

---

# 혼합 페이딩 채널에서 Reed-Solomon 부호화된 DS/CDMA 시스템의 성능 분석

노재성\* · 조성언\*\* · 조성준\*\*\*

## Performance Analysis of Reed-Solomon Coded DS/CDMA System in Mixed Fading Channel

Jae-Sung Roh\* · Sung-Eon Cho\*\* · Sung-Joon Cho\*\*\*

### 요 약

본 논문에서는 레일리 페이딩 상태, 라이시안 페이딩 상태, 웨도우 라이시안 페이딩 상태로 구성된 혼합 페이딩 채널에서 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 성능을 분석하였다. 결과로부터 본 논문에서 제시한 혼합 페이딩 채널 모델은 다양한 채널 상태를 표현하는데 적절함을 알 수 있었다. 그리고 혼합 페이딩 채널에서는 무선 채널의 점유 확률과 웨도우 심도가 시스템의 BER 성능에 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 또한 Reed-Solomon 부호를 적용한 DS/CDMA-BPSK 시스템은 동시 사용자 간섭과 혼합 페이딩 채널에 매우 강인함을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, BER performance of DS/CDMA-BPSK system is analyzed in mixed fading channel that is consist of Rayleigh fading, Rician fading, and shadowed Rician fading. From the results, we know that proposed mixed fading model is very suitable to describe the different channel situations. And, the occupancy probability and the shadowing depth are very dependent to the system performance. Finally, we know that the Reed-Solomon coded DS/CDMA-BPSK system is very robust to simultaneous user interference and mixed fading channel.

### 1. 서 론

다가올 무선멀티미디어 시대를 준비하기 위하여 최근에 다수의 저궤도/중궤도(LEO/MEO : Low Earth Orbit/ Medium Earth Orbit) 위성으로 구성된 이동위성 통신 시스템이 제안되었다. 대부분의 이동 위성 서비스 시스템은 마아진이 적은 시스템으로 설

계되었기 때문에 서비스 환경에 따라 웨도우 효과나 페이딩에 의하여 신호의 품질은 열화되기 쉽다 [1],[2].

이러한 무선통신 환경에서 위성을 이용하는 이동 통신시스템이 지상의 시스템과 동등한 서비스 품질(QoS)을 얻기 위하여 저궤도 및 중궤도 위성이 사용되고 있다. 향후 육상이동통신과 위성통신이 연계된

---

\* 서울대학 정보통신시스템전공

\*\*\*한국항공대학교 대학원 전자·정보통신·컴퓨터공학부

\*\*순천대학교 정보통신공학과

접수일자 : 2002. 6. 20

서비스는 기본적으로 제공될 것이므로 육상이동위성 통신시스템에 대한 성능 분석은 반드시 필요하다. 특히, 시스템의 성능 분석에서 기본이 되는 무선채널의 특성에 따른 시스템의 BER 성능 분석은 시급히 이루어져야 한다.

육상이동위성 통신 시스템의 무선 전파 모델로써 사용되는 육상이동위성 서비스 (LMSS:Land Mobile Satellite Services) 전파 모델은 위성으로부터의 직접적인 측정 및 통계적인 모델링을 바탕으로 제시되고 있다[3]-[5]. 참고문헌 [5]에서는 위성 다이버시티 시스템의 영향을 평가하기 위한 나카가미-라이시안 페이딩, 로그노말-레일리 페이딩, 그리고 레일리 페이딩 모델로 구성된 LMSS 채널 모델을 제시하였으나 통신 시스템의 설계에 있어서 중요한 시스템의 오율 성능은 다루고 있지 않다.

육상이동위성 서비스를 위한 통신 환경은 2가지로 크게 나눌 수 있다. 하나는 차량환경이고, 다른 하나는 개인휴대환경이다. 차량환경은 사용자가 고속으로 이동하는 단말기를 가지고 넓은 지역에서 통신을 하는 것이며, 개인휴대환경은 좁은 지역에서 휴대 단말기가 저속으로 이동하는 것을 의미한다. 육상이동위성 서비스의 차량환경에서 전파 열화의 요인은 산, 빌딩, 터널 등에 의한 심한 쉐도우 효과, 도로변의 나무와 작은 물체에 의한 약한 쉐도우 효과, 그리고 빌딩이나 대지의 산란에 의한 다중경로 페이딩 등이다. 육상이동위성 서비스의 차량환경을 위한 개념적인 전파 모델을 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 3가지 상태 A, B, C는 각각 빌딩과 같이 큰 물체에 의하여 직접파 성분이 존재하지 않고 산란 성분만이 존재하는 레일리 페이딩 상태, LOS 성분이 존재하는 라이시안 페이딩 상태 그리고 나무나 작은 물체에 의한 쉐도우 라이시안 페이딩 상태를 나타낸다. 그리고 각 상태는 각 채널의 점유 확률  $P_A$ ,  $P_B$ ,  $P_C$ 를 갖는다.

위성을 이용한 대용량의 데이터를 고속으로 서비스하기 위해서는 주파수 측면에서 효율적인 다중접속 전송방식의 사용이 필수적이라고 할 수 있다. 따라서 논문에서는 다중접속 방식으로 DS/CDMA 방식을 가정하였다. 그리고 논문에서 적용한 쉐도우 라이시안 페이딩에서 쉐도우의 영향은 Canadian Mobile Satellite (MSAT)채널에서 사용되는 파라미

터 값을 적용하였으며, 혼합 페이딩 채널은 레일리 페이딩, 라이시안 페이딩 및 쉐도우 라이시안 페이딩 모델이 점유 확률에 따라서 복합적으로 영향을 주는 혼합 페이딩 모델을 가정하였다. 그리고 레일리 페이딩, 라이시안 페이딩 및 쉐도우 라이시안 페이딩이 DS/CDMA-BPSK 시스템에 미치는 영향을 각 채널의 점유 확률 ( $p_A$ ,  $p_B$ ,  $p_C$ )에 따른 BER 성능을 분석함으로써 고속 멀티미디어 전송을 위한 육상이동위성 통신 시스템의 성능 개선 기법 연구에 적용하고자 한다.

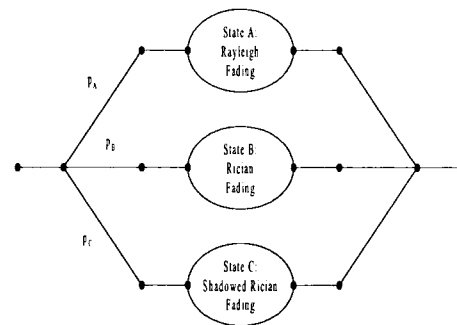


그림 1. 혼합 페이딩 채널의 구성도

## II. 혼합 페이딩 채널의 구성

육상이동위성 통신 시스템의 성능을 저하시키는 주요한 원인은 페이딩과 쉐도우의 영향이다. 본 절에서는 다양한 페이딩 채널에서 DS/CDMA-BPSK 시스템의 BER 성능을 분석하였다. 그리고 육상이동위성의 통신 채널을 모델링하기 위하여 레일리 페이딩, 라이시안 페이딩 및 쉐도우 라이시안 페이딩 채널 모델을 점유 확률에 따라서 표현할 수 있는 혼합 페이딩 모델을 제시하였다. 또한 제시된 무선 채널환경에서 DS/CDMA-BPSK 시스템의 BER 성능을 분석하였다.

### 2.1 레일리 페이딩 채널

수신된 신호가 직접적인 LOS 성분이 포함되지 않고 다중 경로 성분만으로 구성된 경우, 수신된 신호의 진폭은 레일리 분포를 한다. 수신된 신호의 진폭을  $r$ 이라고 할 경우, 레일리 분포의 확률 밀도 함수

는 다음과 같다 [6].

$$p_A(r) = 2r e^{-r^2} \quad (1)$$

여기서  $r$ 은 수신된 신호의 순시 진폭이다.

### 2.2 라이시안 페이딩 채널

수신된 신호가 다중 경로 성분과 직접적인 Line-Of-Sight(LOS) 성분으로 구성된 경우, 다중 경로 성분과 LOS 성분이 합쳐진 신호의 진폭은 라이시안 분포를 한다. 수신된 신호의 진폭을  $r$ 이라고 할 경우 라이시안 분포의 확률 밀도 함수는 다음과 같다[6].

$$p_B(r) = 2r(1+K_R)e^{-(K_R+r^2(1+K_R))} I_0(2r\sqrt{K_R(K_R+1)}) \quad (2)$$

여기서  $K_R$ 은 라이시안 페이딩 파라미터로써 직접 성분 대 산란된 다중 경로 성분의 전력비를 나타낸다.

라이시안 분포의 확률 밀도 함수를 그래프로 나타내면 그림 2와 같다. 그림 2에서  $K_R$ 의 값이 증가함에 따라서 가우스 잡음의 확률 밀도 함수로 접근하고,  $K_R=0$ 인 경우는 직접 성분 존재하지 않는 레일리 분포임을 알 수 있다.

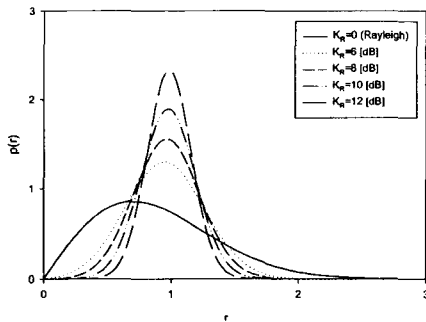


그림 2. 라이시안 분포의 확률밀도함수

### 2.3 섀도우 라이시안 페이딩 채널

육상 이동위성 통신 채널을 설명하기 위한 확률 함수는 다중 경로의 영향을 표현하기 위해서는 레일리와 라이시안 확률밀도함수가 사용되고, 신호의 평균 레벨이 비교적 느리게 변화하는 섀도우의 영향을 나타내기 위해서 로그-노말 함수를 사용하였다. 무선 채널에서 직접적인 LOS성분이 섀도우의 영향을 받

게된다. LOS성분의 섀도우는 위성과 육상 이동체 사이를 전파가 전송될 경우, 방해물이나 도로 주변의 나무에 의하여 직접 성분과 회절 및 산란에 의하여 발생된다. 본 논문에서는 Loos의 채널 모델을 적용하여 섀도우 라이시안 페이딩의 영향을 알아본다 [3].

육상이동위성 시스템을 위한 채널 모델에서 수신되는 신호는 로그-노말 분포를 하는 LOS성분( $\gamma$ )와 라이시안 분포를 하는 다중 경로 성분의 합으로 구성된다고 가정한다. LOS성분이 일정하게 유지될 경우, 신호 진폭의 조건부 라이시안 분포는 다음과 같다 [6].

$$p_{A|r}(r|\gamma) = \frac{r}{\sigma_r^2} \cdot e^{-(r^2+\gamma^2)/2\sigma_r^2} \cdot I_0\left(\frac{r \cdot \gamma}{\sigma_r^2}\right) \quad (3)$$

여기서  $\sigma_r^2$ 은 다중 경로에 의한 산란된 전력의 평균을 나타낸다. 페이딩 진폭  $r$ 의 확률밀도함수는 로그-노말 분포를 하는  $\gamma$ 와 조건부 라이시안 확률 밀도함수의 평균을 통하여 얻어질 수 있다. 먼저, 식 (3)에서  $\gamma$ 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같은 로그-노말 분포를 한다.

$$p_r(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_r \cdot \gamma} e^{-(\ln \gamma - m_r)^2/2\sigma_r^2} \quad (4)$$

여기서,  $\sigma_r$ 와  $m_r$ 는 각각 표준 편차와 평균을 나타낸다. 식 (3)과 식 (4)를 이용하여  $\gamma$ 에 대한 적분을 취하면 최종적인 페이딩 진폭  $r$ 에 대한 확률 밀도함수가 다음과 같이 얻어진다.

$$p_C(r) = \int_0^\infty p_{A|r} \cdot p_r(\gamma) d\gamma$$

$$= \frac{r}{\sqrt{2\pi}\sigma_r^2\sigma_r} \int_0^\infty \frac{1}{\gamma} e^{-\left[\frac{(\ln \gamma - m_r)^2}{2\sigma_r^2} + \frac{(r^2 + \gamma^2)}{2\sigma_r^2}\right]} \cdot I_0\left(\frac{r \cdot \gamma}{\sigma_r^2}\right) d\gamma \quad (5)$$

여기서,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\gamma$ ,  $m_\gamma$ 는 섀도우의 정도를 결정하는 중요한 파라미터이다. 예를 들어 표 1은 Canadian Mobile Satellite (MSAT)채널에서 사용되는 파라미터 값을 나타낸다. 표 1에서 Light, Average, Heavy는 섀도우의 정도를 나타내는데 사용된다[6].

표 1. 쉐도우 라이시안 페이딩 채널을 나타내기 위한 채널 파라미터

쉐도우 정도	$\sigma_r$	$m_r$	$\sigma_\gamma$
Light	0.1580	0.115	0.115
Average	0.1260	-0.1151	0.161
Heavy	0.0631	-3.910	0.806

### III. 혼합 페이딩 채널에서 DS/CDMA 시스템의 오율 성능

본 장에서는 잡음채널에서의 오율식을 이용하여 레일리 페이딩, 라이시안 페이딩, 쉐도우 라이시안 페이딩 및 혼합 페이딩 채널에서 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 성능을 수치 계산한다.

#### 3.1 AWGN 채널 환경

AWGN 채널에서 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율은 다음과 같이 동시 사용자의 수, DS/CDMA 시스템의 처리이득 등으로 구성된다.

$$P_e(r, R) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{R_{DS}} r) \quad (6)$$

$$R_{DS} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{2(U_s - 1)}{3PG}} \quad (7)$$

여기서  $\operatorname{erfc}(\cdot)$ 는 에리 보함수를 나타내고,  $R_{DS}$ 은 DS/CDMA 시스템의 등가 신호 대 잡음 전력비,  $R$ 은 신호 대 잡음 전력비,  $U_s$ 는 동시 사용자의 수,  $PG$ 는 DS/CDMA 시스템의 처리이득,  $r$ 은 수신된 신호의 진폭을 나타낸다.

#### 3.2 레일리 페이딩 채널 환경

레일리 페이딩 채널에서 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율식은 다음과 같이 잡음 환경에서의 오율식 (6)과 레일리 페이딩의 확률밀도함수(p.d.f) 식 (1)과의 적분을 통하여 구한다.

$$P_{e1} = \int_0^\infty p_A(r) \cdot P_e(r, R) dr = \int_0^\infty 2r e^{-r^2} \cdot \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{r^2}{\frac{1}{R} + \frac{2(U_s - 1)}{3PG}}} \right) dr \quad (8)$$

#### 3.3 라이시안 페이딩 채널 환경

라이시안 페이딩 채널에서 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율식은 다음과 같이 잡음 환경에서의 오율식 (6)과 라이시안 페이딩의 확률밀도함수(p.d.f) 식 (2)와의 수신된 신호의 진폭  $r$ 에 대한 평균을 통하여 구한다.

$$P_{e2} = \int_0^\infty p_B(r) \cdot P_e(r, R) dr = \int_0^\infty 2r (1 + K_R) e^{-(K_R + r^2(1 + K_R))} I_0(2r\sqrt{K_R(K_R + 1)}) \cdot \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{r^2}{\frac{1}{R} + \frac{2(U_s - 1)}{3PG}}} \right) dr \quad (9)$$

#### 3.4 쉐도우 라이시안 페이딩 채널 환경

쉐도우 라이시안 페이딩 채널에서 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율식은 다음과 같이 잡음 환경에서의 오율식 (6)과 쉐도우 라이시안 페이딩의 확률밀도함수(p.d.f) 식 (5)와의 적분을 통하여 구한다.

$$P_{e3} = \int_0^\infty p_C(r) \cdot P_e(r, R) dr = \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{r}{\sqrt{2\pi\sigma_r^2\sigma_\gamma}} \frac{1}{\gamma} e^{-\left[ \frac{(\ln \gamma - m_r)^2}{2\sigma_\gamma^2} + \frac{(r^2 + \gamma^2)}{2\sigma_\gamma^2} \right]} \cdot I_0\left(\frac{r \cdot \gamma}{\sigma_r}\right) \cdot \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{r^2}{\frac{1}{R} + \frac{2(U_s - 1)}{3PG}}} \right) dr d\gamma \quad (10)$$

수치계산에서 쉐도우의 영향은 Light, Average, Heavy로 나누어서 쉐도우 라이시안 페이딩의 영향을 나타낼 수 있는 Loo의 모델을 사용하였다.

#### 3.5 혼합 페이딩 채널 환경

혼합 페이딩 환경에서 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율은 식(8)~식(10)에서 얻은 결과  $P_{e1}$ ,  $P_{e2}$ ,  $P_{e3}$ 를 이용하여 구한다. 혼합 페이딩 환경에서 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율식은 다음과 같다.

$$P_c = p_A \cdot P_{e1} + p_B \cdot P_{e2} + p_C \cdot P_{e3} \quad (11)$$

여기서 혼합 페이딩 환경에서 각 채널의 점유 확률 ( $p_A$ ,  $p_B$ ,  $p_C$ )의 합은 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$p_A + p_B + p_C = 1 \quad (12)$$

#### IV. 혼합 페이딩 채널에서 Reed-Solomon 부호화된 DS/CDMA 시스템의 성능 개선

위성을 이용한 통신 시스템에서는 전력 및 대역폭 측면에서 제한적이므로 이에 대한 효율을 고려하는 것이 필요하다. 전력 및 대역폭 효율을 높이기 위해서는 오류제어 방식은 높은 부화화율로 높은 부호이득을 얻는 것이 바람직하다. 또한 이동위성 채널에서는 강우, 전송경로 장애 및 연집(Burst) 에러 등으로 인한 신호감쇠를 고려해야 한다.

Reed-Solomon 부호는 연집 에러 정정에 특히 유용하다. 즉, 메모리를 갖는 채널이나 입력 심볼들이 매우 많은 채널에서 Reed-Solomon 부호는 매우 훌륭한 성능을 보인다. 그리고 이 부호는 BCH 부호의 특징 부류로서 아주 유용한 비 2진(non-binary) 부호로써 같은 인코더 입력과 출력 블록 길이를 갖는 선형 부호에 대해 가능한 최대 부호 길이와 최소 길이를 갖는다. (n,k) Reed-Solomon 부호의 최소 거리와 심볼 에러의 정정수는 최소 거리를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d_{\min} = n - k + 1 \quad (13)$$

$$t = (d_{\min} - 1) / 2 = (n - k) / 2 \quad (14)$$

여기서 k는 부호화된 데이터 심볼의 수이며, n은 인부호된 블록의 전체 부호 심볼 수를 나타낸다. 그리고 심볼 에러의 정정수는 t개보다 같거나 작은 수의 심볼 에러를 정정할 수 있음을 나타낸다.

그림 3은 혼합 페이딩 채널에서 (n,k) Reed-Solomon 부호를 적용한 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율 성능을 구하기 위한 해석 모델을 나타낸다. 무선 채널에는 레일리 페이딩, 라이시안 페이딩, 쉘도우 라이시안 페이딩 채널이 복합적으로 존재하는 3-상태 혼합 페이딩 채널 모델을 고려하였다. 그리고 무선 채널은 점유 확률에 따라서 3-상태가 존재하는 환경을 설정하였다. 그리고 CDMA 시스템에서 필연적으로 발생하는 다중사용자 간섭, 그리고 AWGN이 존재한다. 해석의 편의를 위하여 동기와 전력제어는 완전하다고 가정한다.

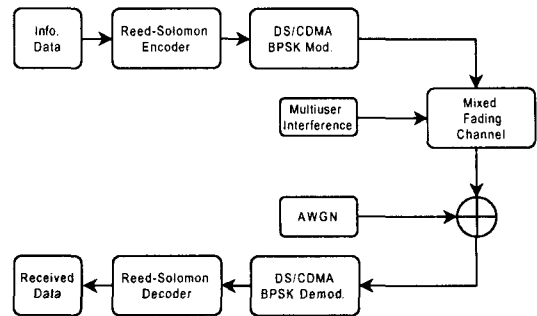


그림 3. 혼합 페이딩 채널에서 (n,k) Reed-Solomon 부호를 적용한 DS/CDMA-BPSK 시스템의 성능 해석 모델

(n,k) Reed-Solomon 부호를 적용한 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율식은 혼합 페이딩 환경에서 얻은 결과  $P_e$ 를 이용하여 구한다. 최종적으로 혼합 페이딩 환경에서 (n,k) Reed-Solomon 부호를 적용한 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율식은 다음과 같다.

$$P_{ebRS} = \sum_{i=t+1}^n \frac{i+t}{n} \binom{n}{i} P_e^i (1 - P_e)^{n-i} \quad (15)$$

여기서  $P_e$ 는 식(11)에서 얻은 혼합 페이딩 채널에서 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율식을 나타낸다. 그리고 n은 부호화되는 블록의 전체 부호 심볼 수이고 심볼 에러의 정정수  $t = (n - k) / 2$ 이다. 또한  $p_A, p_B, p_C$ 는 각 채널의 점유 확률이고 혼합 페이딩 환경에서 각 채널의 점유 확률의 합은 1이다.

#### V. 수치 계산 및 검토

본 논문에서는 혼합 페이딩 채널에서 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 성능을 분석하였다. 혼합 페이딩 채널은 레일리 페이딩, 라이시안 페이딩, 쉘도우 라이시안 페이딩으로 구성하였고 혼합 페이딩 채널의 점유 확률 ( $p_A, p_B, p_C$ ), 처리이득 (PG), 동시 사용자의 수 ( $U_S$ ), 라이시안 페이딩의 심도 ( $K_R$ )를 변화시키며 DS/CDMA-BPSK 시스템의 BER 성능을 분석하였다. 또한 다양한 페이딩 현상에 대처하기 위해 Reed-Solomon 부호를 사용하여 DS/CDMA-BPSK 시스템의 성능 개선 정도에 대한

분석을 수행하였다. 여기서 레일리 페이딩의 점유 확률은  $p_A$ , 라이시안 페이딩의 점유 확률은  $p_B$ , 쉐도우 라이시안 페이딩의 점유 확률은  $p_C$  라고 정의하였다. 혼합 페이딩 환경에서 채널상태의 점유 확률 ( $p_A, p_B, p_C$ ) 에 따른 Reed-Solomon 부호화된 DS/CDMA-BPSK 시스템의 성능을 분석한다.

그림 4는 쉐도우 라이시안 페이딩 채널에서 쉐도우 라이시안 페이딩의 쉐도우 상태에 따른 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 특성을 나타낸다. DS/CDMA-BPSK 시스템에서 신호의 처리이득 PG는 127이고 동시 사용자 수는 5명이다. 그래프로부터 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 성능은 Light와 Average 쉐도우 라이시안 페이딩 채널보다는 Heavy 쉐도우 라이시안 페이딩 채널에서 신호의 오율이 심하게 열화됨을 알 수 있다. 특히, Heavy 쉐도우 라이시안 페이딩 채널에서는 동시 사용자 수에 따른 영향이 크므로 성능 개선을 위한 기법이 필요함을 알 수 있다.

그림 5는 혼합 페이딩 채널에서 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율을 레일리 페이딩, 라이시안 페이딩, Light 쉐도우 라이시안 페이딩의 점유 확률에 따른 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 특성을 나타내고 있다. 그림에서 레일리 페이딩의 점유 확률은 0.1로 고정하고 라이시안 페이딩 및 Light 쉐도우 라이시안 페이딩의 점유 확률의 변화에 따른 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 특성을 보여준다. 처리이득 PG는 127, 사용자 수는 5명, 라이시안 페이딩의 심도는 직접파의 전력이 반사파의 전력보다 10배가 큰  $K_R = 10\text{dB}$ 를 고려하였다. 결과 그래프로부터 레일리 페이딩의 점유 확률을 0.1로 고정한 상태에서 라이시안 페이딩의 점유 확률은 증가하고(직접파의 신호전력이 증가) Light 쉐도우 라이시안 페이딩의 점유 확률은 감소(쉐도우의 영향이 감소)함에 따라서 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 성능은 개선됨을 알 수 있다. 이 경우에서도 동시 사용자 간섭, 쉐도우 및 페이딩의 영향으로 인하여 오율 성능  $10^{-3}$  이하를 만족하지 못하고 있다.

그림 6은 혼합 페이딩 채널에서 처리이득 (PG)과 동시 사용자 수 ( $U_s$ )에 따른 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 특성을 나타낸다. PG의 범위는 63부터

511까지 증가시키면서 동시 사용자 수의 변화에 따른 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 변화를 보여준다. 무선 채널은 레일리 페이딩의 점유 확률은 0.1, 라이시안 페이딩 ( $K_R = 10\text{dB}$ )의 점유 확률은 0.75, Light 쉐도우 라이시안 페이딩의 점유 확률은 0.15인 환경이다. 그리고 기준 신호 전력 대 잡음 전력비는 15 dB이다. 사용자 수가 적은 경우에는 처리이득 PG에 따른 영향을 많이 받지 않았으나, 사용자 수가 많은 경우에는 처리이득 PG에 따른 오율의 변화가 커짐을 알 수 있다. 결과적으로 사용자 수가 적은 경우에는 처리이득이 적도록 시스템을 설계하고, 사용자 수가 많은 경우에는 처리이득이 크게 시스템을 적절적으로 설계하는 것이 효과적임을 의미한다. 사용자 수가 적은 경우에도 시스템의 BER 성능이  $10^{-3}$  이하를 유지하지 못하는 이유는 레일리 페이딩과 Light 쉐도우 라이시안 페이딩의 점유 확률이 무선 채널 환경에 전체적으로 영향을 주기 때문이다.

그림 7은 혼합 페이딩 채널에서 (16,12) Reed-Solomon 부호를 적용한 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 특성을 나타낸다. 혼합 페이딩 채널은 레일리 페이딩, 라이시안 페이딩, Light 쉐도우 라이시안 페이딩으로 구성된다. 라이시안 페이딩의 심도는  $K_R = 10\text{dB}$ 이고 동시 사용자 수는 20명이다. 그리고 DS/CDMA 시스템에서 처리이득 PG는 127이다. 그림에서 레일리 페이딩의 점유 확률은 0.1로 고정하고 라이시안 페이딩, Light 쉐도우 라이시안 페이딩의 점유 확률 변화에 따른 (16,12) Reed-Solomon 부호를 적용한 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 특성을 보여준다. 레일리 페이딩의 점유 확률을 0.1로 고정한 상태에서 라이시안 페이딩의 점유 확률은 증가하고, Light 쉐도우 라이시안 페이딩의 점유 확률은 감소함에 따라서 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율은 개선됨을 알 수 있다. 특히, 동시 사용자 간섭과 혼합 페이딩 채널에서는 부호화를 적용하지 않은 DS/CDMA-BPSK 시스템에 비하여 Reed-Solomon 부호를 적용한 DS/CDMA-BPSK 시스템에서 많은 부호화 이득을 얻을 수 있었다.

### VI. 결론

본 논문에서는 다양한 페이딩 채널 (레이리, 라이시안, 웨도우 라이시안)에서의 성능 분석을 통하여 혼합 페이딩 채널에서 DS/CDMA-BPSK 시스템의 BER 성능을 분석하였다. 웨도우의 영향은 MSAT 채널에서 사용되는 파라미터 값을 적용하였다. 본 논문에서 제시한 혼합 페이딩 모델은 다양하게 변화하는 이동위성채널을 위한 무선채널 모델로써 적용이 가능하고, 다양한 무선 환경에서의 영향을 분석하는데 적절하다. 혼합 페이딩 채널에서 DS/CDMA-BPSK 시스템의 BER 성능을 분석한 결과, 웨도우 페이딩의 영향이 포함된 혼합 페이딩 채널에서는 무선 채널의 점유 확률과 웨도우 페이딩의 영향이 오율 성능에 지배적임을 알 수 있었다. 동시 사용자 간섭과 혼합 페이딩 채널에서 Reed-Solomon 부호화를 적용하여 DS/CDMA-BPSK 시스템의 성능을 분석한 결과, 다중사용자 수가 20명인 혼합 페이딩 환경에서도 Reed-Solomon 부호화를 적용한 DS/CDMA-BPSK 시스템이 효과적임을 알 수 있었다. 그러나 레이리 페이딩과 Light 및 Heavy 웨도우 라이시안 페이딩의 점유 확률이 증가하는 채널 환경에서는 다이버시티나 추가적인 채널부호를 적용하는 것이 필요하다고 판단된다.

### 참고 문헌

[1] J. Goldhirsh and W. J. Vogel, "Propagation effects for land mobile satellite systems : Overview of experimental and modeling results," NASA Ref. Pub. 1274, 1992.  
 [2] K. Tanaka, N. Obara, S. Yamamoto, and H. Wakana, "Propagation characteristics of land mobile satellite communications in Japan using ETS-V satellite," in *IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 929-933, 1995.  
 [3] C. Loo, "A statistical model for a land mobile satellite link," in *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-34, pp. 122-127, Aug. 1985.  
 [4] E. Lutz, D. M. Dippold, F. Dolainsky, and W. Papke, "The land mobile satellite communication channel-recording, statistics, and channel model," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, pp. 375-386,

May 1991.

[5] Y. Karasawa, K. Kimura, and K. Minamisono, "Analysis of availability improvement in LMSS by means of satellite diversity based on three-state propagation channel model," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 46, pp. 1047-1056, Nov. 1997.  
 [6] S. H. Jamali and T. Le-Ngoc, *Coded-modulation techniques for Fading Channels*, Kluwer Academic Publishers, 1994.

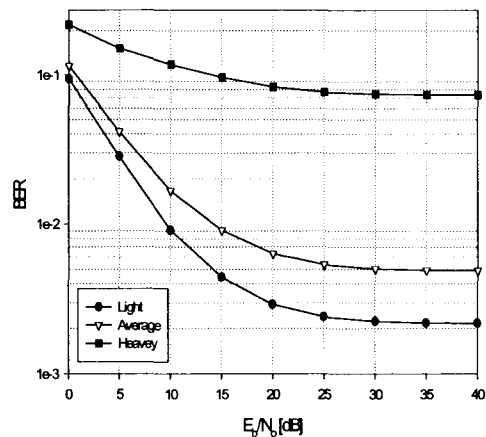


그림 4. 혼합 페이딩 채널에서 웨도우 라이시안 페이딩의 웨도우 상태에 따른 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율

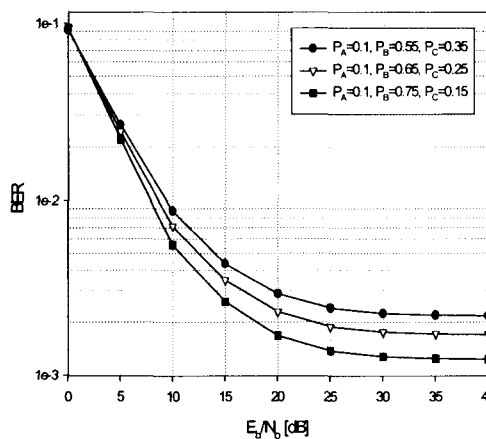


그림 5. 혼합 페이딩 채널에서 점유 확률에 따른 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율

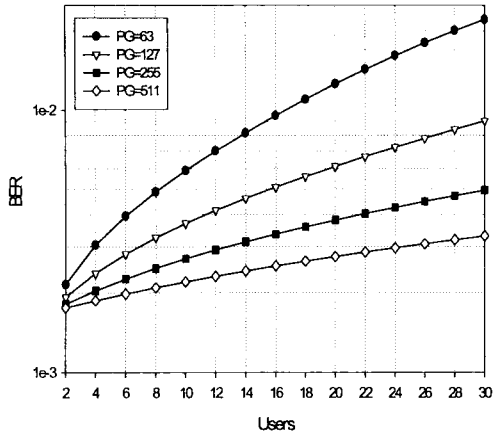


그림 6. 혼합 페이딩 채널에서 처리이득과 동시 사용자 수에 따른 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율

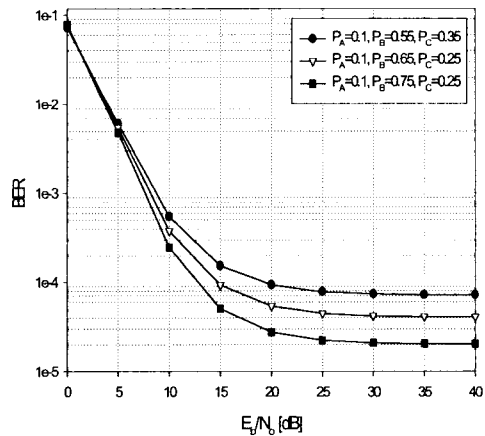


그림 7. 혼합 페이딩 채널에서 (16,12) Reed-Solomon 부호화된 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율

저 자 소 개



노재성(Jae-Sung Roh)

1990년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업(공학사)

1992년 2월 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 졸업(공학석사)

2000년 8월 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 졸업(공학박사)

1992년 3월~1997년 5월 한화정보통신(주) 무선가입자망 연구소

2000년 9월~현재 서울대학 정보통신시스템전공 전임강사

\*주관심 분야 : 이동통신망 성능분석, 모바일 인터넷, 멀티미디어 통신 및 정보보호



조성언(Sung-Eon Cho)

1989년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업(공학사)

1991년 2월 한국항공대학 대학원 항공통신정보공학과 졸업(공학석사)

1997년 2월 한국항공대학 대학원 항공전자공학과 졸업(공학박사)

1997년 3월~현재 순천대학교 공과대학 정보통신공학부 조교수

\*주관심 분야 : 무선통신, 이동통신, 전자파환경공학



조성준(Sung-Joon Cho)

1969년 2월 한국항공대학 항공통신공학과 졸업(공학사)

1975년 2월 한양대학교 대학원 졸업(공학석사)

1981년 3월 오사카대학 대학원 통신공학과 졸업(공학박사)

1972년 8월~현재 한국항공대학교 대학원 전자·정보통신·컴퓨터 공학부 교수

\*주관심 분야 : 무선통신, 이동통신, 환경전자공학