

지상과 통합항법 서비스의 성능예측 시뮬레이션 틀 설계

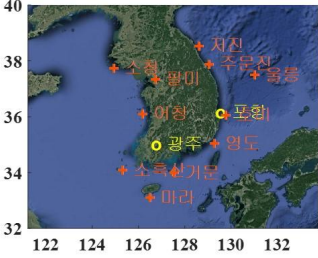
† 손표용 · 한영훈* · 이상현** · 박상현***

*,**,***,† 선박해양플랜트연구소

요약 : 위성항법시스템의 취약성에 따른 보완 시스템의 필요가 높아지면서, eLoran 시스템이 가장 현실적인 대안으로 인정받고 있다. 우리나라도 서해 일부 지역에서 eLoran 시스템의 테스트베드 구축 사업을 진행 중에 있다. 전 해양지역에 안정적인 서비스를 제공하기 위해서는 추가적인 송신국 설치가 필요하지만. 여러가지 현실적인 이유로 인해 추진되기 어렵다. 이런 문제를 해결하기 위해 기존의 NDGNSS 기준국을 활용한 측위기술이 개발되고 있다. 이미 운영 중인 NDGNSS 기준국을 활용하면 전 해상에서 탄력적 항법시스템 운용이 가능해질 수 있다. 본 논문에서는 eLoran 시스템과 NDGNSS의 기준국을 활용한 지상과 통합항법시스템의 성능을 예측할 수 있는 시뮬레이션 틀을 제작하였다. ITU에서 배포한 송출 주파수와 거리에 따른 신호 세기, 대기잡음 등을 고려해 Cramer-Rao Lower Bound로 수신 신호의 측정 거리 오차를 계산하였다. 또한 한빛호가 항해하면서 수집한 DGPS 신호를 통해 실질적인 대기잡음을 추정하는 방법을 사용해 기존보다 정확한 SNR 계산이 가능해졌다. 해당 결과는 추후 진행될 지상과통합항법시스템 개발에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

핵심용어 : 지상과통합항법시스템, 성능예측 시뮬레이션, 이로란, 중파 DGNSS

서론



- GNSS 시스템의 취약성을 보완하기 위해 고출력의 지상파 무선신호를 활용한 항법시스템 필요성 대두
- 현재 2016년부터 100 kHz의 무선신호를 활용한 eLoran 시스템의 구축 및 개발사업 진행 중
- 송신국 부지 선정 등의 어려움을 인해 서해 일부지역에서만 활용가 능한 한계 존재
- 기존의 DGNSS 송출장비를 활용한 MF R-mode 시스템의 기초 기술 및 예상 성능에 관한 기초 조사 진행 중

-1-

eLoran 및 DGNSS 시스템 개요

DGNSS	eLoran
<ul style="list-style-type: none"> 300 kHz 대역의 무선신호를 활용해 DGPS 정보를 제공 Continuous wave를 활용하여 약 200 km 반경 내의 사용자에게 신호 전달 (약 1 m의 측위 성능 제공) 현재 해양 기준국 11 개소, 내륙 기준국 6 개소 운영 중 RTK, PPP 등 정밀위성항법 서비스가 보편화 됨에 따라 사용빈도 감소 	<ul style="list-style-type: none"> 100 kHz의 고출력 지상파를 활용한 항법시스템 의도적 교란, 스무핑 등에 강인해 탄력적인 항법 정보 제공 가능 한국은 포함, 광주에 두 개의 Loran-C 송신국 운영 중 (동북아 시아 총 7개 운영 중) 2016년부터 우리 정부는 Loran-C 시스템의 성능을 향상시킨 eLoran 시스템 기술개발 및 구축 사업 진행 중 eLoran 기술개발 사업 완료 후, 서해 일부 지역에서 20 m 측위성능 기대

-2-

시뮬레이션 틀 개요

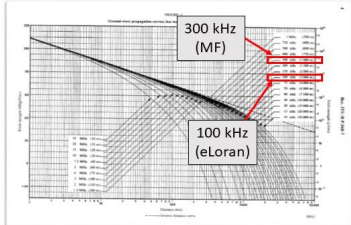
```

    graph TD
      A[Signal Strength] --> B[Noise Modeling]
      B --> C[SNR Calculation]
      C --> D[SNR Threshold > 7 dB]
      D --> E[TOA Estimation]
      E --> F[HDOP Calculation]
      F --> G[2DRMS Coverage]
      A --- A1[GRWAVE (ITU), IALA GUIDELINE 1119]
      B --- B1[ITU Atmospheric model, Stanford Univ. research]
      D --- D1[ACCSEAS Project reports]
      E --- E1[MF: Cramer-Rao Lower Bound  
eLoran: Stanford Univ. research]
    
```

-3-

신호 세기 (Signal strength) 감쇠 모델을 통한 예측

1. 신호의 주파수, 전파 경로의 유효대지도전율(또는 해수 염도), 전파 거리 등에 따라 신호 세기 감쇠 정도가 변화



Types of terrain	Effective ground conductivity (S/m)	Relative Dielectric Constant, (ε _{rel})
Seawater	9	80
Fresh Water	8 × 10 ⁻²	80
Dry Sandy, flat coastal land	8 × 10 ⁻³	10
Marshy, forested flat land	8 × 10 ⁻³	12
High agricultural land, low hills	1 × 10 ⁻²	15
Forested land, wooded hills and trees	5 × 10 ⁻³	13
Rocky land, steep hills	2 × 10 ⁻³	10
Mountains		
Residential Area		
Industrial Area		

▲ Joon Hyo Rhee, 2013

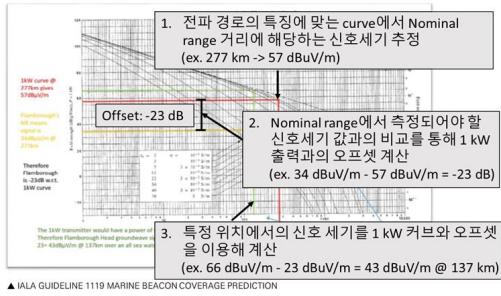
▲ GROUND-WAVE PROPAGATION CURVES FOR FREQUENCIES BETWEEN 10 kHz AND 30 MHz (RECOMMENDATION ITU-R P.368-7)

-4-

† 교신저자 : 정희원, pwson@kriso.re.kr
 * 정희원, yhhan@kriso.re.kr
 ** 정희원, sangheon@kriso.re.kr
 *** 정희원, shpark@kriso.re.kr

실제 송출 조건을 활용한 신호세기 예측값 보정 방법

- 송신국 출력에 따른 신호세기 감쇠 정도를 보상 (IALA GUIDELINE 1119 방법 적용)



-5-

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

TOA 분산 오차를 이용한 측위 성능 예측

- 추정된 TOA 분산값을 이용해 각 송출 신호에 대한 가중치 행렬 생성

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix}$$

- 시뮬레이션 대상 영역의 위경도 각 0.25° 마다 각 송출 위치와의 방향 코사인 행렬 생성

$$A = \begin{bmatrix} \sin \phi_1 & \cos \phi_1 & 1 \\ \sin \phi_2 & \cos \phi_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \sin \phi_n & \cos \phi_n & 1 \end{bmatrix}$$

- A와 R을 통해 weighted HDOP(G)를 계산하고, 이를 이용해 측위 정확도 예측

$$G = (A^T R^{-1} A)^{-1}$$

-8-

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

신호의 대기 잡음 (Atmospheric noise) 예측

- RECOMMENDATION ITU-R P.372-8 에서 대기 잡음에 관한 모델링을 제시
- 송수신 안테나, 수신기 잡음 등을 제외하고 온도, 대역폭, 송출 신호 주파수 등에 따라 변화
- Lee boyce (Stanford Univ.)가 100 kHz 신호(eLoran)의 대기잡음 모델을 단순화 연구 진행, IALA GUIDELINE 1119에 300 kHz 신호(MF)의 위경도에 따른 대기잡음을 표기 제시되어 있으나 유럽 지역에 한정되어 있음
- 100 kHz 신호의 경우 Lee boyce의 모델을 적용, 300 kHz 신호의 경우 Lee boyce의 데이터에서 RECOMMENDATION ITU-R P.372-8에 주파수에 따른 변수를 반영하여 사용

	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
80	3	2	4	4	4	4	3	3	2	3	3	4	4	2
70	2	3	4	4	3	3	2	4	5	5	4	2	1	4
60	1	1	1	1	3	5	9	11	10	8	7	2	1	1
50	3	3	3	5	7	10	13	13	12	10	9	8	7	4
40	6	6	6	8	11	13	13	11	10	9	9	11	13	13
30	12	11	11	12	13	14	14	13	11	11	11	13	20	24
20	18	14	13	14	17	19	20	19	17	15	17	20	27	30

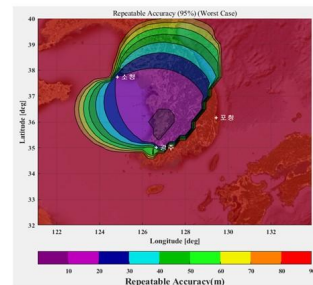
▲ IALA GUIDELINE 1119 MARINE BEACON COVERAGE PREDICTION

-6-

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

시나리오 별 R-mode 측위 성능 예측

eLoran 단독



-9-

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

TOA 분산 오차 추정

- 일반적으로 TOA phase estimation에는 Cramer-Rao Lower Bound가 많이 사용됨
- 100 kHz (eLoran)의 경우 실제 송신기와 수신기에서의 실험을 통해 제안된 estimation 모델링 연구 결과가 있음 (Stanford Univ.)
- 300 kHz (MF)의 경우 아직 구체적인 신호송출 규격 등이 정해지지 않아서 해당 분야의 선도그룹인 Alion 또는 Baltic R-mode team 에서도 Cramer-Rao Lower Bound를 사용하여 TOA phase를 추정함
- 본 시뮬레이션 틀에서는 위에 언급된 각각의 방법으로 TOA phase를 추정함

$$\sigma_1^2 = \epsilon_1 + \frac{337.5^2}{N_{\text{pulse}} \cdot \text{SNR}}$$

eLoran

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{2 \omega_c^2 T \text{SNR}}$$

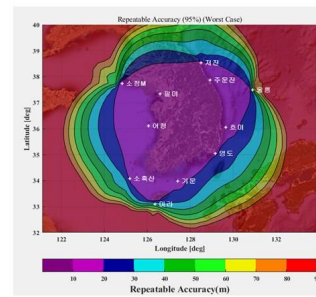
MF

-7-

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

시나리오 별 R-mode 측위 성능 예측

MF 단독

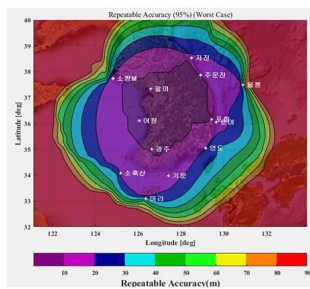


-10-

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

시나리오 별 R-mode 측위성능 예측

eLoran + MF



-11-

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

결론

- 안정적인 항법 정보제공을 위해 GNSS의 백업시스템이 필요하고, 현재 우리 정부는 eLoran 서비스를 준비 중
- eLoran 은 전 해양에서의 목표 성능 달성을 위해 추가적인 송신국 부지 확보가 어려운 상황이며, 현재 운영 중인 MF-DGNSS 신호를 이용한 항법 기능 추가 가능
- 국제적인 시뮬레이션 툴 제작 방법을 모사해, 우리나라 상황에 맞는 지상파 통합항법 시뮬레이션 툴을 제작함
- 시뮬레이션 결과, eLoran 만으로 제공하지 못하는 전 해양 지역에 약 20 m 이내의 측위 성능을 제공할 수 있음 확인 (일부지역 10 m 이내)

-12-

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

사 사

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “해양 정밀 임무수행용 GNSS/INS/eLoran 복합항법 기반기술 개발”에 의해 수행되었습니다(PES3110).

This research was supported by a grant from Endowment Project of “Development of Foundation Technologies of GNSS/INS/eLoran Integrated Navigation for Maritime Precise Tasks” funded by Korea Research Institute of Ships and Ocean engineering(PES3110).