

## eLoran 송신국 배치 최적화 방안 연구

이창복\* · 신미영\*\* · 황상욱\*\*\* · 이상정\*\*\* · † 양성훈

†, \* 한국표준과학연구원 기반표준본부

\*\* 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소 해양안전기술연구부

\*\*\* 충남대학교 전기정보통신공학부

### A study on the optimal geometrical placement of eLoran stations in Korea

Chang-Bok Lee\* · Mi-Young Shin\*\* · Sang-Wook Hwang\*\*\* · Sang-Jeong Lee\*\*\* · † Sung-hoon Yang\*

\*Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340, Republic of Korea

\*\*Korea Institute of Ocean Science & Technology, Daejeon 3.5-343, Republic of Korea

\*\*\*Chungnam National University, Daejeon 305-764, Republic of Korea

**요 약** : eLoran에서의 항법 성능을 결정하는 주요 오차요인은 수신기의 eLoran 측정치인 TOA 측정치 오차와 수신기와 송신국들 사이의 기하학적인 배치(GDOP)에 의한 오차로 구분할 수 있다. TOA 측정치의 오차 보정을 위해서는 dLoran 기준국에서 측정된 ASF 변동값을 LDC를 통해 이용자에게 제공하면 가능하다. 또한 송신국들의 기하학적 배치에 따른 위치측정 정확도는 DOP로 결정되며 송신국의 최적의 기하학적인 배치는 항법 정확도를 향상시킨다. 본 연구에서는 eLoran 구축에 대비하여 우수한 항법 성능을 갖는 데 필요한 eLoran 송신국의 기하학적인 배치를 결정하였고, 최대 6 개까지 송신국을 배치할 경우에 대해 각각의 항법 성능을 평가하였다. 제안된 eLoran 송신국 배치 방안은 항만에서 항법 및 시간주파수와 관련하여 요구하는 HEA 정확도를 만족하는 eLoran 시스템을 구축할 때에 활용될 수 있다.

**핵심용어** : eLoran, DOP, TOA, 위치정확도, ASF

**Abstract** : In the eLoran navigation system, the dominant deterioration factors of navigation accuracy are the TOA measurement errors on user receiver and the GDOP between the receiver and the transmitters. But if the ASF data measured at dLoran reference station are provided for users through the Loran data channel, it will be possible to correct the TOA measurement errors. The position accuracy can be determined by the DOP depending on the geometry of receiver-transmitters, and their optimal placement improves the navigation accuracy. In this study we determined the geometric placement in case of up to six stations, and evaluated the performance of position accuracy for the receiver-transmitter geometry set of eLoran stations. The proposed geometry of eLoran stations can be referred for the construction of eLoran infrastructure meeting the capability of HEA for maritime, and time/frequency users in Korea.

**Key words** : eLoran, DOP, TOA, position accuracy, ASF

## 1. 서 론

e-Navigation의 활성화에 따라 GNSS 백업을 위한 대체 항법체계에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(FAA, 2004). 대부분의 GNSS는 전파교란에 대하여 취약하므로 선진국에서는 이로 인한 작동중지 상황을 대비하여 비상 대응체계 구축을 고려하고 있다(Volpe, 2001). 우리나라의 경우 GPS 불통은 금융, 통신 산업의 경제적인 손실 이외에 국가 안보에도 심각한 영향을 미친다. 특히 GPS에 의존하는 무기체계의 경우 GPS의 불용사태 또는 이상상태는 무기체계 성능과 안정성에 막대한 영향을 미친다. 이에 따라 우리나라는 eLoran (enhanced Loran)에 의한 백업시스템 구축을 통해 유사시에 사회적 손실을 최소화하기 위한 항법 인프라 기술을 개발하고 있다. 기존의

Loran-C의 경우 지상파를 이용한 항법 시스템의 정확도가 위성 항법의 경우에 비해 크게 떨어졌지만 eLoran 시스템의 등장으로 지상파를 이용한 고성능의 대체 항법 시스템 구축이 가능해졌고 항만 지역에서의 항법 성능과 통신망 동기를 위한 시각 및 주파수 성능은 GNSS를 백업할 수 있을 정도로 향상되었다(ILA, 2007). 현재 eLoran은 GPS 백업으로 자립적인 대체 항법 기능을 확보할 수 있는 유일한 지상파 항법 시스템이다. eLoran의 경우 TOA(Time of Arrival)를 근거로 한 all-in-view 항법이기 때문에 우리나라에서 eLoran 자립적 항법 체계를 구축하려면 포항, 광주 2국의 송신국을 eLoran에 적합하도록 시스템을 현대화 하고, 추가로 다수의 eLoran 송신국을 구축하여야 한다. 또한 주변국도 eLoran 송신국을 구축하게 된다면 항법에 이용할 수 있는 송신국이 많아지므로 더 높은

\* 대표저자 : 연희원, cblee@kriss.re.kr 042)868-5140

\*\* 연희원, myshin@kiost.ac 042)866-3668

\*\*\* 연희원, zcgizer@cnu.ac.kr 042)825-3991

연희원, eesjl@cnu.ac.kr 042)821-6582

† 교신저자 : 연희원, shyang@kriss.re.kr 042)868-5147

항법 정확도를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 eLoran을 이용한 자립 항법 시스템을 구축할 경우를 대비하고 HEA(Harbor Entrance and Approach)의 요구 성능(8~20 m, 2dRMS)을 만족(ILA, 2007)하는 최적의 송신국 수 및 배치를 도출하기 위하여, 기존의 포항, 광주 송신국 외에 추가로 다수의 eLoran 송신국들을 구축할 경우에 필요한 송신국의 배치 방안과 그에 따른 예상 항법 성능을 연구하였다.

## 2. 항법성능 시뮬레이션

국내에 독자적 항법을 위한 eLoran 시스템을 구축하려면 기존 포항, 광주 송신국 외에 다수의 송신국을 추가로 구축하여야 한다. eLoran 송신국의 TOA 측정치를 이용한 2차원 항법은 이론상 최소 3개 이상의 송신국에서 획득되는 TOA 측정치를 이용하여 수신기 위치 및 시각을 계산할 수 있다. 본 연구에서는 eLoran을 구축할 때에 송신국 추가에 따른 최상의 항법 성능을 갖도록 송신국들의 위치를 결정하였고 송신국들의 기하학적 배치에 따른 eLoran 시스템의 항법 성능을 평가하였다. 항법 성능 시뮬레이션에서 eLoran 신호의 전파 지연 오차인 PF(primary factor), SF(secondary factor), ASF(Additional Secondary Factor) 등이 완전히 보상되고 (Samaddar, 1979; Last, 2000) 측정 오차는 15 m ( $1-\sigma$ ) 표준 편차의 가우시안 분포를 가정하여 송신국의 기하학적인 배치에 따른 항법 성능을 계산하였다. eLoran 구축 환경은 국내 독자 환경 구축의 경우와 일본의 송신국을 포함하는 것을 가정한 all-in-view 환경 구축으로 구분할 수 있다. 국내 독립적인 환경 구축의 경우 기존 송신국으로는 포항, 광주 송신국을 기본 송신국으로 설정하고, 추가되는 송신국의 개수와 배치 위치에 따른 예상 항법성능을 계산하였다. All-in-view 환경 구축의 경우는 국내 송신국 외에 Korea chain의 중국인 일본의 계사시, 니지마 송신국을 포함하였다. 예상 항법 성능 평가를 위한 시뮬레이션은 식 (1)의 HDOP(horizontal dilution of precision)과 식 (2)의 HNOSP(horizontal navigation system precision)를 사용하여 평가하였다(Kaplan, 2006). HNOSP는 위치 오차의 척도로 볼 수 있으므로 HNOSP 분포의 크기는 미터 단위로 표시된다. 여기서  $H$ 는 송신국과 사용자 사이의 시선 벡터 행렬,  $W$ 는 오차 공분산 행렬이다(trace[A]: 행렬 A의 대각선요소의 합산 값).

$$HDOP = \sqrt{\text{trace}(H^T H)^{-1}} \quad (1)$$

$$HNOSP = \sqrt{\text{trace}(H^T W^{-1} H)^{-1}} \quad (2)$$

## 3. 항법성능 시뮬레이션 결과

### 3.1 국내 독자 환경(포항, 광주, 2국 추가)

기존 송신국으로 운용하고 있는 포항, 광주 송신국 외에 1

국을 추가 배치할 경우에는 한반도 어느 곳에 배치를 해도 해안지역에서 HEA 요구 조건을 충족하는 결과를 얻을 수 없다. 따라서 본 연구에서는 2국 이상의 송신국을 추가할 경우에 송신국 수에 따른 최적화된 배치도를 제시하였다. 기존 송신국 외에 2국을 추가 배치할 경우에 최상의 항법 성능을 갖는 송신국 좌표는 Table 1과 같다. 이는 이론적으로 최상의 항법 성능을 갖기 위한 가상의 추가 송신국의 위치좌표이다. Fig. 1은 한반도 주변에서의 HDOP이고 Fig. 2는 HNOSP이다. HNOSP 결과는 한반도 남해 일부지역 및 제주도 지역에서 HEA 요구 성능을 만족하지 못하고 있다. 시뮬레이션 결과에서 보는 바와 같이 송신국위치 Tx\_a는 해상에 위치하며, Tx\_b는 북한 영토 내에 위치하므로 현실적으로 배치에 무리가 있다.

Table 1 Coordinates of Pohang, Kwangju sites and 2 additional sites

송신국	위도	경도
포항	N 36°11'05 450"	E 129°20'27 440"
광주	N 35°02'23 996"	E 126°32'27 295"
Tx_a	N 37°12'00 000"	E 123°06'00 000"
Tx_b	N 41°00'00 000"	E 129°12'00 000"

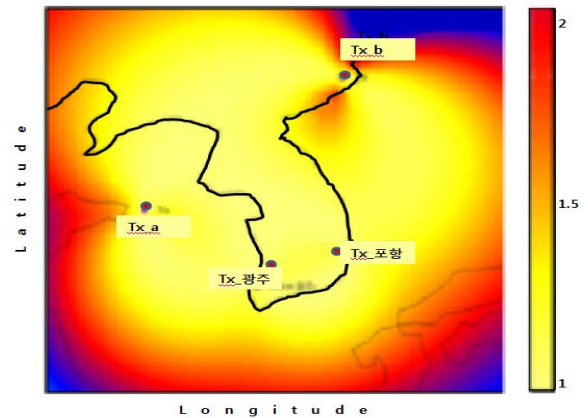


Fig. 1 Predicted HDOP performance in case of the site geometry by 4 stations

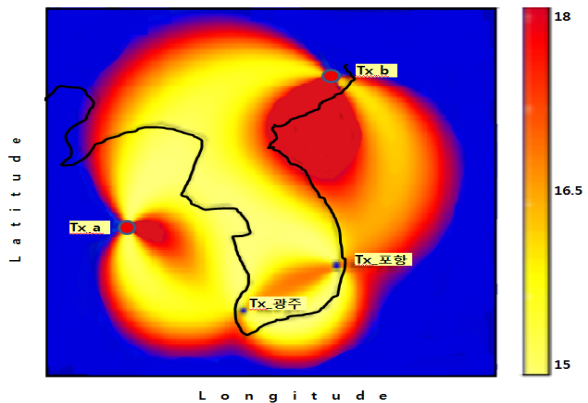


Fig. 2 Predicted HNOSP performance in case of the site geometry by 4 stations

3.2 국내 독자 환경 구축 (포항, 광주, 3국 추가)

- 1) 포항, 광주 송신국 외에 3국을 최상의 항법성능을 갖는 위치에 배치할 경우

포항과 광주 송신국 외에 3국을 추가 배치하였을 경우에 최상의 항법 성능을 갖는 송신국 좌표는 Table 2와 같다. Fig. 3은 한반도 주변에서의 HDOP이고 Fig. 4는 HNSP이다. Fig. 4의 HNSP 결과는 국내 해안 지역에서 HEA 요구 성능을 모두 만족하였다. 시뮬레이션에 의해 이론적인 송신국 위치로 추가된 3 곳, Tx\_a, Tx\_b, Tx\_c는 해상이며 실제 구축하려면 국가 간에 협의를 거쳐 근처의 육지부분에 설치하면 되지만 현실적으로는 어려울 것으로 판단된다.

Table 2 Coordinates of Pohang, Kwangju sites and 3 additional sites

송신국	위도	경도
포항	N 36°11'05 450"	E 129°20'27 440"
광주	N 35°02'23 996"	E 126°32'27 295"
Tx_a	N 33°15'00 000"	E 128°34'12 000"
Tx_b	N 37°18'36 000"	E 123°12'00 000"
Tx_c	N 39°13'12 000"	E 128°16'48 000"

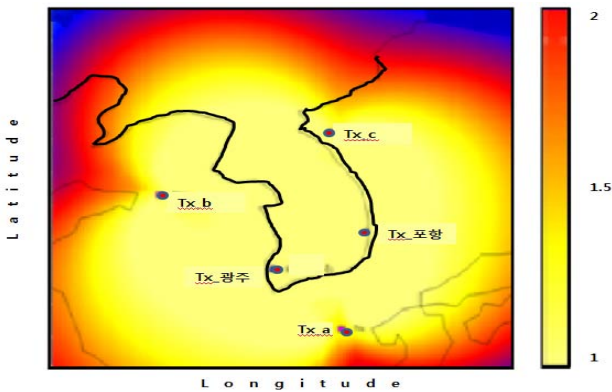


Fig. 3 Predicted HDOP performance in case of the site geometry by 5 stations

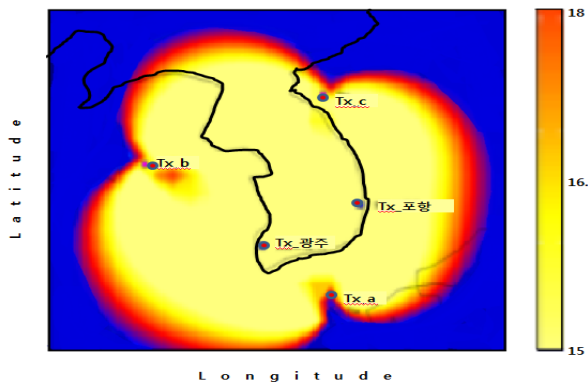


Fig. 4 Predicted HNSP performance in case of the site geometry by 5 stations

3.3 국내 독자 환경 구축 (포항, 광주, 4국 추가)

- 1) 포항, 광주 송신국 외에 4국을 최상의 항법성능을 갖는 위치 근방 육지에 배치할 경우

포항, 광주 송신국 외에 국내 근방 육지에 3국만을 추가 배치하여서는 3.2와 같은 성능을 얻을 수가 없다. 따라서 제주도 포함한 4국을 육지 근방에 추가할 경우, 항법 성능을 계산하였다. 이 경우 송신국 좌표는 Table 3와 같고 HDOP, HNSP의 예상 결과는 각각 Fig. 5과 Fig. 6과 같다. HNSP 결과를 통해서 한반도 해안의 전 지역에서 HEA 요구 성능을 만족하고 있다.

Table 3 Coordinates of Pohang, Kwangju sites and 4 additional sites on nearby land

송신국	위도	경도
포항	N 36°11'05 450"	E 129°20'27 440"
광주	N 35°02'23 996"	E 126°32'27 295"
강화도	N 37°18'36 000"	E 126°12'00 000"
고성	N 38°13'12 000"	E 128°16'48 000"
거문도	N 34°04'12 000"	E 127°10'48 000"
제주도	N 33°22'48 000"	E 126°18'00 000"

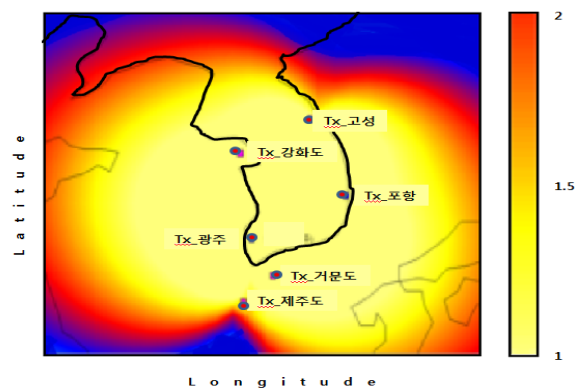


Fig. 5 Predicted HDOP performance in case of the site geometry by 6 stations as shown in table 4

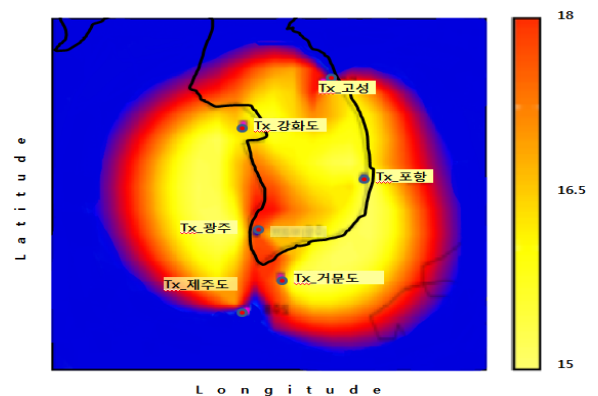


Fig. 6 Predicted HNSP performance in case of the site geometry by 6 stations as shown in table 4

2) 포항, 광주 송신국 외에 4국을 DGPS 기준국 위치에 배치할 경우

국내에서 운영하고 있는 DGPS 기준국 중에 4 국(소청도, 마라도, 영도, 울릉도)을 선정하여 eLoran 송신국을 동일 장소에 설치할 경우의 예상 항법 성능을 도출하였다. Loran(100 kHz)과 DGPS(300 kHz) 신호가 동일 지역에서 송신 시에 신호 간섭 최소화 방안은 이미 여러 논문에서 제안된바 있다 (Burrow, 2001; Wolfe, 2002; Peterson, 2010). 사용된 송신국 좌표는 Table 4와 같고 HDOP, HNRP의 예상 결과는 각각 Fig 7, Fig. 8과 같다. HNRP 결과는 모든 대상 지역에서

Table 4 Coordinates of Pohang, Kwangju sites and 4 additional sites of DGPS stations

송신국	위도	경도
포항	N 36°11'05 450"	E 129°20'27 440"
광주	N 35°02'23 996"	E 126°32'27 295"
소청도	N 37°45'40 574"	E 124°43'44 452"
마라도	N 33°07'02 838"	E 126°16'08 917"
영도	N 35°03'45 084"	E 129°04'14 672"
울릉도	N 37°31'04 112"	E 130°47'56 022"

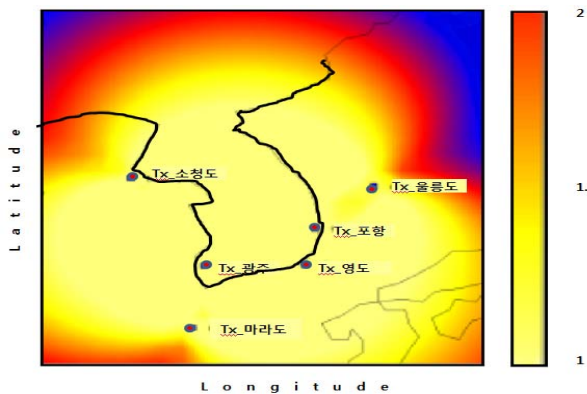


Fig. 7 Predicted HDOP performance in case of the site geometry by 6 stations as shown in table 5

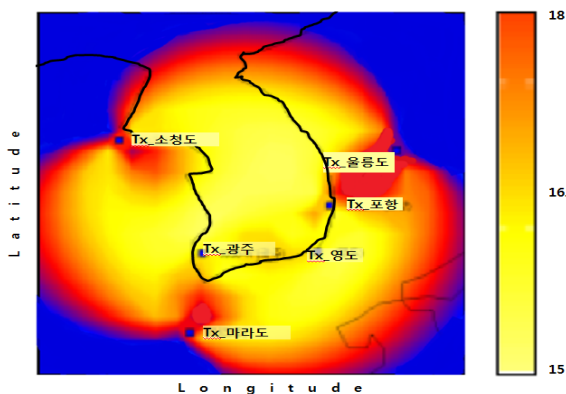


Fig. 8 Predicted HNRP performance in case of the site geometry by 6 stations as shown in table 5

HEA 요구 성능을 만족하지만, 최상의 위치에 4국을 추가한 배치 결과에 비해서 동해와 제주도 인근 해상에서 항법 오차가 17 m로 낮은 항법 성능을 보였다. DGPS 기준국을 활용한 eLoran 송신국 배치 방안은 eLoran 송신국 장비를 기존 DGPS 기준국에 추가로 설치함으로써 eLoran 시스템 구축이 가능하기 때문에 부지 선정 및 비용적 측면, 시공기간 단축 등 여러 측면에서 이점이 있을 것으로 예상된다.

### 3.4 주변국 송신국을 포함한 All-in-view 환경

Korea chain의 중국으로서 일부를 구성하고 있는 일본에서도 eLoran 시스템 운영을 가정하여 all-in-view 환경에서의 항법 성능을 예측하였다. 즉, 현재 Loran-C 9930 체인에서 운영(국토해양부)하고 있는 일본의 니지마와 게사시 송신국을 추가로 포함하였으며, 송신국 좌표는 Table 5와 같다. HDOP와 HNRP는 Fig. 9와 Fig. 10과 같고 예상 항법 성능은 한반도 전 지역에서 HEA 요구 성능을 만족함을 알 수 있다. 결론적으로 eLoran 시스템 all-in-view 모드의 장점은 다른 나라의 송신국 신호도 추가로 이용하기 때문에 우리나라에 설치한 송신국만을 이용한 예상 항법 성능 보다 광범위한 영역에서 개선된 성능을 기대할 수 있다.

Table 5 Coordinates of Pohang, Kwangju sites and 6 additional sites including Gesashi and Nijijima

송신국	위도	경도
포항	N 36°11'05 450"	E 129°20'27 440"
광주	N 35°02'23 996"	E 126°32'27 295"
강화도	N 37°18'36 000"	E 126°12'00 000"
고성	N 38°13'12 000"	E 128°16'48 000"
거문도	N 34°04'12 000"	E 127°10'48 000"
제주도	N 33°22'48 000"	E 126°18'00 000"
니지마	N 34°24'11 943"	E 139°16'19 473"
게사시	N 26°36'25 038"	E 128°08'56 920"

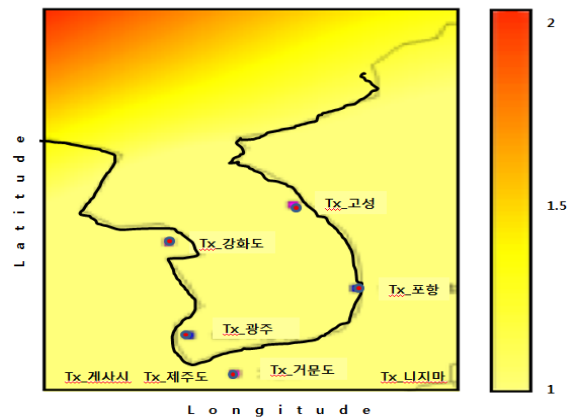


Fig. 9 Predicted HDOP performance in case of the site geometry by 8 stations as shown in table 6



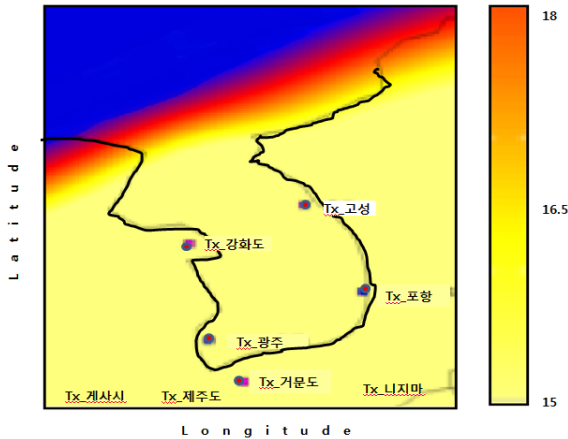


Fig. 10 Predicted HNPS performance in case of the site geometry by 8 stations as shown in table 6

#### 4. 결 론

우리나라는 위치와 시각 정보 제공 인프라를 GPS에 전적으로 의존하고 있으므로 GNSS 신호의 의도적 혹은 비의도적인 방해, 고장 등으로 인해 위성의 사용이 불가능한 경우를 대비한 대응책 마련은 필수적이라 판단된다. 따라서 GPS, Galileo와 같은 GNSS의 활용과 더불어 궁극적으로는 자립성을 갖는 지상파 이용 항법 체계를 채택하여 독자적인 항법 인프라로 운영하는 것이 적절한 대응이라고 판단된다. 그러한 측면에서 eLoran을 이용한 지상파 항법 체계 구축은 GNSS에 대한 의존도를 낮추는 동시에 시각 및 위치측정에 대한 대체 수단을 확보함으로써 미래의 불확실성에 대비할 수 있는 유일한 대안이 될 것이다.

본 연구에서는 우리나라의 eLoran 항법시스템을 구축할 경우에 송신국 배치 방안에 대한 연구를 하였다. 송신국의 기하학적인 배치에 따른 영향 분석을 통해 HEA 운영 시의 요구 성능을 만족하는 송신국의 수 및 배치방안을 도출하였다. 국내 독자 환경 구축의 경우에 기존 Loran-C 송신국은 포항, 광주 송신국 위치를 기본 송신국으로 설정하였고, 2 국, 3 국, 4 국의 송신국이 추가되는 경우 각각에 대한 항법 성능을 예측하였다. 기존 송신국에 2 국을 추가한 경우 항법성능은 한반도 남해 일부지역 및 제주도 지역에서 HEA 요구 성능을 만족하지 못하는 것을 보였다. 기존 송신국에 3국을 추가한 경우에 가상의 송신국 위치는 모두 해상으로 항법 성능은 국내 지역에서 HEA 요구 성능을 모두 만족하지만 실제 구축하려면 우방 국가와의 국제 협력이 필요하다. 만약 3 곳의 가상 송신국을 제안된 해상 위치에서 가장 가까운 근방의 국내에 설치한다면 한반도 내륙의 중부와 남부 해안 지역에서 HEA 요구 성능을 만족하지만, 제주도 인근 해안 지역 및 한반도 내륙의 북부 해안 지역에서는 만족하지 못한다. 기존 송신국에 4국을 추가하여 최상위치 근방 국내에 송신국을 배치할 경우 한반도 해안의 전 지역에서 HEA 요구 성능을 만족함을 확인할 수 있었다. 또한 포항, 광주 송신국 외에 4국을 DGPS 기준국(소청

도, 마라도, 영도, 울릉도) 위치에 배치할 경우 항법 성능은 대상 지역에서 모두 HEA 요구 성능을 만족하지만, 이론적으로 최적의 위치에 4국을 추가한 결과에 비해서 조금 낮은 항법 성능을 보였다. 그러나 DGPS 기준국 위치에 eLoran 송신국을 배치하는 방안은 eLoran 송신국 장비를 기존 DGPS 기준국에 추가로 설치함으로써 eLoran 시스템 구축이 가능하기 때문에 부지 선정과 시설물 구축 등에서의 비용 절감과 시공 기간 단축 등 여러 가지 이점이 예상된다. 일본 송신국인 니지마, 계사시 송신국을 추가하는 all-in-view 환경인 경우에 예상 항법 성능은 한반도 전 지역에서 HEA 요구 성능을 만족함을 확인할 수 있다. 따라서 주변 국가의 eLoran 신호가 추가될 수만 있다면 국내 내륙 지역에 설치한 송신국만을 이용하는 경우보다 개선된 결과를 기대할 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 국토해양부의 지원으로 수행된 “국가위성항법보정시스템 구축 개발”의 “eLoran 선도기술개발(09-531024)” 과제 의 연구결과 중 일부임을 밝힌다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Burrow, R. M. Raines, J. K.(2001), "Simulation of DGPS and LORAN-C Signals Through Pass-Reject Diplexer Filter Networks", Engineering Report prepared for USCG.
- [2] FAA(2004), "LORAN's Capability to Mitigate the Impact of a GPS Outage on GPS Position, Navigation, and Time Applications".
- [3] ILA(2007), "Enhanced Loran (eLoran) Definition Document", Report Version 1.0.
- [4] Kaplan, E. D.(2006), "Understanding GPS principles and application", Artech house, Inc.
- [5] Last, D., William, P. and Dykstra, K.(2000), "Propagation of Loran-C signals in Irregular Terrain-Modelling and Measurements: Part II; Measurements", Annual Convention and Technical Symposium, International Loran Association.
- [6] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs Pohang & Kwangju Loran-C station, Korea Loran-C Chain (<http://www.loran9930.go.kr/>).
- [7] Peterson B., Hardy T. and Enge P. K.(2010), "Improving Loran Coverage with Low Power Transmitters", Journal of navigation, Vol. 63, No. 1, pp. 23-38.
- [8] Samaddar, S. N.(1979), "The Theory of Loran-C Ground Wave Propagation - A Review", the Journal of

The Institute of Navigation, Vol. 26, No. 3, pp. 173-187.

- [9] Volpe National Transportation Systems Center, US Department of Transportation, Office of Assistant Secretary for Transportation Policy(2001), "Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the Global Positioning System", Volpe Report.
- [10] Wolfe, D. B. et al.(2002), "Co-Locating DGPS and Loran Transmitters," Proceedings of the 2002 National Technical Meeting of The Institute of Navigation, San Diego, CA, pp. 352-361.

---

원고접수일 : 2012년 11월 30일  
심사완료일 : 2012년 12월 26일  
원고채택일 : 2012년 12월 28일