

논문 2005-42TC-2-2

# Tone 방식을 사용한 위성 거리 측정에 대한 위성 링크 잡음의 영향

(Effect of satellite link noise for satellite range measurement using tone method)

김 영 완\*

( Young Wan Kim )

## 요 약

톤 방식을 사용하는 위성 거리 측정 시스템의 위성 링크 잡음에 대한 열화도를 분석하였다. 상·하향 링크에서 발생하는 배경 잡음에 의하여 위성 거리 측정 위상 값에 열화가 발생되며, 열화도는 거리 측정 시스템의 루프 잡음 대역폭과 전송 모드 신호에 의해 영향을 받는다. 분석된 잡음의 영향은 위성 잡음 환경에서 동작하는 거리 측정 시스템에서 측정된 열화도와 비교 분석하였다. RAU 전송 모드에서 위성 링크 신호의 신호대 잡음비(C/N<sub>0</sub>)가 43 dB인 경우, 거리 측정 대역폭에 따라 약 14.4 ~ 40.6 m 이내의 오차가 발생되었으며, 이론값에 비해서는 약 0.3 dB의 열화도가 발생하였다. 원격 측정 신호와 동시에 전송되는 모드에서는 RAU 전송 모드와 거의 동등한 성능을 보였으며, RAU 모드와 동일한 성능을 갖기 위해서는 RAU+TM 다중 전송 모드에 따른 전력 손실 값으로 약 2.3 dB 증가된 위성 링크 신호의 신호대 잡음비가 요구되었다.

## Abstract

The performance of satellite range measurement using tone method was analyzed in the presence of satellite link AWGN. The phase errors in range measurement are generated by AWGN of satellite up- and down-link and the degradations of satellite range measurement are dependent on the transmission mode and loop bandwidth of satellite measurement system. The analyzed effects for satellite measurement in presence of satellite link noise were also analyzed with the measured satellite range data via satellite range measurement system operating in satellite link AWGN. In RAU mode, the satellite range differences of 14.4 to 40.6 m were occurred according to the loop bandwidth of satellite range measurement system and the degradation of 0.3 dB compared with theoretical value was generated under condition of the signal-to-noise ratio of 43 dB. In RAU and TM mode, the performances of range measurement were approximately agreed to the that of RAU mode. In order to get the equal performance characteristics with RAU mode, the signal-to-noise ratio of satellite link for RAU and TM mode should be increased by signal power of 2.3 dB, which is a power loss due to transmission of telemetry signal.

**Keywords :** 톤 방식, 위성 거리 측정, 위성 링크 잡음 영향, GSTDN

## I. 서 론

위성의 위치를 파악하고 위성 궤도를 예측하기 위해서는 위성 위치 데이터가 필요하다. 위성 지구국에서 위성의 위치 데이터를 얻기 위해서는 일반적으로 2가지

방법이 사용한다<sup>[1]</sup>. 지구국 안테나의 각 추적(angle tracking) 데이터로부터 위성에 대한 각 좌표 데이터가 산출되거나 거리 측정 톤(ranging tone)을 사용한 위성까지의 거리 데이터를 산출하여 위성 위치를 파악할 수 있다. 위성에 대한 각 추적은 위성에 대한 고도(elevation)와 양각(azimuth) 데이터를 측정하는 것으로 정확도의 향상을 위하여 multiple-feed horn을 사용하는 안테나 시스템을 사용한다. 또한, 위성까지의 거리 데이터를 산출하는 거리 측정 톤 방식은 위성으로 송신

\* 정회원, 군산대학교 전자정보공학부  
(Electronic and Information Engineering, Kunsan National University)  
접수일자: 2004년11월26일, 수정완료일: 2005년1월11일

된 톤의 위상과 위성으로부터 되돌아온 톤 신호의 위상차를 비교함으로써 거리를 알 수 있다. 한 지구국으로부터 얻어진 거리 측정 데이터는 위성 궤도를 정확히 예측하기 어려우므로 다른 지구국의 위성 거리 측정 데이터를 이용하거나 또는 위성 각 추적(angle-tracking) 데이터를 사용하여 정확한 위성 궤도를 예측할 수 있도록 한다. 거리 측정 톤 신호를 사용하는 방법은 정확도를 위한 major 톤과 위상 모호성(ambiguity) 해결을 위한 minor 톤 신호들로 구성된다<sup>[2][3]</sup>.

위성까지의 정확한 거리 측정을 위해서는 톤 신호간의 위상차가 정확히 측정되어야 하나 위성 링크상에서 발생하는 잡음 및 간섭 그리고 다중 변조 방식에 따른 전송 신호간의 간섭에 따라 측정 위상 값의 오차가 발생한다. 따라서, 보다 정확한 거리 데이터의 발생을 위하여 잡음에 의한 영향을 최소화하는 전송 방식과 측정 시스템이 사용되고 있다. 그러나, 위성 링크 잡음은 지구국 전송 제원과 연관되므로 상·하향 위성 링크 잡음에 의한 거리 측정 데이터의 영향은 나타날 수 있다.

본 논문에서는 거리 측정 톤 방식을 사용하는 GSTDN 거리 측정 시스템에서 위성 링크상에서 발생하는 잡음이 거리 측정 데이터에 미치는 영향을 해석한다. 또한, 위성 거리 측정 시스템에서 실험한 결과에 의해 위성 링크 잡음에 대한 거리 측정 데이터의 영향을 분석한다. 분석된 결과는 톤 방식을 사용하는 거리 측정 시스템을 위성 거리 측정에 활용할 경우 보다 정확한 거리 측정 데이터를 산출할 수 있도록 사용하는 전송 지구국의 전송 제원 설계에 적용할 수 있도록 한다.

## II. 위성 거리 측정

### 1. 톤 거리 측정 방식

톤 방식을 사용하는 위성 거리 측정 방식은 규격화되었으며, ESA, INMARSAT 그리고 GSTDN 방식을 사용한다. ESA(European Space Agency)의 톤 방식은 표 1의 톤 신호를 사용한다<sup>[2]</sup>. Minor 톤 신호들은 major 톤 신호로부터 주파수 분배되어 위상 동기(phase-coherent)된 톤 신호들로 구성된다. Minor 톤 신호의 분배율은 5이나 가장 낮은 minor 톤 (8 Hz) 신호의 분배율은 4이다. 또한, 이 방식에 의한 최대 모호성 해결(unambiguous) 거리는 37,500 km이며, 상·하향 링크상의 점유 대역폭을 고려하여 minor 톤 신호들은 16 kHz 부 반송파를 이용하여 표 1과 같은 RT(Real Tone) 신호들로 전송된다.

표 1. ESA 방식의 거리 측정 톤 신호  
Table 1. Ranging tone signals of ESA method.

Tones	Virtual Tones	Real Tones
Major Tone	100 kHz	100 kHz
Minor Tones	20 kHz	20 kHz
	4 kHz	16 kHz
	800 Hz	16.8 kHz
	160 Hz	16.16 kHz
	32 Hz	16.032 kHz
	8 Hz	16.008 kHz

표 2. INMARSAT 방식의 거리 측정 톤 신호  
Table 2. Ranging tone signals of INMARSAT method.

Tones	Virtual Tones	Real Tones
Major Tone	27.777778 kHz	27.777778 kHz
Minor Tones	3968.25 Hz	3968.25 Hz
	283.45 Hz	283.45 Hz
	35.43 Hz	35.43 Hz

표 3. GSTDN 방식의 거리 측정 톤 신호  
Table 3. Ranging tone signals of GSTDN method.

Tones	Virtual Tones	Real Tones
Major Tone	500, 100 kHz	500, 100 kHz
Minor Tones	20 kHz	20 kHz
	4 kHz	4 kHz
	800 Hz	4.8 kHz
	160 Hz	4.16 kHz
	40 Hz	4.04 kHz
	8 Hz	4.008 kHz

ESA 규격은 6개의 minor 톤 신호를 사용하나, INMARSAT 방식에서는 major 톤을 포함하여 4 개의 톤 신호를 사용한다. 여기서, 1 MHz 기준 주파수를 사용할 경우, major 톤 신호는 36 분배율을 가지며, minor 톤 신호들은 각각 252, 3,528 그리고 28,224의 분배율로 발생된다.

INMARSAT에 의한 최대 거리 모호성 해결 거리는 8,467.4 km이며, minor 톤 신호들은 19 kHz 부 반송파에 위상 변조되어 전송된다. 표 2는 INMARSAT 방식의 거리 측정 톤 신호들을 보여준다.

GSTDN 방식은 ESA 방식과 같으나, minor 톤 신호들의 전송을 위한 부 반송파로 4 kHz 신호를 사용하는 차이가 있다<sup>[3]</sup>.

또한, ESA 방식의 32 Hz minor 톤 신호 대신 40 Hz의 톤 신호를 사용한다. Minor 톤 신호들의 분배율은 ESA 방식과 같이 5(4)이며, 최대 모호성 해결 거리는

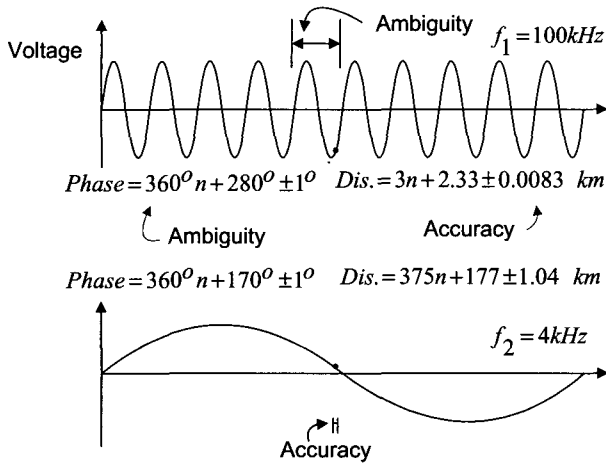


그림 1. 톤 방식에 의한 위성 거리 측정  
Fig. 1. Satellite range measurement using tone method.

37,500 km이다. 거리 측정 톤 신호들은 원격 명령 신호 또는 하향 링크에서의 원격 측정 신호 등과 동시에 전송될 수 있으므로 전송 신호간 간섭 현상을 배제할 수 있는 주파수 할당이 필요하다. 따라서, 20 kHz 내외의 부 반송파를 사용하는 원격 명령 신호의 부 반송파 사용에 따라 ESA 방식 또는 GSTDN 방식을 사용하여야 한다. 톤 방식에 의한 거리 측정은 그림 1과 같이 major 톤 신호에 의해 거리 측정의 정확도가 결정되며, minor 톤 신호들에 의해 거리 측정 데이터의 모호성(ambiguity)이 해결된다. 거리 측정 위상의 모호성을 제거할 수 있도록 가장 낮은 minor 톤 신호의 위상 측정 치는 식 (1)과 같은 범위 이내의 정확도를 가져야 한다<sup>[4]</sup>.

$$\Delta\phi = \pm \frac{180^\circ}{m} \quad (1)$$

여기서,  $m$ 은 톤 신호들의 주파수 비이다.

본 논문에서의 위성 거리 측정 방식으로는 원격 명령 신호의 부 반송파를 16 kHz를 사용하는 GSTDN 방식을 적용한다.

## 2. 거리 측정 신호 전송 및 위성 거리 측정

위성 거리 측정 신호는 위성까지 전송되어 위성으로부터 되돌아오는 전송 신호 형태를 갖는다. 상향 링크에는 거리 측정 신호이외에 원격 명령 신호가 포함될 수 있으며, 위성으로부터 전송되는 하향 링크 신호에도 원격 측정 신호가 포함되어 전송될 수 있다. 상·하향 링크에 대한 전송 신호들의 대역폭은 그림 2와 같다. 원격 명령 신호는 거리 측정 신호와 간섭을 줄이기 위

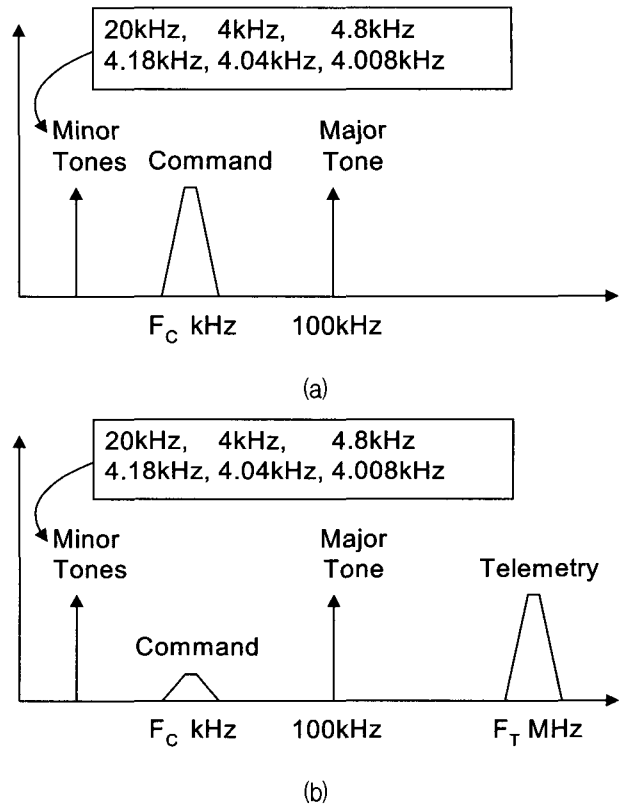


그림 2. 거리 측정 톤 및 위성관제 신호 전송 대역, (a) 상향 링크, (b) 하향 링크

Fig. 2. Signal bandwidth of range measurement tone and satellite command & telemetry signal, (a) uplink and (b) downlink.

하여  $F_C(16)$  kHz 부 반송파를 사용하여 거리 측정 신호와 다중 변조 모드 신호로 전송된다. 또한, 하향 링크의 거리 측정 신호는  $F_T(1.024)$  MHz 부 반송파를 사용하는 원격 측정 신호와 다중 변조되어 전송되며, 하향 링크 신호에는 상향 링크 전송 신호인 원격 명령 신호가 잔류 신호로 재전송될 수 있다<sup>[4]</sup>.

Major 톤과 minor 톤 신호들이 순차적으로 동시에 위성으로 전송되어 거리 측정에 따른 거리 모호성을 해결한다. 그림 3은 거리 측정 톤 측정 방법을 보여준다. 100 kHz major 톤 신호는 20 kHz minor 톤 신호와 동시에 전송되며, 20 kHz minor 톤 신호 전송 후 제 2의 minor 톤 신호인 4 kHz 신호가 100 kHz major 톤 신호와 같이 전송된다. 또한 4 kHz 톤 보다 낮은 minor 톤 신호들은 4 kHz 부 반송파에 Inter-modulation되어 전송된다.

위성으로 전송된 거리 측정 톤 신호는 지상국으로 회귀(turn-around)되며 전송된 톤 신호의 위상과 회귀된 톤 신호의 위상차를 비교 측정한다. 100 kHz 톤 신호의 정확도를 유지하기 위하여 회귀된 minor 톤은 major

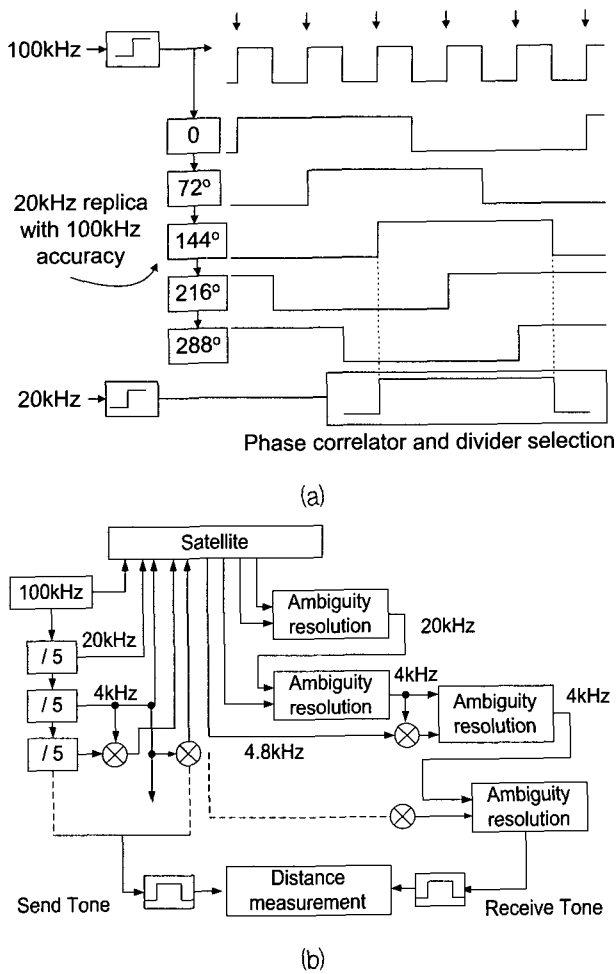
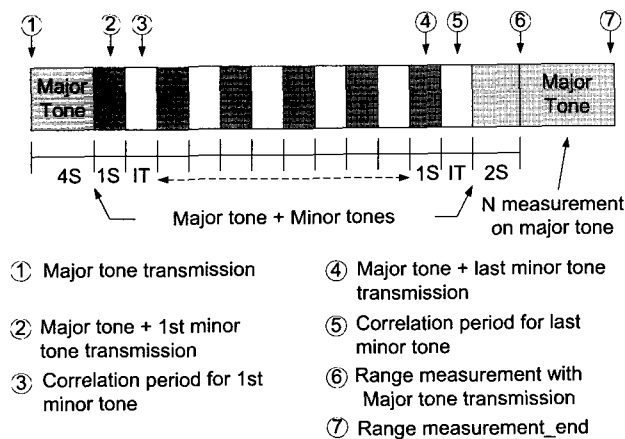


그림 3. 톤 신호 위상 동기, (a) 20 kHz minor 톤 위상 동기 및 (b) 개념도

Fig. 3. Phase-coherent scheme of tone method, (a) phase-coherent of 20 kHz minor tone signal and (b) block diagram.



(IT: minor tone의 correlation을 위한 Integration time)

그림 4. GSTDN의 거리 측정 신호 전송

Fig. 4. Transmission of range measurement signal using GSTDN method.

톤 신호인 100 kHz 신호에 위상 동기된 모사(replica) 거리 측정 신호를 발생한다.

그림 4는 GSTDN 거리 측정 톤 신호의 전송 방법을 보여준다. 지상국에서 전송한 거리 측정 톤 신호가 위성으로부터 회귀되어 지상국 거리 측정 시스템에 의해 동기될 수 있는 시간 (4초) 동안 거리 측정 시점에 major 톤 신호가 전송된다. Major 톤 신호 전송이 끝나고 첫 번째 minor 톤 신호와 major 톤 신호가 1초 정도 동시에 전송되며, 거리 측정 장비의 디지털 PLL에서는 전송되어 회귀된 minor 톤 신호에 위상 동기된 모사(replica) 톤 신호를 integration time (IT)동안 발생시킨다. 순차적으로 6개의 minor 톤 신호가 위성으로 전송되고, 지상국으로 회귀된 톤 신호들과 위상 동기된 모사 minor 톤 신호들을 발생시켜 순차적으로 거리 측정의 거리 모호성(n)을 해결한다. 마지막 6번째 minor 톤 신호 전송 및 integration time이 지난 후, 디지털 PLL의 안정화 및 major 톤 신호의 위상 동기 유지를 위하여 2초 정도 major 톤 신호를 전송한다. 그림 2에서 6번 과정이 지나면 거리 측정의 거리 모호성 변수 n과 major 톤 신호의 위상차를 측정하여 위성 거리( $R_{mea}$ )를 구할 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$R_{mea} = \left( \frac{\theta_{majortone} (^{\circ})}{360} + n \right) \times \frac{c}{f_{major}} \quad (m) \quad (2)$$

여기서,  $c$ 는 광속 ( $3 \times 10^8$  m/sec)이며,  $f_{major}$ 는 major 톤 신호의 주파수이다. 또한  $\theta_{majortone}$ 는 major 톤 신호의 기준 위상 값과 측정 위상 값의 차이이다.

Minor 톤의 위상 값( $\theta_{minortone}$ )은 minor 톤과 major 톤의 분배율에 의해 major 톤 신호의 위상 값으로부터 다음과 같은 관계식을 만족하며, 거리 측정의 거리 모호성 n을 구할 수 있다.

$$\theta_{minortone} = \left( \frac{\theta_{majortone} (^{\circ}) + 360^{\circ} \times n}{m} \right) \quad (3) \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

여기서,  $m$ 은 major 톤과 minor 톤의 분배율이다.

### III. 위성 링크 잡음에 의한 영향

거리 측정 시스템은 그림 5와 같이 구성된다. 톤 발생기에서 발생된 신호가 위성으로 전송되며, 위성으로

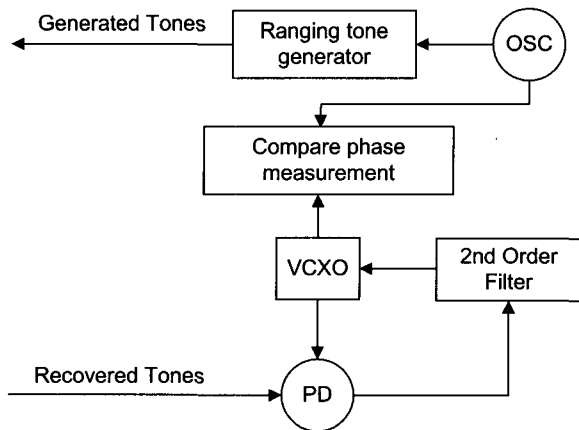


그림 5. 위성 거리 측정 시스템 개념도  
Fig. 5. Block diagram of satellite range measurement system.

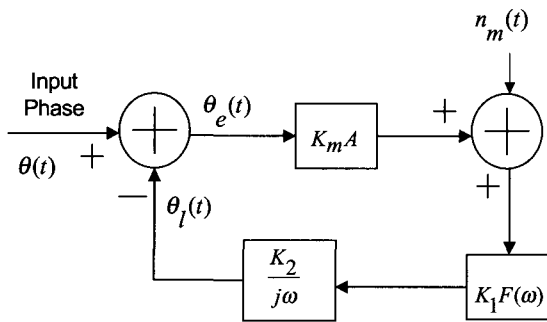


그림 6. Phase locked-loop의 등가 선형 모델  
Fig. 6. Equivalent model of phase locked-loop.

부터 되돌아온 신호를 디지털 PLL(Phase Locked-Loop) 회로에서 major 톤 신호와 위상 동기 된 minor 톤의 모사 신호를 발생시켜 위상 비교를 한다. 거리 측정 시스템의 잡음에 대한 영향은 PLL 회로에 의해 결정되며 잡음에 대한 PLL 회로의 해석이 중요하다.

PLL 회로의 잡음 대역폭내의 반송파 신호 대 잡음 신호의 비가 크다면 그림 6과 같이 PLL의 선형 모델을 사용하여 해석한다<sup>[6]</sup>.

그림 6에서 PLL의 루프 이득(loop gain) 함수로 식 (4)와 같이 정의한다.

$$H(w) \equiv \frac{AK\{F(w)/jw\}}{1 + \{AKF(w)/jw\}} \quad (4)$$

여기서,  $F(w)$ 는 루프 여파기 (loop filter)이며,  $K = K_1 K_2 K_m$ 는 루프 회로 이득이다.

선형 케환 루프 해석에 의해 Tracking 에러,  $\theta_e(t) = \theta(t) - \theta_l(t)$ , 는 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} \Phi_e(w) &= \Phi(w) - \Phi_l(w) \\ &= \left[ \frac{1}{1 + AK\{F(w)/jw\}} \right] \Phi(w) \\ &\quad - \left[ \frac{AK\{F(w)/jw\}}{1 + AK\{F(w)/jw\}} \right] \frac{N_m(w)}{K_m A} \end{aligned} \quad (5)$$

식 (4)의  $H(w)$ 에 의해,

$$\Phi_e(w) = \{1 - H(w)\} \Phi(w) - H(w) \left\{ \frac{N_m(w)}{K_m A} \right\} \quad (6)$$

반송파 위상 변조 잡음 신호  $\theta(t)$ 에 의한 영향을 무시하면, Mixer 잡음에 의한 시간 영역에서의 위상 오차  $\theta_{en}(t)$ 는 가우시안(Gaussian) 잡음이므로, 시간 영역에서의  $\theta_{en}(t)$ 의 위상 분산(variance) 값은 식 (5)의 두 번째 항의 스펙트럴 세기(spectral density)를 적분하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_n^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(w)^2 \frac{\tilde{S}_n(w)}{A^2} dw \\ &= \frac{N_o}{A^2} \left\{ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |H_{IF}(w)|^2 |H(w)|^2 dw \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

단측파 대(one-sided) 루프 잡음 대역폭을 다음과 같이 정의하면,

$$\overline{B}_L \equiv \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} |H_{IF}(w)|^2 |H(jw)| dw \quad (8)$$

식 (7) 은 다음과 같다.

$$\sigma_n^2 = \frac{2N_o \overline{B}_L}{A^2} \quad (9)$$

Tracking 루프에서의 잡음 대역폭과 반송파 신호 대 잡음 신호 비의 관계에 의하여 식 (9)는 PLL 회로의 신호대 잡음비(CNR<sub>L</sub>)로 식 (10)과 같이 표현된다.

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{CNR_L} \quad (10)$$

일반적으로 IF 잡음 대역폭은 변조 신호 대역폭보다 더 넓은 주파수 대역폭을 사용하므로 식 (7)의 대역폭

은  $B_L = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} |H(jw)|^2 dw$ 와 같이 정의할 수 있

다. 따라서, 거리 측정 시스템에서의 잡음에 대한 위상 오차( $\theta_{SNR_L}$ )는 다음과 같다.

$$\theta_{SNR_L} = \sqrt{\frac{B_L}{2 \frac{S}{N_o}}} \times \frac{180^\circ}{\pi} \quad (^\circ) \quad (11)$$

그림 4의 거리 측정의 모호성을 해결하기 위한 major 톤 신호와 minor 톤 신호의 거리 측정 신호는 거리 측정 신호 또는 거리 측정 신호와 원격 측정 신호 또는 원격 명령 신호와 같이 상·하향 링크 신호로 전송될 수 있다. 따라서, 거리 측정 신호의  $S/N_o$  값은 거리 측정 신호의 IF 신호의 반송파 신호 대 잡음 신호의 비와 전송 신호의 변조 지수에 의해 다음과 같이 Bessel 함수에 의해 구한다<sup>[7]</sup>.

$$\begin{aligned} \frac{S}{N_o} &= \frac{C}{N_o} + 10 \log\{2J_1^2(mr_2)\} + 10 \log\{J_0^2(mr_1)\} \\ &\quad \text{for ranging} \\ \frac{S}{N_o} &= \frac{C}{N_o} + 10 \log\{2J_1^2(mr_2)\} + 10 \log\{J_0^2(mr_1)\} \\ &\quad + 10 \log\{J_0^2(mt)\} \quad \text{for ranging+TM} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서,  $mr_1$  및  $mr_2$ 는 minor 톤 및 major 톤 신호의 거리 측정 톤 신호의 변조 지수이며,  $mt$ 는 원격 측정 신호의 변조 지수이다.

그러나, 거리 측정은 거리 모호성이 해결된 후 전송되는 major 톤 신호의 전송 기간동안 수행되므로 거리 측정에 영향을 갖는 위성 링크에 의한  $S/N_o$  값은 식 (12)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{S}{N_o} &= \frac{C}{N_o} + 10 \log\{2J_1^2(mr_2)\} \quad \text{for ranging} \\ \frac{S}{N_o} &= \frac{C}{N_o} + 10 \log\{2J_1^2(mr_2)\} + 10 \log\{J_0^2(mt)\} \\ &\quad \text{for ranging+TM} \end{aligned} \quad (13)$$

#### IV. 위성 거리 측정 성능 분석 및 결과

거리 측정 시스템의 PLL 대역폭은 잡음의 영향을 최소화하기 위하여 1, 2, 4 그리고 8 Hz 대역폭을 사용하

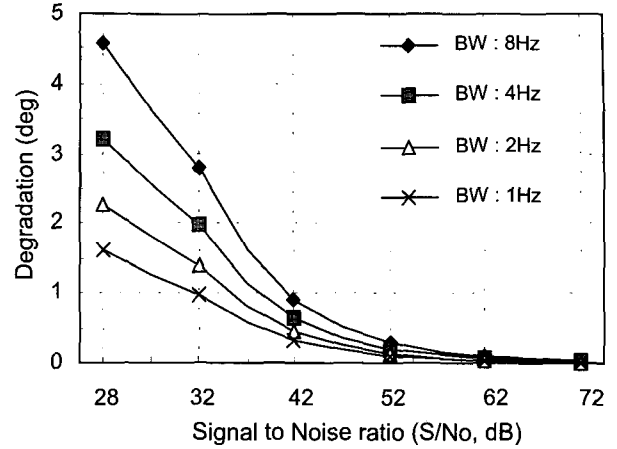


그림 7. 거리 측정 루프 잡음에 따른 거리 측정 성능  
Fig. 7. Range measurement performance relative to range measurement loop bandwidth.

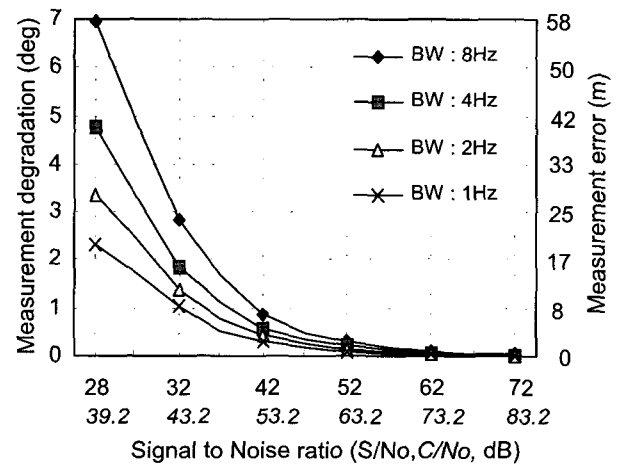


그림 8. RAU Mode에서의 잡음에 따른 거리 측정 성능,  
(고딕체 : 거리 측정 루프  $S/N_o$ , 이탤릭체 : 위성 링크 신호  $C/N_o$ )  
Fig. 8. Range measurement performance relative to signal-to-noise ratio in RAU mode, (bold :  $S/N_o$  of range measurement loop, italic :  $C/N_o$  of satellite link signal).

였다. 이동 위성에 대해서는 도플러(doppler) 현상에 따른 주파수 편차 현상을 고려하여 도플러 주파수에 따라 최적의 PLL 대역폭이 설정되어야 한다. 그러나, 본 논문에서는 정지 궤도 위성을 대상으로 하였으며, 거리 측정 신호의 major 톤 신호는 100 kHz이며 거리 측정 신호와 원격 측정 신호의 변조 지수는 각각 0.4와 1.0 radian을 적용하였다. 또한, 원격 측정 모드의 부 반송파 신호는 1.024 MHz를 사용하였다. 그림 7은 거리 측정 루프의 신호대 잡음비( $S/N_o$ )와 루프 대역폭에 의한 이론적인 성능 값을 보여준다.

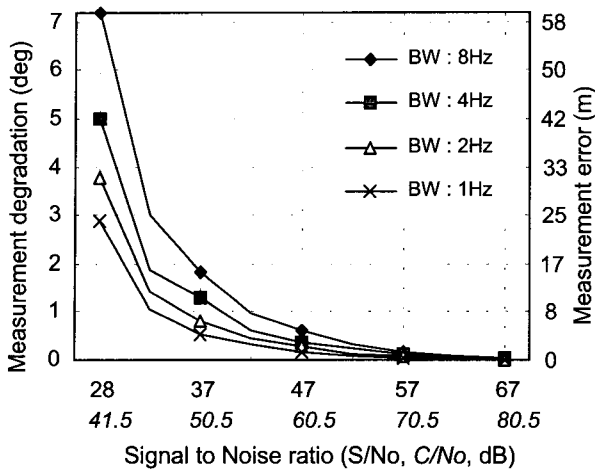


그림 9. RAU와 원격 측정 Mode에서의 잡음에 따른 거리 측정 성능, (고딕체 : 거리 측정 루프 S/No, 이탤릭체 : 위성 링크 신호 C/No)

Fig. 9. Range measurement performance relative to signal-to-noise ratio in RAU & TM mode, (bold : S/No of range measurement loop, italic : C/No of satellite link signal).

거리 측정 루프에서의 신호대 잡음비(S/No)가 28 dB 일 경우, 대역폭에 따라 13.3~37.5 m의 거리 측정 오차가 발생하나, 신호대 잡음비가 42 dB로 증가하면 2.5~7.5 m 이내로 오차가 감소함을 알 수 있다.

그림 8은 위성 거리 측정 신호가 전송될 경우 위성 링크 잡음에 따른 거리 측정 데이터의 열화를 보여 준다. 위성 링크 신호의 신호대 잡음비(C/No)비가 43 dB의 낮은 영역에서는 그림 7의 이론값보다 0.3 dB 정도의 열화(거리 측정 오차는 대역폭에 따라 14.4 ~ 40.6 m로 증가)가 발생하며, 신호 대 잡음 신호비가 58 dB 이상 증가할 때에는 잡음에 의한 영향(대역폭에 따라 거리 측정 오차는 1.4~4 m 이내)은 매우 작게 나타나고 있다. 그러나, 신호대 잡음비가 41 dB 보다 낮은 영역에서는 거리 측정 루프의 비선형 동작으로 인하여 열화가 비선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

위성으로부터 거리 측정 신호와 원격 측정 신호가 동시에 전송될 때 위성 링크 잡음에 대한 거리 측정 데이터의 열화도는 그림 9에 나타나 있다. 잡음 대역폭이 작을수록 잡음에 의한 영향은 상당히 작아지며, 거리 측정 신호만 전송될 경우의 성능 열화 특성인 그림 8과 거의 동일한 성능 열화 특성을 갖는다. 그림 8과 거리 측정 루프에서의 동일한 신호대 잡음비(S/No)를 위해서는 위성 링크 신호의 신호대 잡음비(C/No)는 약 2.3 dB 증가되어야 한다.

그림 10은 위성 전송 링크상에서 발생하는 잡음에 따

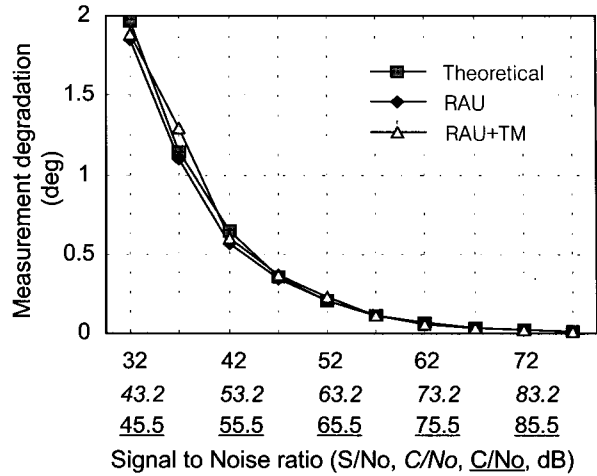


그림 10. 전송 모드에 따른 거리 측정 성능 비교도, (고딕체 : 거리 측정 루프 S/No, 이탤릭체 : RAU 모드의 위성 링크 신호 C/No, 밑줄 값 : RAU+TM 모드의 위성 링크 신호 C/No)

Fig. 10. Range measurement performance relative to transmission mode, (bold : S/No of range measurement loop, italic : C/No of satellite link signal in RAU mode, underlined value : C/No of satellite link signal in RAU +TM mode).

른 4 Hz 거리 측정 루프 대역폭을 갖는 거리 측정 성능 열화도를 나타내었다.

RAU 전송 모드와 원격 측정 신호와 거리 측정 신호를 동시에 전송하는 RAU+TM 전송 모드의 위성 링크 잡음에 의한 거리 측정 데이터의 성능 열화는 이론값에 대해 약 0.3 dB 이내로 일치하고 있다. 또한, 원격 측정 신호의 부반송파 신호의 사용과 거리 측정 신호 루프 대역폭의 최소화로 원격 측정 신호와의 상호 간섭 영향이 최소화되어 전송 모드에 따른 성능 열화는 거의 발생되지 않음을 알 수 있다.

#### IV. 결론

위성의 위치를 파악하고 위성 궤도를 예측하기 위한 위성 거리 측정으로 톤 방식을 사용하는 거리 방법에 대한 위성 링크 잡음의 영향을 분석하였다. 거리 측정 시스템으로는 위성 링크상에서 발생하는 잡음의 영향을 최소화하기 위해 거리 측정 톤 신호만을 여과하는 최소 대역폭을 갖는 디지털 PLL 회로를 사용하여 거리 측정 신호 전송 모드, 그리고 원격 측정 신호와 거리 측정 신호가 동시에 전송되는 신호 모드에 대하여 잡음의 영향을 측정하고 분석된 결과와 비교 분석하였다.

거리 측정 신호가 전송되는 모드에서는 위성 링크 신호의 신호대 잡음비( $C/N_0$ )가 43 dB에서 거리 측정 대역폭에 따라 약 14.4~40.6 m 이내의 오차가 발생되었으며, 이론값에 비해서는 약 0.3 dB의 열화도가 발생하였다. 또한, 원격 측정 신호와 동시에 전송되는 모드에서는 RAU 전송 모드와 거의 동등한 성능을 보였으며, RAU 모드와 동일한 성능을 갖기 위해서는 RAU+TM 다중 전송 모드에 따른 전력 손실 값으로 약 2.3 dB 증가된 위성 링크 신호의 신호대 잡음비가 요구되었다. 정확한 거리 측정 데이터를 생성하기 위해서는 요구되는 거리 측정 회로 루프의 신호대 잡음비가 유지되어야 하며, 본 논문의 결과를 통하여 등가적으로 다중 전송 모드에 따라 위상 링크 신호의 신호대 잡음비를 산출하여 거리 측정 시스템의 전송 신호로 적용할 수 있도록 한다.

## 참고 문헌

- [1] Joseph H. Yuen, *Deep Space Telecommunications Systems Engineering*, Plenum, NY, 1983.
- [2] ESA, *Ranging standard volume 1: Direct found to spacecraft ranging*, Paris, 1991.
- [3] NASA, *Ground Network(GN) User's Guide*, 530-UGD-GN, Maryland, 1993.
- [4] Frank Carden, *Telemetry Systems design*, Artech House, Boston, 1995.
- [5] 김영완, 김호겸, 오덕길, "등가 위상 측정 방법을 이용한 위성 거리 측정 시스템 구현" 한국항공우주학회논문지, 제 27권, 제 7호, pp. 73-80, 1999.
- [6] Robert M. Gagliardi, *Satellite Communications*, Van Nostrand reinhold Co., NY, 1984.
- [7] 김영완, "PCM/PSK/PM 다중 변조 방식을 사용한 다목적 실용위성의 관제 신호 전송에 관한 연구" 한국항공우주학회논문지, 제 28권, 제 2호, pp 97-107, 2000.

---

## 저자 소개



김영완(정회원)

1983년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.

1985년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.

2003년 충남대학교 전자공학과 박사 졸업.

1984년~1990년 동양정밀공업(주) 중앙연구소 근무

1990년~1992년 (주) 유영통신 근무

1992년~2004년 한국전자통신연구원 근무

2004년~현재 군산대학교 전자정보공학부

<주관심분야 : RF/Microwave 회로 설계, 디지털위성방송·통신, Microwave device>