

포항 로란-C(9930M) 이용 영일만 dLoran 측정

이창복* · 이종구* · 이영규* · 황상욱** · 이상정** · † 양성훈

*, † 한국표준과학연구원 기반표준본부

** 충남대학교 전기정보통신공학부

dLoran Measurement in Yeongil Bay using the Pohang Loran-C (9930M)

Chang Bok Lee* · Jong Koo Lee* · Young Kyu Lee* · Sang-wook Hwang**

· Sang Jeong Lee** · † Sung-hoon Yang*

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

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

요 약 : dLoran과 ASF 데이터 맵 그리고 로란 데이터 채널은 eLoran 시스템의 중요한 3 요소이다. dLoran은 eLoran 기술의 핵심 기술로 ASF 보정을 통해 항법 정확도를 향상시키는 기술이다. 이러한 dLoran 보정을 통해 항만 접안(HEA)시에 8~20 m 정확도의 항법 성능을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 로란 9930M 체인 중에 주국인 포항 송신국의 신호를 이용하여 dLoran 측정을 하였다. 영일만 해상을 대상으로 dLoran 기준국을 포항 호미곶 표지관리소에 설치하고 시험용 수신기를 흥환 해수욕장에 설치하여 dLoran 측정의 유효성을 평가하였다. 그 결과 표지관리소 dLoran 기준국의 TOA 측정 데이터와 흥환 시험국의 이용자 수신기 TOA 측정 데이터의 하루 동안의 차분 데이터는 약 10~30 ns (거리오차: 3~9 m) 이내로 일치하고 있어서 이 dLoran 측정 데이터로 이용자의 ASF 측정값을 보정하면 eLoran의 항만 접안에서의 항법 정확도를 만족할 수 있다.

핵심용어 : e로란, 항만접안, d로란, 위치정확도, 전파도착시간

Abstract : There are three essential components of eLoran: dLoran, data map of ASF, and the Loran data channel. Particularly, dLoran improves navigation accuracy, which is the core technology of eLoran systems. The requirement of HEA's absolute accuracy, less than 20 meters, can be satisfied via dLoran measurements and their corrections. In this study, dLoran measurements using the Pohang Loran-C (9930M) station signal were conducted at Yeongil Bay. We established a dLoran reference station at Homigot Management Office for navigation aids within the Bay. We estimated the effectiveness of the dLoran between the reference site (Homigot Management Office) and a test site (Heunghwan beach) by measuring TOAs. We verified that the TOA data measured at these two regions were highly correlated. The temporal differences in the data between the dLoran reference station and test site were about 10~30 ns per day, which is equivalent to a ranging error of 3~9 m. This result shows that eLoran can meet the requirement of 8~20 meters position accuracy for maritime HEA by correcting the ASF at the user's receiver.

Key words : eLoran, HEA, dLoran, position accuracy, TOA

1. 서 론

지표파 신호는 지면을 타고 전파되는 과정에서 지형의 고도, 전도율, 유전율, 날씨 등의 영향으로 이론적인 전파 지연보다 큰 전파 지연이 발생한다(Johler, 1956). 이처럼 육상의 환경 조건에 따라서 발생하는 추가 전파 지연을 ASF(Additional Secondary Factor)라고 한다. ASF는 전파 경로상의 공간 특성에 의한 지연과 시간 특성에 의한 지연으

로 나누어 분석할 수 있다(Samaddar, 1979). eLoran (enhanced LOng RAnge Navigation) 신호의 공간 특성에 의한 지연은 전파 경로 상에서 균일하지 않은 전도율과 고도의 변화에 의해 발생하는 지연이다(Monteath, 1978). 로란신호의 공간 전파 특성은 송·수신시에 전파 경로상의 환경 조건의 변동에 영향을 받으며 수신 위치에 따라 급격하게 변화하는 경우도 있다. 그러나 동일한 장소에서 장시간 동안의 전파 지연 특성은 상수 형태를 갖는다(Doherty, 1979). 시간 특성에 의한

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

* 연희원: jklee@kriss.re.kr, 042)868-5148

* 연희원: ykleeks@kriss.re.kr 042)868-5569

** 연희원: sw_hwang@cnu.ac.kr 042)825-3991

** 연희원: eesjl@cnu.ac.kr 042)821-6582

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

전파 지연 오차는 eLoran 신호의 전파 경로 상의 일변화 및 계절변화에 따라 발생하는 오차로 짧은 측정시간에 대해 변동성이 크다(Samaddar, 1980; Kuhn, 2006). FAA (Federal Aviation Administration)의 평가 보고서에 따르면 eLoran 신호를 이용한 항법 성능은 공간 특성에 의한 ASF를 보정함으로써 100 미터 이내의 정확도를 얻을 수 있다. 또한 공간 특성과 시간 특성에 의한 ASF를 동시에 보정함으로써 HEA (Harbor entrance and approach) 조건을 만족할 수준의 항법 성능을 얻을 수 있다(Johnson, 2007). eLoran은 all-in-view 모드 동작으로 여러 체인의 다수 송신국의 신호를 수신하고, 시스템 정보 데이터 채널을 통해서 항법의 정확성, 무결성, 연속성을 가진다(ILA, 2007). 이를 위해 도입된 dLoran (differential LORange Navigation) 기준국은 eLoran 시스템에서 ASF 보정 정보를 사용자에게 제공하기 위해 추가된 것으로 GPS 시스템의 보정 시스템인 DGPS (Differential GPS) 시스템과 같은 오차보정 기능을 한다(Peterson, 2003).

본 연구에서는 영일만 해상을 대상으로 dLoran 측정의 유효성을 평가하기 위해 포항 표지관리소에 dLoran 기준국을 설치하고 흥환 해수욕장에 시험용 수신국을 설치하여 포항 Loran-C(9930M) 신호의 시간 특성의 상관성을 측정하였다.

2. dLoran 기준국을 이용한 ASF 보상 기법

ASF의 시간 특성은 날씨 혹은 계절 변화와 같은 환경적 요소에 좌우되는 파라미터로 큰 변화폭을 갖는다. 따라서 시간 변화에 따른 ASF를 보정하기 위해서는 이용자 근처에 있는 기준국에서 측정한 ASF 보정 정보를 이용하여 실시간으로 보상하는 방법이 가장 적절하다. 시간 특성에 의한 ASF 변화는 공간 특성에 의한 ASF 변화와는 달리 수신위치에 따른 민감도가 작고, 보정 정보로 보상할 수 있는 유효범위가 넓다. 따라서 dLoran 기준국에서 측정한 시간 특성에 의한 ASF 보정 정보는 일정 유효 범위 내에 위치한 모든 사용자가 공통으로 이용하여 측정 오차를 보정할 수 있다. 이를 위해 dLoran 기준국에서 실시간으로 ASF를 측정하고 데이터 링크를 통해 송신국으로 실시간 시간 특성 보정 정보를 전송한다. 송신국에서는 ASF 보정 정보를 포함한 eLoran 시스템 정보를 이용자에게 전송한다(Celano, 2005). dLoran 기준국에서는 여러 송신국의 ASF를 동시에 측정하여 시간 특성에 의한 ASF 보정 정보를 생성한다. ASF 보정 정보는 전파 경로에서 발생한 1분 간격으로 측정한 ASF 실측치의 1시간 평균값과 해당 dLoran 기준국의 장시간 ASF 평균값을 차분 처리하여 생성한다. 시간 특성에 의한 ASF 보정값은 eLoran의 LDC (Loran Data Channel)를 통해서 수신기에 전달된다(Johnson, 2006).

2.1 ASF 시간 특성 보정 정보를 이용한 ASF 보상

현재 eLoran 시스템은 기준국의 ASF 보정 유효 범위 내에

서 모두 동일한 ASF 보정값을 사용한다. Fig. 1은 현재 eLoran 시스템에서 사용하고 있는 ASF 보정 기법을 나타낸 것이다. dLoran 기준국에서는 수신된 여러 송신국들의 신호를 수신하여 ASF를 측정하고 시간 특성에 의한 ASF의 실시간 보정값을 산출하여 로란 데이터 채널을 통해 송신국으로 전송한다. 송신국에서는 로란 신호를 통해 송신 시스템 정보와 ASF 보정 정보를 송신한다(Peterson, 2006). 이용자 수신기의 ASF 시간 특성의 보정을 위해서 이용자의 근거리에서 위치한 dLoran 기준국의 ASF 보정값을 사용한다. 식 (1)은 dLoran 기준국의 ASF의 시간 특성과 이용자 수신기의 시간 특성의 관계로 거의 동일한 변화 특성을 갖는다.

$$ASF_{temporal.grid\#1} \approx ASF_{temporal.grid\#2} \quad (1)$$

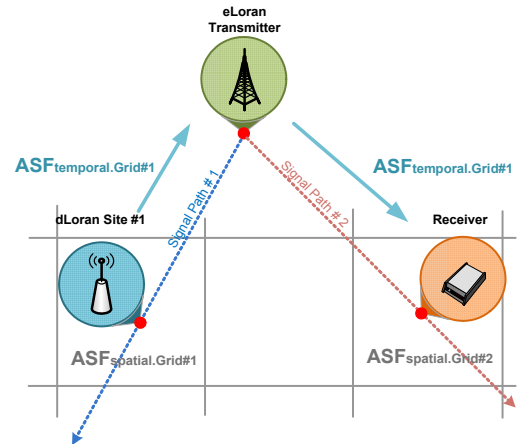


Fig. 1 The general ASF compensation by dLoran site

$ASF_{temporal.grid\#1}$ 은 dLoran 기준국 위치(ASF-맵의 1번 격자)에서 측정한 ASF의 시간 특성이며, $ASF_{temporal.grid\#2}$ 는 수신기 위치(ASF-맵의 2번 격자)의 ASF의 시간 특성을 나타낸다. 따라서 수신기 위치의 ASF 측정값은 식 (2)와 같다.

$$ASF_{grid\#2} = ASF_{spatial.grid\#2} + ASF_{temporal.grid\#1} \quad (2)$$

여기서, $ASF_{grid\#2}$ 는 수신기 위치에서 시간 특성을 보정한 ASF 측정값이고, $ASF_{spatial.grid\#2}$ 는 수신기 위치에서 측정한 공간 특성에 의한 ASF 측정값이다. 이 값은 수신기 내부 ASF 맵 데이터의 2번 격자의 값으로부터 도출한다.

2.2 단일 기준국의 ASF 시간 및 공간 특성을 보정한 이용자 수신기의 ASF 측정

이 방법은 dLoran 기준국에서 측정한 시간 특성 및 공간 특성에 의한 ASF의 관계를 이용하여 수신기 위치에서의 ASF값을 보정하는 기법이다. Fig. 2는 단일 dLoran 기준국에

서 측정된 시간 특성에 의한 ASF 보정값을 이용하여 수신기의 ASF를 보상하는 기법을 도시하고 있다.

기에 대한 시간 특성과 공간 특성의 ASF 관계는 식 (6), 식 (7)과 같이 가정한다.

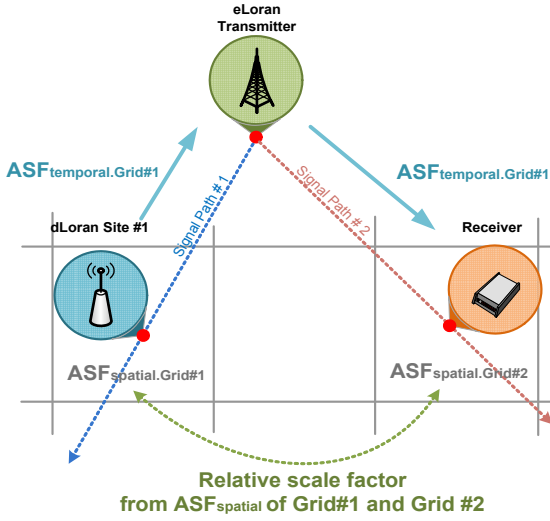


Fig. 2 The ASF compensation by a single dLoran site

dLoran 기준국과 수신기에서의 ASF의 관계는 식 (3)과 같이 가정한다.

$$\begin{aligned} ASF_{spatial.grid\#1} &: ASF_{temporal.grid\#1} \\ &= ASF_{spatial.grid\#2} : ASF_{temporal.grid\#2} \end{aligned} \quad (3)$$

ASF 맵 격자의 값을 이용하여 dLoran 기준국과 수신기 위치간의 공간 특성에 의한 ASF의 관계 계수를 S 로 정의하면 식 (4)와 같다.

$$S_{2 \leftarrow 1} = \frac{ASF_{spatial.grid\#2}}{ASF_{spatial.grid\#1}} \quad (4)$$

식 (4)에서 $S_{2 \leftarrow 1}$ 는 dLoran 기준국의 공간 특성에 의한 ASF에 대한 수신기 위치에서의 공간 특성 ASF의 관계 계수이다. 이를 이용하여 수신기 위치의 ASF를 식 (5)와 같이 계산한다.

$$ASF_{grid\#2} = ASF_{spatial.grid\#2} + S_{2 \leftarrow 1} \times ASF_{temporal.grid\#1} \quad (5)$$

2.3 다중 기준국의 ASF 시간 및 공간 특성을 보정한 이용자 수신기의 ASF 측정

Fig. 3은 다중 dLoran 기준국에서 측정된 다수의 시간 특성과 공간특성에 의한 ASF 보정정보를 이용하여 수신기의 ASF를 보상하는 기법을 도시하고 있다. 단일 dLoran 기준국을 사용한 경우와 동일한 가정으로 두 dLoran 기준국과 수신

$$\begin{aligned} ASF_{spatial.grid\#1} &: ASF_{temporal.grid\#1} \\ &= ASF_{spatial.grid\#3} : ASF_{temporal.grid\#3} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} ASF_{spatial.grid\#2} &: ASF_{temporal.grid\#2} \\ &= ASF_{spatial.grid\#3} : ASF_{temporal.grid\#3} \end{aligned} \quad (7)$$

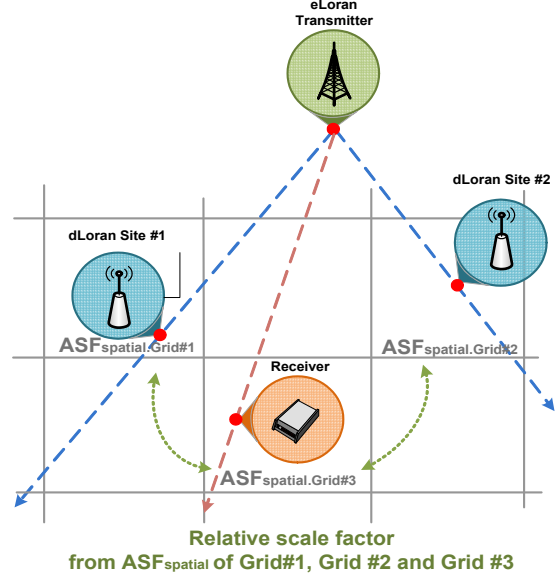


Fig. 3 ASF compensation by multi-dLoran sites

ASF 맵 격자의 값을 이용하여 다중 dLoran 기준국과 수신기 위치간의 공간 특성에 의한 ASF의 관계 계수는 식 (8), 식 (9)와 같다.

$$S_{3 \leftarrow 1} = \frac{\sqrt{A^2}}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (8)$$

$$S_{3 \leftarrow 2} = \frac{\sqrt{B^2}}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (9)$$

여기서 A 는 식 (10), B 는 식 (11)과 같다.

$$A = ASF_{spatial.grid\#3} - ASF_{spatial.grid\#1} \quad (10)$$

$$B = ASF_{spatial.grid\#3} - ASF_{spatial.grid\#2} \quad (11)$$

두 dLoran 기준국의 시간 특성과 공간 특성에 의한 ASF 보정값을 이용하여 수신기 위치의 ASF를 식 (12)와 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} ASF_{grid\#3} &= ASF_{spatial.grid\#3} + S_{3 \leftarrow 1} \times ASF_{temporal.grid\#1} \\ &+ S_{3 \leftarrow 2} \times ASF_{temporal.grid\#2} \end{aligned} \quad (12)$$

3. dLoran 측정 및 시스템 구현

3.1 dLoran 기준국 구성

dLoran 기준국은 고정된 위치에서 측정된 장시간 ASF 평균값과 시간 특성에 의한 ASF 측정값을 사용자 수신기에 보정 정보로 제공한다. dLoran 시스템은 Fig. 4와 같이 감시부와 서버로 구성되며, 송신국에 보정 데이터를 전송하기 위한 별도의 데이터 링크가 있다(Kuhn, 2006; Johnson, 2007). 감시부는 Loran신호와 GPS 신호를 수신하며 기준국에서 측정된 TOA를 이용하여 ASF를 도출한 후에 1분 간격으로 TCP/IP를 통해 ASF 보정 정보를 서버로 전송한다. 서버는 데이터를 수집 및 저장하는 기능을 수행하며, ASF 보정 정보를 LDC 포맷으로 변경한 후 일정 시간마다 송신국으로 전송한다.

현재 국내에는 LDC이 구축되어 있는 상태가 아니므로, 본 실험에서는 데이터를 후처리하여 dLoran 측정의 유효성을 평가하였다.

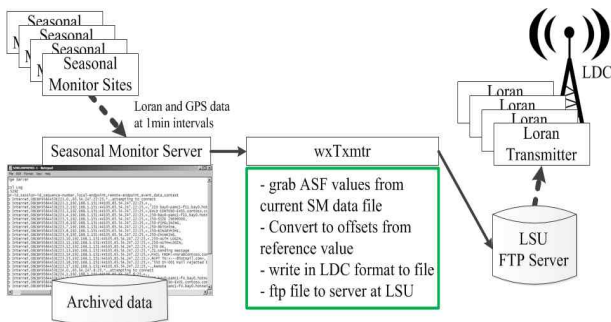


Fig. 4 The concept of dLoran system

3.2 dLoran 기준국 위치 선정 시 고려사항

dLoran 기준국은 고정 위치에서 ASF를 측정하므로 환경적인 특성을 고려하여 최적 위치를 선정하여야 한다. 기준국의 위치에 따라 ASF 측정값의 적용 가능한 유효 범위가 결정된다. dLoran 기준국의 위치를 선정하기 위해서 고려해야 하는 조건은 첫째로 전파 경로에 따른 환경적 특성을 고려하여야 한다. 송신국과 대상 항만 간에 전파 경로 상의 환경적 특성(고도 변화율, 전도율)을 분석하여 dLoran 기준국 데이터의 유효 적용 범위를 결정해야 한다. 둘째로 dLoran 기준국과 대상 항만의 이용 수신기의 시간 특성에 의한 ASF의 상관성이 유지 되는지 수 회 반복 측정을 통해 확인해야 한다. 셋째로 dLoran 기준국과 송신국간의 네트워크 운영이 가능하고 GPS 수신기와 eLoran 수신기 등의 장비 설치를 위한 안정된 환경인지 여부를 확인해야 한다.

3.3 dLoran 시스템 구현 및 시험

dLoran 기준국에서는 송신국의 신호를 수신하여 공간 특성의 ASF 뿐만 아니라 시간 특성의 ASF 변화를 측정하여 송신국으로 보정 정보를 전송해야 한다. Fig. 5는 dLoran 기준국의 구성도이다. eLoran에서 정확도는 dLoran 기준국의 ASF 보정 정확도에 좌우되므로 eLoran 신호의 안정적인 수신과 연속적인 동작이 보장되어야 한다. 본 연구에서는 호미곶의 표지관리소(Fig. 6)를 dLoran 기준국으로 선정하였고, 직선거리로 8.6 km 떨어져있는 흥환 해수욕장에 Fig. 5와 같은 구성의 이용자 수신 시스템을 설치하고 동시에 측정하였다. 수신 신호의 시간 특성 분석을 위해 Fig. 7과 같이 표지관리소 옥상에 H-field 안테나와 루프 안테나를 설치하고 건물 내에는 세슘원자시계를 비롯한 dLoran 기준국을 설치하였다. 세슘원자시계를 모든 측정의 기준클럭으로 활용하고 안정성있는 데이터 활용을 위해 H-field와 루프 안테나를 이용한 로란신호를 동시에 측정하였다. Fig. 8은 3일 이상 연속적으로 측정된 포항 송신국과 표지관리소의 TOA 데이터이다. 이 기간 동안 포항송신국 송신신호의 모니터링은 Lee(2012)에 제시한 방법으로 측정하였으며, 표지관리소에 설치한 온·습도 데이터를 함께 측정하여 비교하였다. 측정 데이터에서 보는 바와 같이 송신국의 위상은 일정하지만 옥상에 설치된 두 안테나의 측정 결과는 동일한 방향으로 흐르고 있음을 알 수 있다. 또한 온·습도에 의한 영향에 따라 기준국의 위상이 변하는 것도 확인할 수 있다. Fig. 9는 기준국인 표지관리소와 흥환 해수욕장에서의 이용자 수신기의 TOA 측정 결과를 비교한 것이다. 측정 결과에서 공통적으로 나타나는 단기 변화는 송신국의 위상 변화로 인해 발생한 것이며 장기 변화는 ASF의 영향과 원자시계의 drift 영향으로 나타난 것이다. 두 지점간의 위상 차이를 계산하기 위하여 차분한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 이 결과에서 보는 바와 같이 표지관리소를 dLoran 기준국으로 하였을 때, 하루 동안에 약 30 ns의 보정 오차가 발생하고 있음을 알 수 있는데 거리로 환산하면 약 9 m에 해당하는 결과이다. 이 데이터에는 기준국과 흥환 사이트 원자시계의 drift(< 20 ns/day)가 포함되어 있어 원자시계의 오차를 제거하면 3 ~ 6 m 이내의 거리측정 오차를 기대할 수 있다.

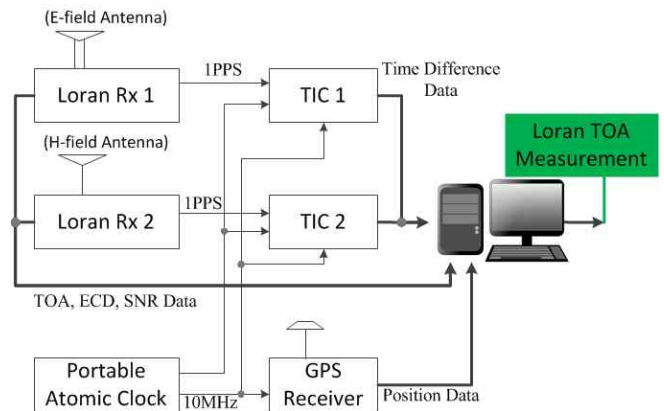


Fig. 5 The block diagram of dLoran system



Fig. 6 The dLoran site and user receiver position

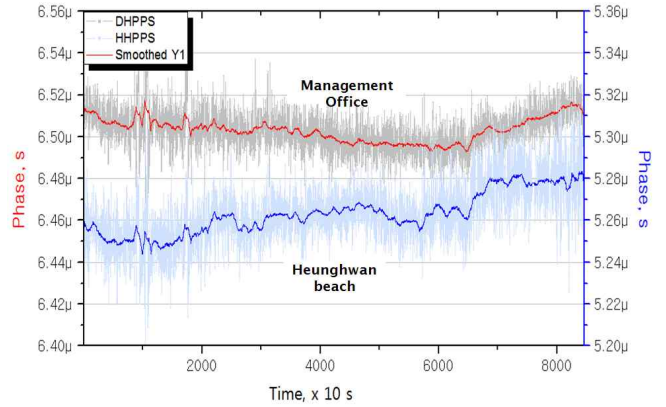


Fig. 9 The temporal ASF data using H-field antennas at the Management Office (dLoran reference site) and Heungwan beach (user site).



Fig. 7 Management office for maritime navigation aids and dLoran system at the roof and inside of the office

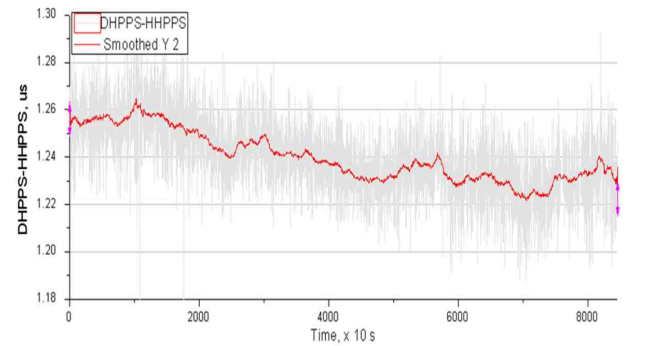


Fig. 10 The differences of temporal ASF data between two sites

4. 결 론

본 연구에서는 dLoran의 유효성 평가를 위해서 영일만 해상을 대상 측정 지역으로 하였다. 이를 위해서 포항 호미곶 표지관리소에 dLoran 기준국을 설치하고 흥환 해수욕장에 시험용 수신기를 설치하여 각 수신기에서의 TOA 로란 신호의 시간 변화를 측정하였다. 그 결과 영일만을 대상으로 하는 dLoran 측정에서는 기준국과 이용자 수신기의 측정 데이터의 차분 데이터가 하루에 약 30 ns 이내의 일치성을 보였다. 이 데이터에는 기준국과 흥환 해수욕장에 설치된 수신기의 기준 원자시계의 drift가 포함되어 있는데, 이 원자시계의 오차를 제거하면 10~20 ns 이내로 6 m 이내의 거리 측정 오차를 기대할 수 있다. 따라서 본 연구를 통해 영일만에서의 dLoran 시간 특성에 의한 ASF 보상을 통해 8~20 m의 정확도를 만족할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

추후에 보다 좋은 dLoran 측정값을 얻기 위해 영일만 항의 여러 지점의 dLoran 측정 데이터 베이스를 구축하여 보다 신뢰성있는 데이터를 취득함으로써 eLoran의 항법 정확도를 높

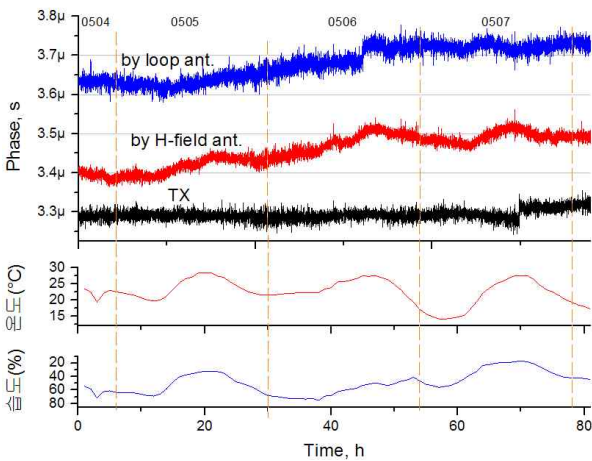


Fig. 8 Measurement data by each antenna at the Management Office with the data of temperature and humidity and monitoring data at the Tx station

일 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 국토해양부(현재의 해양수산부)의 지원으로 수행된 “국가위성항법보정시스템 구축 개발”의 “eLoran 선도기술개발(09-531024)” 과제의 연구결과 중 일부임.

References

[1] Celano T., Boiggs C. and Peterson B.(2005), “Modernized LORAN-C Timing Test Bed Status and Results”, Frequency Control Symposium and Exposition, Proceedings of the 2005 IEEE International, p. 824-829.

[2] Doherty, R., Johler, J. and Campbell, L.(1979), LORAN-C System Dynamics Model: Temporal Propagation Variation Study, DOR report AD-4076214.

[3] ILA(2007), Enhanced Loran (eLoran) Definition Document, RPT Ver 1.0, Oct 2007.

[4] Johler, R. E., Keller, W. J., Walters, L. C.(1956), “Phase of the Low Frequency Ground Wave”, NBS Circular No. 573, pp. 1-38.

[5] Johnson, G. W.(2007), “4 down, 50 to go - An Update on Harbor Surveys in the United States”, The 36th Annual Technical Symposium, International Loran Association.

[6] Johnson, G. W., Shalaev, R. J., Oates, C., Swaszek, P., et al.(2006), “A Procedure for Creating Optimal ASF Grids for Harbor Entrance & Approach”, ION GNSS 19th International Technical Meeting of the Satellite Division.

[7] Kuhn, M., Johnson, G., Wiggins, M., et al.(2006), “Warping time and space: spatial correlation of temporal variations,” Proc. 35th Annual Technical Symposium, International Loran Association 35, October 2006.

[8] Lee, C. B., et al(2012), “Measurement of Reference Phase Offset for the Loran-C Transmitting Signal of Pohang”, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 36, No. 6, pp. 17-22.

[9] Monteath, G. D.(1978), Computation of Groundwave Attenuation over Irregular and Inhomogeneous Ground at Low and Medium Frequencies, BBC Report 1978/7, pp. 1-18.

[10] Peterson, B., Dykstra, K. and Swaszek, P.(2003), Differential Loran, International Loran Association.

[11] Peterson, B., Dykstra, K., Lown, D., Shmihluk, K.(2006), Loran Data Channel Communications using 9th Pulse Modulation, Ver. 1.3.

[12] 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.

[13] Samaddar, S. N.(1980), “Weather Effect on LORAN-C Propagation”, Journal of the Institute of Navigation, Vol. 27, No. 1.

원고접수일 : 2014년 4월 7일
 심사완료일 : 2014년 6월 22일
 원고채택일 : 2014년 6월 24일