한국항해항만학회지 제36권 제6호(Vol. 36, No. 6), pp. 475~480, 2012 (ISSN-1598-5725/eISSN-2093-8470)
Journal of Navigation and Port Research
DOI : http://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2012.36.6.475

포항 로란-C 송신 신호의 기준위상 오프셋 측정

이창복* · 원성호** · 이종구*** · 김영재**** · 이상정***** · † 양성훈

*, **, ***, ****, † 한국표준과학연구원 기반표준본부
***** 충남대학교 전기정보통신공학부

Measurement of Reference Phase Offset for the Loran-C Transmitting Signal of Pohang

Chang Bok Lee · Sung Ho Won* · Jong Koo Lee* · Young Jae Kim* · 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 : eLoran (enhanced Long Range Navigation)의 구축을 위해서는 로란시스템 설비업그레이드, 시스템 정보데이터 채널추가, dLoran (differential Loran) 사이트, ASF(Additional Secondary Factor) 데이터베이스 등이 필요하다. 특히 eLoran 송신국들의 정확한 UTC (세계협정시, Coordinated Universal Time) 동기는 eLoran 시스템의 항법성능 향상을 위해 필수적이다. 따라서 송신국들의 정확한 UTC 동기를 위해서는 송신국의 절대 지연시간 측정 및 모니터링이 필요하며, 측정된 송신국 지연시간의 변화량을 보정정보로 이용자에게 제공하여야 한다. 본 연구에서는 포항 LORAN-C 송신국(9930M)을 대상으로 수신지점에서의 TOA(Time of Arrival) 산출을 위한 송신신호의 기준시점을 측정하는 방법을 제시하였고 지연측정 시스템 및 송출신호 위상 모니터링 시스템을 개발하여 포항 송신국의 기준시점을 평가하였다. 측정결과 포항 송신국의 기준점 오프셋은 -2.23 μs로 측정되었으며 송신 로란펄스의 위상을 관측한 결과 1 개월간에 약 0.3 μs 정도 흐르는 것이 관측되어 로란의 PNT(Positioning, Navigation and Timing) 활용을 위해 위상 모니터링과 보상이 필수적임을 알 수 있었다.

핵심용어 : 로란, UTC, TOA, TOC, (A)SF, 위상오프셋, 시각동기, e-로란

Abstract : *In order to establish eLoran (enhanced Long Range Navigation) system, it needs the advancement of receiver, transmitter, data channel addition for Loran information, differential Loran sites for compensating Loran-c signal and ASFs (Additional Secondary Factors) database, etc. In addition, the precise synchronization of transmitting station to the UTC (Coordinated Universal Time) is essential if Loran delivers the high absolute accuracy of navigation demanded for maritime harbor entrance. For better timing synchronization to the UTC among transmitting stations, it is necessary to measure and monitor the transmission delay of the station, and the correction information of the transmitting station should be provided to the user's receivers. In this paper we presented the measurement method of absolute delay of Pohang Loran transmitting station and developed a time delay measurement system and a phase monitoring system for Loran station. We achieved -2.23 us as a result of the absolute phase delay of Pohang station and the drift of Loran pulse of the station was measured about 0.3 us for a month period. Therefore it is necessary to measure the delay offset of transmitting station and to compensate the drift of the Loran signal for the high accuracy application of PNT (Positioning, Navigation and Timing).*

Key words : *Loran, UTC, TOA, TOC, (A)SF, phase offset, time synchronization, eLoran*

1. 서 론

1979년 최초로 설치된 우리나라의 로란 송신 시스템은 1995년에 Korea Loran-C Chain (GRI 9930)으로서의 운용을 개시하였고 Fig. 1과 같이 포항 송신국(9930M)을 주국으로 광주(9930W), 일본의 게사시(9930X), 니지마(9930Y), 러시아의 우수리스크 송신국(9930Z)을 종국으로 하는 5개의 송신국으로 구성되어 있다(국토해양부).

현재 Loran 기준국 및 송수신 관련 기술은 UrsaNav, Reelektronika, Megapulse 등에서 거의 독점하고 있으며, 국내에서는 Loran 송신 및 제어기술과 같은 관련 핵심기술을 확보하지 못하고 있는 상황이다. 특히 eLoran 관련 국제적인 표준은 국제로란협회(ILA, International Loran Association)에서 eLoran 정의를 위한 보고서가 준비된 상태이다(ILA, 2007). 영

* 대표저자: 연회원, cblee@kriss.re.kr 042)868-5140
** 연회원: shwon@kriss.re.kr 042)868-5176
*** 연회원: jklee@kriss.re.kr 042)868-5148
**** 연회원: nansakyj@nate.com 042)868-5569
***** 연회원: sjlee@cnu.ac.kr 042)868-5176
† 교신저자 : 연회원, shyang@kriss.re.kr 042)868-5147

국, 프랑스 등 선진국에서는 해양 분야에 독자항법체계 혹은 대체항법체계 구축을 위해 국가차원에서 지속적인 투자를 하고 있다(FAA, 2004). 특히 영국은 GLA(Global Lighting Association) 주관으로 eLoran 기초연구개발 결과를 확인하고 기술개발을 통해 서비스를 시험운영하고 있으며 이를 통해 GNSS 대체측위체계 관련 기술과 시장 선점을 기대하고 있다. 또한 프랑스에서는 적어도 앞으로 15년 동안 Loran 운영을 지속할 계획이다. GPS를 운영하고 있는 미국조차도 GPS 만으로 항법을 수행하는 것이 생명의 안전을 보장하지 못함을 경고하고 다른 항법시스템에 의한 backup 연구가 진행 중에 있다. 이와 같이 선진국에서는 GPS신호 사용불능에 따른 국가 전체의 측위 및 시각동기 서비스가 중단되는 사태를 피하기 위하여 GPS의 대체수단을 준비하고 있다(Volpe Report, 2001). 국내에서는 eLoran 구축을 대비하여 eLoran의 선도기반기술에 관한 연구가 수행되었고, eLoran 수신기 개발의 경우 네비콤(주) 주관으로 GNSS/eLoran 복합수신기가 개발되었다. 이를 토대로 국내에서는 지상파 기반의 독자 항법 체계 구축을 위하여, 기존 Loran 시스템의 eLoran 업그레이드와 신규 eLoran 시스템의 확대 및 구축이 검토되고 있으며 eLoran에 의한 백업 시스템 구축을 통해 유사시 사회적 손실을 최소화하기 위한 항법 및 시각인프라 기반을 개발하고 있다. eLoran의 구축을 위해서는 로란 시스템 설비업그레이드, 시스템 정보데이터 채널 추가, dLoran 사이트, ASF 데이터베이스 등이 필요하다. 특히 eLoran 송신국들의 정확한 UTC 동기는 eLoran 시스템의 항법 성능 향상을 위해 필수적이다. 따라서 eLoran 송신국의 UTC 동기를 유지하기위해서는 송신 시스템의 절대지연 시간 즉, 기준 위상의 오프셋 측정 및 모니터링이 필요하고 이를 통해 송신국 시스템의 오프셋을 보정하여 시스템의 정확한 시각동기를 유지해야한다. 또한 필요시 측정된 송신국 지연시간의 변화량을 보정정보로 이용자에게 제공하여야 한다.

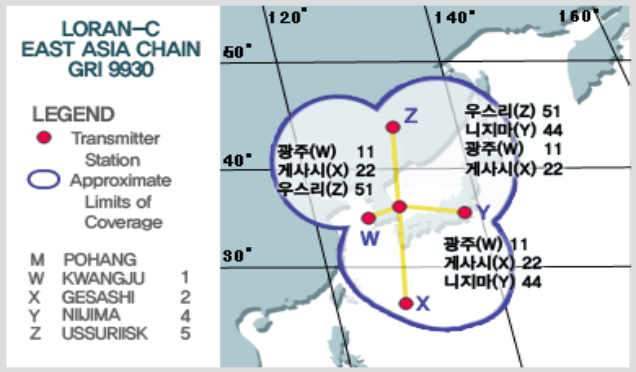

Fig. 1 Loran-C Korea Chain (GRI 9930)

본 연구에서는 포항 LORAN-C 송신국(9930M)에서 전송하는 신호에서의 기준 시점이 되는 지점에서 위상 오프셋을 측정하는 방법과 그 결과를 제시하고 필드 측정에 의한 결과를 통해 비교 및 검증하였다. 또한 송출신호의 위상 모니터링 시스템을 개발하고 포항 Loran-C 송신국 내 송신실에 설치하고 Loran-C 신호 타이밍 제어성능 측정결과를 제시하였다.

2. 로란 송신국 시스템 구성

Fig 2는 포항 Loran-C 송신국 시스템의 기본 구성도이다. 송신 시스템은 크게 제어부(Control Console), 송신부(RF Transmitter Group), 전원부 등으로 나뉜다. 제어부는 Loran-C 송신 시스템에 대한 전체적인 운용을 제어하는 부분으로, 세슘원자시계, 위상 제어기(micro-phase stepper), LTU(Loran Timing Unit), PATCO(Pulse Amplitude and Timing Controller), SDA(Signal Distribution Assembly), RCU(Remote Control Unit), TOPCO(Transmitter Operation and Control), SMU (Status Monitor Unit) 등으로 구성된다. Loran-C 신호 송신부는 동일한 2개의 그룹으로 구성되어 있다. 각 그룹은 PGU(Pulse Generate Unit), 출력 네트워크, 커플링 네트워크를 포함한다.

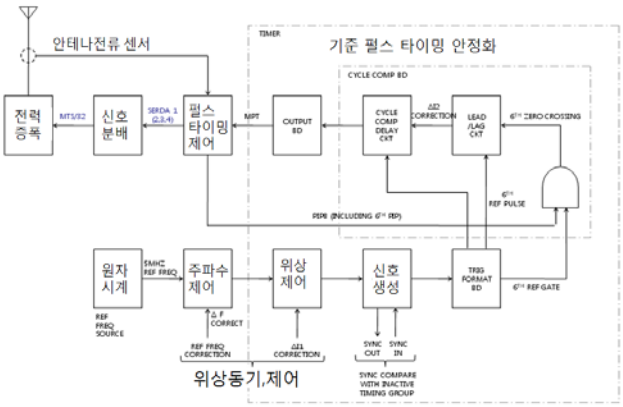

Fig. 2 Block diagram of Loran-C system

송신 시스템에서 신호의 생성과 전송에 필요한 반송파 주파수, GRI, 펄스 train 등 로란 신호를 생성하는 과정은 세슘원자시계를 기준으로 이루어지고 있다. 세슘원자시계에서 출력되는 5 MHz는 위상조정을 위한 micro-phase stepper를 지나 로란 펄스에 필요한 기준 주파수원으로 사용되게 된다. 송신 시스템에는 송출되는 전력을 안정화시키기 위하여 전류량을 모니터링할 수 있도록 안테나 전류센서(current coupler)를 사용하고 있다. 이 전류센서의 신호를 이용하면 위상 오프셋은 물론 위상 변화 모니터링도 가능하다.

3. 송신신호의 기준시점 위상 측정

로란 송신 시스템은 세슘원자시계를 기준 주파수원으로 사용하고 있다. 그러나 앞 절에서 나타낸 바와 같이 로란 신호의 송신 시스템 내에서의 전파지연은 전력제어 및 로란펄스 위상 생성 및 제어시스템 등의 전기전자장치와 케이블들을 거치면서 시간적으로 변화한다(Samaddar, 1980). eLoran 시스템에서 항법 및 시각 정확도를 높이기 위해서는 eLoran 송신국들의 지연시간 및 그 변동량을 측정하여 보상하여야 하며, 송신 시스템 지연시간을 보상 및 제어를 통해 송신국 동기 체계를 유지함으로써 eLoran의 항법성능을 향상시킬 수 있다. 그렇게 하

기 위해서 각 송신국 마다 절대 기준시점의 측정이 중요하다. 본 장에서는 기준시점의 위상 오프셋을 측정하기 위한 방법과 그 결과에 대하여 기술한다.

3.1 송신신호 위상 오프셋 측정법

로란 송신국의 송신 시스템 지연을 측정하기 위해서는 로란 펄스와 송신국의 동기계의 기준시각이 동기가 되어 있어야 한다(Celano, 2005). 현재 로란-C 시스템에서 그 역할을 담당하는 것이 TOC(Time of Coincidence)이다. 각 송신국에서는 Group Repetition Interval (GRI)에 따라 일정한 시각에 로란펄스를 기준시각(정초)과 동기시키는 작업을 주기적으로 수행한다. Korea chain의 경우, GRI9930이므로 각 송신국은 99.3 ms의 주기로 펄스를 전송하고 있다. 따라서 993 초마다 로란펄스가 기준시각 정초와 일치되어야 한다. 그러나 이렇게 일치되는 시점(년, 월, 일, 시, 분, 초)을 나타내는 TOC가 제공되지 않는 경우에는 송신국 기준시각과 동기되지 않은 로란펄스를 계속 송신하므로 정초에 동기된 펄스를 찾을 수가 없다. 현재 국내 송신국에서는 TOC가 제공되지 않고 있으므로 TOC 대신에 송신국에서 전송하는 임의의 로란펄스를 기준 펄스로 정하고 그 펄스와 원자시계와의 시간 차이를 측정하여 기준값으로 사용하였다(Yang, 2009). 또한 이 값은 송신국과 사용자의 수신지점에서의 수신기와의 오프셋 값으로 제공되어야 정확한 TOA(Time of Arrival)를 산출할 수 있다.

측정지점에서의 실제 TOA는,

$$TOA_{true} = TOA_{RX} - TX_{Offset} \quad (1)$$

이다. 여기서 TOA_{RX}는 수신기에서 측정한 TOA값, 즉 TOR(Time of Reception)이다. 그리고 TX_{Offset}은 송신국에서 전송하는 로란 펄스와 기준시각 간의차이이다. 따라서 이 값을 측정하여 보정하여야 한다.

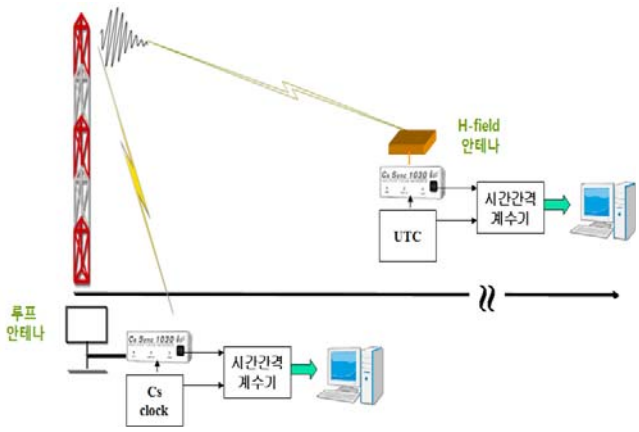

Fig. 3. Conceptional Diagram of the TOA measurement

일반적으로 로란 수신기는 송신국으로부터 원거리에서 미약한 로란 신호를 수신하도록 설계되어 있으므로 안테나에는 저잡음 증폭기가 내장되어 있다. 그러나 송신국 주위에서는 강전자계가 형성되어 로란수신 안테나의 동작범위를 초과하므로 측정이 불가능하다. 본 연구에서는 Fig. 3의 좌측 그림과 같이 수동형 루프 안테나를 이용함으로써 로란신호를 왜곡 없이 수신하였다. 또한 송신국 기준점에서 오실로스코프와 99.3 ms 주기를 갖는 펄스 생성기와 동기하여 이동원자시계의 초 펄스 사이의 위상차를 측정하였다. 이 위상측정 시스템을 이용하여 송신 신호의 펄스 생성 기준점의 위상을 측정함으로써 기준시점의 위상 오프셋을 측정한 결과를 얻었다. 이와 같이 본 연구에서는 송신국의 TOC를 활용하지 않고 로란펄스 train 중에 한 펄스를 기준으로 이용한 위상 차이를 측정하여 송신국 위상 오프셋을 측정하였다.

3.2 송신신호 기준시점 위상

송신국으로부터 수신지점까지의 시간 지연량을 알기 위해서는 송신 계통의 지연량을 측정하여 보정해야 하는데 로란송신신호가 수신되기 까지는 Fig. 4와 같이 여러 가지 지연 및 오차들이 존재하며(Samaddar, 1979), 그림의 좌측과 같이 송신 시스템 내에서도 다양한 오차들이 있다. 본 논문에서는 이들 중에 UTC Sync Offset 측정을 위한 것이 주요 목적이며, 송신 시스템의 안정도(Stability of Tx System) 측정을 위한 모니터링 장치구현과 그 결과를 제시하였다.

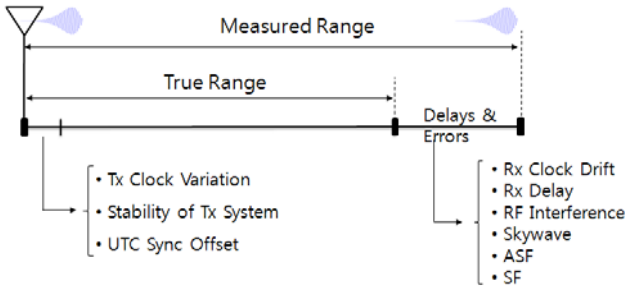

Fig. 4 Propagation delays and errors

송신 시스템의 지연은 앞 절의 Fig. 2에서 보여준 바와 같이, 세슘원자시계의 기준위상에서 로란 펄스가 생성되어 안테나로 송출될 때까지의 시간이다. 송신 시스템에서는 시스템 내 동기계의 유지를 위해 세슘원자시계의 5 MHz 기준신호로 송신기의 신호생성과 전송에 필요한 반송파 주파수, GRI, 펄스 train을 생성하고 있다. 로란 시스템은 송신계통의 주파수 또는 시각 자체는 안정되어 있으나 변조 및 증폭과정을 거치면서 로란신호의 위상이 변화한다. 따라서 동기 정확도를 높이기 위하여 송출되는 신호를 나노 초 단위에서 모니터링을 해야 하고 그 결과를 보정해 주어야 한다. 이것을 위해 임의의 로란 펄스를 원자시계를 기준으로 송신국 지연시간을 측정할 수 있는 시스템을 구현하였으며 Fig. 5에 개략도를 나타내었다(Keating, 1986). 그림에서 좌측은 안테나를 포함한 송신 시스템이며 우측이 지연측정 시스템이다. 송신 시스템의 current coupler는 안테나를 통해 전파되는 최종단에서 안테나 전류를 검출하는 부분이므로 안테나 급전선 지연을 무시하면, 이 부분이 로란신호가 전파되는 실질적인 시작 지점이 되므로 이곳에서 커플링된 신호와 비교 측정하면 위상 오프셋을 알 수 있다.

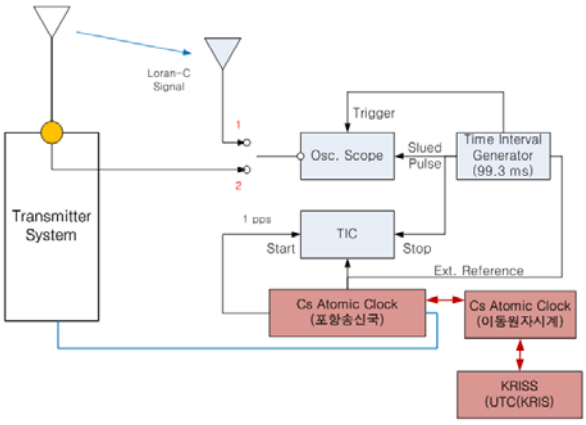

Fig. 5. Delay measurement system of transmitter system

위상차 측정을 위해 99.3 ms 주기 펄스 생성기의 위상을 오실로스코프 상에서 루프 안테나를 통해 들어온 로란신호의 세 번째 cycle의 zero crossing 지점과 일치시켜 펄스 생성기를 동기시켰다. 생성기의 위상과 이동원자시계의 초 펄스와의 시간 간격을 카운터를 이용하여 측정하고 케이블 및 안테나 지연을 보정함으로써 송신국 시스템의 기준위상 오프셋을 구하였다.

Fig. 6은 본 측정 장치를 통해 디지털 오실로스코프에서 관측된 파형이며 안테나 중심에 근접한 송신실 내에 위치한 루프 안테나의 파형이 near-far field 문제에 의해 current coupler의 안테나 보다 2.38 μs앞서는 것으로 관측되었고 (Johler, 1956), (Dykstra, 2000), Fig. 5의 1, 2번 케이블에 해당하는 current coupler와 루프 안테나의 케이블 사이의 지연이 각각 177, 30 ns이기 때문에 두 케이블의 지연을 보상하면 최종적으로 식(2)와 같이 -2.23 μs의 결과를 얻을 수 있다.

$$\Delta\Phi_{(CC-Loop\ Ant.)} = -2.38 - (0.03 - 0.177) = -2.23\ [\mu s] \quad (2)$$

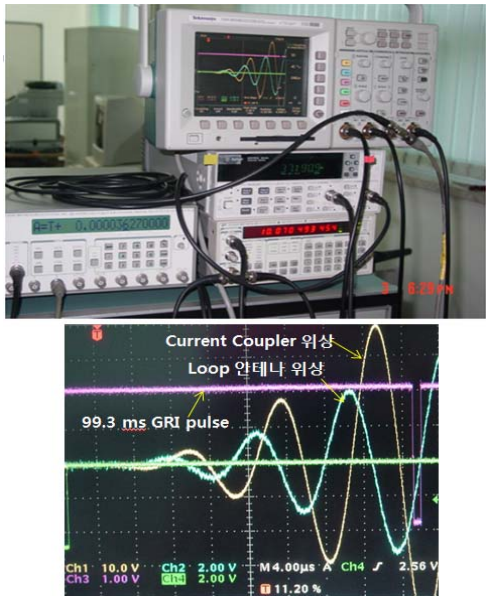

Fig. 6 Photographs of phase measurement system (upper) and measured values by oscilloscope (lower)

3.3 위상 오프셋 측정결과 적합성 검토

기준점 위상의 유효성을 검증하기 위하여 다음과 같은 방법을 적용하였다. 안테나 중심으로부터 15 m 지점에서 루프안테나와 위상측정 시스템을 이용하여 기준시점을 정하고, Fig. 7에서와 같이 3 km와 4 km 지점에서 각각 PF(Primary Factor)를 GPS를 이용하여 구한 다음에 15 m 지점에서 측정한 것과 같은 방법으로 위상을 측정하고 Yang (2009)에서 제시한 루프안테나와 H-field 안테나 연계에 의한 위상 측정 방법으로 각각 시도하여 Table 1과 같은 결과를 얻었다. 표에서 보는 바와 같이 3 km 지점에서는 두 방법 모두 2.02 μs 위상이 앞서는 것으로 측정되었으며 4 km 지점에는 약간의 차이는 있지만 측정 오차 범위 내에 서 유사한 결과를 얻었다. 이 결과는 3.2절에서 제시한 -2.23 μs와 약 0.2 μs 차이를 보이고 있는데, 이것은 SF 영향에 의한 것과 측정 시점이 정확히 안테나 중심과 일치된 지점이 아니라 중심으로부터 15 m 벗어난 것에 의한 오차 영향으로 나타난 것으로 판단된다. 각각이 미치는 양을 보다 정확히 분리하기 위해서는 정확한 전도율을 알거나 안테나 중심으로 루프 안테나 위치를 이동하여야 하지만 현실적으로 두 가지 모두 산출 및 측정이 불가능하므로 15 m 기준점을 동기시점으로 -2.23 μs를 적용하고, 3 km 지점에서의 -2.02 μs를 SF 산출을 위한 보상값으로 적용한다.

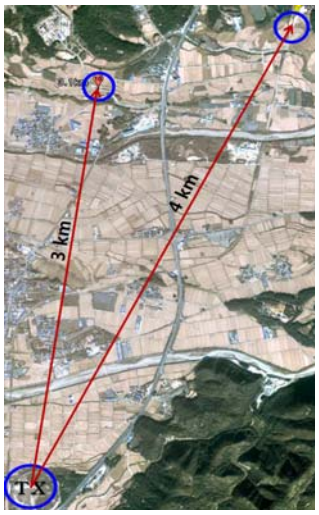

Fig. 7 Picture of measurement points

Table 1. Results of time offset measurement

측정방법	거리	PF, μs	TOR, μs	위상차, μs
위상측정 시스템	3 km	10.18	8.16	-2.02
	4 km	13.19	11.13	-2.06
루프안테나 연계법	3 km	10.18	8.16	-2.02
	4 km	13.19	11.17	-2.02

3.4 송신신호의 위상변화 모니터링

송신 시스템에서 생성된 로란펄스의 3번째 신호의 위상을 정확히 모니터링하기 위하여 Fig. 8과 같은 zero-crossing 기법을 이용한 모니터링 시스템을 개발하였다. 송신국의 세슘원

자시계에서 출력되는 5 MHz를 기준주파수로 Fig. 9와 같이 로란의 반송파 수파수의 반 사이클인 5 μs 윈도우(아래쪽 펄스 신호)를 만들고 3번째 사이클의 신호가 zero-crossing 되는 순간에만 펄스(위쪽 펄스신호)가 생성되도록 하였다. 이 펄스는 로란 펄스의 주기인 99.3 ms 마다 생성되며 시간간격 계수기로 세슘원자시계의 1 pps와 비교 측정하여 제어 컴퓨터에 저장하였다. Fig. 10에서는 2010년 9월 한 달 동안 측정한 로란 펄스와 세슘원자시계와의 시간간격 모니터링 측정결과이다. 이 기간 동안에 송신국의 기준시계와 생성된 로란 신호 사이에 약 0.3 μs의 drift가 있었음을 확인할 수 있다. 이것은 로란 신호를 생성하는 시스템에서 전력제어 및 로란 펄스 위상 생성 및 제어 시스템을 거치면서 발생하는 시스템의 지연변화를 보상하지 않았기 때문에 발생하는 것이며 원인은 온습도 변화에 따른 변동과 송신 시스템의 동기성능 때문으로 판단된다.

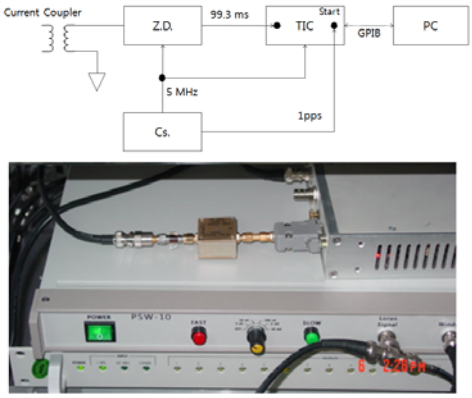

Fig. 8 Measurement scheme(upper) and Loran phase measurement system(lower)

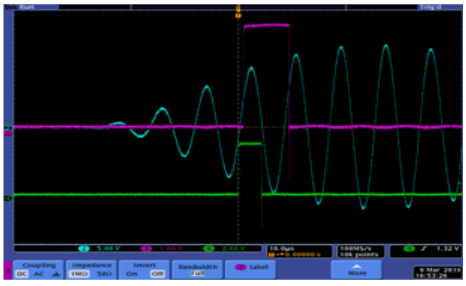

Fig. 9 Measurement phase of Loran signal at the output of Loran System

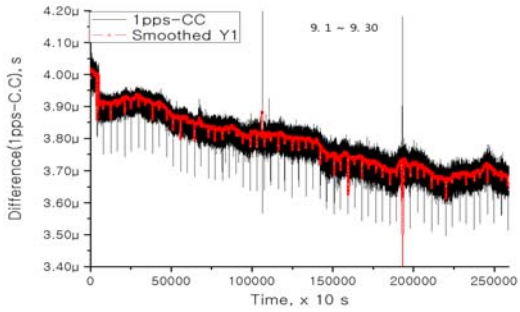

Fig. 10 Measurement delay data of Loran System at the reference point

4. 결 론

eLoran에 의한 항법은 GPS 출현 이후, 활용도가 급격히 감소한 로란-C를 대체할 지상파 항법시스템으로 위성항법에 비하여 전파 교란에 강하며 전 세계가 공동의 운영 체계를 갖고 있어 안정성이 좋다는 이점이 있다. 로란 신호의 전파지연을 정확히 측정하고 보정해 준다면 PNT (Positioning, Navigation and Timing)로서 GPS 백업 기능뿐만 아니라 용도에 따라 우수한 항법 정확도를 얻을 수 있다. 로란 현대화에서 중요한 기술은 송신국들의 시각을 UTC에 동기시키는 것이며 이를 위해서는 송신국 자체의 전파 지연시간의 고정밀 측정과 모니터링을 통해 보정하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 포항 LORAN-C 송신국(9930M)의 시스템 시간지연 측정방법을 제시하였고, 지연측정 시스템 및 송출신호의 위상 모니터링 시스템을 개발하여 포항 송신국 시스템과 수신기, 안테나 등의 절대 지연시간을 평가하였다. 측정결과 포항 송신신호의 기준시점 위상 오프셋은 -2.23 μs로 측정되었으나 송신 안테나의 기준점 오차 등으로 실제 3 km와 4 km에서는 -2.02 μs로 측정되어 0.2 μs 정도의 차이가 나타났다. 이는 기준점이 안테나의 중심과 정확히 일치하지 않은 것, 측정에 의한 오차, ASF의 영향 등이 포함되어 나타난 것으로 송신국 동기를 위해서는 안테나 중심으로부터 15 m를 기준으로 하였을 때는 -2.23 μs를, 3 km를 기준으로 하면 -2.02 μs를 적용하면 된다. 그러나 더 정확한 값의 산출과 검증을 위해서는 eLoran 송신 시스템이 구축되면 UTC와 기준 펄스 또는 초 펄스 사이의 시간차를 측정할 수 있으므로 본 방법에 의해 보다 정확한 값을 얻을 수 있을 것이다. 또한 약 1 개월간의 절대 지연시간 측정결과 약 0.3 us 정도 흐르는 것을 관측할 수 있었으며 drift의 모니터링과 보상이 정확한 PNT 활용을 위해 필수적임을 알 수 있었다.

본 논문에서 제안한 송신국 offset 측정기법을 향후 구축할 eLoran 송신국에 적용함으로써 eLoran 사용 시에 정확도를 향상시킬 수 있어서 국내 eLoran의 활용도를 높일 수 있을 것으로 기대한다. 또한 로란신호로부터 기준 위상의 흐름을 모니터링하는 기술을 개발함으로써 지상파 신호의 PNT 활용 시에 약점인 외부 환경 변화에 따른 실시간 시스템 지연 및 변동을 측정하여 보상 할 수 있어 로란의 정확도를 높일 수 있는 기반 기술을 확보하였다. 특히, eLoran 구축 시에 성능평가 시스템으로 활용함으로써 더욱 신뢰성 있는 eLoran 시스템 구축과 운용이 가능할 것으로 사료된다.

후 기

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

참 고 문 헌

[1] 국토해양부 포항광주 해상무선표지소, Korea Loran-C

Chain 이용범위도, http://www.loran9930.go.kr/index.asp
[2] 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 IEEE International, pp. 824-829.
[3] Dykstra, K., Last, J.D and Williams, P.(2000), "Propagation of Loran-C signals in irregular terrain - Modeling and Measurements. Part II: Measurement," Proceedings of the 29th Annual Convention and Technical Symposium, International Loran Association, Washington, DC, 13-15 November.
[4] FAA(2004), “LORAN's Capability to Mitigate the Impact of a GPS Outage on GPS Position, Navigation, and Time Applications”, March.
[5] ILA(2007), “Enhanced Loran (eLoran) Definition Document”, Report Version 1.0.
[6] Johler, R.E., Keller, W.J., Walters, L.C.(1956),"Phase of the Low Frequency Ground Wave", NBS Circular No. 573, pp. 1-38
[7] Keating, R.E., Lukac, C.F., Luther, G.H. and Charron, L.G.(1986), "Timing Calibration of Northeast U. S. A. Loran-C Chain(9960)", 18th Annual PTTI Applications and Planning Meeting, pp. 331-351.
[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] Samaddar, S.N.(1980), "Weather Effect on LORAN-C Propagation", Journal of the Institute of Navigation, Vol. 27, No. 1. pp. 39-53.
[10] Volpe, J.(2001), National Transportation Systems Center, US Department of Transportation, Office of Assistant Secretary for Transportation Policy, “Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the Global Positioning System”, Volpe Report.
[11] Yang, S.H., Lee, C.B., Lee, Y.K. and Lee, S.J.(2009), "Design of ASF Measurement system in the Field", International Symposium on GPS/GNSS.

원고접수일 : 2012년 8월 7일
심사완료일 : 2012년 8월 16일
원고채택일 : 2012년 8월 16일