

# 라이시안 페이딩 및 로그노말 새도우잉 영향하에서 Outage 확률에 의한 스펙트럼 효율 분석

정회원 안 치 훈\*, 김 남\*, 오 원 겸\*

## Spectrum Efficiency Analysis in Rician Fading, lognormal Shadowing Effects by the Outage Probability

Chy Hun An\*, Nam Kim\*, Won Gyuem Oh\* *Regular Members*

### 요 약

마이크로셀룰라 이동 무선 시스템의 전파환경은 레일리, 라이시안 페이딩과 경로손실, 로그노말 새도우잉 등의 영향을 받는다. 이러한 복합적 환경에서 outage 확률을 이용하여 재사용거리와 cluster 사이즈, 신호대 간섭의 전력비, 임계비(protection ratio) RI 등 여러 파라미터에 대한 L개의 라이시안 간섭 사이에서 수신된 라이시안 신호와 로그노말 새도우잉의 특성을 분석하였다. 또한 재사용거리, cluster 사이즈, 반송 트래픽, 시스템의 대역폭, 셀의 면적에 의해 정의되는 스펙트럼 효율의 성능평가를 연구하였다. 이론 전개와 시뮬레이션 결과를 통해 로그노말 새도우잉 라이시안 채널의 특성을 효과적으로 분석하였다.

### ABSTRACT

The propagation environment is effected by Rayleigh fading, Rician fading, path loss and lognormal shadowing in microcellular mobile radio system. In these surroundings, we showed the characteristics on received Rician signals among L Rician interferers and lognormal shadowing for various parameters such as reuse distance, cluster size, signal to interference power ratio and protection ratio using outage probability. An assessment of spectrum efficiency which is defined in terms of reuse distance, cluster size, carried traffic, bandwidth of system, area of a cell is presented, too. The characteristics of lognormal shadowed Rician channel are effectively analyzed through the theoretical extention and computer simulation

### I. 서 론

마이크로셀룰라 이동 무선 시스템의 전파환경은 경로손실과 다중경로 신호분포인 레일리 페이딩, 직접파가 간접파에 비해 우세한 경우의 라이시안 페이딩, 이동국 전파의 수신시 빌딩, 언덕, 나무등과 같은 장애물에 의한 로그노말 새도우잉의 영향등 다양한 형태로 나타난다. 이때 각각의 페이딩과 로그노말 새도우잉을 혼합한 채널모델이 다양하게 연구되고 있다 [1]-[3]. 직접 가시거리 신호요소가 셀내 통신에서 존재하고 간섭은 동일채널 셀 사이에서 존재하지 않을

수 있다고 가정하여 신호는 라이시안 페이딩의 영향을 받는 반면 동일채널간섭은 레일리 페이딩의 영향을 받게 모델링하여 한 개나 복수의 레일리 간섭에서 outage 확률이 유도 및 연구되었다[1].

마이크로셀이나 피코셀 시스템인 경우 동일채널 셀간의 거리가 멀지 않기 때문에 간섭신호는 매크로셀룰라 시스템과 비교하여 짧은 거리로부터 도달한다. 그러므로 가시경로 신호는 셀 내에서 또는 동일 채널 셀에서 존재할 수 있다. 이때 한 개의 라이시안 신호와 복수의 라이시안 간섭을 가정한 전파채널의 연구에서 outage 확률이 삼중무한급수의 복잡한 형태

\* 충북대학교 정보통신학과: 정회원  
논문번호: 97419-1124, 접수일자: 1997년 11월 24일

로 연구되었다[2]. 또한 다중경로 레일라이 신호와 가시거리 간섭요소가 존재할 때의 라시안 간섭에서 outage 확률이 연구되었다[3].

레일라이 페이딩, 라시안 페이딩, 경로손실, 느린 로그노말 새도우잉 등 각각의 영향들에 대한 outage 확률도 분석되었다[4]. 신호는 로그노말 새도우드 라시안 페이딩의 영향을 받는 반면 간섭은 로그노말 새도우드 레일라이 페이딩의 영향을 받도록 모델링되었다. 또한 로그노말 새도우드 라시안 채널의 outage 확률이 적어도 신호중 하나는 레일라이 분포를 한다고 가정되어있다.

본 논문은 outage 확률을 이용하여 마이크로셀룰라 환경에서 신호와 간섭이 경로손실과 느린 로그노말 새도우잉, 빠른 라시안 페이딩의 영향을 받을 때에 대해 시뮬레이션하였다. 라시안 페이딩만이 고려된 채널과 로그노말 새도우잉의 영향이 포함된 경우를 구분하여 재사용거리 D와 cluster size C, Rice factor K, 임계비(protection ratio) R<sub>i</sub>, 로그노말 새도우잉, 활성 간섭 수 L 등 여러 파라미터에 대한 영향과 이동 무선 시스템에서 셀면적과 주파수, 시간등을 효과적으로 이용하는가를 스펙트럼 효율 분석을 통해 나타내었다.

## II. outage 확률 및 스펙트럼 효율

### 1. 라시안 페이딩환경에서 outage 확률

최근 이동통신 시스템의 가입자수가 급속히 증가하여 주파수 자원이 점점 한계에 달하고 있어서 주파수 재사용을 위한 셀룰라 이동 무선 시스템에 관심이 고조되고 있다. 이때 적당한 신호를 수신하는데 실패할 확률인 outage 확률은 주파수 재사용 평가의 중요한 수단이 되는데 라시안/라시안 페이딩 채널에서의 outage 확률은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P(\text{outage} | L) = Q\left[\sqrt{\frac{2LK_iR_i}{b_1 + R_i}} \cdot \sqrt{\frac{2K_o b_1}{b_1 + R_i}}\right] + \exp\left(-\frac{LK_iR_i + K_o b_1}{b_1 + R_i}\right) \times \sum_{m=0}^{L-1} \left(\frac{K_o R_i}{LK_i b_1}\right)^{m/2} I_m\left(\frac{\sqrt{4LK_i K_o b_1 R_i}}{b_1 + R_i}\right) \times \left\{\left(1 + \frac{b_1}{R_i}\right)^{-L} \sum_{k=m}^{L-1} \binom{L}{k-m} \left(\frac{b_1}{R_i}\right)^k - \delta_{m0}\right\} \quad (1)$$

이때  $b_1 = \sigma_o^2 / \sigma_i^2$ ,  $R_i$ 는 임계비,  $I_m(x)$ 는 1종 m차 근사화된 Bessel함수,  $\delta_{m0}$ 는  $m=0$ 이면  $\delta_{m0}=1$ ,  $m \neq 0$ 이면  $\delta_{m0}=0$ 이고,  $K_i$ 는 간섭의 Rice factor,  $K_o$ 는 신호의 Rice factor, L은 간섭수 이다. 그리고 Q함수는 아래와 같이 정의된다[5].

$$Q(u, v) = \int_v^\infty x \exp\left[-\frac{1}{2}(x^2 + u^2)\right] I_0(xu) dx \quad (2)$$

식(1)에서는 모든 간섭이  $k=1, \dots, L$  일 때 동일 평균값  $m_k=m_l$ 를 갖는다고 가정했다.

### 2. 로그노말 새도우잉의 영향

랜덤변수 S를 식(3)과 같이 신호의 국부 평균 전력 대 단일 간섭의 국부 평균 전력 비로 정의하면 로그노말 새도우잉이 포함된 outage 확률은 식(4)와 같다.

$$S = \frac{p_o}{p_k} = \frac{(1 + K_o)\sigma_o^2}{(1 + K_i)\sigma_i^2} = \frac{(1 + K_o)}{(1 + K_i)} b_1 \quad (3)$$

$$P_i(\text{outage} | L) = \int_0^\infty P(\text{outage} | L, S) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n^2 S}} \times \exp\left(-\frac{\ln^2\left[S\left(\frac{r_o}{r_i}\right)\right]^\beta}{2\sigma_n^2}\right) dS \quad (4)$$

이때  $\sigma_n^2 = \sigma_{n0}^2 + \sigma_n^2$  이다.

### 3. 동일채널간섭 확률

주어진 셀 내에서 동일채널간섭이 활성적인지 아닌지에 대한 상태가 Bernoulli 확률밀도함수에 의해 표현되었다[7]. 동일채널간섭이 통계적으로 독립적이고 이상적으로 분포되며 가장 가까운 6개의 동일채널셀을 고려한다면 L개의 동일채널간섭이 활성적인 확률 P(L)은 이항분포에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(L) = \binom{6}{L} p^L (1-p)^{6-L}, \quad L=0, 1, \dots, 6. \quad (5)$$

모든 셀이 동일 수의 주파수 채널 N<sub>c</sub>와 동일 블록킹 확률 B를 갖는다면  $p = B^{L/N_c}$ 와 P(L)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P(L) = \binom{6}{L} B^{L/N_s} (1 - B^{1/N_s})^{6-L}, L=0, 1, \dots, 6. \quad (6)$$

이때의 L은 랜덤변수이다. 따라서 마이크로셀룰라 시스템에서 동일채널간섭 확률은 다음과 같이 정의된다[7].

$$P(\text{outage}) = \sum_{L=1}^6 P(\text{outage} | L) P(L) \quad (7)$$

따라서 라이시안 페이딩만이 있는 채널의 경우에서의 동일채널간섭 확률은 식(7)에 식(1)과 식(6)을 대입하고 로그노말 새도우잉이 포함되는 경우에서의 동일채널간섭 확률은 식(7)에 식(4)와 식(6)을 대입하여 구할 수 있다.

#### 4. 재사용거리와 cluster size

재사용거리 D는 가장 가까운 동일채널셀간 중심사이 거리 d와 셀 반경 R의 비로써 정의된다. 라이시안 페이딩만이 있는 환경에서 원하는 신호(=K<sub>o</sub>σ<sub>o</sub><sup>2</sup>)의 반사요소와 간섭(=K<sub>i</sub>σ<sub>i</sub><sup>2</sup>)의 반사요소 평균 power와 관계가 있다. 따라서 재사용거리 D는 다음과 같이 정의할 수 있다[5].

$$D = \frac{d}{R} = 1 + \left( \frac{K_o \sigma_o^2}{K_i \sigma_i^2} \right)^{1/\beta} = 1 + \left( \frac{K_o}{K_i} b_1 \right)^{1/\beta} \quad (8)$$

식(8)을 b<sub>1</sub>에 대해 다시 정리하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$b_1 = \frac{K_i}{K_o} (D-1)^\beta \quad (9)$$

따라서 재사용거리 D의 함수로써 outage 확률을 표현할 수 있다.

중앙셀 주위로 cluster size C를 형성하는 육각형 셀을 가정하면 C는 재사용거리 D와 관계가 있다.

$$C = \frac{D^2}{3} \quad (10)$$

이 관계는 주어진 동작조건하에서 요구되는 cluster size C를 결정하기 위해 식(9)의 결과와 더불어 이용될 수 있다.

#### 5. 스펙트럼 효율

셀룰라 무선시스템의 서비스 구역이 육각형 셀의 규칙적인 배열로 나누어진다고 가정하면 이 셀은 cluster로 묶여지는데 각 cluster는 이동 무선시스템에서 이용할 수 있는 대역폭을 갖는다. 식(11)와 같이 정의되는 스펙트럼 효율은 공간과 주파수, 시간등을 효과적으로 이용할 수 있는가를 나타낸다[3].

$$E_s = \frac{A_c}{N_s W C S_o} \text{ erlang/MHz/km}^2 \quad (11)$$

N<sub>s</sub>는 셀당 채널수, A<sub>c</sub>는 셀당 반송트래픽, W는 채널당 대역폭, C는 cluster size, S<sub>o</sub>는 단위셀의 면적, E<sub>s</sub>는 스펙트럼 효율이다.

### III. 시뮬레이션 및 결과분석

그림 1은 아래와 같이 정의되는 원하는 신호 전력 대 간섭 전력 비(signal to interference power ratio : SIR)에 대한 outage 확률을 나타낸 것이다.

$$SIR = \frac{(K_o + 1) \sigma_o^2}{L(K_i + 1) \sigma_i^2} = \frac{(K_o + 1)}{L(K_i + 1)} b_1 \quad (12)$$

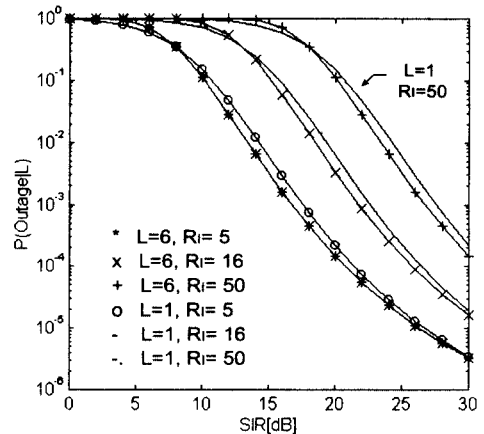


그림 1. 라이시안 페이딩 채널에서 신호대 간섭전력의 비 (SIR)에 대한 Outage 확률(K<sub>o</sub>=10, K<sub>i</sub>=5)

Fig. 1. Outage probability on signal to interference power ratio SIR in Rician fading channel (K<sub>o</sub>=10, K<sub>i</sub>=5)

주어진 SIR과  $K', \sigma_o^2, K_I$ 에 대해 단일 간섭과 복수 간섭의 그림을 비교할 때  $L\sigma_i^2$ 의 값은 고정되기 때문에 L값이 커질수록  $\sigma_i^2$ 값은 작아진다. 이것은 단일 간섭의 전력이 L개의 간섭사이에서 분포됨을 의미한다. 그림 1은  $K_o=10, K_I=5$ 에서 여러  $R_I$ 와 L의 영향에 대해 나타내었다.  $R_I$ 가 증가할수록 outage 확률이 증가되고 L이 커짐에 따라 단일 간섭의 전력이 L개의 간섭사이에서 분포되어 outage 확률이 작아짐을 알 수 있다. 그러나 SIR을 식(3)에서 정의된 S의 함수에 따라 나타내면 L의 증가와 함께  $P(\text{outage} | L)$ 도 증가함을 그림 2에서 볼 수 있다. 이것은 L개 간섭이 있고 전체 간섭 power가 L배 크다는 것을 의미한다.

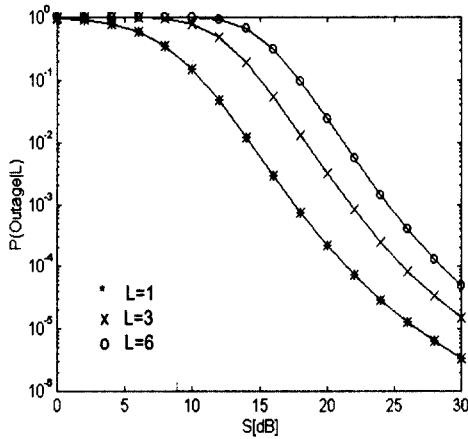


그림 2. 라시안 페이딩 채널에서 국부 평균 신호대 국부 평균 간섭 전력의 비(S)에 대한 Outage 확률 ( $K_o=10, K_I=5, R_I=5$ )

Fig. 2. Outage probability on local mean signal to local mean interference power ratio S in Rician fading channel ( $K_o=10, K_I=5, R_I=5$ )

그림 3은 파라미터로써 임계비  $R_I$ 와  $K_o, K_I$ 를 이용하여 셀 경계가  $r_o=R$ 인 경우 재사용거리 D의 함수로 나타낸 것이다. 임계비가 20dB인 경우 재사용거리가 4.2이상에서, 임계비가 7dB인 경우에는 재사용거리가 2이상에서  $P(\text{outage} | L)$ 이 현저히 작아지고 있고  $K_I$ 값 7dB와 10dB를 비교할 때 7dB에서 다소  $P(\text{outage} | L)$ 이 크며 임계비  $R_I$ 가 커짐에 따라  $P(\text{outage} | L)$ 이 증가함을 볼 수 있다. 그림 4는 라시안 페이딩 채널에서 채널당 대역폭이 27kHz, 셀면적이 1km<sup>2</sup>, 반송 트래픽이 5 erlang, 셀당 채널수가 10인 경우 스펙트럼 효율의 변화에 따른  $P(\text{outage} | L)$

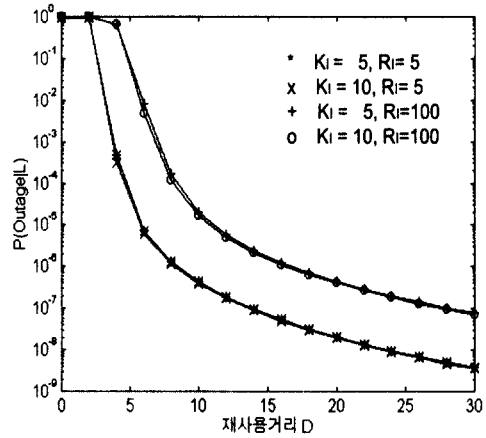


그림 3. 라시안 페이딩 채널에서 재사용거리에 대한 outage 확률 ( $K_o=10, L=1$ )

Fig. 3. Outage probability on reuse distance in Rician fading channel( $K_o=10, L=1$ )

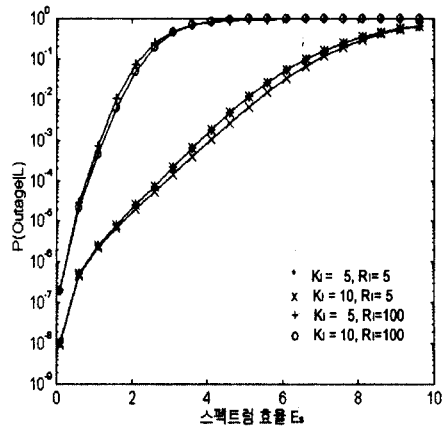


그림 4. 라시안 페이딩 채널에서 스펙트럼 효율에 대한 outage 확률 ( $A_c=5, N_s=10, W=27\text{KHz}, S_a=1\text{km}^2$ )

Fig. 4. Outage probability on spectrum efficiency in Rician fading channel ( $A_c=5, N_s=10, W=27\text{KHz}, S_a=1\text{km}^2$ )

를 나타내었다. cluster 사이즈와 스펙트럼 효율과는 역비례의 관계가 있어 스펙트럼 효율이 증가할수록 outage 확률이 증가함을 알 수 있다. 즉 스펙트럼 효율을 지나치게 크게하면 원하는 신호를 수신하는데 어려움이 있음을 나타내고 있는데 임계비  $R_I$ 가 20dB인 경우 스펙트럼 효율이 4이상이면 신호가 수신되기

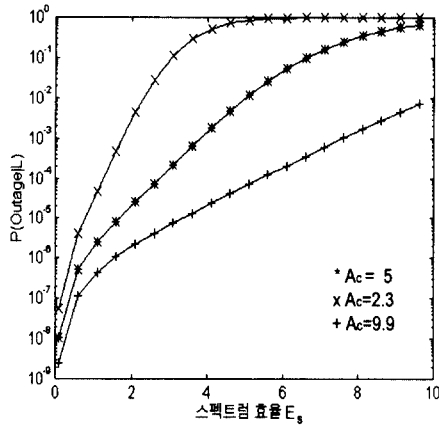


그림 5. 라이시안 페이딩 채널에서 반송트래픽에 대한 outage 확률 ( $K_I=5, K_o=10, R_I=5, L=1, N_s=10, W=27\text{kHz}, S_a=1\text{km}^2$ )

Fig. 5. Outage probability on carried traffic in Rician fading channel ( $K_I=5, K_o=10, R_I=5, L=1, N_s=10, W=27\text{kHz}, S_a=1\text{km}^2$ )

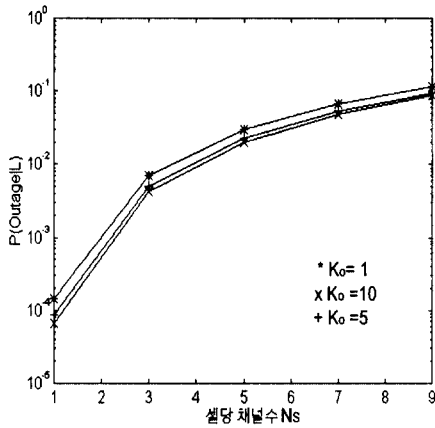


그림 6. 로그노말 섀도우드 라이시안 채널에서 셀당 채널 수에 대한 outage 확률 ( $K_I=5, R_I=10, L=1, E_s=3, A_c=5, W=27\text{kHz}, S_a=1\text{km}^2$ )

Fig. 6. Outage probability on the number of channels for cell in lognormal shadowed Rician channel ( $K_I=5, R_I=10, L=1, E_s=3, A_c=5, W=27\text{kHz}, S_a=1\text{km}^2$ )

어려움을 보이고 있다. 그림 5와 6은 반송 트래픽 세기가 클 수록, 셀당 채널수가 작을수록  $P(\text{outage} | L)$ 이 작아짐을 나타내고 있다. 따라서 라이시안 페이딩만이 존재하는 이동 무선 채널에서 outage 확률을 작게 하기 위해서는 스펙트럼 효율을 지나치게 크게해서

는 안되고 반송트래픽의 세기를 증가하며 셀당 채널 수를 작게하여야 한다. 그림 7은 로그노말 섀도우드

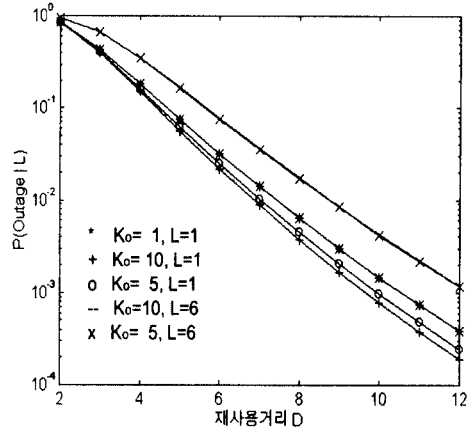


그림 7.  $K_o$ 의 변화에 따른 로그노말 섀도우드 라이시안 채널에서 재사용거리에 대한 outage 확률 ( $K_I=10, R_I=10, \sigma_{no}=\sigma_{nl}=6\text{dB}$ )

Fig. 7. Outage probability on reuse distance in lognormal shadowed Rician fading channel according to various  $K_o$  ( $K_I=10, R_I=10, \sigma_{no}=\sigma_{nl}=6\text{dB}$ )

라이시안 페이딩 채널에서  $K_o$ 의 변화에 따른 재사용거리 D에 대한  $P(\text{outage} | L)$ 를 나타내었다. 섀도우잉이 원하는 신호와 간섭에서  $6\text{dB} (\sigma_{no}=\sigma_{nl}=1.38)$ 이고  $R_I=10\text{dB}, K_I=10\text{dB}$ 일 때  $K_o$ 와 L값의 변화에 따른 결과를 보여주고 있다.  $L=1$ 인 경우  $P(\text{outage} | L)$ 은 재사용거리 D가 클수록 작고  $K_o=1$ 에서 비교적 outage 확률이 큼을 보이고 있으며  $L=6$ 인 경우  $P(\text{outage} | L)$ 은  $K_o$ 의 값에 의해 영향이 적음을 나타내고 있다.

그림 8은  $R_I=7\text{dB}, K_o=10\text{dB}, K_I=7\text{dB}, N_s=10$ , 블록킹 확률  $B=0.01$ 일 때 동일채널간섭 확률에 대해서 섀도우잉 확산( $\sigma_{no}=\sigma_{nl}$ 인 경우)의 영향을 비교하였다. 섀도우잉 확산의 값이 증가하면 특정한 재사용거리 D에서 동일채널간섭 확률 역시 증가함을 볼 수 있는데 이 결과로 동일채널간섭 확률에 섀도우잉 확산의 값이 많은 영향을 미침을 알 수 있다. 그림 9는 로그노말 섀도우드 라이시안 채널에서 스펙트럼 효율을 나타내었다. 그림 4, 5의 라이시안 채널에서와 마찬가지로 스펙트럼 효율이 증가하면 동일채널간섭 확률이 증가함을 알 수 있고 섀도우잉 확산이  $2\text{dB}$ 인 경우 스펙트럼 효율이 5.5이하에서 동일채널간섭 확률이 매우 감소함을 볼 수 있다. 본 논문에서는  $\beta$ 가 4인 가정 하에 outage 확률을 나타내었으나 최근

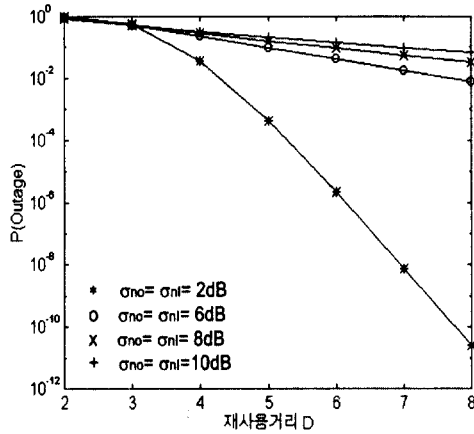


그림 8. 새도우잉 확산 변화에 따른 로그노말 새도우드 라이시안 채널에서 재사용거리에 대한 동일채널간섭 확률( $K_0=10, K_1=5, R_1=5, B=0.01, N_s=10$ )

Fig. 8. Co-channel interference on reuse distance in lognormal shadowed Rician fading channel according to various shadowing spread ( $K_0=10, K_1=5, R_1=5, B=0.01, N_s=10$ )

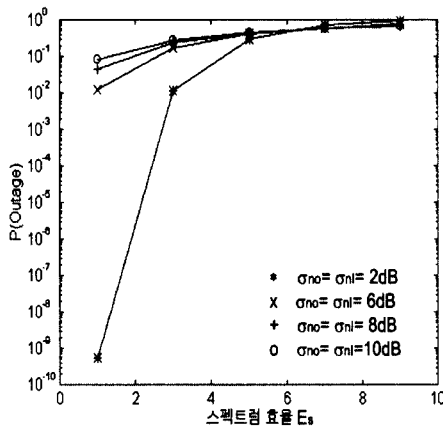


그림 9. 새도우드 라이시안 채널에서 스펙트럼 효율에 대한 동일채널간섭 확률 ( $K_0=10, K_1=5, R_1=5, B=0.01, N_s=10, A_c=5, W=27\text{kHz}, S_n=1\text{km}^2$ )

Fig. 9. Co-channel interference probability on spectrum efficiency in lognormal shadowed Rician fading channel ( $K_0=10, K_1=5, R_1=5, B=0.01, N_s=10, A_c=5, W=27\text{kHz}, S_n=1\text{km}^2$ )

연구동향을 보면  $\beta$  값은 거리에 따라 다르게 변한다. 로그노말 새도우드 라이시안 채널에서 모든 라이시안

간섭의 Rice factor가 이상적이고 그들의 국부 평균 power가 이상적인 로그노말 특성을 갖으며 L개의 간섭은 수신단으로부터 동일거리에 있다는 가정 하에서 결과를 얻었다.

#### IV.결 론

본 논문은 마이크로셀룰라 이동 무선 시스템에서 라이시안 페이딩만이 있는 채널과 로그노말 새도우드 라이시안 채널에서 outage 확률을 이용하여 재사용거리와 cluster size, 신호대 간섭의 전력비, 임계비  $R_1$  등 여러 파라미터들의 영향에 대해 연구 분석하였다. 라이시안 페이딩 채널에서 임계비  $R_1=7\text{dB}$ 인 경우 신호대 간섭 전력의 비 SIR이 6dB이상에서 outage 확률이 작아졌고 임계비  $R_1$  값이 7dB, 20dB일 때 재사용거리 D가 3이상에서 outage 확률이 현저히 작아졌다. 따라서 원하는 신호를 수신하는데 실패하지 않기 위해서는 SIR을 크게하고 간섭을 줄이며 재사용거리 D를 멀리해야 한다. 하지만 지나치게 재사용거리를 멀리하면 cluster 당 셀 수가 많아져서 주파수 재사용 효율을 저하시킨다. 그러므로 재사용거리와 주파수 재사용 효율사이에 trade-off가 있어야 한다. 또한 cluster size C가 작으며 임계비가 클때 outage 확률이 증가함을 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있다.

로그노말 새도우드 라이시안 채널에서  $\sigma_{no}=\sigma_{nl}=1.38(6\text{dB})$ 인 경우  $K_1$ 와  $K_0$ 의 변화에는 outage 확률이 크게 변화하지 않았지만 재사용거리 D가 3이상에서 새도우잉 확산의 값이 커짐에 따라 동일채널 간섭 확률이 매우 증가함을 알 수 있다. 따라서 로그노말 새도우드 라이시안 채널에서는 새도우잉 확산이 outage 확률에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 이동 무선 시스템에서 원하는 신호를 수신할 때 실패하지 않게 하기 위해서는 반송트래픽의 세기를 크게하고 스펙트럼 효율을 지나치게 크게해서는 안되며 셀당 채널수를 적게해야함을 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. Y. D. Yao and A. U. G. Sheika, "Outage probability analysis for microcell mobile radio systems with co-channel interferers in Rician/Rayleigh fading environment," Electron. Lett., vol. 26, no. 13, pp. 864-866, June 1990.

2. R. Muammar, "Co-channel interference in microcellular mobile radio system," IEEE Veh. Tech. Conf. 1991, pp. 198-203, 1991.
3. J. R. Haug and D. R. Ucci, "Outage probability of microcellular radio systems in a Rayleigh/Rician fading environment," Conf. Rec. Int. Conf. Comm., ICC 92, pp. 312.4.1-312.4.5, 1992.
4. R. Prasad and A. Kegel, "Effects of Rician faded and lognormal shadowed signals on spectrum efficiency in microcellular radio," IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 42, pp. 274-281, Aug. 1993.
5. T. T. Tjhung, C. C. Chai, and X. Dong, "Outage probability for lognormal shadowed Rician channels," IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 46, no. 2, pp. 400-407, May 1997.
6. G. K. Chan, "Effects of sectorization on the spectrum efficiency of cellular radio systems," IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 41, no. 3, pp. 217-225, Aug. 1992.
7. M. V. Clark, "Reuse efficiency in urban microcellular networks," IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 46, no. 2, pp. 279-287, May 1997.
8. M. Zorzi, "Power control and diversity in mobile radio cellular systems in the presence of Rician fading and lognormal shadowing," IEEE Trans. Veh. Tech., vol. 45, no. 2, pp. 373-382, May 1996.
9. M. D. Yacoub, Foundations of mobile radio engineering, CRC Press, 1993.
10. 강창언, 강민구, 김남, 조형래 공저, 셀룰라 이동통신 공학, 북두출판사, 1997.
11. 정만영 외 편저, 셀룰러 이동통신 방식 설계, 시그마 프레스, 1996.



안 치 훈(Chy Hun An) 정회원  
 1996년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)  
 1998년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 대학원(공학석사)  
 <연구분야> 디지털 이동통신, 위성통신, 무선통신 시스템

김 남(Nam Kim)

정회원

1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)  
 1983년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1988년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)  
 1992년 8월 ~ 1993년 8월 : 미 Stanford대학 방문교수  
 1989년 2월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 정교수  
 <연구분야> 전자파 해석, 전파전파, 적용배열 안테나, EMI/EMC



오 원 겸(Won Gyuem Oh)정회원  
 1995년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)  
 1995년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 대학원 석사과정  
 <연구분야> 초고속 정보통신, 디지털 이동통신, 무선통신 시스템