

전파 표준시 방송을 위한 NDGPS 신호 활용 방안

*이영규¹, 양성훈¹, 이승우¹, 김준환², 최성수³, 이창복¹

¹기반표준부, 한국표준과학연구원 (Tel: 042-868-5569 E-mail: ykleeks@kriss.re.kr)

²전자공학과, 국민대학교(Tel: 042-868-5569 E-mail: saster2@kookmin.ac.kr)

³융합기술연구단, 한국전기연구원(Tel: 031-420-6182 E-mail: sschoi@keri.re.kr)

Abstract: 현대 생활에 있어서 정확한 시간은 마치 공기와 같이 필요성이 직접적으로 확연하게 나타나지는 않지만, 첨단 통신, 항법, 금융 등의 산업 발전 및 국민의 일상 생활을 차질 없이 영위하기 위해서 없어서는 안 될 중요한 요소 중 하나이다. 광범위한 시각 동기 응용 분야 중에서 본 논문에서는 특히 국민의 일상 생활과 밀접한 관계가 있는 수 ms 정도의 정확도를 갖는 타이밍 신호를 전국에 제공하기 위한 방안에 대해서 기술한다. 이러한 타이밍 신호의 응용 분야로는 열차, 지하철, 버스시간과 같이 수 초 정도의 정확도가 요구되는 경우, 인터넷통신 및 금융 거래와 같이 1초 이하의 정확도를 요구하는 경우, 교통 신호등과 같은 수백 ms 이내의 정확도가 요구되는 경우 등을 들 수 있다.

본 논문에서는 전파시계, 교통신호제어기, 전자상거래 등에서 요구되는 기준 시각을 제공하기 위한 방안 중 하나로 현재 해양수산부에서 운영하고 있는 NDGPS 비콘신호를 활용하여 전국적인 표준시의 방송 방안에 대해서 기술한다. 이를 위해서 유선전화망을 이용하여 표준시를 전송하는 방안, 수신된 표준시를 이용하여 방송할 타임태그를 작성하는 방법에 대해서 기술하였다. 또한 원격지 클럭에 대한 동기 성능을 분석하는 방법 및 이에 대한 결과를 제시하였다.

Keywords: NDGPS, 표준시, 시각 동기, 타임코드

1. 서론

오늘날과 같이 국제적으로 통신 기술이 급속도로 발전하는 환경하에서 정확한 시간은 고정밀의 동기를 필요로 하는 산업체에서만 아니라 일상생활에 있어서도 매우 중요한 의미를 지닌다. 정밀 시각의 응용 분야는 수 마이크로 초 이내의 고정밀의 시각 동기에서부터 수 초 정도의 열차나 고속버스와 같은 공공 교통 수단에 이르기까지 광범위하다. 또한 정확한 시간은 현대 생활에 있어서 마치 공기와 같이 그 필요성이 직접적으로 느껴지는 않지만 일상생활을 차질 없이 영위하기 위해서는 없어서는 안 될 중요한 요소이다.

앞서 서술한 것과 같이 시각 동기의 응용 분야는 매우 광범위하며 이중에서도 특히 수 ms 정도의 시각 동기는 일반 국민의 일상생활과 밀접한 관계를 지니고 있다. 열차나 지하철, 버스 시간과 같이 수 초 정도의 정확도가 요구되는 경우도 있고, 인터넷 통신 및 금융 거래와 같이 1 초 이하의 정확도 및 교통 신호등제어기와 같은 수백 ms 이내의 정확도를 요구하는 경우 등 국민의 일상생활과 밀접한 많은 분야에서 광범위하게 응용되고 있다. 따라서 많은 나라들에서는 대국민 서비스 차원에서 국가적인 시각 전송 인프라를 구축하여 자국의 표준시를 전국에 방송하고 있다.

표준시를 전송하기 위해서는 표준시에 대한 정보를 담은 타임코드와 이러한 타임코드의 전송 시각을 알 수 있도록 하는 타임코드에 동기된 펄스 또는 파형을 송신국에서 방송해 주어야 한다. 타임코드에 동기된 펄스 또는 파형은 타임코드의 시작점이나 끝점 등 항상 일정한 포인트에 대해서 동기가 되어야 하고 또한 파형의 rising edge 또는 falling edge에 동기가 되어 있어야 한다. 이에 더하여, 표준시를 방송하는 전파 송신국에 있는 기준 시각을 생성하는 기준 시계는 세계 협정시(UTC) 또는 한국표준시(UTC(KRIS))에 소급된 시각 시스템과 동기가 이루어져야 한다.

표준시의 방송을 위해, 현재 국내에 구축되어 있는 시스템 중에서 전국에 걸친 서비스 영역을 커버할 수 있는 지상파 신호 중 하나는 해양수산부에서 운영하고 있는 NDGPS 신호이다. 지금까지 구축되었거나 구축 예정인 NDGPS 기준국은 해안 11 개소 및 육상 6 개소를 포함하여 총 17 개소이다. 이는 전국적인 서비스가 가능하고, 표준시의 전송을 위하여 새로운 시스템을 구축하지 않아도 되기 때문에 비용적인 측면 및 구축기간적인 측면에서 매우 효율적이다.

본 논문의 나머지는 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서는 한국표준시를 기준국에 전송하는 방안에 대해서 설명한다. 다음으로 3장에서는 수신된 표준시각을 NDGPS 신호에 실어서 전송하기 위한 타임코드 변환접속 기술에 대해서 논하고 4장에서는 동기 정확도의 분석 방법에 대해서 서술한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 표준시의 기준국 전송

본 장에서는 표준시를 제공하는 마스터 클럭과의 동기가 이루어져야 하는 기준국에 있는 원격 클럭에서 유선전화망(PSTN: Public Switched Telephone Network)을 통하여 전화연결을 하고 마스터 클럭에서 전송하는 타임코드를 수신하여 한국표준시(UTC(KRIS))에 동기 시키기 위한 표준시의 기준국 전송 방안에 대해서 설명한다.

그림 1에 표준시의 전송을 위한 기본 블록도를 나타내었다. 먼저 표준연에서는 한국표준시에 동기된 타임코드를 생성하고 이를 모뎀과 연결된 전화선을 통해 기준국에 전송하게 된다. 기준국에서는 원격 클럭에 내장되어 있는 모뎀을 사용하여 표준연의 마스터 클럭에 전화를 걸어 읽어 온 시각 정보를 바탕으로 한국표준시에 동기된 타임코드를 생성한다.

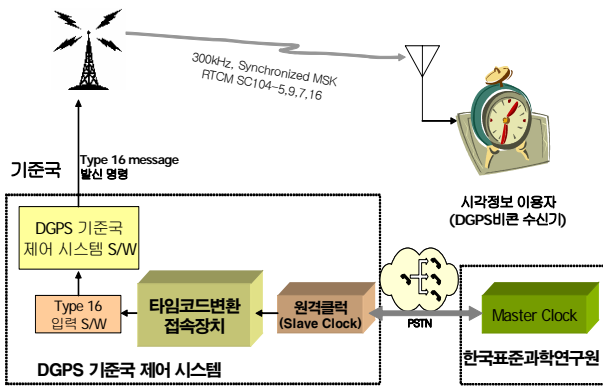


그림 1. 표준시 동기 기본 개념도.

Fig. 1. Basic diagram of a standard-time synchronization.

다음으로 생성된 타임코드와 1초펄스를 사용하여 현재 시각에 대한 정보를 얻고 이를 타임코드 변환기를 통하여 타임 16 메시지에 포함될 수 있는 형태의 타임코드로 변환하고, 담겨진 표준 시각 정보는 자동 전송 프로그램을 사용하여 정해진 시간간격으로 안테나를 통해서 사용자에게 전송된다.

마스터 클럭에 전화선을 통해 시각을 동기 시키기 위해 기준국에 설치되어 있는 원격 클럭은 Leitch 클럭이다. 이는 독립적인 고안정도의 클럭 드라이버로 동작하고 자동적으로 이의 시각을 갱신한다. Leitch 클럭은 시각정보를 드롭 프레임 및 비드롭 프레임의 SMPTE(Society of Motion Picture & Television Engineers) 타임코드를 사용하여 제공한다. 각각의 타임코드 포맷은 개별적인 프로그램이 가능하고 입력 타임코드의 형식에 무관하게 독립적으로 동작한다.

Leitch 클럭은 전화선에 직접적으로 연결하거나 외장 모뎀에 연결하여 기준 클럭과의 시각동기를 위해서 전화통신을 한다. 시각 데이터를 송수신하는 데에는 높은 데이터 전송 속도가 요구되지 않기 때문에 현재 내장 모뎀을 사용하여 모뎀에서 제공하는 기본적인 데이터율로 전송하고 있다. 전화선을 이용하여 마스터 클럭으로 통신을 하기 위한 설정은 다음과 같다. 먼저 원격 클럭에 자체적인 전화번호를 할당하고 원격 클럭을 전화선과 연결한다. 다음으로 마스터 클럭으로의 통신 연결을 설정하기 위해서 마스터 클럭의 전화번호를 입력해 준다. 통화 연결은 명령어를 통해 즉시 연결하는 방법과 정해진 시각에 자동적으로 연결하도록 날짜 및 시각을 원격 클럭에 입력해서 설정하는 방법이 있다. 전자의 경우는 통신 연결 상태를 확인하기 위해서 사용하고 후자의 경우는 자동적으로 정해진 시각에 전화를 걸어 동기를 이루기 위해서 사용한다.

3. 타임코드 변환접속 기술

3.1 원격 Leitch 클럭의 동기

유선전화망을 통한 시각 데이터를 전송하기 위해 마스터 Leitch 클럭에서는 한국표준시와 동기된 타임코드를 생성한다. 한국표준시는 세계협정시와 동기가 되어 있으며 이러한 동기가 지속적으로 이루어질 수 있도록 유지되고 있다. 그림 2에 마스터 Leitch 클럭의 한국표준시와 동기를 맞추는 개념적인 블록도를 나타내었다. 동기를 위해 먼저 한국표준시의 기준 주파수와 1초펄스를 마스터 Leitch 클럭에 입력으로 보내고 마스터 클럭의 1초펄스와 한국표준시의 1초펄스를 시간간격 계수기를 사용하여 두 초펄스 사이의 위상 차이를 비교한다. 이러한 비교 데이터 값은 프린터를 통해서 계속해서 관측되고 또한 제어 컴퓨터에서 이를 측정하여 두 초펄스 사이의 위상차를 정해진 동기 정밀도를 유지할 수 있도록 일정한 범위 내에서 제어하게 된다. 마스터 클럭에서는 날짜, 시각에 대한 타임코드를 생성하고 이를 모뎀을 사용하여 유선전화망을 통해서 원격지에 있는 클라이언트에 타임코드를 전송한다.

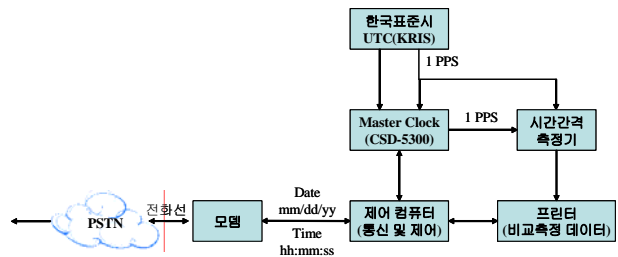


그림 2. 마스터 클럭의 한국표준시와의 동기 개념도.

Fig. 2. Master clock synchronization to UTC(KRIS).

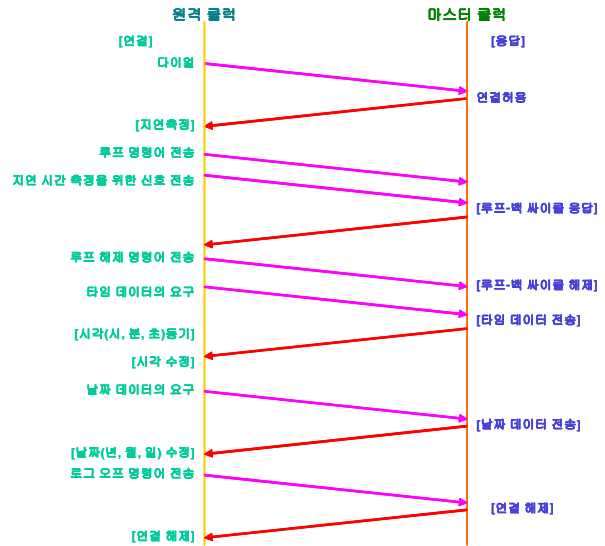


그림 3. 원격 클럭의 타임코드 수신 및 동기 흐름도.

Fig. 3. Time-code receiving and synchronization flow of the remote clock.

이와 같이 구축된 표준시는 원격 클럭에서 마스터 클럭에 전화를 걸어 획득할 수 있으며 원격 클럭에서 이를 사용하여 마스터 클럭과의 동기를 이룬다. 동기를 이루기 위해서는 전송 지연 시간을 계산하는 것이 필요하며, Leitch 클럭에는 루프-백 알고리즘을 사용하여 자체적으로 전송 지연을 측정하고 이를 보상해 주는 기능이 있다. 이러한 동기 과정을 설명하기 위해서 그림 3에 타임코드 수신 및 동기 흐름도에 대해서 나타내었다. 먼저 원격 클럭에서 전화 연결을 시도한 후 마스터 클럭에서 연결을 허용하면 통신 연결이 이루어진다. 통신 연결이 이루어진 후에 원격 클럭에서는 루프-백 테스트를 하기 위해 루프 명령어를 전송하고 지연 측정을 위한 파일럿 신호를 보내서 마스터 클럭에서 응답하는 신호를 수신하여 두 신호 사이의 시간차를 측정하여 지연 시간을 계산한다. 지연 시간에 대한 측정이 끝나면 날짜 및 시각에 대해 전송해 줄 것을 마스터 클럭에 요구하여 마스터 클럭에서 전송한 날짜 및 시각을 가지고 있던 값과 비교 수정함으로써 동기를 이룬다. 동기가 이루어진 후 연결 해제 명령어를 사용하여 연결을 해제한다.

3.2 타임코드 변환 접속

기준국에서 송출하는 비콘 신호를 이용하여 전국적인 범위에 걸쳐 표준시를 서비스하기 위해서는 기준국에 설치된 원격 Leitch 클럭에서 출력으로 나오는 타임코드 및 1초펄스를 사용하여 타임 16 메시지에 담겨질 타임코드로 전환하는 것이 요구되어진다. 이를 위해서는 먼저 한국표준시에 동기된 원격 Leitch 클럭으로부터 동기된 1초펄스 및 날짜/시각 데이터를 추출하고 이 데이터를 기준국에 있는 종파신호를 송신하는 비콘 수신기의 입력으로 전송한다.

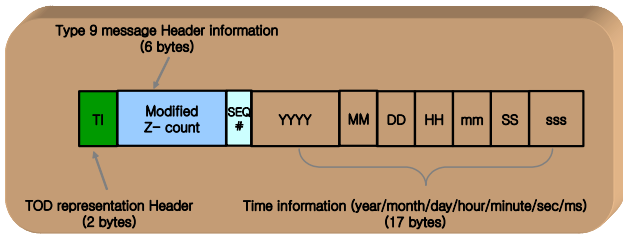


그림 4. 타입 16 메시지를 통해 전송되는 시각 정보.
Fig. 4. Time information in type 16 messages.

범용 DSP에서는 이러한 입력들을 받아서 타입 16 입력 소프트웨어 블록에 시각 정보를 제공한다. 타입 16 입력 소프트웨어에서는 그림 4에 나타낸 것과 같은 타입 16 메시지를 생성하고 이를 전송하도록 하는 명령어를 제어 시스템 소프트웨어 블록에 보낸다. 제어 시스템에는 타입 16 메시지를 정해진 시간 간격에 자동적으로 전송할 수 있도록 자동 전송 프로그램이 설치되어 있다.

그림 4에 있는 타입 16 메시지에 포함되는 시각 정보에 대해서 간략하게 살펴보면 다음과 같다. 먼저 메시지의 처음 2 바이트에는 메시지의 내용이 일반적인 데이터가 아니라 특별히 시각동기를 위해 사용되는 시각데이터라는 정보를 나타내기 위해서 'TI'(Time Information 이라는 의미를 담고 있음)라는 문자를 사용한다. 이 문자 다음에는 6 바이트의 크기를 갖는 타입 9 메시지의 헤더 정보와 수정 Z-카운트가 포함된다. 다음으로는 몇 번째의 메시지가 전송되는 가를 나타내기 위해 시퀀스 번호가 포함 된다. 시퀀스 번호 다음에는 시각전송을 위한 타입 16 메시지의 주요 내용인 년, 월, 일, 시, 분, 초, 밀리초에 관한 17 바이트의 날짜 및 시각정보가 위치하게 된다.

4. 동기정확도 평가

4.1 데이터 수집 및 처리

기준국에 원격 클럭을 설치하고 마스터 클럭에 대한 통신 연결이 설정되면 원격 클럭에서 전화를 걸어 마스터 클럭에서 전송하는 타임코드를 이용해서 시각동기를 하게 된다. 이때의 원격 클럭과 마스터 클럭 사이의 동기 정확도를 측정하기 위해서는 두 시계의 위상차이 값을 측정할 후 이에 대한 데이터를 수집해야 한다. 데이터의 수집은 시간간격 계수기를 통해 원자시계와 원격 클럭의 1초펄스에 대한 위상차를 측정할 후 이를 컴퓨터에 저장함으로써 이루어진다. 그림 5에는 데이터 수집을 위한 VEE 프로그램을 나타내었고, 그림 6에는 실제로 수집되고 있는 위상 데이터의 값을 나타내었다.

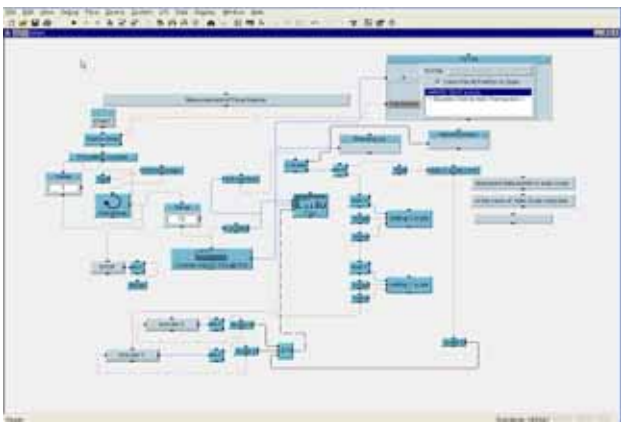


그림 5. 데이터 수집을 위한 프로그램 화면.
Fig. 5. Program screen for archiving data.



그림 6. 원격 클럭에서의 시각 데이터 수집 화면.
Fig. 6. Screen for archiving data in the remote clock.

그림 6에서 수집되고 있는 데이터에 점프가 보이는 것은 위상차가 +/- 값을 가지기 때문에 0에 가까운 값 및 1에 가까운 값으로 그림에 표현되는 것에 기인한 것으로 정확도의 값은 절대값으로 표현되므로 성능분석에 영향을 미치지 않는다.

4.2 성능 분석

원거리 통신망 산업체에서 망동기 성능의 특성을 고찰하는데 많이 사용되는 방법 중 하나로 최대 타임구간 에러(MTIE: Maximum Time Interval Error)가 있다. 이 절에서는 이에 대해 간략히 살펴보기로 한다.

시계 출력에서 타이밍 신호에 대한 일반적인 표현은

$$s(t) = A \sin(\Phi(t)) \quad (1)$$

와 같이 되고, 여기에서 A 는 진폭을 나타내고 $\Phi(t)$ 는 시간 t 에 따라 증가하는 이상적인 선형 위상과 랜덤 위상 변동을 포함하는 순시위상이다. 일반적으로 시간함수 $T(t)$ 는 순시위상을 사용하여 다음과 같이 정의 된다.

$$T(t) = \Phi(t) / 2\pi f_{norm} \quad (2)$$

여기에서 f_{norm} 은 오실레이터의 정규 주파수를 나타낸다. 또한, 기준 시각 $T_{ref}(t)$ 와 측정 시계의 시각 $T(t)$ 사이의 시간 간격 에러 $x(t)$ 는 다음과 같이 표현 된다.

$$x(t) = T(t) - T_{ref}(t) \quad (3)$$

TIE(Time Interval Error)는 하나의 시간 주기 동안의 이상적인 타이밍 신호에 대한 시간 지연으로 정의되고 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$TIE_i(\tau) = x_{i+\tau} - x_i$$

여기에서 τ 는 초 단위의 관측 구간이다. N 개의 TIE 샘플은

$$x_i = x(t_0 + (i-1)\tau_0), \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4)$$

와 같이 나타낼 수 있으며, 여기에서 t_0 는 초기 관측 시각이고 τ_0 는 샘플링 주기이다. 식 (4)와 같은 위상 데이터는 카운터를 이용해 측정하고 총 측정기간 $T = (N-1)\tau_0$ 에 걸쳐서 수집되며 후처리를 하기 위해서 저장된다. MTIE는 특별한 시간간격에 대한 최대 시간오류의 측정치이다. 이는 위상 데이터 전체에 대해서 n -점 윈도우를 이동시켜가면서 각각의 윈도우 위치에서 최대값과 최소값 사이의 차이를 계산함으로써 구해지며 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$MTIE(\tau) = \max_{1 \leq k \leq N-n} [\max_{k \leq i \leq k+n} (x_i) - \min_{k \leq i \leq k+n} (x_i)] \quad (5)$$

여기에서 $n = 1, 2, \dots, N-1$ 이고 N 은 위상 데이터의 개수이며 x_i 는 측정된 위상 데이터이다.

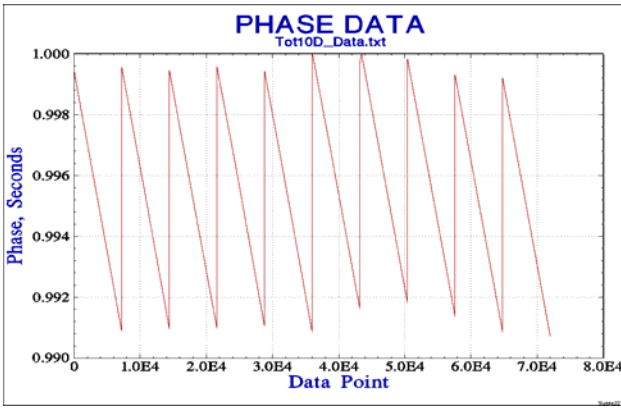


그림 7. 10 일 동안 측정된 원격 클럭의 위상 데이터.
Fig. 7. Phase data of the remote clock measured for 10 days.

4.3 실험 결과

이 절에서는 실제로 측정된 원격 Leitch 클럭의 타임밍 안정도의 분석을 위한 MTIE 값에 대한 측정 결과에 대해서 설명하기로 한다.

그림 7에 10일 동안에 걸쳐 수집한 위상 데이터의 값을 나타내었다. 이의 데이터는 원격 클럭에서 하루에 한 번 정해진 시각에 마스터 클럭으로 전화 연결을 해서 얻어진 타임코드를 수신한 후 이에 동기된 1초펄스의 출력과 기준이 되는 원자 시계의 1초펄스 출력과의 위상차를 시간간격 계수기를 이용해서 수집한 것이다. 원격 클럭에서 전화를 걸면 마스터 클럭에서 타임코드를 전송 받고 이를 이용하여 시각동기를 한 후 하루 동안은 원격 클럭에 있는 오실레이터로 자유구동을 하다가 전화를 다시 걸게 되면 표준시에 시각을 새롭게 맞추게 된다. 이 때 원격 클럭에서는 자체적으로 내장되어 있는 루프-백 프로그램을 구동하여 전화선을 통한 지연시간을 보상해 주게 된다. 그림에서 볼 수 있듯이 자유구동 후 재동기를 하게 되면 10 ms 이내에서 시각동기가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

10일 동안에 걸쳐 측정된 데이터를 하루 간격으로 나누고, 나누어진 하루 데이터들을 사용하여 구한 MTIE 값을 시간간격 τ 의 다양한 값들에 대해서 표 1에 정리하여 나타내었다. 표 1에서 볼 수 있는 것과 같이 열 번의 측정 결과 값이 동일한 τ 에 대해서 거의 일치 하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 원격 클럭 시스템이 오동작 없이 안정적으로 동작하고 있다는 것을 의미하며 또한 하루 동안의 주파수 오프셋의 변화가 각각의 측정에 있어서 거의 일정한 값으로 유지되어지고 있음을 나타내는 것이다. 또한 표 1에 나타난 결과를 분석하면 한 시간 이내에 재동기를 하면 1 ms 이내의 시각동기가 가능함을 예측할 수 있다. 이를 확인하기 위해 한 시간에 한 번 동기를 시켰을 때에 대한 위상 데이터 값을 그림 8에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 실제 실험에서 0.7 ms 이내로 시각동기가 가능함을 확인 할 수 있었다.

표 1. 10일 동안 측정된 데이터의 MTIE.
Table 1. MTIE of the data measured for 10 days.

측정 일수	시간간격(tau) 초					
	12	48	240	1200	4800	24000
1	1.2e-6	4.8e-6	2.4e-5	1.2e-4	4.8e-4	2.4e-3
2	1.3e-6	5.0e-6	2.5e-5	1.3e-4	4.9e-4	2.4e-3
3	1.3e-6	5.0e-6	2.5e-5	1.2e-4	4.9e-4	2.4e-3
4	1.2e-6	4.9e-6	2.4e-5	1.2e-4	4.8e-4	2.4e-3
5	1.4e-6	5.1e-6	2.5e-5	1.2e-4	4.9e-4	2.4e-3
6	1.8e-6	6.3e-6	2.5e-5	1.3e-4	4.9e-4	2.4e-3
7	1.2e-6	4.8e-6	2.4e-5	1.2e-4	4.8e-4	2.4e-3
8	1.2e-6	4.8e-6	2.4e-5	1.2e-4	4.8e-4	2.4e-3
9	1.2e-6	4.8e-6	2.4e-5	1.2e-4	4.8e-4	2.4e-3
10	1.2e-6	4.8e-6	2.4e-5	1.2e-4	4.8e-4	2.4e-3

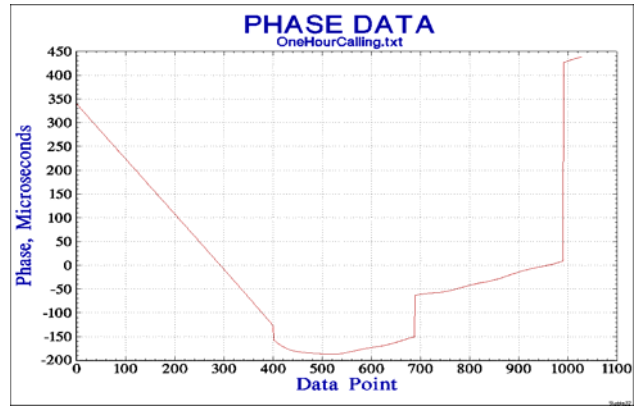


그림 8. 한 시간에 한 번 동기시켰을 때의 위상 데이터.
Fig. 8. Phase data with synchronization interval once per hour.

5. 결론

본 논문에서는 NDGPS 기준국에서 비콘 신호를 사용하여 한국표준시에 동기된 해양수산부표준시를 대국민 서비스 차원에서 전국에 방송하기 위한 방안에 대해서 기술하였다. 표준시의 전국적인 방송 방법을 설명하기 위해 먼저 표준연에서 생성한 한국표준시를 기준국에 전송하기 위한 방안에 대해서 기술하였다. 한국표준시의 기준국 전송을 위한 통신 방법으로는 유선전화망을 이용한 전화연결을 이용하였다. 또한, 이러한 전화연결을 통해 시각 동기를 하기 위해 사용되는 Leitch 클럭에 대한 통신 환경의 설정 방안과 이를 위해 필요한 프로그램의 작성에 대해서도 기술하였다. 다음으로 기준국에 설치되어 있는 원격 Leitch 클럭에서 출력되는 타임코드와 1초펄스를 사용하여 타임 16 메시지(비콘 신호에 포함되어 일반 국민에게 표준 타임밍 정보의 제공을 위해 사용되는 타임밍 메시지) 생성에 필요한 시각정보의 추출 및 타임태그 작성을 위한 알고리즘에 대해 기술하였다. 마지막으로 원격 클럭에서의 표준시와의 동기 성능 분석결과에 대해서 나타내었다. 동기 성능 분석결과, 원격 클럭에서 한 시간에 한 번 마스터 클럭으로의 전화연결을 통한 시각동기를 해준다면 대략 1 ms 이내의 시각동기가 가능함을 고찰하였다. 이러한 분석결과를 수 ms 이내의 시각동기 정밀도를 요구하는 국민의 일상 생활과 밀접한 관계가 있는 교통신호제어기, 전파시계 등과 같은 관련 응용산업에서 요구되는 기준 타임밍 신호로 비콘 신호가 사용될 수 있음을 나타내 주는 것이다.

참고 문헌

1. RTCM Special Committee No. 104, *RTCM Recommended Standards for Differential GNSS (Global navigation Satellite systems) Service*, Ver. 2.2, Jan. 1998.
2. S. Bregni, "Clock Stability Characterization and Measurement in Telecommunications," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. 46, No. 2, Dec. 1997, pp. 1284-1294.
3. S. Bregni, "Measurement of Maximum Time Interval Error for Telecommunications Clock Stability Characterization," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. 7, No. 5, 1996, pp. 900-966.
4. NCS TIB 99-4, *Telecommunications Network Time Synchronization*, Apr. 1947.