

# IEEE 802.16j 기반의 중계기를 도입한 3섹터 셀룰러 시스템에서 효율적인 기지국 커버리지 확장 기법

(An Effective Coverage Extension Scheme for Trisector Cellular Systems using Multi-hop Relay based on IEEE 802.16j)

유 창 진 <sup>†</sup> 김 승 연 <sup>‡</sup> 조 충 호 <sup>\*\*\*</sup> 이 형 우 <sup>\*\*\*\*</sup> 류 승 완 <sup>\*\*\*\*\*</sup>  
(Chang-Jin Yoo) (Seung-Yeon Kim) (Choong-Ho Cho) (Hyong-Woo Lee) (Seung-Wan Ryu)

**요 약** 본 논문에서는 IEEE 802.16j를 기반으로 하는 중계기를 도입한 와이브로 시스템에서 지향성 안테나를 사용한 3섹터 셀룰러 시스템에서 효율적인 기지국 커버리지 확장에 대해 분석하였다. 현재 진행 중인 IEEE 802.16j MMR 규격에서는 기지국과 멀티홉 중계기에 전방향성 안테나와 지향성 안테나의 사용을 고려하고 있다. 전방향성 안테나는 전방향(360°)으로 서비스 제공이 가능하지만 이웃한 기지국과의 신호간섭 때문에 효율이 떨어진다. 그러나 지향성 안테나의 경우는 빔이 방향성을 갖도록 안테나를 배치하여 이웃한 기지국과의 신호간섭을 줄일 수 있어 전방향성 방식보다 효율성이 높다. 그러나 IEEE 802.16j MMR환경에서는 기지국과 멀티홉 중계기가 지향성 안테나를 사용할 경우 채널 재사용 등에 의해 다른 셀에서 쓰이는 동일 채널의 간섭(Co-channel interference) 때문에 지향성 안테나가 갖는 효율성이 달라질 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 지향성 NBTC, WBTC 방식의 기지국에 지향성 안테나를 갖는 중계기를 multi-tier로 배치하는 구조를 제안하고, 기지국과 중계기들의 빔의 방향에 따른 동일 채널 간섭을 분석하였다. 또한, 제안하는 멀티홉 중계기가 배치된 NBTC안테나와 WBTC 안테나 방식을 전방향성 안테나를 갖는 중계기가 배치된 방식과 비교 분석하여 멀티홉 중계기의 흡 수가 증가함에 따른 성능 저하 및 셀 커버리지 확장과의 상관관계를 알아보았다.

**키워드 :** IEEE 802.16j, 중계기, 3섹터, 셀룰러 시스템, 지향성 안테나, 모바일 멀티홉 릴레이

**Abstract** In this paper, We analysis of effective coverage extension for Tri-sector cellular systems using Multi-hop Relay based on IEEE802.16j system. In the proposed international standard of IEEE 802.16j MMR (Mobile Multi-hop Relay) use of the omni-directional antenna, 3-sector and 6-sector antenna is considered to Base Station and Relay Station. Omni-directional antenna service can offer as all directions but a throughput decreases due to the signal interference of near Relay Stations. In the directional antenna, cause of an interference with the base station which it arranges an antenna so that a beam can have the direct and does with neighbor Base Station and Relay Station can be reduced interference, therefore the effective throughput is higher than the omni-directional

† 본 연구는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원 <sup>\*\*\*\*\*</sup> 비회원 : 중앙대학교 정보시스템학과 교수

rush2384@cau.ac.kr

‡ 이 논문은 2008 하계 컴퓨터통신 워크샵에서 'IEEE 802.16j 기반의 중계기를 도입한 3섹터 셀룰러 시스템에서 효율적인 기지국 커버리지 확장 연구'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적인 경우, 이 저작물의 전제 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사진에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제37권 제4호(2010.8)

\*\*\* 종신회원 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 교수

논문접수 : 2008년 9월 17일

심사완료 : 2010년 3월 12일

\*\*\*\* 비회원 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 교수

sharpyoo@korea.ac.kr

†† 비회원 : 고려대학교 전자정보공학과

kimsy8011@korea.ac.kr

††† 종신회원 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 교수

chcho@korea.ac.kr

\*\*\*\*\* 비회원 : 고려대학교 전자및정보공학부 교수

hwlee@korea.ac.kr

antenna system. But, In case of Base Station and Relay Station use the directional antenna, the efficiency which the directional antenna has the Co-channel interference due to in the different cell by the channel reuse is decreased. In this study, we propose the structure of arranging the Base Station and Relay Station having the directional antenna in the NBTC , WBTC antenna in a multi-tier. It compared and analyzed with the mode that the multi-hop Relay Station has the omni-directional antenna, Relay Station are used the NBTC antenna and the WBTC antenna system also, We analyze a relation between the performance degradation and the cell coverage extension which it follows because the number of hop in the multi-hop Relay Station.

Key words : IEEE 802.16j, Relay Station, Tri-sector, Cellular Systems, Directional antenna, Mobile Multi-hop Relay

## 1. 서 론

최근 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers, 미국 전기 전자 학회) 802.16에서는 고정가입자 단말을 대상으로 하는 표준 규격인 IEEE 802.16-2004와 가입자 단말의 이동성을 제공하기 위한 표준 규격인 IEEE 802.16e-2005의 발간 후, 2006년 6월에는 국내에서 휴대인터넷 서비스를 세계 최초 상용화하는데 성공했다. 하지만, 이동통신 시스템의 성능 및 용량은 경로 손실(Pass-loss), 다중경로 페이딩(Multi-path fading), 지연확산(Delay spread), 도플러 확산(Doppler spread) 및 음영현상(Shadowing) 등의 무선 전파 채널 특성에 따른 성능 저하 요소가 발생하고 있다. 현재 표준화가 진행중인 3G LTE, IEEE 802.16, 802.20 등 다수의 차세대 이동통신 시스템 무선 채널 환경에서는 다양한 멀티미디어 데이터의 고속 송수신을 위한 여러 기술들이 연구되고 있다[1]. 또한 기존의 이동통신 시스템과 달리 2~6GHz의 고주파 대역의 사용이 예상되는 도심 지역에 음영 지역(Shadowing-Zone)이 증가될 것이다.

이를 극복하기 위하여 MMR(Mobile Multi-hop Relay)은 그림 1처럼 기지국(Base Station : BS)과 단말(Mobile Station : MS) 사이에 분산적으로 존재하는 한 개 또는 다수 개의 중계기(Relay Station : RS)를 이용하

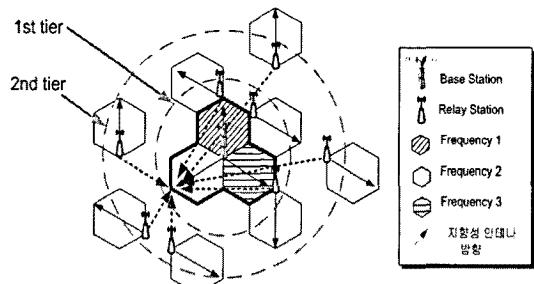


그림 2 멀티홉 셀룰러망에서의 동일 채널 간섭

여 전송 신뢰도를 높이거나 다중화 이득을 확보함으로써 대역 효율성을 향상시키기 위하여 이동통신시스템의 확장용으로 많이 연구되고 있다.

기존의 단일 흡 시스템과 달리 멀티 흡 시스템에서는 그림 2와 같이 각 흡의 전송을 위해서 각각의 자원을 할당하여 다음 흡으로 중계를 해주는 방식이기 때문에 채널 재사용에 따른 인접 셀간의 동일 채널 간섭이 발생하여 중계 및 서비스하는 신호의 품질을 떨어뜨릴 수 있다.

또한, 멀티 흡 시스템에서 기존의 무선 네트워크에서 쓰이는 전방향(Omni-directional) 안테나 대신에 같은 전력을 한 곳으로 집중해서 송출할 수 있는 지향성(Direction) 안테나를 사용함으로써 안테나 특성에 따른 여러 이득을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 단순히 전방향 안테나를 지향성 안테나로 교체만 해서는 간섭이나 기타 요인에 의해 효과적이지 않을 수 있다. 그리고 차세대 이동통신의 표준인 IEEE 802.16 기반에서의 지향성 안테나 사용에 대한 연구된 바가 극히 적었다. 그래서 본 논문에서는 중계기를 도입한 IEEE 802.16j 기반의 와이브로 시스템에서 기지국과 중계기에서 지향성 안테나 범 형태에 따라 생성되는 3섹터의 종류인 NBTC와 WBTC 형태에 대해 살펴보았다. 이러한 3섹터 형태에 따라 발생되는 성능 향상과 이에 따른 멀티 흡 시스템에서 채널 재사용에 따라 발생되는 동일 채널 간섭에 대한 영향에 대해 연구하고자 한다.

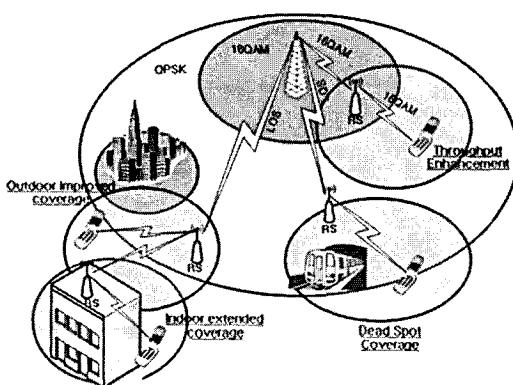
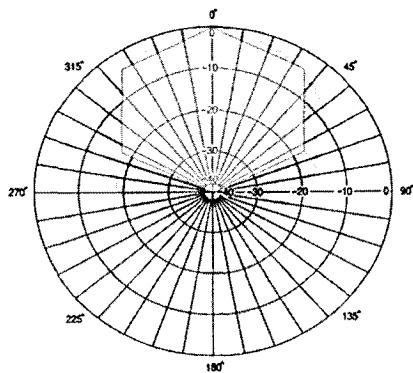


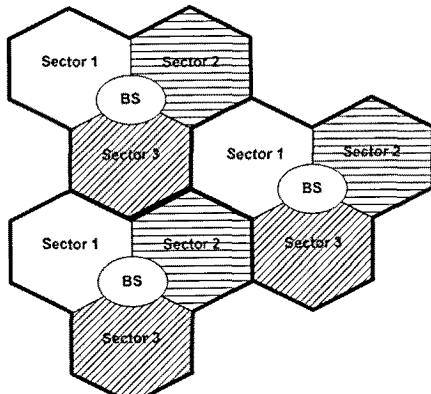
그림 1 MMR 개념도

## 2. NBTC와 WBTC

NBTC(Narrow-Beam Trisector Cell)는 그림 3(a)와 같이 전파의 방사 패턴 폭이 좁은  $60^{\circ}\sim70^{\circ}$ 의 지향성 안테나 3개로 하나의 기지국을 서비스한다. 하나의 지향성 안테나에서 방사되는 전파는 셀 안에서 육각형의 모양을 가지며, 그림 3(b)와 같이 하나의 기지국에서 세 개의 육각형 모양으로 섹터화되어 클로버 잎 모양을 이룬다.



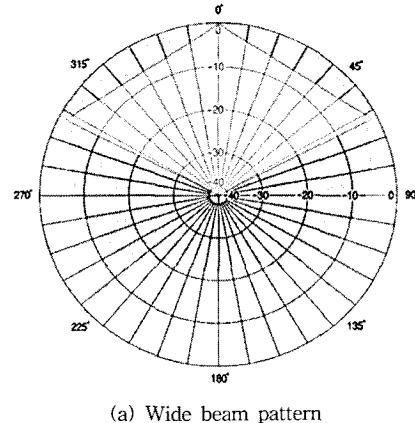
(a) Wide beam pattern



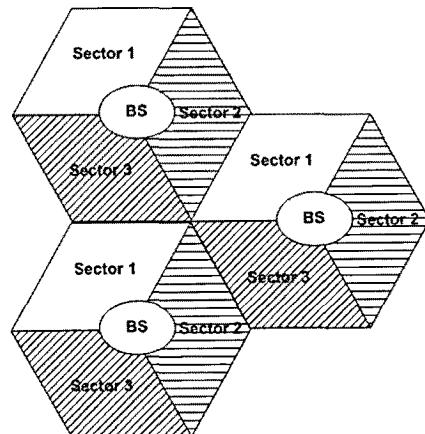
(b) Coverage area of Narrow beam

그림 3 NBTC 구조

WBTC(Wide-Beam Trisector Cell)는 전파의 방사 패턴 폭이 넓은  $120^{\circ}\sim130^{\circ}$ 의 지향성 안테나 3개로 하나의 기지국을 서비스한다. 1개의 지향성 안테나에서 방사되는 전파는 그림 4(a)와 같이 마름모 형태를 이루며, 3개의 지향성 안테나로 구성된 하나의 기지국은 그림 4(b)와 같이 육각형의 모양을 이룬다. WBTC의 경우 셀 섹터 양쪽 끝 경계 부분에는 빔의 방사 패턴이 제공되지 않아 완벽하게 서비스하지 못하는 단점이 있다.



(a) Wide beam pattern



(b) Coverage area of Wide beam

그림 4 WBTC 구조

## 3. 성능 분석

### 3.1 분석 환경

본 논문에서는 NBTC환경과 WBTC환경에서 인접한 셀 간의 간섭을 피하고 효율성을 높이기 위해 기지국뿐만 아니라 중계기에서도 지향성 안테나를 도입하였다. 이에 따라 다음과 같이 각각의 환경을 구성해서 성능을 측정하였다.

중계기를 도입한 NBTC환경에서는 그림 5와 같이 기지국에서 전송한 신호가 중계기가 자신의 섹터셀 내의 단말기나 다음 흡의 중계기로 중계해주는 방식으로 구성하였다. 또한 그림 8에서와 같이 NBTC형태의 기지국 섹터 셀을 중심으로 기지국 섹터 간의 Fairness를 고려하여 기지국 섹터 셀에서 송신하는 빔의 중심으로부터 중계 받을 수 있도록 중계기 셀을 배치하였고, 그에 따라 안테나 빔의 방향을 정하였다. 또한, 기지국이나 중계기의 빔 중심으로부터 중계 받지 못한 위치에 있는

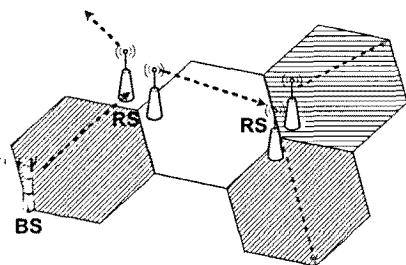


그림 5 중계기를 도입한 NBTC 구조

중계기 셀들은 시계방향으로 안테나 빔 방향을 구성하였다.

멀티 험 중계기는 2-tier까지로 가정하였고, 기지국을 중심으로 최대 2-tier의 구조를 갖는 셀들을 클러스터라 하였다. 그리고 이러한 클러스터를 각각 인접하여 배치하여 실험환경을 구성하였다.

중계기를 도입한 WBTC 환경에서는 Wide-beam 형태의 지향성 안테나 중계기가 그림 6과 같이 BS의 신호를 중계해주고, 실험을 위한 전체 셀 배치는 그림 7과 같이 배치하였다.

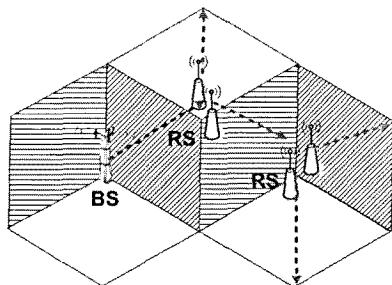


그림 6 중계기를 도입한 NBTC 구조

NBTC, WBTC 환경에서 인접 셀의 간섭과 기지국 셀 간의 Fairness를 고려하여 실험을 하였다. 또한, 기지국 셀로부터 최대 2-tier까지 셀 배치를 고려해 안테나의 빔 방향을 정했다. 그림 7에서처럼 같은 채널을 갖는 인접 셀에서의 간섭을 측정하기 위해 6개의 클러스터를 인접하여 배치하였고, 각각의 클러스터 안의 셀들은 같은 패턴의 안테나 방향을 갖도록 했다.

그림 7에서 나타낸 것과 같이 RS를 도입한 NBTC 환경에서 Only 2 tier형 모델은 한 개의 클러스터에 기지국을 중심으로 2 tier까지 존재하는 모든 셀들의 개수가 총 27개이고, Only 1 tier형 모델에서 1 tier까지의 모든 셀들의 개수는 총 12개가 존재하며, Only BS형 모델은 3섹터 셀 형태의 안테나가 쓰이므로 총 3개의 셀이 존재한다.

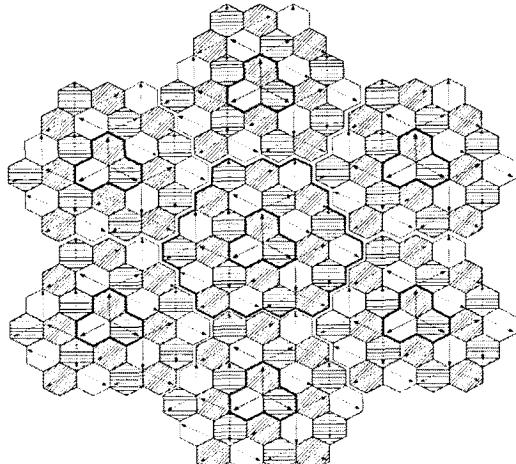


그림 7 RS를 도입한 NBTC 환경

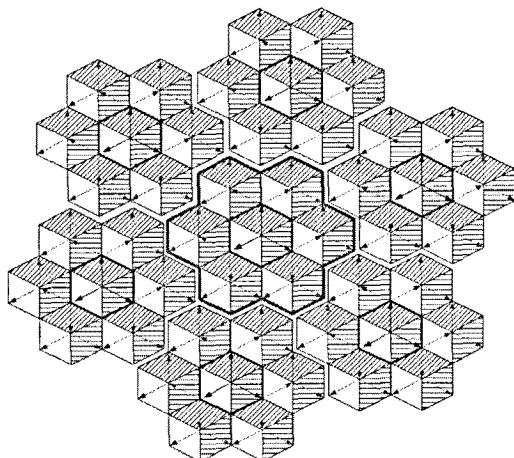


그림 8 RS를 도입한 WBTC 환경

RS를 도입한 WBTC 환경에서 2 tier형 모델은 셀들의 개수가 총 21개, Only 1 tier형 모델에서 셀들의 개수는 총 9개, 마지막으로 Only BS형 모델은 3섹터 셀 형태의 안테나가 쓰이므로 총 3개의 셀이 존재한다.

### 3.2 성능 측정

본 논문에서는 측정하고자 하는 셀 안테나 커버리지 안에서 실험의 편의를 위해 그림 9와 같이 안테나와 거리가 가장 먼 점을 Worst Case로 볼 수 있고, 이를 바탕으로 측정하고자 하는 셀을 중심으로 Worst Case에 간섭을 주는 주변에 위치한 모든 셀의 안테나와의 거리, 중심 빔과의 각도, 높이, Path-loss모델 등을 고려하여 일반화하였고, 이것을 이용해서 간섭의 양을 구하였다. 이렇게 얻어진 결과를 통해 측정된 셀의 성능이 어떠한 영향을 받는지 실험 분석을 통해 알아보았다.

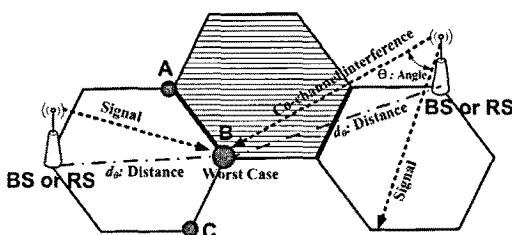


그림 9 성능 측정을 위한 Worst Case Model

성능의 비교를 위하여 Shannon Capacity formula를 사용하였고, 간섭의 세기를 측정하기 위하여 LOS(Line of Sight) 환경에서 802.16j terrain type D Model[2]를 적용하여 Path-loss를 측정하였다.

간섭을 주는 인접 셀 안테나에서 발생되는 신호의 세기가 앞서 살펴보았던 Path-loss에 의해 신호가 감쇄된 형태로, 측정하고자 하는 셀에게 간섭으로 작용하게 된다. 또한, Worst Case 지점에서 내가 받고자 하는 원래 신호 역시 측정지점까지 앞서 살펴보았던 Path-loss요소들에 의해 감쇄된 형태로 전달되게 된다.

본 논문에서 제시한 지향성 안테나를 사용한 셀룰러 구조에서는 같은 채널을 사용하는 인접한 셀에서는 서로에게 간섭작용이 일어난다. 이러한 간섭은 범의 방향에 따른 안테나 이득 세기와 거리에 따라 간섭의 크기가 달라진다.

간섭의 크기를 측정하기 위해 셀의 반경을 R이라고 하고, 기준이 되는 셀과 간섭의 영향을 주는 외부 셀 간의 거리를  $d(n, i)$ 라고 가정을 하였다.  $d(n, i)$ 는 다음과 같은 식 (1)으로 표현할 수 있다.

$$d(n, i) = \sqrt{3} \times R \sqrt{n^2 + i^2 - n \times i} \quad (1)$$

여기서 n과 i는 각각 n번쨰 tier셀과, i번째 위치를 나타낸다. 그림 10은 셀룰러 시스템 구조에서 기준 셀과 간섭의 영향을 주는 외부 셀 간의 거리를 나타내고 있다. 기준이 되는 셀로부터 1-tier에 위치한 셀은 모두 같은 거리에 위치하고 있고, 2-tier 거리에 위치한 셀은 i값이 1, 2인 두 가지 거리 타입이 존재하며, 3-tier거리

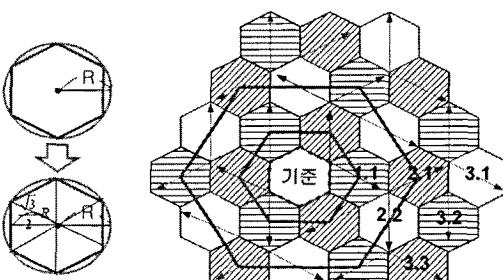


그림 10 셀 간의 거리 일반화

에 위치한 셀은 3가지의 거리 타입이 존재하게 되어, 일반화가 가능하다.

식 (2)처럼 이렇게 주변에 같은 채널을 쓰는 여러 셀의 간섭들의 합은 측정하고자 하는 셀에게 받는 총 간섭양이 되고, 이러한 간섭들의 합은 측정하고자 하는 셀에게 최종적으로 영향을 주는 간섭이 된다. 여기에 받고자 하는 신호를 Path-loss에 의해 감쇄된 형태로 측정한다. 이 값들을 Shannon Capacity formula를 이용해 주변 간섭에 의해 측정하고자 하는 셀의 성능저하 정도를 알 수 있다.

$$Cell_0 capacity = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{\sum_i I_i} \right) \quad (2)$$

앞서 구한 각 셀들의 용량 값을 식 (3)을 이용하여 한 클러스터의 총 용량을 구할 수 있다.

$$Total capacity = \sum_k Cell_k capacity \quad (3)$$

그리고 식 (3)의 k값은 한 클러스터에 존재하는 모든 BS, RS 셀들의 개수를 말한다.

본 논문에서 링크간의 throughput은 주어진 값의 최대 전송률로 가정하고 측정을 하였다.

#### 4. 결 과

앞 절에서 살펴본 성능측정 모델들을 바탕으로 NBTC, WBTC, 전방향 안테나 등 종류에 따른 2 tier형 클러스터만 존재하는 Only 2 tier형, 1 tier형 클러스터만 존재하는 Only 1 tier형, 기지국만 존재하는 Only BS형 모델에 따라 인접 클러스터에서 발생되는 간섭을 고려하여 각 셀에서 발생되는 총 Capacity양을 그림 11의 그래프로 나타내었다.

그림 11의 그래프에서 X축은 tier에 따른 모델에 관해 나타내며, Y축은 총 Capacity의 양을 나타낸다.

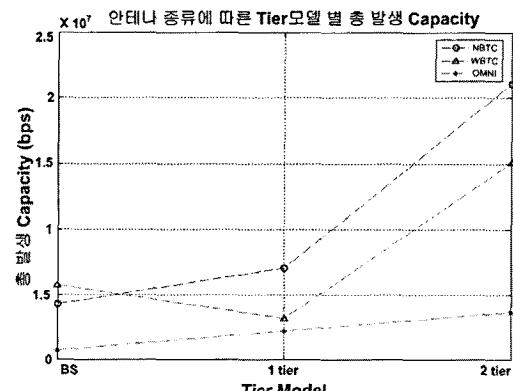


그림 11 안테나 종류에 따른 Tier모델 별 총 발생 Capacity (NBTC, WBTC, Omni)

그래프에서 살펴보면 모든 모델들이 tier수가 늘어남에 따라 총 발생 Capacity가 증가함을 볼 수가 있다. 이것은 tier 수에 따라 포함하고 있는 섹터 셀의 개수 또한 증가하기 때문이다.

또한, X축의 Only BS형 모델에서는 WBTC가 NBTC보다 총 발생 Capacity양이 더 많은 것을 볼 수 있다. 이는 WBTC의 면적이 NBTC의 면적보다 약 33% 더 크기 때문에 총 발생된 Capacity 양이 더 크게 측정이 되었다. 전방향 안테나 섹터 셀 구조는 전반적으로 모든 tier모델에 걸쳐 Capacity양이 낮음을 볼 수 있다. 이것은 모든 방향으로 송출하는 전방향 안테나의 성능이 안테나 범위 한 곳에 집중해서 송신하는 지향성 안테나보다 안테나 이득이 더 떨어지기 때문이다.

그림 11의 그래프로 알 수 있듯이 기지국과 멀티 흡형태로 구성되어 있는 NBTC, WBTC, 전방향 안테나 순서로 발생하는 총 Capacity양이 더 크다. 그리고 2 tier까지의 총 면적은 WBTC가 NBTC보다 3% 더 크지만, 발생된 총 Capacity는 NBTC가 WBTC보다 39% 더 많은 Capacity가 측정되었다. 그래서 섹터 셀에서 발생하는 Capacity가 모두 사용될 경우에는 NBTC 안테나 기지국이 WBTC 안테나 기지국보다 더 많은 용량을 수용할 수 있도록 디자인 되어야 함을 알 수 있다.

그림 12는 앞서 살펴본 Tier모델의 각 섹터 셀 별로 발생되는 단위면적 당 Capacity양을 나타낸 그래프이다.

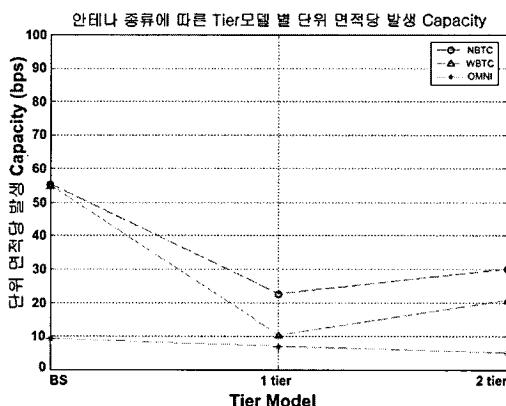


그림 12 안테나 종류에 따른 Tier모델 별 단위 면적당 발생 Capacity (NBTC, WBTC, Omni)

그림 12 그래프에서 나타난 단위 면적( $m^2$ )당 발생하는 Capacity의 양을 보면, NBTC 안테나가 WBTC 안테나와 전방향 안테나 보다 전반적으로 더 높은 Capacity양을 나타내고 있다. 앞에서 살펴본 WBTC 안테나의 특성처럼 자신의 커버리지 양끝 부분에 안테나의 송출 신호가 약하게 송출되어서 서비스를 할 수 없는 커

버리지 부분이 생기게 된다. 섹터 셀의 면적이 NBTC 섹터 셀 면적보다 33% 더 넓기 때문에 같은 송출 세기를 갖는 안테나를 사용하였을 때는 단위 면적 당 성능이 NBTC 보다 더 떨어지는 특성을 그래프에서도 확인 할 수 있다. 그리고 전방향 안테나의 경우 안테나 특성으로 인해 NBTC 안테나, WBTC 안테나에 비해 단위 면적당 Capacity 성능이 전반적으로 낮게 측정됨을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.16j 환경에서 중계기를 도입한 3섹터 시스템에서 NBTC 안테나, WBTC 안테나, 전방향 안테나를 사용하였을 때 같은 채널을 사용하는 인접 섹터 셀과 내부의 섹터 셀에 의해서 동일 채널 간섭이 발생함에 따라 이러한 간섭이 성능에 어떤 영향을 미치는가에 대해 분석하였다.

분석한 결과를 통해 실제 NBTC 안테나, WBTC 안테나, 전방향 안테나 등 여러 종류의 안테나를 사용한 IEEE802.16j Mobile Multi-hop Relay 환경에서 동일 채널 간섭에 따른 성능 저하의 정도를 예상해 볼 수 있었다. 이러한 분석 결과를 토대로 지향성 안테나를 도입한 중계기를 이용하여 와이브로 환경에서 보다 효율적인 커버리지 확장을 할 수 있고, 커버리지 확장 시 발생되는 성능저하를 예상해봄으로써 사용자에게 균등한 서비스 제공을 할 수 있도록 시스템 설계를 할 수 있을 것이다. 또한, 이러한 분석 결과를 통하여 앞으로 개발될 차세대 이동통신 시스템에서 적용 가능한 지향성 안테나가 도입 된 중계기에 관한 시나리오를 세울 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] IEEE Standard 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," Feb. 2006.
- [2] IEEE 802.16j-06/013r3, "Multi-hop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric)," 2007.
- [3] Li-Chun Wang, Chawla, K. Greenstein, L.J., "Performance Studies of Narrow-Beam Tri-sector Cellular Systems," Springer : International Journal of Wireless Information Networks, vol.4, pp.89-102, 1998.
- [4] Carlos E. Uc-Rios, Domingo Lara-Rodriguez, "On the Effect of Directional Antennas on the Reverse Link Capacity of CDMA Cellular Systems," Vehicular Technology Conference, IEEE VTS 54th, 2001.

- [5] Sun-Kuk Noh, "A Study on the Cell Sectorization Using the WBTC and NBTC in CDMA Mobile Communication Systems," Springer : Lecture Notes in Computer Science, vol.3421/2005, pp.920-927, 2005.
- [6] Vincent A. Nguyen, Peng-Jun Wan and Ophir Frieder, "Channel Alternation and Rotation for Trisectorized Cellular Systems," Springer Telecommunication Systems, vol.22, no.1-4, pp.77-94, 2003.
- [7] Sun-Kuk Noh, "A Study on the WBTC and NBTC for CDMA Mobile Communications Networks," *ICCSA 2006, LNCS 3981*, pp.582-590, 2006.
- [8] Martin, R.K., Large Scale Linear and Integer Programming, 1 edn. Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [9] Joseph Shapira, Shmuel Y. Miller, CDMA Radio with Repeaters, Springer, 2007.
- [10] Aaron So, Ben Liang, "Minimum Cost Configuration of Relay and Channel Infrastructure in Heterogeneous Wireless Mesh Networks," *Networking 2007*, pp.275-286, 2007.
- [11] IST WINNER II, D3.5.1 v1.0.
- [12] IST FIREWORKS Project(<http://fireworks.intranet.gr>)
- [13] IST ROMANTIK Project(<http://www.ist-romantik.org>)



이 형 우

1979년 University of British Columbia Electrical Engineering(학사). 1983년 University of Waterloo, Electrical Engineering(박사). 1983년~1991년 Carleton University, System and Computer Engineering 조교수. 1992년~1995년 University of Waterloo, Electrical and Computer Engineering 조교수. 1995년~현재 고려대학교 전자 및 정보공학부 교수. 관심분야는 통신망 설계 및 성능 분석, 트래픽 제어, MAC 프로토콜



류승완

1988년 고려대학교 산업공학과(학사). 1991년 고려대학교 산업공학과(석사). 2003년 뉴욕주립대(SUNY at Buffalo) 산업공학과(박사). 1991년~1993년 LG전자영상미디어연구소(주임연구원). 1993년~2004년 한국전자통신연구원 이동통신연구단(선임연구원). 2004년~현재 중앙대학교 정보시스템학과 교수. 관심분야는 이동통신시스템 설계 및 성능 분석, 무선 MAC 프로토콜, 컴퓨터 네트워크



유창진

2006년 8월 고려대학교 전산학과 졸업(학사). 2006년 9월~현재 고려대학교 전산학과 석사과정. 관심분야는 무선통신, 휴대인터넷, 홈네트워크



김승연

2005년 2월 고려대학교 전자 및 정보공학부 졸업(학사). 2007년 2월 고려대학교 전자정보공학과 졸업(석사). 2007년 3월~현재 고려대학교 전자정보공학과 박사과정. 관심분야는 통신망 설계 및 성능 분석, MAC 프로토콜



조충호

1981년 2월 고려대학교 산업공학과 졸업. 1983년 2월 고려대학교 산업공학과 석사. 1986년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(석사). 1989년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(박사). 1990년~1994년 순천향대학교 전산통계학과 조교수. 1994년~현재 고려대학교 전산학과 교수. 관심분야는 통신망 트래픽 관리 기술, 무선통신 시스템, 멀티미디어통신, 인터넷 비즈니스