

# GPS 백업 및 대체 항법을 위한 지상파 신호의 일변효과 보상 방안

정희원 이영규\*, 이창복\*, 양성훈\*, 이종구\*, 공현동\*\*

## Diurnal Effect Compensation Algorithm for a Backup and Substitute Navigation System of GPS

Young-kyu Lee\*, Chang-bok Lee\*, Sung-hoon Yang\*, Jong-koo Lee\*,  
Hyun-dong Kong\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 현재 미국과 유럽에서 GPS와 같은 위성을 이용한 광역 항법 시스템의 백업 및 대체 항법 시스템으로 사용하기 위해 활발히 연구되어지고 있는 Loran-C와 같은 지상파 신호를 사용하였을 때, 이의 성능에 큰 영향을 미치는 요소 중 하나인 일변효과를 보정해 줄 수 있는 방안에 대해서 논한다. 일변효과를 보정해 주기 위해 먼저 최소제곱주파수분석(LSSA) 방법을 사용하여 신호에 포함되어 있는 개별적인 주기 성분을 찾아내고 이러한 신호에 대한 진폭 및 위상을 추정하여 보정 신호를 생성하고 이를 본래 신호에서 빼줌으로써 주기 성분에 대해 보정해 준다. 본 논문에서는 이를 위한 간단한 알고리즘을 제안하고 이의 성능을 모의실험을 통해서 분석하였다. 모의실험 결과 신호대잡음비(SNR)가 0 dB인 상대적으로 열악한 수신 환경에 있어서 진폭 및 위상에 대해 각각 5 % 및 0.17 % 이내의 오류를 가지고 추정할 수 있음을 고찰하였다. 또한 실측한 Loran-C 데이터를 사용하여 보정 후 얻을 수 있는 성능 향상에 대해서도 분석하였으며, 이 결과 5 분의 이동 평균 간격을 사용하였을 때 대략 22 %의 성능 향상을 얻을 수 있음을 고찰하였다.

**Key Words** : Diurnal effect, Least square spectral analysis, Navigation, Loran-C, Signal compensation

### ABSTRACT

In this paper, we describe a compensation method of diurnal effect which is one of the factors giving large effect on the performance when using ground-wave signals like Loran-C for a backup and substitute navigation system of global satellite navigation system such as GPS, and currently many researches of the topics are doing in USA and in Europe. In order to compensate diurnal effect, we find periodic frequency components by using the Least Square Spectral Analysis (LSSA) method at first and then compensate the effect by subtracting the estimated compensation signal, obtained by using the estimated amplitude and phase of the individual frequency component, from the original signal. In this paper, we propose a simple compensation algorithm and analysis the performance through simulations. From the results, it is observed that the amplitude and phase can be estimated with under 5 % and 0.17 % in a somewhat poor receiving situation with 0 dB Signal to Noise Ratio (SNR). Also, we analyze the obtainable performance improvement after compensation by using the measured Loran-C data. From the results, it is observed that we can get about 22 % performance improvement when a moving average with 5 minutes interval is employed.

\* 본 연구는 한국표준과학연구원 신수요과제 관리로 수행되었습니다.

\*\* 한국표준과학연구원 기반표준부 길이시간센터(ykleeks@kriss.re.kr), \*\* 국토해양부 제주해양관리단(hdkong@hanmail.net)

논문번호 : KICS2008-10-428, 접수일자 : 2008년 10월 2일, 최종논문접수일자 : 2008년 12월 4일

## I. 서 론

현재 수신자의 위치를 알려주는 항법 시스템은 자동차, 열차, 선박 및 항공기 등 거의 모든 운행 시스템에서 사용하고 있고 앞으로도 그 활용 분야는 더욱 확대될 것으로 여겨진다. 항법 시스템을 위해서 현재 가장 광범위하게 사용되고 있는 신호 중 하나는 GPS와 같은 위성항법 신호이다. 하지만 이러한 위성 신호는 위성에서 전송된 미약한 신호를 수신기에서 직접 수신해야 하기 때문에 실내, 터널, 고층 건물 밀집지역에서와 같은 LOS(line-of-sight) 수신이 어려운 지역에서의 성능 저하나 사용이 불가능한 상황이 발생한다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 지상파 신호를 GPS 신호에 대한 백업 또는 대체 항법 신호로 사용하고자 그동안 연구가 활발히 진행 되어오고 있다<sup>[1]</sup>.

특히, 미국의 경우에 있어서는 GPS 신호 문제 발생시를 대비한 단순한 백업 차원을 넘어서서 대체 항법시스템으로써 활용하기 위해서 막대한 재원을 동원하여 현재의 Loran-C 시스템을 현대화한 enhanced Loran(eLoran)으로의 성능 개선을 시도하고 있다<sup>[2]</sup>. 이는 GPS 및 eLoran 두 신호를 하나의 수신기를 사용하여 수신하여 GPS 신호의 품질이 저하될 때에 eLoran 신호를 백업 또는 대체 신호로 사용하고자 하는 것이다. 이와 같이 지상파 신호를 여분의 신호로 사용하려는 이유는 GPS 하나만으로는 요구되어지는 신뢰성을 제공할 수 없고, 위성 신호가 텔레비전 방송국과 패이징 전송기의 의사 방사에 의한 비고의적인 전파방해나 위성 소유국의 위성 테스트에 의한 고의적인 전파방해에 취약한 것에 기인한다. 또한 거대한 빌딩들이 밀집되어 있는 대도시나 터널 등과 같은 GPS 신호의 수신이 취약한 지역에서의 성능 감소와 GPS 위성이 고장이 났을 때를 대비하기 위함이다.

이러한 GPS 백업 또는 대체 항법 신호로 지상파 신호를 사용하는데 있어서 성능에 큰 영향을 미치는 요소 중 하나는 일변 효과에 의한 신호 전송 지연 시간의 변화이다. 일변효과는 하루 동안의 주기에 대해 주로 관측되어 지며 이는 일몰과 일출에 의한 이온층의 변화에 기인한 것이다. 본 논문에서는 지상파 신호에 있는 주기성 성분을 검출하여 이를 보정해주기 위한 방법에 대해서 논한다. 이를 위해서 LSSA(Least Square Spectral Analysis) 방식을 사용하여 주파수 성분에 대해 검출하고 이러한 주기적인 신호에 대한 진폭 및 위상을 추정하여 보정

해 주기 위해 제안된 알고리즘에 대해 기술하였다. 제안된 알고리즘의 성능 분석을 위해 모의실험을 통해 생성된 신호의 주파수 성분 및 이의 진폭 및 위상 추정 성능에 대해서 분석하였다. 또한 제안된 알고리즘을 사용하여 실제적으로 일변효과의 보정에 활용하였을 때의 성능 향상을 고찰하기 위해 실측된 Loran-C 데이터에 대한 성능을 분석하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 II장에서는 LSSA 알고리즘에 대한 기본적인 내용 및 LSSA를 활용하여 주기 성분을 검출한 후 이러한 신호에 대한 진폭 및 위상을 추정함으로써 보정신호를 생성하기 위한 제안된 알고리즘에 대해서 기술하였다. 다음으로 III장에서는 모의실험에 의한 수치적인 성능 분석 및 실측에 의해 구해진 Loran-C 데이터에 대해서 제안된 알고리즘을 사용하여 일변효과를 보정해 주었을 때의 성능 향상 결과를 기술하였고, 마지막으로 IV장에서 결론을 맺었다.

## II. 제안된 보정 알고리즘

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 일변효과를 보정하기 위한 방안에 대해서 기술한다. 제안된 알고리즘에 대해서 기술하기에 앞서 주기적인 주파수 성분을 검출하기 위한 LSSA 알고리즘에 대해서 간략하게 설명하기로 한다.

### 2.1 LSSA 알고리즘

LSSA(Least Square Spectral Analysis)는 측정된 타임 데이터 샘플에 대한 정현파의 최소 제곱 피팅을 기본으로 하여 주기적인 주파수 성분을 추정하는 방법이며, 이는 일반적으로 주파수 분석을 위해 주로 사용되어지는 푸리에 방식과 유사하다<sup>[3]</sup>. 푸리에 방식에 비해서 LSSA 방식이 갖는 가장 큰 이점은 측정된 데이터가 일정한 측정 간격이 아니어도 된다는 것이다. 이러한 특성이 중요한 이유는 타임 데이터를 측정함에 있어서 측정 시간에 간격이 발생하는 일은 흔한 경우이고 이를 기존의 푸리에 방식을 적용하여 분석하기 위해서는 외삽을 수행해야 하는데 LSSA를 사용하면 이러한 번거로움을 피할 수 있다는 데 있다. 또한, 일반적으로 푸리에 분석은 측정 간격의 긴 겹을 갖는 데이터의 분석에 있어서 장주기 잡음을 증가 시키지만, LSSA는 이러한 문제를 완화시켜 줄 수 있다.

관측된 타임 시리즈 데이터는 타임 간격  $t_i$ 에 대해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$X(t_i) = X_s(t_i) + N(t_i) \quad (1)$$

여기에서  $X(t_i), i=1,2,\dots,L$ 은 측정된 데이터이며  $X_s(t_i)$  및  $N(t_i)$ 는 각각 신호 및 잡음 성분을 나타낸다. LSSA 방식에 있어서 이러한 신호 성분이 싸인파와 코사인 항으로 이루어져 있다고 가정하며, 이러한 정현파 쌍이 샘플 타임  $t_i$ 에서 상호 직교성을 가질 수 있도록 타임 지연  $\tau$ 를 가장 먼저 찾으려는 다음의 공식을 통해서 구한다.

$$\tan(2\pi\tau) = \frac{\sum_j \sin(2\omega t_j)}{\sum_j \cos(2\omega t_j)} \quad (2)$$

또한, 이를 사용하여 주파수  $w$ 에서의 주기성을 갖는 주파수에 대한 전력 밀도는 다음과 같이 추정한다.

$$P_x(w) = \frac{1}{2} \left( \frac{[\sum_j X_j \cos(\omega(t_j - \tau))]^2}{\sum_j \cos^2(\omega(t_j - \tau))} + \frac{[\sum_j X_j \sin(\omega(t_j - \tau))]^2}{\sum_j \sin^2(\omega(t_j - \tau))} \right) \quad (3)$$

이렇게 구해진 전력 밀도는 모든 개별적인 주파수  $w$ 에서, 다음과 같은 정현파로 표현되어지는 형태의 파형에 대해서 해당 주파수의 정현파에 대한 최소 제곱 적합과 동일한 전력을 준다.

$$x(t) \approx A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t) \quad (4)$$

LSSA 방식의 가장 유용한 특징은 수집된 데이터에 대한 시간 간격을 조정하거나 존재하지 않는 데이터를 생성할 필요 없이 완전하지 않은 기록을 갖는 데이터에 대한 스펙트럼 분석이 가능하다는 것이다. LSSA 스펙트럼의 크기는 타임 시리즈 데이터의 분산에 대한 주파수의 주기적인 성분이 미치는 영향도를 나타내며, 일반적으로 위와 같은 방식으로 정의된 스펙트럼 크기는 출력의 중요도를 나타낸다.

## 2.2 제안된 LSSA 알고리즘 이용 보정 방법

LSSA 방법 중 하나인 기존의 Lomb-Scargle 주기도에 대한 활용은 측정된 타임 시리즈 데이터에 있는 주파수 성분을 추정하는데 있었다<sup>4)[5]</sup>. 본 논문에서는 Lomb-Scargle 주기도를 이용하여 주파수 성분을 추정하고 이를 토대로 보정신호를 생성하여 지상파 신호에 있는 주기 성분을 보정해 주기 위한 방법에 대해서 논한다.

이를 위한 절차는 다음과 같다.

스텝 1: 데이터 특성에 맞는 주파수 영역 설정;

스텝 2: LSSA 방법을 사용하여 설정된 영역 내에서의 주파수 성분 추정;

스텝 3: 추정된 최대 전력에 대한 전력비를 사용하여 정해진 % 이상의 전력 값을 갖는 주파수만을 선정;

스텝 4: 최대 전력을 갖는 주파수에 대해 스무딩한 결과를 이용한 진폭 및 위상 값 추정;

스텝 5: 추정된 진폭 및 위상 값을 이용하여 개별 보정 신호를 생성하고 이러한 신호들을 합하여 전체적인 보정 신호를 생성한 후에 이를 본래 신호에서 빼 줌으로써 일변효과 보정.

각각의 타임 시리즈 데이터는 그 데이터만이 갖는 특성이 있다. 또한 데이터의 주파수 성분을 분석하는 목적도 서로 다를 수 있다. 따라서, 먼저 스텝 1에서와 같이 데이터 특성 및 목적에 맞게 추정된 주파수 성분의 영역을 먼저 설정하는 것이 많은 주파수 성분 중에서 보정에 필요한 주파수를 선별하여 선택하기 위해 요구되어진다. 다음으로 스텝 2에서는 스텝 1에서 정한 주파수 범위 내에 있는 주파수 범위에 대해서 LSSA 방법을 사용하여 주파수 성분을 추정한다. 스텝 3에서는 최대 전력을 갖는 주파수에 대한 전력비를 사용하여 정해진 % 이상의 주파수 성분만을 선정한다. 주파수 범위가 정해졌다고 할지라도 범위 내에서 검출되는 주파수의 개수는 상당히 많은 경우가 발생할 수 있고, 이러한 모든 주파수 성분에 대해서 보정해 줌으로써 기대할 수 있는 성능 향상은 크지 않기 때문에 실제적으로 큰 의미를 갖지 않는다. 스텝 4에서는 추정된 주파수 중에서 최대 전력을 갖는 주파수 성분에 대한 주기를 사용하여 원래 데이터를 스무딩한 후 이를 토대로 진폭과 위상을 추정한다. 먼저 주기는  $f=1/T$ 의 관계를 이용하여 구하고 진폭에 대해서는 다음의 수식을 사용하여 추정한다.

$$\hat{A}_{c,i} = \sqrt{\frac{P_i}{P_t}} * S_{\max} \quad (5)$$

여기에서  $\hat{A}_{c,i}$  및  $P_i, i=1, 2, \dots, N$ 는 각각의 주파수에 대해 추정된 코사인 함수의 진폭 및 LSSA에 의해 구해진 전력 크기이며  $S_{\max}$ 는 스무딩된 신호의 최대값이고  $P_t = \sum_{i=1}^N P_i$ 는 전체 주파수에 대한 전력크기이다. 또한 각각의 주파수에 대한 코사인 함수의 위상값에 대한 추정은 다음과 같이 이루어진다.

$$\hat{\theta} = \frac{\theta_h + \theta_l}{2} \quad (6)$$

여기에서  $\hat{\theta}$ 는 추정된 코사인 함수의 위상값이고,  $\theta_h$  및  $\theta_l$ 는 각각 측정된 데이터로부터 구해진 최대 및 최소 위상값으로 다음과 같이 계산된다.

$$\theta_h = \begin{cases} (T - I_{\max}) \times 2\pi / T & \text{if } S_{\min, T} < S_{\max, T} \\ (I_{\min} - T/2) \times 2\pi / T & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$\theta_l = \begin{cases} (T/2 - I_{\min}) \times 2\pi / T & \text{if } S_{\min, T} < S_{\max, T} \\ I_{\max} \times 2\pi / T & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

여기에서  $T$ 는 스무딩 주기이고,  $I_{\max}$  및  $I_{\min}$ 는 각각 이 주기에 대해 스무딩된 신호의 최대값  $S_{\max, T}$  및 최소값  $S_{\min, T}$ 의 인덱스 값이다. 이렇게 구해진 진폭 및 위상에 대한 추정값을 사용하여 스텝 5에서는 개별적인 주파수 성분에 대한 코사인 신호를

$$S_{c,i} = \hat{A}_{c,i} \cos(2\pi f_i n + \hat{\theta}) \quad (9)$$

와 같이 구하고 이를 합해줌으로써 다음과 같은 최종적인 보정신호를 생성하여 본래 신호에서 빼줌으로써 일변효과를 보정한다.

$$S_c = \sum_{i=1}^N \hat{A}_{c,i} \cos(2\pi f_i n + \hat{\theta}_i) \quad (10)$$

### III. 모의실험 및 실제 측정 결과

#### 3.1 모의실험

이 장에서는 제안된 알고리즘을 사용하여 모의실험을 수행한 결과에 대해서 나타냈다. Loran-C와 같은 지상파 신호는 일변 효과, 즉 하루 주기 성분을 가지고 있다는 것은 잘 알려진 사실이다. 모의실험에서는 하루 주기를 갖는 신호를 기본으로 하고 이에 더하여 12 시간 및 6 시간의 주기를 갖는 신호로 생성 하였으며 이에 대한 모델링은 다음과 같다.

$$y(n) = \cos(2\pi n/1440) + 0.5\cos(2\pi n/760) + 0.2\cos(2\pi n/360) + \eta(n) \quad (11)$$

여기에서 정현파 함수는 신호 성분이고  $\eta(n)$ 은 평균이 0이 백색 가우시안 잡음이다.

모의실험을 위한 블록도를 그림 1에 나타내었다. 모의실험을 위해 먼저 식 (11)에 있는 신호를 생성하고 백색 가우시안 잡음은 SNR에 따라서 다음과

같은 표준편차를 갖도록 생성하였다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{P_s}{10^{\text{SNR}/10}}} \quad (12)$$

여기에서  $\sigma$ 는 가우시안 잡음의 표준편차이고  $P_s$ 는 신호의 전력이며 SNR은 dB 값이다. 주파수의 추정은 LSSA 알고리즘을 사용하여 구하고 이렇게 구해진 신호를 스무딩한 후에 진폭 및 위상을 식 (5) 및 (6)에 의해 구한다. 마지막으로 개별적으로 구해진 보정신호들을 합하여 최종적인 보정 신호를 구해서 원래 신호에서 빼줌으로써 보정해 준다.

그림 2에는 모의실험을 위해 생성된 신호와 이에 잡음이 더해진 신호에 대해서 나타내었다. 이때의 신호 대 잡음비는 0 dB이다.

그림 3에는 LSSA 알고리즘을 사용하여 추정한 주파수 및 이의 전력을 나타내었다. 그림 3에서 볼 수 있는 것과 같이 단지 가산 백색 잡음이 더해져 있을 때에는 주파수를 정확하게 추정할 수 있음을 알 수 있다. 그림 4에는 LSSA에 의해서 구해진 개별 주파수에 대해 식 (5) 및 (6)을 사용하여 진폭 및 위상을 추정하여 보정 신호를 식 (9)를 사용하여 구한 후에 이를 식 (10)과 같이 합하여 최종적으로 구해진 보정 신호 및 원래 신호에서 보정 신호를

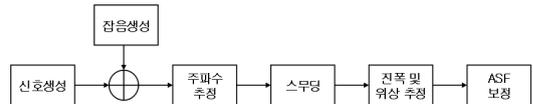


그림 1. 모의실험을 위한 블록도  
Fig. 1. Block diagram for the simulation

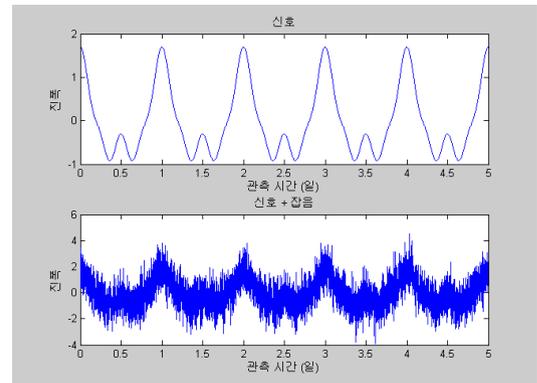


그림 2. 모의실험을 위한 신호 및 잡음 신호  
Fig. 2. Generated signal and noise for the simulation

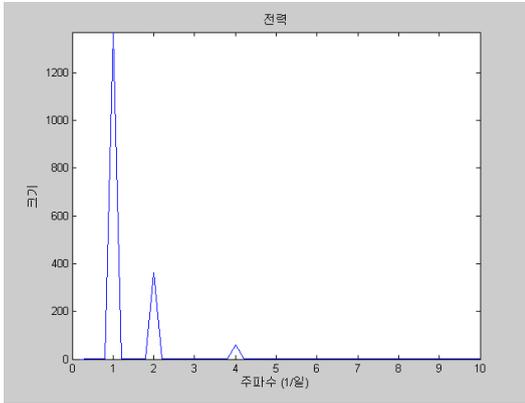


그림 3. LSSA 알고리즘을 사용하여 추정된 주파수 및 전력  
Fig. 3. Estimated frequencies and powers obtained by using the LSSA algorithm

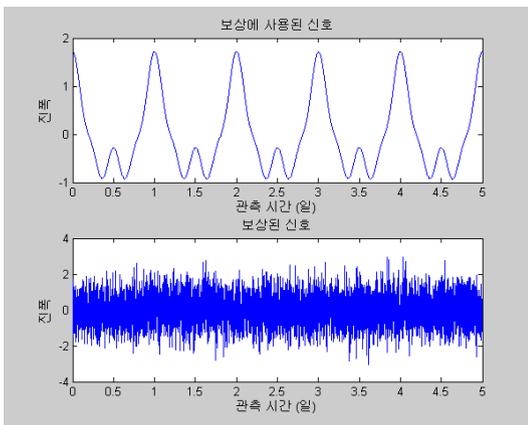


그림 4. 보정에 사용된 신호 및 보상후 신호  
Fig. 4. Signal used for compensation and the signal after compensation

빠른 잔여 성분을 나타내었다. 그림 2와 4를 비교해 보면 원래 생성된 신호와 보정에 사용된 신호가 거의 같음을 알 수 있다. 이는 제안된 방법을 사용하여 주기 성분에 대한 진폭 및 위상을 효과적으로 추정할 수 있음을 나타내 주는 것이다.

표 1에는 SNR에 따른 제안된 알고리즘을 사용하여 개별 주파수에 따른 진폭 및 위상 추정에 대한 결과를 나타내었다. 표를 보면 알 수 있듯이 개별 주파수에 대한 진폭 추정에 있어서 SNR이 증가함에 따라 상대적으로 작은 진폭을 갖는 주파수의 경우에 있어서 더 크게 추정 성능이 향상되어짐을 알 수 있다. 하지만 제일 큰 진폭을 갖는 주파수의 경우에는 성능이 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 전체 전력에 대한 상대적인 비율로 진폭을 추정하

표 1. SNR에 따른 개별 보정신호에 대한 진폭 및 위상 추정값  
Fig. 1. Estimated amplitudes and phases of each compensation signal versus SNR

SNR (dB)	첫째 보정 정현파 진폭	둘째 보정 정현파 진폭	셋째 보정 정현파 진폭	위상 (rad)
0	0.9980	0.5128	0.2085	-0.0109
2	1.0020	0.5120	0.2073	-0.0109
4	1.0050	0.5114	0.2064	-0.0109
6	1.0074	0.5108	0.2058	-0.0065
8	1.0093	0.5104	0.2053	-0.0065
10	1.0108	0.5100	0.2049	-0.0065

기 때문에 SNR이 증가함에 따라 전체적인 성능이 향상되고 잡음에 의해 상대적으로 추정이 잘 되지 않은 작은 진폭을 갖는 신호에 대한 성능 향상이 더 크게 이루어짐을 나타내는 것으로 여겨진다. 이를 수치적인 예로 나타내면 첫 번째 보정 정현파의 진폭에 대한 추정은 0 dB 일 때 0.2 % 및 10 dB 일 때에 1.08 % 오류가 생긴 반면 두 번째 경우에는 각각 2.56 %에서 2.0 %로 낮아졌으며 세 번째 경우에는 4.25 %에서 2.45 %로 낮아진 것을 확인할 수 있다. 위상의 경우에 있어서는 SNR의 증가 변화에 따른 영향이 진폭에 비해 상대적으로 낮은 것으로 확인 되었다. 수치적인 예를 들면, 0-4 dB에서 추정 오류가 0.17 %로 변함이 없으며 6-10 dB에서 약간 성능이 향상되었지만 0.10 %로 거의 변화가 없는 것이 관찰 되었다.

### 3.2 실측 데이터 분석

제안된 알고리즘을 사용하여 실제적인 Loran-C 신호를 측정하였을 때 얼마나 성능 향상을 가져올 수 있는지에 대해 살펴보기 위해 실제로 측정된 Loran-C 신호에 대해 일변 효과를 보정한 후의 성능 향상에 대해서 분석하였다.

성능 분석을 위해 9 일 동안에 1 분 간격으로 측정된 Loran-C 데이터를 사용하였다. 그림 5에는 실측된 신호와 이의 하루 주기에 대한 스무딩 결과에 대해 나타내었다. 그림 5에서 볼 수 있는 것처럼 실제로 측정된 데이터에는 하루 주기로 비슷한 패턴이 반복되어지고 있고, 또한 이러한 하루 주기 신호의 파형은 진폭 및 위상에서 상당한 차이를 가지

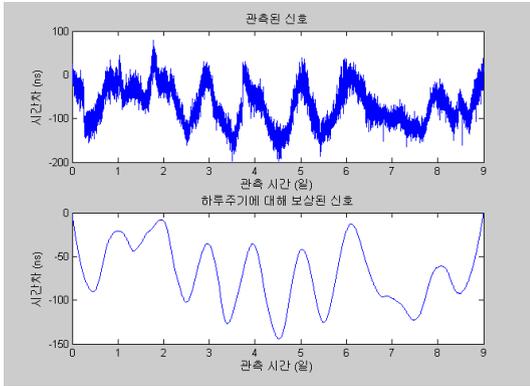


그림 5. 실제 측정된 Loran-C 신호 및 이에 대한 하루주기로 스무딩된 신호  
 Fig. 5. Measured Loran-C signal and its smoothed signal with one-day smoothing interval

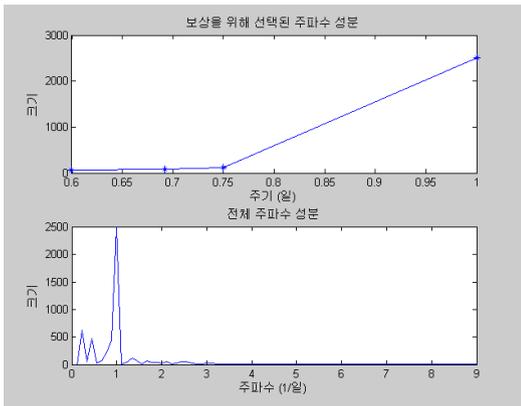


그림 6. LSSA 알고리즘에 의해 추정된 주파수 및 보정을 위해 선택된 주파수 전력.  
 Fig. 6. Spectral powers of the estimated frequencies and the selected frequencies for compensation

고 있음을 알 수 있다. 그림 6에는 LSSA 알고리즘을 사용하여 추정한 주파수 성분 및 이의 전력 값을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 하루 주기 성분이 가장 크고 다음으로 2일 4일의 주기 성분 및 하루 이하의 성분도 같이 존재함을 알 수 있다.

지상파 신호에 있어서는 하루 이하의 주파수 성분이 반복적으로 나타나기 때문에 하루 이하의 주파수 성분에 대해 보정해 주는 것으로 충분하므로, 그림 6의 위쪽 그래프에는 실제로 보정에 사용하기 위한 하루 주기 이하의 주파수 성분 및 이의 전력을 나타내었으며, 또한 주파수 주기를 쉽게 알 수 있도록 주파수의 역수인 주기 성분으로 표시하였다. 그림 7에는 보정을 위해 선택된 개별 주파수 성분 (1, 0.75, 0.65, 0.5 일)에 해당하는 보정 파형에 대

해서 순서대로 나타내었다. 이러한 신호는 제안된 알고리즘을 사용하여 추정된 진폭 및 위상을 사용하여 구하였으며, 개별적인 주파수 성분의 진폭에 대해서는 각각 46.47, 9.79, 7.98, 7.71 ns 및 위상에 대해서 공통적으로 0.1778 rad 이 추정되었다.

그림 8에는 각각의 보정 신호를 합하여 구해진 일반 효과를 제거하기 위해 추정된 전체 보정 신호 및 이를 사용하여 보정한 후의 신호에 대해서 나타내었다. 그림 2의 본래 신호와 그림 8의 일반효과가 보정된 신호를 살펴보면 주기성분에 대해서 보정된 현상이 나타남을 관측할 수 있다. 이를 구체적인 수치 값으로 살펴보기 위해 표 2에 이동평균 간격에 따른 본래 신호 및 보정 후 신호에 대한 평균과 표준편차의 값을 나타내었다. 표 2에서 볼 수 있는 것

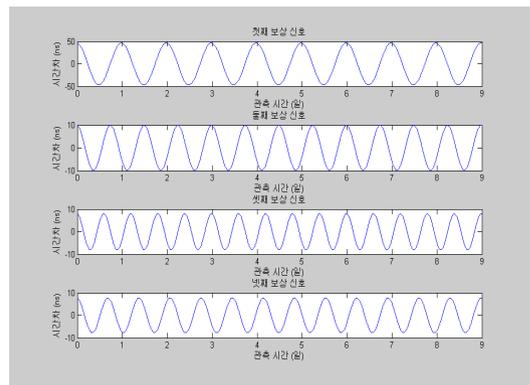


그림 7. 선택된 주파수 성분에 대한 추정된 개별적인 보정 신호  
 Fig. 7. Estimated individual compensation signals of the selected frequency components

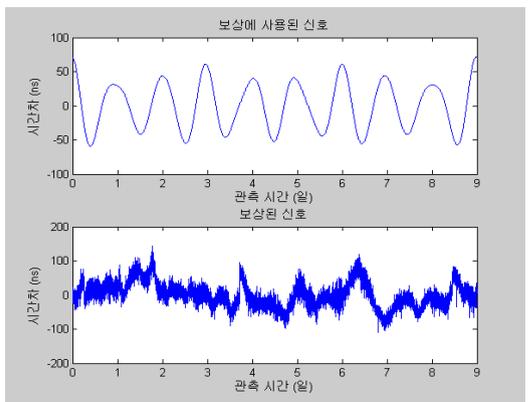


그림 8. 일반효과 보정을 위해 추정된 신호 및 보정된 후의 신호  
 Fig. 8. Estimated signal for compensating diurnal effect and the signal after compensation

표 2. 이동평균 간격에 따른 본래 신호 및 보정된 신호에 대한 평균 및 표준편차.  
Table 2. Means and standard deviations of the original and compensated signals versus moving average intervals.

이동 평균 크기 (분)	본래 신호		보정된 신호	
	평균 (ns)	표준편차 (ns)	평균 (ns)	표준편차 (ns)
5	-69.83	42.96	-0.18	33.54
10	-69.85	42.74	-0.18	33.29
20	-69.91	42.58	-0.18	33.14
30	-69.96	42.48	-0.17	33.06
60	-70.11	42.19	-0.16	32.87

처럼 두 신호 모두에 대해서 이동평균 간격의 변화에 대해 평균값의 변화는 거의 없는 것을 관찰할 수 있다. 이는 측정된 데이터에 평균값에 대한 바이어스가 없이 거의 일정한 값을 유지하고 있음을 나타내 주는 것이다.

또한 이동 평균 간격을 증가시킴으로 해서 얻을 수 있는 성능은 그리 크지 않다는 것을 알 수 있으며, 이는 하루 동안의 주기 성분을 갖는 데이터에 있어서 60 분 이내의 이동 평균에 의한 영향이 거의 없음을 의미한다. 따라서 굳이 이동 평균 간격을 크게 사용할 필요 없이 5분 정도의 간격을 사용해도 성능에는 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 측정 시스템에서 측정된 데이터가 가우시안 분포를 가지고 있다고 가정할 때 95 %의 신뢰도에 대한 불확도의 값은  $2\sigma$ 로 주어진다. 따라서 보정후 얻어지는 성능 향상은 대략 19.68 ns 이고 이를 거리로 환산하면 대략 6 m 정도이다. 성능 향상에 대해 %로 살펴보면 대략 22 % 정도의 성능 향상을 가져올 수 있음을 확인할 수 있다. 또한 항법에 사용할 경우 ASF 보정 이후에 대략 20 m 이내의 값을 가질 수 있음을 관찰할 수 있고 이는 현재 자동차 항법에서 사용하는 네비게이터가 크게는 수십 m의 오차를 가지고 있음을 고려할 때 자동차용 항법에서 백업용으로 충분히 사용할 수 있음을 의미한다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 최소제곱전력분석(LSSA) 알고리즘을 사용하여 주기성을 갖는 주파수 성분을 분석하고 이에 대해서 보정해줌으로써 Loran-C와 같은 지상파 신호의 항법 성능 향상 방법에 대해서 기술하였다. 이를 위해 지상파 신호의 항법 성능에 큰

영향을 미치는 요소 중 하나인 일변효과와의 영향을 보정해 주기 위한 방법에 대해서 논하였으며, 본 논문에서는 LSSA 알고리즘을 사용하여 신호에 포함되어 있는 주기 성분을 검출하고 이의 진폭 및 위상을 추정하여 보정 신호를 생성하기 위한 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘에 대한 성능 분석은 모의실험을 통해서 이루어졌다. 모의실험에서는 서로 다른 진폭 및 주기를 갖는 3개의 코사인 정현파에 평균이 0인 백색 가우시안 잡음이 더해진 신호를 사용하였다. 모의실험 결과 생성된 전체 신호에 대한 신호대잡음비가 0 dB인 상당히 열악한 수신환경에서 제일 큰 진폭을 갖는 신호에 대해서는 0.2 % 및 제일 작은 진폭을 갖는 신호에 대해서는 4.25 %의 오류를 가지고 추정할 수 있음을 관측하였다. 또한 위상 측정에 있어서는 신호대잡음비에 큰 영향을 받지 않고 0.17 % 이내의 오류를 가지고 추정할 수 있음을 확인하였다. 따라서, 이의 모의실험을 통해 제안된 알고리즘을 사용하여 신호에 포함되어져 있는 주기 성분을 효과적으로 추정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

또한 실제적인 환경에서의 활용 가능성을 고찰하기 위해 9 일 동안 측정된 Loran-C 데이터에 대해서 LSSA 알고리즘을 통해 하루 이내의 주파수 성분에 대한 진폭 및 위상을 추정하여 보정신호를 생성하고 이를 원래 신호에서 빼줌으로써 구해진 보정 후의 신호에 대해 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과 1 시간 이내의 이동 평균 간격을 사용하였을 경우 대략 22 % 정도의 성능 향상을 가져올 수 있음을 확인하였고, Loran-C 신호를 사용하였을 경우에 있어서 타이밍 오차만을 고려했을 때 5 분의 이동 평균 간격을 사용하여 대략 20 m 이내의 항법 성능을 얻을 수 있음을 고찰하였다. 이는 현재 자동차 항법에 GPS 위성을 이용하여 구하는 항법 성능이 크게는 수십 m 이내인 점을 고려하면 상당히 고무적인 결과라 할 수 있다. 물론 타이밍 오차가 곧 바로 항법 오차로 적용되지는 않지만 자동차 항법에 GPS 백업 또는 GPS 위성 신호가 미약한 지역에서 대체 항법 신호로 사용할 수 있다는 점에서 의미가 있다.

현재 유럽 및 미국에서는 GNSS 위성 신호에 대한 백업 및 대체 항법 신호로 지상파 신호인 Loran-C 신호를 활용하기 위해서 시스템의 근대화 및 신호 개선 방안에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있고 멀지 않은 미래에 이런 시스템의 활용이 가능해 질 것으로 여겨진다. 또한 독자적인 항법 시스템을 가지고 있지 않은 우리나라에서도 두 개의 Loran-C 기준국을 활

용하여 항법 시스템을 구축하기 위한 노력이 가시화 되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 지상과 신호의 항법을 위해 항법성능에 큰 영향을 주는 일변효과를 보정하는데 있어서 본 논문에서 제안한 방안이 활용 될 수 있을 것이라 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Loran Tech. Eval. Final Report, Loran's Capability to Mitigae the Impact of a GPS Outage on GPS Position, Navigation, and Time Applications, Mar. 2004.

[2] B. Peterson, K. Dykstra, P. Swasxzek, K. Carroll, "Differential Loran," *International Loran Association 32nd Annual Convention and Technical Symposium*, Nov. 2003.

[3] N. R. Lomb, "Least-squares frequency analysis of unequally spaced data," *Astro- physics and Space Science* 39, pp.447-462, 1976.

[4] J. D. Scargle, "Studies in astronomical time series analysis II: Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data," *Astrophysics and Space Science* 302, pp.757-763, 1982.

[5] E. F. Glynn, J. Chen, A. R. Mushegian, "Detecting periodic patterns in unevenly spaced gene expression time series using Lomb-Scargle periodograms," *Bioinformatics*, Vol.22, No.3, pp.310-316, 2006.

**이 영 규 (Young-kyu Lee)** 정회원  
  
 1995년 2월 전북대학교 전자공학과졸업  
 1997년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 석사  
 2002년 8월 광주과학기술원 정보통신공학과 박사  
 2002년 11월~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 선임연구원  
 <관심분야> 위성 응용 시각 비교 및 동기, 통신망 동기, 유비쿼터스 측위

**이 창 복 (Chang-bok Lee)** 정회원  
  
 1980년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업  
 1982년 2월 서강대학교 전자공학과 석사  
 1994년 2월 서강대학교 전자공학과 박사  
 1982년 3월~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 책임연구원  
 <관심분야> 위성, 지상과 이용 시각 비교 및 동기

**양 성 훈 (Sung-hoon Yang)** 정회원  
  
 1984년 2월 광운대학교 전자공학과졸업  
 1997년 8월 충남대학교 전자공학과 석사  
 1984년 1월~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 책임기술원  
 <관심분야> 위성 응용 시각 비교 및 동기

**이 종 구 (Jong-koo Lee)** 정회원  
  
 1989년 2월 청주대학교 응용통계학과졸업  
 1989년 3월~현재 한국표준과학연구원 기반표준부 기술원  
 <관심분야> 시각 시스템 교정 및 통계 추정

**공 현 동 (Hyun-dong Kong)** 정회원  
  
 1983년 2월 인하대학교 해양학과 졸업  
 1985년 2월 인하대학교 해양학과 석사  
 2007년 2월 한국해양대학교 운항시스템공학과 박사  
 1999년 6월~2002년 4월 해양수산부 울산지방해양수산청 해양교통시설과장  
 2002년 4월~2004년 4월 해양수산부 국립등대 박물관장  
 2004년 4월~2007년 2월 해양수산부 위성항법 담당  
 2007년 2월~2008년 7월 국토해양부 위성항법 중앙사무소장  
 2008년 7월~현재 국토해양부 제주해양관리단 해양교통시설 팀장  
 <관심분야> 위성항법시스템(GNSS) 측위정확도 분석 및 활용