

# 나카가미 페이딩채널에서 STTD 시스템의 오수신확률

정회원 남우춘\*, 한영열\*\*

## Outage Probability of STTD System in Nakagami Fading Channel

U-chun Nam\*, Young-yearl Han\*\* *Regular Members*

### 요약

본 논문에서는 나카가미 페이딩에서 STTD(Space Time Transmitter Diversity)기법을 적용한 셀룰러 무선 시스템의 오수신확률을 유도한다. 라플라스 변환을 이용하여 L개의 독립적이고 동일분포의 다중간섭신호에 대한 새로운 확률밀도함수를 유도하고, 동일채널 나카가미 간섭신호속에서 나카가미 페이딩을 겪는 신호에 대한 오수신확률을 나타내며, 주파수 재사용거리의 함수로 오수신확률을 표현한다.

### ABSTRACT

In this paper, we derive the outage probability of cellular mobile system with STTD(Space Time Transmitter Diversity) scheme where the received radio signals and interferers experience Nakagami fading. The new probability density function of L independent identically distributed interferers is derived using Laplace transforms. The outage probability expression for a Nakagami signal received among L Nakagami interferers is derived. We express the probability of outage as a function of the frequency reuse distance.

### 1. 서론

이동통신 기술의 발전과 무선인터넷보급의 확산으로 사용자들에게 이동 중에 음성 뿐만 아니라 다양한 데이터 서비스를 제공할 수 있게 되었다. 이동 무선 채널상에서 신호는 페이딩을 겪게 되므로 이를 보상하기 위하여 수신측에서 다이버시티 기법을 비롯하여 다양한 방법을 이용하여 성능향상을 증가시키는 여러 방법이 연구되고있다.<sup>[1]</sup> 그러나 기존의 다이버시티 수신기법은 수신기 회로의 복잡도를 증가시켜 단말기의 부담을 초래한다. 또한 무선인터넷 서비스에서는 역방향링크보다 순방향링크에서 데이터 전송이 고속으로 이루어지므로 단말기의 부담을 줄이면서 페이딩에 의한 성능저하를 보상해 줄 수 있는 STTD 기법이 소개되었다.<sup>[2][3]</sup>

셀룰러 이동 무선 시스템의 설계에서 주파수재사용 개념은 중요하며 동일채널간섭에 의한 오수신확률을 해석에 대한 연구가 많이 수행되었다.<sup>[4][5]</sup>

본 논문에서는 나카가미 페이딩 환경에서 STTD 기법을 적용한 셀룰러 이동 무선 시스템의 오수신확률을 유도한다. II장에서 STTD 기법을 소개하고 III장에서는 나카가미 페이딩 환경에서 수신신호의 전력밀도 함수를 구하고, IV장에서 동일채널 다중간섭성분의 확률밀도함수를 유도하여, V장에서 오수신 확률을 유도하고 주파수재사용에 대하여 분석한다.

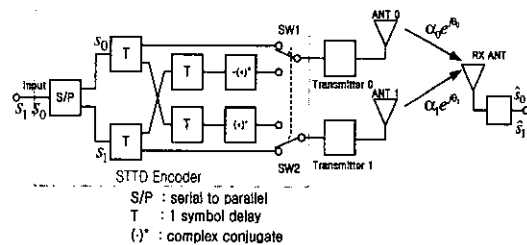


그림 1. STTD 시스템의 블록도

\* 주성대학 디지털정보통신공학과, 논문번호 : 010143-0615, 접수일자 : 2001년 6월 15일

\*\* 한양대학교 전자전기공학부

## II. STTD 시스템

그림 1은 STTD 기법을 적용한 시스템의 블록도이다. 스위치1, 2(SW1, SW2)는 심볼 주기, T, 간격으로 스위칭이 연동으로 이루어지고 시간 t에서 각 안테나에서 송출된 신호가 겪는 페이딩이 연속적인 두 심볼 동안 일정하다고 하면 채널은

$$h_0(t) = h_0(t+T) = h_0 = |\alpha_{0,i}| e^{j\theta_0} \quad (1-a)$$

$$h_1(t) = h_1(t+T) = h_1 = |\alpha_{1,i}| e^{j\theta_1} \quad (1-b)$$

로 표현할 수 있다.<sup>[6]</sup>

각 송신안테나에서 송출된 신호,  $s_0, s_1$ ,가 페이딩을 겪고 수신 안테나에 도래된 신호,  $x$ ,는 식 (2)와 같다.

$$x_0 = x(t) = h_0 s_0 + h_1 s_1 \quad (2-a)$$

$$x_1 = x(t+T) = h_1 s_0^* - h_0 s_1^* \quad (2-b)$$

여기서, \*는 복소공액을 나타낸다.

송신 신호  $s_0, s_1$ ,에 대한 수신기에서 처리된 신호,  $\hat{s}_0, \hat{s}_1$ ,는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\hat{s}_0 = h_0^* x_0 + h_1 x_1^* = (|\alpha_0|^2 + |\alpha_1|^2) s_0 \quad (3-a)$$

$$\hat{s}_1 = -h_1 x_0^* + h_0^* x_1 = (|\alpha_0|^2 + |\alpha_1|^2) s_1 \quad (3-b)$$

식 (3)에서 결과가 최대 비 합성방법(Maximal Ratio Combining)과 동일함을 알 수 있다.

## III. 나카가미 페이딩 환경에서의 수신 신호의 확률밀도함수

두 송신 안테나로부터 송신된 신호는 서로 상관관계가 있으므로 나카가미 페이딩 환경 아래에서 수신기에 수신된 신호의 전력을 각각  $r_1, r_2$ 라 하면 이것에 대한 결합 확률 밀도 함수는 [7]에 의해 식 (4)와 같다.

$$f(r_1, r_2) = \left(\frac{m}{r}\right)^{m+1} \frac{r_1^{(m-1)/2} r_2^{(m-1)/2}}{\Gamma(m)\rho^{m-1}(1-\rho^2)} e^{-\frac{m(r_1+r_2)}{r(1-\rho^2)}} I_{m-1} \left( \frac{2m\rho\sqrt{r_1 r_2}}{r(1-\rho^2)} \right), \quad (4)$$

$r_1 \geq 0$  and  $r_2 \geq 0$ ,

여기서, 상수  $m$ 은 페이딩 지수,  $r$ 는 수신 신호의 평균전력,  $\Gamma(\cdot)$ 는 감마함수(Gamma function),  $\rho$  ( $0 < \rho < 1$ )는  $r_1$ 과  $r_2$ 에 대한 전력상관계수,  $I_\nu(\cdot)$ 는 제1종  $\nu$ 차 변형 베셀 함수이다.

수신안테나에 도래한 신호의 합성신호,  $r(r = r_1 + r_2)$ ,에 대한 확률 밀도함수는 식 (4)의 결합밀도함수를 이용하여 유도한다.

$$f(r) = \int_0^r f(r_1, r-r_1) dr_1$$

$$= \left(\frac{m}{r}\right)^{m+1} \frac{1}{\Gamma(m)(1-\rho^2)} \left(\frac{-ir}{2\rho}\right)^{m-1} e^{\frac{-mr}{r(1-\rho^2)}} \times \int_0^r \left(\sqrt{1-\left(\frac{2}{r}r_1-1\right)^2}\right)^{m-1} J_{m-1} \left(\frac{im\rho r}{r(1-\rho^2)} \sqrt{1-\left(\frac{2}{r}r_1-1\right)^2}\right) dr_1 \quad (5)$$

여기서,  $J_\nu$ 는  $\nu$ 차 제1종 베셀 함수,  $i$ 는  $\sqrt{-1}$ 이다.

식 (5)를 변수변환( $t = \frac{2}{r}r_1 - 1, w = \sqrt{1-t^2}$ )을 하여 정리하면 식 (6)과 같다.

$$f(r) = \left(\frac{m}{r}\right)^{m+1} \frac{2(-i)^{m-1}}{\Gamma(m)\rho^{m-1}(1-\rho^2)} \left(\frac{r}{2}\right)^m e^{\frac{-mr}{r(1-\rho^2)}} \times \int_0^1 w^m (1-w^2)^{-1/2} J_{m-1} \left(\frac{im\rho r w}{r(1-\rho^2)}\right) dw \quad (6)$$

적분공식 [8, p688]

$$\int_0^1 w^{\mu+1} (1-w^2)^\mu J_\nu(bw) dw = 2^\mu \Gamma(\mu+1) b^{-(\mu+1)} J_{\nu+\mu+1}(b) \quad (7)$$

을 이용하여 정리하면 식 (8)과 같이 나카가미 페이딩에서 합성된 수신 신호의 새로운 확률밀도함수를 얻을 수 있다.

$$f(r) = \left(\frac{1}{2\rho}\right)^{m-\frac{1}{2}} \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(m)\sqrt{1-\rho^2}} \left(\frac{m}{r}\right)^{m+\frac{1}{2}} e^{\frac{-mr}{r(1-\rho^2)}} I_{m-\frac{1}{2}} \left(\frac{m\rho r}{r(1-\rho^2)}\right) r^{m-\frac{1}{2}} \quad (8)$$

페이딩 지수  $m$ 이 정수인 경우는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f(r) = \frac{1}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{2\rho r}\right)^m \sum_{k=0}^{m-1} \frac{(m-1+k)!}{k!(m-1-k)!} \left(\frac{r(1-\rho^2)}{2m\rho}\right)^k r^{m-1-k} \times \left[ (-1)^m e^{\frac{-mr}{r(1-\rho)}} + (-1)^k e^{\frac{-mr}{r(1+\rho)}} \right] \quad (9)$$

$m$ 이 1일 때는 레일레이 분포를 나타내며 식 (10)과 같다.

$$f(r) = \frac{1}{2pr} \left( e^{\frac{-r}{r(1+p)}} - e^{\frac{-r}{r(1-p)}} \right) \quad (10)$$

#### IV. 나카가미 페이딩 환경에서의 동일채널 다중간섭의 확률밀도함수

독립적이고 균일분포의 간섭성분이 동일한 평균 전력으로  $L$  개가 있다고 가정하자. 셀룰라 시스템에서는 모든 간섭성분이 같은 거리에 있다고 하면 이 가정은 타당하다. 간섭 성분들은 서로 독립이므로 다음과 같이 표현된다.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_L \quad (11)$$

여기서,  $I_i (i=1, 2, \dots, L)$ 는 랜덤 변수이다. 합성된 다중 간섭신호의 확률밀도함수를 구하기 위하여 먼저 한 개의 간섭신호에 대하여 식 (12)와 같이 라플라스 변환을 한다.

$$\begin{aligned} L(f_i(y)) &= \int_0^\infty e^{-sy} f_i(y) dy \\ &= \left( \frac{-i}{2p} \right)^{m-\frac{1}{2}} \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(m)} h^{m+\frac{1}{2}} (1-\rho^2)^m \int_0^\infty e^{-(s+h)y} J_{m-\frac{1}{2}}(ih\rho y) y^{m-\frac{1}{2}} dy \end{aligned} \quad (12)$$

여기서,  $h = \frac{m}{y(1-\rho^2)}$ 이다.

[8, p711]로부터

$$\int_0^\infty e^{-\alpha y} J_\nu(\beta y) y^{\mu-1} dy = \frac{\left( \frac{\beta}{2} \right)^\nu \Gamma(\nu+\mu)}{\sqrt{(\alpha^2+\beta^2)^{\nu+\mu}} \Gamma(\nu+1)} {}_2F_1 \left( \frac{\nu+\mu}{2}, \frac{1-\mu+\nu}{2}; \nu+1; \frac{\beta^2}{\alpha^2+\beta^2} \right) \quad (13)$$

을 이용하여 식 (12)을 정리하면 식 (14)와 같다. 여기서  ${}_2F_1(\cdot)$ 는 초기하함수이다.

$$L(f_i(y)) = \frac{1}{(1-\rho^2)^m} \left( \frac{m}{y} \right)^{2m} \frac{1}{\left( \left( s + \frac{m}{y(1-\rho^2)} \right)^2 - \left( \frac{\rho m}{y(1-\rho^2)} \right)^2 \right)^m} \quad (14)$$

합성된 다중간섭성분,  $I$ 에 대한 결합확률밀도함수는 식(15)와

$$\begin{aligned} L(f_I(y)) &= \int_0^\infty e^{-sy} f_I(y) dy = \prod_{i=1}^L L(f_{I_i}(y)) \\ &= \frac{1}{(1-\rho^2)^{Lm}} \left( \frac{m}{y} \right)^{2Lm} \frac{1}{\left( \left( s + \frac{m}{y(1-\rho^2)} \right)^2 - \left( \frac{\rho m}{y(1-\rho^2)} \right)^2 \right)^{Lm}} \end{aligned} \quad (15)$$

라플라스 역변환공식[9, p241]

$$\frac{1}{(s^2 - a^2)^k}, (k > 0) \leftrightarrow \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(k)} \left( \frac{t}{2a} \right)^{k-\frac{1}{2}} I_{k-\frac{1}{2}}(at) \quad (16)$$

을 이용하면 식 (17)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} f(y) &= \left( \frac{1}{2p} \right)^{mL-\frac{1}{2}} \frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(Lm)\sqrt{1-\rho^2}} \left( \frac{m}{y} \right)^{mL+\frac{1}{2}} \frac{-m}{y(1-\rho^2)} \\ &\quad \times I_{mL-\frac{1}{2}} \left( \frac{m\rho y}{y(1-\rho^2)} \right) y^{mL-\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (17)$$

식 (17)은 나카가미 페이딩 환경에서 동일채널에 대한  $L$  개의 다중간섭성분이 있을 때의 확률밀도함수가 된다. 확률밀도함수로서의 타당함을 검증은  $\int_0^\infty e^{-sy} f_I(y) dy = 1$ 을 보이면 된다. 식 (15)에서  $s=0$ 인 경우는 이것에 해당하므로 1이 됨을 알 수 있다. 특별한 경우로  $m$ 이 정수인 경우는 식 (18)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} f(y) &= \frac{1}{\Gamma(mL)} \left( \frac{m}{2\rho y} \right)^{mLmL-1} \sum_{k=0}^{mLmL-1} \frac{(mL-1+k)!}{k!(mL-1-k)!} \left( \frac{y(1-\rho^2)}{2m\rho} \right)^k \\ &\quad \times y^{mL-1-k} \left[ (-1)^{mL} e^{\frac{-m}{y(1-\rho)}} + (-1)^k e^{\frac{-m}{y(1+\rho)}} \right] \end{aligned} \quad (18)$$

그리고  $m=1$ 일 때는 레일레이 페이딩에서의 동일채널 다중간섭성분의 확률밀도함수가 된다.

$$\begin{aligned} f(y) &= \frac{1}{\Gamma(L)} \left( \frac{1}{2\rho y} \right)^{L-1} \sum_{k=0}^{L-1} \frac{(L-1+k)!}{k!(L-1-k)!} \left( \frac{y(1-\rho^2)}{2\rho} \right)^k \\ &\quad \times y^{L-1-k} \left[ (-1)^L e^{\frac{-y}{y(1-\rho)}} + (-1)^k e^{\frac{-y}{y(1+\rho)}} \right] \end{aligned} \quad (19)$$

### V. 나카가미 페이딩 환경에서의 오수신확률

L 개의 동일채널 간섭이 있을 때의 오수신확률은 다음과 같이 정의된다.<sup>[4]</sup>

$$P_{out} = P\left(\frac{R}{I} < q\right) = P\left(I > \frac{R}{q}\right) = \int_0^{\infty} f(r) \int_{r/q}^{\infty} f(y) dy dr \quad (20)$$

여기서, q는 기준값(power protection ratio)이다.

평균 신호전력대 평균 단일간섭전력비를 SIR라 하며 다음과 같이 정의한다.

$$SIR = \frac{\bar{r}}{y} \quad (21)$$

식 (9)와 (18)을 (20)에 적용하고 적분공식[8, p310]을 이용하여 나카가미 페이딩에서 m이 정수일 때의 오수신확률을 구하면 식 (22)와 같다.

$$P_{out} = \sum_{p=0}^{m-1} \sum_{k=0}^{m-1} \sum_{t=0}^{m-k-1} \binom{m-1+p}{p} \binom{mL-1+k}{k} \binom{m-1-p+t}{t} \times \left(\frac{1}{2p}\right)^{mL+m+p+k} \left(\frac{q}{SIR}\right)^{m-p} \times \left\{ (-1)^{mL} (1-\rho)^{mL+m} (1+\rho)^{p+k} \left[ \frac{(-1)^m}{\left(1+\frac{q}{SIR}\right)^{m+t-p}} + \frac{(-1)^p}{\left(1+\frac{q(1-\rho)}{SIR(1+\rho)}\right)^{m+t-p}} \right] + (-1)^t (1-\rho)^{p+k} (1+\rho)^{mL-m} \left[ \frac{(-1)^p}{\left(1+\frac{q}{SIR}\right)^{m+t-p}} + \frac{(-1)^m}{\left(1+\frac{q(1+\rho)}{SIR(1-\rho)}\right)^{m+t-p}} \right] \right\} \quad (22)$$

여기서,  $\binom{m-1+p}{p} = \frac{(m-1+p)!}{p!(m-1)!}$  이다.

m=1일 때 레일레이 페이딩 환경에서의 다중간섭에 의한 오수신확률이 되며 식 (23)과 같다.

$$P_{out} = \sum_{k=0}^{L-1} \binom{L-1+k}{k} \left(\frac{1}{2p}\right)^{L+k+1} \times \left\{ (-1)^k (1-\rho)^k (1+\rho)^k \left[ \frac{1-\rho}{\left(1+\frac{q}{SIR}\right)^{L-k}} - \frac{1+\rho}{\left(1+\frac{q(1-\rho)}{SIR(1+\rho)}\right)^{L-k}} + 1 \right] + (-1)^k (1-\rho)^k (1+\rho)^k \left[ \frac{1-\rho}{\left(1+\frac{q(1+\rho)}{SIR(1-\rho)}\right)^{L-k}} - \frac{1+\rho}{\left(1+\frac{q}{SIR}\right)^{L-k}} + 1 \right] \right\} \quad (23)$$

그림 2에 나카가미 페이딩 환경에서 L개의 간섭성분이 있을 때 상관도 ρ를 0.5로 한 경우, 오수신확률을 SIR/q의 함수로 나타내었다. 그림 2에서 페이딩 지수가 증가할 수록 즉, 페이딩의 정도가 약할 수록 요구하는 오수신확률은 얻기 위하여 적은 SIR/q로 가능함을 알 수 있다. 또한 간섭성분수가 많을 수록 더 높은 SIR/q가 요구됨을 알 수 있다.

그림 3은 m=2, L=2인 경우 전력상관계수 ρ의 변화에 따른 오수신확률을 보여주고 있다. 수신된 두 신호의 상관도가 높을수록 동일 오수신확률을 얻기위하여 더 높은 SIR/q가 요구된다. ρ가 1에 아주 가까우면 그림 4와 같이 셀룰라 이동환경에서 유도된 오수신확률[4]과 일치함을 알 수 있다.

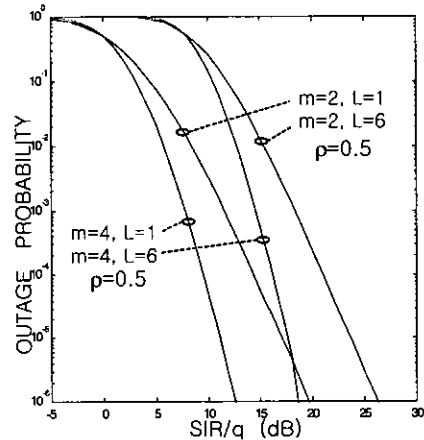


그림 2. 나카가미 페이딩 환경에서 L개의 간섭성분이 있을 때 SIR/q값에 따른 오수신확률 (ρ=0.5).

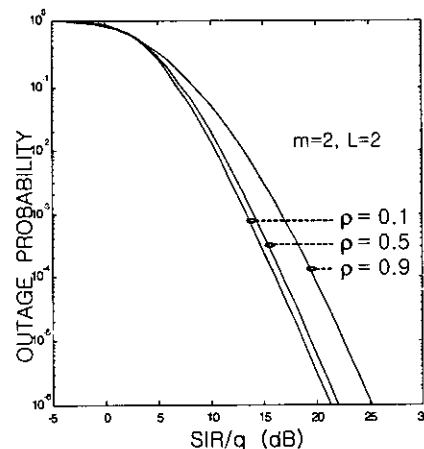


그림 3. 나카가미 페이딩에서 전력상관계수 ρ의 변화에 따른 오수신확률(m=2, L=2).

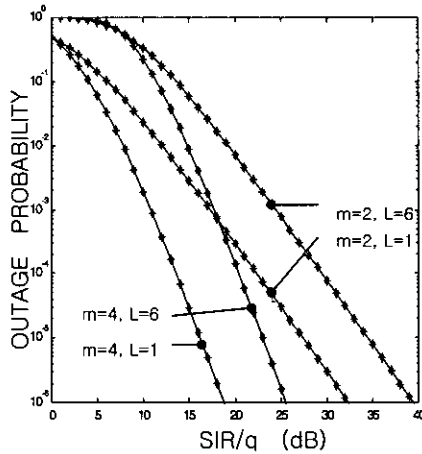


그림 4. 나카가미 페이딩에서 식 (23)에 의한 오수신확률 (---)과 [4]의 오수신확률(\*\*\*\*)의 비교(ρ=1).

### VI. 주파수재사용

송신신호의 전력에 대한 수신신호의 상대적 평균 수신전력으로 정의되는 경로손실이  $n \cdot 10\text{dB/dec}$  라고 할 때, 수신전력  $P$ 는

$$P = \alpha R^{-n} \tag{24}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서,  $\alpha$ 는 전파파라미터(propagation parameter)이고  $R$ 은 이동국과 기지국 사이의 거리,  $n$ 은 전파상수로 자유공간에서는 2로 정의되고 실제 셀룰라 환경에서 2~5사이로 정의되는데 일반적으로 도시환경에서는 4로 정의된다.<sup>[11][10]</sup>

셀룰라 이동통신 시스템환경에서 주파수를 재사용하기 위하여 셀 사이를 일정 간격 이상 이격시켜야 한다. 이동국에서 수신되는 전력  $\bar{r}$ 와 동일채널 간섭  $\bar{y}$ 는 식 (25)에서 각각 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{r} = \alpha d_1^{-n} \tag{25-a}$$

$$\bar{y} = \alpha d_2^{-n} \tag{25-b}$$

여기서,  $d_1$ 은 기지국과 이동국간의 거리이고  $d_2$ 는 이동국과 간섭하는 기지국과의 거리이다.

주파수 재사용거리  $D$ 는

$$D = \frac{d_1 + d_2}{d_1} = 1 + \frac{d_2}{d_1} \tag{26}$$

와 같이 정의되므로 수신전력  $\bar{r}$ 와 동일채널 간섭전력  $\bar{y}$ 의 비를 주파수재사용 거리,  $D$ 로 표현하면 식 (27)과 같다.

$$\frac{\bar{r}}{\bar{y}} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^n = (D-1)^n \tag{27}$$

그림 5는  $q$ 와 페이딩 지수  $m$ 값이 주어졌을 때 주파수재사용 거리,  $D$ 에 따른 나카가미 페이딩에서의 오수신확률을 보여주고 있다. 간섭성분이 6개 있다고 가정하고 식 (22)에 (27)을 대입하고  $n=4$ 일 때의 결과이다.  $q$ 값이 클수록 주파수재사용 거리가 증가 하고 페이딩 정도가 심할수록 주파수재사용 거리가 길어짐을 알 수 있다.

### VII. 결론

본 논문에서는 셀룰라 이동통신환경에서 야기되는 페이딩에 의한 성능의 열화를 줄이는 방법 중에서 단말기의 크기, 회로의 복잡도를 줄일 수 있는 송신 다이버시티기법을 적용한 시스템에서 상관관계를 무시하고 수신된 합성신호에 대하여 확률밀도함수를 구하고, 라플라스 변환을 이용하여 동일채널 다중간섭에 대한 나카가미 페이딩 환경에서 확률밀도함수를 유도하고 타당함을 검증하였다. 이것을 이용하여 오수신확률을 구하고, 전력상관계수  $\rho$ 가 1에 가까워 짐에 따라 셀룰라 이동시스템에서 유도된 오수신확률값<sup>[3]</sup>과 일치함을 알 수 있었다. 또한 다중간섭성분이( $L=6$ ) 있을 때 주파수재사용 거리에 따른 오수신확률을 분석하였다.

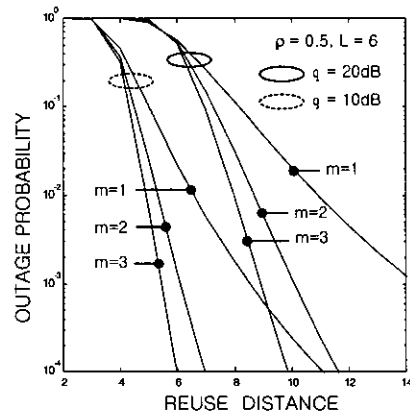


그림 5. 기준값  $q$ 와 페이딩 지수  $m$ 값이 주어졌을 때 주파수재사용 거리,  $D$ 에 따른 오수신확률( $L=6, n=4$ ).

참 고 문 헌

[1] W.C.Y. Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, Wiley John & Sons, 1992.

[2] A. Hottinen, R. Wichman, "Transmit Diversity Techniques for WCDMA", 5'th Annual Smart Antenna Workshop, July 23-24, 1998, Stanford.

[3] S. M. Alamouti, "A simple transmit antenna diversity technique for wireless communications", *IEEE Journal on Selected Areas of Communications*, 1998.

[4] A. A. Abu-Dayya and N. C. Beaulieu, "Outage Probability of Cellular Mobile Radio Systems with Multiple Nakagami Interferers", *IEEE Trans. VTC*, vol.40, No.4 , pp.757-768, Nov. 1991.

[5] J.C. Lin, W.C Kao, Y.T. Su, "Outage and Coverage Considerations for Microcellular Mobile Radio Systems in a Shadowed-Rician/Shadowed-Nakagami Environment", *IEEE Trans. VTC*, Vol. 48, No.1 pp.66-75, Jan. 1999.

[6] 여민기,한영열, "상관된 Nakagami 페이딩채널에서 비동기 송신 다이버시티 시스템 성능분석", *한국통신학회논문지*, vol 25, no.12A, pp. 1796-1805, 2000.

[7] A. A. Abu-Dayya and N. C. Beaulieu, "Analysis of switched diversity systems on generalized-fading channels", *IEEE Transactions on Communication*, vol. COM-42, pp. 2959-2966, Nov. 1994.

[8] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, *Table of Integrals, Series, and Products*, Academic Press, Inc., 1965.

[9] Fritz Oberhettinger, Larry Badii, *Tables of Lapalce Transforms*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1973.

[10] 김성민,윤동원,한영열, "Nakagami 페이딩 채널에서 셀룰라 이동통신 시스템의 일반화된 Outage Probability", *한국통신학회 하계종합학술 발표논문집* pp.151-154. 1995.

남 우 춘(U-chun Nam)

정회원



1984년 2월 : 한양대학교  
전자통신공학과(공학사)  
1994년 2월 : 한양대학교  
전자통신공학과(공학석사)  
1995년 9월~현재 : 한양대학교  
전자통신공학과 박사과정

1984년 1월~1990년 8월 : 금성전기(주)기술연구소  
1990년 9월~1994년 2월 : 생산기술연구원  
1994년 3월~현재 : 주성대학 디지털정보통신학과  
부교수

<주관심 분야> 디지털 이동통신, 무선시스템

한 영 열(Young-yearl Han)

정회원

한국통신학회논문지 25권 제5호 참조