한국항해항만학회지 제34권 제8호, pp. 603~607, 2010 (ISSN-1598-5725)
Journal of Navigation and Port Research
DOI : 10.5394/KINPR.2010.34.8.603

9930M국 로란-C 신호를 이용한 내륙 ASF 측정 연구

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

† ,*,**,*** 한국표준과학연구원 기반표준부
**** 충남대학교 전기정보통신공학부

Inland ASF Measurement by Signal of the 9930M Station

† *Sung-hoon Yang · Chang Bok Lee* · Jong Koo Lee** · Young Jae Kim*** · Sang Jeong Lee****

† ,*,**,*** *Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340, Republic of Korea*
**** *Chungnam National University, Daejeon 305-764, Republic of Korea*

요 약 : Loran (LOang RAnge Navigation) 신호에 의한 항법은 GPS (Global Positioning System) 활성화 전까지 주요한 항법시스템으로 이용되어 왔으며, 특히 선박들의 중장거리 항행에 있어서 필수적인 기능을 담당하였다. 그러나 산업의 발전과 더불어 항행 외에 항만 근접과 육로 항법으로서의 백업기능 그리고 정밀시각활용 등과 같은 분야에서는 현재 활용할 수 있는 성능 보다 우수한 정확도를 요구한다. 그 정확도를 향상시킬 수 있는 방법으로 Loran 송신국과 사용자 위치 사이의 전파지연 즉, ASF (Additional Secondary Factor)를 정확히 측정하여 보정하는 방법이 이용되고 있다. 본 연구에서는 우리나라 포항의 로란-C 주국(9930M)에서 발사하는 신호를 이용하였으며 TOC (Time of Coincidence) 테이블이 없는 Loran 신호 송출시스템에서 절대시간 지연을 측정할 수 있는 기법을 이용하여 포항 로란송신국으로부터 33 km 이내의 4 지점에서 측정하여 비교하였다. 측정결과 33 km 지점의 경우에 전파지연오차에 의하여 약 210 m의 거리오차가 발생하였지만 ASF 보정에 의해 40 m의 거리오차로 줄일 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 로란, ASF, TOA, 전파지연, 시각정확도, 시각동기

Abstract : *The LORAN system had been used widely and it was an essential navigation aid for ships in the ocean until the GPS is adopted actively. In particular, it was essential functionality for the ships to sail the oceans. According to the advancement of industry, however, the current accuracy of traditional Loran is insufficient for the utilization of harbour approach, land navigation, and the field of survey and timing. Therefore it is necessary that the study on the improvement of the positioning accuracy of Loran. The one of the improving methods is to measure and compensate the propagation time delay between the transmitter and user's receiver, which is called as additional secondary factor (ASF). In this study, we measured the ASF between the Pohang master transmitting station (9930M) and four points where locate within 33 km apart from the transmitting station, using the measuring technique of the absolute time delay without a time of coincidence (TOC) table. As the result of measurement, the ranging error caused by the propagation delay was about 210 m at 33 km, however it can be reduced up to 40 m with ASF compensation.*

Key words : *Loran, ASF, TOA, propagation delay, timing accuracy, time synchronization*

1. 서 론

로란 항법기술은 1940년대에 출현하여 위성항법 시스템인 GPS가 활성화되기 전까지 항공, 선박 등에서 중요하게 사용하는 항법수단이었다. 그러나 아직도 대형선박에서는 GPS 보다 정확도는 떨어지지만, 지상파 항법으로써의 안정성에 힘입어 백업 항법으로 활용되고 있다.

미국과 유럽에서는 로란 현대화와 위치 정확도 향상연구 등 GPS 백업 및 혼합/대체 항법으로 가능성을 연구(Celano, 2005; ILA, 2007)한 바 있으며, 이러한 연구의 기초에는 로란 항법 및 위치 성능에 가장 크게 영향을 주는 ASF 측정 및 보정 기술 개발이 필수적으로 선행 되어야 한다. ASF는 SF이외의 전파 시간 지연을 의미하며 송신국과 수신 지점 사이의 지표면 및 해수면의 특성에 따라 달라진다. 해수면의 경우는 지역에 따라 전도율에서 큰 차이가 없지만 지표면의 경우는 지형 및 지표면의 특성에 따라 큰 차이가 있다. 통상적으로 로란 수신기 내에는 송신국의 위치에 따른 지표면의 특성을 알 수 없으므로 해수면의 전도율(σ=5)을 기준으로 데이터베이스화 되어 있다.

† 교신저자 : 연회원, shyang@kriss.re.kr 042)868-5147
* 연회원, cblee@kriss.re.kr 042) 868-5140
** jklee@kriss.re.kr 042-868-5148
*** nansakyj@nate.com 042-868-5232
**** 연회원, eesjl@cnu.ac.kr 042) 821-6582
(주) 이 논문은 "9930M Loran 신호이용 근거리 ASF 측정"이란 제목으로 "2010공동학술대회 한국항해항만학회논문집(목포해양대학교, 2010.4.4.22-24, pp.370-371)"에 발표되었음.

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).

Fig. 1 Consist of Korea chain and available range.

우리나라에서 운용하는 로란신호를 이용하여 ASF 측정하고 그 결과를 항법, 위치측정, 시각분야 등에 활용할 수 있도록 하기 위해서는 현재의 로란 송신시스템과 적절한 수신방법으로부터 ASF를 측정할 수 있는 기술이 필요하다. 본 논문에서는 우리나라의 코리아체인(9930)의 주국으로 동작하는 포항 송신국(9930M)의 신호를 수신하여 ASF를 측정하는 기법을 연구하고 필드에서 측정 하였다.

로란신호에서 절대시각을 전송하는 기법으로 각 체인의 송신국은 정해진 시각에 세계협정시 (Universal Coordinated Time)와 로란 펄스를 동기시키는 TOC를 운용한다. 그리고 그 시각 동기가 이루어지는 시간테이블을 제공하면 정해진 시각에 수신된 펄스는 세계협정시에 동기된 펄스임을 알 수 있다. 그러나 우리나라 로란송신국은 TOC를 운용하고 있지 않으므로 본 연구에서는 TOC 테이블 없이 국내의 로란신호로부터 절대 시간차이를 측정할 수 있는 기술을 개발하였고 그것을 이용한 절대시간 측정기법으로 측정한 ASF 결과를 제시한다. ASF는 공간적인 것과 시간변화적인 것으로 구분될 수 있는데 본 논문에서는 송신국으로부터 근거리에 위치한 육상의 네 지점을 선택하여 공간적인 ASF 측정을 4 차례 시도하였다.

2. ASF 측정기술 및 시스템 구현

2.1 로란펄스동기 기법

로란에 의한 항법은 Time Difference (TD)를 이용하여 쌍곡선 기법에 의하여 위치를 구한다(USCG, 1992). 따라서 같은 체인의 송신국들 간에 시각이 서로 동기가 되어 있지 않더라도 위치측정이 가능하지만 로란신호를 이용하여 타이밍분야에 활용하려면 로란펄스와 송신국의 기준시각이 동기가 되어 있어야만 그것으로부터 절대시각을 활용할 수 있다. 현재 로란-C 시스템에서 그 역할을 담당하는 것이 TOC인데 각 송신국에서는 Group Repetition Interval (GRI)에 따라 일정한 시각에 자국의 송신 신호를 기준시각과 동기 시키는 작업을 주기적으로 수행한다. Korea chain의 경우, 각 송신국은 99.3 ms의 주기로 펄스를 전송(GRI9930)하고 있다. 따라서 993 초마다 로란펄스가 정 초와 일치되는 경우가 발생한다. 이렇게 일치되는 시점(년, 월, 일, 시, 분, 초)을 나타내는 TOC가 제공되지 않는 경우에는 송신국 시각과 동기과정 없이 로란펄스를 계속 송신하므로 기준시각과의 차이를 알아낼 수 있는 방법을 모색하여야 한다. 이를 위하여 송신국에서 전송하는 임의의 로란펄스를 기준 펄스로 정하고 그 펄스와 이동용 원자시계와의 시간 차이를 측정하였다. 또한 이 값은 송신국과 사용자의 수신지점에서의 수신기와의 offset 값이므로 이 값을 보상하여 사용한다. 즉,

$$TOA_true = TOA_RX - TX_Offset \quad (1)$$

이다. 여기서 *TOA_RX*는 수신기에서 측정한 TOA값, *TX_Offset*은 송신국에서 전송하는 로란펄스와 기준시각 간의 차이다.

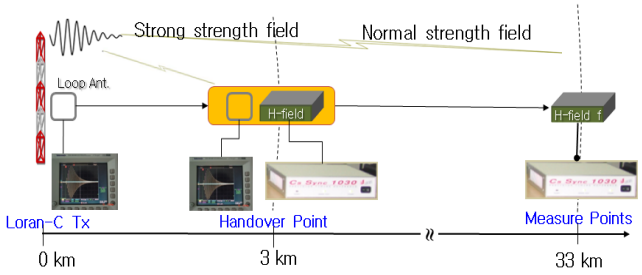

Fig. 2 Link Pohang transmitting station to the point of 3 km.

일반적으로 로란수신기는 원거리에서 미약한 로란신호를 수신하도록 설계되어 있으므로 안테나에는 저잡음 증폭기가 내장되어 있다. 그러나 송신국으로부터 근거리 내에서는 강전계가 형성되어 로란수신기 안테나의 동작범위를 초과하므로 측정이 불가능하다. 따라서 감쇄 기능이 필요하지만 수신기 입력단에 감쇄기를 사용하는 것은 안테나에서 이미 포화상태에서 왜곡된 신호가 출력되므로 무의미하다. 본 연구에 사용된 수신기의 특성은 dynamic range가 30~120 dB μV/m이며 송신국 안테나 주변에서는 약 130 dB μV/m로 포화상태가 되어 수신기가 정상동작할 수 없다. 그러나 송신국으로부터 3 km 이상 지점에서는 120 dB μV/m 이하가 되어 측정 가능함을 확인하였다. 따라서 Fig. 2와 Fig. 3과 같은 기법을 이용하여 측정하였는데 우선 송신국 내에서는 오실로스코프와 99.3

ms 주기를 갖는 펄스 생성기를 이용하여 루프안테나에서 수신한 로란신호와 이동원자시계의 초 펄스와 위상을 측정하였다. 그런 다음 3 km 떨어진 지점으로 이동하여 다시 루프안테나에 의한 로란신호와 원자시계 초 펄스와의 위상을 측정하였다. 그리고 H-field 안테나를 이용한 로란수신기에 의해 생성된 초 펄스와 이동원자시계 초 펄스와의 차이를 측정하였다. 루프안테나와 오실로스코프에 의한 측정값을 로란 수신기에 의한 측정값과 동일시하면, 즉 offset값을 보정하면 송신국을 0 m 기점으로 하여 근원거리의 모든 지역에서 전파도달지연을 측정할 수 있다. 또한 송신국의 TOC를 활용하지 않더라도 로란펄스 train 중에 한 펄스를 이용한 절대 시각 차이를 측정할 수 있다.

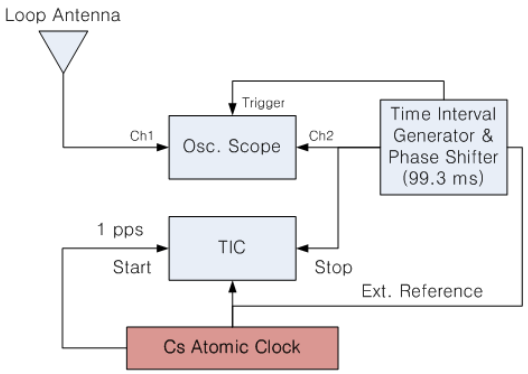

Fig. 3 Diagram of phase measurement system at short distance (0, 3 km).

2.2 송수신 계통 지연 오차

절대 시간지연값을 알기 위해서는 대기 중의 전파지연 시간 외에 송수신 계통의 지연값을 측정하여 보정해야 하는데 송신신호가 수신기에서 신호를 복조하기 까지는 Fig. 4와 같은 지연 및 오차들이 존재한다. 본 논문에서는 이들 중에서 상대적으로 중요한 오차요인이면서 측정에 고도의 기술이 필요한 송신국의 송신지연 측정과 타이밍 오차요인에 해당하는 ASF 측정에 대해서 기술한다.

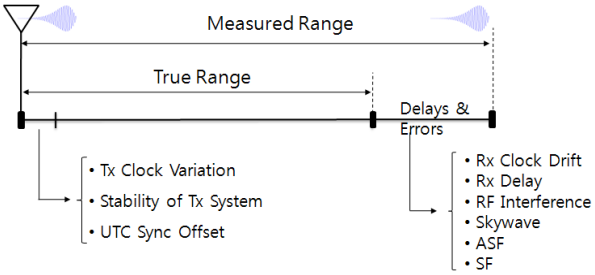

Fig. 4 Propagation delays and errors.

송신기의 신호생성과 전송에 필요한 반송파 주파수, GRI, 펄스 train 등은 세슘원자시계의 5 MHz로부터 생성되고 있다. 그러므로 주파수 또는 time interval 자체는 안정되어 있으나 세슘원자시계의 초 펄스 정보는 포함되어 있지 않다. 또한 세슘원자시계를 기준주파수원으로 사용하고 있더라도 송출 전력과 로란펄스 위상 생성 및 제어 등의 과정을 거치면서 로란신호의 위상 변한다. 따라서 동기 정확도를 높이기 위하여 송출되는 신호를 나노 초 단위에서 정확히 모니터링하고 그 결과를 보상해 주어야 하는데, 이것을 위해 임의의 로란펄스를 원자시계를 기준으로 측정하기 위한 시스템을 구현하였으며 Fig. 5에 개략도로 나타내었다. 그림에서 좌측이 송신시스템이며 우측이 측정시스템이다. 송신시스템에는 송출되는 전력을 안정화시키기 위하여 전류량을 모니터링할 수 있도록 current coupler를 사용하고 있다. 즉, 안테나를 통해 전파되기 직전 최종단에서 검출되는 부분이므로 안테나 급전선 지연을 제외한 모든 지연을 포함하고 있다. 따라서 이곳에서 커플링된 신호를 측정하면 송신시스템의 시간지연을 알 수 있다.

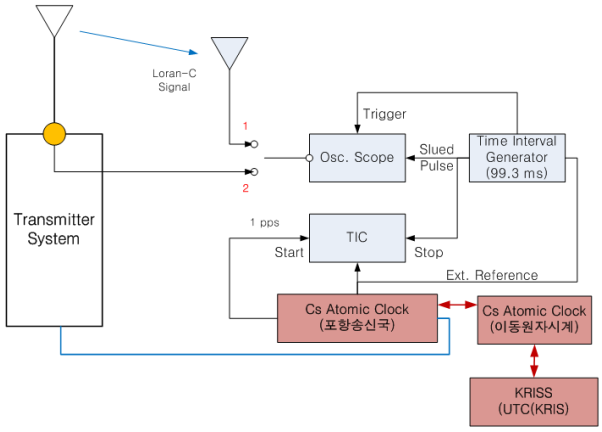

Fig. 5 Delay measurement system of transmitter system.

2.3 필드측정 시스템 구현

필드에서 전파지연을 측정하기 위하여 Fig. 6과 같은 시스템을 구성하였다. 측정에 사용된 로란수신기는 Locus 사의 CsSync1030 모델이며, 수신기 하나에는 제작사에서 제공된 안테나(H-field)를 사용하고 다른 한 수신기에는 루프안테나를 사용하였다. H-field 안테나는 능동형타입으로 원거리에서

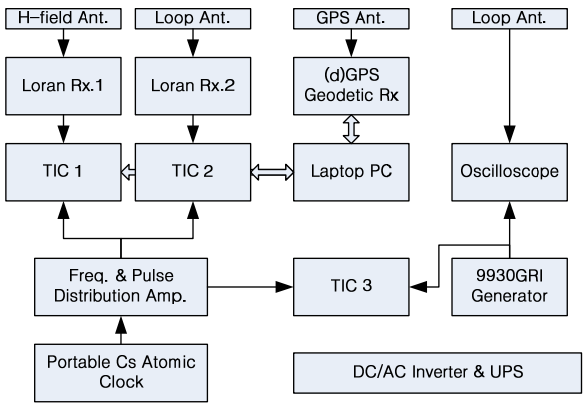

Fig. 6 Measurement system at field.

수신감도 및 SNR이 우수하지만 송신국으로부터 근거리에서는 신호가 포화상태가 되어 신호의 왜곡이 일어난다. 그러나 루프안테나는 수동형타입으로 강전자계가 형성되어 있는 근거리에서 왜곡없이 우수한 특성을 나타내므로 상호비교 및 보완기능으로써 동작시켰다.

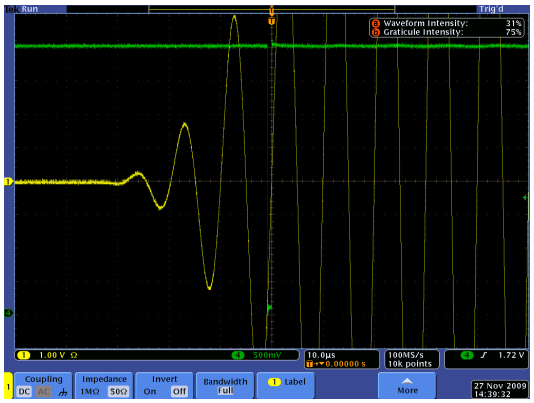

Fig. 7 Phase measurement of Loran pulse against the reference pulse.

Fig. 8 Photo of field measuring setup

두 수신기에서 나오는 초 펄스와 이동용 세슘원자시계의 초 펄스를 time interval counter로써 측정하여 그 결과를 매 10초마다 컴퓨터에 저장하도록 하였다. 그리고 측정하는 각 지점에서의 정확한 좌표를 알아야 primary factor (PF)를 계산할 수 있으므로 differential GPS (DGPS) 수신기를 이용하여 좌표를 측정하였다. 송신국과 3 km 지점에서 위상차이 즉, 거리에 따른 TOA를 측정하기 위하여 99.3 ms 주기 펄스 생성기의 위상을 이동시켜 가면서 Fig. 7과 같이 오실로스코프 상에서 루프안테나를 통해 들어온 로란신호의 세 번째 cycle의 zero crossing 지점과 일치시키고 그에 따라 발생한 펄스 생성기와 이동원자시계의 초 펄스와의 시간 간격을 카운터를 이용하여 측정하였다. 이 측정값과 송신국에서 같은 방법으로 측정한 값과의 차이를 구하면 3 km 지점에서의 실제 전파도달시간이 된다. Fig. 8은 실제 필드에서 측정하기 위해 차량에 Fig. 6의 시스템을 셋업하고 측정하는 사진이다.

3. ASF 측정 및 보정시험 결과

3.1 ASF 측정 결과

송신국으로부터 로란 신호의 실제도달 시간(TOA)은 다음과 같이 정의된다.

$$TOA = PF + SF + ASF \quad (2)$$

여기서, PF (Primary Factor)는 송신안테나와 수신기 사이의 기하학적 거리에 의한 시간지연이며, SF (Secondary Factor)는 지표면의 특성에 따른 전도율과 유전율에 의해 결정되는 값이다. 이 두 요소를 제외한 값 즉, 추가적인 지연량을 ASF라고 한다(USCG, 1981). 따라서 $TOA_{_True}$만 정확히 측정되면 PF와 SF는 정해진 값이므로 ASF를 구할 수 있다.

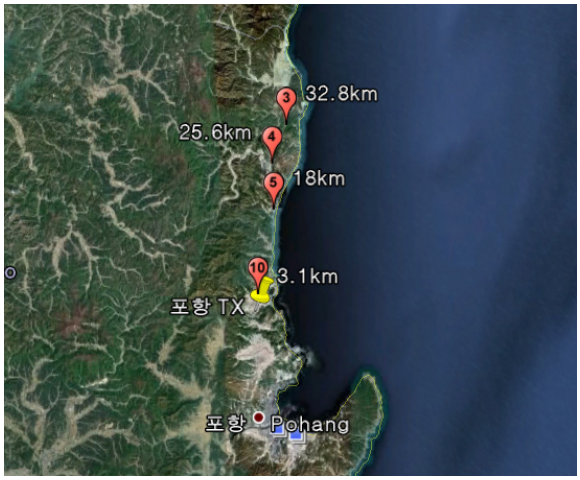

Fig. 9 Measurement points around Pohang transmit station.

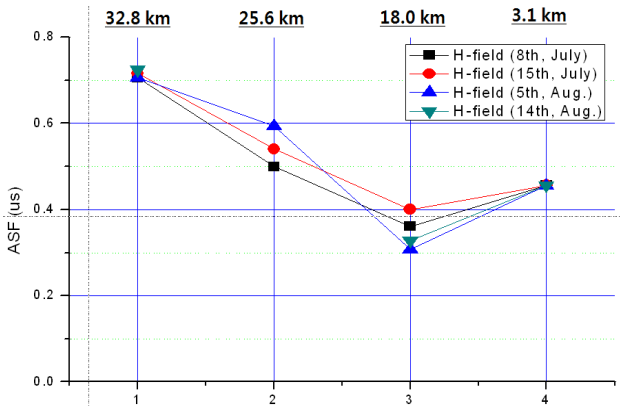

Fig. 10 Propagation delays (SF+ASF) between Pohang transmit station and each measurement points.

$TOA_{_True}$를 측정하기 위하여 Fig. 9와 같이 포항 로란 송신국으로부터 3 km, 18 km, 26 km, 33 km 지점을 선정하고 반복측정 하였다. 여기서 3 km 지점은 앞서 언급한 바와 같이 루프안테나를 오실로스코프에 직접 입력하여 로란신호의 3 번째 cycle의 zero crossing 위상측정이 가능하므로 H-field 안

테나와 수신기에 의한 결과와 비교하여 offset값을 교정하는 지점으로 사용하였다. Fig. 10은 각 지점에서 측정한 데이터에 PF를 제거한 결과이다. 4번의 반복측정 결과에서 3.1 km와 32.8 km 지점은 20 ns 이내에서 일치하였으며 그 외 지점도 100 ns 이내에서 약간의 차이를 볼 수 있다. 이는 측정 일시가 서로 다름에 의한 측정환경 변화에 기인한 것이므로 시간적 ASF 변화라고 할 수 있다. ASF를 얻기 위해서는 SF를 제거해야 하는데, SF 값은 논밭의 경우 0.005, 도심지는 0.01, 바다는 5 mhos 의 도전율을 각각 갖는다. 송신국으로부터 각 지점은 일반 농경작지 지대의 특성을 갖는 지역이므로 도전율 0.005, 유전율 15로 정한 값을 사용하였다.

3.2 ASF 보정시험 결과

상기 언급한 도전율을 적용하여 측정한 4 지점에서 계산된 SF값(Samaddar, 1979)을 적용하였다. ASF를 구하기 위하여 수신기에 의한 $TOA_{_True}$, PF, SF 모두 구해졌으므로 식(2)로부터 ASF를 산출하여 그 결과를 Table 1에 정리하였다. 이 표에서 보는 바와 같이 18, 26, 33 km 지점에서 전파지연오차를 거리오차로 환산할 경우, 각각 108 m, 165 m, 213 m 정도 발생하지만 ASF 측정결과에 의해 보정될 경우, 각 지점의 거리오차는 27 m, 9 m, 39 m로 각각 줄어 들 수 있음을 알 수 있다.

Table 1 Measurement results of ASF.

송신국과의 거리	TOA	PF	SF, σ=0.005	ASF
m	μs	μs	μs	μs
3,049	10.64	10.18	0.42	0.04
17,994	60.49	60.04	0.45	-0.09
25,618	86.02	85.48	0.52	0.03
32,831	110.26	109.55	0.58	0.13

4. 결 론

로란에 의한 항법은 GPS 출현 이후, 활용도가 급격히 감소하였지만 지상파이므로 위성항법에 비하여 전파교란에 강하며 전 세계가 공동의 운영개념이라 안정성이 좋다는 이점이 있다. 로란 신호의 전파지연을 정확히 측정하고 보정해 준다면 PNT (Positioning, Navigation and Timing)로서 GPS 백업 기능뿐만 아니라 용도에 따라 우수한 기능을 수행할 수 있을 것으로 사료 된다. 항법 및 시각 정확도를 만족시켜 활용도를 높이기 위해서는 이용지역에서의 ASF를 측정하여 보정함으로써 정확도를 높일 수 있다. 그러나 ASF는 공간적인 것뿐만 아니라 시간적으로 변화하므로 differential Loran (dLoran)에 의한 ASF 보정에 의해 실질적인 정확도 향상이 가능해진다.

본 연구에서는 국내와 같이 TOC가 없는 로란신호로부터 절대 시각 차이를 측정하는 기술을 개발하여, 지상파를 PNT 활용 시에 최대 약점인 ASF를 국내 환경에서 측정할 수 있는 기법을 개발함으로써 실제로 로란에 의한 PNT 정확도를 높일 수 있는 기반기술을 확보하였다. 현재 로란 시스템의 현대화를 통해 각 송신국의 시각을 UTC와 동기시키고 시각정보를 이용하게 되면 더 정확한 ASF 측정이 가능하다. 그러나 로란 현대화에서 중요한 기능이 송신국의 시각을 UTC와의 시각을 동기시키는 체계이지만 임의 지점에서 송신국으로부터 시각이 전송된 시간지연을 측정하여 보정하는 것이 실질적인 문제이므로 ASF의 정확한 측정능력은 로란 활용의 핵심기술이 된다. 본 연구에서 제안한 ASF 측정 기법을 활용하여 PNT의 정확도를 향상시킬 수 있는 보정값에 관한 더 많은 데이터베이스를 구축하면 국내 로란-C 체인의 활용도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

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/)

[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 2005 IEEE International, p. 824-829.

[3] ILA (2007), “Enhanced Loran (eLoran) Definition Document”, Report Version 1.0.

[4] 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, p173-187.

[5] United States Coast Guard, Department of Transportation (1992), “Loran-C User Handbook”, COMDPUB P16562.5.

원고접수일 : 2010년 8월 24일
심사완료일 : 2010년 10월 20일
원고채택일 : 2010년 10월 26일