

Loran 신호의 지형에 의한 전파 지연 예측 및 실측 비교 분석

Analysis of Comparisons of Estimations and Measurements of Loran Signal's Propagation Delay due to Irregular Terrain

유동희*
Dong-Hui Yu*

요약

GPS의 원자시계 이상 및 신호 취약 현상에 대비하기 위해 유럽의 갈릴레오, 중국의 BEIDOU, 일본의 QZSS 등 세계 선진각국은 GPS에 독립적인 위성항법시스템을 구축하고 있다. 또한, 위성항법시스템의 백업 용도로 지상항법 시스템인 Loran의 현대화 시스템인 eLoran에 대한 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 독자항법에 대한 필요성이 거론되며 GPS에 대한 백업 용도로 Loran 시스템의 현대화를 통한 시각동기 인프라로서의 활용성에 대한 요구가 증대되고 있다. Loran 신호는 100Khz 대역으로 지형환경에 영향을 받는 지표파이다. 지표파는 지형의 전도율과 고도에 의해 전파의 전달 시 추가 지연인 ASF가 발생하고 이 추가 지연은 Loran 항법 및 시각동기에 오차를 유발하는 중요한 요소이다. 이에, ASF의 보정 방법은 Loran과 eLoran 항법에 매우 중요하다. 본 논문은 Loran 신호가 지형의 특성에 따라 지연되는 전파 지연 모델을 소개하고 효율적인 전파 지연 보정 방법을 제안하기 위해 전파모델링에 의한 예측값과 실측값을 비교·분석한 결과를 제시한다.

Abstract

Several developed countries have been developing their own satellite navigation systems, such as Europe's Galileo, China's BEIDOU, and Japan's QZSS, to cope with clock errors and signal vulnerabilities of GPS. In addition, modernization of Loran, eLoran, for GPS backup has been conducted. In Korea, a dependent navigation system has been required and for GPS backup, the need for utilization of time synchronization infrastructure through the modernization of Loran has been raised. Loran signal uses 100Khz groundwave. A significant factor limiting the ranging accuracy of the Loran signal is the ASF arising from the fact that the groundwave signal is likely to propagate over paths of varying conductivity and topography. Thus, an ASF compensation method is very important for Loran and eLoran navigation. This paper introduces the propagation delay model and then compares and analyzes the estimations from the propagation delay model and measured ASFs.

Keywords : Loran, eLoran, ASF, Spatial ASF, ASF map, GPS backup

I. 서론

국내 측위 및 이동통신 인프라는 GPS에 매우 의존적이다. 최근 GPS 위성의 원자시계 이상에 대한 수차례의 보고와 GPS 신호의 취약성에 대한 재머나 스푸퍼 등의 가능성이 제시되면서 국외에서는 다양한 독자 항법 및 대체 항법 시스템의 연구가 진행되고 있다. 독자 항법 시스템의 경우 유럽의 GALILEO, 중국의 BEIDOU, 일본의 QZSS 등이 있으며, 대체 항법의 경우 기존의 Loran 시스템을 현대화 한 eLoran 시스템이 있다. eLoran은 유럽에서는 계속해서 사업을 진행하고 있으나, 미국에서는 70% 이상의 구축이 진행되었음에도 불구하고 경제적 상황으로 최근 Loran 시스템을 잠정 중단한 상태이다.

이러한 국외의 다양한 항법시스템에 대한 연구 진행 속에서 GPS

신호를 국가 인프라로 사용하고 있는 우리나라는 GPS에 대한 대체항법 시스템의 필요성이 크게 증대되어 왔다.

최근 Loran을 현대화하여 이를 GPS의 대체항법으로 사용하는 것에 대한 타당성이 미국과 유럽에서 검증되면서, 국내에서도 Loran 시스템의 현대화는 항법 인프라 확보 측면에서 중요한 의미를 갖게 되었으며 eLoran 시스템을 이용한 측위 기술 개발 및 eLoran을 위한 시스템 구축의 필요성이 제기되었다.

지상파 전파 항법 시스템인 eLoran을 이용한 측위 시에 정확도 성능에 가장 큰 영향을 미치는 오차요소는 육지를 통해 전파될 때 지형의 특성에 의해 발생하는 부가적인 지연요소인 ASF(Additional Secondary Factor)이다. 따라서 ASF에 대한 보상모델을 설정하는 것은 매우 중요하다. 기존의 Loran 시스템은 항만을 격자 형태로 공간 특성에 의한 ASF 보정맵을 구성하여 수백 미터 수준의 정확도로 보정하도록 하였다. 그러나 eLoran에서는 항만 입항 시 8~20m 이내의 정확도를 요구하므로 좀 더 정확한 ASF 보정맵의 생성이 요구되었다.

지형과 전도율 등의 지형적 특성에 의한 ASF는 전파 경로 상의 지형의 고도나 전도율 등의 다양한 특성에 의존적인 파라미터로, 수신기의 공간적 위치에 따라 독립적인 값을 갖는다.

* 부산가톨릭대학교

투고 일자 : 2011. 3. 18 수정완료일자 : 2011. 4. 19

계재확정일자 : 2011. 4. 30

※ 본 논문은 2009년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

공간 특성에 의한 ASF 보정맵에 대한 연구는 미국이 선도적으로 수행하여 중파의 전파 지연 모델인 몬티쓰 모델, 밀링턴 모델 등을 구현해서 그 예측값에 대한 연구 결과가 보고되었다.[1][2].

ASF 예측값에 대한 검증은 위해 미국의 몇 개 항만에서 실제 측정을 통해 그 값을 비교한 결과, ASF는 공간 특성뿐만 아니라 기후나 계절 등의 환경적 특성에 민감하여, 실제 환경에서의 다양한 변수를 고려하기가 쉽지 않으므로 예측값에 기반을 둔 공간 특성에 의한 ASF만으로는 ASF를 보상하는데 한계가 있었다. 이에 2006년 이후부터 미국의 USCGA(U.S. Coast Guard Academy)에서 미국의 항만 (New York, New London, Norfolk, Boston 항만)을 대상으로 ASF 실측치를 이용하여 ASF 보정맵을 생성하기 위한 연구를 진행하였다[3][4]. 그리고 좀 더 동적이고 정확한 보정을 위해 공간적 보정맵 기반의 공간 특성에 의한 ASF 보상 외에 시간 특성에 의한 ASF(temporal ASF) 보상을 dLoran(Differential Loran) 사이트를 통해 제공하였다. 즉, 특정 위치에 dLoran 사이트를 운용하여 공간 특성에 의한 값과의 차를 해당 dLoran 사이트 근처 이동체에 그 값을 방송하는 형태를 취하였다. 이는 DGPS 신호의 운용과 유사한 개념이다.

ASF 실측은 실제 전파환경 상에서 가장 적합한 보정치를 생성할 수 있지만 데이터 실측을 위한 운용 및 적용, 실측이 어려운 구역에 대한 처리 등의 문제가 있다.

국내 Loran 시스템의 대체방법 연구에 미국의 선행 연구 결과를 활용할 수 있으나, 미국과 우리나라의 공간적·시간적 환경 특성이 상이하므로 미국의 연구 결과를 그대로 적용할 수는 없다. 좀 더 효율적으로 공간 특성에 의한 ASF 보정을 위해서는 예측값과 실측값을 적절히 활용하여 ASF 보정맵을 구성하는 것을 제안할 수 있다.

본 논문에서는 Loran 신호를 이용한 대체방법에서 가장 중요한 Loran 신호의 전파 지연 특성인 ASF(Additional Secondary Factor)에 대해 소개하고 ASF를 보상하기 위해 ASF의 예측값과 실측값을 비교·분석한다.

본 논문의 구성은 2장에서 ASF 오차 특성과 예측 모델을 소개하고, 3장에서 ASF의 예측값과 실측값의 비교 분석 결과를 제시하고 4장에서 결론을 맺었다.

II. 관련연구

2.1 eLoran

Loran 시스템은 주로 연안 및 근해에서의 항법 시스템으로 전 세계적으로 GPS 이전부터 사용되고 있는 지상항법시스템이다. Loran 수신기는 신호의 고유 전파 속도(PF : Primary Factor, 빛의 속도)를 기준으로 해수면에서의 라디오 신호의 추가 전파 지연 속도(SF : Secondary Factor)를 알고 있으므로 신호의 시간차를 거리로 변환하고 여기에 해수에서의 추가지연을 보정하여 위치를 결정하게 된다. 그러나 이 신호가 육지를 통해 전파될 경우, 전파 속도는 육지 지형의 특성에 영향을 받아 전파 속도가 더 느려지는 특성이 있다. 이로 인한 추가의 전송 지연에 의해 실제 수신기의 위치가 정확히 결정되지 못하는 경우가 발생할 수 있으며, 육지에서의 지형의 영향에 의한 전송 지연을 ASF(Additional Secondary Factor)라고 정의하였다.

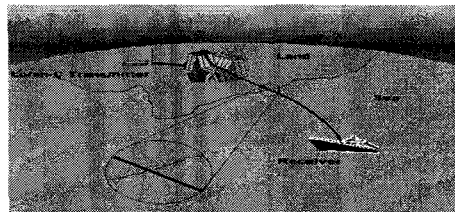


그림 1. 지형고도, 도전율을 이용한 Loran-C 위치 측정
Fig. 1. Measurement of Loran-C position using terrain height and conductivity

Loran 수신기는 ASF를 격자간격의 ASF 맵 형태로 정의하여 보정하는 방법을 사용하였으며, 수백 미터의 오차범위의 정확도를 요구하며 전송국으로부터 수신된 신호의 차이를 측정(TDOA)함으로써 자신의 위치를 결정한다[5]. eLoran 시스템은 Loran 신호는 그대로 사용하고 Loran 시스템의 송신국간의 시각 동기화, dLoran 사이트 운용, Loran 신호에 데이터 채널 부가 등의 변경을 통해 현대화 한 시스템이다. Loran 시스템의 측위와는 달리 eLoran 수신기는 동기화된 송신국들로부터 신호의 TOA(Time Of Arrival)를 계산하여 측위를 수행한다.

2.2 지형 데이터

지형 데이터는 고도와 전도율로 구성된다. 지상과는 전파 경로의 상의 지면의 전기적 특성에 따라 감쇠 정도에 영향을 받는다. 특히, 3MHz 이하의 주파수 대역에 작용하는 가장 중요한 전기적 특성은 전도율(Conductivity)로 ITU에서 정의하고 있다[6]. 이에 ITU에서 초장파, 중파 대역에서의 전도율 데이터를 전 세계 국가를 대상으로 작성하여 라디오 항해에 사용하도록 하고 있다. 그림 2는 대한민국의 ITU 전도율 데이터 부분을 발췌한 것이다.

해수면은 표준 전도율 값이 5 S/m의 값을 나타내며, 육지의 경우는 1에서 10 mS/m의 값의 범위를 가지는 것으로 나타나는 데, 대부분의 육지의 경우는 주로 3 mS/m의 값을 가진다. 산악의 경우는 전도율이 매우 낮아 전파 지연을 많이 야기한다. 그림 3은 미국의 선행 연구 대상 지역인 북동부 지역의 전도율 데이터이다. 국내의 전도율과는 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

그림 2와 그림 3과 같이 전도율과 지형에 따른 고도의 차이로 인해 ASF에 대한 선행 연구들을 그대로 적용하기 보다는 유사한 방법론에 따라 결과들을 재분석할 필요성이 있다.

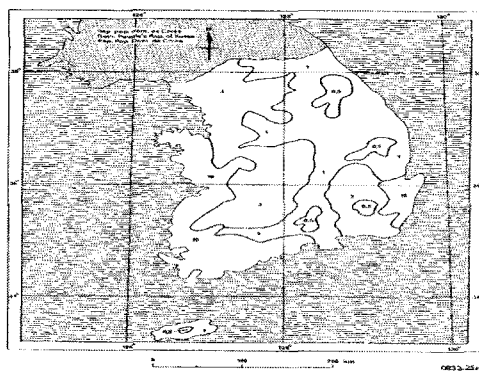


그림 2. ITU P.832-2 남한 전도율 데이터
Fig. 2. ITU P.832-2 Conductivity map of South Korea

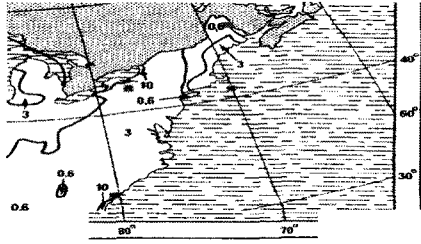


그림 3. 미 북동부 지역의 전도율 데이터
Fig. 3. Conductivity map of northeastern region of USA

2.3 Loran 신호의 전파 지연 예측모델

Loran 신호는 지표파로서 중파의 전파 지연 모델을 적용할 수 있다. Loran 신호의 예측 모델로 몬티쓰 모델을 소개한다. 몬티쓰 모델은 미국의 eLoran 시스템의 ASF 예측 모델로 사용되었으며, 국내에서도 DGPS 신호 예측 모델의 일환으로 개발된 바 있다.

몬티쓰 모델은 송신기로부터 거리 R만큼 떨어진 위치에서의 복합 감쇠 계수 G를 다음과 같이 정의하였다[1][7].

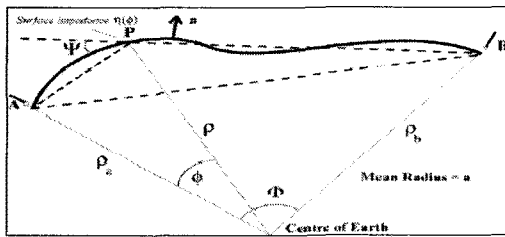


그림 4. 몬티쓰 예측 방법
Fig. 4. Monteath's integral equation method

$$G(R) = 1 - \sqrt{\frac{j\beta_0}{2\pi} \int_0^R \left(\psi + \frac{\eta}{\eta_0}\right) e^{-jk\sqrt{\frac{R}{R-r}}} G(r) dr.} \quad (1)$$

R은 송신기 A와 수신기 B 사이의 거리를 나타낸다. r은 그림 5에서의 P 위치에 해당하고 송신기 A와 수신기 B 사이의 위치 변수가 된다. β_0 는 자유공간전파상수로 단위는 radians/m 이고 $\frac{2\pi}{\lambda}$ 이다. 여기서 λ 는 자유공간파장으로 단위는 m 이다.

$$\xi = \beta_0[(AP) + (PB) - (AB)], \quad R = a\Phi, \quad r = a\phi. \quad (2)$$

지구의 Relative surface impedance인 $\frac{\eta}{\eta_0}$ 는 다음과 같다.

$$\frac{\eta}{\eta_0} \cong (\epsilon_r + 1)^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\epsilon_r = k - j \times 1.8 \times 10^{10} \frac{\sigma}{F}, \quad (4)$$

k는 비유전율 상수이고 j는 복소수를 나타내며, σ 는 지표의 전도율로 단위는 S/m이다. F는 주파수로 단위는 Hz이다.

몬티쓰는 실제 적분 방정식을 일정 구간으로 나누어 쉽게 계산할 수 있는 방법을 제안하였다. r(ND)을 일정 간격(ID)으로 위치시켜 G(ND)를 다음과 같이 정의하였다.

$$G(ND) = \frac{1 - BD^2 \sum_{I=0}^{N-1} E(ND, ID) C(N, I) G(ID)}{1 + BD^2 \sum_{I=0}^{N-1} C(N, I) E(ND, ID)} \quad (5)$$

이렇게 G를 구하고 육지에서의 지형에 의한 추가 지연 요소인 ASF는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$ASF(R) = G(R)_{Mixed_path} - G(R)_{Salt_water}$$

$G(R)_{Mixed_path}$ 는 송신기와 수신기 사이의 육지와 해수를 포함한 전체 신호 전파 거리이며, 불규칙한 지형 데이터와 전도율 데이터를 적용한 ASF 값과 해수면에서의 지연값인 $G(R)_{Salt_water}$ 를 포함하고 있다.

III. ASF 예측값과 실측값 비교

3.1 ASF 측정 방법 및 시스템

ASF는 전파 지연을 측정하는 것이므로 모든 측정에서 시각 동기를 전제로 한다. 즉, 송신국에서의 Loran 신호가 송신되는 시점을 알고 각 수신 지점에서 그 펄스의 전파 지연 값을 측정하는 것이다. 현재 국내에는 eLoran 시스템이 구축되지 않았으므로 지연값을 측정하기 위해서 Loran 신호에 대한 동기 시스템을 구성해야 한다. 측정시스템은 한국표준과학연구원의 측정시스템을 사용하였다[8].

송신시점부터의 모든 시간측정은 세슘원자시계를 이용하여 측정하고 그 시계는 한국표준과학연구원의 세계 협정시와 비교함으로써 측정오차가 발생하지 않도록 하였다.

우선 포항 송신국 안테나 옆에서 루프안테나와 디지털 오실로스코프를 이용하여 Loran 신호 펄스의 6번째 zero-crossing되는 지점과 원자시계의 초 펄스와 차이를 측정하고, 그것을 기준 시점으로 하여 모든 시간지연을 측정하였다.

영일만 해상에서는 E-field 안테나와 H-field 안테나를 동시에 사용하였는데, E-field는 해상에서 안정성이 우수하고 H-field 안테나는 육지에서 절대값 측정이 우수하여 상호보완을 통하여 ASF를 산출하도록 하였다. 해상의 각 지점에서는 절대위치가 중요하므로 DGPS 수신기를 이용하여 매 순간마다 좌표와 지연측정값을 동시에 기록하도록 하였다.

포항 송신국과 해상에서 ASF를 측정하기 위한 시스템의 구현은 그림 5와 같다. 각각의 H-field와 E-field 안테나를 사용하기 위한 두 세트의 Loran 수신기 및 시간간격 측정기와 측정시점의 좌표를 측정하기 위한 DGPS 수신기, 데이터 수집을 위한 랩톱 PC, 송신국에서 펄스와 원자시계간의 위상을 측정하기 위한 오실로스코프 그리고 기준시각원이 되는 세슘원자시계, 무정전을 위한 UPS 등으로 구성되어 있다.

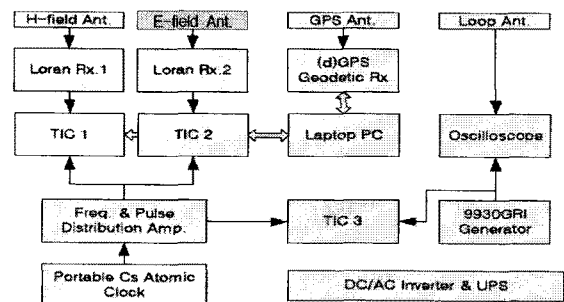


그림 5. 펄드측정 시스템
Fig. 5. Measurement System at Field

3.2 측정 및 결과

예측치와 실측치의 비교를 위해 국내 포항 송신국 근처 영일만을 대상으로 포항 송신국의 Loran 송신신호에 대한 ASF 예측치와 ASF 실측치를 비교·분석하였다. 실험지역은 그림 6과 같고, 총 12개의 지점을 대상으로 하였다. 대상지역에 대한 실측치는 2010년 6월, 7월, 9월에 걸쳐서 총 3회 진행한 데이터를 바탕으로 도출한 ASF 절대값을 한국표준과학연구원으로부터 전달받아 사용하였다.

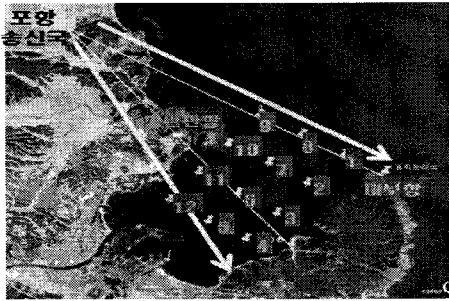


그림 6. 실험지역
Fig. 6. Test Region

3.3 예측치와 실측치 비교 분석

지형에 의한 전파 지연 예측은 몬티쓰 모델에서 송신 지점과 수신 지점을 적분 간격으로 구분하여 적분 방정식을 사용한다. 예측값을 적용하기 위해서는 적분 간격의 결정이 매우 중요하며 적분 간격별 예측값의 형태를 분석한다.

3.3.1 적분 간격에 따른 ASF 예측값 분석

표 1은 실측 지점 중 일부를 발췌하여 각각 구간값을 10m, 30m, 60m, 100m 단위로 적용한 예측 결과값과 실측값을 표시하였다. pt는 지점을 표현하고 값들은 지연 시간으로 단위는 us 이다. 표에서 알 수 있듯이 적용된 간격별로 서로 다른 예측값을 나타냄을 알 수 있다.

표 1. 적분간격별 ASF 예측값과 실측값 비교
Table 1. Comparison of measurements and estimations per integral interval

	10m	30m	60m	100m	실측
대보항	0.412085	0.418686	0.40793	0.387514	0.425
pt1	0.395396	0.392685	0.404818	0.392472	0.412
pt4	0.467304	0.465854	0.465898	0.462419	0.321
pt7	0.411449	0.410152	0.410734	0.405087	0.444
pt8	0.404284	0.408498	0.416056	0.400566	0.436
pt9	0.414029	0.414824	0.411586	0.387453	0.419
pt12	0.501942	0.50031	0.500395	0.494585	0.393
영일만	0.420999	0.419461	0.420209	0.415377	0.454

9 지점은 다른 예측값들에 비해 적분간격간의 예측값이 차이가 많이 나는 것을 볼 수 있다. 그림 7에서 표시하였으며 이는 적분 간격이 적용될 때의 고도와 전도율의 영향에 따른 결과로 해석될 수 있다.

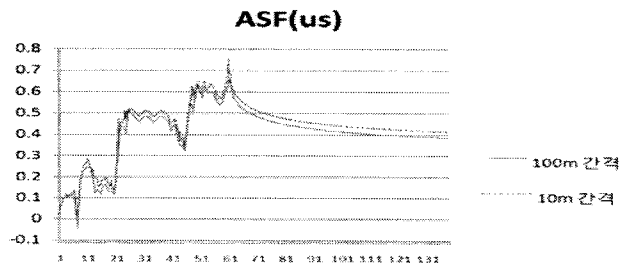


그림 7. 적분 간격의 ASF 예측값 영향
Fig. 7. Effect of integral interval on ASF estimation

3.3.2 ASF 예측값과 실측값 관계

두 번째는 적분간격별 예측값과 실측값과의 차이를 확인하여 해당 지역에서 가장 적합한 예측값의 적분 간격을 분석해 본다.

표 2는 실측값에 대해 적분 간격별 예측치와의 차이값을 us 단위로 나타내었으며, 음영을 준 부분은 ns 단위에서 실측값과의 차이가 가장 작은 경우를 표시하였다. 표 3에서 실험 대상이 된 구간에서는 60m구간으로 예측한 경우가 실측값과의 오차가 작은 경우가 많은 것을 알 수 있다.

표 2. 실측값과 적분간격별 예측값 차이
Table 2. Differences between measurements and estimations

	실측 - 10	실측 - 30	실측 - 60	실측 - 100
대보항	0.013	0.006	0.017	0.037
pt1	0.017	0.019	0.007	0.020
pt4	-0.146	-0.145	-0.145	-0.141
pt7	0.033	0.034	0.033	0.039
pt8	0.032	0.028	0.020	0.035
pt9	0.005	0.004	0.007	0.032
pt12	-0.109	-0.107	-0.107	-0.102
영일만	0.033	0.035	0.034	0.039

3.3.3 송신기로부터 비슷하게 떨어져 있는 지점 ASF 분석

표 3의 포항 송신국으로부터 비슷한 거리에 위치한 9 지점과 12 지점의 실험 결과를 비교해 보면, 12 지점의 예측값이 실측값에 비해 더 큰 것을 알 수 있다. 표 3의 세 번째 행까지는 인접한 유사 거리의 ASF 예측값의 차이를 시간 단위(us)로 제시한 것이며 네 번째 행은 이를 거리(m)로 표현한 것이다. Loran 신호는 1us가 300m의 파장을 갖는다.

표 3. 유사거리 측정 지점별 ASF
Table 3. ASF per measurement points with similar distance from Loran transmitter

	10m	30m	60m	100m	실측
pt12	0.501942	0.500310	0.500395	0.494585	0.393
pt9	0.414029	0.414824	0.411586	0.387453	0.419
pt12-pt9	0.087913	0.085485	0.088808	0.107132	-0.026
pt12-pt9	26.37384	25.64562	26.64245	32.13955	-7.8

이 분석은 dLoran 사이트를 운용함에 있어, 하나의 dLoran 보정값으로 서비스 가능한 지역을 결정하는데 사용될 수 있다.

예를 들어, 12 지점 부근에 dLoran 사이트를 설치하고 이에 대한 보정값을 9 지점에서 받는다면 HEA(Harbor Entrance Approach) 기준 20m이내의 조건을 만족하지 못하는 경우가 발생할 수도 있다.

예측값이 실측값에 비해 많은 차이를 보이는 것은 전달되는 파장의 지형의 고도와 연관이 있을 수 있다. 경로상의 지형의 고도를 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 그림 11까지 x축은 송신국으로부터의 거리(m)이며 y축은 지형의 고도(m)이다.

예측값의 형태를 비교해 보면, 12 지점이 9 지점에 비해 지형의 불규칙도가 높아 몬티스 알고리즘을 통한 예측값은 이를 반영하였으나, 실제 측정값은 지형의 고도에 영향을 덜 받는 것을 알 수 있다.

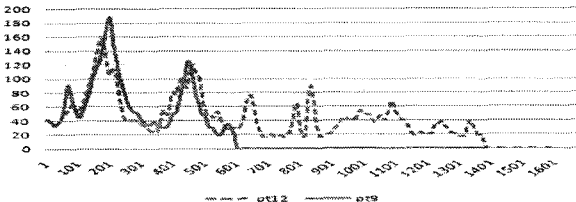


그림 8. 유사거리 측정 지점의 경로별 고도
Fig. 8. Height of propagation paths from similar distance from the transmitter

이 분석을 통해 ASF 보정맵을 작성하는 영역의 고도 변화에 대해 미리 분석하여 실측 지점의 배치 결정을 다양화해야 하는 것을 고려할 수 있다. 즉, 고도의 변화가 심한 지형을 포함하는 경로에 대해서는 실측값을 좀 더 확보하고 이를 적용하도록 해야 할 것이고 고도 변화가 심하지 않은 경우는 예측값을 주로 적용하는 등 가중치에 따른 보정맵 작성 알고리즘을 고려해야 할 것이다.

3.3.4 고도 영향에 대한 예측값과 실측값 분석

표 2에서 예측값과 실측값의 차이가 많은 지점은 4 지점과 12 지점이다. 이는 3.3.3에서의 분석 결과와도 유사한 양상을 보인다. 4 지점과 12 지점을 제외한 구간인 1 지점, 7 지점, 8 지점, 9 지점은 600m 지점 정도까지는 1 지점 경로의 고도와 유사한 양상을 보이는 반면, 4 지점과 12 지점은 1,300m, 1,400 미터까지 고도의 높낮이 변화가 심한 육지 구간을 경험한 것을 그림 9에서 그림 11까지를 통해 알 수 있다. 즉, 지형의 고도차가 심한 경우 예측값이 더 크게 적용됨을 알 수 있다.

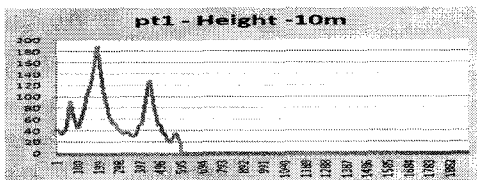


그림 9. 1 지점 경로상의 고도 변화
Fig. 9. Height of propagation path of Point 1

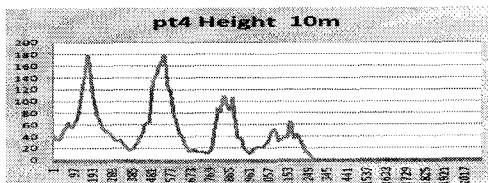


그림 10. 4 지점 경로상의 고도 변화
Fig. 10. Height of propagation path of Point 4

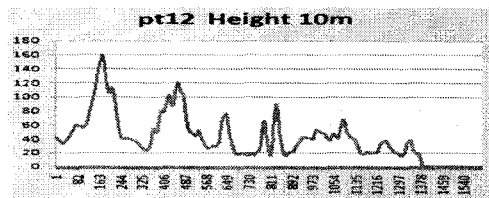


그림 11. 12 지점 경로상의 고도 변화
Fig. 11. Height of propagation path of Point 12

IV. 결론

본 논문은 몬티스 모델을 이용하여 다양한 적분 간격에 따른 예측값과 실측값을 비교·분석하였다. 분석 결과로 예측값의 적분 간격에 따라 실측값에 더 근접한 예측 결과를 제시할 수 있는 것을 확인하였고 전파 경로상의 지형의 고도의 높낮이가 심하게 변화되는 경우 몬티스 모델에 의한 예측값이 실측값에 비해 더 커짐을 알 수 있었다. 상기 분석 결과는 ASF 보정맵 구성에 적용하여 시간과 비용을 최소화하면서 정확한 공간적 ASF 보정맵을 구성하는 데 사용할 수 있다. 향후 실측값을 확보하여 실측값의 반복도를 높이기 위한 방법과 전파 지연에 많은 영향을 미치는 지표의 전도율 측정 및 보완이 필요하며 논문에서 제시한 가중치를 적용한 보정맵을 구성하는 알고리즘에 대한 연구를 진행할 것이다.

참고 문헌

- [1] G.D. Monteath, O.B.E., D.Sc., F.Inst.P., F.I.E.E., "Computation of groundwave attenuation over irregular and inhomogeneous ground at low and medium frequencies", BBC RD 1978/7
- [2] <http://www.loran.org/ILAArchive/LoranHandbook1992/AppxF.pdf>
- [3] Johnson, G. W., Shalaev, J. R., Swaszek P. F., Hartnett, C. R., Lown, LT D. and Shmihluk, LT K., "Procedure for Creating Optimal ASF Grids for Harbor Entrance & Approach," ION GNSS 19th International Technical Meeting of the Satellite Division, pp.2027~2037 2006.
- [4] Johnson, G. W., Shalaev, J. R., Oates, C., Hartnett, C. R and Swaszek P. F., "4 Down, 50 to go - An Update on Harbor Surveys in the United States," 36th Annual Convention and Technical Symposium, International Loran Association, 2007.
- [5] Peterson, B., Dykstra, K., Loran Data Channel Communications using 9th Pulse Modulation, Ver. 1.3, Oct. 2006.
- [6] ITU-R P.832-2 World atlas of ground conductivities.
- [7] George Hufford, "An Integral Equation Approach to the Problem of Wave Propagation over an Irregular Earth", Quart. Ap. Math, 9, pp. 391-404, 1952
- [8] 양성훈, 이창복, 이종구, 김영재, 이상정, "포항 송신국 근해상의 ASF 측정," GNSS workshop, 2010.



유동희(Dong-Hui Yu)

1992년 2월 부산대 전자계산학과(이학사)
1994년 2월 부산대 전자계산학과(이학석사)
2001년 2월 부산대 전자계산학과(이학박사)
1994년 3월 ~ 1997년 7월 한국전자통신연구원
연구원

2001년 3월 ~ 2002년 2월 (주)이김부설연구소 소장

2002년 3월 ~ 현재 부산가톨릭대학교 멀티미디어공학과 교수

※주관심분야 : GPS, 시각동기, 통신시스템, e-Navigation
