

# 복합 대수정규-나카가미 페이딩하에서 DS-CDMA 셀룰러 시스템의 핸드오프시 오수신율과 셀 커버영역

正會員 김 남 수\*

The outage probability and the cell coverage of handoff in a DS-CDMA cellular system with composite lognormal-Nakagami fading

Nam-Soo Kim\* *Regular Member*

요 약

Viterbi는 DS-CDMA(Direct Sequence-Code Division Multiple Access) 시스템의 핸드오프시에 전파 음영에 의한 오수신율과 셀의 커버영역을 계산하였으나, 현실적인 무선채널은 전파 음영 및 다중파 페이딩이 공존하고있다. 따라서 본 논문은 핸드오프시 전파 음영 및 다중파에 의한 고속 페이딩 환경 하에서 오수신율과 셀 커버영역을 Viterbi의 결과와 비교하였다. 고속 페이딩 모델로는 가장 일반적이라고 알려진 나카가미 페이딩을 사용하였다. 분석결과 심한 고속 페이딩 하에서는 Viterbi의 결과와 비교할 때 고속 페이딩이 심할 때 셀의 커버영역이 최대 2.72배까지 넓어졌으며, 고속 페이딩이 약해질수록 Viterbi의 결과에 접근해 감을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Viterbi analyzed the outage probability and the cell coverage of a DS-CDMA(Direct Sequence-Code Division Multiple Access) system on handoff under shadowing, however the shadowing and multipath fading is composited in real radio channel. Therefore we analyse the outage probability and the cell coverage on handoff under shadowing and multipath fading, and compare the results and the Viterbi's results. The Nakagami fading is adapted because it is accepted as the generalized fast fading model. It is shown that the cell coverage is expanded up to 2.72 times compared to the Viterbi's result with the strong fast fading, while the coverage is approaching the Viterbi's result when the fast fading is getting weaker.

\*청주대학교 정보통신공학과  
論文番號:97448-1206  
接受日字:1997年 12月 6日

## I. 서 론

최근 디지털 이동통신 방식은 셀룰러 시스템뿐만 아니라 PCS(Personal Communication Service) 시스템, 그리고 제3세대의 이동통신 방식이라고 하는 IMT-2000 서비스도 DS-CDMA(Direct Sequence-Code Division Multiple Access) 방식을 적극 검토해가고 있는 추세이다[1].

DS-CDMA 시스템은 애널로그 시스템에 비해서 시스템 용량의 증대라는 면에서뿐만 아니라 소프트 핸드오프(Soft Handoff)를 통하여 통화를 중단하지 않고 핸드오프가 가능한 장점을 갖고 있다. 최근 소프트 핸드오프는 그 외에도 역방향 링크에서 시스템의 용량을 증가시키고, 셀 커버 영역을 넓히는 장점도 갖고있음이 밝혀졌다[2].

한편 무선 채널 환경은 크게 3가지로 나눌 수 있는데, 먼저 송수신기간의 거리에 따른 전파 손실을 들 수 있고, 두 번째로 전파음영에 의한 수신 신호전력의 변화를 들 수 있다. 이때 수신한 신호의 세기는 비교적 천천히 변화하는데 이는 지형 등에 의한 영향으로 발생되며, 확률 밀도 함수가 대수 정규 분포(Log-normal Fading) 분포한다고 알려져 있다. 세 번째로 수신신호의 세기가 매우 빨리 변화하는 고속 페이딩이 존재하는데 이는 다경로(Multipath)에 의하여 발생되며, 주로 포락선의 분포함수를 레일레이(Rayleigh) 확률분포, 라이시안(Rician) 확률분포, 나카가미(Nakagami) 확률분포등으로 모델링을 하고 있다. 수신된 신호가 직접파가 존재하지 않고 반사파만 존재할 경우 레일레이 확률분포를 주로 가정하며, 직접파 및 반사파가 함께 존재할 때에는 라이시안 확률분포함수를 일반적으로 사용한다. 나카가미 확률 분포함수는 반사파만 존재하는 경우, 또는 직접파와 반사파가 동시에 존재하는 경우 모두를 포함하므로, 최근 디지털 이동통신 시스템의 성능분석에 일반적인 모델로 많이 사용되고 있다[3-5].

소프트 핸드오프시 셀 커버영역은 주로 오수신율(Outage Probability)을 이용하여 분석하는데 수신된 신호의 세기가 일정 기준치와 비교하여 그 이하로 떨어지는 확률로 계산한다. 특히 현재 사용하고있는 DS-CDMA 시스템에서는 몇 개의 기지국들로부터 수신한 신호를 선택 다이버시티 방법을 사용하므로

서 오수신율을 상당히 개선하고 있다[6]. Viterbi는 이러한 다이버시티 방법에 의하여 셀 커버영역 및 시스템 용량을 증대시킬 수 있다고 하였는데, 해석에 사용한 무선 채널 환경은 전파음영에 기인한 대수정규 분포만을 고려하였다. 그러나 현실적인 무선채널 환경은 대수정규분포뿐만 아니라 빠른 페이딩도 함께 존재하기 때문에 이 두 가지 페이딩을 동시에 고려하는 것이 필요하다.

따라서 본 논문은 저속 페이딩과 고속 페이딩이 동시에 존재하는 복합 대수정규분포-나카가미 페이딩 하에서 DS-CDMA 시스템의 셀 커버영역을 계산하였다. 분석에는 다이버시티를 사용하지 않는 하드 핸드오프와 선택 다이버시티를 사용하는 소프트 핸드오프를 비교하였고, 고속 페이딩 환경인 나카가미 페이딩의 페이딩지수를 변경할 때의 영향을 새로이 추가하였다.

본 논문의 구성은 제2장에서 전파모델을 설명하고, 제3장에서 하드 핸드오프와 소프트 핸드오프시의 오수신율과 셀 커버영역의 비교를 수식으로 유도하였다. 제4장에서 계산 결과를 서로 비교 분석하였으며, 제5장에서 결론과 향후 연구방향을 서술하였다.

## II. 전파모델

전파모델은 Viterbi가 셀 커버영역을 계산할 때 사용하던 대수 정규분포 모델[2]과 본 논문에서 가정할 복합 대수정규-나카가미분포 페이딩 모델은 다음과 같다.

### 1. 대수정규분포 모델

기지국으로부터  $r$ 만큼 떨어진 이동국으로부터 수신한 신호전력의 감쇄,  $\alpha(r, \zeta)$ 는

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

이다. 여기서  $\nu$ 는 주위환경에 따른 전파 감쇄계수인데 교외에서는 보통 2~3, 도심에서는 4~5.5의 값을 갖는다[7, 8]. 그리고  $\zeta$ 는 전파음영에 의하여 발생하는 수신전력의 감쇄로서 확률밀도함수는 다음 식과 같은 대수정규분포를 갖는다.

$$p_i(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{\zeta^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

여기서  $\zeta$  및 표준편차  $\sigma$ 는 모두 dB 단위를 갖는다.  
 그림 1은 육각형 셀의 구조를 나타내고 있는데, 이 그림에서  $r_0$ 는 현재 속한 기지국과 이동국간의 거리이며  $r_i$ 는  $i$ 번째 인접 기지국과 이동국간의 거리이다. 만일 한 개의 이동국이 전송한 신호를 여러 개의 기지국이 동시에 수신한다면, 각 기지국에서 수신한 대수정규 분포함수는 이동국 주위환경에 영향을 받는 성분과 각 기지국 주위환경의 영향을 받는 성분으로 나눌 수 있는데, 이동국 주위 환경의 영향은 각 기지국에 동시에 영향을 미치지만, 각 기지국 주위의 전파환경은 상호 다르므로 기지국 주위환경의 영향을 받는 성분은 각각 서로 독립이다[2, 9]. 따라서  $i$ 번째 기지국에서 수신한 수신전력의 감쇄  $\zeta$ 는 다음 식과 같이 쓸 수 있다[2].

$$\zeta_i = a\zeta + b\zeta_i \quad (3)$$

여기서  $a^2 + b^2 = 1$ 이고, 다음과 같은 평균, 분산, 상호분산을 갖는다.

$$\begin{aligned} E(\zeta_i) &= E(\zeta) = E(\xi_i) = 0, \\ \text{Var}(\zeta_i) &= \text{Var}(\zeta) = V(\xi_i) = \sigma^2, \text{ 모든 } i\text{값에 대해서} \end{aligned} \quad (4)$$

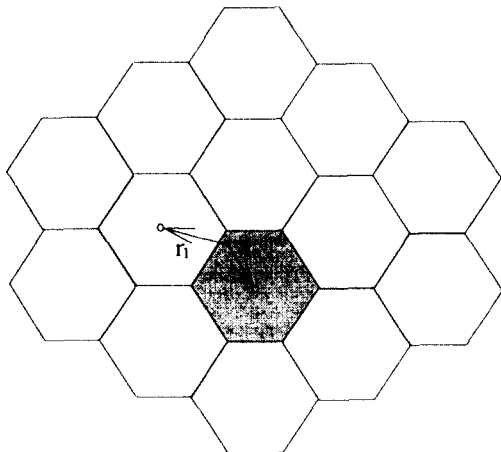


그림 1. 육각형 셀의 구조  
 Fig. 1 Hexagonal cell structure

$$\begin{aligned} E(\xi_i \xi_j) &= 0, \text{ 모든 } i\text{값에 대해서} \\ E(\xi_i, \xi_j) &= 0, \text{ 모든 } i \text{ 및 } j\text{값에 대해서, } i \neq j \end{aligned}$$

각 기지국에 수신된 신호가 모두 독립이라면  $a$ 는 0이 되고, 수신된 신호의 상호연관(Correlate)이 매우 크면  $a$ 는 거의 1이된다.

### 2. 복합 대수정규-나카가미분포 모델

전파음영과 고속 페이딩인 나카가미 분포를 동시에 고려한 수신신호 감쇄  $\zeta$ 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같다[10, 11].

$$p_i(\zeta) = \int_0^\infty \left(\frac{m}{\zeta}\right)^m \frac{\zeta^{m-1} \exp(-m\zeta/\bar{\zeta})}{\Gamma(m)} \frac{K}{\sqrt{2\pi\sigma\zeta}} \exp\left[-\frac{(K \ln \bar{\zeta} - \mu^2)}{2\sigma^2}\right] d\bar{\zeta} \quad (5)$$

여기서  $K$ 는  $10/\ln 10$  이고,  $\mu$ 는 수신된 신호의 장기간 평균값(dB),  $\bar{\zeta}$ 는 수신된 신호의 단기간 평균값(dB),  $m$ 은 나카가미 페이딩 지수,  $\sigma$ 는 장기간 페이딩의 표준편차(dB)이다. 각 파라메타 변경시 이 확률 밀도를 구하기 위해서는 매번 적분을 해야하고, 계산량도 많아지지만, 복합 대수정규-나카가미 확률밀도함수는 새로운 대수정규 분포를 한다고 알려져 있다. 이때 새로운 대수정규 분포확률밀도함수는 나카가미 페이딩의 영향을 받아서 다음과 같은 장기간 평균값과 표준편차를 갖는다[10].

$$\begin{aligned} \tilde{\mu} &= K[\Psi(m) - \ln(m)] + \mu, \\ \tilde{\sigma}^2 &= K^2 \zeta_1(2, m) + \sigma^2 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $\Psi(\cdot)$ 는 Euler의 psi함수이고,  $\zeta_1(\cdot, \cdot)$ 는 일반화된 Reimann의 제타함수이다.

## III. 오수신율과 셀 커버영역

### 1. 하드 핸드오프(Hard Handoff)

이동통신 시스템을 분석할 때에 평균 비트오율로 시스템의 성능을 분석하기도 하지만, 최근에는 셀내의 일정 통화 품질을 보장하는 하나의 방법으로 오수신율을 많이 사용하고 있다. 오수신율,  $P_{out}$ 은 수신된

신호가 일정 기준값 이하로 떨어지는 확율을 나타내며 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{out} = \Pr(\alpha_{dB} > \gamma) \tag{7}$$

여기서  $\alpha_{dB}$ 는 식(1)에 대수를 취한 값으로 단위는 dB 이고  $\gamma$ 는 기준값이다. 그러므로 하드핸드오프시 수신 신호감쇄에 따른 오수신율은

$$P_{out} = \Pr(10 \nu \log r_i + \zeta > \gamma) \tag{8}$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{\gamma - 10 \nu \log r_i}{\sqrt{2} \sigma} \right)$$

이며, 여기서  $r_i$ 는  $i$ 번째 인접 기지국과 이동국간의 거리를 나타낸다. 수신된 신호의 확율 밀도함수는 제 2장에서 언급한 바와 같이 첫 번째, 대수정규분포로 모델링하는 경우와 두 번째, 복합 대수정규-나카가미 분포로 모델링하는 경우 모두 대수정규분포를 한다. 다만 복합 대수정규-나카가미 분포로 모델링을 하는 경우는 식(6)에 표현한 바와 같이 수신된 신호의 평균과 표준편차가 각각 페이딩 지수  $m$ 값에 따라서 달라진다. 그리고  $\operatorname{erfc}(\cdot)$  함수는

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-u^2) du \tag{9}$$

이다.

### 2. 소프트 핸드오프 (Soft Handoff)

소프트 핸드오프는 DS-CDMA 시스템의 고유한 특징인데, 통화 중에 통화의 중단 없이 다른 기지국으로 호를 인계하는 방식이다. 즉, 각 셀이 동일한 송신 주파수를 사용할 경우 두 개 이상의 기지국에서 수신한 신호의 세기를 이동통신 교환기(Mobile Switching Center)에서 상호 비교한다. 이때 수신 신호의 세기가 큰 기지국의 신호를 데이터 프레임 단위로 선택하게 된다. 그러므로 소프트 핸드오프시에는 선택 다이버시티를 주로 사용하고 있다. 그리고 이동국이 셀 경계를 지나면 여러 개의 기지국중 한 기지국의 수신 신호가 계속하여 강하므로 약해진 기지국의 통신 링크를 절단하므로써 핸드오프를 종료하게 된다.

따라서 소프트 핸드오프시의 오수신율은 여러개 기지국으로부터 수신된 신호의 감쇄중 가장 작은 것이 기준값  $\gamma$  보다 크게되는 확율로 나타낼 수 있다. 만일 소프트 핸드오프에 두 개의 기지국이 연관되어 있을 때 오수신율은 다음식과 같다.

$$P_{out} = \Pr\{\min\{10 \nu \log r_o + \zeta_o, 10 \nu \log r_1 + \zeta_1\} > \gamma\}$$

$$= \Pr\{\min\{10 \nu \log r_o + b \zeta_o, 10 \nu \log r_1 + b \zeta_1\} > \gamma - a \zeta\}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left\{-\frac{(\zeta - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} d\zeta \tag{10}$$

$$\times \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left\{\frac{\gamma - a\zeta - 10 \nu \log r_o - b\mu}{\sqrt{2} b\sigma}\right\}$$

$$\times \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left\{\frac{\gamma - a\zeta - 10 \nu \log r_1 - b\mu}{\sqrt{2} b\sigma}\right\}$$

만일 이동국이 셀의 경계에 있을 때, 셀의 크기가 동일하다고 가정하면  $r_o = r_1$ 이 되고, 한 개 셀의 크기로 정규화 시키면  $r_o = r_1 = 1$ 이 된다. 이 값을 식(10)에 대입하면 셀의 경계선에서 오수신율은

$$P_{out} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left\{-\frac{(\zeta - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} d\zeta \tag{11}$$

$$\times \left\{ \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left\{\frac{\gamma - a\zeta - b\mu}{\sqrt{2} b\sigma}\right\} \right\}^2$$

이 된다. 셀 커버리지를 계산할 때에는, Viterbi[2]의 결과와 비교하기 위하여 Viterbi가 가정한 값인  $a=b=1/\sqrt{2}$ 를 사용하였다. 그리고 소프트 핸드오프에 관련된 기지국이  $n$ 개라면, 오수신율은

$$P_{out} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left\{-\frac{(\zeta - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} d\zeta \tag{12}$$

$$\times \left\{ \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left\{\frac{\gamma - a\zeta - b\mu}{\sqrt{2} b\sigma}\right\} \right\}^n$$

가 된다.

오수신율을 구하기 위하여 대수정규분포 모델을 적용하는 경우는 식(12)에 대수 정규 분포함수의 평균  $\mu$ 와 표준편차  $\sigma$ 를 대입하지만, 복합 대수정규-나카가미분포 하에서 오수신율을 구하기 위해서는 식(12)에 식(6)에서 구한 나카가미 페이딩지수  $m$ 값에 따른 평균  $\tilde{\mu}$ 와 표준편차  $\tilde{\sigma}$ 를 대입하여야 한다.

한편 식(8)에서 이동국과 기지국간의 통화 거리는 셀 반경이 되므로 셀 커버영역(면적)은 거리의 자승에 비례하게 된다.

#### IV. 계산 결과

오수신율은 시스템 설계시 시스템의 품질을 결정하는 파라메타인데, 저자에 따라서 M.G.Jansen[12]은 오수신율을 0.01로 기준한 반면에 A.J Viterbi등[2]은 0.1을 오수신율의 기준으로 삼고 있다. 통화성공율을 전파 감쇄만의 함수로 볼 때 오수신율을 0.1로 정하면 90%가 통화 성공할 확율이므로 현실성이 있는 값이 된다. 따라서 본 논문에서는 오수신율을 0.1로 정하였다.

그리고 본 절에서는 대수정규 분포만을 고려한 Viterbi의 결과와 현실적인 무선 채널인 복합 대수정규-나카가미분포를 고려한 경우의 오수신율을 비교하고자 한다. 복합 대수정규-나카가미분포의 평균값과 분산은 식(6)에 주어진 바와 같이 나카가미 페이딩 지수  $m$ 에 따라서 변화한다. 표 1은 페이딩 지수에 따른 대수정규분포와 복합 대수정규-나카가미분포의 평균값의 차이 및 분산의 차이를 소수점 2자리까지 나타내고 있다. 이 표에서 알 수 있듯이 페이딩 지수가 작은 심한 페이딩 상황하에서는 수신신호의 평균과 분산의 변화가 크고, 페이딩 지수가 큰 완만한 페이딩일수록 복합 대수정규-나카가미분포시의 평균과

분산은 대수정규분포의 평균과 분산값에 접근하고 있음을 알 수 있다. 따라서 심한 페이딩하에서는 나카가미 페이딩이 수신신호의 평균값과 분산에 영향을 미치므로, 대수 정규분포만 고려할 때의 오수신율과는 차이가 나게된다. 즉, 심한 고속 페이딩의 경우 ( $m=1$ ), 복합 대수정규-나카가미분포의 평균값은 대수정규분포만을 고려한 경우보다 2.51 dB 작다. 그러나 분산은 3.02 dB가 큰 것을 알 수 있다. 그리고 고속 페이딩이 거의 없는 경우( $m=100$ ), 복합 대수정규-나카가미분포의 평균과 분산은 대수정규분포만을 고려한 경우의 평균과 분산값에 근접하고있다.

그림 2는 복합 대수정규-나카가미분포를 고려할 때의 나카가미 페이딩 지수  $m$ 값의 변화에 따라서 오수신율 0.1을 유지하기 위하여  $\sigma=8$  dB,  $\mu=0$  dB 일 때에 기준값  $\gamma$ 를 나타낸 것인데 식 (10)~(12)에서 알 수 있는 바와 같이 기준값이 작아질수록 이동국이 송신하는 전력이 작아지고, 만일 이동국의 송신전력이 동일하다면 상대적으로 셀의 커버영역이 넓어짐을 의미하게 된다. 이 그림에서 하드 핸드오프(Hard Handoff)는 식(8)을 이용하여 구한 결과이며, 소프트 핸드오프2(Soft handoff, 2)는 식(11)을 이용하여, 그리고 소프트 핸드오프3 (Soft handoff, 3)는 식(12)에  $n=3$ 을 대입하여 구한 결과이다. 이 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 페이딩 지수가 증가할수록 기준값 역시 증가하며, 페이딩 지수의 값이 100 이상(고속 페이딩

표 1. 복합 대수정규-나카가미분포에 의한 평균 및 표준편차의 변동

Table 1. The differential mean and variance of the Composite lognormal-Nakagami pdf

| $m$ | $\tilde{\mu} - \mu$ (dB) | $\tilde{\sigma}^2 - \sigma^2$ (dB) |
|-----|--------------------------|------------------------------------|
| 1   | -2.51                    | 31.02                              |
| 2   | -1.17                    | 12.16                              |
| 3   | -0.76                    | 7.45                               |
| 4   | -0.57                    | 5.35                               |
| 5   | -0.45                    | 4.17                               |
| 10  | -0.22                    | 1.98                               |
| 50  | -0.04                    | 0.38                               |
| 100 | -0.02                    | 0.19                               |

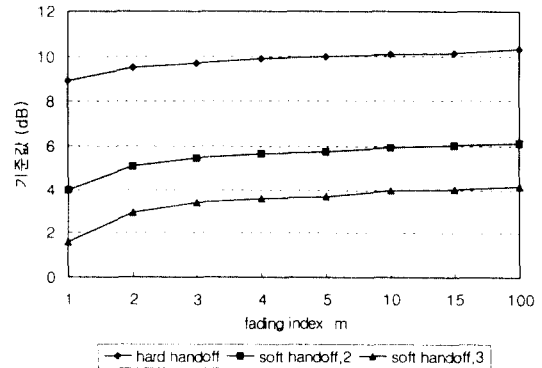


그림 2. 페이딩 지수에 따른 기준값의 변화( $\sigma=8$  dB,  $\mu=0$  dB)

Fig. 2 The values of the protection ratio as a function of the fading index( $\sigma=8$  dB,  $\mu=0$  dB)

이 거의 없는 경우)일 때의 기준값은 대수정규 분포만 고려한 Viterbi의 결과인 기준값 10.3 dB와 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 페이딩지수  $m$  값이 작은 고속페이딩의 경우에는 대수정규 분포만 고려한 Viterbi의 결과보다 기준값이 작아짐을 알 수 있다. 이것은 고속페이딩이 존재하는 영역에서는 이동국의 송신전력이 동일하다면 셀 커버영역이 넓어진다는 것을 의미한다. 페이딩 지수의 변화에 따른 기준값의 변화 및 셀 커버영역을 표 2에 나타내었다.

표 2는  $\sigma=8$  dB,  $\mu=0$  dB 일 때 페이딩 지수에 따른 기준값 및 셀 커버영역을 나타낸 것인데 여기서 셀 커버영역은 기리의 재류에 비례하기 때문에 대수정규분포만을 고려하였을 때의 핸드오프 기준값과 복합 대수정규-나카가미분포를 고려한 때의 핸드오프 기준값과의 차이를 2로 나누어서 실험 값으로 환산하였다[2]. 이 표에서 첫 번째 열의 값은 대수정규 분포만을 고려한 Viterbi의 결과인데, 복합 대수정규-나카가미분포를 고려하면 페이딩 지수의 값이 작은 수록(심한 고속 페이딩) 셀 커버영역은  $m=1$ 일 고속페이딩의 경우 1.17배에서 2.72배로 증가하고, 페이딩 지수의 값이 클수록(고속 페이딩이 거의 없는 경우) 셀 커버영역은 Viterbi의 결과에 근접해감을 알 수 있다. 그러므로 역시 심한 고속 페이딩의 경우는 복합

대수정규-나카가미분포를 고려하면 셀 커버영역이 넓어짐을 알 수 있다. 이는 고속 페이딩의 경우 순간 신호 포락선의 변동이 심하므로 순간 수신전력이 일시적으로 느린페이딩의 평균값보다 커지는 경우가 많은데 가정한 것으로 해석할 수 있다. 그러나  $m=100$  일 때에는 고속 페이딩이 거의 존재하지 않으므로 대수정규분포만을 고려한 Viterbi의 결과와 동일한 결과를 나타내고있다.

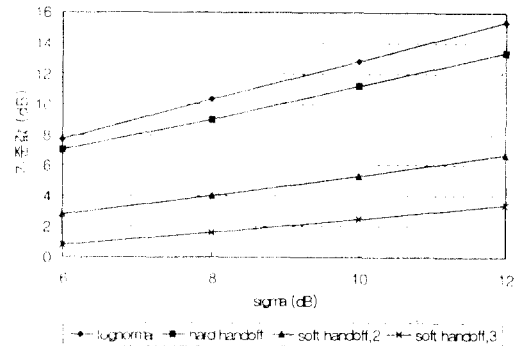


그림 3.  $\sigma$ 의 변화에 따른 기준값의 변화( $m=1, \mu=0$  dB)  
Fig. 3 The protection ratio as a function of  $\sigma$ . ( $m=1, \mu=0$  dB)

표 2.  $\sigma=8$  dB,  $\mu=0$  dB 일 때 페이딩 지수에 따른 기준값 및 셀 커버영역  
Table 2. The protection ratio and the cell coverage as a function of fading index with  $\sigma=8$  dB,  $\mu=0$  dB.

| 정규대수분포시<br>하드핸드오프<br>기준값(dB) | 복합 대수정규-나카가미분포 |                       |                |                        |                |                          |                |
|------------------------------|----------------|-----------------------|----------------|------------------------|----------------|--------------------------|----------------|
|                              | $m$            | 하드핸드<br>오프기준<br>값(dB) | 셀커버영<br>역, 상대값 | 소프트핸드<br>오프기준<br>값(dB) | 셀커버영<br>역, 상대값 | 소프트핸드<br>오프3 기준<br>값(dB) | 셀커버영<br>역, 상대값 |
| 10.3                         | 1              | 8.95                  | 1.17           | 4.0                    | 2.07           | 1.6                      | 2.72           |
|                              | 2              | 9.5                   | 1.10           | 5.1                    | 1.82           | 2.95                     | 2.33           |
|                              | 3              | 9.7                   | 1.07           | 5.45                   | 1.75           | 3.4                      | 2.21           |
|                              | 4              | 9.9                   | 1.05           | 5.65                   | 1.71           | 3.6                      | 2.16           |
|                              | 5              | 10                    | 1.04           | 5.75                   | 1.69           | 3.7                      | 2.14           |
|                              | 10             | 10.1                  | 1.02           | 5.95                   | 1.65           | 4.0                      | 2.07           |
|                              | 15             | 10.15                 | 1.02           | 6.05                   | 1.63           | 4.05                     | 2.05           |
| 100                          | 10.3           | 1.0                   | 6.15           | 1.61                   | 4.2            | 2.02                     |                |

그림 3은 나카가미 페이딩 지수  $m$ 이 1일 때, 대수정규 분포의 표준 편차  $\sigma$ 값의 변화에 따른 기준값의 변화를 나타내었는데, 표준편차의 값이 커질수록 기준값도 역시 증가함을 알 수

표 3에는 그림 3의 결과와 셀 커버영역의 증가를 나타내고있는데 표 2의 경우와 마찬가지로 셀 커버영역은 기준 값의 변화에 따라서 정규분포만을 고려한 경우에 대한 셀 커버영역의 상대값으로 나타내었다. 즉 대수정규 분포만을 고려할 때 셀 커버영역을 1로 한 결과이다. 이 표에서 알 수 있듯이 심한 고속 페이딩의 경우, 복합 대수정규-나카가미분포를 고려하면 표준 편차  $\sigma$ 의 값이 6 dB일 때 셀 커버영역은 1.08배에서 2.21배로, 그리고  $\sigma$ 의 값이 12 dB로 증가할 때 셀 커버영역은 1.26배부터 3.98배까지 증가하고있다. 그러므로 대수정규 분포의 표준 편차가 클수록 심한 고속 페이딩 상황하에서는 셀 커버영역이 증가함을

알 수 있다.

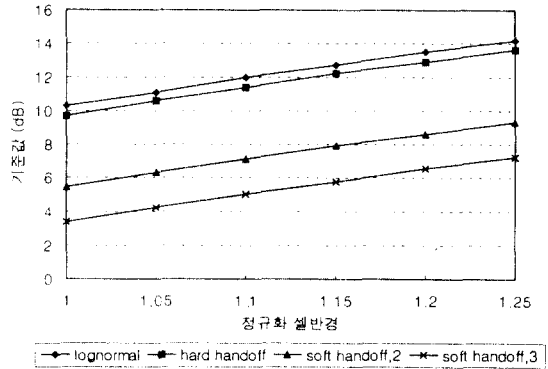


그림 4. 셀 반경에 따른 기준값의 변화( $m=3, \sigma=8$  dB,  $\nu=4$ )  
Fig. 4 The protection ratio as a function of a cell radius. ( $m=3, \sigma=8$  dB,  $\nu=4$ ).

표 3.  $\sigma$ 의 변화에 따른 기준값의 변화 및 셀 커버영역( $m=1, \mu=0$  dB)

Table 3. The protection ratio and the cell coverage as a function of  $\sigma$ . ( $m=1, \mu=0$  dB).

| $\sigma$ (dB) | 정규대수분포         |                 | 복합 대수정규-나카가미분포 |                   |            |                   |            |
|---------------|----------------|-----------------|----------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
|               | 하드핸드오프 기준값(dB) | 하드핸드 오프기준 값(dB) | 셀커버영역, 상대값     | 소프트핸드 오프2기준값 (dB) | 셀커버영역, 상대값 | 소프트핸드 오프3기준값 (dB) | 셀커버영역, 상대값 |
| 6             | 7.7            | 7               | 1.08           | 2.8               | 1.76       | 0.8               | 2.21       |
| 8             | 10.3           | 8.95            | 1.17           | 4.0               | 2.07       | 1.6               | 2.72       |
| 10            | 12.8           | 11.2            | 1.20           | 5.3               | 2.37       | 2.5               | 3.27       |
| 12            | 15.4           | 13.4            | 1.26           | 6.7               | 2.72       | 3.4               | 3.98       |

표 4. 셀 반경에 따른 기준값의 변화 및 셀 커버영역( $m=3, \sigma=8$  dB,  $\nu=4$ )

Table 4. The protection ratio and the cell coverage as a function of a cell radius. ( $m=3, \sigma=8$  dB,  $\nu=4$ )

| 정규화 셀반경 | 정규대수분포         |                 | 복합 대수정규-나카가미분포 |                   |            |                   |            |
|---------|----------------|-----------------|----------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
|         | 하드핸드오프 기준값(dB) | 하드핸드 오프기준 값(dB) | 셀커버영역, 상대값     | 소프트핸드 오프2기준값 (dB) | 셀커버영역, 상대값 | 소프트핸드 오프3기준값 (dB) | 셀커버영역, 상대값 |
| 1.0     | 10.3           | 9.7             | 1.07           | 5.45              | 1.75       | 3.4               | 2.21       |
| 1.05    | 11.1           | 10.6            | 1.06           | 6.3               | 1.74       | 4.25              | 2.20       |
| 1.1     | 12.0           | 11.4            | 1.07           | 7.1               | 1.76       | 5.05              | 2.23       |
| 1.15    | 12.7           | 12.2            | 1.06           | 7.9               | 1.74       | 5.8               | 2.21       |
| 1.2     | 13.5           | 12.9            | 1.07           | 8.6               | 1.76       | 6.55              | 2.23       |
| 1.25    | 14.2           | 13.6            | 1.07           | 9.3               | 1.76       | 7.25              | 2.23       |

그림 4는 페이딩 지수  $m=3$ , 표준편차  $\sigma=8$  dB, 전파감쇠계수  $\nu=4$  일때,  $i$ 번째 셀의 반경  $r_i$ 를 기준셀의 반경  $r_0$ 로 정규화( $r_i/r_0$ )한 정규화 셀 반경을 증가시킬 때 기준값의 변화를 나타낸 것인데, 정규화 셀 반경이 커질수록 기준값도 증가하고 있다.

표 4는 그림 4의 결과 및 셀 반경의 변화를 나타낸 것인데, 역시 복합 대수정규-나카가미분포를 고려할 때가 대수정규 분포만을 고려할 때의 셀 커버영역에 대해서 각각 1.07배에서부터 2.23배까지 증가함을 알 수 있다.

### V. 결 론

무선 채널 환경은 크게 3가지로 구분한다. 즉, 수신 시간의 거리에 따른 전파 손실, 전파음영에 의한 수신 신호전력의 변화, 그리고 마지막으로 고속 페이딩이다. Viterbi는 DS-CDMA 시스템에서 핸드오프에 의한 기준값의 변화와 셀 커버영역을 해석하는데 무선채널 모델을 전파손실과 전파음영만을 고려하였다. 그러나 현실적인 무선채널은 전파손실과 전파음영, 그리고 고속페이딩까지 존재하므로 Viterbi의 정규분포모델을 확장하여 가장 일반적인 무선채널로 알려진 복합 대수정규-나카가미분포 모델로 핸드오프 기준값 및 셀 커버영역을 분석하였다.

분석결과 페이딩지수가 작은 고속 페이딩 상황에서는 수신전력의 평균값과 표준편차의 변화가 많았으며, 결과적으로 핸드오프 및 셀 커버영역에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.  $\sigma=8$  dB,  $\mu=0$  dB 일 때 셀 커버영역은  $m=1$ 인 고속페이딩의 경우 1.17배에서 2.72배로 증가하고, 페이딩 지수의 값이 클수록(고속 페이딩이 거의 없는 경우) 셀 커버영역은 Viterbi의 결과에 근접해감을 알 수 있다. 그리고 표준편차  $\sigma$ 의 값이 6 dB일 때 셀 커버영역은 1.08배에서 2.21배로, 그리고  $\sigma$ 의 값이 12 dB로 증가할 때 셀 커버영역은 1.26배부터 3.98배까지 증가하고 있다.

반경에 따른 셀 커버영역은  $m=3$ ,  $\sigma=8$  dB,  $\nu=4$ 일 때, 정규화 셀 반경이 1.0에서 1.25로 증가함에 따라 복합 대수정규-나카가미분포 모델을 고려하면 각각 1.07배에서부터 2.23배까지 증가함을 알 수 있다.

결론적으로 고속 페이딩을 고려하지 않은 Viterbi의 대수정규분포모델에 의한 결과보다도 고속페이딩

을 고려한 복합 대수정규-나카가미분포모델의 경우, 수신신율을 유지하기 위한 기준값이 작아지고, 결과적으로 셀 커버영역이 넓어짐을 알 수 있었다. 본 논문의 결과는 고속 페이딩이 존재하는 도심지역의 셀 설계에 직접 활용이 가능하리라 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. JTC, Radio system characterization for the proposed IS-95 based CDMA PCS standard, Nov. 1994.
2. A.J.Viterbi, A.M.Viterbi, et al, "Soft Handoff extends CDMA cell coverage and increase reverse link capacity," IEEE Jour. of Sel. Areas in Communi., vol.12, no.8, pp.1281-1288, OCT.1994.
3. Nam-Soo Kim, "Capacity analysis of imperfect power controlled DS/CDMA cellular system with multiple Nakagami faded AMPS interferers," VTC'97, Phoenix, Arizona, pp.1272-1276, May 1997.
4. G.P. Efthymoglou, et al, "Performance analysis of coherent DS-CDMA systems in a Nakagami fading channel with arbitrary parameters," IEEE Trans. on Veh. Technol., vol.46, no.2, pp.289-297, May 1997.
5. A. A. Abu-Dayya, N.C.Beaulieu, "Outage probabilities of cellular mobile radio systems with multiple Nakagami interferers," IEEE Trans. on Veh. Technol, vol.40, no.4, pp.757-768, Nov. 1991.
6. M. Zorzi, "Power control and diversity in mobile radio cellular systems in the presence of Ricean fading and log-normal shadowing," IEEE Trans. on Veh. Technol, vol.45, no.2, pp.373-382, May 1996.
7. T.S. Rappaport, Wireless communications, Ch.3, Prentice-Hall, 1996.
8. K. Gilhousen, et al, "On the capacity of a cellular CDMA system," IEEE Trans. on Veh. Technol., vol.40, no.2, pp.303-311, May 1991.
9. M. Gudmunson, "Correlation model for shadow fading in mobile radio system," Electronic letters,



vol.27, no.23, pp. 2145-2146, Nov. 1991.

10. G. L. Stuber, Principles of mobile communication, Kluwer academic publisher, 1996.
11. M. Alouini, A.Goldsmith, "Area spectral efficiency of cellular systems with Nakagami multipath fading," VTC'97, Phoenix, Arizona, pp.76-80, May 1997.
12. M. G. Jansen, R. Prasad, "Capacity, throughput, and delay analysis of a cellular DS CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization," IEEE Trans. on Veh. Technol., vol.44, no.1, pp.67-75, Feb. 1995.



김 남 수(Nam-Soo Kim) 정회원

1957년 10월 16일생

1981년 2월:광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1983년 2월:연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1991년 3월:연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1986년 7월~1994년 2월:한국전자통신연구소 무선기술 연구실 선임연구원, 실장 역임

1991년 1월~10월:BNR(Bell Northern Research) 방문연구원

1994년 3월~현재:청주대학교 정보통신공학과 교수

※주관심분야: 디지털 이동통신, 무선시스템