

## 포항 로란-C (9930M) 신호를 이용한 ASF 해상측정

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

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

### ASF Measurements on Maritime by the Signal of the Pohang Loran-C (9930M)

Chang Bok Lee\* · Jong Koo Lee\*\* · Young Jae Kim\*\*\* · 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** : Loran(LOang RAnge Navigation) 신호를 이용한 측위 시에 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 오차요소는 TOA(Time of Arrival) 측정에서의 ASF(Additional Secondary Factor)이다. 따라서 공항접근이나 항만 접근 등의 측위 정확도를 만족시키려면 먼저 정확한 ASF 측정이 선행되어야 하는데, 본 연구에서는 해상에서 ASF를 측정하는 기법을 연구하였다. 그 측정방법으로 포항 Loran-C 주국(9930M)에서 송신하는 로란 신호와 로란 수신기의 기준신호를 세슘원자시계를 기준으로 측정함으로써 해상에서의 ASF를 측정하였고 영일만 해상의 12 곳의 측정지점을 3 km 간격으로 설정하여 측정하였다. 해상측정에서 정확도를 높이기 위해서 전기장 안테나와 자기장 안테나를 동시에 사용하였으며 정확한 위치측정을 위해서 DGPS(Differential GPS)수신기를 이용하였다. 이런 방법을 이용하여 해상에서 ASF를 측정함으로써 ASF 예측값과 비교한 결과를 얻었다.

**핵심용어** : 로란, ASF, 전파지연, 정확도, 해상측정

**Abstract** : A significant factor limiting the ranging accuracy of Loran (Long Range Navigation) signal is the additional secondary factor (ASF) in the time of arrival (TOA) measurements. Precise ASF values are essential if Loran deliver the high absolute accuracies demanded for aircraft approach, maritime harbour entrance. We measured the absolute propagation delay between Pohang Loran signal and Loran receiver output signal by comparing with Cesium atomic clock. In this study we measured ASFs between Pohang 9930M station and the 12 measurement points in the Yeongil Bay by using the measurement technique of absolute time delay. The measurement points were spaced at interval of 3 km by 3 km. An E-field antenna and an H-field antenna were used to improve the accuracy of ASF measurements and a DGPS (Differential GPS) receiver was used for accurate positions. We have gotten the result that the measured ASFs were compared with the predicted ASFs through this measurement technique.

**Key words** : Loran, ASF, propagation delay, accuracy, maritime measurement

## 1. 서 론

로란은 장거리 무선항법시스템으로 100 kHz의 장파를 사용하여 이용자에게 서비스를 제공하는 지상파 항법시스템이다(국토해양부). 최근까지 국외에서는 GPS(Global Positioning System) 백업을 위한 로란 시스템의 현대화 연구(Celano, 2005)가 수행되었고 기존 로란 시스템의 설비 업그레이드, 데이터채널 사용, dLoran(Differential Loran) 사이트 추가, 전파지연오차 보상법 추가로 항법분야의 비정밀접근(NPA, Non Precision Approach)과 해상의 항만 입항 및 접근(HEA, Harbor Entrance and Approach) 등에서 항법성능의 개선을

확정한 바 있다(ILA, 2007). 유럽, 미국 등 선진국에서는 로란을 이용한 위치 정확도 향상연구 등을 통해 GPS 백업 및 혼합/대체 항법으로 사용가능성을 연구한 바 있으며(Luo, 2006; USCG, 1992), 로란 항법 및 위치 성능에 가장 크게 영향을 주는 ASF 측정 및 보정기술 등 기반연구를 수행하였다(Keating, 1986). ASF 측정은 SF(Secondary Factor) 이외의 육지에서의 전파 시간 지연을 의미하며 송신국과 수신 지점 사이의 지표면 및 해수면의 특성에 따라 크기가 달라진다(Last, 2000; Dykstra, 2000). 해수면의 전파특성은 해역에 따라 거의 일정하지만 지표면의 전파특성은 지형 및 지표면의 전도율 특성에 따라 큰 차이가 있다(Johler, 1956; Samadder,

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

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

\*\*\* 연회원, racoon\_z@naver.com 042)868-5232

\*\*\*\* 연회원, zcgizer@gmail.com 042)825-3991

\*\*\*\*\* 연회원, eesjl@cnu.ac.kr 042)821-6582

† 교신저자: 연회원, shyang@kriss.re.kr 042) 868-5147

1979). 통상적으로 일반적인 로란 수신기는 해수면의 전도율 ( $\sigma=5$ )을 기준으로 데이터 베이스화 되어 있다. 이는 각각의 송신국들의 위치에 따른 지표면의 특성을 알 수 없기 때문이다. 현재 우리나라에서 로란 신호의 ASF를 측정하는 방법은 국내 로란 신호가 TOC(Time of Coincidence)를 제공하지 않으므로 외부 원자시계를 기준으로 TOA를 측정함으로써 로란 수신점과 송신국과의 전파지연시간을 각각 측정하여 보정하는 원자시계를 기반으로 하는 전파지연을 측정하는 방법이다. 즉, 기준 원자시계와 수신점 로란 신호의 시각차와 기준원자시계와 송신국 로란 신호의 시각차를 각각 측정함으로써 로란 신호의 전파지연을 측정하고 송신시스템지연, 수신기지연 등을 보정함으로써 ASF 값을 결정할 수 있다.

본 논문에서는 해상에서 포항 송신국(9930M)의 로란 신호를 수신하여 ASF를 측정하는 기법을 제시하고 영일만에서 항로를 중심으로 12 곳의 측정지점을 설정하여 각 측정지점에 대한 ASF측정을 하였고 예측값과 비교하였다. 또한 해안의 측정지점 5 곳을 설정하여 ASF를 측정하여 측정값과 예측값을 비교하고 평가하였다.

## 2. ASF 측정기술 및 시스템 구현

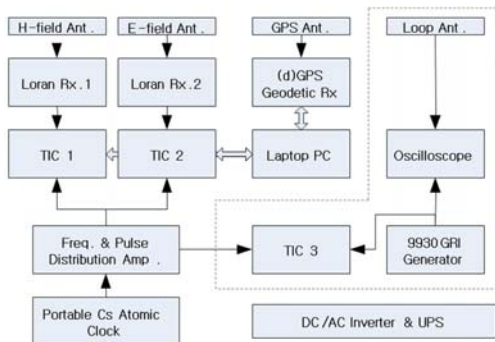


Fig. 1 ASF measurement system on maritime.

Fig. 1은 해상에서 ASF를 측정하기 위한 시스템으로, 자기장(H-field) 안테나와 전기장(E-field) 안테나를 사용하는 두 세트의 로란 수신기(Locus, CsSync1030) 및 시간간격측정기 등으로 구성된다. DGPS 수신기는 측정지점의 위치를 측정하고, PC는 시스템 제어 및 데이터를 수집한다. 오실로스코프는 ASF 측정시스템의 교정을 위해서 사용되는데 송신 측정기준점에서 로란 펄스와 원자시계간의 위상을 측정한다. 그리고 시스템의 연속 동작을 위해서 무정전전원장치로 전원을 공급한다. 특히, 로란 수신기의 경우 전원이 리셋되면 초기 위상값을 잃어버리므로 무정전전원장치는 필수 장비이다. Fig. 1의 점선 내부는 송신국의 기준위상을 설정하기 위한 시스템으로 송신국으로부터 3 km 지점의 수신된 로란 펄스의 위상을 기준값으로 설정하고 그 설정값을 기준으로 해상측정에 연계하기 위한 로란 기준신호 위상 측정시스템이다. 측정장비는 육상의 경우와 거의 같지만, 선박을 이용한 해상측정의 경우는 24 V 인버터를 사용하였다. 또한 육상측정의 경우는 측정시스

템을 차량내부에 설치한 상태로 측정 연계 기준점인 3 km에서 측정값과 연계를 할 수 있었으나, 해상측정의 경우는 측정시스템을 운용하는 상태로 Fig. 2와 같이 해상측정용 배에 설치하고 측정한 후에 다시 차량으로 이동하여 측정하였다. 따라서 이동 중에도 ASF 측정시스템의 전원을 유지하기 위한 무정전 전원장치가 추가적으로 필요하다. 선박에서 ASF 해상 측정시스템의 전기장 안테나 및 수신기 접지는 전원 접지가 아닌 해수면에 닿아있는 선박자체를 접지로 이용하였으며, Fig. 3에서와 같이 전기장 안테나가 설치되어 있는 지지대 자체를 접지로 사용하였다. 또한 DGPS 수신기를 설치하여, 선박의 위치를 지속적으로 모니터링하여 ASF 데이터 처리 시에 정확한 위치측정값을 제공하여 PF(Primary Factor)를 정확히 보정할 수 있게 하였다.



Fig. 2 Ship and system for ASF measurement.

### 2.1 측정 및 결과

실험환경은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 출발점인 대보항에서 측정용 선박에 전기장 안테나와 자기장 안테나를 선수부문에 설치하고 선박내부에는 무정전 전원장치를 이용하여 ASF 측정시스템의 전원을 공급하였다. 측정지점에서의 안정적인 측정을 위해서 선박을 정지시킨 상태에서 포항송신국으로부터 수신되는 로란 위상측정값이 안정화될 때 측정값을 평균하여 측정 대표값으로 사용하였다. 측정지점은 Fig. 4와 같이 영일만 해상의 항로를 중심으로 3 km 간격으로 12 곳을 설정하였다.

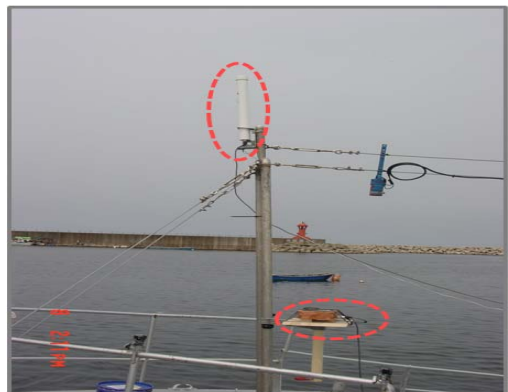


Fig. 3 E-field antenna and H-field antenna on the ship.

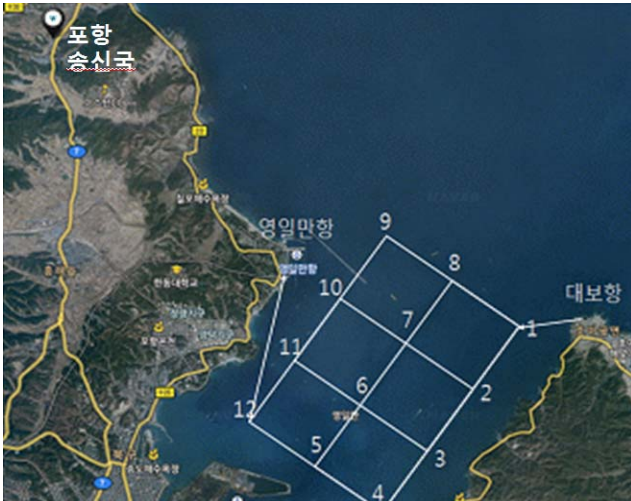


Fig. 4 Measurement points in Yeongil Bay.

실험방법은 측정용 선박은 대보항을 출발하여 영일만의 설정 측정지점에서 순차적으로 해상측정을 하였고 마지막으로 영일만 신항에 도착하여 육지 측정값과 연계를 위해 선착장에서 로란 위상값을 측정하였다. 그 후, 선박에 설치된 ASF 측정시스템을 차량으로 이동 설치한 후 측정기준점으로 설정한 포항 송신국으로 이동하여 로란 펄스의 위상을 재측정함으로써 로란 신호의 기준측정값을 보정하였고 그 값을 이용하여 해상 측정지점의 최종 ASF 측정값을 결정하였다. 전기장 안테나의 경우, 지향성이 없기 때문에 선박의 방향과 관계없이 항상 안정된 측정값을 얻을 수 있었고 육지와는 다르게 해수면과 맞닿아있는 선체에 직접 접지를 하여 접지상태의 불안정에 의한 위상 점프현상이 거의 없음을 확인할 수 있었다. 반면 자기장 안테나의 경우, 항상 송신국방향으로 지향하도록 해야 하므로 선체가 이동시 마다 포항 송신국 방향으로 지향하게 하였다. 또한 DGPS 수신기를 이용하여 지정한 측정지점에 도착하면, 측정값의 변화가 최소인 시점에서부터 약 1분에서 5분간 측정하여 안정된 상태의 측정값을 취득하였다. 동일한 측정방법으로 순차적으로 12 곳 측정지점의 ASF 측정 데이터를 취득하였다. 전기장 안테나의 경우 신호 lock이 풀리는 일은 거의 없었으나, 자기장 안테나의 경우는 선박의 방향전환 시에 안테나의 방향이 송신국방향으로 지향하게 하지 못했을 경우, 신호 lock이 풀리는 현상이 발생하여 세심한 주의가 필요했다. 또한 해상의 측정지점에서 정지 후에도 조류와 바람에 의해 배가 이동하므로 DGPS 수신기를 이용한 측위를 통해 PF에 의한 오차를 보정하였다. 이와 같은 방법으로 2010년 7월 8일과 9월 14일 2회에 걸쳐 측정하였다. Fig. 5는 9월 14일의 경우 14:10 분부터 18:50 분까지 약 4시간 40분 동안 해상측정결과로 자기장 안테나와 전기장 안테나에 의한 TOA 측정값을 표시한 것이다. Fig. 6은 자기장 안테나와 전기장 안테나의 TOA값에서 DGPS로 얻은 정확한 위치로부터 송신국에서 수신기까지의 거리를 계산하여 보정한 그래프이다.

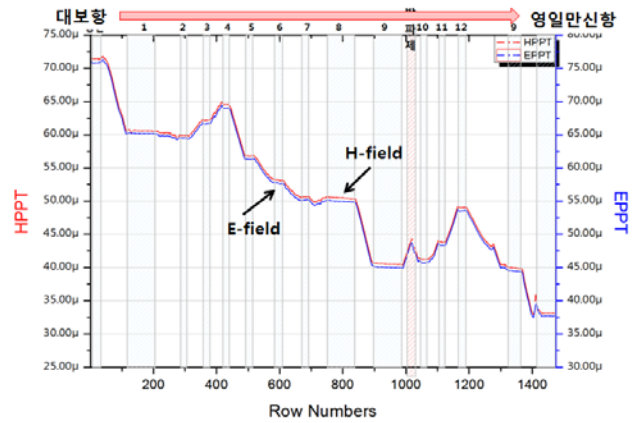


Fig. 5 TOA measurements of Loran signal on the ship.

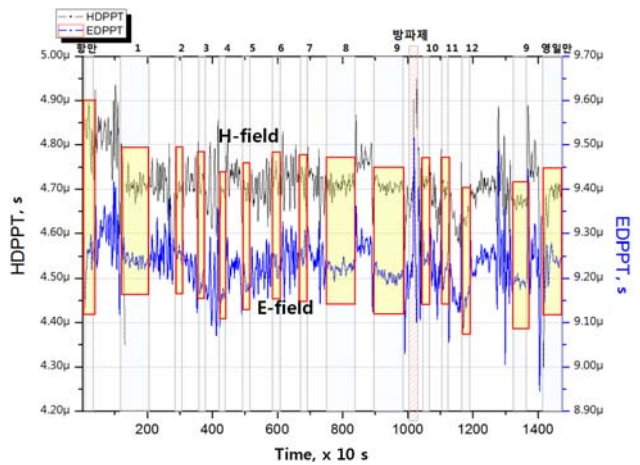


Fig. 6 Measured phase data by subtracting the PF on the ship.

전파가 전달되는 표면의 전도율을 알면 Millington 기법과 SF 계산 기법에 의해 이론적인 ASF 값을 구할 수 있다. 내륙의 경우 정확한 ASF 예측을 위해서는 지표면 전도율의 차이가 있으므로 각 지역에서의 보다 세분화된 전도율 데이터가 필요하다(ITU-R, 1992). Table 1에는 영일만의 12 곳의 측정 데이터를 정리하여 실측값과 예측값을 비교하였다. 측정된 ASF 결과는 각 12 곳의 해상 측정지점에 대하여 자기장 안테나와 전기장 안테나를 이용하여 동시에 측정한 결과이다. 두 안테나 사이에 측정값 차이가 수십 ns의 차이가 발생하고 있

Table 1 Comparison of measurements between H-field and E-field antennas

ASF 측정지점 (#)			
H-field / E-field, $\mu$ s			
12	11	10	9
0.36/0.34	0.43/0.39	0.45/0.43	0.44/0.38
5	6	7	8
0.43/0.39	0.43/0.39	0.47/0.43	0.44/0.40
4	3	2	1
0.41/0.33	0.42/0.35	0.41/0.43	0.43/0.41

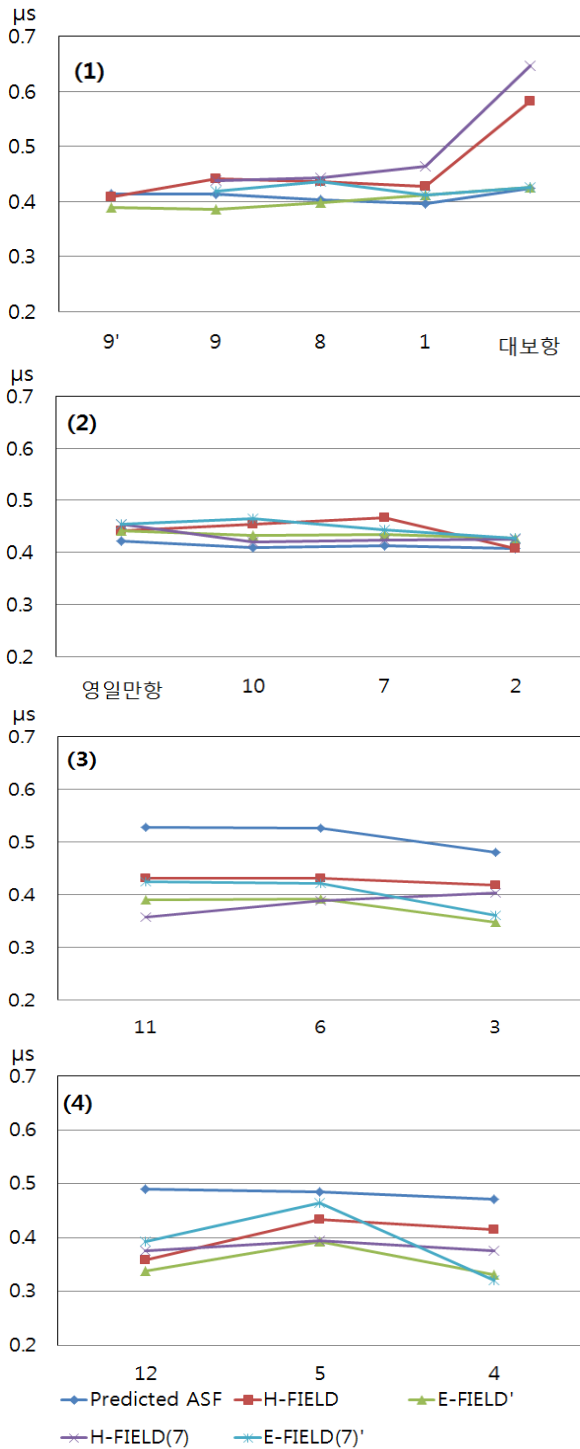


Fig. 7 Comparison of predicted and measured ASFs by E-field and H-field antenna at each measurement point in the Yeongil Bay.

는데 이것은 두 안테나 사이의 오프셋과 자기장 안테나의 지향 문제, 수신기 드리프트 등이 포함되어 나타난 것이다. 측정 순서는 대보항을 출발하여 포항송신국 방향에 대해서 수직방향으로 이동하면서 측정하였다. Fig. 7의 (1)의 경우 대보항에서 자기장 안테나에 의한 측정값의 차이가 2회 모두 높게 측정된 것은 대보항에서 주변 환경적인 요인이 자기장 안테나의

측정에 영향을 주어 생긴 것으로 추정된다. 또한 (3)과 (4)에서는 예측값이 실측값보다 모두 높게 나온 것은 (1)과 (2)가 송신국으로부터 로란 신호가 주로 해상을 통과해서 수신된 것에 비해 (3), (4)는 육지를 많이 거치면서 구간별로 정확하지 못한 전도율데이터를 적용하여 생긴 차이 값이라 판단된다.

Table 2는 영일만 해상의 14개 측정점에 대하여 ASF 예측값, ASF 실측값의 편차를 정리한 결과이며, 이를 그래프로 도시한 결과는 Fig. 8과 같다. 영일만 해상에서의 측정결과는 ASF 예측값과 실측값 간 편차가 5와 12 지점을 제외하면 대부분의 측정점에서 40 ns 이내의 범위인 것을 확인하였다. Fig. 7에 보는바와 같이 3 번, 4 번, 6 번, 11 번 측정점의 경우에 전파경로 상에서 내륙을 통과하는 거리가 길며, 경로 상에 고도 변화가 심하기 때문에 ASF 예측값과 실측값 간 편차가 크게 나타나는 것으로 판단된다.

Table 2 Comparison of data between the predicted and the measured ASFs.

지점	ASF 예측값 [μs]	ASF 실측값 [μs]	편차 [ns]
대보항	0.423	0.425	-2
1	0.395	0.412	-17
2	0.427	0.428	-1
3	0.348	0.360	-12
4	0.332	0.321	11
5	0.393	0.464	-71
6	0.392	0.421	-29
7	0.434	0.444	-10
8	0.398	0.436	-38
9	0.389	0.419	-30
10	0.433	0.465	-33
11	0.391	0.425	-34
12	0.337	0.393	-56
영일만항	0.4414	0.454	-13

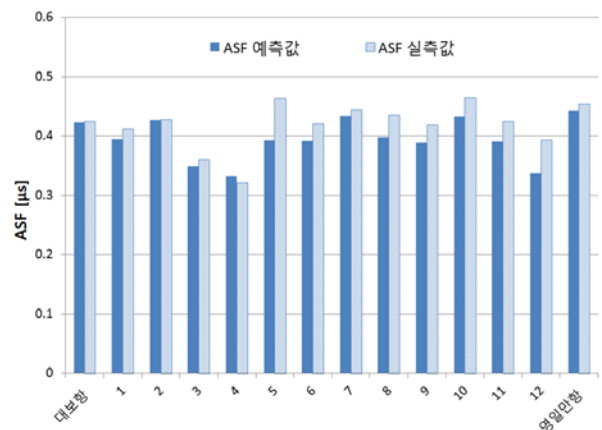


Fig. 8 Comparison of predicted and measured ASFs in the Yeongil Bay at each measurement point.

## 2.2 영일만 인근 해안의 ASF 실측값과 예측값 분석

Fig. 9에 보는 바와 같이 영일만 인근 해안의 5 곳(A~E) 측정지점을 설정하고 각 측정지점에서 2일 이상의 연속적인 ASF 실측값을 5회에 걸쳐서 반복 측정하여 ASF 실측값을 결정하였다. 측정지점에 대한 ASF 실측값과 예측값 간의 추이분석결과는 Table 3과 같다. 영일만 해안 측정지점의 실측값은 대부분의 측정지점에서 ASF 실측값과 예측값 사이에 약 50 ns의 차이를 갖는다. 이러한 실측값과 예측값의 차이는 예측에 사용되는 Montearth 모델의 고도와 전도율의 영향과 큰 관계가 있다(Montearth, 1978). 즉 전도율은 측정기간 중에 대상지역의 날씨변화에 의한 온도, 습도에 의한 영향에 따라 변화하지만 몬테스 모델에 의한 ASF 예측값은 이와 같은 시간에 따라서 변화하는 전파환경 요인들에 대한 고려를 반영하지 못하기 때문이다. D, E 측정지점의 결과는 100 ns 이상의 큰 차이를 보인다. 이는 포항 송신국 신호의 내륙 전파경로 상에 고도변화가 불규칙한 산악지형을 통과하면서 전도율 변화에 따른 영향이 크게 나타난 것이다.



Fig. 9 Measurement points on the coast of Yeongil bay.

Table 3 Comparison of data between predicted and measured ASFs.

측정지점	ASF 예측치 [μs]	ASF 실측값 [μs]	편차 [ns]
A	0.61	0.63	-20
B	0.55	0.52	30
C	0.47	0.40	70
D	0.50	0.36	140
E	0.41	0.28	130

## 3. 결 론

본 연구에서는 해상의 ASF 측정을 위해서 전기장 안테나와 자기장 안테나를 동시에 사용하여 해상 ASF 측정을 하였다. 전기장 안테나는 해상에서 측정의 정밀도가 우수하고 자기장 안테나는 육상에서 절대값 측정의 정확도가 우수하여 상

호보완을 통하여 ASF 값을 정확하게 측정 및 평가하였다. 또한 ASF 예측을 위하여 몬테스 모델에서 불규칙 지형 예측모델을 적용하였다.

영일만을 대상으로 ASF 측정은 7월에서 9월까지 수차례에 걸쳐 진행되었으며 여름의 전파특성상 ASF 변동폭이 작아서 고정밀도의 측정이 가능하였고 동일한 측정환경 조성을 위해 하루 중 같은 시간대에 반복하여 실험함으로써 전파환경에 의한 시변영향을 최소화하였다. 영일만에서는 해상의 12곳의 측정지점과 해안가 5곳에 대한 ASF 측정값과 예측값을 상호 비교, 평가하였다. 이러한 측정결과를 확대 적용한다면 해상의 ASF 측정 시에 특정 측정지점의 실측값을 대표값으로 사용하여 주변 측정값을 예측, 보정할 수 있어 보다 넓은 지역에 ASF 값을 생성할 수 있다.

본 연구를 통해 국내외 같이 TOC 없이 운용되는 로란신호를 이용하여 ASF 측정 결과를 도출하였으며, 해상에서 측정함으로써 ASF map을 구현할 수 있는 측정기술을 개발하였다. 이 기술을 로란 항만 측위에 적용한다면 항만의 ASF 데이터베이스 생성이 가능하게 되어 향후 국내 eLoran (Enhanced Loran) 구축 시에 보다 신속한 시스템 적용이 가능해질 수 있다. 또한 해상 ASF 측정 시스템을 eLoran 구축 시에 성능평가 시스템으로 활용한다면 보다 신뢰성있는 eLoran 시스템 구축에도 기여할 수 있을 것이다.

## 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] Dykstra, K., Last, D., William, P. (2000), "propagation of Loran-C signals in Irregular Terrain-Modelling and Measurements : Part II ; Measurements", Annual Convention and Technical Symposium, International Loran Association.
- [4] ILA (2007), "Enhanced Loran (eLoran) Definition Document", Report Version 1.0.
- [5] ITU-R P.832-1(1992), World ATLAS of Ground Conductivities, pp. 29.
- [6] Jöhler, J.R., Keller, W.J., and Walters, L.C.(1956), "Phase of the Low radio 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) "Time calibration of the Northeast U.S.A. Loran-C Chain(9960)", 18th Annual PTTI Applications and Planning Meeting, pp. 331-351

- [8] 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.
- [9] Luo, N., Mao, G., and Lachapelle, G., and Cannon, E. (2006), "ASF Effect Analysis Using an Integrated GPS/eLoran Positioning System", Institute of Navigation National technical Meeting 2006, pp. 967-976
- [10] 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
- [11] 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.
- [12] United States Coast Guard, Department of Transportation (1992), "Loran-C User Handbook", COMDPUB P16562.5.

---

원고접수일 : 2011년 7월 20일  
심사완료일 : 2011년 9월 1일  
원고채택일 : 2011년 9월 1일