

# LTE-A 이종망 환경에서 ABS와 Power Control의 동시적용과 ABS 비율 도출

성 노 훈\*, 최 영 준\*, 장 지 웅°

## Joint Operation of ABS with Power Control and Derivation of an Effective ABS Ratio for LTE Hetnet Environments

No-Hoon Sung\*, Young-June Choi\*, Ji-Woong Jang°

요 약

LTE-A 시스템의 이종망 네트워크(Heterogeneous Network, HetNet)에서는 스몰셀과 매크로셀 기지국 간의 간섭이 존재한다. 이를 해결하기 위해 3GPP에서는 eICIC(Enhanced Inter Cell Interference Coordination)를 제안하였으며 ABS(Almost Blank Subframe)와 전력 제어 방법이 대표적으로 알려져 있다. 본 논문에서는 전력제어와 ABS 방식의 동시 적용 방안을 제안하였으며 사용자수와 소형의 기지국 수를 고려하여 효율적인 ABS 비율을 도출하였다. ABS와 전력 제어를 동시에 적용한 결과 ABS를 단독 적용한 것보다 향상된 간섭 완화 효과를 얻었으며 사용자 수와 기지국 수에 따라 효율적인 ABS 비율이 다르다는 것을 확인하였다.

**Key Words** : LTE-A, HetNet, eICIC, ABS, Power Control

ABSTRACT

It has been known that interference occurs between macrocell and small-cell base stations in a heterogeneous network (HetNet) of LTE-A. For solving this problem, 3GPP suggested eICIC (Enhanced Inter Cell Interference Coordination) that includes ABS (Almost Blank Subframe) and power control. This paper proposes to use ABS with power control and derives an effective ABS ratio as a function of the number of users and HeNBs. Through simulation, we confirm that integration of ABS and power control can mitigate interference than using ABS only. Furthermore, we verify that an effective ABS ratio is different depending on the number of users and HeNBs.

### I. 서 론

최근의 스마트폰 보급화를 비롯하여 무선 네트워크를 통한 Data 처리 요구량은 기하급수적으로 증가하였으며 2020년에는 현재의 500 ~ 1000배 정도로 증가할거라 예상되고 있다. 이러한 상황을 대처하고자

대한민국을 비롯한 몇몇 국가에서는 LTE-A 시스템을 상용화하여 운영하고 있으며 대한민국은 LTE-A의 Release 13 적용 중에 있다. LTE-A 시스템은 허용 주파수 대역과 같은 제한된 환경에서 Data 처리량을 증가시키기 위해 OFDMA, MIMO, 주파수 재사용(Frequency Reuse)과 같은 기술을 적용하였다. 그리

※ 본 연구는 2015년 울산과학기술대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

• First Author : Ajou University Graduate school of Information and Communication Technology, sungnh87@gmail.com, 학생회원

° Corresponding Author : Ulsan College, Department of Information Technology, jwjang@uc.ac.kr, 정회원

\* Ajou University Graduate school of Information and Communication Technology, choiyj@ajou.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2015-07-226, Received July 17, 2015; Revised November 12, 2015; Accepted November 30, 2015

고 기지국(eNodeB)을 활용하여 하나의 기지국 통신 범위 내에 여러 개의 소형 기지국을 추가 설치하여 운영하는 Heterogeneous Network를 적용하였다. HetNet 기술을 통하여 저비용으로 Data 처리 용량을 월등히 향상시킬 수 있다<sup>[1,2]</sup>. 또한 소형셀을 통해 매크로셀과 같은 본래의 기지국이 담당할 수 없는 부분까지 담당할 수 있는 장점을 가지고 있을 뿐만 아니라 통신 단말기의 배터리 소모와 네트워크 부하를 감소할 수 있다<sup>[3]</sup>.

HetNet의 구성은 크게 가장 큰 범위를 차지하는 Macrocell과 Macrocell과 연동되는 Pico cell 그리고 네트워크 사용자에게 의해 설치되는 Femto cell로 구성 되어있다. 각 셀의 세부 특성은 아래 표 1. 과 같이 구분되어진다. Pico cell과 Macro cell 경우 사업자에 의해 구성된 무선 통신망을 통해 접속되고 Femto cell 경우 사용자가 가입한 인터넷망에 접속되는 특징을 가진다<sup>[1]</sup>. Femto cell과 같은 소형셀의 접속 모드는 3가지로 운영되며 모든 사용자에게 서비스하는 Open Access Mode, 허용된 사용자만 서비스하는 모드인 Closed Access Mode, 서비스하는 사용자에게 우선순위를 주는 Hybrid Access Mode로 나누어진다.

하나의 기지국 범위 안에 다른 기지국이 운영되는 HetNet의 특성 상 각각의 기지국이 같은 주파수 대역 (Co-Channel)을 사용할 경우 기지국 간의 간섭이 발생하게 된다. 더불어 사용자에게 의해 설치되는 소형셀의 특성과 허용된 사용자만이 접근 가능한 모드(Closed Access Mode)에서 간섭은 더욱 증가하게 된다<sup>[3]</sup>.

기지국간의 간섭을 완화하기 위해 3GPP는 간섭 완화 기술인 eICIC(Enhanced Inter Cell Interference Coordination)를 제안하였다<sup>[1]</sup>. eICIC는 크게 Time

domain, Frequency domain, Power domain으로 나눌 수 있으며 Time domain에서는 대표적으로 ABS(Almost Blank Subframe) 기술이 있다. 그리고 Power domain에서는 Power Control 기술이 있다<sup>[4]</sup>. ABS는 간섭이 발생하는 기지국 간의 전송 시간을 다르게 할당하여 간섭 상황을 피하는 기술이고 Power Control은 기지국의 출력을 감소시켜 간섭의 영향을 감소하는 기술이다.

본 논문은 본래의 전송시간보다 감소되는 ABS의 단점을 보완하기 위하여 전력 제어를 우선 적용 후 ABS를 적용하는 알고리즘을 제안하였으며 효과적인 ABS 적용을 위하여 네트워크 사용자 수와 소형셀 수를 고려하여 효율적인 ABS의 할당 비율을 도출해 보았다.

## II. 배 경

### 2.1 셀 간의 간섭(Interference)

소형셀을 활용한 HetNet은 Data 전송 용량을 저비용으로 큰 효율을 가져올 수 있지만 셀 간의 간섭을 동반하게 된다. 셀 간의 간섭은 주로 기지국의 하향 링크에서 발생되어진다. 그림 1. 은 간섭의 3가지 상황을 나타내고 있다. 상황 ①은 매크로셀 사용자가 소형셀 근접거리에 있는 경우에 소형셀이 발생하는 신호로 인해 간섭이 발생하는 상황이다. 상황 ②는 소형셀 사용자가 인접 소형셀이 발생하는 신호로 간섭이 발생하는 상황이다. 상황 ③은 소형셀 사용자가 매크로셀이 발생하는 신호로 인해 간섭이 발생하는 상황이다. 본 논문은 3가지 상황을 모두 고려하여 셀 사용자별로 나누고 본래의 셀로부터 받은 전력과 인접 셀

표 1. 사양에 따른 소형셀 분류<sup>[5]</sup>  
Table 1. Classified smallcell according to specifications<sup>[5]</sup>

	Femto	Pico	Micro/Metro	Macro
Indoor/Outdoor	In	In or Out	Out	Out
Number of users	4 to 16	32 to 100	200	200 to 1000
Maximum output power	20 to 100mW	250mW	2 to 10W	40 to 100W
Maximum cell radius	10 to 50m	200m	2km	10 to 40km
Backhaul	DSL, cable, fiber	Mico wave	Fiber, Micro wave	Fiber, Micro wave

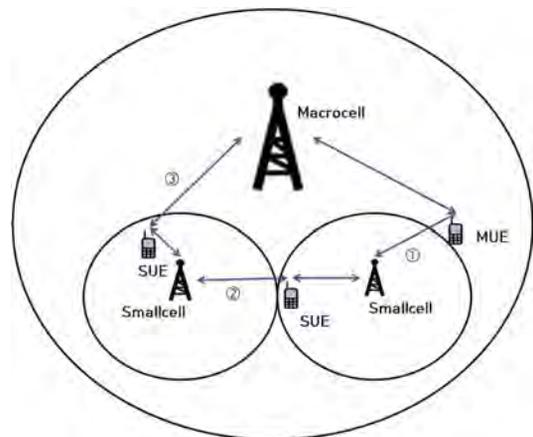


그림 1. 간섭 발생 상황  
Fig. 1. Incidence of interference

로부터 받은 간섭 전력비인 SINR 값을 활용하여 간섭 상황을 파악할 것이다.

### 2.2 ABS(Almost Blank Subframe)

ABS 기술은 LTE-A 시스템의 HetNet 에서 발생할 수 있는 셀 간의 간섭을 완화할 수 있는 기술이다. ABS 기법은 LTE-A 시스템에서 전송되는 One Frame에 구성된 10개의 Subframe을 셀 별로 할당하여 전송할 수 있도록 Time 영역을 나누는 방법이다<sup>6)</sup>. 이 방법으로 간섭에 따른 Data 전송이 어려운 상황을 극복할 수 있다. 그림 2. 는 소형셀에 6개의 Subframe 에 ABS가 할당되도록 하고 매크로셀에 4개의 Subframe을 ABS가 할당되도록 한 내용이다. ABS 기법을 통해 셀 간의 간섭에 따른 Data 전송이 불가능한 상황을 어느 정도 해결할 수 있다. 하지만 ABS가 할당된 셀은 기존의 Data 전송 능력 대비 전송 시간이 감소됨에 따라 전송량이 저하되는 단점을 가지고 있다. 따라서 셀 간의 ABS 비율이 중요하다<sup>7-9)</sup>.

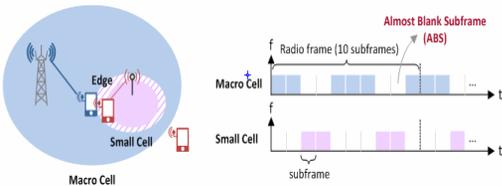


그림 2. ABS(Almost Blank Subframe) 적용<sup>10)</sup>  
Fig. 2. ABS application<sup>10)</sup>

### 2.3 전력 제어(Power Control)

소형셀의 전송 전력은 셀의 통신 범위와 범위 내에 발생하는 간섭에 큰 영향을 미친다<sup>11)</sup>. 그리고 LTE-A 시스템 특성상 주파수 효율을 증가하기 위해 다른 셀과 동일 주파수 대역(Co-channel)을 사용하므로 셀 간의 간섭이 발생하게 된다. 사용자가 설치하는 펌토셀 경우 주로 사용자가 허가한 사용자만이 해당 셀에 접근 가능한 CSG(Closed Subscriber Group)모드로 인해 간섭은 더욱 심해진다. 기본적으로 전력 제어는 소형셀 사용자에게는 영향이 거의 없으며 다른 셀 사용자에게는 간섭을 완화할 수 있을 정도로 소형셀의 전력을 감소하는 기술을 말한다<sup>12)</sup>. 전력 제어는 전력을 제어하는 주체를 기준으로 나누어진다. 중앙에서 제어하는 방식과 각 셀에서 제어하는 방식으로 나누어진다. 중앙에서 제어하는 방식은 중앙에서 각 셀을 제어해야하기 때문에 부담을 안겨주는 단점을 가지고 있다. 각 셀이 제어하는 방식은 해당 셀에 주변 상황에 대한 정보가 항상 공유 되어야 하는 단점을 가지고 있

다<sup>13)</sup>. 주로 전력 제어는 사용자의 QoS(Quality of Service)를 고려하여 사용자의 SINR 값을 기준으로 적용된다<sup>14)</sup>. 본 논문은 위 사항들을 고려하여 소형셀의 사용자는 기존 SINR 값 이상을 가지게 함과 동시에 매크로셀의 사용자의 간섭을 완화할 수 있는 소형셀의 전력을 도출하여 적용할 것이다<sup>14)</sup>.

## III. 제 안

### 3.1 사용자의 SINR 값 측정 모델링

본 논문은 사용자의 QoS(Quality of Service)를 고려하여 사용자의 SINR 값을 기준으로 ABS와 전력 제어를 적용할 것이다. 따라서 우선 SINR 값의 측정 모델링을 소개하겠다.

$$SINR = \frac{P_{Received}}{\sum I_{Received} + N_0} \quad (1)$$

(1)식이 본 논문에서 활용되어질 SINR 값을 구하는 기본식이다. P는 서비스 담당 셀의 수신 전력을 나타내며 I는 수신된 모든 간섭전력을 나타낸다. 그리고  $N_0$  는 -174dBm의 노이즈이다. 매크로셀 사용자의 SINR값을 구하는 경우 사용자의 수신 전력은 (Pathloss : L / Power of Macrocell :  $P_m$ )

$$P_{Received} = \frac{P_m}{L} \quad (2)$$

(2)식과 같이 표현할 수 있으며 매크로셀의 전력과 표 2. 와 같이 3GPP에서 제안한 Pathloss 모델을 적용하였고 벽에 따른 손실인  $L_w$  는 5dB로 설정하였다. 그리고 사용자의 수신된 간섭 전력은 (3)식과 같이 매크로셀 반경내의 n개의 소형셀의 전력과 경로손실을 통해 구할 수 있다.(Power of Smallcell :  $P_s$ )

$$I_{Received} = \sum_{i=1}^n \frac{P_s^i}{L^i} \quad (3)$$

소형셀 사용자의 SINR값을 구하는 경우 소형셀의 사용자는 소형셀 범위 내에 항상 존재한다고 가정하였으며 매크로셀 사용자의 SINR 값을 도출하는 (2)식과 동일하다.

$$P_{Received} = \frac{P_s}{L} \quad (4)$$

사용자가 수신하는 소형셀의 전력은 (4)식과 같으며 소형셀의 전력과 표 2. 와 같이 3GPP에서 제안한 Pathloss 모델을 적용하였다. 수신된 간섭 전력은 (5) 식과 같이 매크로셀의 전력과 매크로셀 반경내의 자신(k번째)을 제외한 나머지 n-1개의 셀의 전력과 경로 손실을 통해 구할 수 있다.

$$I_{Received} = \sum_{i=1}^{i=k-1} \frac{P_s^i}{L^i} + \sum_{i=k+1}^n \frac{P_s^i}{L^i} + \frac{P_m}{L} \quad (5)$$

이렇게 구해진 사용자의 SINR 값을 활용하여 미리 정해진 기준(Threshold)값의 충족 여부에 따라 ABS와 전력 제어 기술을 적용하는 기준으로 활용할 것이다.

표 2. 3GPP Pathloss Model<sup>[15]</sup>  
Table 2. 3GPP Pathloss Model<sup>[15]</sup>

Item		Pathloss(dB)
Macro → User	outside	15.3 + 37.6logR
	inside	15.3 + 37.6logR + L <sub>w</sub>
Small → User	outside	max(15.3 + 37.6logR, 38.46 + 20logR) + 0.7R
	inside	38.46 + 20logR + 0.7R

### 3.2 ABS 모델링

본 논문에서 적용할 ABS의 적용 기준은 사용자의 QoS(Quality of Service)를 고려하여 사용자의 수신된 전력과 간섭전력 비인 SINR 값을 활용하였다. 기준 (Threshold) SINR 값에 미달되는 매크로셀 사용자들 중심으로 특정거리 내에 있는 소형셀에 ABS를 적용할 것이다. 아래와 같은 ABS 비율일 경우 매크로셀은 10개의 Subframe 중 5개, 소형셀은 5개가 ABS에 해당된다.

- ABS Ratio 가 2:1인 경우 -



Subframe of Macrocell



Subframe of Smallcell

본 논문에서는 총 1:1, 1:2, 2:1, 2:3, 3:2 5가지 ABS 비율을 적용할 것이다.

### 3.3 ABS와 전력 제어 동시적용 모델링

전력 제어도 ABS와 마찬가지로 매크로셀 사용자의 SINR 값을 활용하여 기준 SINR 값에 미달 여부에 따라 미달 사용자와의 특정 거리에 있는 소형셀에 전력 제어를 적용할 것이다. 전력 제어는 소형셀 본래의 송출 전력을 1dBm 씩 감소하며 인접한 매크로셀 사용자의 SINR 값에 영향을 감소하고 해당 소형셀 사용자의 SINR 값도 기준 SINR 값 이상이 되도록 전력을 감소할 것이다. 본 논문에서 적용할 ABS와 전력 제어 동시적용 알고리즘은 그림 4.와 같다. ABS를 적용하기에 앞서 전력 제어를 통하여 소형셀의 매크로셀 사용자의 영향을 최소화 한 다음에 ABS를 적용하는 기법이다.

### 3.4 효율적인 ABS 비율 도출 모델링

본 논문에서는 사용자 수에 따른 효율적인 ABS 비율을 도출할 것이다. 우선 매크로셀의 통신 범위와 사용자 수와 소형셀 수와 ABS 비율과의 관계를 수식으로 도출할 것이다. 매크로셀의 반경이 r(m) ~ R(m) 이고 소형셀의 반경이 R'(m)이며 매크로셀 사용자 수가 M 그리고 소형셀 수가 S 라고 가정하였다. 매크로셀 사용자가 소형셀의 통신 범위에 포함될 경우 소형셀의 간섭을 받는 다고 가정하였다. 매크로셀의 사용자가 간섭을 받을 확률을 매크로셀의 통신 범위와 소형셀의 통신 범위(A)로 하였다.

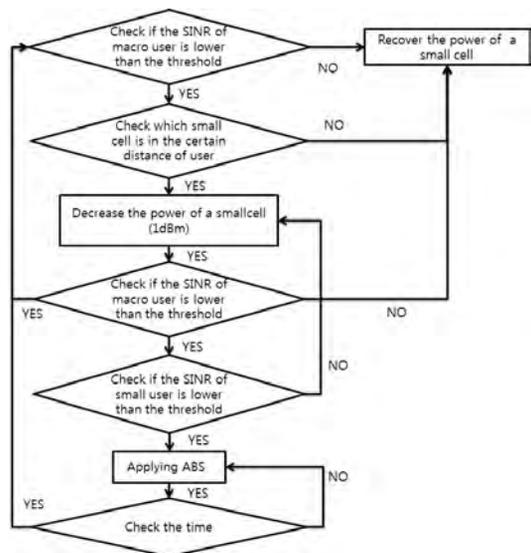


그림 3. ABS와 전력 제어 동시적용 알고리즘  
Fig. 3. Simultaneous application with ABS and Power Control

$$A_{macrocell} = \pi(R^2 - r^2) \quad (6)$$

$$A_{smallcell} = S \times \pi R'^2 \quad (7)$$

(6)식은 매크로셀의 통신 범위이며 (7)식은 S개의 소형셀의 통신 범위이다. (6)식과 (7)식을 활용하여 매크로셀 사용자가 소형셀 통신 범위에 포함되는 확률을 구하여 M명의 매크로셀 사용자 중 소형셀 범위에 들어갈 사용자 수는 (8)식과 같이 구할 수 있다.

$$M \times \frac{A_{smallcell}}{A_{macrocell}} = M \times \frac{S \times R'^2}{(R^2 - r^2)} \quad (8)$$

ABS 비율 중 매크로셀에 해당되는 비율을  $\alpha$ 라 하고 소형셀에 해당하는 비율을  $\beta$ 라 하면 (9)식으로 나타낼 수 있다.

$$\alpha + \beta = 1 \quad (9)$$

(8)식과 (9)식을 이용하여 소형셀 범위 안에 들어가는 매크로셀 사용자의 수가 증가함에 따라 소형셀의 ABS 비율이 증가되어야 한다는 가정으로 관계를 도출하였다. M명의 매크로셀 사용자 중 소형셀 통신 범위 안에 들어가는 사용자 비율은 (10)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{M \times \frac{S \times R'^2}{R^2 - r^2}}{M} = \frac{S \times R'^2}{R^2 - r^2} \cong K\alpha \quad (10)$$

S개의 소형셀 중 소형셀 범위 안에 매크로셀 사용자가 들어가는 비율은

$$\frac{M \times \frac{S \times R'^2}{R^2 - r^2}}{S} = \frac{M \times R'^2}{R^2 - r^2} \cong K\beta \quad (11)$$

(11)식으로 나타낼 수 있으며 반경의 크기가  $R \gg r \gg R'$  이므로 생략하여 표현하면 (12)식과 같이 요약할 수 있다.

$$(S + M) \times \frac{R'^2}{R^2 - r^2} \cong K(\alpha + \beta) \quad (12)$$

(12)식에 따라 비율의 결정요소가 매크로셀 반경과

소형셀 수 그리고 매크로셀 사용자의 수가 될 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문은 사용자와 소형셀 수에 따라 효율적인 ABS 비율이 다르다는 것을 도출해 볼 것이다.

## IV. 실험

### 4.1 실험환경

사용자의 위치와 셀 간의 거리에 따른 간섭 상황을 사용자의 SINR값을 통해 파악하는 환경을 구축하였으며 환경 구축을 위해 Matlab 프로그램을 사용하였다. 1개의 매크로셀을 구성하고 그 매크로셀 통신 범위 내에 사용자와 소형셀이 임의로 생성되게 하여 그림 3. 과 같이 HetNet을 설계하였다. 그리고 소형셀 사용자는 소형셀 범위 내에 1명이 존재한다고 가정하였다. 매크로셀 사용자는 50, 100명인 경우로 나누었다. 그리고 소형셀 수는 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200개로 총 11가지 경우로 나누었다. 매크로셀의 반경은 100m ~ 1000m로 설정하였으며 소형셀은 10m로 설정하였다. 그리고 소형셀 간의 거리는 최소 30m가 되도록 설정하였다. 출력 전압 값은 매크로셀 46dBm, 소형셀은 20dBm으로 설정하였다. 안테나 이득은 매크로셀 15dBi 그리고 소형셀은 5dBi으로 설정하였다. 사용자의 SINR값을 종합하여 기준 SINR값에 미달되는 사용자를 파악하고 사용자와의 특정거리에 포함되는 소형셀은 전력제어와 ABS 기법이 적용되도록 설계하였다. 사용자의 Throughput을 구하기 위해 LTE-A 시스템의 상황에 맞도록 가정하였다. 주파수 대역은 2Ghz로 하였으며 대역폭은 20Mhz 그리고 변조 방식은 64QAM과 AMC(Adaptive Modulation and Coding) 그리고

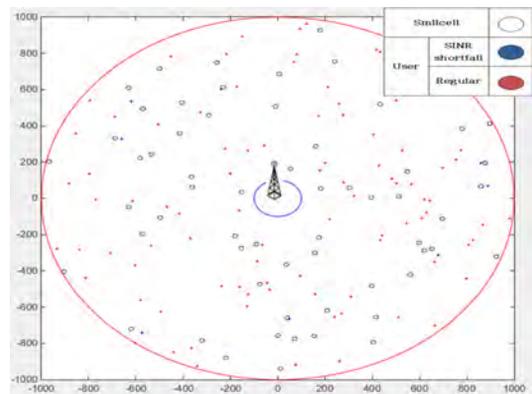


그림 4. 이종망 네트워크 실험 설계  
Fig. 4. Heterogeneous Network simulation design

표 3. 설계의 파라미터 값  
Table 3. Parameter of Simulation

Parameter	Assumption	
	Macro	Small
Number of cells	1	10, 20, 40, ... 200
Number of users	50, 100	10, 20, 40, ... 200
Coverage(m)	100 ~ 1000	10
Power(dBm)	46	0 ~ 20
Antenna	4×4 MIMO	2×2 MIMO
Antenna Gain(dBi)	15	5
Noise(dBm)	-174	
Carrier Frequency	2.0Ghz	
Duplex mode	FDD	
Bandwidth	20Mhz	
Modulation	64QAM / AMC	

FDD(Frequency Division Duplexing)로 설정하였다.

## 4.2 실험결과

### 4.2.1 ABS와 전력 제어 동시적용

ABS 비율은 이전에 제한하였던 총 5가지로 적용할 것이다. 그리고 ABS와 Power Control을 동시에 적용하였을 경우 어느 정도의 성능 향상을 가져올 수

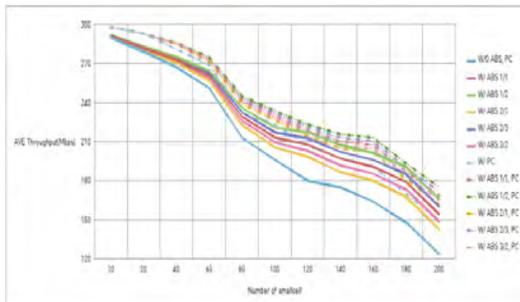


그림 5. 메크로셀 사용자의 평균 Throughput(Mbps)  
Fig. 5. Average Throughput(Mbps) of Macrocell's user

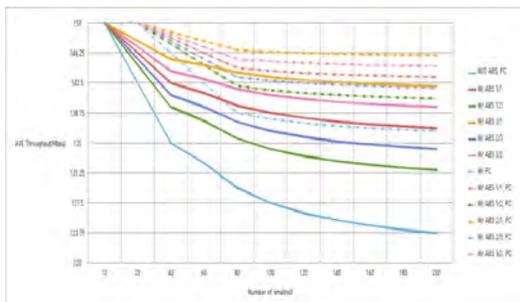


그림 6. 소형셀 사용자의 평균 Throughput(Mbps)  
Fig. 6. Average Throughput(Mbps) of Smallcell's user

있는지 확인하겠다. 메크로셀 사용자의 관점에서는 ABS 비율(메크로셀 :1, 소형셀 : 2)일 때 가장 좋은 결과를 확인하였다. Power Control을 적용하였을 때 ABS만을 적용했을 때보다 평균적으로 약 10% 향상되는 결과를 확인할 수 있었다.

소형셀 사용자의 경우 ABS 비율(메크로셀 : 2, 소형셀 : 1)일 때 성능이 가장 좋았다. 그리고 ABS만을 적용하였을 때보다 Power Control을 동시에 적용하였을 때 약 7% 향상되는 결과를 확인할 수 있었다.

### 4.2.2 효율적인 ABS 비율 도출

전체 사용자의 성능 향상을 고려하여 효율적인 ABS 비율을 도출하였다. ABS 적용 전·후의 전체 사용자의 평균 Throughput 값을 활용하여 ABS 적용에 따른 효율 향상을 도출하였다.

사용자의 수가 50명일 경우에 소형셀 수에 따른 효율이 각각 다르다는 것을 확인할 수 있다. 메크로셀의 사용자보다 소형셀 수가 많을 경우 메크로셀의 ABS 비율이 높을 때 전체적인 효율이 좋다는 것을 알 수 있다.

사용자가 100일 경우에는 전반적으로 소형셀에 ABS 비율이 높을 때 전체 효율이 증가하는 것을 알 수 있다. 메크로셀과 소형셀 사용자를 따로 고려하였을 때에는 해당 사용자의 ABS 비율이 낮을수록 좋은 결과를 얻었지만 전체 사용자의 효율을 고려하였을 경우에는 사용자 수와 소형셀 수에 따라 ABS 비율이 다르다는 것을 확인할 수 있다.

표 4. ABS 비율에 따른 효율(%) (메크로셀 사용자 : 50명)  
Table 4. Efficiency of ABS proportion(%) (Number of Macrocell's users : 50)

Small cell 수 \ ABS 비율	1:1	1:2	2:1	2:3	3:2
	20	2.03	1.97	1.92	1.85
40	3.52	3.18	3.51	3.06	2.82
60	6.30	5.10	6.75	5.08	5.04
80	7.79	6.42	8.27	6.36	6.26
100	9.09	7.64	9.55	7.54	7.34
120	10.3	8.91	10.69	8.73	8.38
140	9.16	7.47	9.72	7.37	7.18
160	9.32	7.48	9.98	7.42	7.29
180	11.42	9.60	12.03	9.49	9.28
200	10.53	8.68	11.11	8.56	8.30

표 5. ABS 비율에 따른 효율(%) (메크로셀 사용자 : 100명)  
 Table 5. Efficiency of ABS proportion(%) (Number of Macrocell's users : 100)

ABS 비율 Small cell 수	1:1	1:2	2:1	2:3	3:2
20	1.29	1.46	1.12	1.38	1.21
40	3.09	3.05	3.12	3.07	3.10
60	4.88	4.85	4.90	4.86	4.89
80	7.79	8.07	7.50	7.93	7.64
100	8.78	8.95	8.62	8.87	8.70
120	12.15	12.48	11.81	12.31	11.98
140	10.97	11.17	10.77	11.07	10.87
160	12.50	12.53	12.48	12.52	12.49
180	14.19	14.31	14.07	14.25	14.13
200	15.27	15.52	15.02	15.40	15.15

V. 결 론

본 논문의 제안 사항인 Power Control과 ABS 동시 적용에서 ABS를 단독으로 적용하였을 경우보다 Power Control을 동시 적용하였을 경우에 향상된 간섭 완화 효과를 얻을 수 있었다. 본 논문은 메크로셀 사용자와 소형셀 수에 따라 효율적인 ABS 비율이 다를 수 있다는 것을 제안하였고 실험 결과를 통하여 확인하였다. 메크로셀 사용자 수와 소형셀 수를 고려하여 ABS 비율을 적용한다면 ABS 효과를 상승시킬 수 있을 것이다. 본 논문은 사용자의 SINR 값에 대한 정보가 소형셀과 메크로셀 모두에 공유된다고 가정하였기에 본 논문의 제안 사항이 실질적으로 적용되기 위해서는 셀 간의 Interference가 고려되어야 할 것이다.

References

[1] L. Lindbom, Ro. Love, S. Krishnamurthy, and V. Chandrasekhar, "Enhanced inter-cell interference coordination for heterogeneous networks in LTE-Advanced : A survey," arXiv preprint arXiv:1112.1344, 2011.

[2] C. Kosta, B. Hunt, A. U. Quddus, and R. Tafazolli, "On interference avoidance through inter-cell interference coordination(ICIC) based on OFDMA mobile system," *IEEE Commun. Surveys & Tuts.*, vol. 15, pp. 973- 987, 2013.

[3] N. Saquib, E. Hossain, L. B. Le, and D. I.

Kim, "Interference management in OFDMA femtocell networks: Issue and approaches," *IEEE Wirel. Commun.*, pp. 86-95, Jun. 2012.

[4] R1-104968, *Summary of the Description of Candidate eICIC Solution*, Madrid, Spain, Aug, 2010.

[5] L. Frenzel, "Understanding the small-cell and HetNet movement," *Electronic design*, Sept. 2013.

[6] S. M. Moon, B. R. Kim, D. J. Kim, and I. T. Hwang, "Interference management with cell selecting using cell range expansion and ABS in heterogeneous network based on LTE-Advanced," *KIEE '13-08*, vol. 50, no. 8, pp. 1967-1972, 2013.

[7] M. I. Kamel and K. M. F. Elsayed, "Performance evaluation of a coordinated time-domain eICIC framework based on ABSF in heterogeneous LTE-Advanced networks," *GLOBECOM*, pp. 5326-5331, Anaheim, CA, Dec. 2012.

[8] H. J. Kim, Y. H. Jo, J. C. Lim, and D. Y. Hong, "Interference mitigation by joint employment of power control and almost blank subframe in heterogeneous networks," *J. KICS*, vol. 39A, no. 01, pp. 62-64, 2014.

[9] S. E. Kim, K. S. Kim, and E. K. Hong, "Analysis on interference control in heterogeneous network," *J. KICS*, vol. 38A, no. 03, pp. 268-276, 2013.

[10] Dr. Michelle M. Do and Dr. Harrison J. Son, "Interference Coordination in LTE/LTE-A(2) : eICIC(enhanced ICIC)," Aug. 2014.

[11] S. A. Saad, M. Ismail, and R. Nordin, "A survey on power control techniques in femtocell networks," *J. Commun.*, vol. 8, pp. 845-854, Dec. 2012.

[12] X. Wang, C. Wang, R. Cai, S. Huang, and C. Wang, "Reduced power centralized eICIC for LTE-Advanced heterogeneous networks," *ICCC 2014 Symp. Wirel. Commun. Syst.*, pp. 743-747, 2014.

[13] D. G. Jeong and Y. S. Kim, "Power control of femto base station for protecting macrocell users," *J. KICS*, vol. 38A, no. 10, pp. 865-

873, 2013.

- [14] Z. Wang, W. Xiong, C. Dong, J. wang, and S. Li, "A novel downlink power control scheme in LTE heterogeneous network," in *Proc. ICCP2011*, pp. 241-245, 2011.
- [15] 3GPP, *Simulation Assumption and Parameters for FDD HeNB RF Requirements*, 3GPP TSG RAN WG4 R4-092042, May 2009.

최 영 준 (Young-June Choi)



2000년 : 서울대학교 학사  
2002년 : 서울대학교 석사  
2006년 : 서울대학교 박사  
2009년~현재 : 아주대학교 정보  
컴퓨터공학부 부교수  
<관심분야> 모바일 플랫폼, 무  
선 네트워크

성 노 훈 (No-Hoon Sung)



2012년 2월 : 한국항공대학교 전  
자공학과 졸업  
2015년 8월 : 아주대학교 정보통  
신대학원 정보통신공학과  
석사  
<관심분야> 전자공학, 통신공학

장 지 응 (Ji-Woong Jang)



2000년 : 서울대학교 학사  
2002년 : 서울대학교 석사  
2006년 : 서울대학교 박사  
2012년~현재 : 울산과학대학교  
컴퓨터정보학부 조교수  
<관심분야> 정보이론, 무선통  
신, 부호이론