

소프트웨어 기반 Loran-C 신호 처리

Software-Based Loran-C Signal Processing

임 준 혁, 임 성 혁, 김 우 현, 지 규 인*

(Jun-Hyuck Im, Sung-Hyuck Im, Woo-Hyun Kim, and Gyu-In Jee)

Abstract: With GPS being the primary navigation system, Loran use is in steep decline. However, according to the final report of vulnerability assessment of the transportation infrastructure relying on the global positioning system prepared by the John A. Volpe National Transportation Systems Center, there are current attempts to enhance and re-popularize Loran as a GPS backup system through the characteristic of the ground based low frequency navigation system. To advance the Loran system such as Loran-C modernization and eLoran development, research is definitely needed in the field of Loran-C receiver signal processing as well as Loran-C signal design and the technology of a receiver. We have developed a set of Matlab tools, which implement a software Loran-C receiver that performs the receiver's position determination through the following procedure. The procedure consists of receiving the Loran-C signal, cycle selection, calculation of the TDOA and range, and receiver's position determination through the Least Square Method. We experiences the effect of an incorrect cycle selection and various error factors (ECD, ASF, sky wave, CRI, etc.) from the result of the Loran-C signal processing. It is apparent that researches which focus on the elimination and mitigation of various error factors need to be investigated on a software Loran-C receiver. These aspects will be explored in further work through the method such as PLL and Kalman filtering.

Keywords: loran-C, GPS, signal-processing, software-receiver, positioning

I. 서론

Loran (Long Range Navigation)은 미국이 개발한 장거리 전파 항법시스템으로, Loran-A, Loran-B를 거쳐 1958년에 Loran-C로 개선되어 운영되기 시작하였다. Loran-C는 약 2,000km의 적용 범위와 450m(95%)의 정확도를 가지고 있다. 한국 지역에서도 Loran-C 시스템이 현재 국토해양부 해상무선표지소에 의해 운영되고 있다. GPS가 개발되어 전세계적으로 활발히 사용된 이후에는 Loran-C의 사용은 현저히 감소하여 현재는 일부 분야에서만 이용되고 있다. 그러나 최근 Loran-C는 지상 기반의 장파항법시스템이라는 특성에 의해 위성항법시스템인 GPS를 보완할 수 있는 대체시스템 혹은 보완시스템으로서 다시금 그 역할이 주목을 받고 있다. 이에 따라 미국은 자국 내 Loran-C 시스템을 현대화했으며 성능을 보다 개선시킨 eLoran (enhanced Loran)을 개발 중에 있다. 이 시스템은 20m 정도의 정확도를 가질 것이라 보고되고 있다.

한국에서도 Loran-C의 성능을 개선하여 eLoran 시스템으로 고도화하는 경우 외국의 위성항법시스템에 대응할 수 있는 국가 전파항법 인프라로서의 사용이 가능하다. Loran-C의 성능 향상을 위한 방안들이 국내에서도 연구되고 있고 특히 Loran-C의 주요 오차요인 중에 하나인 ASF (Additional Secondary phase Factor) 보정에 대한 연구들이 진행되고 있다 [1]. 성능이 향상되는 eLoran 시스템의 핵심 중에 하나는 기존 Loran-C 항법신호 체계를 바꾸는 것이며 이에 대응하기 위해서는 Loran-C 신호를 수신하여 처리하는 수신기 신호처

리 기술에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 이를 위해 Loran-C 전파 항법신호를 수신하여 신호를 획득한 후 거리정보를 추출하고 이를 기반으로 수신기의 위치를 구하는 Loran-C 수신기 신호처리 과정을 소프트웨어 기반으로 구현하였다. 향후 이를 소프트웨어 Loran-C 수신기 플랫폼으로 확장할 수 있으며 이를 바탕으로 새로운 eLoran 시스템을 위한 신호설계 및 수신기 기술에 대한 연구를 수행할 수 있다.

II 장에서는 Loran-C의 측위원리와 신호체계 등 Loran-C의 기술개요가 소개되고 III 장에서는 송신국으로부터 전송되는 신호를 획득하는 과정 그리고 IV 장에서는 거리를 측정하기 위해 가장 기본이 되는 싸이클 결정 과정을 서술한다. V 장에서는 TDOA 기반 위치결정 과정이 서술되며 VI 장과 VII 장에서는 실제 수신된 Loran-C 신호를 이용한 수신기 신호처리 결과 및 오차요인에 대한 분석 결과를 보인다.

II. Loran-C의 기술 개요

1. LORAN-C의 측위 원리

Loran-C는 하나의 주국과 2개 이상의 종국으로 구성되어 있으며 각 송신국은 90~110kHz 대역의 전파 항법신호를 송신한다. 수신기는 체인을 구성하고 있는 송신국들로부터 수신된 신호의 TDOA (Time Difference of Arrival)를 이용하여 사용자의 위치를 결정한다. 여기서 TDOA란 주국의 신호가 사용자까지 도달하는데 걸리는 시간과 종국의 신호가 사용자까지 도달하는데 걸리는 시간의 차를 의미한다.

그림 1은 Loran-C 위치 결정의 기본 개념을 설명한다. 주국(M)과 종국(S1) 사이의 TDOA를 알면 ①과 같이 주국과 종국 사이의 거리차이가 같은 곡선 즉, 쌍곡선을 평면상에 그릴 수 있다. 마찬가지로 주국과 또 다른 하나의 종국(S2)의 TDOA를 알면 ②와 같은 쌍곡선이 그려지고, 두 쌍곡선의 교점이 바로 사용자의 위치가 된다[3].

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 10. 21., 수정: 2009. 11. 26., 채택확정: 2009. 12. 29.

임준혁, 임성혁: 건국대학교 전자정보통신공학과

(junhyuck@konkuk.ac.kr/shim@konkuk.ac.kr)

김우현: 서울대학교 전기컴퓨터공학부(whyun77@snu.ac.kr)

지규인: 건국대학교 전자공학과(gijee@konkuk.ac.kr)

* 본 연구는 협동연구개발과제(항공응용을 위한 다중 GNSS의 RAIM 연구)에 의하여 연구되었음.

* 상기 논문은 KACC2009 학술대회에서 초안이 발표되었습니다.

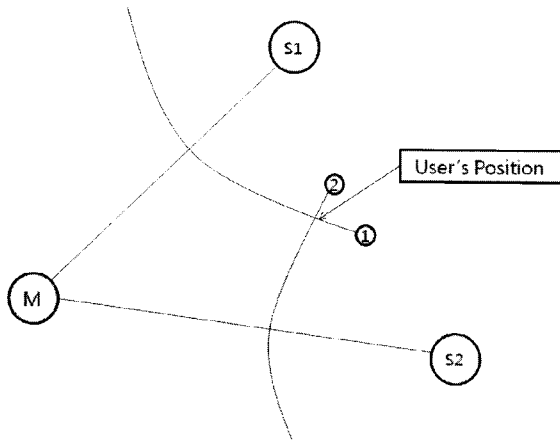


그림 1. Loran-C의 측위 원리(쌍곡선의 원리).

Fig. 1. The principle of Loran-C positioning.

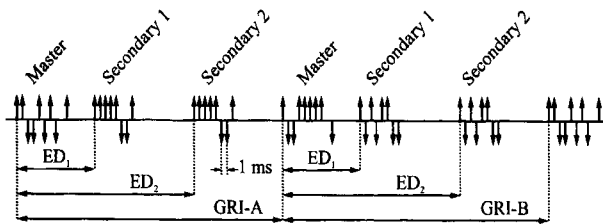


그림 2. Loran-C 체인의 PCI 전송 열.

Fig. 2. Phase code interval (PCI) transmission sequence of a Loran-C chain.

2. LORAN-C 신호의 구성

Loran-C 시스템은 송신국들의 체인으로 구성되어 있다. 일반적으로, 송신국들간의 거리는 500km에서 1500km이고, 각각의 체인은 하나의 주국과 둘에서 다섯 개의 종국들로 구성되어 있다. 체인의 각 송신국은 100kHz 반송 주파수를 가진 펄스를 전파하고 이런 신호들은 지표면을 따라 전파된다.

그림 2는 Loran-C 한 체인의 전송 열의 구성을 나타낸다. 주국이 아홉 개의 펄스 군을 전파한다. 그 후 각 종국들은 ED (Emission Delay)만큼의 일정한 시간 후에 여덟 개의 펄스 군을 전파한다. ED는 한 체인의 적용 범위 안의 어디에서도 두 송신국으로부터 수신된 신호가 겹쳐지지 않도록 선택된다. 모든 열은 GRI (Group Repetition Interval)마다 반복되고 GRI는 10 μs 단위의 4자리수로 나타낸다. 예를 들어, 한국이 운영하는 Korea 체인은 GRI 9930이고, 이것은 99300 μs 마다 신호가 반복된다는 의미이다. 각각의 펄스들은 1 ms 간격으로 전파되고 주국의 아홉 번째 펄스만이 여덟 번째 펄스의 2ms 후에 전파된다.

전송되는 Loran-C 펄스는 그림 3에서와 같이 잘 정의된 모양을 따른다. 펄스의 상승 시간은 20kHz의 대역폭 안에 전송된 파워의 99%를 한정하기 위해 제한된다. 주국과 종국 사이의 전송 신호를 구별하기 위해 각각의 펄스에는 위상 코드가 더해진다. 이 위상 코드는 2번의 GRI 시간 간격을 갖는 PCI (Phase Code Interval)마다 반복된다. 그림 2의 수직 화살표가 Loran-C 펄스의 전송을 나타낸다. 위로 향한 화살표가 0 라디안의 위상 코드 아래로 향한 화살표가 π 라디안의 위상 코드를 나타낸다. 표 1은 주국과 종국의 위상 코드 열이

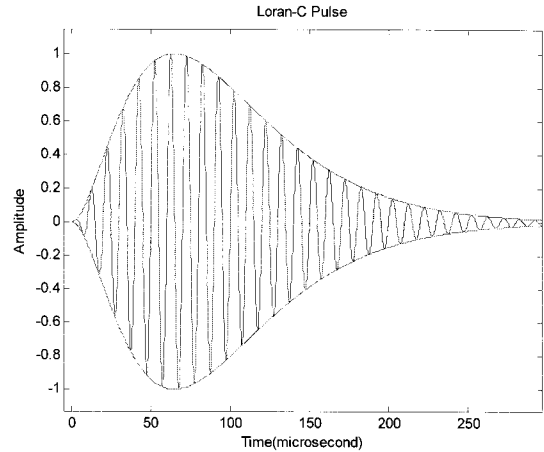


그림 3. Loran-C 펄스.

Fig. 3. Loran-C pulse.

표 1. 주국과 종국의 위상 코드 (+가 0 라디안, -가 π 라디안을 나타낸다).

Table 1. Phase code for Master and Secondary (+ indicates 0 radians, - indicates π radians).

	Master Station	Secondary Station
GRI A	+- -+ -+ -+ -	+++++--+
GRI B	+ - -+ + + + + -	+ - -+ + + - -

다[2,3].

전송된 펄스는 수학적으로 다음과 같다[4].

$$v(t) = A \cdot t^2 \cdot \exp\left[-\frac{2t}{t_p}\right] \cdot \sin(\omega t + PC) \tag{1}$$

여기서

A는 펄스의 최대 진폭,

t는 시간(단위: microsecond),

t_p는 펄스가 최대값에 도달하는 시상수(65 μs),

ω는 각주파수(2π · 100000 rad/s),

PC는 0 또는 π 라디안의 위상 코드이다.

III. Loran-C 신호의 획득

그림 4는 Loran-C 수신기 안테나를 통해 수신된 GRI 9930 체인의 실제 전파신호이다. 이 상태에서는 이 신호가 어느 체인의 신호인지 어떤 신호열이 주국의 신호이고 어떤 신호열이 종국의 신호인지 알 수 없다. 일반적으로 수신기에 수신되는 신호에는 한 체인의 신호가 아닌 여러 체인의 신호가 공존하게 되며 우리가 원하는 체인이 아닌 이웃하는 체인의 신호들은 간섭 신호들로 작용한다. 이것을 CRI (Cross Rate Interference)라고 한다.

원하는 Loran-C 신호를 획득하기 위해서는 우선 기본적으로 수신 신호에 섞여있는 CRI와 잡음성분을 제거해야 한다. 이를 위해 Loran-C 신호가 PCI 주기로 계속 반복된다는 성질을 이용한다. 수신된 신호를 PCI 주기로 적산하면 원하는 신호들의 세기는 계속 커지고 다른 체인의 신호들은 불규칙한 잡음처럼 간주되어 결국 적산된 신호의 세기는 작아지게 된다.

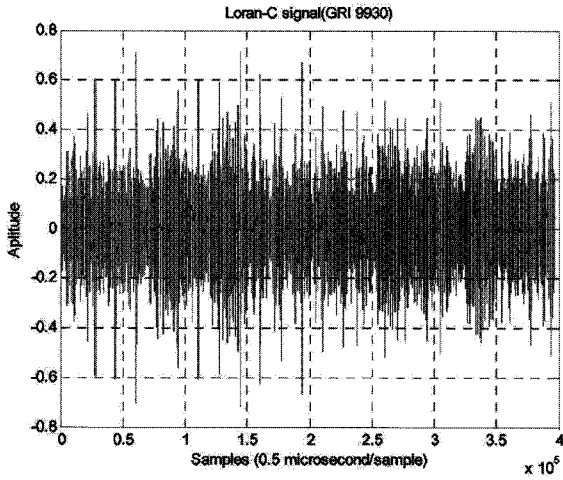


그림 4. 수신된 Loran-C 전파신호 (GRI 9930).
Fig. 4. Received Loran-C signal (GRI 9930).

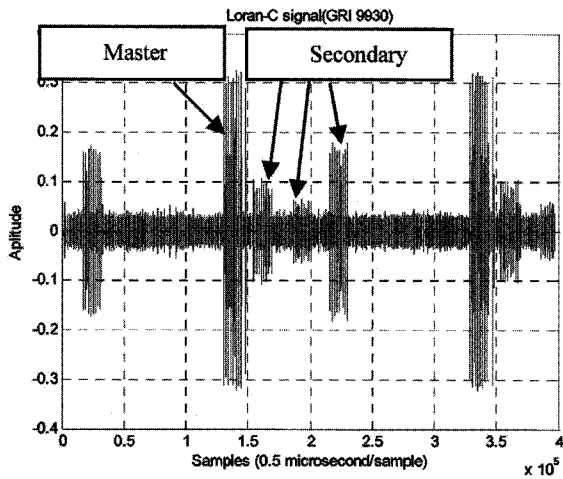


그림 5. PCI 주기로 100회 적산한 신호.
Fig. 5. Integrated signal for 100 times PCI period.

그림 5는 198600 μs (PCI: GRI의 2배) 주기로 100회 적산한 신호이다. 주국(master station)의 신호는 종국(secondary station)의 신호들과 다르게 펄스가 신호열의 끝부분에 하나 더 있다. 이를 이용하여 주국과 종국들의 신호를 구분할 수 있으며 우리가 원하는 체인의 신호를 획득하게 된다[5].

IV. Loran-C 싸이클 결정 및 TDOA 계산

Loran-C 신호의 정확한 수신 시간은 그림 3에서 보이는 펄스의 영 교차점을 기준으로 하여 측정한다. 일반적으로 Loran-C 수신기는 TDOA를 결정하기 위해 이 펄스의 세 번째 영 교차점(30 μs)을 추적한다. 왜냐하면 이 지점에서 공중파(sky wave) 즉, 전리층에 반사되어 뒤늦게 수신기에 도달하는 Loran-C 전파신호성분의 간섭을 받지 않기 때문이다. 세 번째 영 교차점에서 펄스의 포락선은 최대 진폭의 5/8이고 수신기에서는 이 교차점을 Loran-C 펄스의 포락선 특성을 이용하여 찾는다. 그러나 일반적인 경우 수신된 전파의 파형은 왜곡되어 있기 때문에 이러한 과정이 쉽지 않다. 더욱이 수신기의 프론트엔드 또는 디지털 필터에서 사용되는 대역통과 필터와 노치필터들은 포락선과 위상과의 관계를 변화

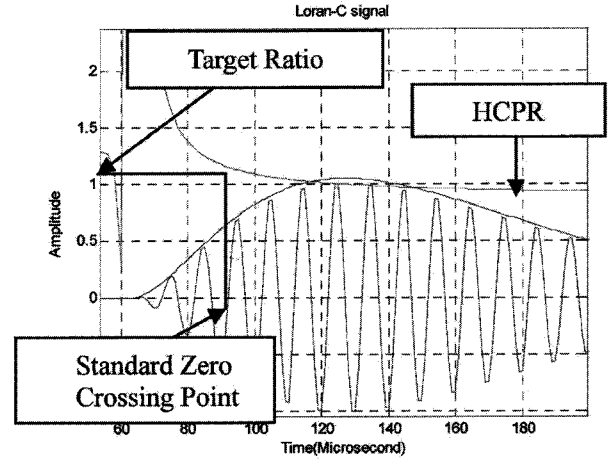


그림 6. HCPR을 이용한 세 번째 영 교차점 결정.
Fig. 6. Determination of standard zero crossing point using HCPR.

게 하는 원인이 된다.

Loran-C의 측위 과정에서 가장 중요한 과정중의 하나가 이러한 세 번째 영 교차점을 찾는 세 번째 영 교차점의 싸이클 결정이다. 세 번째 영 교차점을 결정하기 위해 본 논문에서는 HCPR (Half Cycle Peak Ratio)를 이용한다[3,6,7].

HCPR의 수식은 다음과 같다.

$$h(t) = \frac{env(t+2.5)}{env(t-2.5)} = \left(\frac{t+2.5}{t-2.5} \right)^2 \exp[-10/65] \quad (2)$$

여기서 $env(t)$ 는 포락선(envelope)만의 함수이고, t 가 30 μs (세 번째 영 교차점)일 때의 값을 기준으로 정한다.

그림 6은 HCPR 값을 이용하여 세 번째 영 교차점을 구하는 방법을 나타낸다. 이 그림에서와 같이, 기준치를 식 (2)에서 결정 후 획득된 신호로부터 HCPR 값을 구하여 역으로 세 번째 영 교차점인 30 μs 지점을 찾는다. 그러나 실제 신호에서는 포락선과 싸이클 사이의 군 지연(group delay)에 의한 ECD (Envelope to Cycle Difference)가 발생한다. 30 μs 지점을 찾는데 있어 ECD값이 $\pm 5 \mu s$ 안에 있다면 위상 측정 오차는 문제가 되지 않지만, 만약 그 밖으로 벗어난다면 영 교차점을 잘못 찾게 되어 최소한 3km의 거리 오차가 발생한다. 그러나 위치 해는 주국과 종국 사이의 TDOA에 의해서 구해지기 때문에 특정한 상황에서는 실제 위치 오차에 미치는 영향이 더 작아질 수도 있다.

그림 6에서와 같이 세 번째 영 교차점(standard zero crossing point)을 찾은 후 이를 기준으로 하여 TDOA를 구한다. 그림 7은 주국과 종국들간에 TDOA의 계산 과정을 보여준다. 그림 7의 내용을 수식으로 나타내면 다음과 같다[2,7].

$$TD = ED + T_s - T_M \quad (3)$$

$$TDOA = T_s - T_M = TD - ED \quad (4)$$

여기서 TD 는 수신기에서 측정된 주국과 종국 신호의 도착 시간 차이(time difference), ED 는 이미 알려진 종국의 방사 지연 시간(emission delay), T_M 은 주국 신호가 수신기까지 전파되는데 걸리는 시간, T_s 는 종국 신호가 수신기까지 전

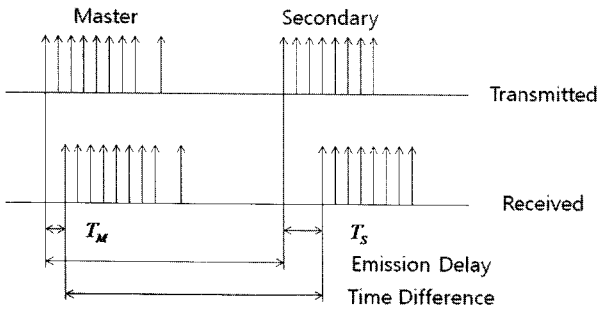


그림 7. Time Difference(TD)로부터 TDOA의 계산.
Fig. 7. Calculation of TDOA from time difference.

파되는데 걸리는 시간이다.

식 (4)에서 TD는 수신기에서 수신된 주국과 종국 신호의 세 번째 영 교차점 사이의 차이에 의해서 측정되고 ED는 특정한 체인에 대해 정해져 있는 값이므로 이 값들의 차이인 TDOA를 계산한다. 이러한 방식으로 수신기가 수신한 체인에 속해있는 모든 종국과 주국 사이의 TDOA를 계산한다.

V. Loran-C 위치 계산

Loran-C에서 측정된 거리는 송신국과 수신기 사이의 3차원 공간 상의 직선거리에 해당하지 않고 지구 타원체 위의 두 점 사이의 호의 거리에 해당한다. 왜냐하면 Loran-C에서는 장파 전파의 주파수 특성상 지상파 성분을 이용하기 때문이다. 본 논문에서는 최소 자승법(Least Square Method)을 이용하여 지구타원체 위에서 수신기의 위치를 계산하였다.

지구를 구로 가정하면 지구 상의 임의의 두 점 사이의 호의 거리를 구하는 공식은 다음과 같다[5].

$$D = 2r \tan^{-1} \left[\frac{\left\{ \frac{\sin^2\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{2}\right) + \cos\theta_1 \cos\theta_2 \sin^2\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right)}{1 - \left(\sin^2\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{2}\right) + \cos\theta_1 \cos\theta_2 \sin^2\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right)\right)} \right\}^{\frac{1}{2}}}{1} \right] \quad (5)$$

여기서 θ 는 위도를, ϕ 는 경도를 나타내고, r 은 지구의 평균 반지름(약 6371km)이다.

식 (5)를 이용하여 사용자로부터 주국과 종국들까지의 거리를 구하여 상대적인 거리 차이를 구할 수 있다. 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$h_n(\theta_u, \phi_u) = D_M(\theta_u, \phi_u) - D_n(\theta_u, \phi_u) \quad (n=1,2,3,4) \quad (6)$$

여기서 (θ_u, ϕ_u) 는 사용자의 위치, h_n 은 사용자로부터 주국과 n 번째 종국의 거리 차(TDOA를 거리로 환산한 값), D_M 은 사용자와 주국 간의 거리, D_n 은 사용자와 각각의 종국들 간의 거리, n 의 1, 2, 3, 4는 각각 W, X, Y, Z의 종국(일반적으로 종국을 W, X, Y, Z로 표시함)을 나타낸다.

식 (6)에서 h_n 은 사용자의 위치를 변수로 갖는 함수이다. y 를 h_n 의 함수 값, 즉 사용자로부터 주국과 종국들의 거리 차이라고 하고, x 를 사용자의 위치 (θ_u, ϕ_u) 라고 하면 TDOA 측정값은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$y = h_n(x) = h_n(\theta_u, \phi_u) \quad (7)$$

이 식은 다음과 같이 선형화 할 수 있다.

$$(y - y_0) = H \Big|_{x=x_0} (x - x_0) \quad (8)$$

여기서 $y - y_0$ 는 수신기의 측정값인 TD로부터 구해질 수 있는 거리차이(y)와 직전 시간의 위치에서 거리차이(y_0)의 차 즉, 거리차이의 변화 량(Δy) 이고, $(x - x_0)$ 는 사용자의 위치 변화 량(Δx)이다. H 는 다음과 같다.

$$H = \begin{pmatrix} \partial h_1 / \partial \theta_u & \partial h_1 / \partial \phi_u \\ \partial h_2 / \partial \theta_u & \partial h_2 / \partial \phi_u \\ \partial h_3 / \partial \theta_u & \partial h_3 / \partial \phi_u \\ \partial h_4 / \partial \theta_u & \partial h_4 / \partial \phi_u \end{pmatrix} \quad (9)$$

식 (9)에서 각각의 미분 값은 다음과 같다.

$$\frac{\partial h_n}{\partial \theta_u} = \frac{r}{\sqrt{A} \sqrt{1-A}} \left[\frac{1}{2} \sin(\theta_u - \theta_m) - \sin \theta_u \cos \theta_m \sin^2 \left\{ \frac{(\phi_u - \phi_m)}{2} \right\} \right] \quad (10)$$

$$- \frac{r}{\sqrt{A_n} \sqrt{1-A_n}} \left[\frac{1}{2} \sin(\theta_u - \theta_n) - \sin \theta_u \cos \theta_n \sin^2 \left\{ \frac{(\phi_u - \phi_n)}{2} \right\} \right]$$

$$\frac{\partial h_n}{\partial \phi_u} = \frac{r}{\sqrt{A} \sqrt{1-A}} \left[\frac{1}{2} \cos \theta_u \cos \theta_m \sin(\phi_u - \phi_m) \right] \quad (11)$$

$$- \frac{r}{\sqrt{A_n} \sqrt{1-A_n}} \left[\frac{1}{2} \cos \theta_u \cos \theta_n \sin(\phi_u - \phi_n) \right]$$

이 때

$$A = \sin^2 \left\{ \frac{(\theta_u - \theta_m)}{2} \right\} + \cos \theta_u \cos \theta_m \sin^2 \left\{ \frac{(\phi_u - \phi_m)}{2} \right\} \quad (12)$$

$$A_n = \sin^2 \left\{ \frac{(\theta_u - \theta_n)}{2} \right\} + \cos \theta_u \cos \theta_n \sin^2 \left\{ \frac{(\phi_u - \phi_n)}{2} \right\} \quad (13)$$

이며 (θ_m, ϕ_m) 은 주국의 위치, (θ_n, ϕ_n) 은 종국들의 위치를 의미한다.

식 (8)을 다시 쓰면

$$\Delta y = H \Big|_{x=x_0} \Delta x \quad (14)$$

이고, 이 식을 Δy 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$\Delta x = (H^T H)^{-1} H^T \Big|_{x=x_0} \Delta y \quad (15)$$

수신기의 측정값으로부터 Δy 가 계산되고 H 의 값을 알고 있으므로 Δx 를 계산할 수 있고 최종적으로 사용자의 위치 (θ_u, ϕ_u) 가 구해진다.

VI. 측위 결과 및 오차 원인 분석

1. 측위 결과

본 논문에서 사용한 Loran-C 신호는 Loran-C 수신기의 RF 프론트엔드에서 수신되는 아날로그 신호를 A/D 변환하여 디지털로 수집하였다. GPS 신호와 9930 한국체인의 Loran-C 신

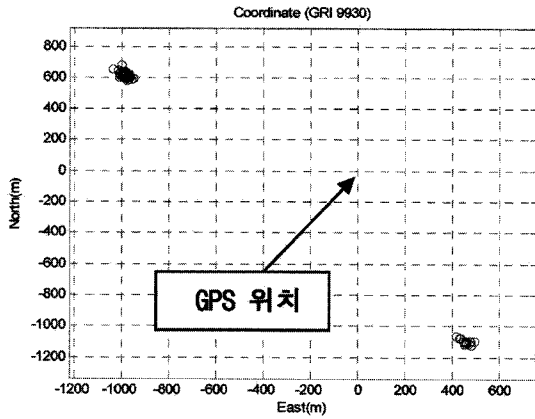


그림 8. 측위 오차.
Fig. 8. Positioning error.

호가 상대적으로 잘 수신되는 부산 지역의 한 곳에서 정지상태에서 데이터를 수신하였다. 또한 같은 지점에서 GPS 수신기를 사용하여 위치를 측정하였으며 이 GPS 위치를 기준으로 하여 Loran-C의 측위 정확도를 평가하였다.

본 논문에서는 수신된 Loran-C 디지털 신호를 Matlab을 이용하여 신호처리를 하였다. 그림 5에서 보여지는 신호들의 주국은 포항, 중국들은 순서대로 광주, 계사시, 니지마이다. 그러나 계사시의 신호는 세기가 너무 약해 신뢰할 수 없기 때문에 나머지 세 신호만을 이용하였다.

정지상태에서 수신한 신호이기 때문에 신호를 오랫동안 적산해도 무리가 없으므로 신호의 잡음을 충분히 없애기 위해 위치 해를 구하는데 300회 적산한 신호를 이용하였다. 약 1시간 동안의 데이터를 처리하였고 1분에 한번 위치정보를 계산하였다. 현 시점에서 측정된 TDOA 값에 대한 ECD, ASF 보정 등 별도의 오차보정은 수행하지 못하였다. 그림 8은 최종적으로 처리된 결과 즉, 측위 결과를 보여주며 GPS로 측정된 위치를 기준으로 한 위치오차를 나타낸다. 위치해가 두 지점으로 분산되어 나타나는 것을 볼 수 있으며 오차의 크기가 약 1,200m 정도로 Loran-C의 일반적인 정확도보다 떨어진 다. 이러한 오차에 대한 원인을 다음과 같이 분석할 수 있다.

2. 오차 원인 분석

우선 측위결과가 두 곳으로 분산되어 나타나는 경우에 대

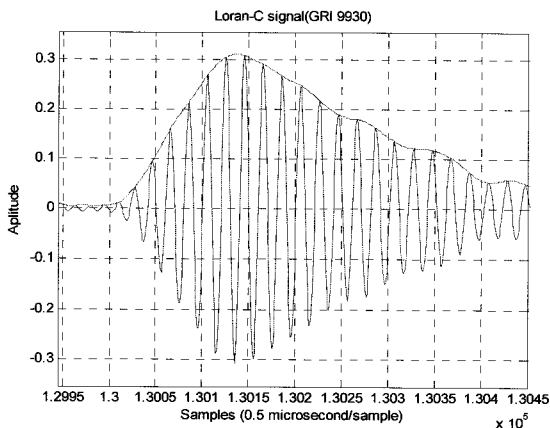


그림 9. 주국(포항)의 신호.
Fig. 9. Signal of master station.

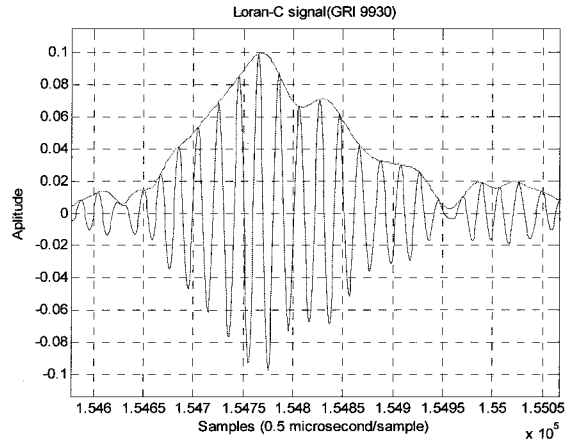


그림 10. W중국(광주)의 신호.
Fig. 10. Signal of W secondary station.

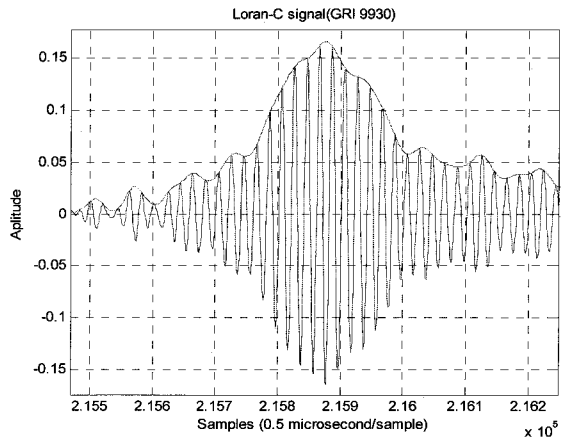


그림 11. Y중국(니지마)의 신호.
Fig. 11. Signal of Y secondary station.

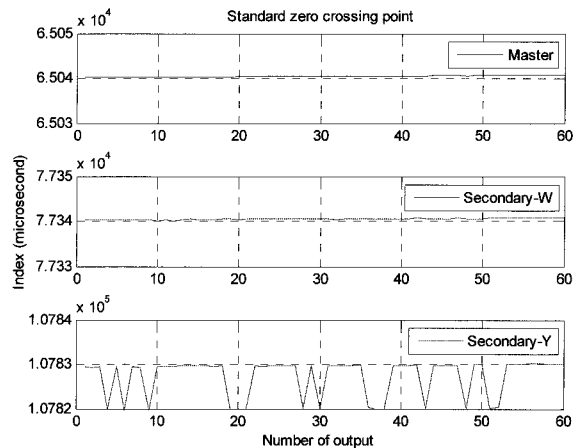


그림 12. 각 송신국 신호의 사이클 결정.
Fig. 12. Cycle identification of each station signal.

1000km)가 상당히 멀기 때문에 공중파의 영향까지 받게 되어 펄스의 상승 부분이 심각하게 왜곡이 된다. 이런 경우 포락선(envelope)의 왜곡으로 인해 HCPR 값에 영향을 주게 되고 결과적으로 세 번째 영 교차점의 결정에 나쁜 영향을 주기 때문에 잘못된 싸이클 결정을 하게 된다. 그림 12는 각 송신국 신호들의 세 번째 영 교차점을 찾은 결과이다.

그림 12에서와 같이 주국과 W중국의 신호에 대해서는 세 번째 영 교차점이 일정하게 찾아지지만, Y중국의 신호에 대해서는 잘못된 싸이클 결정을 하게 되는 경우가 발생하였다. 싸이클 결정이 잘못될 경우 Loran-C 신호의 한 싸이클이 10 μ s 이므로 최소 약 3km의 거리 오차가 발생한다. 이 결과 그림 8과 같이 위치해가 두 지점으로 나타나며 두 지점 사이의 위치 오차는 약 2.3km 정도이다. 이렇듯 잘못된 싸이클 결정에 의한 거리측정 오차가 발생하였을 때, 최종 위치 해의 오차는 한 체인의 송신국들의 수와 그 송신국들의 기하학적 배치에 의해 달라지게 된다[3].

그림 8의 측위결과, 싸이클 결정이 제대로 되었다 하더라도 측위 오차가 일반적인 Loran-C의 성능에 비해 큰 것을 알 수 있다. 이러한 오차의 원인은 무엇보다 ECD, Sky Wave, ASF (Additional Secondary Phase Factor), CWI (Continuous Wave Interference) 등의 Loran-C의 주요 오차요인에 대한 보정 및 보상이 이루어지지 않았기 때문이다.

위에서 언급된 오차요인에 대한 해결을 위한 추가적인 연구가 향후 연구로 계속 진행되어야 한다.

VII. 결론

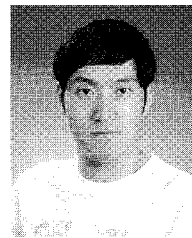
Loran-C 현대화 및 eLoran 개발 등 Loran-C 시스템 고도화를 위해서는 Loran-C 신호설계 및 수신기 기술이 필요하며 이를 위해서 무엇보다 Loran-C 수신기 신호처리에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 Loran-C 전파 항법신호를 수신하여 신호를 획득한 후 거리정보를 추출하고 이를 기반으로 수신기의 위치를 구하는 Loran-C 수신기 신호처리 과정을 소프트웨어 기반으로 구현하였다.

신호처리 결과 싸이클 오결정 및 ECD, ASF, Sky Wave, CWI 등 여러 오차 요인들에 의해 측위오차가 크게 발생하고 있음을 알 수 있었으며 향후 이를 해결하기 위한 연구들이 추가적으로 진행되어야 한다. 또한 PLL (Phase Lock Loop), 칼만필터링과 같은 기법을 적용하면 항법성능을 보다 개선할 수 있을 것으로 판단한다.

참고문헌

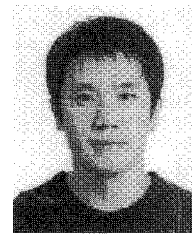
- [1] 구자현, 강광원, 안영은, 한승조, 박종안, "위성항법시스템(GPS)의 이용불능을 대비한 Loran-C 활용과 위치오차 개선," 한국항행학회 논문지, 제11권 제1호, pp. 1-8, 2007.
- [2] G Offermans and A. Helwig, *Integrated Navigation System Eurofix - Vision, Concept, Design, Implementation & Test*, Delft University of Technology, Delft, Oct. 2003.
- [3] W. J. Pelgrum, *New Potential of Low-Frequency Radionavigation in the 21st Century*, 1st Ed, Delft, Nov. 2006.

- [4] United States Coast Guard, Specification of the Transmitted Loran-C Signal, 1994.
- [5] The LFPG-eh Group, "Final Report LORAN Project," Apr. 2007.
- [6] A. J. Fisher, "Loran-C Cycle Identification in Hard-Limiting Receivers," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 36, no. 1, pp. 290-297, Jan. 2000.
- [7] 임준혁, 임성혁, 김우현, 지규인, "소프트웨어 기반 Loran-C 신호 생성 및 처리," 한국자동제어학술회의 (KACC 2009), 부산, 한국, 2009.



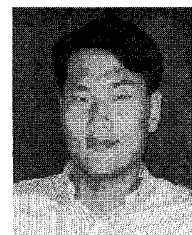
임준혁

2008년 8월 홍익대학교 전자전기공학부 졸업. 2008년 9월~현재 건국대학교 대학원 전자정보통신공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 Loran-C 신호처리, 소프트웨어 GPS, INS.



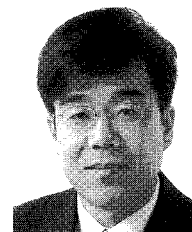
임성혁

2003년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학사). 2005년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학석사). 2006년~현재 건국대학교 대학원 전자정보통신공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 소프트웨어 GPS, GPS anti-jamming, GPS 신호처리, 결합항법.



김우현

2000년 공군사관학교 물리학과(이학사). 2006년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학석사). 2007년~현재 서울대학교 대학원 전기컴퓨터공학부 박사과정 재학중. 관심분야는 INS, GPS, Loran-C, integrated system.



지규인

1982년 서울대학교 제어계측공학과(공학사). 1984년 서울대학교 제어계측공학과(공학석사). 1989년 Case Western Reserve Univ. System and Control Engineering(공학박사). 1992년~현재 건국대학교 전자공학부 교수. 관심분야는 GPS/INS 결합항법, GPS 수신기 신호처리, 무선측위, 소프트웨어 GPS, GPS anti-jamming.