

CDMA 시스템에서의 불균일한 통화량 분포를 고려한 역방향 링크 간섭 계산

正會員 정 경 수*, 오 종 택**, 강 충 구*, 차 균 현*

Analytical Computation of the Reverse Link Interference with Unequal Cell Loading in CDMA System

Kyung Soo Chung*, Jong Taek Oh**, Chung Gu Kang*,
Kyoon Hyun Tchah* *Regular Members*

※본 연구는 한국통신에서 지원하는 1997년도 정보통신 기초 연구 사업에 의해 수행되었습니다.

요 약

본 논문에서는 CDMA 셀룰러 망에서 셀 간의 간섭이 불균일한 경우에 역방향 링크에서의 간섭을 계산하기 위한 새로운 해석 방법을 제시한다. 특히, 제안된 방식에서는 역방향 링크 전력 제어의 동적 특성을 반영함으로써 셀 간의 불균일한 통화량이 시스템 용량에 미치는 영향을 정확하게 정량화할 수 있으며, 세도잉과 소프트 핸드 오프에 따른 영향을 고려한 분석이 가능하다. 이와 같이 셀 간의 불균일한 통화량을 고려한 상황에서 역방향 링크 전력 제어의 동적 특성을 반영한 간섭 계산 방식은 기존 연구에서 제시되지 않은 부분이다. 제안된 방식으로 계산된 결과를 살펴보면, 인접한 모든 셀들의 통화량이 두배가 될 때 계산된 가입자 수는 전력 제어의 동적 특성을 고려하지 않고 계산된 결과에 비해 27%까지 감소하는 것을 알 수 있다.

ABSTRACT

This paper presents a new analytical approach for the evaluation of the reverse link interference in a CDMA cellular system with unequal cell loading. In particular, the dynamic nature of the reverse link power control has been taken into account in the proposed approach so that a realistic effect of unequal cell loading, including the shadowing and soft handoff, on system capacity may be precisely captured. This is the aspect that has not been

*고려대학교 전기·전자·전파공학부

**한국통신 무선통신연구소

論文番號: 97418-1124

接受日字: 1997年 11月 24日

successfully formulated and rarely attempted to solve in any previous analytical approach. Our computational result shows that as the loading of every tier of surrounding cells is doubled, the subscriber capacity of the reference cell can be reduced as much as 27% of that obtained in the case that the effect of power control is not appropriately modeled.

I. 서 론

급증하는 이동통신의 수요에 대응하여 구축된 국내의 DS/CDMA 방식 디지털 이동 전화망은 이미 100만명 이상의 가입자를 수용하고 있으며, 동일한 다중접속방식을 기반으로 하는 개인휴대통신서비스(PCS)의 상용화가 초기 단계에 있다[1]. 이와 같이 제 2세대 이동전화망의 근간을 이루는 DS/CDMA 방식 다중접속은 통화의 안정성과 다중경로 간섭 및 재밍(jamming)에 강할 뿐만 아니라, 소프트 핸드오프에 의한 고품질 통화 서비스의 실현 및 타시스템 대비 용량 증대가 가능함으로, 차세대 이동 통신 시스템(IMT-2000)에서의 기반 기술로 발전할 가능성이 높아지고 있다[2].

IS-95 방식을 비롯한 상용 DS/CDMA 시스템에서는 순방향 링크에 설정된 파일럿 채널을 통해 코히어런트 복조가 가능하므로 역방향 링크에 비해 순방향에서 다른 이동국에 의한 간섭이 상대적으로 적다. 그러므로, 순방향 링크보다는 역방향 링크에 의해 시스템 용량이 결정되는 것이 일반적이며, 시스템 설계에 있어서 역방향 링크의 성능 분석이 매우 중요한 사항으로 인식된다[3]. 이러한 역방향 링크에서의 CDMA 망의 가입자 용량 분석은 시뮬레이션과 해석적 접근 방법 등을 통해 다양한 형태로 연구되어 왔다[3-12].

모든 이동국들이 동일한 대역에서 통화하는 CDMA 시스템은 간섭 제한적인(Interference-limited) 시스템이므로, 가입자 용량을 극대화하기 위해서는 기지국에서 모든 가입자 수신 신호가 일정한 통화 품질을 유지하기 위해 필요한 최소의 전력으로 수신될 수 있도록 전력 제어(power control)가 수행되어야 한다. 궁극적으로 시스템의 역방향 가입자 용량은 완벽한 역방향 전력 제어의 수행 여부에 의해 결정되며, 이에 대한 정확한 모델링과 분석을 통해서만 실질적인 시스템 용량을 산출할 수 있다.

특히, 각 셀 간의 가입자 분포가 불균일하여 주변

셀 로딩>Loading>이 상대적으로 높을 경우에는 가입자 용량이 저하되는 것을 예측할 수 있다. 그러나, 역방향 링크에서의 용량 분석에 대한 기존의 연구는 통화량의 분포가 모든 셀에서 균일한 상황에서 주로 이루어졌으며, 이를 통해 실제 상황에서의 용량에 대한 상한값만을 제시할 수 있다[4-8]. 한편, 통화량이 균일하지 않은 경우에 대한 기존의 연구는 시뮬레이션에 의존하거나 또는 해석적 분석에 있어서도 역방향 전력 제어의 동적 특성을 정확하게 반영하지 못하고 있다[9-12]. 즉, 불균일한 통화량 분포를 고려한 기존의 연구들은 자기 셀 안의 각 이동국으로부터 수신하는 전력이 모든 기지국에서 통화량 분포에 상관없이 일정하다는 가정을 하고, 경로 손실만을 보상하는 전력 제어 모델을 이용하여 역방향 링크 간섭량을 제시한다. 하지만, 불균일한 통화량 분포에 의해서 각 기지국에서 수신하는 간섭량은 달라지게 되며, 일정한 신호 대 간섭비(SIR)를 유지하기 위해서 수행하는 역방향 전력 제어는 각 기지국에서 수신하는 간섭량에 비례해서 이동국의 송신 전력을 제어하게 된다. 이러한 전력 제어에 의한 동적인 간섭 현상을 정확하게 반영해야만 셀 간의 불균일한 통화량 분포가 용량에 미치는 영향에 대해서 분석이 가능하다. 그러나, 기존의 분석에서는 단지 시뮬레이션을 통해서만 이와 같은 상황에 대한 분석이 가능했을 뿐, 해석적 용량 분석 방안이 구체적으로 제시된 적이 없는 것으로 사료된다.

본 논문에서는 소프트 핸드오프를 채택한 페이딩 채널 모델을 적용하여 불균일한 셀 로딩에 따른 역방향 전력 제어의 동적 특성이 성능에 미치는 영향을 분석하고, 이를 이용하여 새로운 용량 해석 방안을 제시하고자 한다. 본 제안 방식에서는 모든 셀에서 완벽한 역방향 전력 제어에 의해 시스템 내의 모든 이동국이 요구 품질을 만족하는 신호 대 간섭비 값으로 수렴한 정상 상태를 가정한다. 이때의 평형 방정식을 통해 주사수 재사용 효율을 정량적으로 계산할 수 있다. 이와 같은 해석적 분석은 많은 시간과 비용

을 소모하는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하지 않고도 정확한 시스템 성능 분석이 가능하므로 무선망 설계에 따른 성능 예측 및 최적화에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 역방향 전력 제어와 이에 따른 간섭량을 해석적으로 계산하기 위한 DS-CDMA 시스템의 여러 파라미터와 가정들을 2장에 기술하고, 3장에서는 불균일한 통화량 분포를 고려한 간섭 계산에 필요한 정상 상태 방정식을 제시한다. 4장에서는 제안된 분석 방식에 따른 간섭과 용량에 대한 수치해석 결과를 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 셀룰러 DS/CDMA 시스템은 그림 1과 같이 모든 서비스 지역이 셀단위로 나뉘어지고 각각의 셀은 하나의 기지국으로부터 서비스를 제공받는다. 이때, 각 이동국의 신호는 PN 시퀀스에 의해 구분되며, 역방향 링크와 순방향 링크에 사용되는 주파수 대역은 분리되어 있다고 가정하여 각 기지국에서 수신하는 간섭은 이동국으로부터의 간섭과 배경 잡음만을 고려한다. 본 논문에서는 일반적으로 시스템의 가입자 용량을 제한하는 역방향 링크의

성능 분석에 초점을 맞추며, 역방향 전력 제어는 IS-95에서의 폐쇄 루프(Closed Loop) 전력 제어를 가정한다[13]. 역방향 간섭에 대한 모델은 그림 1과 같으며, S_0 및 $S_{i,j}$ 는 각각 기준 셀과 i 번째 링의 j 번째 기지국 $BS_{i,j}$ 의 서비스 영역을 나타낸다. 또한, $r_{i,j}(x,y)$ 는 $S_{i,j}$ 에 있는 이동국으로부터 서비스 기지국까지의 거리를 나타내며, $r_0(x,y)$ 는 기준 기지국까지의 거리를 나타낸다.

본 논문에서 설정한 DS/CDMA 시스템 모델에 대한 가정은 다음과 같다.

- 각 이동국은 자신이 속한 셀의 기지국으로부터 완벽한 역방향 전력제어가 이루어지므로 동일 기지국에서는 같은 크기로 수신된다.
- 모든 셀은 같은 크기의 정육각형 모양을 하고 있으며, 이상적인 전방향 안테나를 사용하는 기지국이 각 셀의 중앙에 위치한다.
- 각 셀에서의 이동국들을 균일하게 분포한다(그러나, 셀간의 로딩은 불균일할 수 있음).
- 기지국과 이동국 사이의 경로 손실은 모든 셀에서 동일한 경로 감쇄 계수 γ 에 따라 거리에 비례한다.
- 셀은 한 변이 1인 정육각형으로 정규화한다.

본 논문에서 고려한 시스템 모델에 대한 각종 파라미터를 다음 표 1과 같이 가정하고, 용량 분석에 적용한다.

표 1. 시스템 모델에 적용한 파라미터 값

시스템 파라미터	기본값	시스템 파라미터	기본값
확산 대역폭(W)	1.25MHz	음성 활성 계수(d)	0.42
전송률	9.6kbps	경로 감쇄 계수(γ)	2~6
배경 잡음	1.60×10^{-14}	E_b/N_0 요구치	7 dB

이상과 같은 가정과 표 1의 파라미터들을 이용하여 다음 (1)식에 의해 각 셀에서의 역방향 링크 용량을 구할 수 있다[13].

$$N-1 = \frac{I}{C} \times \frac{1}{d} \times F \tag{1}$$

(1)식에서 C 는 한 이동국으로부터 수신하는 전력으로

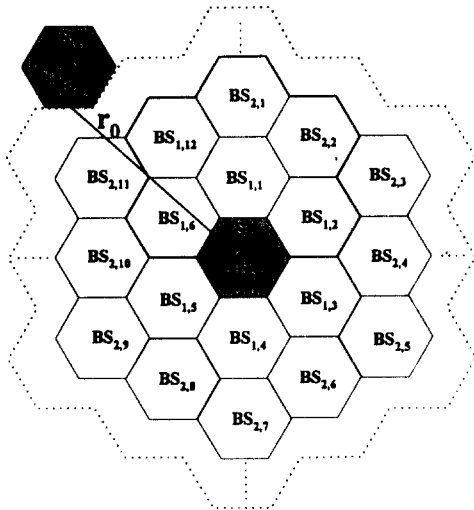


그림 1. DS/CDMA 시스템에서의 역방향 간섭

서 역방향에서의 완벽한 전력제어를 가정했으므로 모든 이동국들에 대해 동일한 값으로 주어지며, I 는 기지국에서 수신된 총 전력이다. 한편, (1)식에 F 는 주파수 재사용 효율로서 자기 셀의 이동국으로부터 수신되는 간섭량에 대한 총 간섭량의 비로 정의된다 [9, 10]. 즉, 단일 셀의 시스템인 경우에는 주파수 재사용 효율이 1이 되며, 다중 셀의 경우에는 실제로 인접 기지국의 간섭에 의한 영향으로 주파수 재사용 효율은 1보다 작다. 이와 같이 다중 셀에서의 간섭으로 인한 주파수 재사용 효율에 대하여 다음 절에서 살펴본다.

III. 역방향 링크 간섭 계산식

3.1 균일한 통화량 분포를 고려한 간섭 계산

본 절에서는 DS/CDMA 시스템의 성능을 결정하는 역방향 링크에서 다른 이동국들에 의한 간섭에 초점을 맞춘다. $S_{i,j}$ 에서의 평균 이동국 수와 이에 따른 $S_{i,j}$ 의 셀 당 이동국 밀도를 각각 $M_{i,j}$ 및 $K_{i,j}$ 로 나타내며, $K_{i,j}$ 는 다음 (2)식과 같이 주어진다.

$$K_{i,j} = \frac{K_{i,j}}{\iint_{S_{i,j}} dxdy} = \frac{2}{3\sqrt{3}} M_{i,j} \quad (2)$$

모든 셀에서의 통화량이 균일하다고 가정하면 완벽한 전력제어에 의해 자기 셀 안의 이동국으로부터 각 기지국에 수신되는 전력은 동일한 값 C 가 된다. 따라서 기준 기지국이 $S_{i,j}$ 로부터 수신하는 역방향 간섭량 $I_{S_{i,j}}$ 와 기준 셀 내의 이동국으로부터 수신하는 간섭량 I_{S_0} 는 각각 다음과 같이 계산할 수 있다[8].

$$I_{S_{i,j}} = \iint_{S_{i,j}} C \cdot \left[\frac{r_{i,j}(x,y)}{r_0(x,y)} \right]^\gamma \cdot K_{i,j} dxdy \quad (3)$$

$$I_{S_0} = \iint_{S_0} C \cdot \left[\frac{r_0(x,y)}{r_0(x,y)} \right]^\gamma \cdot K_{0,0} dxdy \quad (4)$$

$$= C \cdot K_{0,0} \cdot \iint_{S_0} dxdy = C \cdot M_{0,0}$$

모든 셀에서의 통화량이 동일하므로(즉, $K_{i,j} = K_{0,0}$, $\forall i, j$) 동일한 링의 다른 셀에 의한 기준 기지국에서의 간섭은 동일하다. 기준 기지국에서 i 번째 링으로부터 수신되는 간섭비 파라미터 k_i 를 다음 (5)식과 같이 정의한다[13].

$$k_i = \frac{I_{S_{i,j}}}{I_{S_0}} = \frac{\iint_{S_{i,j}} \left[r_{i,j}(x,y)/r_0(x,y) \right]^\gamma dxdy}{\iint_{S_0} dxdy} \quad (5)$$

경로 감쇄 계수 γ 가 4인 경우에 간섭비 파라미터 k_i 의 분포를 보면 그림 2와 같다. 또한, 그림 3에서는 경로 감쇄 계수에 따른 k_i 를 나타내고 있다. 한편, (4)식과 (5)식을 이용하여 $I_{S_{i,j}}$ 를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_{S_{i,j}} = k_i \cdot I_{S_0} = k_i \cdot C \cdot K_{0,0} \iint_{S_0} dxdy = C \cdot k_i \cdot M_{0,0} \quad (6)$$

(6)식을 이용하여 기준 기지국에서의 총 수신 전력 I_0 를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_0 = I_{S_0} + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{6i} I_{S_{i,j}} + N_0W \quad (7)$$

$$= C \cdot M_{0,0} \cdot \left[1 + \sum_{i=1}^{\infty} (6i)k_i \right] + N_0W$$

(7)식에서 N_0W 는 대역 내의 배경 잡음 전력을 나타낸다.

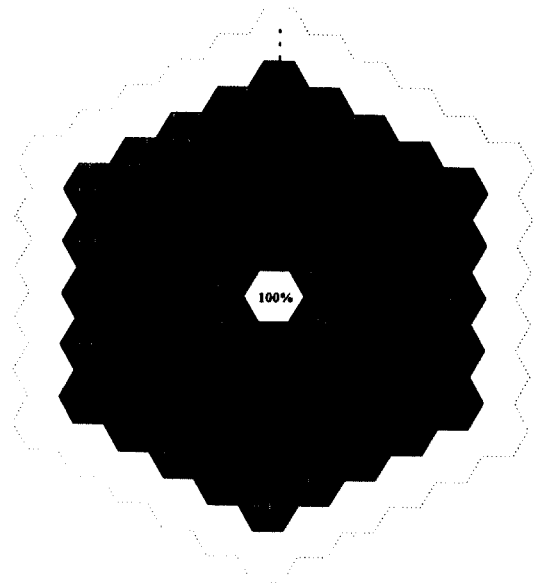


그림 2. 통화량 분포가 균일할 때 인접 셀로부터의 간섭비 파라미터(k_i)의 분포

3.2 불균일한 통화량 분포를 고려한 간섭 계산

IS-95에서 사용되는 역방향에서의 폐쇄루프 전력 제어 알고리즘에 의해 각 기지국은 기지국에서 수신하는 이동국의 신호 대 간섭비(SIR)를 일정하게 유지하기 위해서 전력 제어 비트를 각 이동국으로 송신하고, 이 전력 제어 비트에 따라 이동국은 송신 전력을 증감하게 된다. 이때 이동국의 송신 전력 증감은 다른 이동국에 대한 신호 대 간섭비를 변화시킬 것이며 이에 따른 송신 전력의 증감을 초래할 것이다. 결국 각 이동국에 대한 이와 같은 전력 제어는 궁극적으로 모든 이동국들의 연쇄적인 송신 전력 증감을 초래하게 될 것이다. 이와 같은 전력 제어에 따른 동적 현상을 예시하기 위해 단일 셀에서 두개의 이동국이 상호 작용하는 경우를 살펴보면 다음과 같다. 이 경우 n 번의 전력 제어를 통해 첫번째 이동국과 두번째 이동국으로부터 수신되는 전력을 각각 $P_1^{(n)}$ 및 $P_2^{(n)}$ 이라고 하자. 이 두 이동국은 상호간에 간섭으로 작용하므로 순시 전력값은 연쇄적인 전력 제어를 수행하면서 주어진 통화 품질 유지를 위한 SIR 요구값으로 수렴하게 된다. 즉, 첫번째 이동국이 한번의 전력 제어를 수행한 뒤 기지국에 수신되는 전력은 배경 잡음에 의한 간섭만을 고려하여 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{P_1^{(n)}}{N_0W} = \eta \quad (8)$$

여기서 η 는 역방향 링크의 SIR 요구치이며, 일반적으로 DS/CDMA 시스템에서는 처리 이득에 따라 1보다 작은 값을 갖는다. 같은 방법으로 두번째 이동국으로부터 수신되는 전력은 첫번째 이동국에 의한 간섭을 고려하여 다음과 같이 제어되어야 한다.

$$\frac{P_2^{(1)}}{P_1^{(1)} + N_0W} = \frac{P_2^{(1)}}{\eta N_0W + N_0W} = \eta \quad (9)$$

그런데 (9)식에서 구해진 두번째 이동국의 수신 전력은 다시 첫번째 이동국에 대한 간섭으로 작용하므로 첫번째 이동국은 다시 이를 고려하여 전력 제어를 수행하게 된다. 이러한 전력 제어 과정을 n 번 반복할 경우 각 이동국으로부터 수신되는 전력은 다음과 같이 주어진다.

$$P_1^{(n)} = \frac{\eta(1-\eta^{2n-1})}{1-\eta} \cdot N_0W \quad (10)$$

$$P_2^{(n)} = \frac{\eta(1-\eta^{2n})}{1-\eta} \cdot N_0W \quad (11)$$

위의 (10) 및 (11)식에서 CDMA 시스템에서는 $\eta < 1$ 이므로 $n \rightarrow \infty$ 인 경우에 $P_1^{(n)}$ 및 $P_2^{(n)}$ 은 모두 $\eta N_0W / (1-\eta)$ 로 수렴하는 것을 알 수 있다. 그러나, 다중 셀의 다중 사용자 환경에서는 이동국들이 상호 미치는 영향이 매우 복잡한 동적 시스템을 형성할 것이므로 이와 같은 방법으로 모든 단말기로부터의 정상 상태 수신 전력을 산출하는 것은 불가능하다.

만일, 참고 문헌 [12]에서 가정하고 있는 바와 같이, 주변 셀의 통화량에 상관없이 모든 기지국에서 수신하는 자기 셀의 이동국 전력이 동일한 크기 C 로 수신된다면, 인접 셀의 통화량 분포에 따른 기준 기지국에서의 간섭량은 (7)식을 이용해서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_0 = C \cdot \left[M_{0,0} + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{6i} M_{i,j} \cdot k_i \right] + N_0W \quad (12)$$

하지만 (12)식과 같은 계산 방법은 인접 셀에서의 불균일한 통화량 분포에 따라 각 기지국에서 수신하는 이동국 당 수신 전력이 달라지는 것을 고려할 수 없다. 즉, 인접 셀에서의 불균일한 통화량 분포에 따른 전력 제어 효과를 반영하기 위해서는 각 기지국에서 수신하는 이동국 당 수신 전력을 각 기지국에서 수신하는 간섭량에 비례해서 달리 계산되어야 한다. 이와 같이 인접 셀에서의 불균일한 통화량 분포에 따른 기준 기지국에서의 간섭량은 각 셀 내에서 완벽한 역방향 전력 제어에 의해 시스템 내의 모든 이동국이 요구 품질을 만족하는 신호 대 간섭비 값으로 수렴한 정상 상태에서 평형 방정식의 해를 통해 정량적으로 계산하는 것이 가능하다.

셀 $S_{i,j}$ 에 위치한 기지국의 수신 전력은 정상 상태에서 완벽한 역방향 전력 제어에 의해 모든 이동국으로부터 동일한 전력을 수신하게 된다고 가정하자. 이때, 정상 상태 파라미터 $\{\alpha_{i,j}\}$ 를 정의하고, 셀 간의 불균일한 통화량에 의한 셀 $S_{i,j}$ 내의 각 이동국으로부터 수신되는 전력량을 $\alpha_{i,j}C$ 라고 가정하자. 이러한 가

정을 (3) 및 (5)식에 적용하면 $I_{S_{i,j}}$ 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{S_{i,j}} = \iint_{S_{i,j}} \alpha_{i,j} \cdot C \cdot \left[\frac{r_{i,j}(x,y)}{r_0(x,y)} \right]^{\gamma} \cdot K_{i,j} \, dx dy$$

$$= \alpha_{i,j} \cdot C \cdot M_{i,j} \cdot k_i \quad (13)$$

위의 (13)식을 이용해서 기준 기지국에서의 총 간섭량 I_0 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_0 = C \cdot \left[M_{0,0} + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{6i} \alpha_{i,j} \cdot M_{i,j} \cdot k_i \right] + N_0 W \quad (14)$$

기준 셀에서 총 간섭량은 정상 상태 파라미터 $\{\alpha_{i,j}\}$ 를 알면 (14)식에 의해 계산이 가능하며, $\{\alpha_{i,j}\}$ 은 정상 상태에서 각 기지국에서의 총 간섭량에 대하여 다음과 같은 평형 방정식을 통해 구할 수 있다.

정상 상태를 가정할 때, $BS_{1,1}$ 에서의 총 수신 전력 $I_{1,1}$ 에 대하여 다음과 같은 평형 방정식이 성립한다.

$$I_{1,1} = C \cdot [\alpha_{1,1} M_{1,1} + (M_{0,0} + \alpha_{1,2} M_{1,2} + \alpha_{1,6} M_{1,6} + \alpha_{2,1} M_{2,1} + \alpha_{2,2} M_{2,2} + \alpha_{2,12} M_{2,12}) k_1 + (\alpha_{1,3} M_{1,3} + \alpha_{1,4} M_{1,4} + \alpha_{1,5} M_{1,5} + \alpha_{2,3} M_{2,3} + \alpha_{2,4} M_{2,4} + \alpha_{2,10} M_{2,10} + \alpha_{2,11} M_{2,11} + \alpha_{3,1} M_{3,1} + \alpha_{3,2} M_{3,2} + \alpha_{3,3} M_{3,3} + \alpha_{3,17} M_{3,17} + \alpha_{3,18} M_{3,18}) k_2 + \dots] + N_0 W$$

(15)식에서 우변의 첫번째 항은 $BS_{1,1}$ 이 $S_{1,1}$ 으로부터 수신하는 간섭이다. 즉, 자기 셀 $S_{1,1}$ 내의 이동국들이 각각 $\alpha_{1,1} C$ 의 크기로 수신되도록 전력제어를 수행하므로 (4)식을 적용하면 $\alpha_{1,1} C M_{1,1}$ 의 값을 갖는다. 또한 $S_{1,1}$ 에 바로 인접한 셀로부터의 간섭은 그림 1에서와 같이 각각 $C, \alpha_{1,2} C, \alpha_{1,6} C, \alpha_{2,1} C, \alpha_{2,2} C$, 그리고 $\alpha_{2,12} C$ 의 크기로 전력 제어된 6개의 셀로부터 수신되므로, (13)식을 적용하여 우변의 두번째 항과 같이 나타낼 수 있다. 마찬가지로 $S_{1,1}$ 로부터 2계층만큼 떨어져 있는 셀로부터의 간섭량은 세번째 항과 같이 나타낼 수 있다.

위와 같은 방법으로 $S_{i,j}$ 에서의 총 수신 전력 $I_{i,j}$ 를 각 셀의 평균 이동국 수 $M_{i,j}$ 와 정상 상태 파라미터 α

$\alpha_{i,j}$ 로 나타낼 수 있다. 따라서, 각 셀에서의 평균 이동국 수가 임의로 주어지고, $\{\alpha_{i,j}\}$ 를 계산할 수 있으면 각 기지국에서의 역방향 링크 간섭을 계산할 수 있다.

한편, 모든 기지국들에 대한 완벽한 전력 제어가 이루어진 정상 상태에서 각 기지국 $BS_{i,j}$ 에서 수신하는 SIR, $\alpha_{i,j} C / I_{i,j}$ 은 최소 성능을 유지하기 위해 필요한 임계치 η 와 같아야 한다는 다음 등식으로부터 정상 상태 파라미터 $\{\alpha_{i,j}\}$ 를 계산할 수 있다.

$$\frac{C}{I_0} = \frac{\alpha_{1,1} C}{I_{1,1}} = \frac{\alpha_{1,2} C}{I_{1,2}} = \frac{\alpha_{1,3} C}{I_{1,3}} = \dots = \eta \quad (16)$$

한편, 여기서 고려하는 셀의 통화량이 기준 셀로부터 m 번째 계층까지 임의의 분포를 가지고, $(m+1)$ 이상의 계층에서는 동일한 통화량 분포를 갖는다고 가정한다($m \geq 1$). 이 경우, m 번째 계층까지의 각기 다른 통화량 분포는 거리에 따른 경로 손실로 인해 $(m+n)$ 번째 계층 이상($n \gg 1$)에서는 그 영향을 무시할 수 있다. 따라서 ($i \geq m+n$) 계층의 기지국에서의 한 이동국으로부터 수신되는 전력은 $\alpha_{m+n,j} C$ 로 일정하다고 가정하고, $(m+n-1)$ 층까지의 각 셀과 $(m+n)$ 층의 임의의 한 셀에 (16)식을 적용하면 $(2 + \sum_{l=1}^{m+n-1} 6l)$ 개의 등식을 세울 수 있다. 그러므로, 제안된 간섭 계산식은 $C, \alpha_{i,j}, 1 \leq i \leq m+n-1, 1 \leq j \leq 6(m+n-1)$, 그리고 $\alpha_{m+n,j}$ 를 미지수로 하는 1차 연립 방정식으로 주어진다.

예를 들어, m 이 1인 경우를 살펴보자. 즉, 주변 모든 셀의 평균 이동국 수가 N_n 으로 일정하고, 기준 셀의 평균 이동국 수가 N 일 때, 셀의 대칭성에 의해 같은 층에서의 $\alpha_{i,j}$ 값은 동일한 값 α_i 를 갖는다. 따라서 (14)식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_0 = C \cdot [N + 6\alpha_1 N_n k_1 + 12\alpha_2 N_n k_2 + 18\alpha_3 N_n k_3 + \dots] + N_0 W \quad (17)$$

마찬가지로 i 번째 계층에 위치한 각 기지국에서의 총 수신 전력 $I_{i,j}$ 는 동일한 값 I_i 로 주어지고, 각 계층에서의 I_i 를 구하면 다음 식으로 주어진다.

$$I_{1,1} = I_{1,2} = I_{1,3} = \dots = I_{1,6} = I_1$$

$$= C \cdot [\alpha_1 N_n + (N + 2\alpha_1 N_n + 3\alpha_2 N_n) k_1] \quad (18)$$

$$\begin{aligned}
 &+(3\alpha_1 N_n + 4\alpha_2 N_n + 5\alpha_3 N_n) k_2 \\
 &+(5\alpha_2 N_n + 6\alpha_3 N_n + 7\alpha_4 N_n) k_3 + (7\alpha_3 N_n \\
 &+ 8\alpha_4 N_n + 9\alpha_5 N_n) k_4 + \dots] + N_0 W
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{2,1} &= I_{2,2} = I_{2,3} = \dots = I_{2,12} = I_2 \\
 &= C \cdot [\alpha_2 N_n + (\alpha_1 N_n + 2\alpha_2 N_n + 3\alpha_3 N_n) k_1 \\
 &+ (N + 2\alpha_1 N_n + 2\alpha_2 N_n + 2\alpha_3 N_n + 5\alpha_4 N_n) k_2 \quad (19) \\
 &+ (3\alpha_1 N_n + 2\alpha_2 N_n + 4\alpha_3 N_n + 2\alpha_4 N_n + 7\alpha_5 N_n) k_3 \\
 &+ (5\alpha_2 N_n + 2\alpha_3 N_n + 6\alpha_4 N_n + 2\alpha_5 N_n + 9\alpha_6 N_n) k_4 + \dots] + N_0 W
 \end{aligned}$$

$$I_{n,1} = I_{n,2} = I_{n,3} = \dots = I_{n,6n} = I_n \quad (20)$$

이때, 기준 셀의 통화량 분포에 따른 영향이 n 번째 계층 이상에서는 경로 손실로 인하여 그 영향을 무시할 수 있다고 가정하면, $i \geq n$ 인 기지국의 모든 이동국으로부터 수신하는 전력은 각각 $\alpha_n C$ 로 동일하게 설정할 수 있다. 따라서, (17)-(20)식을 (16)식에 대입하면 $(2 + \sum_{l=1}^n 6l)$ 개의 방정식을 얻을 수 있고, $\{\alpha_n\}$ 을 구할 수 있다.

3.3 세도잉 및 소프트 핸드오프를 고려한 간섭 계산

앞의 3.1절과 3.2절에서는 거리에 따른 경로 손실만을 고려한 전파 모델을 사용하여, 모든 이동국은 가장 가까운 거리에 위치한 기지국을 서비스 기지국으로 선택하는 것을 가정하였다. 본 절에서는 세도잉에 따른 손실과 이에 따른 소프트 핸드오프를 고려한 역방향 간섭에 대한 계산 방법을 제시하고자 한다.

기지국으로부터 거리 r 만큼 떨어진 이동국에 대한 감쇄는 세도잉에 대한 손실을 고려하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PL(r, \zeta) = r^\gamma 10^{\zeta/10} \quad (21)$$

(21)식에서 ζ 은 평균이 0이며, 표준 편차가 σ 인 가우시안 분포를 갖는 확률 변수이다. 즉, ζ 에 따른 세도잉은 대수 정규 분포를 갖는다. 그런데, 다른 셀로부터의 역방향 간섭에 대한 분석에서는 두 개 이상의 기지국에서 수신하는 경로 손실을 비교해야하기 때문에 동일한 이동국으로부터 각 기지국까지의 경로 손실에 대한 상관 관계가 고려되어야 한다. 이동국의

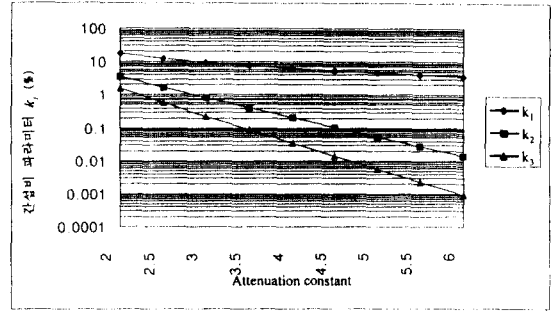


그림 3. 경로 손실에 따른 k_i 의 분포

로부터 i 번째 기지국이 수신하는 신호는 이동국과 기지국 주변의 지형지물에 의해 결정된다. 다음에서는 이 신호를 ζ_i 로 나타내며, 이는 이동국 근처에서 결정되는 랜덤 변수 ξ 와 i 번째 기지국 근처에서 결정되는 랜덤 변수 ξ_i 에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\zeta_i = a\xi + b\xi_i \quad (22)$$

(22)식에서 a 와 b 는 상수로서 $a^2 + b^2 = 1$ 이다. 또한 (22)식의 랜덤 변수들은 다음과 같은 확률 특성을 갖는다고 가정한다[8].

$$\begin{aligned}
 E(\zeta_i) &= E(\xi) = E(\xi_i) = 0, \\
 Var(\zeta_i) &= Var(\xi) = Var(\xi_i) = \sigma^2 \quad \forall i, \\
 E(\zeta_i \zeta_j) &= 0 \quad \forall i, \\
 E(\xi_i \xi_j) &= 0 \quad \forall i, j, i \neq j.
 \end{aligned}$$

이와 같은 전파 모델을 적용하여 소프트 핸드오프 대상 기지국 수(N_c)를 2로 설정할 경우, 모든 셀은 그림 4에서 보는 바와 같이 인접 기지국 사이에서 별 모양의 핸드오프 영역을 형성하게 된다. 여기서 i 번째 링의 j 번째 셀의 핸드오프 영역을 $\tilde{S}_{i,j}$ 라고 표시하며, 기준 기지국 $BS_{0,0}$ 에 의해 서비스 가능한 전체 영역을 \tilde{S}_0 로 나타낸다.

소프트 핸드오프시의 이동국은 각 기지국의 폐쇄 전력 제어 비트들 중 어떤 하나라도 전력 감소를 지시하면 송신 전력을 줄인다. 즉, 경로 손실이 가장 작은 기지국에 의해 전력이 제어된다. 그러므로 \tilde{S}_0 영역에 위치한 이동국 중 기준 기지국으로부터 서비스를 받

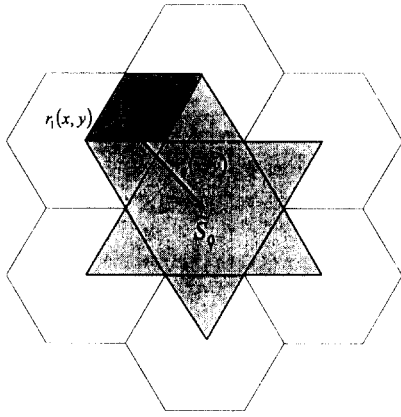


그림 4. 기준 셀의 소프트 핸드오프 영역

는 경우는 기준 기지국까지의 손실이 인접 기지국보다 작은 경우에만 발생하므로 기준 기지국이 자기 셀에 속한 이동국으로부터 수신하는 평균 전력 I_0^{intra} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다[8].

$$I_0^{intra} = \iint_{S_0} C \cdot E[1 | r_1^\gamma(x, y) 10^{\zeta_i/10} > r_0^\gamma(x, y) 10^{\zeta_0/10}] \cdot \tilde{K}(x, y) dx dy \quad (23)$$

(23)식에서 $r_1(x, y)$ 는 $(x, y) \in \tilde{S}_0$ 좌표에 있는 이동국과 소프트 핸드오프 가능한 대상 인접 기지국까지의 거리를 나타낸다. $\tilde{K}(x, y)$ 는 각 지점의 이동국 밀도로서 그림 4의 \tilde{S}_0 영역중 육각형에 해당하는 영역에서 $K_{0,0}$ 값을 가지며, 인접한 기지국 $BS_{i,j}$ 와 핸드오프 가능한 삼각형에 해당하는 영역에서는 $K_{1,j}$ 값($j=1, 2, \dots, 6$)을 갖는다.

(x, y) 좌표에 위치한 이동국에 대하여, 기준 기지국과 핸드오프 가능한 대상 기지국의 정상 상태 파라미터를 $\alpha_1(x, y)$ 라고 정의하자. 이 때, \tilde{S}_0 영역 중 (x, y) 에 위치한 이동국의 핸드오프 대상 기지국이 $BS_{i,j}$ 인 경우 $\alpha_1(x, y) = \alpha_{i,j}$ 로 주어진다. \tilde{S}_0 영역에서 인접 기지국에 의해 전력 제어되는 이동국으로부터 기준 기지국이 수신하는 평균 전력 I_0^{intra} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다[8].

$$I_0^{intra} = \iint_{S_0} \alpha_1(x, y) \cdot C \cdot \left[\frac{r_1(x, y)}{r_0(x, y)} \right]^\gamma$$

$$E[10^{\{\zeta_i - \zeta_0\}/10} | \{r_1(x, y)\}^\gamma 10^{\zeta_i/10} < \{r_0(x, y)\}^\gamma 10^{\zeta_0/10}] \cdot \tilde{K}(x, y) dx dy \quad (24)$$

앞에서 정의한 바와 같이 $BS_{i,j}$ 의 정상 상태 파라미터 $\{\alpha_{i,j}\}$ 를 이용하면 유사한 방법으로 기준 기지국이 \tilde{S}_0 영역 밖에 위치한 이동국으로부터 수신하는 평균 전력 중 $BS_{i,j}$ 에 속한 이동국으로부터 수신하는 전력 $I_0^{S_{i,j}}$ 를 다음과 같이 나타낼 수 있다[8].

$$I_0^{S_{i,j}} = \iint_{S_{i,j}} \alpha_{i,j} C \left[\frac{r_{i,j}(x, y)}{r_0(x, y)} \right]^\gamma E[10^{\{\zeta_{i,j} - \zeta_0\}/10} | r_{i,j}^\gamma(x, y) 10^{\zeta_{i,j}/10} < r_0^\gamma(x, y) 10^{\zeta_0/10}] \cdot \tilde{K}(x, y) dx dy \quad (25)$$

(25)식에서 $r_{i,j}(x, y)$ 는 $(x, y) \in \tilde{S}_0$ 좌표에 있는 이동국에서 $BS_{i,j}$ 까지의 거리를 나타내고, $r_1(x, y)$ 는 $BS_{i,j}$ 와 핸드오프 가능한 대상 기지국까지의 거리이다. 이 때, 편의상 $R_{i,j} = r_{i,j}(x, y)/r_0(x, y)$, $\beta = \ln(10)/10$, $M_{i,j} = 10^\gamma \log_{10} r_{i,j}(x, y)$ 라고 정의하고, (23)-(25)식을 정리하면 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$I_0^{intra} = C \cdot \iint_{S_0} Q\left(\frac{M_0 - M_1}{\sqrt{2} b \sigma}\right) \cdot \tilde{K}(x, y) dx dy \quad (26)$$

$$I_0^{inter} = C \cdot e^{b^2(\beta\sigma)^2} \iint_{S_i} \alpha_1(x, y) \cdot R_1^\gamma \cdot Q\left(\sqrt{2} b \beta \sigma + \frac{M_1 - M_0}{\sqrt{2} b \sigma}\right) \cdot \tilde{K}(x, y) dx dy \quad (27)$$

$$I_0^{S_{i,j}} = \alpha_{i,j} \cdot C \cdot e^{b^2(\beta\sigma)^2} \iint_{S_{i,j}} R_{i,j}^\gamma \cdot Q\left(\frac{b \beta \sigma}{\sqrt{2}} + \frac{M_{i,j} - M_1}{\sqrt{2} b \sigma}\right) \cdot \tilde{K}(x, y) dx dy \quad (28)$$

여기서 $Q(\cdot)$ 는 다음과 같이 정의되는 일반적인 Q-함수이다.

$$Q(y) = \int_y^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx \quad (29)$$

(26)-(28)식을 이용하여 기준 기지국에서 수신하는 총 전력 I_0^{total} 을 다음 (30)식과 같이 구할 수 있다.

$$I_0^{total} = I_0^{intra} + I_0^{inter} + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{6i} I_0^{\delta_{i,j}} + N_0W \quad (30)$$

기준 셀로부터 m 계층까지 각 셀의 통화량이 각각 다르고, $(m+1)$ 계층부터는 동일한 통화량 분포를 갖는 경우 $(m+n)$ 번째 계층 이상에서는 정상 상태 파라미터 $\{\alpha_i, j\}$ 가 동일하다고 가정하면, $(m+n-1)$ 층까지의 각 셀과 $(m+n)$ 층의 임의의 한 셀에 대하여 $I_{i,j}^{total}$ 을 (30)식과 같은 방법으로 나타낼 수 있다. 여기서 구해진 식들은 (16)식의 등식에 의해 $C, \alpha_i, j, 1 \leq i \leq m+n-1, 1 \leq j \leq 6(m+n-1)$, 그리고 $\alpha_{m+n, j}$ 를 미지수로 하는 $(2 + \sum_{l=1}^{m+n-1} 6l)$ 개의 1차 연립 방정식으로 주어지므로, 정상 상태 파라미터 $\{\alpha_i, j\}$ 를 계산할 수 있다.

IV. 수치 해석 및 성능 분석

거리에 따른 신호의 감쇄 정도에 따라 다른 이동국들로부터 수신하는 간섭의 크기가 달라지게 되며, 그림 3은 감쇄 계수에 따른 인접 셀들의 역방향 간섭비 파라미터 k_i 에 대해서 나타내고 있다. 감쇄 계수가 적을 경우 인접 셀의 이동국이 송신한 전력은 작은 경로 손실을 거쳐 기준 기지국에 간섭으로 작용하게 된다. 반대로 감쇄 계수가 클 경우 이에 따른 경로 손실이 커져 인접 셀의 역방향 간섭이 매우 작아지는 것을 볼 수 있다. 본 논문에서는 감쇄 계수가 4인 전파 환경에 대해 성능 분석을 수행한다.

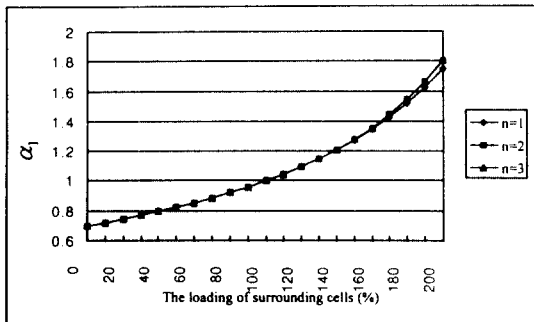


그림 5. n 값에 따른 α_1 의 변화($\gamma=4, N_f=8$)

제안된 방법을 이용한 역방향 간섭량 계산에 있어서 $m=0$ 인 경우에 대해서 인접 셀과 다른 기준 셀의 통화량 분포가 몇 번째 링까지 영향을 미치는지를 우선 살펴본다. 그림 5에서 보듯이 기준 셀의 통화량 분포가 첫 번째 링까지 영향을 미친다고 가정한 경우 (즉, $\alpha_i = \alpha_1, i \geq 1$), 인접 셀들의 통화량 분포에 따라 α_1 은 약 0.7~1.8의 범위에서 변화를 보였다. 즉, 셀 간의 불균일한 통화량에 따라 각 기지국에서 전력 제어를 통해 이동국으로부터 수신하는 전력이 달라지는 것을 볼 수 있다. 한편, 기준 셀의 통화량 분포가 두 번째 링까지 영향을 미친다고 가정한 경우에(즉, $\alpha_i = \alpha_2, i \geq 2$) α_1 값을 살펴보면 첫 번째 링까지의 영향만을 고려하여 계산한 값과 거의 유사하다는 것을 볼 수 있다. 따라서, 셀의 불균일한 통화량 분포가 미치는 영향은 인접 셀에서 가장 크며 n 번째 링 이상에서는 그 영향이 거의 동일하다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 그림 5에서 보는 바와 같이, $n \geq 4$ 일 경우 기준 셀의 통화량 분포에 따른 차이를 무시할 수 있으므로 다음에 제시하는 수치 해석 결과에서는 $n=4$ 로 설정하고, 이에 따른 $\alpha_1 \sim \alpha_4$ 를 계산하였다.

기준 셀의 통화량이 인접 셀보다 클 경우, 기준 기지국은 인접 기지국들에 비해 역방향 링크 간섭량이 많아지게 된다. 간섭량이 상대적으로 많은 기준 기지국은 SIR 요구치를 만족시키기 위하여 이동국에 대하여 역방향 전력 제어를 수행함으로써 송신 전력을 높이게 된다. 결과적으로 통화량이 많은 기준 셀에서 각 이동국 당 수신 전력은 일정한 통화 품질을 유지하기 위하여 인접 기지국보다 높아지게 된다. 그림 6은 기준 셀의 통화량을 고정시키고 인접 셀의 통화량을 증가시키면서 각 링에서의 이동국 당 수신 전력($\alpha_i C$)을 나타낸 그래프이다. 인접 셀의 통화량이 증가할수록 각 기지국에서 수신하는 이동국 수신 전력($\alpha_i C$)은 증가하지만, 인접 셀의 통화량이 기준 셀의 통화량보다 작을 경우에는 기준 기지국에서의 이동국 수신 전력(C)이 인접 기지국보다 다소 높은 것으로 나타난다. 반면에, 인접 셀과 기준 셀의 통화량이 같아서 모든 이동국이 균일하게 분포한 지점에서는 예상대로 모든 기지국에서의 수신 전력이 같아지는 것을 확인할 수 있다. 인접 셀의 통화량이 계속 증가하여 기준 셀보다 많아지면 인접 기지국에서의 수신 전력이 기준 기지국보다 큰 폭으로 증가하게 된다. 기준 셀에 바

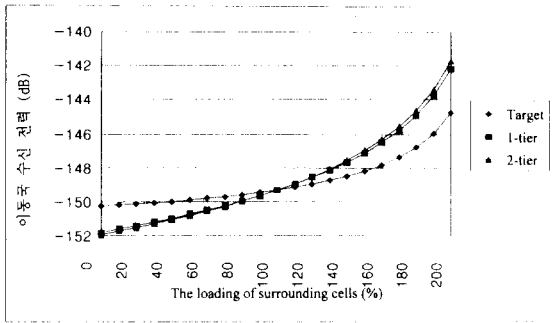


그림 6. 통화량 분포에 따른 각 층에서의 이동국 수신 전력 ($\gamma = 4, N_F = 8$)

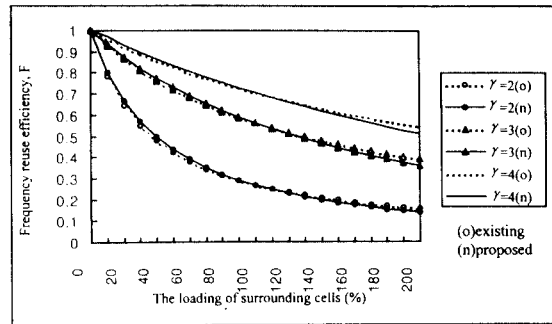


그림 8. γ 와 통화량 분포에 따른 주파수 재사용 효율($N_F = 3$)

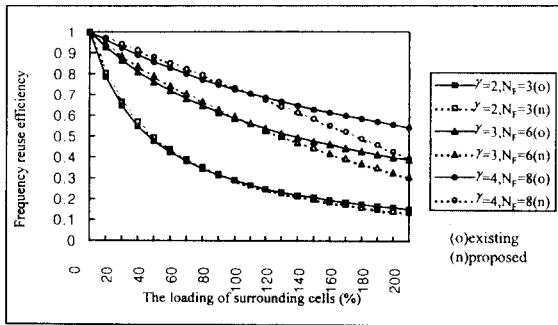


그림 7. γ 와 통화량 분포에 따른 주파수 재사용 효율

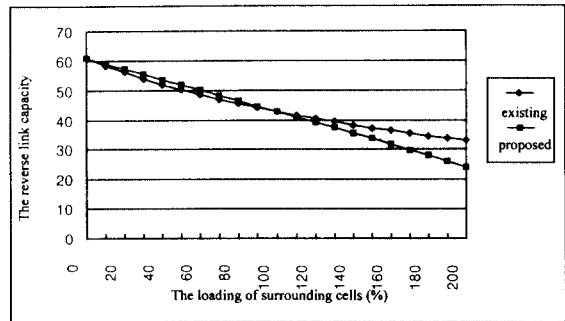


그림 9. 역방향 링크 용량 분석($\gamma = 4, N_F = 8$)

로 인접한 첫 번째 링에서는 기준 셀의 통화량 분포에 따라 수신 전력이 크게 달라지는 반면, 두 번째 링 이상에서는 거리 차이에서 오는 경로 손실로 인하여 거의 비슷한 값을 갖는 것을 볼 수 있다.

그림 7은 각각 인접 셀의 통화량 변화에 따른 전력 제어 효과를 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 대하여, 경로 감쇄 계수 γ 를 달리 설정하고 (12)식과 (15)식을 이용하여 주파수 재사용 효율을 계산한 것이다. 주어진 SIR 요구치와 인접 셀의 통화량 변화폭, 그리고 γ 를 고려하여 기준 셀의 이동국 수 N_F 를 서비스 가능한 최대치로 설정하고, 이를 기준으로 인접 셀의 통화량을 변화시켰다. 이 때, N_F 는 주파수 재사용 효율을 계산하기 위해 기준 셀에 발생시키는 임의의 이동국 수이며, 여기서 구해진 주파수 재사용 효율은 (1)식에 의해 역방향 링크의 용량 분석에 이용된다. 그림 7에서 인접 셀의 통화량이 증가하거나 γ 가 작을 경우 다른 셀의 이동국으로부터의 간섭이 증

가하여 주파수 재사용 효율이 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한, 전력 제어 효과를 고려하지 않은 경우에는 인접 셀의 통화량이 기준 셀보다 적을 경우 인접 셀로부터의 간섭을 과다하게 계산하여 주파수 재사용 효율이 작고, 인접 셀의 통화량이 많을 경우에는 간섭을 적게 계산하여 주파수 재사용 효율이 제안된 계산 값보다 크다. 이로 인하여 인접 셀의 통화량이 증가하여 기준 셀의 두 배가 될 경우 제안된 식에 의해 구한 주파수 재사용 효율은 γ 가 4인 경우에 약 0.15정도 작아지게 되며, 통화량이 증가할수록 간섭량이 많아져 더욱 작아지게 된다.

그림 8은 기준 셀의 이동국 수 N_F 를 일정한 값으로 설정하고 인접 셀의 통화량 변화와 γ 에 따른 주파수 재사용 효율을 전력제어 효과를 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 대해 나타낸 것이다. 통화량에 따른 전력 제어를 고려하지 않은 경우의 주파수 재사용 효율은 기준 셀의 이동국 수에 상관없이 인접 셀의 통

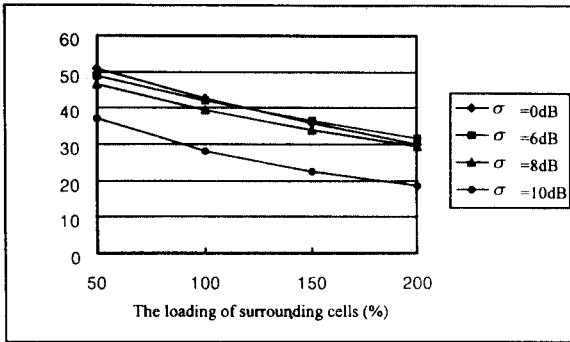


그림 10. 세도잉을 고려한 역방향 용량 분석($\gamma = 4, N_f = 4$)

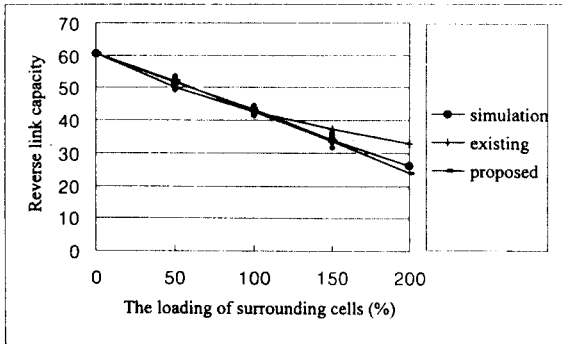


그림 11. 시뮬레이션을 통한 역방향 링크 용량(AWGN, $N_f = 8$)

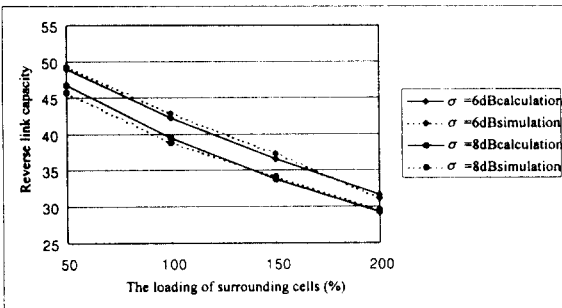


그림 12. 시뮬레이션을 통한 역방향 용량(세도잉 환경, $N_f = 4$)

화량 비율에 따라 정해지지만 통화량에 따른 전력 제어를 고려한 경우는 기준 셀의 이동국 수에 따라 α_i, j 값이 달라지게 되어 인접 셀의 통화량 비율이 일정한 경우에도 그 값이 달라지게 된다. 즉, 기준 셀과 인접 셀의 통화량 비율이 일정하더라도 기준 셀의 이동국

수를 작게 설정하면 인접 셀과 기준 셀과의 통화량 차이가 감소하여 α_i, j 가 감소하게 된다. 결국, 그림 8에서와 같이 기준 셀의 이동국 수를 작게 설정할 경우 인접 셀과 기준 셀의 통화량의 차이가 작아져 제안된 간섭 계산 방법에 의한 주파수 재사용 효율은 통화량 분포를 고려하지 않은 경우와의 차이가 줄어들게 된다. 또한 γ 값의 감소는 경로 손실을 감소시켜 역방향 간섭을 증가시키고 이에 따라 주파수 재사용 효율이 감소된다.

각 가지국에서 이동국 당 수신 전력이 통화량 분포에 상관없이 기준 기지국에서와 같다는 가정하에 경로 손실만을 고려한 전력 제어를 수행할 경우 (1)식을 이용하여 역방향 링크의 용량을 구하면 그림 9에서와 같이 인접 셀의 통화량에 따라 약 33~61의 범위를 갖는다. 반면, 제안된 전력 제어 모델을 적용한 경우 그 범위가 24~61로서 변화폭이 매우 커짐을 알 수 있다. 인접 셀의 통화량이 "0"인 단일 셀의 경우 계산 방법에 관계없이 동일한 값을 나타냈지만, 인접 셀의 통화량이 기준 셀보다 두 배로 증가할 경우 역방향 링크의 용량은 약 27%의 차이를 가져 오는 것을 알 수 있다.

마지막으로, 그림 10에서 세도잉에 의한 영향을 나타내고 있다. 단일 셀인 경우에는 인접 셀에 의한 간섭이 없고, 전력 제어에 의해 기준 기지국은 모든 이동국으로부터 동일한 전력을 수신하므로 세도잉에 관계없이 동일한 시스템 용량을 나타낸다. 하지만 인접 셀의 통화량이 기준 셀의 50%일 경우에는 σ 가 0에서 10dB로 증가함에 따라 인접 셀로부터의 간섭이 증가하여 용량은 약 73%까지 크게 감소한다. 반면에, 인접 셀의 통화량이 기준 셀보다 큰 경우 $0 \leq \sigma \leq 6\text{dB}$ 범위에서 σ 의 증가에 따라 용량이 다소 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 통화량이 많은 인접 셀의 이동국 일부가 소프트 핸드오프에 의해 기준 기지국으로부터 서비스를 받으므로 기준 기지국이 수신하는 총 전력 중 자기 셀 내의 이동국으로부터 수신하는 전력 비율이 증가하고 결과적으로 주파수 재사용 효율이 증가하기 때문이다. 하지만 σ 가 8, 10dB로 증가할 경우 소프트 핸드오프에 의한 이득보다 세도잉에 의한 다른 셀의 간섭 증가가 더욱 커지므로 주파수 재사용 효율은 감소하고, 이로 인하여 용량은 62%까지 크게 감소하는 것을 볼 수 있다.

한편, 그림 11 및 12에서는 각각 AWGN 및 세도잉

환경에서의 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 계산과 비교하고 있으며, 제안된 방식이 시뮬레이션 결과와 유사한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 셀 간의 불균일한 통화량 분포에 따른 역방향 전력 제어의 동적 특성이 성능에 미치는 영향을 고려하기 위하여, 역방향에서의 간섭에 대한 새로운 정량적 해석 방안을 제시하였다. 본 제안 방식은 모든 셀에서 완벽한 역방향 전력 제어에 의해 시스템 내의 모든 이동국이 요구 품질을 만족하는 신호 대 간섭비 값으로 수렴한 정상 상태에서 평형 방정식의 해를 통해 주파수 재사용 효율을 정량적으로 계산하는 것이다. 제안된 분석 방식에서는 세도잉에 따른 경로 손실 및 소프트 핸드오프를 고려하고, 기존의 전력 제어 모델에서 고려하지 못한 셀 간의 불균일한 통화량 분포로 인한 역방향 전력 제어의 동적 특성을 반영하여 역방향에서의 간섭을 정확하게 정량화할 수 있다.

제안된 방식에서 기준 셀의 통화량 분포가 역방향 링크 전력 제어에 미치는 영향을 4번째 층까지 고려하였으며, 각 층에서 총 수신 전력은 15번째 층까지 계산하였다. 또한, 기준 셀의 통화량 분포가 4번째 층 이상에는 거의 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다. 한편, 경로 손실이 인접 셀의 간섭에 미치는 영향으로서, 감쇄 계수가 2~6의 범위에서 변화할 때 기준 셀에 인접한 셀에서의 간섭의 분포는 4~17%의 범위에서 변화하는 것을 볼 수 있었다. 제안된 방식에 의해 산출된 역방향 간섭과 역방향 전력 제어의 동적 특성을 고려하지 않은 기존의 방식에 의해 산출된 간섭 값은 감쇄 계수가 4, 세도잉의 표준 편차가 8dB인 경우에 주파수 재사용 효율이 통화량 분포에 따라 최대 10% 정도($N_F=4$ 의 경우)의 차이를 보였으며, 이에 따라 인접한 모든 셀의 통화량이 두 배가 될 때 가입자 용량은 최대 10%까지 감소하는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. TIA/EIA/IS-95, "Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System," July 1993.
2. K.S. Gilhousen, I.M. Jacobs, R.Radovani, and L. A. Weaver, "Increased capacity using CDMA for mobile satellite communications," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol.8, pp. 503-514, May 1990.
3. K.S. Gilhousen, I.M. Jacobs, R. Padovani, A.J. Viterbi, L.A. Weaver and C.E. Wheatley, "On the Capacity of a Cellular CDMA System," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.40, No.2, pp. 303-312, May 1991.
4. A.J. Viterbi, A.M. Viterbi and E. Zehavi, "Other-Cell Interference in Cellular Power-Controlled CDMA," *IEEE Trans. Communications*, Vol.42, No.2/3/4, February/March/April 1994.
5. A.M. Viterbi and A.J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol.11, No.6, pp.892-899, August 1993.
6. D.J.Y. Lee and W.C.Y. Lee, "Impact of Mobile Distribution on CDMA Capacity," *Proceedings of PIMRC'96*, Vol.1, pp.123-127, 1996.
7. M. Zorzi, "On the analytical computation of the interference statistics in cellular systems," *Proceedings of GLOBECOM'96*, pp.540-544, 1996.
8. A.J. Viterbi, A.M. Viterbi, K.S. Gilhousen, and E. Zehavi, "Soft Handoff Extends CDMA Cell Coverage and Increases Reverse Link Capacity," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 12, pp.1281-1288, Oct. 1994.
9. M.R. Heath and P. Newson, "On the Capacity of Spread-spectrum CDMA for Mobile Radio," *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol.2, pp.985-988, 1992.
10. E.S. Shin, H. Lee, K.H. Kim and I.M. Jeong, "Unequal Cell Loading and SIR Based Power Control and Site Diversity Effect on Forward Link Performance in DS/CDMA," *International Conference on Telecommunications*, pp.667-670, April 1997.
11. D.S. Kwon and E.S. Shin, "Effects of Path Loss

and Cell Loading on the Performance of DS/CDMA system," *Telecommunications Review*, Vol. 6, No.5, pp.568-576, 1996.

12. M.A. Landolsi, V.V. Veeravalli and N. Jain, "New Results on the Reverse Link Capacity of CDMA Cellular Networks," *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol.3, pp.1462-1466, April 1996.
13. Qualcomm Inc. "The CDMA Network Engineering Handbook," Draft Version X1, November 1992.



정 경 수(Kyung S. Chung) 정회원
 1992년 3월~1996년 2월: 고려대학교 전파공학과(공학사)
 1996년 3월~1998년 2월: 고려대학교 대학원 전파공학과(공학석사)
 ※주관심분야: CDMA 셀룰라 시스템, 핸드오프, 전력제어



오 종 택(Jong T. Oh) 정회원
 1963년 11월 4일생
 1982년 3월~1986년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 학사과정 및 학위취득
 1986년 3월~1987년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 석사과정
 1987년 3월~1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사과정 및 학위취득
 1989년 3월~1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정 및 학위취득
 1993년 12월~1995년 4월: 한국전기통신공사 연구개발원 통신시스템개발센터 선임연구원
 1995년 5월~현재: 한국전기통신공사 연구개발원 무선통신개발단 선임연구원
 ※주관심분야: 신호처리분야, 이동통신관련분야

강 총 구(Chung G. Kang) 정회원
 1987년 6월: Univ. of California, San Diego, Dept. of Electrical Engineering 학사(BS)
 1989년 9월: Univ. of California, Irvine, Dept. of Electrical & Computer Engineering 석사(MS)
 1993년 3월: Univ. of California, Irvine, Dept. of Electrical & Computer Engineering 공학박사(Ph.D)
 1991년 7월~1992년 5월: Aerospace Corp. 연구원
 1993년 4월~1994년 2월: Rockwell International 연구원
 1994년 3월~현재: 고려대학교 전기·전자·전파 공학부 조교수
 ※주관심분야: 무선 통신망 설계, 무선 정보통신 시스템 공학, CDMA 망 최적화, 무선 멀티미디어 통신 시스템(무선 ATM, 광대역 위성망)

차 균 현(Kyoon H. Tchah) 정회원
 1965년 2월: 서울대학교 전기공학과 공학사
 1967년 6월: 미국 일리노이 공과대학 대학원 공학석사
 1979년 6월: 서울대학교 대학원 공학박사
 1977년 3월~현재: 고려대학교 전자공학과 교수
 1998년 1월~현재: 한국통신학회 회장
 ※주관심분야: 이동통신, 위성통신, 이동데이터통신