

# 전파음영 채널환경에서 소프트 핸드오프 기법을 사용한 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 영역비 분석

오현규, 김항래, 김 남  
충북대학교 정보통신공학과

## Cell Coverage Variation Analysis of CDMA Cellular System with Soft Handoff in Log-Normal Distributed Shadowing Environment

Hyon Kyu Oh, Hang Rae Kim, Nam Kim  
Dept. of Computer and Communication Eng., Chungbuk National University  
e-mail: hkoh@osp.chungbuk.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 로그노말 분포된 전파음영 환경에서 통화의 신뢰도를 유지하기 위해 필요한 링크 마진을 경로손실과 전파음영의 감쇠를 포함하는 전파 손실 모델을 사용하여 분석하였다. CDMA 셀룰러 시스템에서 셀 반경이 커지게 되면 요구되는 링크 마진도 증가하게 되어 핸드오프 이득은 요구되는 링크 마진만큼 감소하게 된다. 이러한 셀 영역과 링크 마진과의 관계를 하드 핸드오프와 소프트 핸드오프로 나누어 수치해석을 통해 살펴보았다. outage 확률이 0.1이고 셀 반경을 5-10% 증가시켰을 때 전력제어를 한 경우의 셀 영역비는 3.22 dB-3.99 dB, 전력제어를 하지 않은 경우의 셀 영역비는 2.55 dB-2.85 dB 만큼 증가하는 것을 알 수 있다.

### 1. 서 론

최근 CDMA 셀룰러 이동통신 시스템은 기존의 음성 서비스뿐만 아니라 데이터, 영상 등에 대한 이동통신 수요가 증가함에 따라 데이터 서비스를 위한 기술 개발에도 박차를 가하고 있다. 또한 IS-95B를 상용화하여 전송 속도를 64kbps까지 지원하고 WAP(Wireless Application Protocol)을 이용한 다양한 무선 데이터 서비스가 출시되어 음성위주의 통화에서 차츰 데이터 위주의 통신으로 변화되어 가고 있다. 국제전기통신연합(ITU)은 제 3세대 이동 전화를 IMT-2000이라고 명명하고, 고속 데이터 네트워크로 발전하는 유선망과 같이 무선에서도 고속 멀티미디어 서비스를 실현하고, 보다 확대된 글로벌 로밍 서비스를 제공하도록 하고 있다[1]. CDMA 시스템은 셀 내에 있는 사용자뿐만 아니라 주변 셀 사용자에게도 동일한 주파수 채널을 사용할 수 있도록 지원하여 주파수 배치 문제를 간단히 해결한다[2]. 또한 소프트 핸드오프 기법을 사용하여 끊임 없는 서비스를 제공함으로써 통화품질을 높이는 장점이 있다.

소프트 핸드오프시에는 선택 다이버시티 기법을 이용해 새로운 기지국과의 링크를 새로 형성하여 통화 단절의 가능성을 작게 한다.[3].

본 논문에서는 이러한 소프트 핸드오프의 이점을 로그노말 분포된 전파음영 환경에서 경로손실과 전파음영에 의한 감쇠를 포함하는 전파손실 모델을 사용하여 셀 영역과 핸드오프 이득의 관점에서 핸드오프 마진을 수치적으로 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 경로손실과 전파음영에 의한 감쇠를 포함하는 전파 손실 모델을 제시하고, 3장에서 로그노말 분포된 전파음영 환경에서 통화의 신뢰도를 유지하기 위해 필요한 링크 마진을 셀 영역 확장의 관점에서 하드 핸드오프와 소프트 핸드오프로 나누어 분석하며, 4장에서 수치적 결과를 제시한다. 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

### 2. 전파손실 모델

이동통신 시스템의 설계에 있어서 기지국 위치나 송신 전력의 세기, 서비스 영역의 크기 등 주요 파라

미터를 결정하기 위해 가장 기본이 되는 것이 송신 기로부터 수신기까지의 전파손실이다.

이동통신 환경에서는 로그노말 페이딩과 레일레이 페이딩이 동시에 발생한다. 레일레이 페이딩 성분과 로그노말 페이딩 성분을 비교해서 어느 하나의 성분이 보다 크다면, 근사화된 값으로 어느 하나의 성분으로만 표현할 수 있다. 즉, 전파음영의 영향이 큰 경우 효율적인 다이버시티 기술로 레일레이 페이딩을 감소시킬 수 있으며, 레일레이 페이딩의 영향이 큰 경우 전파음영의 표준 편차는 매우 작아진다.

일반적으로 전파 감쇠는 거리에 따른 전력의 법칙으로 표현되며, 경로손실과 전파음영에 의한 감쇠를 나타내는 로그노말 분포로 [4]에서와 같이 모델링 된다. 여기서 전파음영 성분  $\zeta$  는 평균이  $m=0$  이고 표준편차가  $\sigma=8$  dB 인 가우시안 랜덤변수이다. 그러므로 기지국으로부터 거리가  $r$  만큼 떨어진 사용자의 전파 감쇠는 식 (1)과 같다.

$$\alpha(r, \zeta) = r^{-\mu} 10^{\zeta/10} \quad (1)$$

- $r$  : 기지국과 이동국 사이의 거리
- $\zeta$  : 전파음영에 의한 dB감쇠
- $\mu$  : 거리에 따른 전파감쇠(경로손실 지수)

$\mu$ 는 보통 2-5 사이의 값을 가지며, 자유 공간 손실 모델에서의 감쇠 계수가 2이므로  $\mu$  값은 2 보다 작을 수 없다. 식 (1)과 같은 전파 감쇠 모델을 dB 단위로 표현하기 위해 양변에  $10\log$ 를 취해주면 식 (2)와 같게된다.

$$10\log \alpha(r, \zeta) = 10\mu\log r + \zeta \quad (2)$$

소프트 핸드오프는 인접한 두 기지국의 신호를 서로 비교하여 더 양호한 신호를 선택한다. 한 개의 이동국이 전송한 신호는 두 개 또는 그 이상의 여러 기지국에 동시에 수신된다. 이동국 근처의 주변 환경에 의해 영향을 받는 전파음영 성분은 모든 기지국에 같은 영향을 미치지만, 각 기지국 근처의 주변 환경에 의해 영향을 받는 전파음영 성분은 각각의 기지국 환경에 따라 결정되므로 서로 독립적이다. 그러므로  $i$  번째 기지국에 대한 전파음영 성분  $\zeta_i$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\zeta_i = a\xi + b\xi_i \quad a^2 + b^2 = 1 \quad (3)$$

즉, 기지국의 주위 환경과 이동국의 주위 환경이 비

슷하거나 같다고 가정하면  $a=b=\frac{1}{\sqrt{2}}$ 로 놓을 수 있다. 식 (3)에서  $\zeta_i$ 의 평균과 분산이 각각 0과  $\sigma^2$ 이므로  $\xi, \xi_i$ 의 평균과 분산도 0과  $\sigma^2$ 이 된다. 따라서,  $-1 \leq \rho \leq 1$  일 때 두 가우시안 랜덤변수  $\xi_i$ 와  $\zeta_i$ 에 대한 상관계수는 식 (4)와 같다.

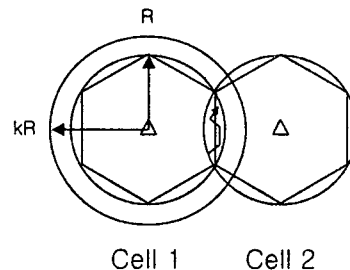
$$\rho = \frac{E(\zeta_i \xi_i)}{\sigma^2} = a^2 = 1 - b^2 \quad (4)$$

두 기지국에 수신되는 신호의 전파 감쇠가 동일한 표준편차를 가지는 경우  $a^2 = b^2 = \frac{1}{2}$ 이므로, 두 기지국에 대한 정규화된 공분산은  $\rho = \frac{1}{2}$ 로 가정한 다.

### 3. 핸드오프에 따른 셀 영역비 증가

본 장에서는 로그노말 분포된 전파음영 환경에서 통화의 신뢰도를 유지하기 위해 필요한 링크 마진을 계산한다. 본 논문에서 사용하는 DS/CDMA 시스템의 모델로 시스템을 구성하는 셀 형태는 한 변의 길이가 1인 정육각형 셀로, 기지국은 셀의 중앙에 위치하며, 각 셀의 기지국 안테나는 전방향성 안테나라고 가정하고, 레일레이 페이딩 성분은 레이크 수신기에 의해 보상될 수 있으므로 본 논문에서는 고려하지 않을 것이다.

셀 반경이 커지게 되면 요구되는 링크 마진도 증가하게 된다. 따라서 핸드오프 이득은 요구되는 마진만큼 감소하게 된다. 이러한 셀 반경과 마진과의 관계를 그림 1과 그림 2에 나타내었다.



R= 셀 반경  
k=셀 반경 확장 계수(k≥1)

그림 1. 셀 반경계수 k에 의해 증가되는 셀 영역

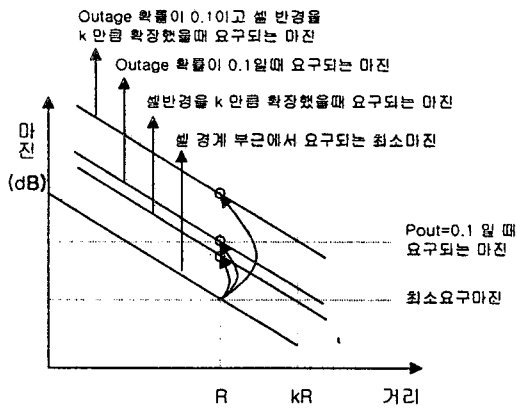


그림 2. 셀 영역과 링크 마진과의 관계

일반적으로 셀 경계에서 통화하는 경우, 신호의 세기는 최소 요구되는 마진 값 이상이면 만족한다. 그러나 90%의 신뢰도를 가지기 위해서는 더 큰 마진이 필요하며, 기지국으로부터 거리가 멀어질수록 더 큰 마진을 필요로 하게 된다.

### 3.1 하드 핸드오프

AMPS와 같은 FDMA 셀룰러 시스템에서는 하드 핸드오프가 사용되는데, 인접 기지국에 가용 채널이 없는 경우나 이동국이 채널전환 메시지를 수신하지 못하는 경우 핸드오프는 실패하게 된다.

하드 핸드오프가 정확히 육각형 셀의 가장자리에서 발생하고, 셀 경계에 위치한 이동국으로부터 두 기지국까지의 거리가  $r_i$  이면, 상대적인 신호의 세기는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$10 \log q(r_i, \zeta_i) = 10 \mu \log r_i + \zeta_i \quad i=0,1 \quad (5)$$

여기서  $r_i$  는 이동국으로부터 기지국까지의 정규화된 거리이고,  $\zeta_i$  는 평균이 0 이고 표준편차가  $\sigma=8$  dB인 로그노말 성분이다.

본 논문에서는 기지국에 수신되는 이동국의 신호 전력이 기준 이하로 내려갈 확률을 outage 확률로 정의한다. 즉, 수신신호 감쇠에 따른 outage 확률,  $P_{out}$  은 채널 감쇠가 기준값 이상이 될 확률을 outage 확률로 표현한다.

전파음영 성분  $\zeta$  가 마진  $\gamma$  보다 작을 경우( $\zeta < \gamma$ )에는 원하는 성능을 얻을 수 있지만, 전파음영 성분  $\zeta$  가 마진  $\gamma$  보다 큰 경우( $\zeta > \gamma$ )에는 원하는 성

능을 얻기 어렵다. 즉, 원하는 신호의 확률 밀도 함수를  $P(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\zeta}{2\sigma}}$  라 할 때 outage 확률  $P_{out}$  은 식 (6)과 같이 된다.

$$P_{out} = \Pr(\zeta > \gamma) = \int_{\gamma}^{\infty} P(\gamma) d\zeta = Q\left(\frac{\gamma}{\sigma}\right) \quad (6)$$

여기서 마진  $\gamma$  은 하드 핸드오프를 사용하는 셀룰러 시스템에서 셀 경계부근에 위치한 이동국이 더 전송해야 하는 전력의 크기(dB) 이다.

실제적인 하드 핸드오프 시스템에서, 핸드오프는  $r > 1$  에서 일어나며, 기지국으로부터 거리가 멀어짐에 따라 마진  $\gamma$  에 대한 outage 확률은 식 (7)과 같게 된다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= \Pr(10\mu \log r + \zeta > \gamma) = \int_{\gamma - 10\mu \log r}^{\infty} P(\gamma) d\zeta \quad (7) \\ &= \int_{\gamma - 10\mu \log r}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\zeta}{2\sigma}} d\zeta = Q\left(\frac{\gamma - 10\mu \log r}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

그러므로 outage 확률  $P_{out} = 0.1$  이고 표준편차가  $\sigma=8$  dB 일 때 요구되는 마진은 식 (8)과 같이 된다.

$$\gamma = 10\mu \log r + 10.25 \text{dB} \quad (8)$$

따라서, 이동국이 정확히 셀 경계에 위치하고 있다면 마진 값  $\gamma$  은 10.25 dB가 된다.

### 3.2 소프트 핸드오프

소프트 핸드오프는 인접한 두 셀이 중첩되어있는 셀 경계부근에서 발생하며, 선택 다이버시티 기법을 사용한다. 선택 다이버시티 기법은 안테나를 통해 수신된 신호를 계속 비교한 후, 신호대잡음비(SNR)가 가장 우수한 것을 취하는데 실제로 시스템에 적용할 때는 수신 신호의 SNR 값을 계산하기보다는 수신 신호의 세기가 가장 큰 것을 선택한다. 따라서 이동국으로부터 두 기지국에 수신된 신호는 MSC(mobile switching center)에서 판별하여 더 나은 신호를 수신하는 기지국과 통화를 하게된다. 소프트 핸드오프 영역에서의 outage 확률은 이동국이 수신하는 여러 기지국 신호 가운데 신호 감쇠가 가장 작은 기지국의 신호가 소프트 핸드오프 마진  $\gamma$  보다 크게되는 확률로 표현할 수 있다. 즉, 두 셀 사이에서 소프트 핸드오프가 일어나는 경우의 outage 확률은 다음과

같이 표현할 수 있다.

$$P_{out} = \Pr(\text{Min}[10\mu \log r_1 + \xi_1, 10\mu \log r_2 + \xi_2] > \gamma) \quad (9)$$

앞에서 언급했듯이 기지국 주변의 전파음영 성분은 서로 독립적이므로 상관을 일으키지 않지만, 두 기지국과 통화를 하는 이동국 주변에서의 전파음영 성분은 두 기지국에 대해 동일하므로 서로 상관을 일으킨다. 그러므로 서로 상관을 일으키는 전파음영 성분  $\xi_1, \xi_2$ 를 상관을 일으키지 않는 독립적인 변수  $\xi_1, \xi_2, \xi_3$ 으로 바꾸어 표현하면 하나의 함수에 랜덤 변수 두 개가 있는 식이므로 결합 확률 밀도 함수로 표현할 수 있다. 이산형 정규분포를 하고있는 두 랜덤변수  $\xi_1, \xi_2$ 에 대한 결합 확률을 구해보면

$$\begin{aligned} P_{out} &= \Pr(\xi_1 > \gamma, \xi_2 > \gamma) = \frac{1}{\sigma_{\xi_1} \sigma_{\xi_2}} \int_{\frac{\gamma-m_{\xi_1}}{\sigma_{\xi_1}}}^{\infty} \int_{\frac{\gamma-m_{\xi_2}}{\sigma_{\xi_2}}}^{\infty} g(x, y, \rho) dx dy \\ &= L\left(\frac{\gamma-m_{\xi_1}}{\sigma_{\xi_1}}, \frac{\gamma-m_{\xi_2}}{\sigma_{\xi_2}}, \rho\right) \\ &= L\left(-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}}, -\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_2}}, \rho\right) \quad (10) \end{aligned}$$

식 (10)에서  $g(x, y, \rho) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x^2 - 2\rho xy + y^2}{1-\rho^2})}$

이다. 식 (10)의  $L(-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}}, -\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_2}}, \rho)$  는 이산형 가우시안 확률 적분으로  $L(-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}}, 0, \rho)$  의 형태로 바꿀 수 있다[7]. 여기서  $\rho$ 는 이동국으로부터 두 기지국까지의 경로에 대한 가우시안 전파손실 상관계수이다.

즉,  $L(-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}}, -\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_2}}, \rho) = 2L(-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}}, 0, -\sqrt{\frac{1-\rho}{2}})$  가 되어

$$P_{out} = L(-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}}, -\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_2}}, \rho) = 2L(-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}}, 0, -\sqrt{\frac{1-\rho}{2}})$$

$$L(-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}}, 0, -\sqrt{\frac{1-\rho}{2}}) = \frac{P_{out}}{2} \quad (11)$$

셀 경계부근에서 상관계수  $\rho=0.5$ 이고, outage 확률이 0.1일 때, 최대 마진은 식 (10)과 식 (11)으로부터  $L(-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}}, 0, -\frac{1}{2}) = \frac{P_{out}}{2} = 0.05$  가 된다. 따라서,  $-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}} = 0.77$ 이 된다. 또한 상관계수가  $\rho=0$  이라면  $L(-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}}, 0, -\frac{1}{2}) = 0.05$  가 되어  $-\frac{\gamma}{\sigma_{\xi_1}} = 0.48$ 이 된다.

#### 4. 수치해석 결과

그림 3은 거리가 증가함에 따라 요구되는 하드 핸드오프 마진을 보여주고 있다.  $P_{out}=0.1$ 이고 거리가  $d=1.05$  이면 하드 핸드오프 마진은 11.09 dB로 거리에 따른 하드핸드오프 이득이 -0.84 dB가 됨을 알 수 있다.

그림 4는 이동국으로부터 두 기지국에 수신되는 신호의 가우시안 전파 감쇠가 서로 독립인 경우( $\rho=0$ )와 동일한 표준편차를 가지는 경우( $\rho=0.5$ )로 나누어 소프트 핸드오프 마진을 보인다.  $P_{out}=0.1$ 이고,  $\sigma=8$  dB일 때, 상관계수  $\rho=0$ 이면 소프트핸드오프 마진이 3.84 dB인데 반해 상관계수  $\rho=0.5$ 이면 소프트핸드오프 마진이 6.16 dB로 2.32 dB 만큼 증가한다.

그림 5는 경로손실 지수가  $\mu=4$  이고, 상관 계수  $\rho=0.5$  일 때 거리에 따른 소프트핸드오프 이득을 나타낸다.  $P_{out}=0.1$ 이고 거리가  $d=1.05$ 일 때 전력제어를 하지 않았을 경우( $\sigma=8$  dB)에는 4.93 dB, 전력제어를 했을 경우( $\sigma=2.5$  dB)에는 2.12 dB의 소프트 핸드오프 이득을 얻을 수 있다.

그림 6은 경로손실 지수가  $\mu=4$  이고, 셀 반경이 0.05씩 증가함에 따라 상대적으로 증가하는 셀 영역비를 나타낸다.  $P_{out}=0.1$ 이고 셀 반경을 5-10% 증가시켰을 때 전력제어를 한 경우의 셀 영역비는 3.22 dB-3.99 dB, 전력제어를 하지 않은 경우의 셀 영역비는 2.55 dB-2.85 dB 만큼 증가하는 것을 알 수 있다. 또한  $P_{out}=0.2$ 이고, 셀 반경을 5-10% 증가시켰을 때 전력제어를 한 경우의 셀 영역비는 5.02 dB-6.07 dB, 전력제어를 하지 않은 경우의 셀 영역비는 4.08 dB-4.51 dB 만큼 증가하는 것을 알 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 상대적인 셀 영역비 및 핸드오프 이득을 시스템의 성능 지표로 삼아 outage 확률로 분석하였다. outage 확률이 0.1이고 거리가  $d=1.05$ 일 때 전력제어를 하지 않았을 경우에는 4.93 dB, 전력제어를 했을 경우에는 2.12 dB의 소프트 핸드오프 이득을 얻을 수 있다. 또한 outage 확률이 0.1이고 전력제어를 하지 않은 경우 셀 반경을 5-10% 증가시키면 셀 영역비는 2.55 dB-2.85 dB 만큼 증가하는 것을 알 수 있다.

본 논문의 결과를 CDMA 셀룰러 시스템의 기지국 설계에 이용하면 최적의 셀을 설계할 수 있고 셀 경계부근에서도 양질의 통화 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] C. Mihailescu, X. Lagrange and Ph. Godlewski, "Soft Handover Analysis in Downlink UMTS WCDMA System," IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications, pp. 279-285, 1999.
- [2] N. D. Tripathi, J. H. Reed and H. F. Vanlandingham, "Handoff in Cellular Systems," IEEE Personal Communications Magazine, Vol. 5, No. 6, pp. 26-37, December 1998.
- [3] TIA/EIA Interim Standard(IS-95), Mobile station-base station compatibility standards for dual-mode wideband spread spectrum cellular systems, July 1993.
- [4] W. C. Y. Lee, Mobile Cellular Telecommunications Systems, Mcgraw-Hill, Second Edition, 1995.
- [5] J. S. Lee and L. E. Miller, CDMA Systems Engineering Handbook, Artech-House, 1998.
- [6] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, K. S. Gilhousen and Ephraim Zehavi, "Soft Handoff Extends CDMA Cell Coverage and Increase Reverse Link Capacity," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 12, No. 8, pp. 1281-1288, October 1994.
- [7] Milton Abramowitz and Irene A. Stegun, editors, Handbook of Mathematical Functions, National Bureau of Standards Applied Mathematics Series 55, Government Printing Office, Washington, 1964.

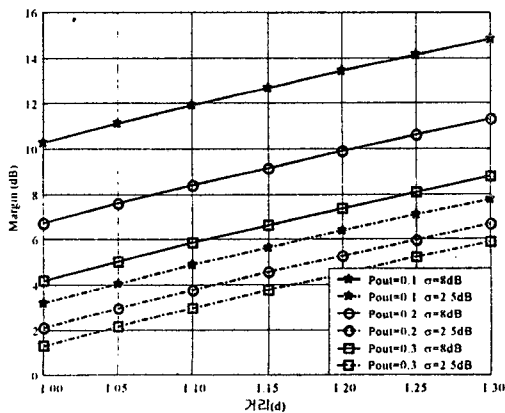


그림 3.  $\mu=4$ , 셀 반경이 1인 단일 셀에서 거리가 증가함에 따라 요구되는 하드 핸드오프 마진

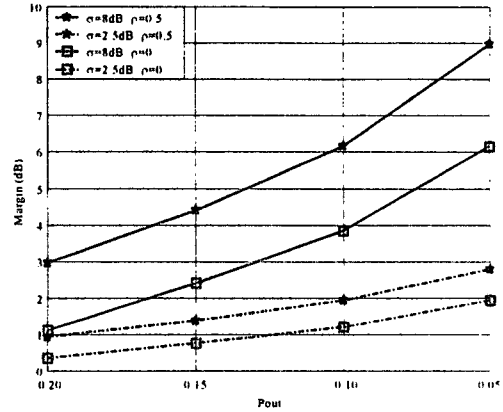


그림 4. 두 셀 사이에서 소프트 핸드오프가 일어날 때의 소프트 핸드오프 마진

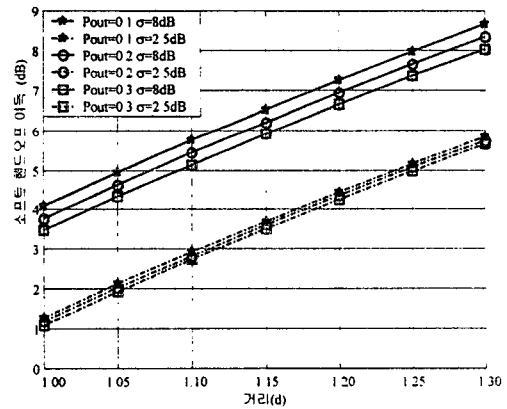


그림 5.  $\mu=4$ ,  $\rho=0.5$  일 때 거리에 따른 소프트 핸드오프 이득

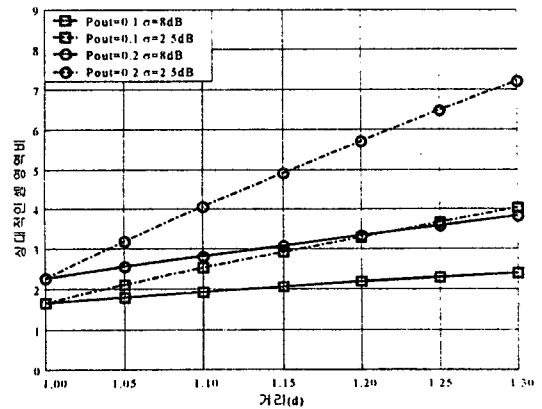


그림 6.  $\mu=4$ , 셀 반경이 0.05씩 증가함에 따라 상대적으로 증가하는 셀 영역비