

시각비교를 위한 eLoran 수신기 지연측정 기술

이창복* · 이종구* · 이영규* · 황상욱* · † 양성훈

*한국표준과학연구원 기반표준본부

A Time Comparison Measurement Technique for eLoran Receivers

Chang-Bok Lee* · Jong-Koo Lee* · Young-Kyu Lee* · Sang-wook Hwang* · † Sung-Hoon Yang

*, † Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 34113, Republic of Korea

요약: eLoran은 측위, 항법, 시각 분야에서 요구 정확도에 따라 GPS의 대체 또는 백업시스템으로 사용될 수 있다. eLoran 송신국들은 UTC에 동기 되어 있으므로 TOA를 근거로 한 all-in-view 수신기 가능하여 높은 정확도의 시각 동기화 항법이 가능하다. 또한 LDC를 통해 송신국 및 dLoran 보정 정보 등을 방송함으로써 향상된 PNT를 제공한다. 본 논문에서는 eLoran을 이용한 정밀 시각비교 측정에 필수적인 eLoran 타이밍 수신기의 지연 시간에 관련된 것들을 측정하여 보정값으로 반영하는 기술을 제시하였다. 송신기 종단의 전류 결합기로부터 로란 신호를 추출하여 3 번째 사이클과 교차하는 지점에서 펄스를 생성하는 장치를 구성하고 그 펄스를 기준으로 지연 시간을 측정하는 장치를 구현하였다. 수신기 지연은 상용 eLoran 수신기와 능동형 자기장, 전기장 안테나와 수동형 루프 안테나를 사용하여 각각의 안테나를 연결하였을 때의 지연 시간을 측정하였다. 이와 같은 방법으로 교정된 eLoran 타이밍 수신기를 공통시계 비교법에 이용하면 GNSS 이용 시각비교의 백업 시스템으로서 정밀한 시각비교가 필요한 분야에 활용할 수 있다.

핵심어 : eLoran, 타이밍 수신기, 세계협정시, 수신기 지연, 공통시계 비교법

Abstract: eLoran Systems can provide Position, Navigation, and Time services with comparable performance to Global Positioning Systems (GPS) as a back up or alternative system. High timing and navigation performance can be achieved by eLoran signals because eLoran receivers use "all-in-view" reception. This incorporates Time of Arrival (TOA) signals from all stations in the service range because each eLoran station is synchronized to Coordinated Universal Time (UTC). Transmission station information and the differential Loran correction data are transmitted via an additional Loran Data Channel (LDC) on the transmitted eLoran signal such that eLoran provides improved Position Navigation and Timing (PNT) over legacy Loran. In this paper, we propose a technique for adapting the delay time compensation values in eLoran timing receivers to provide precise time comparison. For this purpose, we have designed a system that measures time delay from the crossing point of the third cycle extracted from the current transformer at the end point of the transmitter. The receiver delay was measured by connecting an active H-field, an E-field and a passive loop antenna to a commercial eLoran timing receiver. The common-view time transfer technique using the calibrated eLoran timing receiver improved the eLoran transfer time. A eLoran timing receiver calibrated by this method can be utilized in the field for precise time comparison as a GNSS backup.

Key words : eLoran, Timing Receiver, UTC, Receiver Delay, Common-View Time Transfer

1. 서 론

Loran에 의한 항법은 Time Difference(TD)를 이용한 쌍극선 기법(USCG, 1992)에 의하여 항법해를 구하는 반면 eLoran(enhanced Loran)의 경우는 TOA(time of arrival)를 이용하여 이용자의 위치를 구한다. eLoran은 기존의 Loran 시스템보다 향상된 성능을 갖고 시각 및 항법에서 GPS의 백업시스템으로 사용될 수 있다(Offermans et al., 2015). eLoran 시스템은 송신국들을 UTC(Coordinated Universal Time)에 동기 시

키고 LDC(Loran Data Channel)(Peterson et al., 2006)을 통해 송신국의 지연시간 변화 등과 같은 보정정보 및 무결성 정보를 실시간으로 방송함으로써 항법 정확도를 향상시킬 수 있다(ILA, 2007). eLoran 타이밍 수신기는 TOA를 측정함으로써 송신국 시각과 수신기 시각과의 시각차를 구할 수 있다(Celano et al., 2005). TOA는 송신국의 신호를 수신했을 때의 송신국 신호와 수신기 시각과의 시간차이며 여기에 빛의 속도(3×10^8 m/s)를 곱해주면 송신기와 수신기 사이의 의사거리(pseudo range)가 된다. eLoran 신호에 의한 시각비교 오차요

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

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

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

* 연회원: sw.hwang@kriss.re.kr 042)868-5398

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

인은 크게 3 가지로 송신국 부분, 신호전파 부분 그리고 수신기 부분이다(Linn et al., 2005). 송신기측 오차 요인은 기준국 클락을 포함한 타이밍 장비와 송신기에 의해 방송된 타임 및 펄스 포락선의 전파지연에 의한 오차이다. 신호전파 오차는 eLoran 신호가 송신국으로부터 이용자 수신기로 전파될 때 시각정확도에 영향을 주는 경로지연 오차이며 Loran신호는 지표면을 따라 전파될 때 경로상의 전도도와 같은 지표 특성에 따른 전파지연이 추가로 발생된다(Last et al., 2000). 실제로 전파 지연시간은 지형 및 날씨 변화 등 여러 요인에 의해 변화한다(Johler et al., 1956). 전파지연은 크게 공간적인 위상 변화와 시간적인 위상 변화로 나누어서 고려할 수 있다. eLoran 시스템에서는 항만 등 한정된 지역에서의 추가 경로 지연오차 ASF를 dLoran(differential Loran)국에서 측정(Peterson et al., 2003)함으로써 보정한다. 마지막으로 수신기측 오차요인은 대기잡음, 이온층 반사파, precipitation static, cross-rate 간섭, 수신기 지연 등이 있다. 이러한 오차 요인에서 대기층 잡음 및 cross-rate 간섭은 수신기 프로세싱을 통해서, precipitation static은 H-field 안테나를 사용함으로써 제거 또는 보정할 수 있으며, 수신기 지연은 내부 지연값을 측정함으로써 해결할 수 있다.

본 논문에서는 eLoran을 이용한 정확한 시각 비교측정을 위해 필수적 요소인 eLoran 타이밍 수신기 지연 측정법을 연구하였고 전기장 및 자기장 안테나 등을 연결하여 지연 시간을 측정하고 비교하였다.

Table 1 Typical errors in eLoran timing receiver

Deterioration facts of accuracy	Effects
Propagation errors	- Propagation characteristic of low frequency over land - Influence of skywave
Receiver errors	- Internal delays and clock instability of the receiver
Transmitter errors	- Instability of Tx clock - Performance of TOT control and the UTC synchronization

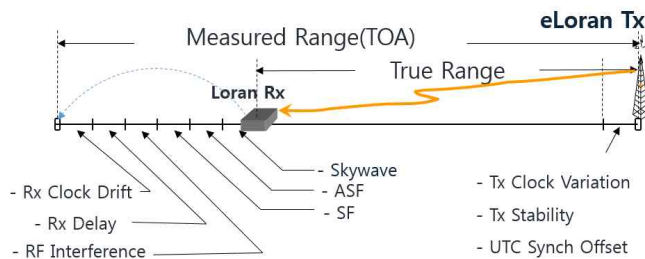


Fig. 1 Error factors effected on TOA in eLoran

2. eLoran 이용 수신국간 시각비교 기법

eLoran 신호를 이용한 공통시계 시각비교 측정은 Fig. 1의 지연 및 오차 등을 갖는 송신국의 eLoran 신호를 수신하여 수신국의 시계와 비교하는 방식으로 측정 원리는 다음 식과 같다. 측정값 TOA(time of arrival)는

$$TOA = TTOR - TTOT = \tau(RX-TX) + PF + SF + ASF + \Delta Rx \quad (1)$$

여기서, TTOR : 수신시각 (Time of Reception)
 TTOT : 송신시각 (Time of Transmission)
 $\tau(RX-TX)$: 송신기 시계 기준 수신기 시계의 동기 오차
 PF : 1차 지연요소 (거리에 의한 시간지연)
 SF : 2차 지연요소 (바다에 의한 시간지연)
 ASF : 육지에서 발생하는 추가 지연
 ΔRx : 수신기 내부지연

이다. Fig. 2와 같이 수신국 1의 수신기와 수신국 2의 수신기에서 수신한 eLoran 신호에 대한 TOA1과 TOA2는 각각 다음과 같은 식으로 표시될 수 있다.

$$TOA_1 = T_{RX1}(t_i) - T_{TX}(t_i) + \frac{\rho_1(t_i)}{c}, \quad [s] \quad (2)$$

$$TOA_2 = T_{RX2}(t_i) - T_{TX}(t_i) + \frac{\rho_2(t_i)}{c}, \quad [s] \quad (3)$$

여기서, $T_{RXn}(t_i)$: $t = t_i$ 에 수신기 n의 시각
 $T_{TX}(t_i)$: $t = t_i$ 에 송신기의 시각
 $\frac{\rho_n(t_i)}{c}$: $t = t_i$ 에 송신기와 수신기 n 간의 PF, SF, ASF 및 수신기 내부지연을 포함한 전파지연
 (c: 자유공간에서의 빛 속도(299,792,458 m/s))

이다. 식(2), (3)으로부터 t_i 시점에 2 개의 수신국간 시계 TRX1과 TRX2 사이의 시각차이 ΔT 는 다음과 같다.

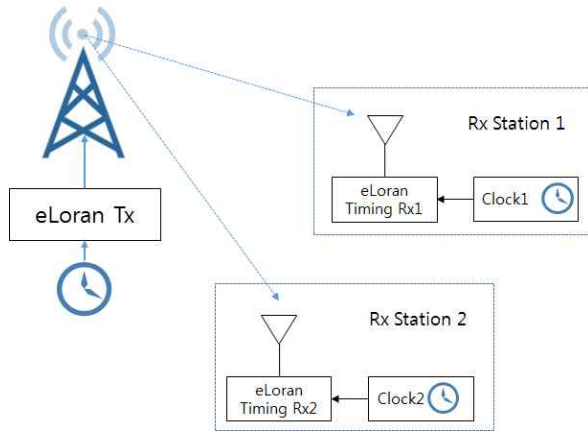


Fig. 2 Time comparison by common-view method using eLoran signal

$$\Delta T = T_{RX1}(t_i) - T_{RX2}(t_i) = \Delta TOA + \Delta T_{Tx} - \Delta \rho, [s] \quad (4)$$

수신 시각 비교 시점이 다르거나 송신국이 다른 경우는 수신기들의 측정 시간의 차이가 있기 때문에 각 송신기 시계의 안정도 및 신호 전파 경로(ASF)에 따른 지연 시간차 등이 오차 요인이 될 수 있다. 그러나 Fig. 2와 같이 각 수신기가 동시에 동일 송신국의 신호를 수신하는 공통 시계법의 경우는 송신기 시계 및 시스템의 영향은 상쇄된다. 따라서 $\Delta \rho$ 에 큰 영향을 주는 것은 각 수신지점에서 송신국과의 ASF와 수신기 지연값 뿐이다. ASF는 각 수신지점까지의 전파경로의 환경에 의해 결정되며 수신기 지연값은 수신기 구조와 사용된 소자들의 특성에 따라 다르므로 측정을 통해 얻을 수 있다. 다음 장에서 본 논문에서 제시하고자 하는 수신기 지연과 관련된 측정 및 방법에 대하여 논한다.

3 eLoran 타이밍 수신기 지연측정

3.1 eLoran 타이밍 수신기 지연측정

측정에 사용된 eLoran 타이밍 수신기는 Locus 사의 CsSync 1030 모델이며, 안테나는 능동형 H-field 안테나 및 E-field 안테나(수신기 제작사 제공)와 수동형 루프안테나를 각각 사용하였다. H-field 안테나는 능동형으로 원거리에서 수신감도 및 SNR이 우수하고 수동형의 루프안테나는 고전계내에서의 동작 특성이 우수하다. 수신기의 절대 지연값을 측정하기 위해서 Fig. 3과 같은 송신국 Loran 신호를 이용하여 수신기 지연 측정에 사용할 루프 안테나의 지연을 측정하는 시스템(Keating et al., 1986)을 응용하여 구현하였다. Fig. 3 우측 상단의 GRI(Group Repetition Interval) 생성기는 99.3 ms 주기의 펄스를 생성하여 오실로스코프와 시간 간격 생성기(Time Interval Generator)의 트리거 신호로 입력한다.

송신기의 전류 결합기(current coupler)에서 동축 케이블을 이용하여 오실로스코프의 한 입력단자에 연결하고 다른 한 입력단자에는 루프 안테나를 연결하여 두 신호의 위상 차이를 측정하였다. Fig. 4는 두 신호 사이의 위상 차이를 보여주는 것으로써 상대적으로 큰 신호가 전류 결합기의 신호이며 작은 신호가 루프 안테나의 신호이다. 두 신호의 위상 차이는 4.2 μ s로 측정되었으며 이것은 차후 수신기 지연을 측정할 때 보정 값으로 사용하였다.

수신기 지연은 Fig. 3에서 루프 안테나(A1)를 eLoran 수신기로 옮기고 수신기에서 받은 1초 신호와 전류 커플러와 동기된 펄스를 생성하여 시간 간격 계수기로 측정하였다. 그 방법은 다음과 같다. 시간 간격 생성기는 위상 이동 기능이 있는 것으로써 펄스의 위상을 조정하여 루프 안테나로 수신된 Loran 신호의 3번째 사이클의 zero-crossing에서 정확히 펄스가 일치하도록 스코프를 보면서 조정한다. 이렇게 만들어진 펄스를 시간 간격 계수기 TIC(Time Interval Counter)의 stop 단자로 입력하고 Loran 수신기에서 출력된 1 초 펄스신호를 start 단자로 입력하여 시간 간격 T1을 측정한다. Fig. 5는 루프 안테나로 수신한 Loran 신호와 3번째 사이클의 zero-crossing에서 만들어진 펄스를 보여주고 있다.

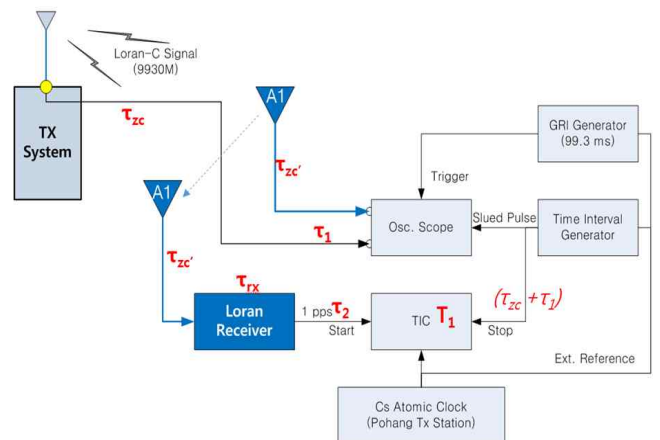


Fig. 3 Measurement concept for the delay of eLoran receiver by using a loop antenna

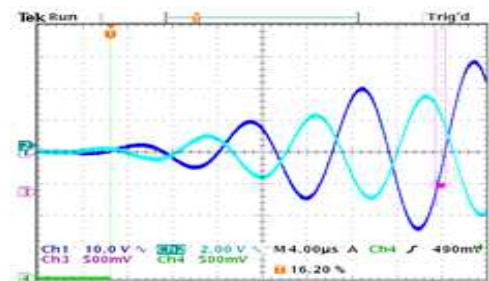


Fig. 4 Phase difference between the current couple and the loop antenna



Fig. 5 Pulses generated by a GRI generator and a TI generator synchronized with 6th zero-crossing

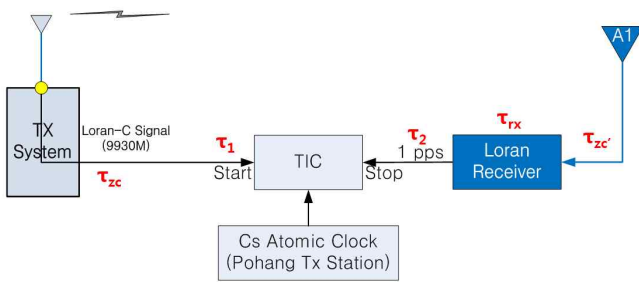


Fig. 6 Equivalent block diagram of Fig. 3

Fig 6은 Fig. 3의 등가 회로를 나타낸 것이며, 이의 시간 간격 계수기에서 측정되어 표시되는 값 T_1 을 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$T_1 = (\tau_{zc} + \tau_1) - (\tau_{zc}' + \tau_{rx} + \tau_2) \quad (5)$$

여기서 τ_{zc} 는 표준영점교차점(standards zero-crossing: 30 μ s zero-crossing)의 위상값이다. τ_{zc}' 는 루프 안테나의 위상 지연으로써 근자장 영향(4.2 μ s)이 반영된 루프 안테나의 지연이며 Fig. 3의 방법을 이용하여 측정된 값이다. τ_1 은 전류 결합기로부터, τ_2 는 수신기로부터 시간 간격 계수기까지 각각 사용된 케이블 지연이다. 식 (5)를 사용하면 수신기 지연(τ_{rx})를 구할 수 있다.

두 대의 수신기(Rx1, Rx2)에 대하여 루프 안테나와 E-field 및 H-field 안테나를 각각 사용하였고 그 결과는 Table 2와 같다. 두 수신기 모두 루프 안테나를 연결하여 측정하였을 때는 0.01 μ s의 매우 근소한 차이를 보였으나 능동형 안테나를 연결하였을 때는 루프 안테나에 비해 다소 큰 차이가 발생하였다. 이는 E-field와 H-field 능동형 안테나 사이의 지연이 서로 다르기 때문이다. 따라서 정밀 시각비교를 위해서는 안테나를 포함한 수신기 세트로서 운용하고, 이의 전체 지연값을 보정해야 정밀 시각 비교 수신기로서 동작 및 성능이 보장된다.



Fig. 7 Pictures of measurement system for the delay of eLoran receiver: the measurement system(upper) and the loop antenna(lower)

Table 2 Measurement results of receiver's delays

Receivers	Antenna Types	Delays, μ s
RX1	E-field	14.86
	Loop	14.05
RX2	H-field	13.85
	Loop	14.04

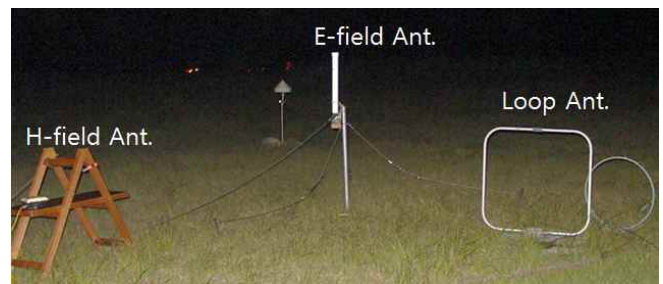


Fig. 8 Antennas used for the delay measurement of eLoran receivers (H-field, E-field and loop antenna)

3.2 안테나 회전에 따른 지연변화 측정

Loran신호 수신안테나에는 전기장(E-field) 안테나, 루프 안테나, 자기장(H-field) 안테나 등이 있다. 전기장 안테나는

전방향 수신특성이 일정하지만 자기장 안테나의 경우 전파 수신 방향에 따른 위상변화를 확인해야 정밀 측정에 활용할 수 있다. 일반적으로 자기장 안테나는 서로 직교하는 두 세트의 안테나를 쌍으로 배치하여 안테나 효율을 높이고 위상을 보상하고 있다. Fig. 9에는 H-field 안테나 방향에 따른 이득 및 위상 변화를 나타내었다(Pelgrum, 2006). Fig. 10은 안테나의 지향특성을 실험하기 위한 블록도이다. 수신기는 고정된 위치에서 Loran-C 신호에 동기된 후의 TOA 값을 측정하고, 그 후에 방향을 바꾸면서 실험을 반복하였다. 방향성 영향 실험 결과 E-field 안테나를 제외한 H-field 안테나와 루프 안테나는 방향성에 따라서 신호의 세기가 변화됨을 확인하였다. 따라서 방향성을 갖는 루프 안테나 또는 H-field 안테나를 사용할 경우는 방향성에 대한 영향 측정이 필요하다. Fig. 11은 KRISS에서 H-field 안테나를 사용하여 안테나의 방향을 변화시켜가면서 수신한 TOA 값의 변화를 관측한 실제 결과이다. 실험은 송신국 쪽으로 안테나를 지향해서 약 5 분간 측정하고 이후 90 도씩 회전해 가면서 5 분간씩 측정하여 TOA를 산출하였다.

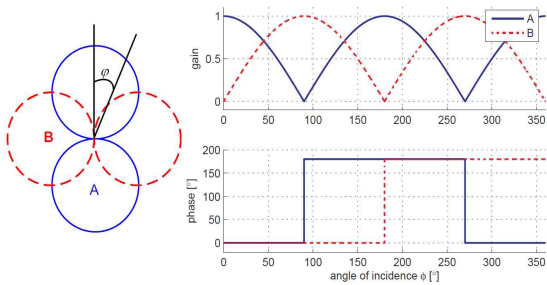


Fig. 9 Gain and the phase of H-field antenna due to the direction

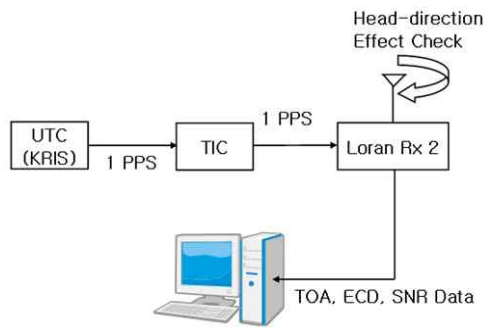


Fig. 10 Concept of the phase measurement due to the H-field antenna direction heading to the Pohang Tx station

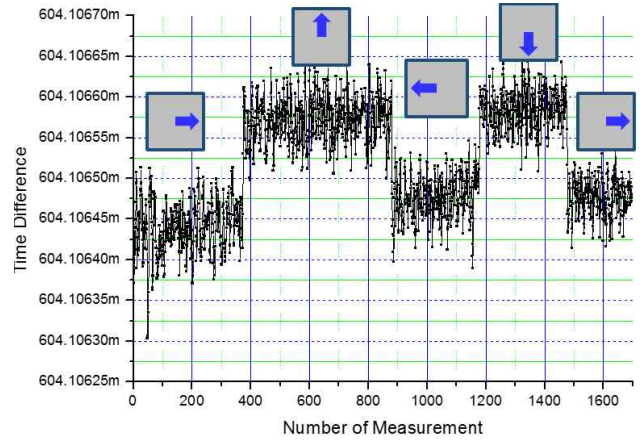


Fig. 11 Phase variation due to the H-field antenna direction

Fig. 11의 측정결과에서 안테나 방향을 90도 변화할 때 대략 100~120 ns 정도의 위상변화가 관찰되었고 다시 180도 변화하였을 때 초기값에 비해 약 20 ns의 드리프트가 발생하였지만 원래의 위상으로 환원됨을 알 수 있다. 수신기 방향에 따른 위상 변동 주기는 180도임을 확인하였고 이를 통해 안테나 내부에 2개의 자기장 안테나가 직교 형태로 배열되어 있음을 측정함으로써도 확인할 수 있었다. 또한 본 H-field 안테나를 이용하여 정밀 타이밍 시스템에 활용할 경우에는 안테나 방향에 따라 최대 120 ns의 차이가 발생할 수 있으므로 이를 고려한 방향 선택 또는 타이밍 불확도를 고려하여 사용해야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

eLoran은 시각 및 위치정보를 제공하는 새로운 지상과 항법 인프라로 우리나라에 eLoran 시스템이 구축되면 독자적인 위치와 항법 그리고 시각 정보를 제공하는 지상과 항법 체계를 갖출 수 있다. 특히 고정된 위치에서 기준 시각으로서의 활용 가능성은 국외 실험 결과에서도 인정되고 있는 상황이다 (Inside, 2016). GNSS 신호에 대한 의도적 혹은 비의도적인 영향 등으로 인해 GNSS 위성의 사용이 불가능한 상황이 발생하는 경우 eLoran은 타이밍 서비스는 백업 기능망으로서 충분히 활용할 수 있다. 더 나아가 요구 성능에 따라 GNSS 시각 동기망을 대체할 수도 있을 정도로 안정적인 지상과 인프라이다.

본 연구를 통해 송신국의 Loran 신호를 이용하여 시간 간격 계수기에서 펄스로 측정할 수 있는 시스템을 구현하였으며 이를 이용하여 루프 안테나의 지연을 측정할 수 있었다. 또한 정밀 타이밍 기준 수신기로 활용하기 위해 수신기 지연 측정 방법을 개발함으로써 초정밀 시각원으로서의 검증 및 교정에도 활용할 수 있다. 이렇게 능동형 안테나와 수동형 안테나를 이용한 eLoran 타이밍 수신기의 수신기 지연 측정 기법 및 결

과는 교정된 eLoran 타이밍 수신기로서 보다 정확한 ASF 측정에도 활용 가능할 것으로 사료된다. 그러나 루프 안테나와 능동형 안테나 사이에서 발생하는 지연 차이를 명확히 하기 위하여 능동형 안테나의 지연을 측정할 필요가 있는데, 능동형 안테나는 로란신호 뿐만 아니라 전원을 공급해야 하므로 다수의 신호선들로 구성되어 있고 전용의 커넥터를 사용하고 있어 이들로부터 나노초 이하 정확도로 측정하는데 어려움이 있다. 향후 이에 대해 전용 연결 장치를 구성하여 범용으로 측정할 수 있는 기법 개발이 필요하다.

후 기

본 연구는 국토해양부(현재의 해양수산부)의 지원으로 “국가 위성항법 보정시스템 구축 개발”의 “eLoran 선도 기술 개발(09-531024)” 연구로써 수행된 결과이다.

참 고 문 헌

- [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, pp. 824-829.
- [2] ILA(2007), Enhanced Loran (eLoran) Definition Document, Report Version 1.0.
- [3] Inside GNSS(2016), DHS Demonstrates eLoran Precision Timing Technology at the New York Stock Exchange, <http://www.insidegnss.com/node/4922>.
- [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] Keating, R. E., Lukac, C. F, Luther, G. H, and Charron, L. G.(1986), “Timing Calibration of the North-east U.S.A. LORAN-C Chain(9960)”, Proceedings of the Eighteenth Annual PTTI Applications and Planning Meeting, December 2-4, 1986.
- [6] Last, D., William, P., and Dykstra, K(2000), “propagation of Loran-C signals in Irregular Terrain-Modelling and Measurements : Part I ; Modelling”, Annual Convention and Technical Symposium, International Loran Association.
- [7] Linn Roth, G. et al(2005), “Eloran for time and frequency applications”, Frequency Control Symposium and Exposition, Proceedings of the 2005 IEEE International, pp. 816-823.
- [8] Offermans G., et al(2015), “eLoran Initial Operational Capability in the United Kingdom - First results”, ION ITM Conference 2015.
- [9] Pelgrum, J(2006), “New Potential of Low-Frequency Radionavigation in the 21st Century”, Ph.D. dissertation, Delft University of Technology.
- [10] Peterson, B., Dykstra, K. and Swaszek, P(2003), Differential Loran, ILA 2003.
- [11] Peterson, B., Dykstra, K., Lown, D., Shmihluk, K(2006), Loran Data Channel Communications using 9th Pulse Modulation, Ver. 1.3.

Received 23 August 2016
 Revised 8 November 2016
 Accepted 12 November 2016