

## 한국 측지 VLBI 시스템을 위한 라운드 Trip 시스템 Round-trip system dedicated to the Korea VLBI system for geodesy (KVG)

오홍종<sup>1)</sup> · Tetsuro Kondo<sup>1)2)</sup> · 김두환<sup>1)</sup> · 이진우<sup>1)</sup>  
김명호<sup>3)</sup> · 김수철<sup>3)</sup> · 박진식<sup>3)</sup> · 주현희<sup>3)</sup>

- <sup>1)</sup> 아주대학교 대학원 우주계측정보공학과 (E-mail : stockoh@ajou.ac.kr)  
<sup>2)</sup> 일본정보통신연구소(National Institute of Information and Communication Tec. Japan)  
<sup>3)</sup> 국토지리정보원(National Geographic Information Institute, Korea)

### Abstract

A project for construction of Korea Geodetic VLBI has officially started in Oct. 2008. The construction of all system will be completed by the end of 2011. The project was named Korea VLBI system for Geodesy (KVG), and its main purpose is to maintain the Korea Geodetic Datum. In case of the KVG system, an observation room where an H-maser frequency standard is located is in a building separated from an antenna by several tens of meters. Therefore KVG system will adopt a so-called round-trip system to transmit reference signals to the antenna with diminishing the effect of path length variations. KVG's round-trip system is designed not only available to use either metal or optical fiber cables, but also available to measure path length variations directly by using K5/VSSP32 sampler. We will present principle of round-trip system and the new type of round trip system for KVG

### 요 지

한국 측지 VLBI 시스템 건설 프로젝트는 2008년 11월에 공식적으로 시작되었으며, 2011년 말까지 완료하는 것을 목표로 하고 있다. 프로젝트의 공식 명칭은 한국 측지 VLBI 시스템(Korea VLBI system for Geodesy)이며 주목적은 한국측지 기준점을 유지 관리하는 것이다. KVG의 경우 수소 메이저 주파수 표준이 위치한 관측실은 안테나와 수십 m 떨어진 분리된 건물에 있다. 따라서 KVG는 위상 변동 효과가 축소된 기준신호를 안테나로 전달하는 라운드 trip 시스템을 갖출 것이다. KVG의 라운드 trip 시스템은 metal이나 광케이블을 모두 사용할 수 있을 뿐만 아니라 K5/VSSP32 샘플러를 이용하여 위상 변동을 직접적으로 측정하는 것도 가능하도록 설계되었다. 여기서는 라운드 trip 시스템의 기본원리와 KVG를 위한 새로운 타입의 라운드 trip 시스템을 소개할 것이다.

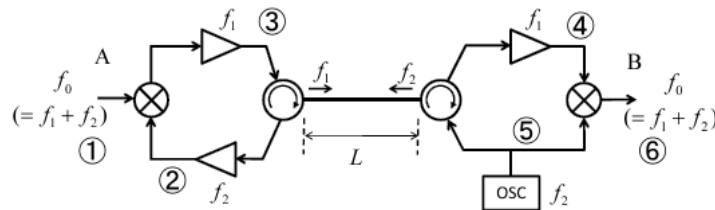
## 1. 서 론

주파수 분배 시스템에 사용된 라운드 trip 시스템은 수십 미터에서 백 미터까지 떨어진 장소에, 케이블 길이의 변동에 의해 발생하는 효과를 감소시키면서, 수소 메이저 주파수 표준과 같은 신호원으로부터 기준 주파수 신호를 전송하는 시스템이다. 기준 주파수 분배 시스템은 기준 신호를 필요로 하는 장비에 수소 메이저 주파수 표준에 의해 생성된 기준신호

(10 MHz 또는 100 MHz)와 타이밍 신호(1 PPS)를 공급한다. 이러한 장비들은 수소 메이저 주파수 표준에 가까운 관측동뿐만 아니라 관측동으로부터 수십 미터에서 백 미터까지 떨어진 안테나에 있는 수신실에도 위치해 있다. 따라서 수신실에 기준 신호를 안정적으로 전송하는 시스템이 필요하다. 1~2 m 깊이에 케이블이나 광케이블을 매립하여 전송선으로 사용할 때 가장 큰 전송로의 안정성을 제공한다. 경로 길이 변화는 측지 VLBI의 관측 정밀도와 직접적으로 연관되어 있기 때문에, 가능한 작게 유지되어야 한다. 경로 길이 변동에 따른 영향은 기준 주파수 전송 시스템으로 라운드 trip 시스템을 사용함으로써 감소시킬 수 있다.

## 2. 라운드 trip 시스템의 원리

[그림 1]은 라운드 trip 시스템 블록도이다. 라운드 trip 시스템은 크게 기준 신호 발생기, 오실레이터(국부 발진기), 전송선로(메탈 혹은 광케이블)로 구성되었다.



[그림 1] Schematic block diagram of a round-trip system  
(자동 교정 시스템)

$f_0$ 의 신호가 수소 메이저 주파수 표준에서 생성되어 A에서 공급된다. 이 신호는  $f_1$ 을 생성하기 위해 B에서 전송된  $f_2$ 와 믹스된다. B에서의 신호  $f_1$ 은  $f_1 + f_2 (= f_0)$ 을 생성하기 위해 국부 발진기에서 생성된  $f_2$ 와 믹스된다. 이 신호가 B에 전송된 기준신호이다.  $f_2$ 의 신호 역시 A로 전송된다. 라운드 trip 시스템의 작동 원리는 수식을 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다. ①, ⑤에서의 신호는 다음과 같이 표현되고

$$S_1 = \{\sin 2\pi(f_1 + f_2)t + \phi_0\} \quad (1)$$

$$S_5 = \sin(2\pi f_2 t + \phi_{osc}) \quad (2)$$

따라서 ②에서 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$S_2 = \sin\left\{2\pi f_2\left(t - \frac{L}{v}\right) + \phi_{osc}\right\} \quad (3)$$

여기서  $v$ 는 케이블에서의 신호 전송 속도이다. ③에서 신호는 다음과 같이  $S_1$ 과  $S_2$ 의 곱이 저역 통과 필터링 된 것이다.

$$S_1 \cdot S_2 = \{\sin 2\pi(f_1 + f_2)t + \phi_0\} \cdot \left\{\sin\left(2\pi f_2\left(t - \frac{L}{v}\right) + \phi_{osc}\right)\right\} \quad (4)$$

$$S_1 \cdot S_2 = \frac{1}{2} \cos \left\{ 2\pi f_1 t + 2\pi f_2 \left( \frac{L}{v} \right) + \phi_0 - \phi_{osc} \right\} - \frac{1}{2} \cos \left\{ 2\pi f_1 t + 2\pi f_2 \left( t - \frac{L}{v} \right) + \phi_0 + \phi_{osc} \right\} \quad (5)$$

따라서

$$S_3 = \frac{1}{2} \cos \left\{ 2\pi f_1 t + 2\pi f_2 \frac{L}{v} + \phi_0 - \phi_{osc} \right\} \quad (6)$$

그러므로 ④에서의 신호는 다음과 같다.

$$S_4 = \frac{1}{2} \cos \left\{ 2\pi f_1 \left( t - \frac{L}{v} \right) + 2\pi f_2 \frac{L}{v} + \phi_0 - \phi_{osc} \right\} \quad (7)$$

⑥에서 신호는 다음과 같이  $S_4$ 와  $S_5$ 의 곱이 고역 통과 필터링 된 것이다.

$$S_4 \cdot S_5 = \frac{1}{2} \cos \left\{ 2\pi f_1 \left( t - \frac{L}{v} \right) + 2\pi f_2 \frac{L}{v} + \phi_0 - \phi_{osc} \right\} \cdot \sin(2\pi f_2 t + \phi_{osc}) \quad (8)$$

$$S_6 = \frac{1}{4} \sin \left\{ 2\pi(f_1 + f_2)t + \phi_0 - 2\pi(f_1 - f_2) \frac{L}{v} \right\} \quad (9)$$

여기서 국부발진기의 위상 성분이 출력에는 나타나지 않는다는 점을 주목해야 한다. 우리는 주파수, 케이블 길이에 초점을 맞췄다. 식 (1)과 (9)를 비교를 통해 다음과 같이 A와 B 신호의 위상차를 구할 수 있다.

$$\phi = 2\pi(f_1 - f_2) \frac{L}{v} \quad (10)$$

따라서 케이블 길이가 L에서 L+ΔL로 변함에 따라, 다음과 같은 위상의 변화가 일어난다.

$$\Delta\phi = 2\pi(f_1 - f_2) \frac{\Delta L}{v} \quad (11)$$

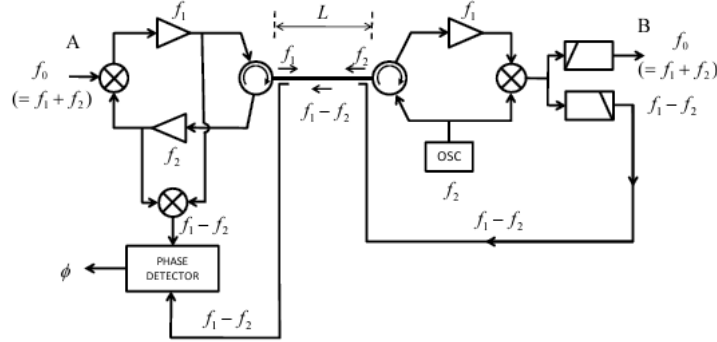
신호가  $f_0 (= f_1 + f_2)$ 로 직접적으로 전송되는 경우, 케이블 길이 변화에 따른 위상 변동은 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta\phi = 2\pi(f_1 + f_2) \frac{\Delta L}{v} \quad (12)$$

따라서 케이블 길이 변화에 따른 위상 변동은 신호가 주파수  $f_0 (= f_1 + f_2)$ 로 직접 전송되는 경우와 비교하여  $(f_1 - f_2)/(f_1 + f_2)$  수준으로 억제될 수 있다. 일본 VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry) 프로젝트를 위해 개발된 라운드 trip 시스템의 경우는

$f_1 = 690\text{MHz}$ ,  $f_2 = 710\text{MHz}$ ,  $|f_1 - f_2| = 20\text{MHz}$ 으로 설정하였다. 이 경우 위상 변동을  $|690-710|/1400 = 0.014$ 로 억제 할 수 있다. 직접 전송되는 경우와 비교하면 위상 변동은 1% 수준에서 억제가 가능하다.

### 3. 위상 변동 검출



[그림 2] Schematic block diagram of round-trip system designed for measurement of phase variation.

제 2장에 나와 있는 라운드 trip 시스템은 케이블 길이 변화에 따른 위상 변동을 억제시키는 것이 주목적이다. 이 때문에 위상 변화 자체를 측정하는 목적으로는 활용하지는 못한다. 위상 변화를 직접적으로 감지하기 위하여 [그림 2]의 시스템을 고려했다. [그림 2]의 B에서  $f_1 - f_2$ 가 생성된다. 이 신호는  $S_4$ 과  $S_5$ 의 곱(2장의 식 (6)과 관련)에서 저역 통과 필터링 된 것이다.(여기서는  $S_{45L}$ 로 기술)

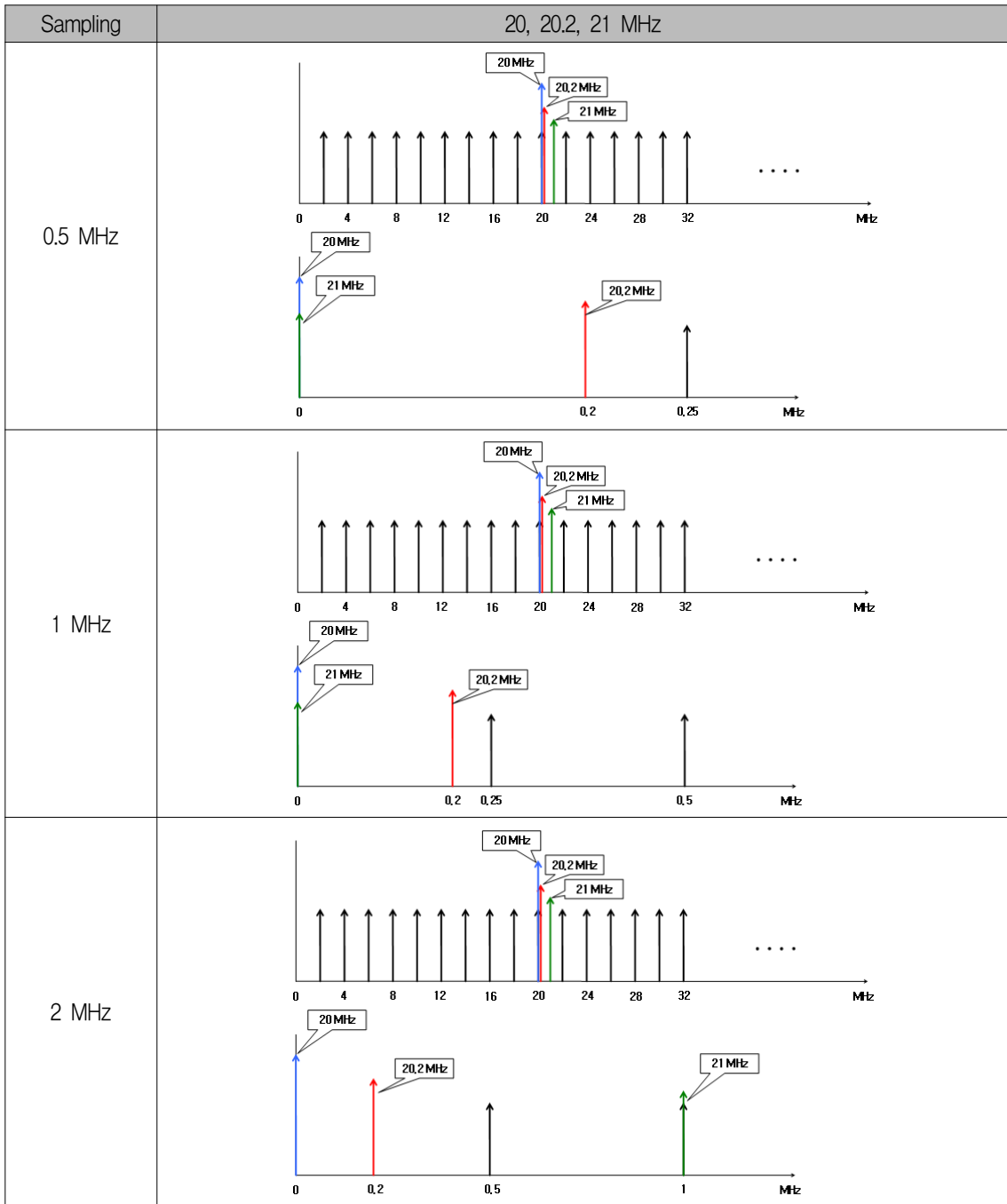
$$S_{45L} = -\frac{1}{4} \sin \left\{ 2\pi(f_1 - f_2)t - 2\pi(f_1 - f_2)\frac{L}{v} + \phi_0 - 2\phi_{osc} \right\} \quad (13)$$

이 신호는 방향성 결합기를 통해서 metal cable에 삽입된 후 A로 전송된다.  $S_{45L(A)}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S_{45L(A)} &= -\frac{1}{4} \sin \left\{ 2\pi(f_1 - f_2) \left( t - \frac{L}{v} \right) - 2\pi(f_1 - f_2)\frac{L}{v} + \phi_0 - 2\phi_{osc} \right\} \\ &= -\frac{1}{4} \sin \left\{ 2\pi(f_1 - f_2)t - 2 \cdot 2\pi(f_1 - f_2)\frac{L}{v} + \phi_0 - 2\phi_{osc} \right\} \end{aligned} \quad (14)$$

A 쪽에서는 같은 주파수 신호가 전 절에 나와 있는  $S_2$ 와  $S_3$ 로부터 독립적으로 생성된다. 이는  $S_2$ 와  $S_3$ 의 곱이 저역 통과 필터링 된 것이다. 따라서 다음과 같이 나타내진다.

$$S_{23L(A)} = -\frac{1}{4} \sin \left\{ 2\pi(f_1 - f_2)t + 2 \cdot 2\pi f_2 \frac{L}{v} + \phi_0 - 2\phi_{osc} \right\} \quad (15)$$



[그림 3] Sampling using K5/VSSP32

즉  $S_{23L}$ 와  $S_{45L(A)}$  간의 위상차는 다음과 같다.

$$\phi = 2 \cdot 2\pi f_1 \frac{L}{v} \quad (16)$$

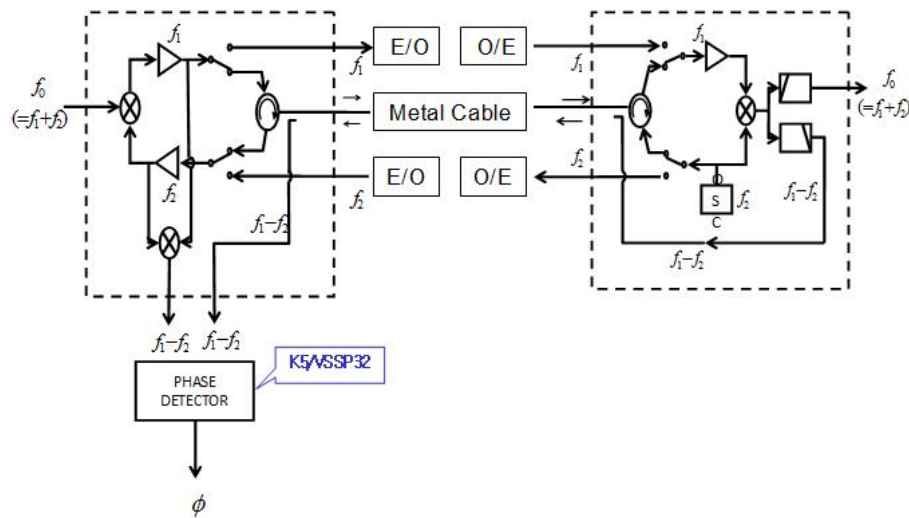
따라서 케이블 길이가  $L$ 에서  $L+\Delta L$ 로 변함에 따라, 다음과 같은 위상의 변화가 일어난다.

$$\Delta\phi = 2 \cdot 2\pi f_1 \frac{\Delta L}{v} \quad (17)$$

이는 주파수  $f_1$ 에서의 위상 변화의 두 배에 해당한다, VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry)의 경우에는  $f_1 = 690\text{ MHz}$ ,  $f_2 = 710\text{ MHz}$ ,  $|f_1 - f_2| = 20\text{ MHz}$ 으로 설정하였다. KVG 시스템의 경우  $f_1 = 689.9\text{ MHz}$ ,  $f_2 = 710.1\text{ MHz}$ ,  $|f_1 - f_2| = 20.2\text{ MHz}$ 으로 설정하였다. 이 주파수 신호는 최대 64 MHz까지 샘플링할 수 있는 K5/VSSP32 VLBI 샘플러를 이용하여 샘플링이 가능하다. 샘플링 주파수로 2MHz, 1MHz, 혹은 500 kHz를 사용할 수 있어 샘플링 주파수를 줄일 수 있다. 따라서 이 샘플러를 이용하여 위상을 디지털 방식으로 모니터링 할 수 있다.

#### 4. KVG 시스템에 적용

KVG 시스템에서는 (선택적으로) 메탈 케이블과 광케이블을 모두 사용할 수 있는 라운드 trip 시스템을 개발 중으로 2010년 6월에 시제품을 완성하고 7월에 장비 테스트를 진행할 계획이다. [그림 4]는 현재 개발 중인 라운드 trip 시스템의 전송기와 수신기 블록도이다.



[그림 4] Round trip system for KVG

#### 참고문헌

Tetsuro Kondo 외, "Conceptual Design of Backend System and Ground Surveying System for Korea VLBI System for Geodesy (KVG)", Ajou University. 2009  
 Tetsuro Kondo "Round trip system", KVG technical report. 2010  
 Tetsuo Sasao "Lecture Note of VLBI System for Geodesy and Astrometry", Ajou University. 2005