮬레이션 결과와 실측 결과의 차이에 대한 상관분석 결과로서 신호세기에 대한 시뮬레이션 예측치와 수신기 실측치는 유의미한 양의 상관관계를 나타내었다 ($R: 0.8726$ / $P: 0.0000$). 회귀분석 결과, 도출된 1차식의 1차 계수는 1.275이고 2차 계수는 -33.04를 얻었다 (Sum of Squares Error (SSE): 595.1 / 결정계수: 0.7615 / 수정된 결정계수: 0.7538 / Root Mean Square

Table 4. Comparison of simulation results with field measurements – SNR (unit: [dB]).

Location	Tr. Stations		9930M (Pohang)		9930W (Gwangju)		9930V (Socheong-do)	
	Lat.	Lon.	Field SNR	Simulation SNR	Field SNR	Simulation SNR	Field SNR	Simulation SNR
Baengnyeondo (Youngipo)	37.95500	124.73510	8.17	3.81	4.67	3.67	26.95	7.80
Gunsan (Eocheongdo)	36.11390	125.98590	18.82	7.18	22.45	12.73	13.85	5.36
Jeju Island (Haye Port)	33.23320	126.37580	10.06	-9.25	7.67	2.91	-7.85	-13.29
Yeosu (Geomundo)	34.04610	127.29660	9.5	-1.22	9.59	7.46	-8.92	-11.02
Pohang (Yeongil Bay)	36.11070	129.43530	40.56	37.26	-0.38	-1.71	-10.21	-7.11
Ulleundo (Sadong Port)	37.46430	130.87860	31.26	16.73	1.00	-6.59	-2.37	-6.23
Goseong (Chogyeri)	38.49940	128.42670	32.47	10.64	11.78	-1.35	9.26	5.52
Mallipo Port	36.79003	126.14618	13.89	8.27	-	9.13	10.49	12.29
Anmyeondo Port	36.58663	126.31823	15.49	8.84	-	10.15	10.05	10.39
Daeheon Port	36.31300	126.51774	11.42	9.35	-	11.71	4.16	7.66
Seocheon	36.12957	126.62717	15.86	9.68	-	13.06	9.32	5.86
Saemangeum	35.83550	126.48888	7.96	8.77	-	16.07	7.49	3.55
Seonunsan	35.46937	126.67478	12.05	8.49	-	20.83	3.48	0.49
Hampyeong	35.07012	126.47879	11.54	5.80	-	35.07	3.28	-1.97
Mokpo (North Port)	34.80850	126.36672	8.99	3.83	-	24.96	-2.78	-3.93
Yeongdong (Hwanggan Rest area)	36.24880	127.85341	25.06	16.77	-	7.93	-6.87	2.98
Seongju (Namseongju Rest area)	35.86816	128.31716	27.02	19.81	-	5.99	-	-2.51
Haman (Uriyeong Botanical Garden)	35.32353	128.27989	20.24	14.51	-	6.60	-	-5.27
Jinju (Munsan Rest area)	35.17167	128.15281	25.47	12.35	-	7.28	-	-5.35
Sacheon (Sacheon Rest area)	35.07441	128.01227	19.07	10.89	-	8.18	-	-5.77
Gwangyang (Seomjingang Rest area)	34.98415	127.76821	10.34	8.44	-	10.40	-	-5.13
Boseong (Green tea Rest area)	34.81425	127.12570	10.02	5.60	-	18.12	-3.21	-4.98
JangHeung (Jeongnamjin Rest area)	34.72065	126.93083	11.55	4.48	-	19.73	-1.29	-5.20
Haenam (Dinosaur Museum)	34.59079	126.43185	8.97	2.21	-	19.78	1.38	-5.27
Jindo (Jindo Port)	34.37614	126.13743	6.87	0.62	-	14.63	-0.67	-6.86
Hampyeong (Cheonji Rest area)	35.13143	126.48170	8.06	6.09	-	32.39	-1.46	-1.58

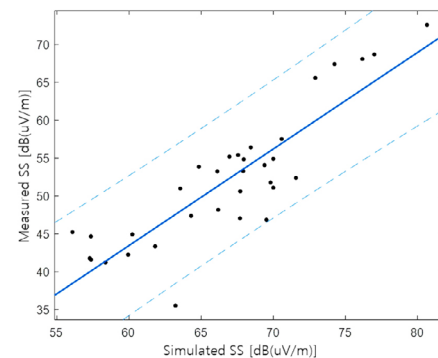
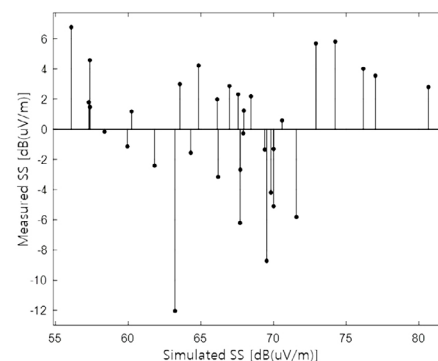
Error (RMSE): 4.381). 식 (1)은 시뮬레이션 예측 신호세기에서 실측 신호세기로의 회귀식을 나타낸다.

$$f(x) = 1.275x - 33.04 \quad (1)$$

여기에서 상관계수(Coefficient of Correlation, R)는 두 변인을 측정하였을 때 한 변인의 변화에 따라 그에 대응하는 다른 변인이 어떻게 변화하는지를 나타내는 통계량이다. R은 -1~1 사이의 값을 가지며, 1에 가까우면 양의 상관관계이고 -1에 가까우면 음의 상관관계를 나타내며 0에 가까우면 상관관계가 없음을 의미한다. 일반적으로 상관계수가 0.7 이상이거나 -0.7 이하의 경우 상관관계가 높다고 해석된다. P(P-value) 값의 범위는 0~1이다. 0에 가까울수록 R이 유의미한 상관관계임을 나타내며 R이 무의미할 확률이 낮음을 나타낸다. 또한 결정계수(Coefficient of Determination, R²)는 독립변수가 종속변수를 얼마나 잘 설명하는지를 나타내는 계수로서 독립변수와 종속변수의 상관관계가 클수록 결정계수의 값은 1에 가까워진다. 일반적으로 결정계수가 0.65 이상인 경우 의미가 있다고 해석하며, 1에 가까울수록 회귀선이 잘 도출된 것으로 본다.

수정된 결정계수(Adjusted Coefficient of Determination, Adjusted R²)는 결정계수가 독립변수의 수가 많아질수록 증가하는 문제점을 보완한 통계량이다. 결정계수와 수정된 결정계수 간의 차이가 적어야 회귀선이 적합하다는 판단을 할 수 있다. 일반적으로 수정된 결정계수가 결정계수와 10% 이상 차이를 보이면 이상을 의심할 필요가 있다. SSE와 RMSE는 표본과 표본으로부터 도출된 회귀식의 차이값인 잔여오차에서 파생한 것으로 이들이 작을수록 이상 표본이 적고 회귀선이 잘 추정된 것으로 볼 수 있다.

Fig. 3은 시뮬레이션 예측 신호세기에 대한 실측 신호세기를

**Fig. 3.** Measured vs. simulated signal strength (SS).**Fig. 4.** Residuals between measured and simulated signal strength (SS).

나타내며 검은 점은 점은 각 표본을 나타내고 푸른 실선은 예측 신호세기에서 실측신호 세기로의 회귀선을 나타낸다. 회귀선을 기준

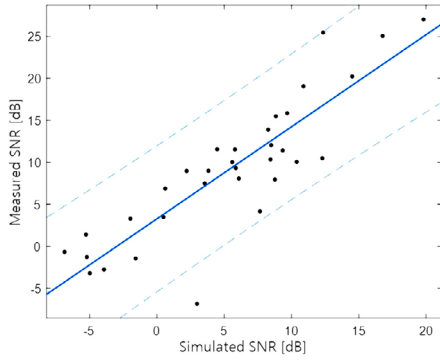


Fig. 5. Measured SNR vs. simulated SNR.

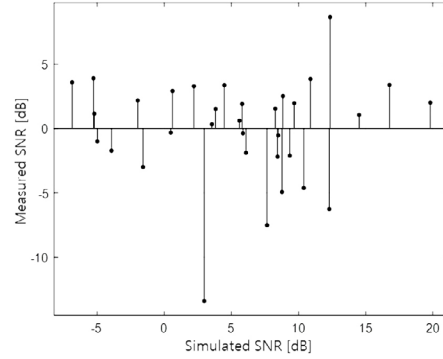


Fig. 6. Measured SNR vs. simulated SNR.

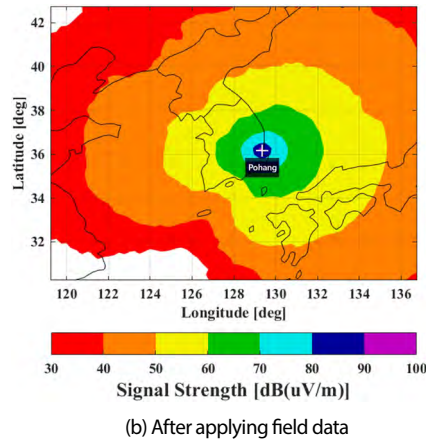
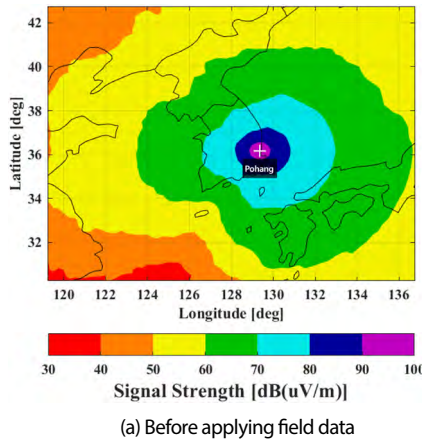


Fig. 7. Corrected simulation result using field measurement: SS (Pohang).Corrected simulation result using field measurement: SS (Pohang).

으로 양쪽 두 푸른 점선 사이의 공간은 95% 확률로 표본이 존재할 수 있는 공간이다. 그리고 회귀분석을 통해 도출된 회귀선으로부터 각 표본의 차이(잔차)를 나타내면 Fig. 4와 같다.

3.2 Signal to Noise Ratio

신호대잡음비에 대한 시뮬레이션 결과와 실측 결과의 차이에 대한 비교분석을 위해 상관분석과 회귀분석을 수행하였으며, 상관분석 결과, 신호대잡음비에 대한 시뮬레이션 결과와 수신기 실측 결과 역시 유의미한 양의 상관관계를 나타내었다 ($R: 0.8712$ / $P: 0.0000$). 회귀분석 결과, 도출된 1차식의 1차 계수는 1.098이고 2차 계수는 3.261을 얻었다 ($SSE: 537.5$ / 결정계수: 0.7589 / 수정된 결정계수: 0.7512 / $RMSE: 4.164$). 식 (2)는 시뮬레이션 예측 신호대잡음비에서 실측치로의 회귀식이다.

$$f(x) = 1.098x + 3.261 \quad (2)$$

Fig. 5는 시뮬레이션 예측 신호대잡음비에 대한 실측치를 나타내며 검은 점은 각 표본을 나타내고 푸른 실선은 예측 신호대잡음비에서 실측 신호대잡음비의 회귀선을 나타낸다. 회귀선을 기준으로 양쪽 두 푸른 점선 사이의 공간은 95% 확률로 표본이 존재할 수 있는 공간이다. 그리고 회귀분석을 통해 도출된 회귀

선으로부터 각 표본의 차이(잔차)는 Fig. 6과 같다.

4. SIMULATION RESULTS WITH FIELD MEASUREMENT

전국 26점을 대상으로 9930M/W/V 신호의 수신 신호세기와 신호대잡음비에 대한 시뮬레이션 톨 분석결과와 UrsaNav 수신기를 이용한 실측 결과를 회귀분석모델식을 적용해 보정한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다. Fig. 7에서는 신호세기 실측치 기반 회귀분석모델을 적용하여 시뮬레이션한 결과 포항송신국 출력 150 kW를 기준으로 신호세기 60 dBuV/m 이상 사용자 수신이 가능한 커버리지(녹색)가 보정전 시뮬레이션 결과보다 축소되었음을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 8에서는 광주송신국 출력이 25 kW (effective radiated power, ERP)일 경우 보정전 시뮬레이션 결과에서는 60 dBuV/m 이상 신호세기를 서해지역과 남해지역 구간에서 획득할 수 있었으나 실측치를 보정했을 경우 커버리지가 축소된 결과를 보였다. Fig. 9에서는 소청도송신국 출력이 8 kW (ERP)일 경우에는 실측치 보정전 시뮬레이션의 경우 60 dBuV/m 이상 신호세기로 군산항 위쪽부터 서해북부 해역까지 수신이 가능하였으나, 실측치를 적용하였을 경우에는 소청도 인근을 커

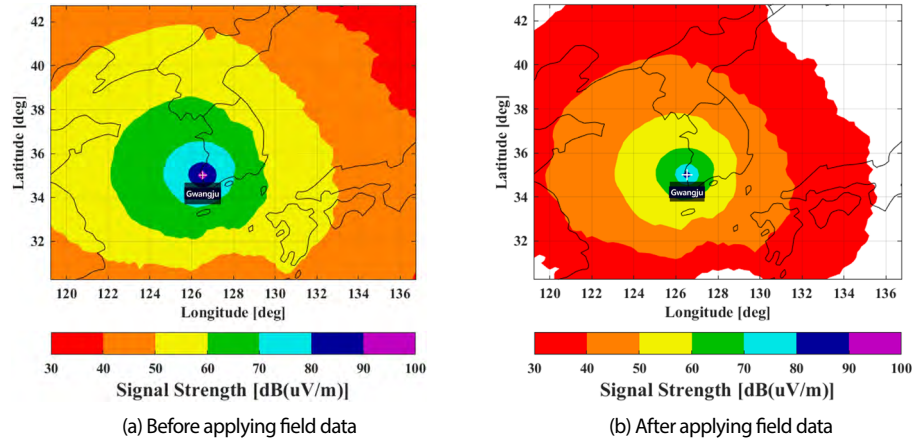


Fig. 8. Corrected simulation result using field measurement: SS (Gwangju).

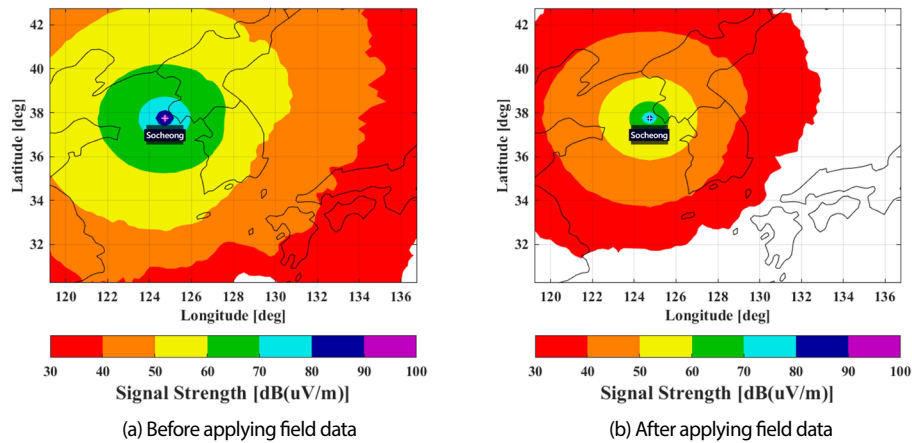


Fig. 9. Corrected simulation result using field measurement: SS (Socheong island).

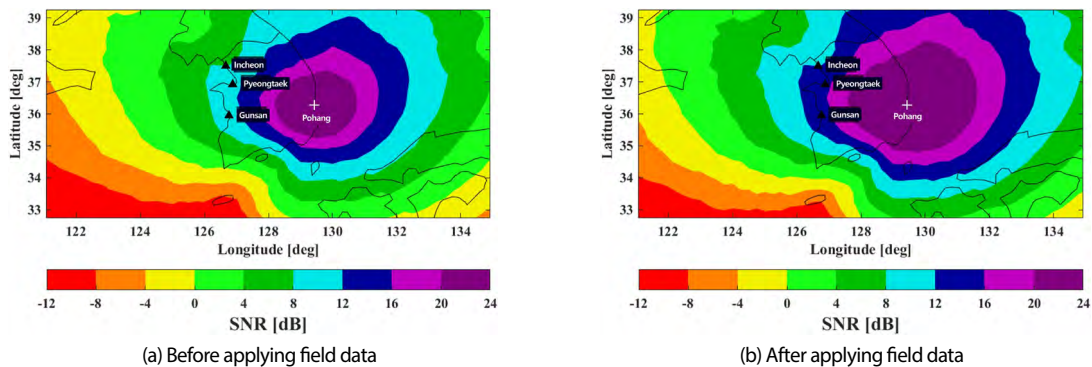


Fig. 10. Corrected simulation result using field measurement: SNR (Pohang).

버하는 결과를 나타내었다. 신호대잡음비의 경우에는 Figs. 10-12에 나타난 바와 같이 포항송신국, 광주송신국, 소청도송신국 신호 모두 실측치 보정전 시뮬레이션 결과보다 약 1~4 dB 더 좋은 신호대잡음비 결과를 각각 나타내었으며 이는 사용자가 실측하는 장소의 노이즈 수준이 기존 시뮬레이션 예측치보다 더 좋았기 때문인 것으로 판단된다. 측위정확도 결과에서도 Fig. 13에 나타난 것처럼, 실측치 보정 후 사용자 수신기 관점에서의 송출신호

에 대한 신호대잡음비가 좋아짐에 따라 측위정확도 범위도 좀더 확장됨을 확인할 수 있었다.

5. CONCLUSIONS

본 논문에서는 우리나라 eLoran 서비스 커버리지에 대한 정확

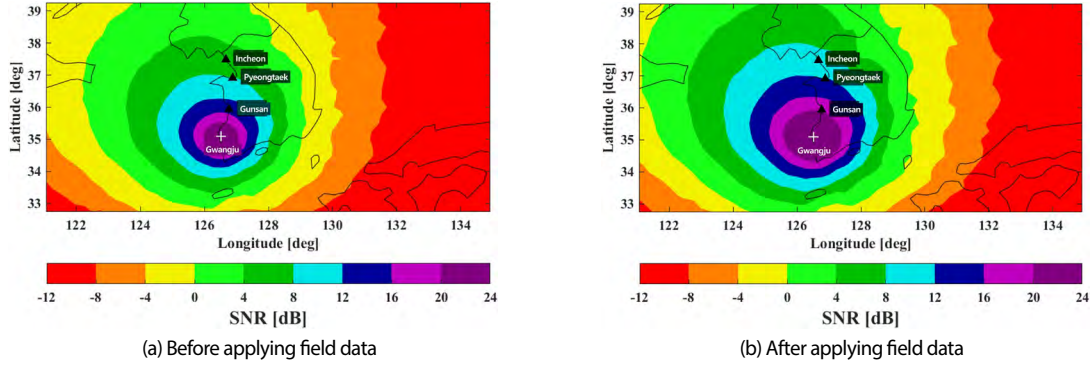


Fig. 11. Corrected simulation result using field measurement: SNR (Gwangju).

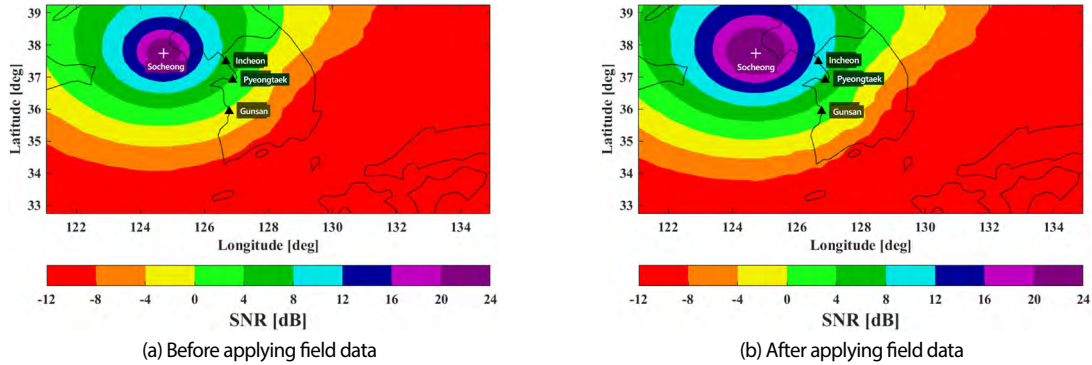


Fig. 12. Corrected simulation result using field measurement: SNR (Socheong Island).

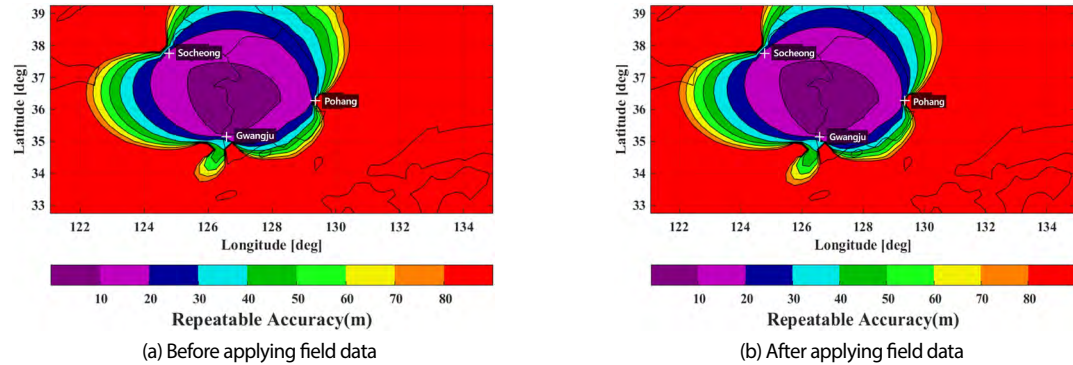


Fig. 13. Corrected simulation result using field measurement: Position accuracy.

한 분석을 위해 전국 26개 지점을 대상으로 포항송신국(9930M), 광주송신국(9930W), 소청도송신국(9930V) 신호의 수신 신호세기와 신호대잡음비에 대한 시뮬레이션 결과를 도출하고 이를 실측 결과와 비교하였다. 상관분석 결과에서는 신호세기 및 신호대잡음비에 대한 시뮬레이션 결과와 수신기 실측 결과는 모두 상관계수(R) 0.87 이상의 강한 상관관계를 나타내었다. 회귀분석 결과에서는 신호세기의 경우 도출된 1차식의 1차 계수는 1.275이고 2차 계수는 -33.04를 얻었으며, 신호대잡음비의 경우 도출된 1차식의 1차 계수는 1.098이고 2차 계수는 3.261을 얻었다. 회귀분석을 통해 얻어진 모델식을 시뮬레이션 결과에 반영하여 수신기(UN-152) 실측 수준에 맞춘 신호세기와 신호대잡음비, 그리고 이를 통

한 측위정확도 성능 커버리지 결과를 제시하였다. 사용자 수신기 및 측정 환경이 고려된 실측 데이터의 반영을 통해 기존 이론적인 시뮬레이션의 예측 정확도를 실측 결과에 좀더 근접한 결과를 도출할 수 있었다. 그러므로 eLoran 서비스 커버리지 예측 및 실측 데이터 비교를 통해 우리나라 eLoran 서비스 가용 범위에 대한 사용자 관점에서의 가용 범위를 보다 정확하게 파악할 수 있어 향후 eLoran 서비스 확장과 관련 정책 결정을 위한 기반 자료로의 활용이 기대된다. 그렇지만 본 필드 측정에서는 특정 수신기와 안테나 특성만이 고려되었기에 다양한 수신기 모델과 측정 환경에 대한 추가적인 고려가 된다면 더 정확한 커버리지 예측이 가능할 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 해양수산부의 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었음 (RS-2024-00407003, 지상파항법시스템 고도화 기술개발).

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization, K. Seo and Y. Kim; methodology, Y. Kim and Y. Han; writing-original draft preparation and visualization, K. Seo and Y. Kim; writing-review and editing, T. H. Fang and K. Seo; project administration, K. Seo and Y. Han.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- ITU 2007, Ground-wave Propagation Curves for Frequencies Between 10 kHz and 30 MHz, document ITU-R P.368-9, International Telecommunication Union Radio-communication Sector.
- MOE, Ministry of Environment, Environmental Spatial Information Service [Internet], cited 2025 April 30, available from: <https://egis.me.go.kr/map/map.do?type=land>
- NMPO 2025a, National Maritime PNT Office [Internet], cited 2025 April 30, available from: <https://www.nmpnt.go.kr/home/sub.do?menukey=4223>
- NMPO 2025b, National Maritime PNT Office [Internet], cited 2025 April 30, available from: <https://www.nmpnt.go.kr/home/sub.do?menukey=4209>
- NovAtel, TerraStar Correction Services [Internet], cited 2025 April 30, available from: <https://novatel.com/products/gps-gnss-correction-services/terrarstar-correction-services>
- Rhee, J. H., Kim, S., Son, P.-W., & Seo, J. 2021, Enhanced Accuracy Simulator for a Future Korean Nationwide eLoran System, IEEE Access, 9, 115042-115052. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3105063>
- Seo, K., Fang, T. H., & Park, S. H. 2022, State of the Art on Terrestrial Radionavigation System and Its Applications for Maritime PNT Service, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 11, 229-238. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2022.11.4.229>
- Son, P.-W., Fang, T. H., Park, S. G., Han, Y., & Seo, K. 2022, Compensation Method of eLoran Signal's Propagation Delay and Performance Assessment in the Field Experiment, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 11, 23-28. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2022.11.1.23>
- Son, P.-W., Park, S. G., Han, Y., & Seo, K. 2020, eLoran: Resilient Positioning, Navigation, and Timing Infrastructure in Maritime Areas, IEEE Access, 8, 193708-193716. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3033215>
- UrsaNav, UrsaNav UN-152A and UN-152B Receivers [Internet], cited 2025 April 30, available from: <https://ursanav.com/un-152-receiver>



Kiyeol Seo is currently a principal researcher with the Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO). He received his Ph.D. degree in Maritime Information Measurement Engineering from Mokpo National Maritime University, Republic of Korea, in 2003. He has been involved in the development of advanced technology for terrestrial radionavigation system. His research interests include resilient PNT system and integrity monitoring, GNSS reflectometry (GNSS-R), and precise positioning technology for maritime applications.



Youngki Kim received his B.S. and M.S., and Ph.D. degrees in Marine Information System Engineering from Mokpo National Maritime University, Republic of Korea, in 2004, 2011 and 2024, respectively. He is currently a research engineer with the Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO), Daejeon, Republic of Korea. His research interests include resilient PNT technologies, eLoran System and integrated navigation system.



Younghoon Han received his B.S. and M.S. degrees in Electronics Engineering from Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea, in 2010 and 2012, respectively. He is currently a senior research engineer with the Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO), Daejeon, Republic of Korea. His research interests include Resilient PNT technologies for maritime application especially as an eLoran and an R-Mode.



Tae Hyun Fang received his B.S., M.S., and Ph.D. degrees in Mechanical Engineering from Pusan National University, Busan, Korea, in 1994, 1998, and 2003, respectively. From 2004 to 2005, he was a visiting scholar at the Intelligent Transportation Research Center, Massachusetts Institute of Techno-

logy, Cambridge, United States. Since 2005, he has been with Ocean and Maritime Digital Technology Research Division, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO), Daejeon, Republic of Korea. His research interests include sensor fusion systems, PNT technology, and target tracking filter.