# 이동형 위성통신 서비스를 위한 시스템 위상 잡음

김영완*

## System Phase Noise for Mobile Satellite Communication Service

Young-wan Kim*

이 논문은 2004년도 군산대학교 학술연구비의 지원에 의하여 연구되었음


### 요 약

디지털 신호의 전송 성능은 전송 시스템의 위상 에러에 지배적으로 영향을 받고 있으며, 위상 에러는 랜덤 특성을 갖는 위상 잡음과 도플러에 의한 추적 위상 에러에 의해 발생된다. 도플러 현상이 나타나는 움직임을 갖는 이동형 위성통신 시스템에서는 랜덤 위상 잡음과 추적 위상 오차에 의한 전송 신호의 영향을 해석하여 이동형 위성통신 시스템에 적합한 시스템 요구 위상 잡음 스펙트럼을 설계해야 한다. 본 논문에서는 이동형 양방향 위성통신 시스템의 비대칭 이동 서비스에 대한 도플러 영향과 위상 에러를 해석하여 요구되는 전송 시스템의 위상 잡음 스펙트럼을 설계하고, 움직임을 갖는 단말국의 도플러 영향을 최소화하는 전송 서비스를 해석한다. 제안한 위상 잡음 스펙트럼은 요구 전송 시스템에 대한 주파수 발생 부 주파수 특성으로 설계할 수 있다.

### ABSTRACT

The phase error generated in the transmission system affects the performance of digital transmission signal. The phase error are generated by random phase noise and tracking phase error due to doppler phenomenon. In the mobile satellite communication system that generates the doppler frequency, which is a system with a movement, the proper system phase noise spectrum should be designed based on analyses for phase noise and static phase error effects. Based on the analyses of the doppler frequency and the phase error for bilateral satellite communication system providing an asynchronous service, the phase noise spectrums for the mobile satellite communication are designed in this paper. Also, the available transmission services under the less doppler effect are proposed and the proper signal source units for a required transmission system can be designed under the proposed system phase noise spectrum.



키워드

Phase noise, Phase noise spectrum, Mobile satellite communication service


## Ⅰ. 서 론

디지털 전송 신호는 전송 시스템의 위상 잡음에 의해 영향을 받으며, 위상 잡음이 높은 전송 시스템에서는 전송된 신호가 복원될 수 없는 신호 열화가 발생할 수 있다[1]. 위상 잡음이 낮은 시스템은 전송 신호의

* 군산대학교 전자정보공학부

접수일자 : 2055. 6. 13

열화가 상대적으로 낮으나, 낮은 위상 잡음을 갖는 주파수 발생부를 설계하기가 어렵다. 또한 높은 위상 잡음을 갖는 시스템에서는 신호의 전송 열화가 크게 증가하여 양호한 전송 품질을 얻기가 어렵다. 따라서, 적합한 위상 잡음 특성을 갖는 전송 시스템을 설계하여 시스템 설계가 가능하게 하고, 전송 신호의 품질을 보장할 수 있어야 한다. 이러한 요구 시스템 위상 잡음 스펙트럼은 Intelsat 규격 등에서 규정하고 있으나, 전송되는 신호 및 전송 시스템에 따라 적용할 수 없는 경우가 발생한다[2]. 또한, 고정 지국국 간에 전송되는 시스템에 대한 위상 잡음 스펙트럼에 대한 연구가 되고 있으나[3], 이동형 위성통신 서비스에 대한 시스템 위상 잡음으로의 적용은 도플러 현상을 고려하여야 한다. 이동형 위성통신 서비스는 위성 또는 단말기의 움직임에 의해 도플러 주파수와 도플러 주파수 변이율(doppler rate)이 발생하여 추적 위상 에러가 발생된다. 즉, 이동형 위성통신 전송 시스템에서의 위상 에러는 위상 잡음과 정적(靜的) 위상 에러(static phase error)에 의해 발생함으로 전송 서비스에 따라 고정형 위성통신 서비스를 제공하는 전송 시스템보다 낮은 위상 잡음 스펙트럼으로 설계하여야 한다.

본 논문에서는 움직임을 갖는 이동형 위성통신시스템의 요구 위상 잡음 스펙트럼 설계 방법을 제안하고, 비대칭 위성 서비스를 제공하는 이동형 양방향 위성통신 시스템에서 움직임에 따른 도플러 영향을 최소화하여 전송할 수 있는 서비스를 해석한다. 즉, DVB-S와 DVB-RCS 전송 방식을 사용하는 이동형 양방향 서비스에 대한 도플러 주파수와 전송 데이터 및 도플러 가속 성분에 따른 추적 위상 에러를 해석한다. 그리고, 도플러에 의한 위상 에러와 위상 잡음에 의한 열화 성능을 분석하여 반송파 복원 회로 구성에 대한 이동형 위성통신 서비스에 적합한 위상 잡음 스펙트럼 분포를 설계한다. 설계한 시스템 위상 잡음 스펙트럼 분포를 갖는 전송 시스템의 주파수 발생부 구현은 이동형 전송 시스템을 통한 양호한 서비스를 제공할 수 있다.

## Ⅱ. 이동형 위성통신의 도플러

### 2.1. 도플러 주파수 및 변이율

본 논문에서는 표 1과 같은 정지궤도인 Ka 대역 무궁화 위성을 이용한 DVB-S와 DVB-RCS 이동형 양방향 서비스를 제공하는 위성통신 시스템을 대상으로 한다[4].

표 1. 이동형 양방향 위성통신 서비스
Table 1. Mobile bilateral satellite communication service

| 구 분 | 순방향 링크 | | 역방향 링크 | |
|---|---|---|---|---|
| 사용 주파수 | 상향 | 하향 | 상향 | 하향 |
| | 30 GHz | 20 GHz | 30 GHz | 20 GHz |
| 전송 데이터 | 45 / 100 Mbps | | ~ 8.192 Mbps | |
| 변조방식 | QPSK / 8-PSK | | QPSK | |
| 전송방식 | DVB-S | | DVB-RCS | |
| BER | $2x10^{-4}$ @ de-modulator output | | | |
| 서비스 및 대상 | o 위성 방송 및 양방향 인터넷 서비스<br>o 이동형 단말국 ( ~ 385 km/h) | | | |

표 1과 같은 고속 움직임을 갖는 단말국은 움직임 속도에 따라 도플러 주파수가 발생된다. 지구국 송신 주파수 ($f_{GT}$)에 대한 위성 수신 주파수 ($f_{SR}$)와 도플러 주파수 ($\Delta f_u$)는 식 (1)과 같다.

$$f_{SR}=\frac{c\pm v_s}{c} f_{GT},\quad \Delta f_u=\frac{\pm v_s}{c} f_{GT} \tag{1}$$

여기서, $c$ 는 빛의 속도이며, $v_s$ 는 정지궤도 위성의 움직임 속도이다.

또한, 위성 송신 주파수 ($f_{ST}$) 에 의한 지구국 수신 주파수 ($f_{GR}$)와 도플러 주파수 ($\Delta f_d$)는 단말국의 이동 속도 ($v_t$)에 따라 식 (2)와 같다.

$$f_{GR}=\frac{c}{c\mp v_t} f_{ST},\quad \Delta f_d=\frac{\pm v_t}{c} f_{ST} \tag{2}$$

정지궤도 위성은 하루의 주기를 가지면서 동서 및 남북 방향으로 최대 75 km를 이동하며, 385 km/h 속도의 최고 움직임을 갖는 단말국에 대한 도플러 주파수는 식 (1)과 (2)로부터 표 2와 같이 발생될 수 있다.

표 2. 위성 링크 간 도플러 주파수
Table 2. Doppler frequency for satellite links

| 사용 주파수 | 지구국 | 중심국 | | 단말국 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 상·하향 (GHz) | 30 | 20 | 30 | 20 |
| 위성 움직임(Hz) | | 62 | 41.3 | - | - |
| 단말국 움직임 (kHz) | 385 km/h | - | - | 7.562 | 5.041 |

여기서, 지구국 안테나의 앙각은 45°를 적용한다.

표 2로부터 위성의 움직임에 대한 도플러 영향은 작으나, 385 km/h의 속도를 갖는 단말국은 최대 7.562 kHz의 도플러 주파수가 발생함을 알 수 있다. 또한, 단말국의 속도가 일정하게 유지될 경우에는 일정한 도플러 주파수가 발생되나, 속도의 동적인 변화가 있을 경우에는 가속도에 의한 도플러 주파수 변이율이 발생된다.

### 2.2. 도플러 및 위상 잡음에 의한 위상 에러

중심국 및 단말국의 수신부는 위성으로부터 전송되는 신호를 복원한다. 전송 신호의 반송파 신호를 복원하는 반송파 복원 회로는 위상 제어 루프(Phase-locked loop)로 구성되며 잡음 대역폭내의 반송파 신호대 잡음의 비가 크다고 하면, PLL은 선형 모델로 해석될 수 있다.

선형 궤환 루프 해석에 의해 추적 에러, $\Theta_e(t)=\Theta(t)-\Theta_l(t)$ 는 루프 이득 함수 $H(\omega)$에 의해 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Phi_e(\omega)=[1-H(\omega)]\Phi(\omega)-H(\omega)[N(\omega)] \tag{3}$$

PLL 회로가 동기되어 입력 신호를 추적하는 경우, 위상 오차는 입력 신호의 동적 특성에 따라 여러 형태로 나타나며, 식 (3)의 첫 번째 항으로 표현된다. 주파수 차에 의한 위상 오차를 줄이기 위하여 잡음 대역폭을 증가하면 잡음($N(\omega)$)에 의한 위상차가 증가한다. 따라서, 추적 성능과 잡음 성능을 동시에 개선하기 위하여 안정도를 갖는 고 이득 2차 능동 필터를 사용하는 PLL을 적용할 경우, 위상 오차 전달 함수는 식 (4)와 같다.

$$H_e(s)\equiv\frac{\Phi_e(s)}{\Phi(s)}=\frac{s^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2} \tag{4}$$

여기서, $\xi$는 감쇠(damping) 계수이며, $\omega_n$은 루프의 고유 주파수(natural frequency)이다.

그러나, 입력 신호가 $\Delta\dot{\omega}\,rad/s^2$으로 변할 때 $\Theta(t)=\Delta\dot{\omega}t^2/2$ 이고, $\Phi(s)=\Delta\dot{\omega}/s^3$이므로 능동 2차 필터의 가속 오차값은 라플라스(Laplace) 최종값 정리에 의해 다음과 같은 유한값을 갖는다.

$$\lim_{t\to\infty}\Theta_e(t)=\operatorname*{Lim}_{s\to0}s\Phi_e(s)=\operatorname*{Lim}_{s\to0}\frac{s^3\Phi(s)}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}=\frac{\Delta\dot{\omega}}{\omega_n^2} \tag{5}$$

여기서, 단말국의 움직임 속도가 동적으로 변할 경우에는 가속도에 의한 도플러 주파수 변이율이 발생되어 PLL 잡음 대역폭에 따라 식 (5)와 같은 위상 에러가 발생될 수 있음을 알 수 있다. 또한, 위상 잡음 전력 스펙트럴을 $S_\Phi(f)$라 하면, 단측파대 PLL 에서의 위상 에러 분산은 식 (3)으로부터 위상 잡음에 의한 영향 $\sigma_\Phi^2$ 과 입력 백색 잡음에 의한 영향 $\sigma_n^2$의 합으로 나타난다.

$$\sigma_\varepsilon^2=\sigma_\Phi^2+\sigma_n^2=\int_0^\infty S_\Phi(\omega)|1-H(\omega)|^2df+\int_0^\infty N_o|H(\omega)|^2df \tag{6}$$

즉, 입력 백색 잡음의 영향은 저역 통과 특성을 나타내며, 위상 잡음의 영향은 고역 통과 특성을 보여준다.

식 (5)와 (6)으로부터 단말국 움직임 가속에 따른 오차값과 위상 잡음 영향은 고유 주파수 $\omega_n$ 또는 잡음 대역폭에 반비례함을 알 수 있다. 그러나, 잡음에 의한 위상차는 잡음 대역폭에 비례하므로 위성 환경과 운용에 따라 위상차를 최소화하는 잡음 대역폭 설정이 요구된다.

## Ⅲ. 도플러 및 위상 잡음에 의한 성능 열화

위성통신 서비스의 변조 방식으로 사용하는 M-ary PSK 신호의 위상 잡음에 대한 조건 오율 함수는 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_M(\phi)=\frac{1}{2k}[\,erfc\{\sqrt{k\rho}\sin(\frac{\pi}{M}+\phi)\} + erfc\{\sqrt{k\rho}\sin(\frac{\pi}{M}-\phi)\}] \quad \text{for } MPSK \ (M\geq 4) \tag{7}$$

여기서, $erfc(y)=2Q(\sqrt{2}y)\equiv\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_y^{\infty}e^{-z^2}dz$ 이며, $k=\log_2 M$ 이다.

식 (7)로부터 위상 잡음 분포 함수에 대한 평균 오율 식은 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$P_M(\varepsilon)=\int_{-\pi}^{\pi}P_M(\phi)P(\Phi)d\phi \tag{8}$$

여기서, ε는 위상 에러를 나타낸다.

식 (8)에서 Gaussian pdf 함수를 사용하여 표 1에서 사용하는 QPSK( $P_4$)와 8-PSK( $P_8$)에 대한 위상 잡음의 영향을 나타내면 식 (9)와 같이 표현할 수 있다[5].

$$P_4=\frac{1}{2}-\frac{1}{2}K\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\varepsilon_n I_n(\frac{\rho'}{2}) [\,A\cos\{(2n+1)\frac{\pi}{4}\}e^{-\frac{(2n+1)^2\sigma_\varepsilon^2}{2}} - B\cos\{(2n-1)\frac{\pi}{4}\}e^{-\frac{(2n-1)^2\sigma_\varepsilon^2}{2}}] \tag{9-a}$$

$$P_8=\frac{1}{3}-\frac{1}{3}K\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\varepsilon_n I_n(\frac{\rho''}{2}) [A\cos(2n+1)\frac{3\pi}{8}e^{-\frac{(2n+1)^2\sigma_\varepsilon^2}{2}} - B\cos\{(2n-1)\frac{3\pi}{8}\}e^{-\frac{(2n-1)^2\sigma_\varepsilon^2}{2}}] \tag{9-b}$$

여기서, $\sigma_\varepsilon^2$는 위상 잡음의 분산(variance)이며, $I_n()$, $I_{n+1}()$는 각각 1종 $n$차, $n+1$차 수정 베셀 함수이다. 또한, 계수들은 다음과 같이 정의된다.

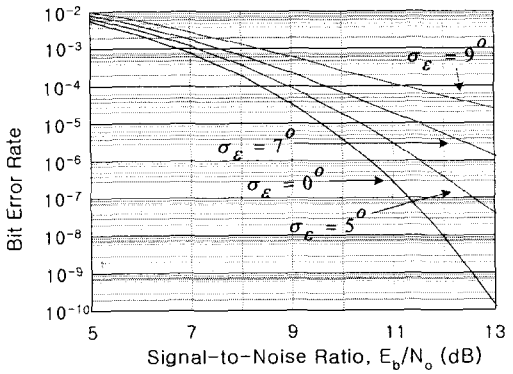
$$A=\frac{\cos(2n+1)\bar{\epsilon}}{(2n+1)},\ B=\frac{\cos(2n-1)\bar{\epsilon}}{(2n-1)}$$

$$\rho=E_b/N_o,\ K=\sqrt{\frac{k\rho}{\pi}}\,e^{-0.5k\rho},\quad \rho'=2\rho,\quad \rho''=3\rho$$

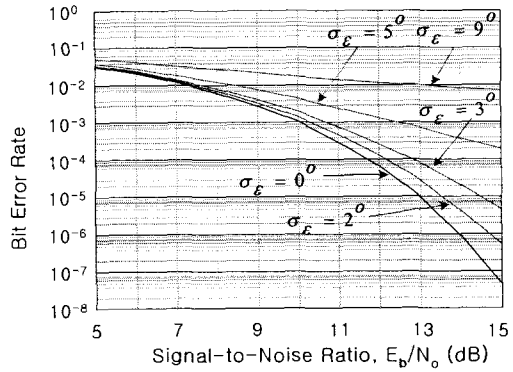
$$\epsilon_n=1 \text{ for } n=0$$
$$\epsilon_n=2 \text{ for } n\neq 0$$

여기서, $\bar{\varepsilon}$ 는 도플러 주파수 변이율에 의한 정적 위상 에러를 나타낸다.

그림 1과 2는 식 (9)를 이용하여 위상 잡음과 정적 위상 에러에 의한 성능 오율 특성을 나타낸 것이다.




(a)




(b)

그림 1. 위상 잡음에 의한 성능 오율, (a) QPSK와 (b) 8-PSK

Fig. 1. Error performance due to phase noise, (a) QPSK and (b) 8-PSK

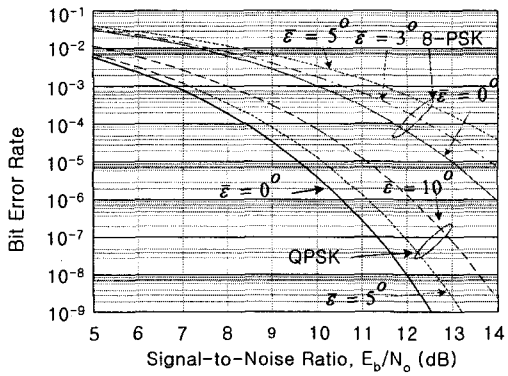
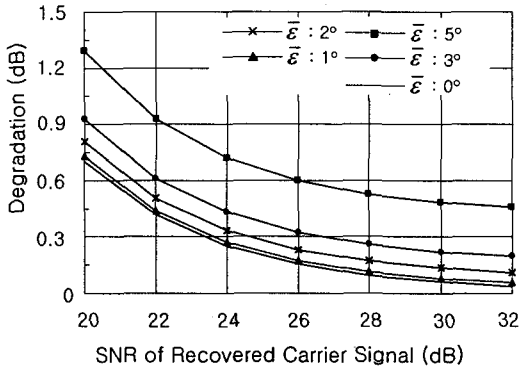



그림 2. QPSK와 8-PSK에 대한 정적 위상 에러에 의한 성능 오율

Fig. 2. Error performance due to static phase noise, for QPSK and 8-PSK



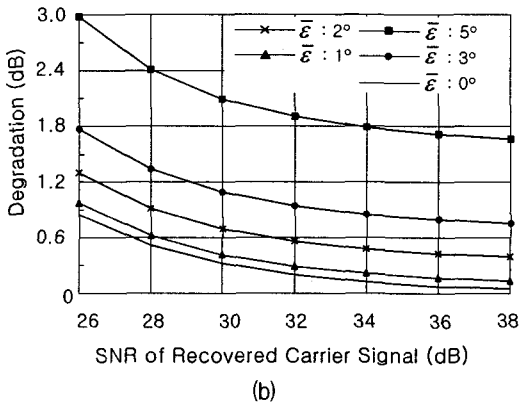




그림 3. 정적 위상 에러( $\overline{\varepsilon}$ ) 와 위상 잡음에 의한 성능 열화(@ $2x10^{-4}$ BER), (a) QPSK와 (b) 8-PSK

Fig. 3. Performance due to static phase error( $\overline{\varepsilon}$ ) and phase noise(@ $2x10^{-4}$ BER), (a) QPSK and (b) 8-PSK

그림 1로부터 위상 잡음이 증가할수록 성능 열화가 증가함을 알 수 있으며, 고차 전송 모드일수록 위상 잡음에 의한 영향이 더욱 더 증가하여 그림 1(b)와 같이 수신 신호를 복원할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 또한, 그림 2는 정적 위상 에러에 대한 성능 열화를 나타낸 것으로, 위상 잡음에 의한 영향과 거의 동일한 성능 열화 특성을 보여주고 있다.

그림 3은 표 1의 목표 BER 값인 $2x10^{-4}$ BER 기준에 대한 도플러 주파수 변이율에 의한 정적 위상 에러( $\overline{\varepsilon}$ )와 위상 잡음에 의한 열화를 나타낸 것이다. 그림 3으로부터 정적 위상 에러는 일정한 성능 열화도로 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 위상 에러가 큰 경우에는 복원 반송파 신호의 신호대 잡음비가 증가하여도 열화가 크게 발생되며, 고차 전송 모드일 경우에는 위상 잡음에 의한 영향뿐만 아니라 위상 에러에 의한 영향이 크게 증가한다.

## Ⅳ. 이동형 위성통신 시스템의 위상잡음 스펙트럼

표 2와 식 (5)로부터 이동형 단말국의 동적 움직임에 의해 발생하는 이동형 양방향 위성통신 시스템의 순방향 링크와 역방향 링크의 도플러 주파수 변이율 및 전송 서비스에 대한 위상 에러는 표 3과 같다.

표 3. 위성 링크에 대한 위상 에러

Table 3. Phase error for satellite link

| 구 분 | | 순방향 링크 | 역방향 링크 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 도플러 주파수 변이율 (Hz/s) | | 16.8 | 25.21 | 가속 시간 : 5분 |
| 위상 에러 (deg) | 45 Mbps | $4.7x10^{-6}$ | - | 잡음대역폭 :$10^{-3}$심볼율 감쇠정수 :1.0 |
| | 100 Mbps | $9.5x10^{-7}$ | - | |
| | 64 kbps | - | 3.46 | |
| | 128 kbps | - | 0.87 | |
| | 256 kbps | - | 0.22 | |
| | 512 kbps | - | 0.05 | |
| | 1024 kbps | - | 0.01 | |

표 3으로부터 순방향 링크는 광역 전송 데이터 서비스를 제공하므로 순방향 링크에서 발생하는 정적 위상 에러는 무시할 수 있음을 알 수 있다. 그러나, 저속

데이터를 서비스하는 역방향 링크에서는 전송 서비스에 따라 위상 에러를 고려하여야 하는 경우가 발생하며, 64 kbps 전송 서비스는 3.46o 위상 에러(약 0.43 dB 열화)가 발생되어 위상 잡음에 의한 영향보다 도플러 주파수 변이에 의한 영향이 지배적으로 작용한다. 따라서, 역방향 링크는 64 kbps 전송 데이터 보다 높은 전송율을 갖는 서비스를 제공하는 것이 효과적임을 알 수 있다. 순방향 링크와 역방향 링크의 비대칭 양방향 서비스를 갖는 시스템의 위상 잡음은 비대칭 특성으로 나타날 수 있다. 반송파 복원 회로에서의 위상 잡음 에러 분산은 그림 3과 식 (6)을 이용하여 요구 성능 열화에 대한 위상 에러 분산값 과 각 전송 링크 서비스에 대하여 표 4와 같이 구할 수 있다.

표 4. 전송 서비스에 대한 반송파 복원 회로의 SNR 및 위상 에러 분산
Table 4. SNR of carrier recovery loop and phase noise variance for transmission service

| 구 분 | QPSK | | 8-PSK | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 전송 서비스 (Mbps) | 0.128 | 8.192 | 100 | |
| Objective SNR(dB) | 25.24 | 24.92 | 31.92 | @ 0.2 dB Loss |
| Phase noise SNR(dB) | 25.45 | 25.12 | 32.24 | |
| Required Tx/Rx phase noise variance | $7.16\times10^{-4}$ (rad) | $7.73\times10^{-4}$ (rad) | $1.5\times10^{-4}$ (rad) | |

여기서, 대역폭 이득 $B_{gain}=10\log(\frac{B_{input}}{2B_L})$과 루프 손실 $\alpha_L^{-1}=\sum_{q=0}^{M}\left(\frac{M}{q}\right)^2\left(\frac{q!}{M^2}\right)\frac{1}{(C/N)}$을 적용한다[3].

표 4로부터 도플러 주파수 변이율에 의한 저속 서비스를 갖는 역방향 링크의 요구 위상 잡음의 SNR 값은 약 0.32 dB 증가함을 알 수 있다. 순방향 링크의 시스템 위상 잡음은 8-PSK 전송 방식의 위상 잡음 에러 분산값을 기준으로 설계하며, 역방향 링크는 다중 전송 서비스를 만족하는 위상 잡음 특성으로 설계한다. 위상 잡음 성분에 대한 위상 에러 분산값은 표 5와 같이 할당한다[3].

표 5. 위상 잡음 성분 할당
Table 5. Phase noise component allocation

| Phase noise contributor | Relative rank |
|---|---|
| $k_3/f^3$ | 1/20 |
| $k_2/f^2$ | 7/20 |
| $k_1/f$ | 7/20 |
| $k_0$ | 1/4 |
| Total | 1.0 |

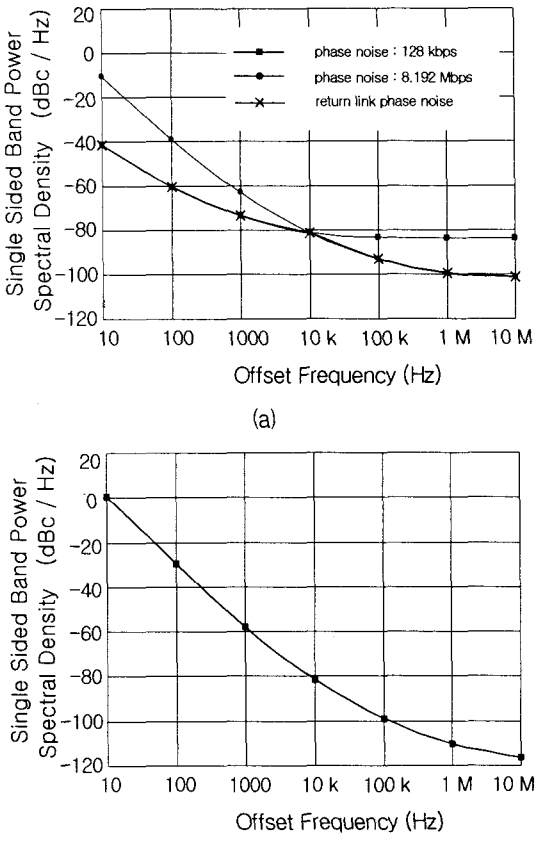



그림 4. 시스템 위상 잡음 스펙트럼 분포, (a) 역방향 링크와 (b) 순방향 링크
Fig. 4. System phase noise spectrum distribution, (a) return link and (b) forward link

따라서, 표 4의 송수신 전송 시스템에 대한 요구 위상 잡음 분산값과 표 5를 이용하여 각 위상 잡음 성분

들에 대한 계수를 구하여 각 위성 링크에 대한 위상 잡음 스펙트럼 분포를 설계할 수 있다.

그림 4는 순방향 링크와 역방향 링크의 요구 전송 시스템의 송·수신부 위상 잡음 스펙트럼 분포를 보여준다. 시스템 위상 잡음은 수신부 반송파 복원 회로의 잡음 대역폭 근처의 위상 잡음 성분에 지배적으로 영향을 받는다. 따라서, 저속 데이터를 위한 역방향 링크의 위상 잡음은 낮은 주파수 옵셋(frequency offset) 영역의 위상 잡음이 상대적으로 낮으며, 고속 데이터 전송을 위한 순방향 링크의 위상 잡음은 높은 주파수 옵셋 영역의 위상 잡음이 낮게 분포되고 있음을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 비대칭 서비스를 갖는 이동형 양방향 위성통신 시스템에 대한 요구 시스템 위상 잡음 스펙트럼 분포를 설계하였다. 움직임을 갖는 단말국의 도플러 주파수와 도플러 주파수 변이율에 따른 정적 위상 에러를 해석하고, 정적 위상 에러와 위상 잡음에 의한 에러 분산을 기반으로 시스템에 적합한 요구 위상 잡음 스펙트럼을 제안하였다. 또한, 고속 데이터 서비스를 위한 순방향 링크 서비스는 도플러 주파수 변이에 의한 영향을 무시할 수 있으나, 저속 데이터를 위한 역방향 링크는 정적 위상 에러를 최소화 할 수 있는 64 kbps 이상의 전송 데이터 서비스가 효과적임을 알 수 있었다. 설계한 위상 잡음 스펙트럼 분포를 갖는 이동형 양방향 위성통신 시스템 송수신부의 신호 발생부는 요구하는 서비스 특성을 만족하며, 양질의 양방향 이동형 서비스가 제공될 수 있도록 한다.

## 참고문헌


[1] Kiyoshi Hamaguchim, Yozo Shoji and Hiroyo Ogawa, "BER Performance of Coherent-QPSK Transmissions Affected by Phase Noise from Frequency Converters" *Vehicular Technology Conf.*, vol. 4, pp. 2281-2284, 2001.

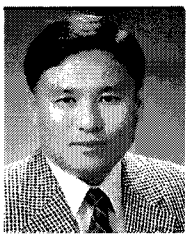
[2] Intelsat, "Performance Characteristics for Intermediate Data Rate (IDR) Digital Carriers : IESS 308" and "QPSK/FDMA Performance Characteristics for INTELSAT Business Services (IBS) : IESS 309", *Intelsat*, Rev. 10, Feb. 2000.

[3] Young-Wan Kim and Jin-Ho Jo, "Phase Noise Allocation for Digital Satellite Broadcasting System", *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 3, no. 3, pp. 308-314, August 1997.

[4] Ho-Jin Lee, et al, "A Ka-band Mobile Broadband Satellite Internet Access System Development", *IST-2004 conf.*, vol. 1, pp 358-361, 2004

[5] 김영완, 박동철, "디지털 위성통신시스템에서 위상 잡음으로 인한 성능 손실 예측", 한국전자파학회논문지, 제13권, 제7호, pp. 679-686, August 2002.


## 저자소개

**김영완(Young-wan Kim)**

1983년 경북대학교 전자공학사
1985년 경북대학교 전자공학석사
2003년 충남대학교 전자공학박사
1984~1990 동양정밀공업(주) 중앙연구소 과장
1990~1992 (주) 유영통신 이사
1992~2004 한국전자통신연구원 책임연구원
2004~현재 군산대학교 전자정보공학부 교수
※관심분야 : RF/Microwave 회로설계, 디지털 위성방송/통신시스템, 마이크로파 소자