

---

# 통신해양기상위성 센서 데이터 송수신 시스템의 시스템 위상 잡음 스펙트럼

김 영 완\*

System Phase Noise Spectrum of the Transmission and Receiving System for COMS Sensor Data

Young Wan Kim\*

## 요 약

본 논문에서는 통신해양기상위성 센서 데이터 송수신 시스템의 요구 시스템 위상 잡음 스펙트럼 분포도를 제안하였다. 위상 잡음 영향을 최소화하기 위한 해석된 수신 설계 파라미터를 기반으로 센서 측정 신호인 raw, LRIT 및 HRIT 데이터 전송에 적합한 위상 잡음 특성을 제시하였다. 제안된 위상 잡음 특성은 전송 채널상에서 발생하는 주파수 신호 자원의 위상 잡음 영향을 최소화하며, 서비스 단말에 양호한 전송 성능을 제공한다. 또한 제안된 위상 잡음 스펙트럼은 센서 데이터 송수신 시스템의 주파수 발생원의 신호 특성으로 설계할 수 있도록 한다.

## ABSTRACT

The system phase noise spectrum distribution for COMS sensor data transmitter and receiver system was proposed in this paper. On the basis of the analyzed design parameter to reduce the phase noise effect in a receiver, the optimal system phase noise were proposed for raw, LRIT and HRIT data transmission that are sensor data, respectively. The proposed system phase noise provides the qualified transmission performance of sensor data and reduces the performance degradation due to phase noise generating in the transmission channel. Also the system phase noise spectrums are utilized in the design of frequency generation source for sensor data transmission and receiver system.

## 키워드

COMS, system phase noise, phase noise spectrum, transmission system for sensor data

## I. 서 론

통신해양기상위성(COMS: Communication Meteorological, Ocean Satellite)의 기상 및 해양 관측 데이터는 기상 해양 데이터센터(Meteorological, Ocean data Acquisition Center)에서 위성 수신되어 처리된다. 기상 데이터는 S 대역 주파수 영역의 위성 링크를 통하여 raw 데이터로

수신되고, 수신된 raw 센서 데이터는 LRIT(Low Rate Information Transmission) 데이터와 HRIT(High Rate Information Transmission) 데이터 신호로 처리되어 S 또는 L 대역 주파수 영역으로 위성 재 송신되어 사용자 단말기에 공급된다. 표 1은 COMS 센서 데이터의 위성 전송 방식을 보여준다[1][2].

표 1. COMS 센서 데이터 전송 방식  
Table 1. Transmission method of COMS sensor data

항목	상향링크	하향링크
전송 데이터	LRIT/HRIT	Raw data/LRIT/HRIT
사용 주파수 (MHz)	1670 ~ 1710	
변조 방식	Raw data	QPSK
	LRIT	BPSK
	HRIT	QPSK
요구 BER	10 <sup>-8</sup>	
데이터 율	Raw data	6 Mbps
	LRIT	256 kbps
	HRIT	3 Mbps

디지털 신호로 전송되는 센서 데이터는 전송 채널의 군 지연 및 이득 평탄도 그리고 위상 잡음의 영향을 받는다. 채널에서 발생하는 군 지연 및 이득의 불균형은 등화기 등 보상회로에서 열화 정도를 보정할 수 있다. 그러나, 위상 잡음에 의한 영향은 낮은 위상 잡음을 갖는 회로 구성이나 위상 잡음에 대한 최적 수신 회로 구성을 통하여 최소화하는 회로 설계이외의 성능 열화 보정은 어렵다[3][4]. 이에, 서비스 전송 시스템의 전송 방식 성능에 적합한 요구 시스템 위상 잡음을 설계함으로써, 낮은 위상 잡음을 갖는 고가의 회로 구현의 어려움을 극복할 수 있다. 또한 높지 않은 적정한 위상 잡음 스펙트럼 특성 구현으로 요구하는 전송 성능을 서비스할 수 있도록 한다. 위상 잡음 스펙트럼 분포는 관련 논문 및 일정한 규격으로 제안되고 있으나[5][6], 제한된 일정한 방식에 대한 서비스 전송 시스템을 적용하고 있으므로, 사용 전송시스템 및 서비스 기반 요구 시스템 위상 잡음 스펙트럼 분포 특성을 해석하고 설계하여, 전송 시스템의 신호 발생 회로 설계에 적용하여야 한다.

본 논문에서는 COMS 센서 데이터 전송에 적합한 전송 시스템의 시스템 위상 잡음을 해석하여 요구 위상 잡음 스펙트럼 분포를 제안한다. 또한, 중·저속 데이터의 전송 시스템에서는 위상 잡음의 영향이 지배적으로 작용하므로 수신시스템의 최적화 설계로 위상 잡음의 영향을 최소화하도록 수신 설계 파라미터를 제안한다. 제안된 시스템 위상 잡음 스펙트럼 분포는 송수신 시스템의 주파수 신호 발생부의 요구 위상 잡음 스펙트럼 분포

특성으로 활용하여 낮은 위상 잡음 영향을 갖는 전송 시스템을 설계하고 양호한 서비스를 제공할 수 있도록 한다.

## II. 위성관제신호의 위상잡음

### 2.1 BPSK 및 QPSK 신호의 위상 잡음 영향

센서 데이터는 디지털 변조 방식을 사용하며, 디지털 변조 방식인 BPSK와 QPSK 신호에 대한 위상 잡음에 대한 조건 오율 함수를 구하면, 다음과 같이 표현할 수 있다[7][8].

$$P_2(\phi) = \frac{1}{2} [\text{erfc}(\sqrt{\rho} \cos \phi)] \quad \text{for BPSK}$$

$$P_4(\phi) = \frac{1}{4} [\text{erfc}(\sqrt{\rho} (\cos \phi + \sin \phi)) + \text{erfc}(\sqrt{\rho} (\cos \phi - \sin \phi))] \quad \text{for QPSK} \quad (1)$$

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

BPSK와 QPSK 신호에 대한 위상 잡음의 영향을 수치적으로 해석하기 위하여 식 (1)을 무한 급수식으로 변환하고, BPSK와 QPSK 위상 잡음에 의한 조건 오율 식과 다음 식을 이용하여 각 위상 잡음 분포 함수에 대한 평균 오율 식을 구할 수 있다.

$$P_{2(4)}(\varepsilon) = \int_{-\pi}^{\pi} P_{2(4)}(\phi) P(\phi) d\phi \quad (2)$$

여기서,  $\varepsilon$ 는 위상 에러를 나타내며,  $P_{2(4)}(\varepsilon)$ 는 BPSK 및 QPSK의 평균 오율이다. 또한,  $P(\phi)$  확률 분포는 다음의 가우시안 확률 분포 함수(Gaussian pdf)를 사용한다.

$$P(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\phi} e^{-\frac{\phi^2}{2\sigma_\phi^2}} \quad \text{for Gaussian pdf} \quad (3)$$

여기서,  $\sigma_\phi^2$ 는 위상 잡음의 분산(variance)이며, PLL에서의 복원 반송파 신호대 잡음비( $\alpha$ )의 역수

( $\sigma_\epsilon^2 \cong \frac{1}{(S/N)} = \frac{1}{a}$ )이다. 또한,  $I_0(\cdot)$ 는 1종 영차 수정 베셀 함수이다.

식 (2)에 대한 BPSK와 QPSK에 대한 Gaussian pdf에 대한 위상 잡음의 영향을 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다[8].

$$P_2(\epsilon) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} K \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n k_n I_n\left(\frac{\rho}{2}\right) \left[ A e^{-\frac{(2n+1)^2 \sigma_\epsilon^2}{2}} - B e^{-\frac{(2n-1)^2 \sigma_\epsilon^2}{2}} \right]$$

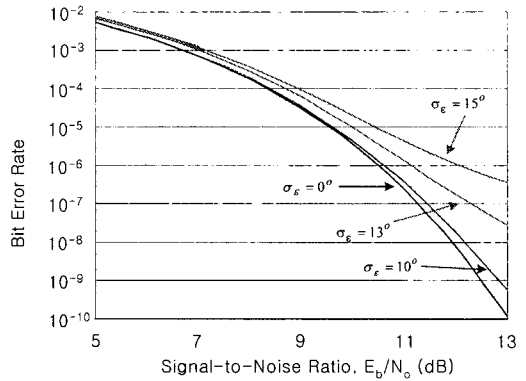
$$P_4(\epsilon) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} K \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n k_n I_n\left(\frac{\rho}{2}\right) \left[ A \cos\left\{(2n+1)\frac{\pi}{4}\right\} e^{-\frac{(2n+1)^2 \sigma_\epsilon^2}{2}} - B \cos\left\{(2n-1)\frac{\pi}{4}\right\} e^{-\frac{(2n-1)^2 \sigma_\epsilon^2}{2}} \right] \quad (4)$$

여기서,  $K = \sqrt{\frac{\rho}{\pi}} e^{-\frac{\rho}{2}}$ 이며,  $A = \frac{1}{2n+1}$ ,  $B = \frac{1}{2n-1}$ 이다. 또한,  $I_n(\cdot)$ ,  $I_{n+1}(\cdot)$ 는 각각 1종  $n$  차,  $n+1$ 차 수정 베셀 함수이다.

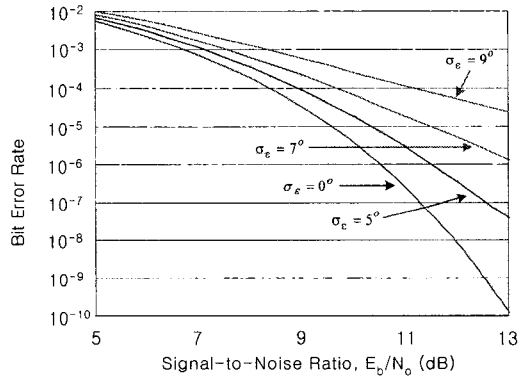
### 2.2 위상 잡음에 의한 열화 성능

식 (4)에 의한 Gaussian 확률 분포 함수에 의한 BPSK, QPSK 전송 방식에 대한 위상 잡음 영향은 그림 1에 나타내었다. 위상 잡음을 갖는 신호가 수신 반송파 복원 회로에 입력되어 복원된 반송파 신호가 위상 잡음에 의하여 9도 표준 편차를 갖는 경우,  $10^4$  BER 기준점에서 BPSK 신호는 약 0.17 dB 열화가 발생되고 QPSK 신호는 약 2.8 dB의 열화가 발생되나, 위상 잡음의 영향이 더욱 더 증가하면 전송 신호는 복구할 수 없는 에러 상태를 발생할 수 있다.

그림 1로부터 고차 모드 PSK 신호로 전송될 경우, 성상도 심볼 신호 간격이 작아지므로 위상 잡음에 대한 영향이 증가하고 있음을 나타내고 있다. 또한, 신호 대 잡음비가 증가하여 위상 잡음에 의한 영향이 적을 경우 (SNR > 0 dB), 반송파 복원 회로를 선형적으로 해석하여



(a)

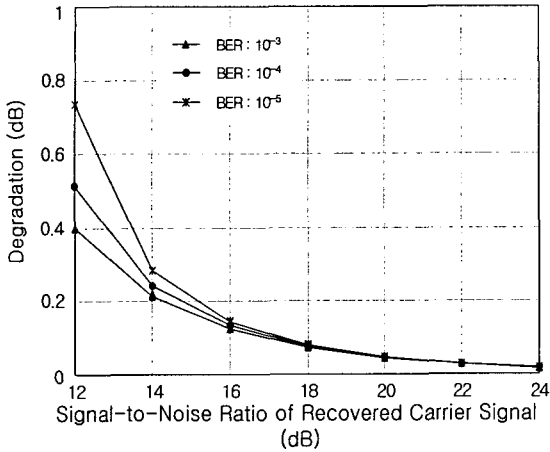


(b)

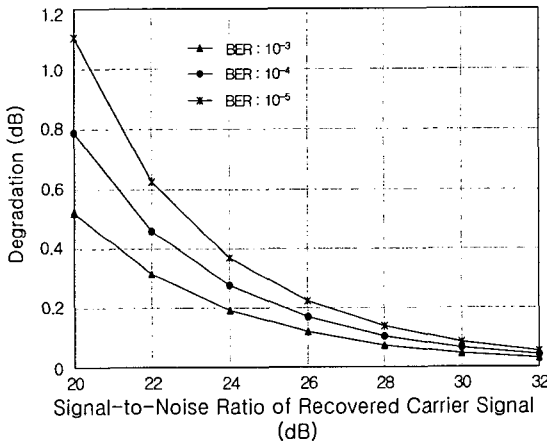
그림 1. BPSK(a) 및 QPSK(b) 신호에 대한 위상 잡음의 영향

Fig. 1. Effects of phase noise for BPSK(a) and QPSK(b) signal

Gaussian 확률 분포 함수를 적용할 수 있다. BPSK, QPSK에 대한 위상 잡음 성능 손실 결과를 구하면 그림 2와 같다.  $10^3$  BER 기준점에서 0.2 dB 이내의 열화 손실을 갖는 전송 서비스 특성을 만족하여야 할 경우, BPSK, QPSK 방식에 대한 복원 반송파 신호의 요구 신호 대 잡음비는 약 14.3 dB, 23.8 dB SNR 특성을 가져야 함을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 2 BPSK(a)과 QPSK(b)에 대한 위상 잡음 성능 손실  
Fig. 2. Degradation due to phase noise for BPSK(a) and QPSK(b)

### III. 요구 위상 잡음 스펙트럼

#### 3.1 COMS 위성 수신기에서의 위상 잡음

COMS의 센서 데이터의 전송 규격은 표 1과 같다. 또한 수신을 위한 지상국 장비의 위상 잡음 특성은 IESS-308 규격을 만족한다고 하면, 디지털 신호(BPSK, QPSK)를 수신하기 위한 수신 대역폭 설계 파라미터를 해석할 수 있다.

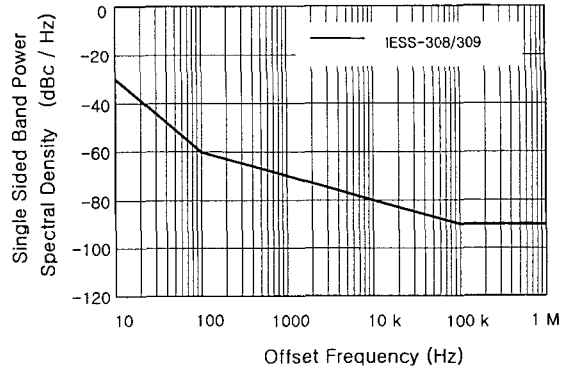


그림 3. IESS-308/309 위상 잡음 스펙트럼  
Fig. 3. IESS-308-309 phase noise spectrum

위상 잡음 전력 스펙트럼을  $S_{\phi}(\omega)$ 라 하면, 단측파대 PLL에서의 위상 에러 분산은 식 (5)와 같이 위상 잡음에 의한 영향  $\sigma_{\phi}^2$ 과 입력 백색 잡음에 의한 영향  $\sigma_n^2$ 의 합으로 나타난다[9].

$$\begin{aligned} \sigma_e^2 &= \sigma_{\phi}^2 + \sigma_n^2 \\ &= \int_0^{\infty} S_{\phi}(\omega) |1 - H(j\omega)|^2 df + \int_0^{\infty} N_0 |H(j\omega)|^2 df \end{aligned} \quad (5)$$

PLL 대역폭에 따른 위상 잡음과 루프 손실을 고려한 백색 잡음의 영향은 그림 4에 나타나 있다. 백색 잡음은 저역 통과 필터 특성을 나타내고 있으며, 위상 잡음은 고역 통과 특성을 보여주고 있다. 여기서, 반송파 복원회로의 감쇠 정수는 1.0으로 그리고, 반송파 신호와 근접한 위상 잡음(5 Hz offset) 영향을 고려하였다. 그림 5는 PLL 회로에서의 잡음에 의한 분산을 나타내고 있다. 그림 5로부터 대역폭에 따라 센서 데이터의 잡음 영향이 최소가 되는 대역폭을 선정할 수 있다. 즉, 표 1의 채널 환경에서 raw 데이터 전송인 경우에는 약 1 kHz의 대역폭에서 분산값이 적어지며, HRIT 및 LRIT 인 경우에는 위상 잡음의 영향이 배경 잡음에 의한 영향보다 상대적으로 작으므로 반송파 신호 획득 시간을 만족하면서 배경 잡음의 영향을 최소화할 수 있는 잡음 대역폭을 설정한다.

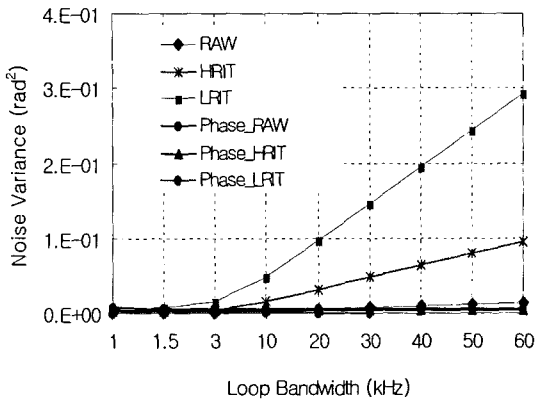


그림 4. 반송파 복원회로의 잡음 대역폭에 대한 백색 잡음과 위상 잡음의 영향  
 Fig. 4. Effects for white noise and phase noise according to noise bandwidth of carrier recovery circuit

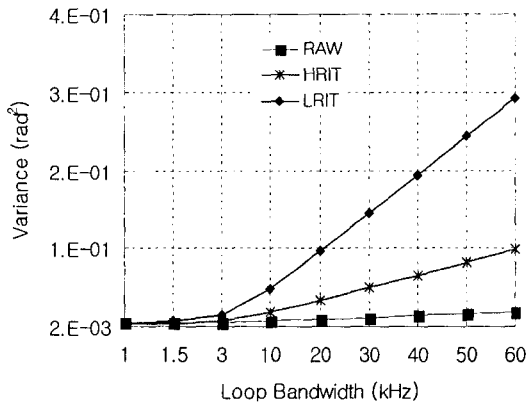


그림 5. 반송파 복원회로의 잡음 대역폭에 대한 위상 에러  
 Fig. 5. Phase error for noise bandwidth of carrier recovery circuit

### 3.2 요구 위상 잡음 스펙트럼

시스템 위상 잡음은 수신기의 반송파 복원회로 특성에 영향을 받는다. 여기서는 수신 반송파 복원회로는 고이득 2차 루프(high-gain 2<sup>nd</sup> order loop)를 사용하며, 롤오프 계수 및 감쇠 정수는 각각 0.35와 1.0을 고려한다. 반송파 복원 회로에서의 위상 잡음 에러 분산은 그림 2와 식 (5)에 의해 요구 성능 열화(0.2 dB)에 대한 위상 에러 분산값과 전송 링크 방식에 대하여 표 2와 같이 구할 수 있다.

표 2. 센서 데이터 링크의 요구 성능 열화에 대한 위상 에러 분산값

Table 2. Phase error degradation for the required performance of COMS link

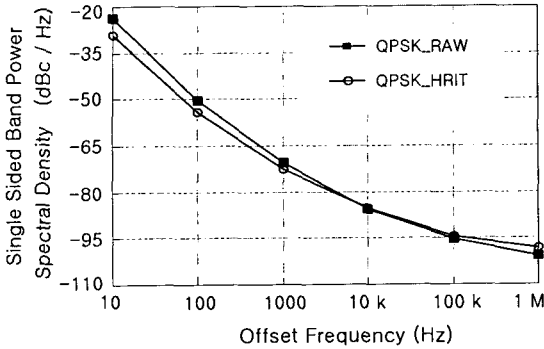
구분	QPSK		BPSK
전송 서비스 (Mbps)	3.0 (HRIT)	6.0 (RAW)	0.256 (LRIT)
Objective SNR (dB)	26.727	26.727	16.838
Phase noise SNR (dB)	14.74	14.78	10.85
Phase noise variance (rad)	$1.06 \times 10^{-3}$	$1.05 \times 10^{-3}$	$1.03 \times 10^{-2}$
Required Tx/Rx phase noise variance (rad)	$5.31 \times 10^{-4}$	$5.27 \times 10^{-4}$	$5.2 \times 10^{-3}$

표 2로부터 6 Mbps 및 3 Mbps QPSK 전송 시스템의 요구 위상 잡음 분산값은 거의 같은 값을 가지나 256 kbps BPSK 전송 시스템에서는 위상 잡음의 요구 위상 잡음 분산값이 상대적으로 큰 값을 갖는다. COMS 위성은 정지 궤도에서 운용되므로 이동성에 의한 도플러 현상 등은 무시하며, 위상 잡음 성분에 대한 위상 에러 분산값은 표 3과 같이 할당한다. 따라서, 표 2의 센서 데이터 전송 시스템에 대한 요구 위상 잡음 분산값과 표 3을 이용하여 각 위상 잡음 성분들에 대한 위상 잡음 스펙트럼 분포를 설계할 수 있다. 그림 6은 COMS 센서 데이터 전송 링크 방식에 적용한 전송 시스템의 송·수신부 위상 잡음 성분으로 설계된 요구 위상 잡음 스펙트럼 분포를 보여 준다.

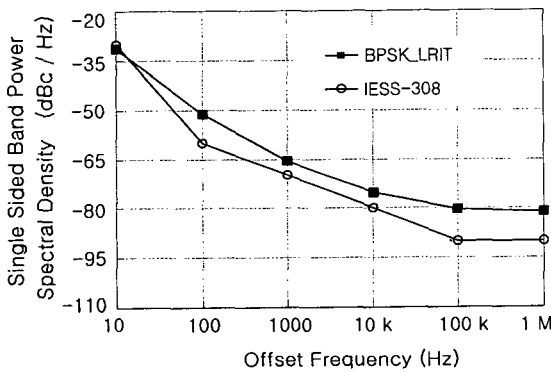
표 3. 위상 잡음 성분 할당

Table 3. 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



(a)



(b)

그림 6. COMS 센서 데이터 전송 시스템 위상 잡음 스펙트럼 분포, (a) QPSK-RAW, QPSK-HRIT 및 (b) BPSK-LRIT

Fig. 6. System phase noise spectrum of COMS sensor data transmitter and receiver, (a) QPSK-RAW, QPSK-HRIT and (b) BPSK-LRIT

그림 6으로부터 저속 데이터를 위한 시스템 위상 잡음은 낮은 주파수 오프셋(frequency offset) 영역의 위상 잡음이 상대적으로 낮으며, 고속 데이터 전송을 위한 시스템 위상 잡음은 높은 주파수 오프셋 영역의 위상 잡음이 낮게 분포되고 있음을 알 수 있다. 따라서, 동일한 시스템에서 각 전송 링크 신호를 송수신하기 위해서는 그림 6의 QPSK 및 BPSK 요구 시스템 위상 잡음을 만족하는 센서 데이터 송수신 시스템을 설계한다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 COMS 센서 데이터의 송수신 시스템에 적합한 시스템 위상 잡음 스펙트럼 분포를 제안하였으며, 위상 잡음 영향을 최소화하기 위한 수신 설계 잡음 대역폭을 제시하였다. 중·저속의 QPSK 및 BPSK에 적합한 위상 잡음과 동일 시스템에서 두 개의 전송 모드를 제공하기 위한 시스템 위상 잡음 분포를 설계하였다. 최적화된 위상 잡음 스펙트럼은 센서 데이터 송수신 시스템의 주파수 신호원 특성으로 설계할 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] 장대익, 김영완 외 2인, "COMS 통신위성 지구국의 효율적인 전송방식 및 망 구성방안", 한국통신학회, 2004 하계종합학술대회, 2004
- [2] 이성팔 외, "통신해양기상위성 위성통신시스템 개념 설계", 한국통신학회 추계학술대회, 2004
- [3] K. H. Lim, C. H. Park, D. S. Kim and B. S. Kim, "A low-noise phase-locked loop design by loop bandwidth optimization", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 35, no. 6, pp. 807-815, June 2000.
- [4] Heinrich Meyr and Gerd Ascheid, *Synchronization in digital communications, volume 1*, John Wiley & Sons, 1990.
- [5] Ali Hazmi, Jukka Rinne and Markku Renfors, "DVB-T signal over cable TV network and phase noise requirements", *IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communication Computer Sciences*, vol. 84, no. 4 pp. 966-970, 2001.
- [6] 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.
- [7] Tadao Nakagawa and Katsuhiko Araki, "Effect of phase noise on RF communications signals", *Vehicular Technology Conf.*, vol. 2, pp. 588-591, 2000.
- [8] 김영완, 박동철, "디지털 위성통신시스템에서의 위상잡음으로 인한 성능 손실예측", 전자파공학회 논문지, 제 13권, 제 7호, 679-686, 2002
- [9] Tri. T. Ha, *Digital satellite communication, 2nd ed.*, McGraw-Hill, NY, 1990.

## 저자소개



김 영 완(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 시스템 및 회로설계,  
디지털 위성방송/통신시스템, 마이크로파 소자