

# 동종네트워크 상에서 셀 소형화 간섭 완화 기법 및 성능 분석

장 예 옥\*, 조 은 형\*, 홍 인 기\*

## Effect of Interference Mitigation Technique and Performance Analysis for Small Cell in Homogeneous Networks

Ye-ok Jang\*, Eun-hyung Cho\*, Een-kee Hong\*

### 요 약

LTE/LTE-adv. 서비스 도입에 따라 높은 데이터 전송률을 요하는 다양한 서비스들이 제공되면서 모바일 트래픽은 더욱 가파르게 증가하고 있다. 이러한 트래픽 수요의 폭발적인 증가에 대응하기 위한 새로운 주요 기술로 소형 셀 기술이 각광받고 있다. 소형셀 기술은 셀 반경을 현격히 줄여서 소형 기지국의 수를 증가시킴으로써 수용 가능한 트래픽 양을 늘릴 수 있다. 본 논문은 동종네트워크의 outdoor 환경에서 소형셀 도입에 따른 셀 치밀화(cell densification) 효과에 대해 셀 분할 효과와 단위 면적당 UE 수를 별도로 고려하여 SINR(Signal to Interference-Noise Ratio)과 UE(User Equipment)당 평균 수율 변화를 분석하였다. 또한 셀이 소형화되면 셀 간 간격이 좁아지면서 인접셀 간 간섭이 심화되어 SINR이 열화되기 때문에 본 논문은 간섭 제어가 적절하게 이루어졌을 때의 SINR 이득을 보임으로써 소형셀 환경에서의 간섭 제거 기법의 효과를 검증하였다.

**Key Words** : Small cell, Cell Densification, LTE/LTE-adv., Cellular system, Interference mitigation

### ABSTRACT

As various services requiring high data rate are supported by introducing LTE/LTE-adv., mobile traffic increases rapidly. To cope with the continuous growth of traffic demand, small cell technology is considered as one of the most promising one. Small cell can increase system capacity by increasing the number of base stations with reduced cell radius. In this paper, we analyze the effect of cell densification with small cells in terms of SINR and average UE throughput considering cell split and the number of UE per unit area. As the cell becomes smaller, SINR degradation arises from high ICI(Inter Cell Interference) and we evaluate the effect of interference mitigation scheme in small cell environment where the proper interference mitigation technique is applied.

### I. 서 론

다양한 스마트 기기들의 도입으로 최근 몇 년 간

모바일 트래픽은 기하급수적으로 증가하였다. 현재 전 세계의 사업자들이 LTE(Long Term Evolution)와 LTE-A (LTE-Advanced) 서비스를 제공함으로써

\* 본 연구는 2013년도 과학기술국제화 사업의 연구 과제(NRF-2012K1A3A1A26034927)로 수행되었습니다.

• First Author : Kyunghee University Department of Electronic Radio Engineering, jyo27@khu.ac.kr, 학생회원

• First Author : Kyunghee University Department of Electronic Radio Engineering, cejhc09@khu.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Kyunghee University Department of Electronic Radio Engineering, ekhong@khu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2014-06-240, Received June 16, 2014; Revised July 29, 2014; Accepted September 12, 2014

자연 시간과 주파수 효율이 향상된 통신이 가능해졌지만, 지금까지의 트래픽 증가 추세로 보아 향후 출범될 통신 시스템은 현재보다 훨씬 높은 시스템 용량을 요구할 것으로 보인다. 한정된 주파수 자원을 보다 효율적으로 운용하기 위한 방안으로 고려되는 대표적인 기술 중의 하나가 small cell(소형셀) 기술이다<sup>1)</sup>.

소형셀 기술은 LTE Release 10부터 데이터 트래픽의 꾸준한 증가에 대응하기 위한 중요한 진화 방향으로 고려되었고, 3GPP Release 12에서는 모바일 트래픽 폭증, 에너지 절감, 비용 효율, 다양한 데이터 타입 지원, 높은 품질, 백홀 향상 등을 고려한 시스템 용량 증대를 위해 3D MIMO Beamforming, MTC(Machine Type Communication), SONs(Self Organizing Networks)와 더불어 소형셀 기술을 주요 기술 중 하나로 택하여 표준화가 진행되고 있다<sup>2)</sup>. 소형셀 기술은 셀 반경을 현격히 줄여서 기지국의 수를 증가시킴으로써 수용 가능한 트래픽 양을 크게 늘릴 수 있기 때문에 특히 사용자가 밀집되어 있는 hotspot 지역의 데이터 수용량 부족을 해소시키는 해결책으로 여겨진다. 또한 매크로 기지국에 비해 설치비용이 절감되고, 서비스 영역의 확장 및 높은 데이터율을 제공할 수 있다. 그러나 기지국 간 거리가 감소됨에 따른 잦은 핸드오버(handover)가 발생하여 이동성(mobility) 지원에 취약하고 이동성 취약의 문제는 초고속 데이터 전송 지원이 필수적인 5G 시스템에 큰 제약이 될 수 있다. 또한 소형셀 기술이 도입되면 인접 셀 간의 거리가 줄어들어 셀 간 간섭이 증가하고, 셀의 수가 늘어나면서 증가한 셀 경계 UE(User Equipment)들에게 셀 간 간섭(Inter-Cell Interference:ICI)이 매우 크게 작용하여 전체 시스템 성능 저하를 가져오기 때문에 이를 보완하는 다양한 기술도 같이 적용되어야 기대하는 만큼의 성능 향상을 이룰 수 있다.

소형셀 기술의 접근 방식으로는 동종 네트워크(homogeneous network)와 이기종 네트워크(heterogeneous network)가 있다. 그림 1과 같이 동종 네트워크에서의 소형셀은 해당 서비스 영역을 다수의 셀이

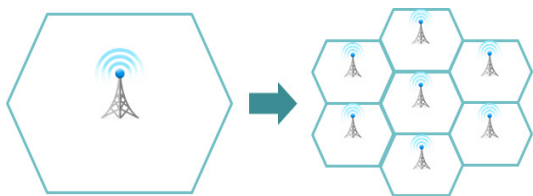


그림 1. 동종 네트워크에서의 소형셀 기술  
Fig. 1. Small cell approach in homogeneous network

나누어 서비스함으로써 cell densification 효과를 가져온다. 또한 셀 간 거리 감소에 따른 수신 전력의 이득을 얻을 수 있고 주파수 재사용 효과가 커 UE에게 보다 많은 무선 자원할당이 가능하다. 이기종 네트워크에서는 다양한 소형셀 배치 시나리오가 제안되는 가운데, 3GPP에서 고려하는 소형셀 배치 시나리오는 그림 2와 같이 크게 4가지로 나눌 수 있다<sup>3)</sup>. 첫 번째 시나리오에서는 소형셀이 기존의 매크로셀(macro cell) 네트워크에 중첩되도록 배치된다. 이 때, 매크로셀과 소형셀은 같은 주파수 대역을 사용하는 것으로 가정하기 때문에 하향링크에서 소형셀이 매크로셀로부터 겪는 간섭은 매우 크다. 그렇기 때문에 이 시나리오에서는 매크로셀과 소형셀의 간섭을 제어하기 위해 ABS(Almost Blank Subframe), CoMP(Coordinated Multi Point)와 같은 간섭 제어 기법을 요한다. 소형셀의 환경이 indoor와 outdoor로 나뉘는 두 번째와 세 번째 시나리오는 그림 2-(b)와 같이 매크로셀과 소형셀이 서로 다른 주파수 대역을 사용하는 것으로, 매크로셀과 소형셀 간의 간섭은 없다. 이 경우에는 같은 주파수 대역을 쓰는 소형셀들 간 간섭을 제어하는 기

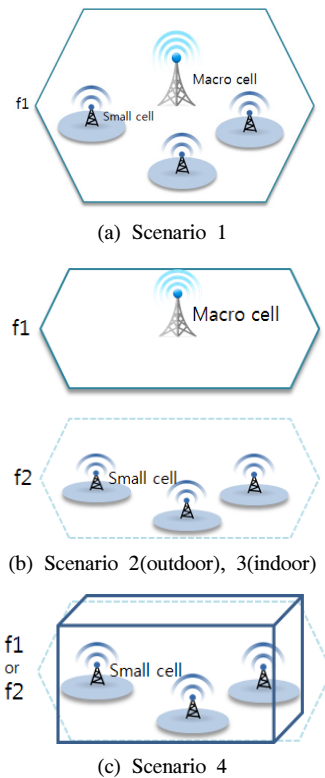


그림 2. 3GPP의 소형셀 배치 시나리오  
Fig. 2. Small cell deployment scenarios of 3GPP

술이 필요하다. 마지막 소형셀 배치 시나리오는 indoor 배치 시나리오이다. 이 시나리오는 outdoor 서비스 영역과 매크로셀이 존재하지 않고, indoor 환경에서의 소형셀만 고려한다. 이 외에도 다양한 소형셀 배치 시나리오가 제안되는 가운데, 그림 2-(b)의 시나리오에서 제어 신호와 데이터 신호를 분리하여 제어 신호는 기존의 매크로셀 단위로, 데이터는 소형셀 단위로 전달되는 시나리오가 주목받고 있다.

기존 소형셀 연구는 동중 네트워크의 경우 사용자의 수를 고려하지 않고 ISD에 따른 에너지 효율, 시스템 용량 측면에서 이루어지고<sup>[4,5]</sup>, 이기종 네트워크에서는 4가지 소형셀 도입 시나리오에 따른 매크로셀과 소형셀 간의 간섭 문제와 무선 자원 배분 등을 주로 분석하고 있다<sup>[6-9]</sup>. 소형셀 관련 대부분의 연구가 매크로셀과 소형셀 간의 간섭을 주로 다루고 있으나, hot spot과 같은 지역에서는 여러 소형셀이 인접하여 배치될 가능성이 높고, 이럴 경우 동중네트워크 상의 셀 간 간섭 영향을 평가할 필요가 있다. 또한 기존의 셀 분할 기법에서도 어느 한계 이상의 셀 소형화는 셀 간 간섭문제로 셀 분할효과가 크지 않으므로 이에 대한 분석도 필요하다. 본 논문에서는 SLS를 이용하여 동중 네트워크에서의 소형셀 도입에 따른 cell densification(셀 치밀화) 효과를 분석한다. 동중네트워크 환경에서 셀 소형화의 효과를 분석하기 위해 각 셀 반경에 따른 변수값들에 대한 조정이 필요하다. 특히, 송신 전력은 사용자의 수신 전력 및 셀 간 간섭에 큰 영향을 미치므로 셀 소형화에 따른 성능 분석 시 중요한 변수이다. 본 논문에서는 SLS를 통해 셀 소형화 도입 시, 최적의 송신 전력값을 설정한다. 또한 동중네트워크에서 셀을 소형화 하면, cell densification 효과에 의한 수신 전력 이득 및 주파수 재사용 효율 증가와 셀 소형화에서 비롯되는 간섭 사이의 trade-off가 발생하기 때문에 이에 대하여 분석하였다. 이를 위해, 셀 반경 감소를 통한 cell densification 효과가 수신 전력 및 간섭량의 변화와 평균 사용자 수에 미치는 영향을 비교 분석하고, 나아가 셀 소형화에서 문제시되는 간섭에 대해 적절한 간섭 제어를 수행하였을 때의 셀 소형화 효과를 분석하였다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 갖는다. II장에서는 셀 소형화 효과를 측정 및 비교하기 위해 사용한 시스템 모델을 보이고, III장에서는 시뮬레이션의 결과를 통해 소형셀의 효과를 비교 및 분석한다. 또한 간단한 간섭 기법을 사용하여 간섭 완화의 효과를 검증하고 IV장에서 본 논문의 내용과 결과를 요약함으로써 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

상향 링크와 하향 링크의 트래픽 불균등으로 인해 더 큰 용량이 필요한 하향 링크가 전체 시스템의 성능을 나타내기 때문에 본 논문에서는 동중 네트워크(homogeneous networks) 시스템 상에서 무선 채널 환경을 적용한 하향 링크의 SLS(System Level Simulation)을 통해 성능을 비교한다. 표 1의 시뮬레이션의 환경과 파라미터 및 식(1)-(3)의 수식은 ITU-R의 권고안<sup>[10]</sup>과 IEEE 802.16m의 EMD (Evaluation Methodology Document)<sup>[11]</sup>를 참고하였다. 한 클러스터에 7개의 육각셀이 존재하고 각 셀은 3개의 섹터로 구성되며 wrap-around 모델을 적용하였다. 각 셀의 중심에 기지국이 위치하며 다음과 같은 안테나 패턴을 사용한다. 식 (1)<sup>[10]</sup>에서 3dB 빔 폭을 나타내는

표 1. 시뮬레이션 변수  
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value		
Deployment scenario	Homogeneous		
Cellular layout	Hexagonal grid, 7 cell sites, 3sectors per site (wrap-around)		
System bandwidth	10MHz		
UE distribution	Randomly and uniformly distributed		
UE speed	3km/h		
Inter-site distance	60m	200m	500m
Carrier frequency	3.4GHz	2.5GHz	2GHz
Antenna configuration	SISO		
BS antenna height	6m	10m	25m
BS antenna gain	17dBi	17dBi	17dBi
Total BS Transmit power	30dBm	41dBm	46dBm
Minimum distance between UE and BS	3m	10m	25m
Thermal noise level	-174dB		
Tx antenna pattern at BS	3-sector antenna pattern		
Traffic model	Full buffer		
Channel model	SCM		
Scheduler	Proportional Fairness		

$\theta_{3dB}$ 는  $70^\circ$  로,  $\theta_{tilt}$ 는  $12^\circ$ , 최대 감쇠 전력  $A_m$ 은 20dB로 설정하였다.

$$A(\theta) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\theta - \theta_{tilt}}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right], -90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \quad (1)$$

각 사용자는 하나의 기지국에서만 서비스 받는 것으로 가정하고, 주파수 재사용 계수는 1로 한 섹터 안의 UE들은 동일한 주파수 자원을 공유한다. 주파수 자원은 한 RB(Resource Block) 당 12개의 subcarriers로 50개의 RB이 있고, 3개의 RB이 한 RBG(Resource Block Group)이 되어 총 17개의 RBG으로 구성되어있다<sup>[12]</sup>. 주파수 자원은 RBG단위로 UE에게 할당하며, PF(Proportional Fairness) 스케줄링 알고리즘을 통해 자원을 할당하였다. 데이터 전송에는 AMC(Adaptive Modulation and Coding), HARQ(Hybrid ARQ) 기법이 적용되었다. AMC 기법을 적용하기 위해 각 UE는 자신이 서비스 받는 기지국에 채널 정보를 피드백하고 피드백의 지연시간은 3ms이다. 각 UE는 HARQ를 위한 원형 버퍼를 가지며, 데이터 전송

후 계산된 BLER(Block Error Rate)이 타겟 BLER보다 높을 경우, 해당 UE는 할당받았던 RBG 인덱스와 수신 시간, MCS(Modulation Coding Scheme) level, ESINR(Effective SINR)에 대한 정보를 원형 버퍼에 저장한다. 버퍼에 저장된 데이터는 HARQ RTT(Round Trip Time) 이후 재전송되며 HARQ RTT는 8ms이다.<sup>[13]</sup> ISD(Inter-Site Distance)에 따라 적용된 경로 손실 모델은 표 3<sup>[10]</sup>과 같다. 먼저 ISD와 기지국과 UE 간의 거리에 따라 표 2<sup>[10]</sup>의 LoS(Line of Sight) 확률을 적용하여 LoS와 NLoS 상태를 결정하고, 표 3의 경로 손실 모델에 따라 path loss를 계산한다. Outdoor환경에서 ISD가 60m인 경우, 제시된 모델이 없기 때문에 200m의 LoS 확률과 경로 손실 모델을 적용하였는데 LoS확률과 경로 손실 모델이 거리에 따른 함수이기 때문에 큰 문제가 없다. 표 3에서  $d$ 는 기지국과 UE 사이의 거리를 나타내고  $d_{BP}$ 는 break point distance로 ITU-R의 권고인<sup>[10]</sup>에 따라 계산하였다.

본 논문에서는 셀이 소형화될 때의 성능 비교를 위한 metric으로 SINR(Signal to Interference-Noise

표 2. LoS 확률  
Table 2. LoS probability

Scenario	LoS probability as a function of distance, d(m)
60m indoor	$P_{LoS} = \begin{cases} 1, & d \leq 18 \\ \exp(-(d-18)/27), & 18 < d < 37 \\ 0.5, & d \geq 37 \end{cases}$
200m outdoor	$P_{LoS} = \min(18/d, 1) \cdot (1 - \exp(-d/36)) + \exp(-d/36)$
500m outdoor	$P_{LoS} = \min(18/d, 1) \cdot (1 - \exp(-d/63)) + \exp(-d/63)$

표 3. 경로 손실 모델  
Table 3. Path loss model

ISD		Path loss model	Applicability range
60m indoor	LoS	$PL = 22.0 \log_{10}(d) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c)$	
	NLoS	$PL = 43.3 \log_{10}(d) + 11.5 + 20 \log_{10}(f_c)$	
200m outdoor	LoS	$PL = 22.0 \log_{10}(d) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c)$ $PL = 40 \log_{10}(d) + 7.8 - 18 \log_{10}(h_{BS}) - 18 \log_{10}(h_{UT}) + 20 \log_{10}(f_c)$	$10m < d < d_{BP}$ $d_{BP} < d < 5000m$
	NLoS	$PL = 36.7 \log_{10}(d) + 22.7 + 20 \log_{10}(f_c)$	
500m outdoor	LoS	$PL = 22.0 \log_{10}(d) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c)$ $PL = 40 \log_{10}(d) + 7.8 - 18 \log_{10}(h_{BS}) - 18 \log_{10}(h_{UT}) + 20 \log_{10}(f_c)$	$10m < d < d_{BP}$ $d_{BP} < d < 5000m$
	NLoS	$PL = 161.04 - 7.1 \log_{10}(W) + 7.5 \log_{10}(h) - (24.37 - 3.7(h/h_{BS})^2) \log_{10}(h_{BS})$ $+ (43.42 - 3.1 \log_{10}(h_{BS})) (\log_{10}(d) - 3) + 20 \log_{10}(f_c)$ $- (3.2 (\log_{10}(11.75 h_{UT}))^2 - 4.97)$	

Ratio) 값과 UE당 goodput을 사용하였다.  $k$ 번째 UE의 SINR은 식 (2)<sup>[11]</sup>를 통해 계산된다.

$$SINR_k = \frac{P_{Tx} P_{loss} |H_{i,k}|^2}{n + \sum_{j=1, j \neq i}^M P_{Tx} P_{loss} |H_{j,k}|^2} \quad (2)$$

기지국  $i$ 가  $k$ 번째 UE를 서비스할 때, 위 식에서  $H_{i,k}$ 는 기지국  $i$ 와  $k$ 번째 UE 사이의 안테나 이득,  $P_{loss}$ 는 shadowing과 안테나 이득을 포함한 경로 손실을 나타내고  $M$ 은 성터의 수,  $n$ 은 가우시안 잡음 전력이다.  $k$ 번째 UE의 평균 goodput은  $R_k^{DL}$ 은 식 (3)<sup>[11]</sup>을 통해 얻는다.

$$R_k^{DL} = \frac{\sum_{l=1}^{F^{DL}} b_{l,k}}{T_{sim}} \quad (3)$$

여기서  $F^{DL}$ 는 시뮬레이션 안에서 전달된 총 프레임 수이고,  $b_{l,k}$ 는  $k$ 번째 UE가  $l$  프레임에서 받은 bits를 나타낸다.  $\sum_{l=1}^{F^{DL}} b_{l,k}$ 은 시스템에 적용된 HARQ 기법에 의해 BLER이 일정 기준 이하일 경우, 전송에 오류가 있다고 판정되어 다음 프레임에서 재전송이 이루어지므로 오류 없이 수신되는 goodput으로 계산된다.  $k$ 번째 UE가  $F^{DL}$ 만큼의 프레임을 통해 받은 bits를 전체 시뮬레이션 시간인  $T_{sim}$ 로 나누어  $k$ 번째 UE의 평균 goodput을 구한다.

### III. 시뮬레이션 및 분석

동중 네트워크 하향 링크에서 셀 반경을 줄이게 되면 경로 손실이 감소되기 때문에 UE의 수신 전력은 증가한다. 그러나 수신 전력이 증가함과 동시에, 인접 기지국으로부터 받는 간섭 신호의 전력 또한 증가하여 셀 소형화가 실제 SINR과 throughput에 미치는 영향을 SLS를 통하여 분석할 필요가 있다. 이에 앞서, 소형셀의 효과를 측정하기 위해 먼저 outdoor환경에서 셀 간 거리가 60m인 소형셀에 대한 최적의 송신 전력을 구하였다.

#### 3.1 소형셀의 송신 전력

ITU에서 시스템 성능 분석을 위한 기준 파라미터

값을 제시하고 있는데 ISD가 200m, 500m인 경우도 송신 전력이 각각 41dBm, 46dBm으로 제시된 바 있고, 60m인 경우는 indoor환경에 대해서만 정의하고 있다. 셀이 소형화 될 때 기존 매크로셀 기준의 전력을 송신하게 되면 셀 간 간섭 영향이 커지므로 ISD가 60m인 outdoor 환경에 대한 최적의 전송 전력이 필요하다.

식 (2)를 보면 송신 전력에 증가함에 따라 수신 전력과 간섭양도 증가함을 알 수 있다. 그러나 일정 송신 전력 이상에서는 SINR이 saturation 되기 때문에 시뮬레이션을 통해 outdoor환경에서 ISD가 60m일 때 최대의 SINR을 갖는 최소 송신 전력을 구하였다. 송신 전력에 따른 SINR 분석을 위해 한 UE에 대해 UE의 위치와 LOS/NLOS 적용 환경을 고정하여 randomness를 제거한 후, indoor환경에서 사용되는 18dBm을 기준으로 임의의 송신 전력을 지정하여 성능을 비교하였다. 그림 3과 같이 전력이 15dBm에서 30dBm일 때까지는 송신 전력이 증가함에 따라 SINR이득이 있는 반면, 30dBm 이상에서는 SINR 개선 효과가 적었다. 그러므로 동중네트워크 outdoor 환경에서 ISD가 60m인 소형셀이 최대 SINR을 갖기 위한 최소 송신 전력으로 30dBm이 가장 효율적이다.

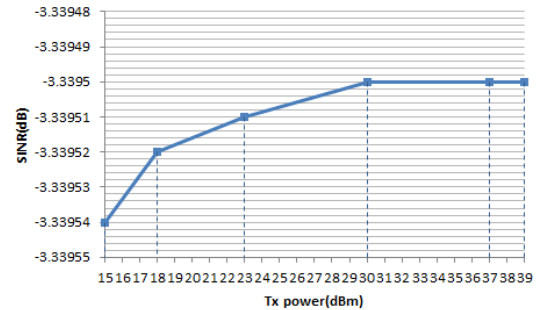


그림 3. 소형셀의 송신 전력에 따른 SINR 비교  
Fig. 3. SINR according to transmit power in small cell

#### 3.2 Cell Densification(셀 치밀화)

셀 반경이 줄어들수록 평균 수신 전력은 올라가지만 다수의 간섭원으로부터의 간섭값이 커지기 때문에 평균 SINR이 오히려 열화된다. 이 때, UE들의 평균 goodput에 미치는 cell densification의 효과를 그림 4와 같이 두 가지 case로 나누어 분석할 수 있다. Case 1은 셀 당 커버리지의 UE 수를 동일하게 설정하여, 셀이 소형화될 때 전체 시스템 UE 수는 증가한다. 이 경우, 한정된 무선 자원에서 수가 늘어난 소형 기지국에 의해 더 많은 UE가 서비스 받기 때문에 주파수 재

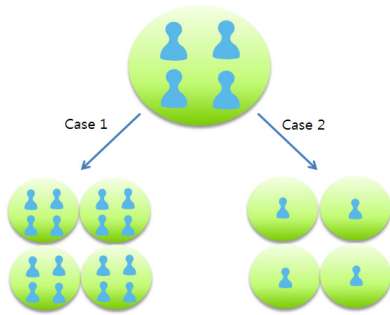


그림 4. Case에 따른 UE 분포  
Fig. 4. Distribution of UE across the case

사용 효과가 크다. Case 2는 단위 면적당 UE 수를 동일하게 설정하여 셀 당 UE 수가 줄어들면서 case 1에 비해 셀 안의 UE에게 많은 무선 자원 할당이 가능하다. 즉, 셀을 소형화할 때, case에 따라서 무선 자원에 대한 이득이 다르기 때문에 cell densification 효과가 UE들의 평균 goodput에 미치는 영향도 각각 다르다.

3.2.1 Case 1 : 셀 당 UE 수가 동일할 때

그림 4의 case 1은 한 기지국이 서비스해야 하는 UE(serving UE) 수를 동일하게 유지하면서 셀 반경을 줄이는 경우이다. 셀 간 거리가 가까워짐에 따라 수신 전력에 비해 간섭양이 매우 증가하여 그림 5와 같이 SINR이 저하되는 결과를 가져온다. 셀 소형화가 이루어질 때, 기지국 당 UE 수가 동일하므로 가용 무선 자원량은 일정한 반면, SINR은 열화되기 때문에 그림 6과 같이 평균 UE goodput은 줄어들게 된다.

소형셀 기술은 셀 반경이 큰 기지국 대신 셀 반경이 작은 기지국을 여러 대 설치함으로써 한 기지국이 서비스 하는 UE 수가 줄어들고, 따라서 상대적으로 UE 당 사용가능한 자원이 증가되어 성능이 향상되는

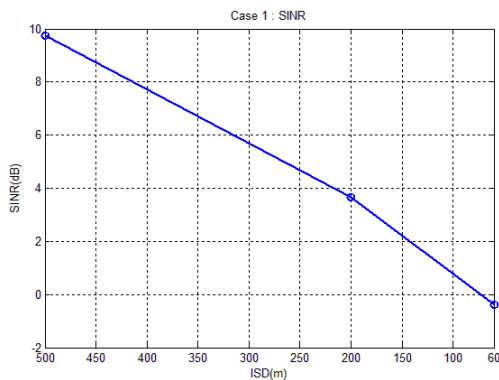


그림 5. Case 1 : ISD에 따른 SINR  
Fig. 5. Case 1 : SINR according to ISD

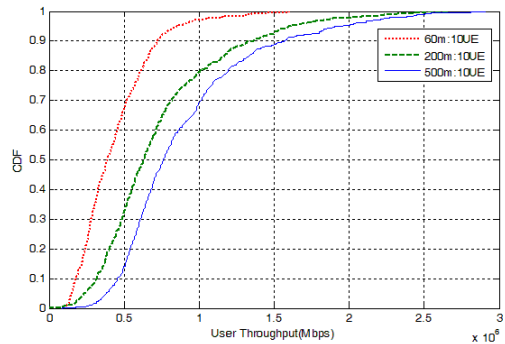


그림 6. Case 1 : ISD별 사용자 유효처리율 CDF  
Fig. 6. Case 1 : CDF of user goodput according to ISD

기술이다. 하지만 case 1은 기지국 당 서비스하는 UE 수의 감소를 고려하지 않았기 때문에 셀 소형화의 성능 향상 효과를 볼 수 없었다. 그러므로 그림 4의 case 2와 같이 단위 면적당 UE 수를 동일하게 하여 시물레이션 해야 셀 소형화의 효과를 확인할 수 있다.

3.2.2 Case 2 : 단위 면적당 UE 수가 동일할 때

Case 1과 같이 셀 당 UE 수를 동일하게 하여 cell densification을 수행하면 셀 당 주어지는 주파수 자원과 UE의 수는 같기 때문에 셀 내의 UE들에게 할당 가능한 무선 자원량은 셀 소형화 이전과 동일하다. 반면, 셀 커버리지의 단위 면적당 UE 수를 동일하게 한 case 2에서는 셀이 소형화될수록 셀 당 UE수가 줄어들기 때문에 셀 내 UE에게 case 1에 비해 많은 무선 자원 할당이 가능하다. 표 4와 같이 ISD가 500m인 경우에 한 섹터 당 UE 수를 75명으로 설정하고, 단위 면적당 UE의 수를 동일하게 하기 위해 섹터 당 UE 수에 셀 간 거리 비의 제곱배를 역으로 곱하여 계산하였다. 앞서 말한 것과 같이 셀 반경이 줄어들면 간섭양의 큰 증가로 SINR이 감소하지만, 동시에 셀 내 UE 수가 줄어들면서 한 UE 당 사용 가능한 자원량이 증가하여 그림 8에서 볼 수 있듯이 평균 UE goodput이 향상된다. Shannon의 시스템 용량  $C = W \log_2(1 + SINR)$ 에서 시스템 용량은 SINR 보다 주파수 자원에 훨씬 큰 영향을 받는 것을 알 수 있고, 이로 인해 결과적으로 소형셀의 도입으로 인한 cell densification의 효과

표 4. 한 섹터 내 UE 수  
Table 4. Number of UE per sector

Scenario	60m	200m	500m
Case 1	10 UE	10 UE	10 UE
Case 2	1 UE	12 UE	75 UE

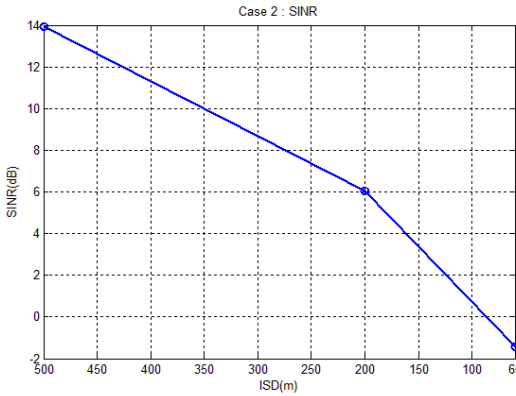


그림 7. Case 2 : ISD에 따른 SINR  
Fig. 7. Case 2 : SINR for ISD

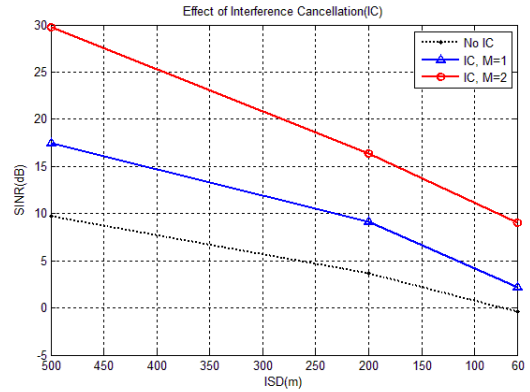


그림 9. 간섭 제거 기법에 의한 효과  
Fig. 9. Effect of interference cancellation

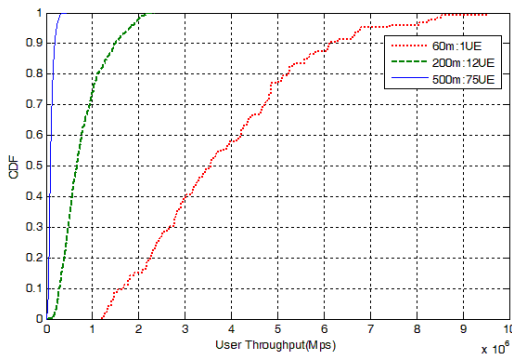


그림 8. Case 2 : ISD별 사용자 유효처리율 CDF  
Fig. 8. Case 2 : CDF of user goodput for ISD

를 충분히 얻을 수 있다.

### 3.3 간섭 제거를 고려한 cell densification

셀을 소형화 하여 얻게 되는 cell densification 효과를 통해 시스템 용량을 증대하고자 하는 소형셀 기술의 가장 큰 맹점은 간섭 심화 현상이다. 셀 반경을 줄였을 때, 기지국 간 거리가 가까워져 간섭량의 증가로 인해 SINR이 저하되어 소형셀 환경에서의 간섭 제거가 매우 중요하다. 간섭 제거 기법은 크게 LS(Least Squares)<sup>[14,15]</sup>, ZF(Zero Forcing)<sup>[16]</sup> 등의 detection algorithm을 이용하는 signal processing 방식과 VBLAST(Vertical Bell Laboratories Layered Space-Time)<sup>[17]</sup>, SIC(Successive Interference Cancellation)<sup>[18-20]</sup>와 같은 cancellation 방식으로 나눌 수 있다. 본 절에서는 복잡도가 낮은 SIC로 구현가능한 가장 큰 간섭부터 M개의 간섭을 cancellation하는 간섭 제거 기법이 적용되었을 때의 cell densification 효과를 분석하고 간섭 제거 기법의 필요성을 보였다. 그림 9는

간섭 제거 기법의 효과를 보여주는 SINR 그래프이다. 간섭 제거 기법이 적용되었을 때, ISD에 따라 정도가 다르지만 전체적으로 SINR이 향상되는 것을 볼 수 있다. 또한 제거하는 간섭의 수 M을 증가시킬수록 SINR이 더욱 향상되었다. ISD가 500m에서 60m로 셀이 소형화될수록 간섭 제거 기법의 효과가 줄어들기 때문에 소형셀의 간섭 문제를 보다 효과적으로 해결할 간섭 제거 기법이 필요하다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 주파수의 효율적 운용과 폭증하는 모바일 트래픽의 해결책으로 주목 받는 소형셀 기술이 시스템 용량에 가져오는 실제적 효과를 셀 분할 효과 측면과 셀 당 UE 수를 고려한 측면으로 나누어 분석하였다. 셀 소형화의 효과를 검증하기 위해 먼저 지정된 변수값이 없는 outdoor 환경에서 ISD가 60m인 소형셀의 송신 전력값을 SLS를 통해 구하였다. 이 송신 전력이 적용된 셀 소형화에 대한 SLS 결과 분석을 통해서 소형셀을 이용한 cell densification 효과로 500m에서 60m까지 ISD를 줄일 때, 기존 시스템보다 하나의 기지국이 서비스하는 UE 수가 75명에서 최대 1명으로 줄어들기 때문에 무선 자원 측면에서 이득을 얻게 되어 0.104Mbps에서 3.82Mbps로 전체 시스템 성능을 향상시키는 것을 볼 수 있다. 그러나 셀 반경이 일정 수준 이하로 작아짐에 따라 셀 간 간섭이 증가하여 SINR이 열화되기 때문에 이를 개선할 필요가 있다. 간섭 제거 기법 중 하나인 interference cancellation 기법을 적용하여 가장 큰 간섭부터 M개의 간섭을 제거할 때, SINR이 최소 2.5dB에서 최대 20dB 만큼 향상

되는 것을 볼 수 있었으나 셀 소형화에서는 효율적이  
지 못하여 전체 간섭을 보다 효과적으로 완화할 수 있  
는 기법에 대한 연구가 필요하다.

## References

- [1] T. Nakamura, S. Nagata, and A. Benjebbour, "Trends in Small Cell Enhancements in LTE Advanced," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 98-105, Feb. 2013
- [2] E. Seidel, *3GPP LTE-A Standardisation in Release 12 and Beyond*, Oct. 10, 2013, from <http://www.nomor.de/home/technology/white-papers/lte-a-rel12-and-beyond>
- [3] 3GPP TR 36.872 v12.1.0, *Small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN Physical layer aspects*, Dec. 2013.
- [4] F. Richter and G. Fettweis, "Cellular mobile network densification utilizing micro base stations," in *IEEE ICC 2010*, pp. 1-6, Cape Town, Rep. of South Africa, May 2010.
- [5] S. F. Yunas, T. Isotalo, J. Niemelä, and M. Valkama, "Impact of macrocellular network densification on the capacity, energy and cost efficiency in dense urban environment," *IJWMN*, vol. 5, no. 5, pp. 99-118, Oct. 2013
- [6] D. López-Pérez, I. Güvenc, G. de la Roche, M. Kountouris, T. Q. S. Quek, and Jie Zhang, "Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 22-30, Jun. 2011.
- [7] S. Kim, K. Kim, and E. Hong, "Analysis on interference control in heterogeneous networks," *J. KICS*, vol. 38A, no. 3, pp. 268- 276, 2013.
- [8] W. Shin, W. Noh, K. Jang, and H.-H. Choi, "Hierarchical interference alignment for downlink heterogeneous networks," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 11, no. 12, pp. 4549-4559, Dec. 2012.
- [9] S. K. Sharma, S. Chatzinotas, and B. Ottersten, "Interference alignment for spectral coexistence of heterogeneous networks," *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 46, Feb. 2013.
- [10] ITU-R M.2135-1 : *Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced.*, Dec. 2009
- [11] IEEE 802.16m, *Evaluation methodology document(EMD)*, Jul. 2008
- [12] 3GPP TS 36.211 v12.0.0, *E-UTRA; Physical channels and modulation*(Release 10), Sept. 2011.
- [13] 3GPP TR 36.912 v11.0.0, *Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)*, Sept. 2012
- [14] V. J. Arokiamary, *Mobile Communications*, Technical Publications, 2009.
- [15] M. Jo and Y. Byun, "New interference alignment technique using least square method in multi-user MIMO systems," *J. KICS*, vol. 37A, no. 6, pp. 488-496, 2012.
- [16] M. Saxena and H. Patel, "An efficient comparison of mimo-ofdm detection using spatial multiplexing techniques," *IJCER*, vol. 3, no. 6, pp. 48-53, Jun. 2013.
- [17] P. W. Wolniansky, G. J. Foschini, G. D. Golden, and R. A. Valenzuela, "V-BLAST: An architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering wireless channel," in *URSI ISSSE*, pp. 295-300, Pisa, Italia, Oct. 1998.
- [18] N. I. Miridakis and D. D. Vergados, "A survey on the successive interference cancellation performance for single-antenna and multiple-antenna OFDM systems," *IEEE Commun. Surveys Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 312-335, 2013.
- [19] X. Hong, Z. Chen, C.-X. Wang, S. A. Vorobyov, and J. S. Thompson, "Interference cancelation and management techniques," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 4, no. 4, pp. 76-84, Dec. 2009.
- [20] X. Zhang and M. Haenggi, *The Performance of Successive Interference Cancellation in Random Wireless Networks*, Retrieved Jul., 2, 2014, from <http://arxiv.org/pdf/1402.1557.pdf>.
- [21] 3GPP TS 36.212 v12.0.0, *E-UTRA; Physical channels and modulation*(Release 10), Sept. 2011.



- [22] 3GPP TS 36.213 v12.0.0, *E-UTRA; Physical channels and modulation*(Release 10), Sept. 2011.
- [23] Y. Jang, E. Cho, and E. Hong, "A study on the effect of interference mitigation technique and system performance in small cell environment," *KICS ICC 2014*, pp. 233-234, Yongpyong, Korea, Jan. 2014.

**장 예 옥 (Ye-ok Jang)**



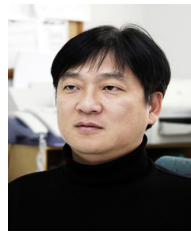
2013년 2월 : 경희대학교 전자·  
전파 공학과 졸업  
2013년 3월~현재 : 경희대학교  
전자·전파 공학과 석사과정  
<관심분야> LTE-A 이동통신,  
Small cell

**조 은 형 (Eun-hyung Cho)**



2013년 2월 : 경희대학교 전자·  
전파 공학과 졸업  
2013년 3월~현재 : 경희대학교  
전자·전파 공학과 석사과정  
<관심분야> LTE-A 이동통신,  
Small cell

**홍 인 기 (Een-kee Hong)**



1989년 2월 : 연세대학교 전기  
공학과 졸업  
1991년 2월 : 연세대학교 전기  
공학과 석사 졸업  
1995년 8월 : 연세대학교 전기  
공학과 박사 졸업  
1995년~1999년 : SKT 선임 연  
구원

1999년~현재 : 한국통신학회 이사

1999년~현재 : 경희대학교 전자·전파공학과 교수