

ASF 예측모델과 실측치를 이용한 영일만 해상 ASF 맵 생성기법

황상욱* · 신미영** · 최윤섭* · 유동희*** · 박찬식**** · 양성훈***** · 이창복***** · † 이상정

*충남대학교 대학원, **한국해양과학기술원 해양안전기술연구부 연구원, ***부산가톨릭대학교 멀티미디어공학과 교수, ****충북대학교 전자공학전공 교수, *****한국표준과학연구원 연구원, † 충남대학교 전자공학과 교수

A generation method of ASF mapping by the predicted ASF with the measured one in the Yeongil Bay

Sang-wook Hwang · Mi Young Shin** · Yun Sub Choi* · Donghui Yu*** ·*

*Chansik Park**** · Sung-Hoon Yang***** · Chang-Bok Lee***** · † Sang Jeong Lee*

**† Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Korea*

*** Maritime Safety Research Division, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Korea*

**** Department of Multimedia Engineering, Catholic University of Pusan, Korea*

***** Department of Electronics Engineering, Chungbuk National University, Korea*

****** Time and Frequency Group, Korea Research Institute of Standard and Science, Korea*

요 약 : eLoran 시스템의 구축을 위해서는 기존 LORAN-C 설비의 보완과 데이터채널, dLoran 기준국, ASF 데이터베이스 등의 추가가 필요하다. 특히 항만접근 시 eLoran을 이용한 정밀 위치측정을 위해서는 항만 해역에 대한 ASF 맵이 반드시 이용자에게 제공되어야 한다. 본 연구에서는 eLoran 시스템의 주요 오차 요인인 항만에서의 ASF를 효율적으로 생성 및 보완하기 위하여, ASF 예측모델과 실측치를 이용한 ASF 맵 생성기법에 대해 연구하였다. 포항 LORAN-C 주국(9930M)에서 송신신호와 LORAN-C 수신기의 수신신호를 각각 세슘원자시계를 기준으로 측정하는 전파지연 측정법을 적용하여 ASF 실측치를 얻었고, ASF 예측맵은 불규칙한 지형을 적용한 몬테스 모델로 구현하였다. 본 논문에서는 영일만 해상 12 개 측정점에서의 ASF 실측값과 ASF 모델링을 통해 획득한 예측값의 옅셋을 보정하여 영일만의 ASF 맵을 생성하였다.

핵심용어 : e로란, HEA, ASF 맵, 전파지연, 몬테스 모델

Abstract : In order to establish eLoran system it needs the betterment of a receiver and a transmitter, the add of data channel to loran pulse for loran system information and the differential Loran for compensating Loran-c signal. Precise ASF database map is essential in the Loran delivers the high absolute accuracy of navigation demanded at maritime harbor entrance. In this study we developed the ASF mapping method using predicted ASFs compensated by the measured ASFs for maritime in the harbor. Actual ASF is measured by the legacy Loran signal transmitted from Pohang station in the GRI 9930 chain. We measured absolute propagation delay between the Pohang transmitting station and the measurement points by comparing with the cesium clock for the calculation of the ASFs. Monteath model was used for the irregular terrain along the propagation path in the Yeongil Bay. We measured the actual ASFs at the 12 measurement points over the Yeongil Bay. In our ASF-mapping method we estimated that the each offsets between the predicted and the measured ASFs at the 12 spaced points in the Yeongil. We obtained the ASF map by adjusting the predicted ASF results to fit the measured ASFs over Yeungil bay.

Key words : eLoran, HEA, ASF map, propagation delay, monteath model

1. 서 론

eLoran(Enhanced Long Range Navigation) 시스템을 이용한 항법의 경우 항만입항 및 접근(Harbor and Entrance Approach: HEA) 시에 eLoran의 항법 성능을 만족하기 위해

서는 기본적으로 항만에 대한 ASF(Additional Secondary Factor) 맵이 필요하다. 해상에서의 이론적인 ASF 맵은 전파지연 예측모델을 통해 구현할 수 있다. ASF 모델링의 경우 1970년대 초까지는 전파경로의 혼합 전도율을 고려한 밀링턴(Millington) 모델을 주로 사용하였다(Samaddar, 1979). 1970

† 교신저자 : 연희원, eesjl@cnu.ac.kr 042)825-3991

* 연희원, sw_hwang@cnu.ac.kr 042)825-3991

** 연희원, myshin@kiost.ac 042)866-3668

*** 연희원, dhyu@cup.ac.kr 051)510-0643

**** 연희원, chansp@cbnu.ac.kr 043)261-3259

***** 연희원, shyang@kriss.re.kr 042)868-5147

년대 후반에는 전도율 외에도 지표의 고도변화에 의한 추가적인 전파지연을 고려한 모델에 대한 연구가 진행되었다. 대표적인 연구결과로는 George Hufford와 Monteath의 전파지연 예측모델이며(Johler, 1956; Monteath, 1978), 몬테쓰 모델로 알려져 근래에도 중파의 전파지연을 모델링할 때 사용되고 있다. 불균일한 지표면을 가정한 몬테쓰 모델의 경우 고도변화에 의한 전파지연을 적분 방정식으로 계산하는데 1,000 km 이하 구간에서는 고도, 해안선, 전도율 데이터를 이용하여 실측 ASF 값에 근사한 예측값을 생성할 수 있다. 전파지연 모델 및 ASF 모델을 이용한 공간적인 ASF의 보정방법은 Last et al.(2000), Johnson et al.(2003)에 의해 연구되었다. ASF 맵을 생성하기 위해서는 실측을 통해 전파지연을 측정하는 것이 이상적이다. 하지만 넓은 지역인 경우 ASF 맵의 실측치를 확보하려면 많은 시간과 비용이 요구되기 때문에(Williams, 2000; 2004) 2004년 이후부터 Kuhn et al.(2006), Johnson et al.(2007)에 의해 ASF 맵의 효율적 생성을 위한 ASF 실측치와 선형보간법 및 선형보외법을 연계한 ASF 맵 생성법에 대한 연구가 진행되었다. 하지만 대부분이 산악지형인 우리나라는 기존 연구가 이루어진 지역과 다르게 공간적인 ASF의 변화가 민감하게 나타나기 때문에 일부 항로에서 측정된 ASF 실측치를 토대로 선형보간법과 선형보외법을 적용하여 항구나 항만의 ASF 맵을 생성하기 위해서는 보다 많은 시간과 비용의 투자가 불가피하다.

본 논문에서는 우리나라와 같이 공간적인 ASF의 변화가 민감한 환경에서 활용 가능한 ASF 맵 생성기법을 제안한다. 이를 위해서 ASF 맵 생성기법은 몬테쓰 모델을 이용한 이론적인 ASF 예측치를 활용하여 대상지역의 공간적인 ASF를 해석하여 효과적인 보정 기준점을 선정하고, 선정한 보정 기준점의 ASF 실측치를 이용하여 ASF 예측치를 보정하는 방법을 적용하여 실측데이터 기반의 ASF 맵을 생성하였다. 대상 지역은 포항 Loran 송신국 신호를 이용하여 영일만을 대상으로 공간적인 ASF 보상에 필요한 ASF 맵 생성기법을 적용하였다. 그리고 영일만 지역의 ASF 특성 분석을 통해 측정대상해역에 적합한 ASF 맵 격자간격을 결정하였다(Kunh, 2006). 또한 ASF 예측치와 다수의 실측치 간의 추이분석을 통해 ASF 맵의 타당성을 검토하였다.

2. 몬테쓰 모델을 사용 ASF 예측시뮬레이터 구현

몬테쓰 모델은 전도율과 고도에 대한 정보를 토대로 송신국으로부터 수신기까지의 전파지연 거리에 따른 위상지연과 신호감쇄를 모델링한 것이다. ASF 예측 시뮬레이터는 ASF 예측치 생성을 위해 몬테쓰의 불규칙한 지형모델을 적용하였다. ASF의 정확한 모델링을 위해서는 지표면의 고도정보, 해안선정보, 전도율정보를 보유해야한다. 본 논문에서는 ASF 예측 시뮬레이터를 통해 영일만 해역을 대상으로 ASF 예측

치와 실측치의 비교분석을 통해 ASF 맵의 가용성을 평가하였다. 몬테쓰 모델에 필요한 고도 및 해안선 정보는 미국항공우주국(NASA) SRTM에서 제공하는 30 m 간격의 DEM(Digital Elevation Model) 정보를 사용하였으며(NASA, 2009) DEM 정보로부터 남한지역을 대상으로 해안선 정보를 도출하여 사용하였다. 또한 전도율 정보는 ITU-R P.832.3 남한 전도율 자료를 이용하였으며(ITU-R, 1992), 이 정보들은 ESRI사 ArcGIS를 활용하여 UTM(Universal Transverse Mercator) 좌표계로 데이터베이스를 구축하였다. ASF 예측 시뮬레이터는 Microsoft 社의 Visual C++ 개발환경을 이용하여 구현하였다. ASF 예측치 분석을 위해 여러 대의 컴퓨터로 연산을 분산하여 병렬 처리함으로써 연산처리시간을 단축하였다. 시뮬레이터의 구조는 Fig. 1과 같이 Master 1대와 Slave P대로 구성된다. Master는 송신국의 위치, 예측맵 생성 영역, 몬테쓰 모델의 적분간격에 맞는 ASF 예측점을 결정하고 Slave에 각 예측치의 계산을 할당하여 예측맵을 생성하였다.

Fig. 1 Block diagram of the ASF prediction simulator

Master의 구조는 Fig. 2와 같다. Slave에서는 Master에서 할당받은 예측점의 ASF는 고도, 전도율, 해안선정보 등을 이용한 몬테쓰 모델을 적용하여 계산하였다. Slave의 모듈구조는 Fig. 3과 같다. Master에서 결정된 총 L개의 ASF 예측점은 적분구간을 고려하여 P대의 Slave에 분산, 할당된다. 본 논문에서 ASF 시뮬레이터는 Master 1대와 Slave 3대의 컴퓨터를 이용하여 구현하였으며, 많은 양의 ASF 예측치를 산출해야하기 때문에 효과적인 처리를 위해서 Fig. 4와 같이 병렬처리를 수행하여 연산량을 감소시켰다. 시뮬레이터의 입력 파라미터인 포항송신국의 위치 및 예측 영역은 Table 1과 같고, 입력된 몬테쓰 모델의 설정 파라미터는 Table 2와 같다. 송신국과 예측점의 좌표는 위도, 경도, 고도의 값으로 표시되는 지심좌표계에서 중부원점을 기준으로 하는 TM(Transverse Mercator) 좌표계로 변환하여 적용하였다.

육상에 의한 추가 전파지연 요소인 ASF 예측값은 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$ASF(R) = G(R)_{Mixed-path} - G(R)_{Salt-water} \quad (1)$$

여기서 $G(R)_{mixed-path}$ 는 송신국과 수신기 사이의 육상과 해상을 포함한 전체 신호의 전파 지연이고, $G(R)_{Salt-water}$ 는 해상에서의 전파 지연이다. ASF 예측값은 육상과 해상이 혼합된 전파경로상의 전파지연값과 전체 전파경로가 해상일 경우 전파지연값의 차이로 부터 도출하였다.

Table 1 Coordinate of Pohang Transmitting station and prediction reference point

대상		위도	경도
포항송신국		36°11'05.45"N	129°20'27.44"E
예측 영역	좌상단	36°08'05.65"N	129°21'30.04"E
	우하단	35°57'23.61"N	129°37'29.38"E

Fig. 2 Master part of the ASF prediction simulator

Table 2 Parameter of Monteath model

설정 파라미터	입력
적분구간	10 m
주파수	100 kHz
K (바다)	81
σ (바다)	5 mS/m

Fig. 3 Slave part of the ASF prediction simulator



Fig. 4 Parallel processing of ASF simulator in Slave part

몬테쓰 모델에 적용한 파라미터는 전파경로 상의 상대 유전율 상수는 4, 적분구간은 10 m로 설정하였으며, 적용한 지구모델은 불규칙한 지형 모델을 반영하였다. ASF 예측 시뮬레이터를 통해서 생성한 영일만의 ASF 예측치의 분포도는 Fig. 5와 같다. 그림에서 보는바와 같이 포항 송신국의 신호는 방위각방향의 지형에 따라 다른 전파특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 방위각에 따른 전파경로상의 ASF는 지표면의 전도율 및 고도변화 등의 영향을 받으며 전파되는 육상의 전파경로가 길수록 누적되어 증가한다. 영일만 내의 ASF 예측치는 영일만 밖 해상보다 대부분 큰 값을 갖는데 그 이유는 전파경로 상에 포함된 육지의 전도율이 해수면의 전도율 보다 작기 때문이다. 또한 ASF 예측치는 일정한 전도율을 갖는 영일만 해상에서도 포항 송신국의 방위각에 따라 약 0.3 μ s (거리 : 90 m)의 변동이 나타나는데 이는 전파경로상 육지의 고도 차에 의한 결과로 예상할 수 있다. 이와 같이 ASF는 전파경로에 산악지형이 대부분인 경우에 유사한 전도율 값을 갖는 등 거리 상의 평지 측정정보보다 큰 값을 갖는다.



Fig. 5 ASF prediction map in the Yeongil Bay

3. 영일만 해상 ASF 맵 생성

영일만 해상 ASF 생성을 위해서 Fig. 6과 같이 대보항에서 부터 영일만항까지 선박을 이용하여 총 12 곳의 측정점을 선정하여 ASF를 측정하였다. 대상지역에 대한 ASF 측정은 시간적인 ASF의 영향이 상대적으로 적게 나타나는 여름철을 대상으로 2010년 6월, 7월, 9월에 걸쳐서 총 3회에 걸쳐 하루 중 오후시간에 측정을 실시하였다.



Fig. 6. ASF measurement points in Yeongil Bay

Fig. 7은 영일만 해상 12 곳의 측정점에서 ASF 실측치와 ASF 예측치를 분석한 결과로 전파경로상에 따라 ASF의 편차를 확인할 수 있다. 전파가 내륙을 통과하는 거리가 길수록 ASF 예측치와 실측치 간 편차는 크게 나타나고, 내륙을 통과하는 거리가 짧은 경우 편차가 작게 나타난다. 그림 Fig. 8의 좌측은 영일만 해상의 12 곳의 측정지점 ASF 실측치와 예측치의 편차를 2차원 좌표평면 상에 나타낸 결과이다. 이를 통해서 영일만 ASF 예측치와 실측치 간에 상관성을 분석할 수 있다. 영일만 12 곳의 측정점에서 상단의 6 곳의 측정점은 편차가 작고, 실측치가 예측치보다 큰 값을 갖는다. 반면에 하단의 6 곳의 측정점은 편차가 상대적으로 크고, 실측치가 예측

치 보다 작은 값을 갖는다. 이 ASF 편차는 몬테쓰 모델에 적용한 구간별 전파경로상의 고도 데이터와 지표면의 부정확한 전도율 데이터 등에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 8의 우측에 도시한 것은 ASF 실측치가 존재하지 않는 영역의 보정값을 산출하기 위한 ASF 예측치 보정맵 생성과정이다. ASF 보정맵 생성을 위해서 먼저 영일만의 12 곳의 측정점에서 ASF 실측치와 예측치 편차를 계산하였다. 12 곳의 측정점에서 ASF 예측치와 실측치의 편차가 유사한 성향을 갖는 3 개의 set으로 분류하고 각 측정점의 ASF 측정 대표값을 결정하였다.

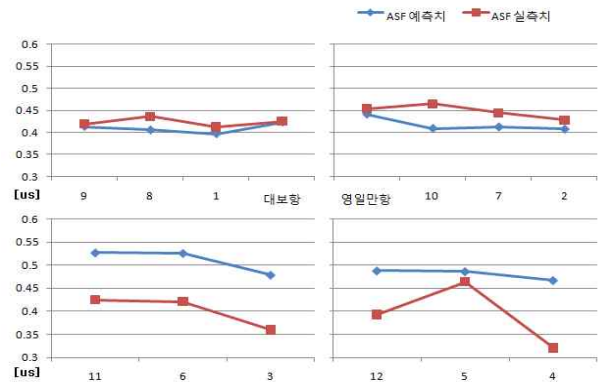


Fig. 7 Comparison between ASF predicted and ASF measured at measurement points

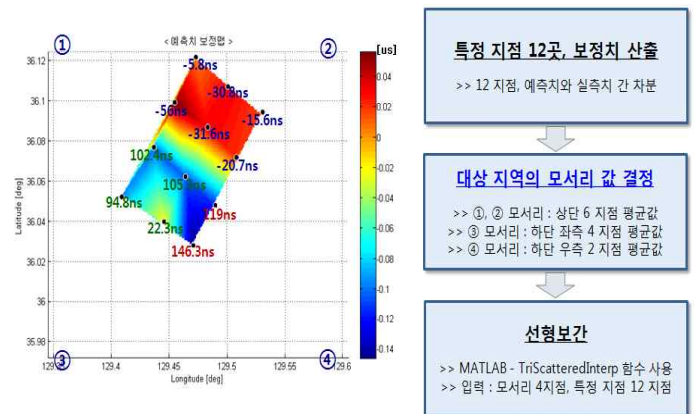


Fig. 8 The difference between the measured ASF and the predicted ASF : The process of making ASF map

3 개의 set은 상부에 6 개 측정점, 하부 좌측에 정사각형의 형태로 4 개 측정점, 우측에 세로로 2 개 측정점 등 3 set이다. 측정 대표값은 Fig. 8의 ①, ② 좌표에 상단 영역, ③ 좌표에 하단 우측 영역, ④ 좌표에 하단 좌측 영역에 할당하였다. ASF 예측치 보정맵을 측정점 12 곳과 대표값을 적용한 모서리 4 곳의 보정값을 이용하여 Matlab의 선형 보간 함수를 이용하여 Fig 9와 같은 보정맵을 생성하였다.

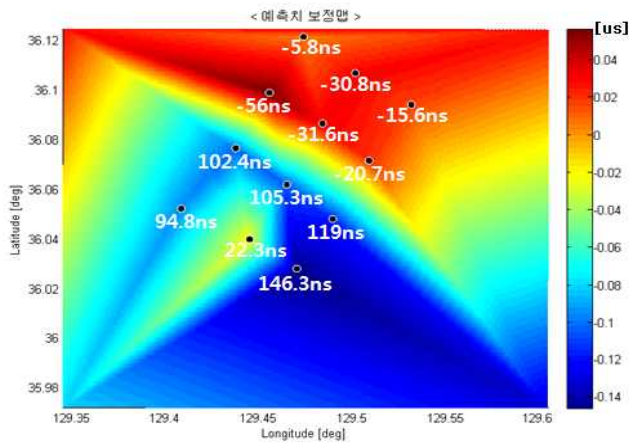


Fig. 9 Correction map of the predicted ASF in the Yeongil Bay

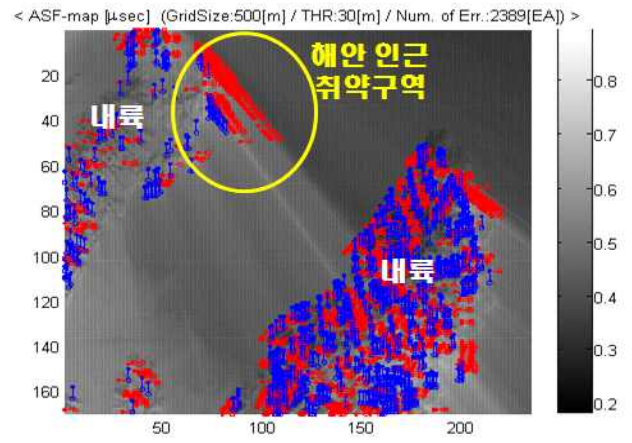


Fig. 10 ASF prediction map with grid size of 500 m

ASF 예측맵은 HEA에서 요구하는 항법성능을 만족할 수 있도록 격자크기를 결정해야 한다. 본 논문에서는 영일만을 대상으로 ASF 보정오차의 최대 허용범위를 만족하는 격자간격을 도출하였다. Fig. 10은 격자크기를 500 m로 정하여 시뮬레이션을 수행한 결과로 이는 영일만의 NSP(Navigation System Precision) 결과를 토대로 HEA를 만족하는 측정치 오차를 고려하여 결정한 것이다. DOP와 NSP는 식 (2)와 (3)과 같으며, 여기서 H 는 기준국과 사용자 사이의 시선 벡터 행렬, W 는 오차 공분산 행렬이다.

$$DOP = \sqrt{\text{trace}(H^T H)^{-1}} \quad (2)$$

$$NSP = \sqrt{\text{trace}(H^T W^{-1} H)^{-1}} \quad (3)$$

그림에서 ASF 예측치맵 위에 표시한 원형 실선 안의 부분은 500 m 격자내에서 가로와 세로 방향으로 예측치의 변화값이 ASF 보정오차의 최대 허용범위를 초과하는 영역이다. 영일만의 경우 격자크기를 500 m로 설정한 결과 대부분의 해상에서 항법성능을 만족하였지만 일부 해상을 포함한 해안 인근에 취약영역도 있었다. Fig 11은 500 m의 격자크기로 ASF 예측맵을 구현했을 때 각 격자에 포함되는 예측치에 대한 표준편차 맵이다.

Fig. 12는 Fig. 11의 해안 인근 취약구역에 포함된 각 격자의 대표값을 기준으로 산출한 표준편차의 도수분포표이다. 그림에서 보는바와 같이 500 m 격자를 갖는 ASF를 맵핑할 때 최대 오차는 0.03 μ s 이하로 9 m 이하의 측정치 오차를 기대할 수 있다. 상기 결과와 eLoran 송신국으로 선정된 포항, 광주, 강화, 울릉, 제주 송신국 배치를 고려한 eLoran 예상 항법성능은 식 (3)에서 정의한 NSP 평가지표를 활용하여 측위오차를 Fig. 13과 같이 도출하였다. 이는 eLoran의 HEA 요구성능인 2dRMS 20 m 이하의 항법성능을 만족할 것으로 예측이 가능하다.

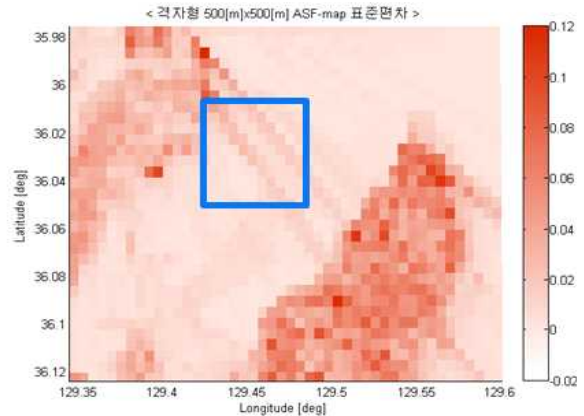


Fig. 11 Distribution map of standard deviations of grid cells

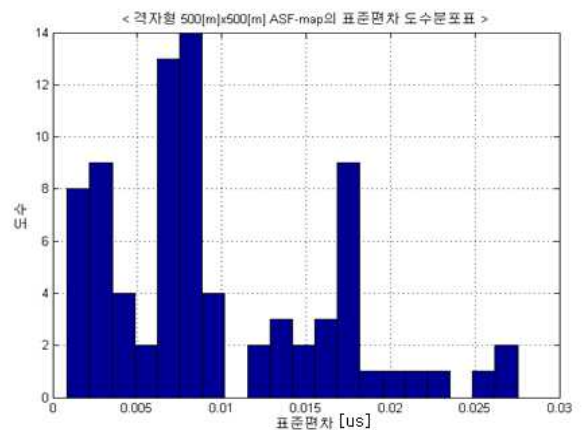


Fig. 12 Histogram of standard deviations in the Yeongil Bay

Fig. 14는 ASF 실측치와 예측치를 이용한 예측맵 생성과정이다. 본 논문에서는 영일만을 대상으로 ASF 맵을 생성하기 위해서 다수의 해상 측정점의 ASF 실측값과 ASF 모델링을

통해 획득한 예측값과의 윗셋값을 ASF 예측맵에 적용하여 보정함으로써 실측값에 기반한 격자간격을 500 m인 영일만의 ASF맵을 생성하였다(Fig. 15).

4. 결 론

ASF 데이터베이스는 eLoran에서 HEA를 만족시키기 위해서 이용자에게 반드시 제공되어야하는 정보로 이를 위해서 ASF 맵핑 기술을 확보해야한다. 본 논문에서는 eLoran 시스템의 주요 오차 요인인 항만에서의 ASF를 효율적으로 정확하게 보상하기 위하여, ASF 예측모델과 실측값을 이용한 ASF 맵 생성기법에 대해 연구하였다. ASF 실측은 포항 로란-C 주국(9930M)에서 송신신호와 Loran 수신기의 수신신호를 각각 세슘원자시계를 기준으로 측정하는 전파지연 측정법을 적용하였고(Keating, 1986) ASF 예측모델은 불규칙한 지형을 가정한 몬테쓰 모델을 적용하였다. 이론적 모델을 이용하여 생성한 ASF 예측치를 이용하면 전파환경에 의한 실제 영향을 반영하기 어렵지만 실측할 수 없는 부분에 대한 ASF 값을 결정하는 데 효율적으로 이용할 수 있다.

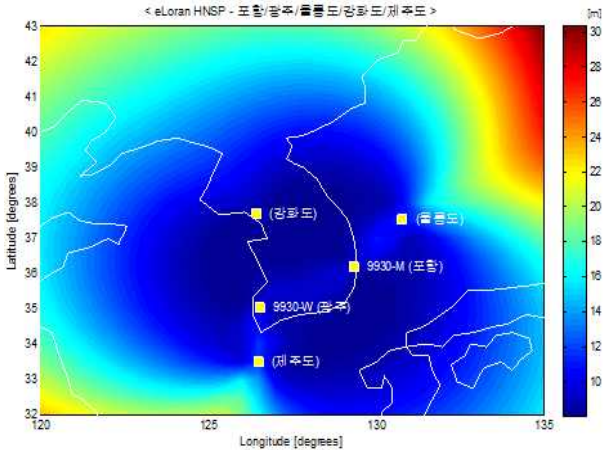


Fig. 13 HNSP result with eLoran transmitting stations

영일만 해상에서 ASF 맵의 생성을 위해서 12 곳의 해상 측정점의 모델링을 통해 획득한 예측값과 ASF 실측값과의 윗셋값을 구하였다. 또한 이를 적용해서 ASF 예측맵을 보정하여 실측값에 기반한 영일만의 ASF 맵을 생성하였다. 영일만의 경우 ASF 예측맵의 격자간격을 500 m로 할 경우 최대 오차는 0.03 μ s 이하로 9 m 이하의 측정치 오차를 갖는 것을 확인하였다. 이것은 HEA 요구성능인 20 m (2dRMS) 이하의 항법성능을 만족하는 것이다. 본 논문에서는 포항 송신국에 대한 영일만의 ASF 맵핑 데이터베이스만을 생성했지만 eLoran의 확대적용을 위해서는 광주 송신국 등에 대해서도 추가적인 ASF 맵 생성이 필요하다. 또한 ASF 데이터베이스를 전국 주요 항만으로 확대해서 구축함으로써 eLoran 시스템 구축 및 운용 시 신속하고 정확한 ASF 정보제공이 가능해질 것이다.

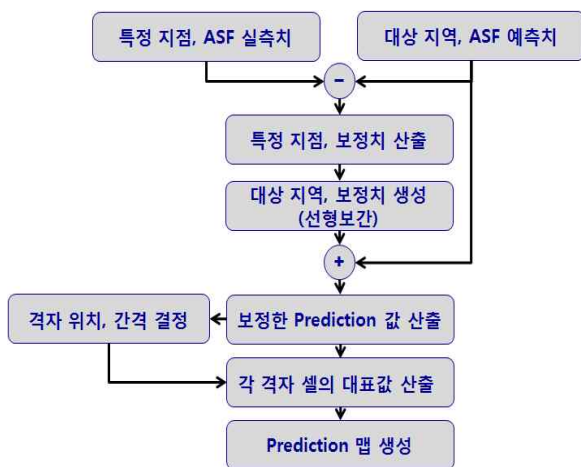


Fig. 14 Process diagram for the generation of ASF map

후 기

이 논문은 2013년도 교육과학기술부의 재원으로 한국표준과학연구원원의 지원을 받아 수행된 연구임.(No. 2013-0282)

참 고 문 헌

[1] ITU-R P.832-1(1992), World ATLAS of Ground Conductivities, pp. 29.
 [2] NASA(2009), SRTM, "http://www.jpl.nasa.gov /srtm/"
 Volpe National Transportation Systems Center, US Department of Transportation, Office of Assistant Secretary for Transportation Policy (2001), Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the Global Positioning

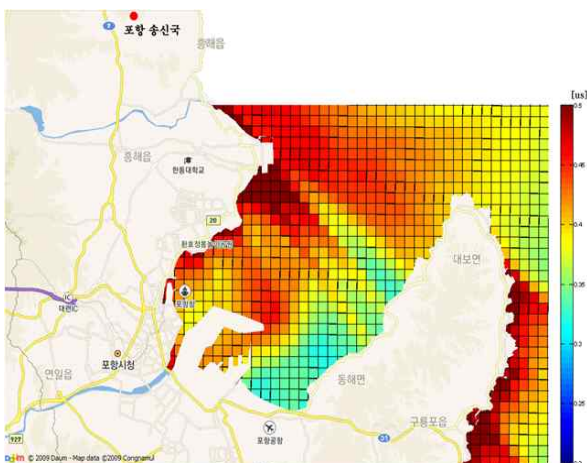


Fig. 15 ASF map in the Yeungil Bay

System, Volpe Report.

- [3] Johler, 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.
- [4] Johnson, G. W., Shalaev, J. R., Oates, C., Swaszek, F., Hartnett, C. R., Lown, D., Kevin Shmihluk, K. (2006), "A Procedure for Creating Optimal ASF Grids for Harbor Entrance & Approach", ION GNSS 19th International Technical Meeting of the Satellite.
- [5] 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.
- [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] Last, D., William, P., and Dykstra, K., "propagation of Loran-C signals in Irregular Terrain-Modelling and Measurements : Part II ; Measurements", Annual Convention and Technical Symposium, International Loran Association.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Williams, P., Last. D.(2000), "Mapping the ASFs of the Northwest European Loran-C System", Journal of the Royal Institute of Navigation, Vol. 53, No. 2, pp. 225-235.
- [11] Williams, P., Last. D.(2004) "Extending the range of Loran-C ASF modelling", International Loran Association, Tokyo, Japan.
- [12] Johnson, G., Hartnett, R., Swaszek, P., Moyer, T., and Shalaev, J. R.(2003), "Summer vacation 2003-ASF Spatial Mapping in CO, AR, FL, CA", 32nd Annual Convention and Technical Symposium, International Loran Association.
- [13] Johnson, G. W., Shalaev, J. R., Oates, C., Hartnett, C. R., and Swaszek, P. F.(2007), "4 Down, 50 to go - An update on Harbor Surveys in the United States", 36th Annual Convention and Technical Symposium, International Loran Association.
- [14] Kuhn, M., Johnson, G., Wiggins, M., et al.(2006), "Warping time and space: spatial correlation of temporal variations," Proc. 35th Annual Technical Symposium, International Loran Association, Groton, CT, pp. 24-25.

원고접수일 : 2013년 7월 1일
 심사완료일 : 2013년 8월 26일
 원고채택일 : 2013년 8월 27일