

# 한국 Loran-C 주국의 송출 시각 조정으로 인한 수신기 영향 분석

손표웅<sup>1,2</sup>, 서지원<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 글로벌융합공학부, <sup>2</sup>연세대학교 글로벌융합기술원

## Sudden Transmission Timing Transition of the Master Station of the Korean Loran-C Chain and its Effect on a Loran Receiver

Pyo-Woong Son<sup>1,2</sup>, Jiwon Seo<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>School of Integrated Technology, Yonsei University, <sup>2</sup>Yonsei Institute of Convergence Technology, Yonsei University

주소 : 대한민국 인천시 연수구 송도과학로 85

연락처 : 032-749-5833 이메일 : jiwon.seo@yonsei.ac.kr

**Abstract:** Loran은 Long Range Navigation의 약자로, 세계 제 2차 대전 때 미국에 의해 개발되어 사용된 지상파 항법시스템이다. 그 후 전기, 전자 기술이 발달함에 따라 성능이 점점 개량되어 약 450m 정도의 측위 정확도를 갖는 Loran-C 시스템에 이르렀다. 주로 해상에서 활동하는 선박 등을 위한 항법시스템으로 기능하며, GPS가 널리 보급된 이후로 사용 빈도가 현저히 낮아졌으나 여전히 GPS의 백업 시스템으로서 효용가치가 높은 항법시스템이다. Loran-C 시스템은 최소 세 개 이상의 지상 송신국이 하나의 체인을 형성하여 전파를 송출하고, 수신기는 각 송신국으로부터 수신한 신호의 시간 차이(TDOA, time difference of arrival)를 이용하여 자신의 위치를 계산한다. 로란 송신국은 신호를 송출할 때 총 8개의 펄스를 송출하는데, 각 체인 별로 한 개의 주국은 9개의 펄스를 송출하여 해당 신호가 주국으로부터 송출된 신호임을 나타낸다. 각 종국은 주국의 송출 시각으로부터 정해진 송출 시각 간격(ED, emission delay)을 계산하여 그만큼 떨어진 시각에 신호를 송출하게 된다. 이런 일련의 과정을 일정 시간마다 반복하게 되고 그 반복 주기를 Group Repetition Interval (GRI)이라고 한다. 수신기는 수신한 Loran 신호에 위와 같은 규칙을 적용하여 자신의 위치를 계산하므로, 송출 시각에 관한 약속이 지켜지는 것이 측위를 위해 매우 중요하다. 본 논문에서는 최근 한국 Loran-C 시스템에서 발생한 포항 송신국의 송출 시각 조정이 수신기에 끼친 영향을 살펴보았다. 이를 통해 Loran-C 시스템 운영에 있어서 주국의 송출 시각이 전체 시스템의 성능에 미치는 영향을 확인 할 수 있었다.

**Keywords:** Loran-C, TOT control, emission delay, navigation

### 1. 서 론

Long Range Navigation (Loran) 시스템은 지상 송신탑에서 송출되는 고출력의 지상파를 기반으로 하는 항법시스템으로, 신호도착 시각의 차이를 이용한 쌍곡선 항법으로 측위가 가능하다. 주로 해양 분야에서 항법시스템으로 사용되었지만 훨씬 뛰어난 항법 성능을 보이는 GPS가 개발되면서 그 활용이 많이 줄어들었다. 하지만 GPS는 전파 교란에 취약하다는 약점을 가지고 있고 (Seo et al. 2011), 근래에 의도적인 GPS 전파교란 사례가 빈번하게 발생함에 따라 GPS의 취약점을 보완할 수 있는 보완항법시스템의 필요성이 대두되고 있다 (Inside GNSS 2013). 이에 각 국의 관련 기관과 국제기구 등에서는 GPS의 보완항법시스템에 대한 연구를 활발히 진행해 왔고 (Gerard et al. 2015), 그 결과 기존 Loran-C 시스템을 개량한 enhanced Loran(eLoran) 시스템을 가장 적절한 보완항법시스템으로 권고하고 있다. 기존 Loran-C 시스템을 운영 중인 한국은 현재 eLoran 시스템을 구축하고 시범운영하기 위한 기술개발사업을 진행하고 있다 (Inside GNSS 2017).

Loran-C 시스템에서는 세 개 이상의 송신국이 하나의 주국과 나머지 종국으로 체인을 이루고, 각 체인 내에서 송신국들은 정해진 송출 시각에 따라 신호를 송출하도록 되어있다. 수신기는 각 송신국으로부터 송출된 전파를 수신하고, 송신국들 간의 송출 시각 차이를 고려한 수신 시각의 차이를 계산함으로써 위치를 계산할 수 있다 (Lo et al. 2007). 따라서 수신기가 정상적으로 자신의 위치를 계산하려면 각 송신국에서 정해진 송출 시각 차이를 정확하게 지키면서 신호를 송출하여야 한다. 특히 Loran-C 시스템에서는 송출 시각 규칙의 기준이 되는 주국의 송출 시각이 정확하게 유지되는 것이 중요하다. 본 논문에서는 2017년 8월 중에 있었던 포항 송신국의 송출 시각 조정이 수신기에 미치는 영향을 실측 데이터를 활용하여 분석하였다. 주국의 신호 송출 시각이 갑자기 조정되는 경우, 수신기는 종국의 전파신호를 곧바로 인식하지 못해 측위가 불가능해지는 현상을 보였다.

## 2. 한국 Loran-C 체인 운영 현황

한국에서는 동아시아 지역에서 운영중인 3개 체인의 Loran-C 신호가 수신 가능하다. 그 중에 9930 Korea 체인의 경우, 한국의 포항 송신국(9930M)을 주국으로 하고, 광주 송신국(9930W)과 러시아의 우수리스크 송신국(9930Z)을 종국으로 하는 구성을 이루고 있으며 Fig. 1과 같은 규칙에 따라 신호를 송출한다.

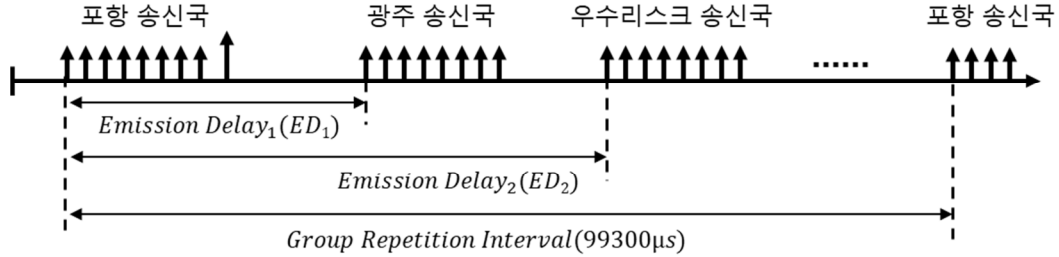


Fig. 1. 9930 Korea 체인의 신호 송출 규칙.

9930 Korea 체인 내에서, 주국이 신호를 송출하면 각 종국은 주국으로부터 송출된 신호를 수신한 후 일정 시간이 지난 시각에 자신의 신호를 송출하게 된다. 주국은 99300µs마다 일정하게 신호를 송출하고, 종국 역시 주국의 신호 송출 주기에 따라 규칙적으로 신호를 송출하게 된다.

## 3. 주국의 송출시각 변화로 인한 영향

인천에 위치한 연세대학교 국제캠퍼스에는 동북아 Loran-C 신호를 상시 수집할 수 있는 감시국이 설치되어있다. 4층 높이 건물 옥상에 약 3m 높이의 안테나 지지대를 설치한 후 Reelectronika 사의 H-field 안테나와 수신기를 사용하여 신호를 수집하고 있다. 본 연구에서는 포항 송신국이 신호 송출 시각을 조정했다고 보고된 시각을 기준으로 약 2시간 내외 동안 연세대 감시국에서 수집된 신호를 분석하였다.

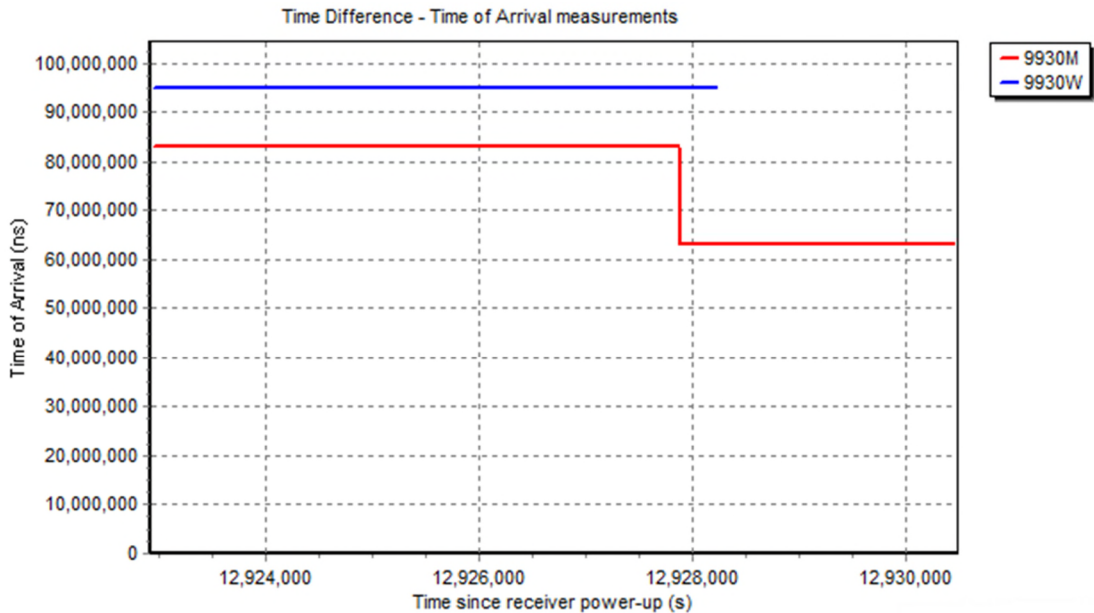


Fig. 2. 포항 송신국(9930M)의 송출 시각 변화 시점의 수신기 신호 수신 현황.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이, 9930 Korea 체인 내의 주국인 포항 송신국에서 송출 시각을 변화시켰을 때, 일정 시간 동안 종국인 광주 송신국(9930W)으로부터의 신호 수신 시각이 변하지 않았다. 이는 9930 Korea 체인이 실시간으로 서로의 송출시각을 인지하고 그에 맞추어 신호를 송출하는 형태로 운영되고

있지 않음을 나타낸다. 이런 문제는 보정국을 통해 실시간으로 그 차이를 보정해줌으로써 해결할 수 있다.

그리고 일정 시간 이후에는 수신기가 광주 송신국의 신호를 인지하지 못하는 현상이 발생했다. 수신기가 광주 신호를 인지하지 못한 시간 동안에도 광주 송신국에서 정상적으로 신호를 송출했다는 기록을 참고하면, 일반적으로 사용되는 상용 수신기의 경우, 주국 신호의 급격한 송출 시각 변화가 종국 신호의 수신을 어렵게 한다는 것을 알 수 있다.

현재 연세대학교 국제캠퍼스가 위치한 인천 지역에서는 중국의 3개 송신국(슈안청, 룡청, 허룽)과 한국의 2개 송신국(포항, 광주)의 신호가 안정적으로 수신 가능하다. 기본적으로 Loran-C 시스템에서는 동일 체인 내의 송신국에서 송출된 신호들만 측위에 활용할 수 있지만, 본 연구팀이 기존에 개발한 다중체인 측위 알고리즘(Son et al. 2017)을 사용하면 여러 체인의 신호를 동시에 측위에 사용할 수 있다. 즉, 인천에서는 중국 체인을 포함하여 총 5개 송신국의 신호를 동시에 측위에 사용할 수 있게 되고, 이로 인해 항법 성능이 대폭 향상될 수 있다. 하지만, 9930 체인 주국(포항)의 송출 시각 조정으로 인해 광주 송신국 신호를 수신하지 못하게 되는 경우에는 측위에 사용할 수 있는 송신국 신호의 수가 5개에서 4개로 줄어들기 때문에 정확도, 가용성 등 항법 성능이 상대적으로 낮아지는 현상이 발생하게 된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 한국에서 운영중인 9930 Korea 체인의 주국인 포항 송신국의 송출 시각 변동이 수신기에 미치는 영향을 분석하였다. 실제로 6월 17일 오전 7시 경 포항 송신국의 송출 시각이 조정되었고, 이 경우에도 상용 수신기는 짧은 시간 동안 광주 송신국의 신호를 계속해서 수신하였으나 변화된 주국의 송출 시각을 반영하지 못하였다. 이후에는 수신기가 광주 신호를 전혀 수신하지 못하는 현상이 관찰되었다. 포항 송신국의 송출 시각 조정 이후에 광주 송신국 신호가 수신 가능했던 시간 동안에는 보정국에서 그 차이를 보정해준다면 정상적으로 측위가 가능할 수 있지만, 이후에는 수신기가 광주 송신국의 신호를 전혀 인식하지 못하는 현상이 발생했기 때문에 측위 성능이 저하될 수 밖에 없다. 즉, 주국의 송출 시각 조정은 상용 수신기의 항법 성능을 저하시키기 때문에 송신국 운영시 되도록이면 주국의 송출 시각 조정을 지양하는 것이 바람직하다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT명품인재양성사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2017-2017-0-01015).

#### REFERENCES

- Gerard, O., Erik, J., Stephen, B., Charles, S., Andrei, G., et al. 2015, eLoran Initial Operational Capability in the United Kingdom – First Results, Proceedings of the 2015 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, 27-39, Dana Point, California.
- Inside GNSS 2013, North Korea's GPS Jamming Prompts South Korea to Endorse Nationwide eLoran System, available from: <http://www.insidegnss.com/node/3532>
- Inside GNSS 2017, South Korea Developing an eLoran Network to Protect Ships from Cyber Attacks, available from: <http://insidegnss.com/node/5598>
- Lo, S., Peterson, B., Enge, P., & Swaszek, P. 2007, Loran data modulation: extensions and examples, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 43, 628-644. <https://doi.org/10.1109/TAES.2007.4285358>
- Seo, J., Chen, Y. H., Lorenzo, D. S., Lo, S., Enge, P., et al. 2011, A Real-Time Capable Software-Defined Receiver Using GPU for Adaptive Anti-Jam GPS Sensors, Sensors, 11, 8966-8991. <https://doi.org/10.3390/s110908966>
- Son, P.-W., Rhee, J. H., & Seo, J. 2017, Novel Multi-Chain-Based Loran Positioning Algorithm for Resilient Navigation, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, submitted