

# Mobile WiMAX 기지국의 최적 출력파워 도출에 관한 연구

종신회원 김 성 만\*

## A Study on the Output Power Optimization of Mobile WiMAX Base Station

Sung-Man Kim\* *Lifelong Member*

요 약

본 논문은 차세대 이동통신 기술로 주목받고 있는 IEEE 802.16 기반의 Mobile WiMAX (또는 WiBro) 시스템에서 여러 가지 채널환경조건 및 기지국의 조건을 고려하여 기지국의 출력파워를 최적으로 설계하는 방법에 관한 것이다. 본 논문에서는 다양한 환경조건에서 Mobile WiMAX 시스템의 상/하향 링크버짓(link budget)을 산출하여, 이로부터 Mobile WiMAX 기지국의 최적 출력파워를 도출하는 방법에 대해 정리하였다. 본 논문에서는 MIMO(multiple input multiple output) 기술이 적용된 기존의 2Tx-2Rx 기지국과 여기에 수신단의 감도를 높이기 위해 수신단의 안테나 개수를 4개로 늘린 2Tx-4Rx 기지국과 성능을 향상시키기 위해 새롭게 빔포밍(beamforming) 기술이 적용된 4Tx-4Rx 기지국의 경우 등 총 세 가지 경우에 대하여 최적 출력파워를 도출하였다.

**Key Words** : Mobile WiMAX, Optimum Output Power, Base Station, IEEE 802.16.

### ABSTRACT

In this paper, we studied on the optimization of the output power of Mobile WiMAX (IEEE 802.16) base station considering the technical condition of base station and wireless channel condition. The optimum power of base station can be estimated based on the link budget calculation of downlink and uplink in the Mobile WiMAX communication system. We investigated the optimum output power of base station in the case of 2Tx-2Rx base station with 2x2 MIMO(multiple input multiple output) technology, 2Tx-4Rx base station with improved receiver sensitivity, and 4Tx-4Rx base station with beamforming technology.

### 1. 서 론

최근 다양한 모바일 응용서비스의 등장으로 이동 데이터 통신에 대한 수요가 늘면서 차세대 이동 통신 기술로 주목받고 있는 Mobile WiMAX (또는 WiBro) 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한, IEEE 802.16 기반의 Mobile WiMAX 기술은 3GPP 에서 표준화 작업을 하고 있는 LTE (long-term evolution)

기술과 함께 유력한 IMT-Advanced 차세대 이동통신 표준기술로 거론되고 있다. 이러한 Mobile WiMAX 시스템의 기지국을 설계하기 위해서는 여러 가지 요소들이 고려되어야 하는데, 그 중에서도 특히 기지국의 출력파워를 결정하는 일은 기지국 설계에 있어 전체적인 형상을 결정하고 관련 RF 부품들을 결정짓는 가장 기본적인 작업이라 할 수 있다. 하지만, 이토록 중요한 기지국의 출력파워를 결정하는데 있어 지금까

※ 본 연구는 2009학년도 경성대학교 공학기술연구소 연구지원사업으로 이루어졌음.

\* 경성대학교 공학기술연구소 겸임연구원 / 경성대학교 전기전자공학과(sungman@ks.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-01-021, 접수일자 : 2010년 1월 14일, 최종논문접수일자 : 2010년 3월 19일

지는 주로 각 나라의 출력파위에 관한 규제 법률에 의 존재 온 것이 사실이다. 하지만, 이렇게 설계된 현재의 Mobile WiMAX 기지국에서는 <그림 1>에서 보는 바와 같이 하향(downlink) 방향의 커버리지(coverage)가 종종 상향(uplink) 방향의 커버리지보다 커서 필요이상의 출력파위를 낭비하는 결과를 초래하고 있다. 이러한 필요이상의 출력파위는 기지국의 가격을 높이고 기지국의 크기를 키우는 주요원인이 되고 있다. 또한, 현재 각종 환경 규제 및 에너지 절감방침에 따라 Green BS (base station) 라고 불리는 저전력 기지국에 대한 요구가 높아져 기지국의 출력파위를 적정값으로 산출하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있겠다<sup>[1]</sup>. 실질적으로 수W 급 이상의 출력파위를 가지는 기지국에서는 출력파위를 조금만 낮추어도 기지국의 크기를 줄이고 RF 소자의 가격을 낮추는 효과가 큰 반면에, 그에 따른 하향방향으로의 데이터 손실률에 대한 영향은 거의 미비하여 기지국의 출력파위를 적정값으로 산출하는 것이 경제적으로도 매우 중요하다고 할 수 있겠다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Mobile WiMAX 시스템에서 기지국의 출력파위를 최적값으로 도출하는 방법에 대해 논의하고자 한다. 이러한 기지국의 최적 출력파위는 송/수신 안테나 개수 및 물리계층의 기술에 의존하게 되는데, 본 논문에서는 기존의 2x2 MIMO(multiple input multiple output) 기술이 적용된 2Tx-2Rx 기지국, 2x2 MIMO 기술과 함께 수신단의 감도를 높이기 위해 수신단의 안테나 개수를 늘린 2Tx-4Rx 기지국, 빔포밍 (beamforming) 기술이 적용된 4Tx-4Rx 기지국<sup>[1]</sup> 등 세 가지 경우에 대해 기지국의 최적 출력파위를 도출하도록 하겠다.

## II. 최적 출력파위 도출 방법 및 조건

### 2.1 최적 출력파위 도출 방법

Mobile WiMAX 기지국의 출력파위를 결정하는 방법으로 지금까지는 주로 각 나라에서 법률로 규제하고 있는 최대 출력파위에 맞추어 기지국의 출력파위를 설계해 왔다. 하지만, 이렇게 설계된 현재의 시스템에서는 단말의 출력파위에 비해 기지국의 출력파위가 필요이상으로 높아 상향방향의 커버리지(coverage)에 비해 하향방향의 커버리지가 넓은 현상을 가져오고 있다. 따라서, 하향방향의 커버리지와 상향방향의 커버리지가 동일해지는 수준까지 기지국의 출력파위를 낮출 수 있을 것이다. 이와 같은 커버리지 계산에

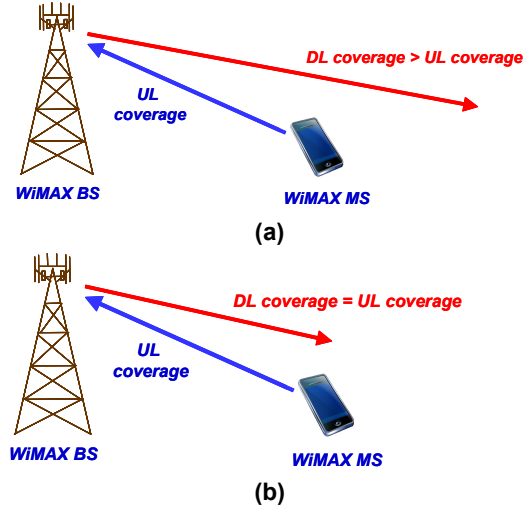


그림 1. Mobile WiMAX 기지국의 상/하향 커버리지 (a) 일반적인 기지국의 현재 상태 (b) 출력파위가 최적으로 설계된 상태

관련된 척도로는 최대허용감쇄량 (MAPL, maximum allowable path loss)<sup>[2]</sup>이 있다. Mobile WiMAX 기술의 경우 동일한 주파수를 통해 송/수신되는 TDD (time-division duplex) 방식을 채택하고 있으므로, 하향방향의 최대허용감쇄량이 상향방향의 최대허용감쇄량과 같다면, 상/하향간의 커버리지도 동일한 값을 가지게 될 것이다. 따라서, 본 논문에서는 하향방향의 최대허용감쇄량과 상향방향의 최대허용감쇄량이 동일해 지도록 기지국의 출력파위를 결정하는 방법이 Mobile WiMAX 기지국의 출력파위를 최적값으로 산출할 수 있는 방법으로 보았다. 이를 수식으로 표현하면 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{최적 출력파위}(dBm) \\ & = P_0(dBm) - (DL \text{ MAPL} - UL \text{ MAPL}) \quad (1) \end{aligned}$$

여기에서  $P_0$  는 링크버짓(link budget) 작성시 가정된 기지국의 출력이고, DL MAPL 은 하향방향의 최대허용감쇄량을 뜻하며 단위는 dB, UL MAPL 은 상향방향의 최대허용감쇄량을 뜻하며 단위는 dB 이다.

### 2.2 최적 출력파위 도출 조건

Mobile WiMAX 기지국의 최적 출력파위를 도출하기 위해서는 여러 가지 환경조건 및 기술조건을 가정하여야 한다. 본 논문에서 고려한 여러 도출조건을 표 1에 정리하였다.

우선 기지국의 송/수신 안테나 구조로는 2Tx-2Rx, 2Tx-4Rx, 4Tx-4Rx 등 총 세가지 경우를 가정하였다.

표 1. 최적출력파워 도출조건

도출조건	값
기지국 안테나 구조	2Tx-2Rx 2Tx-4Rx 4Tx-4Rx
무선 채널 환경	AWGN, Ped-B (3 km/h) Veh-A (30 km/h)
FRP (frequency reuse pattern)	1, 3
DL MAP 의 MCS Level	QPSK 1/12, 1/8, 1/4
상향방향의 최소보장 Data Rate (해당 MCS Level)	50 kbps (QPSK 1/4)

2Tx-2Rx 의 경우는 2x2 MIMO 기술이 적용된 기지국이고, 2Tx-4Rx 기지국은 2x2 MIMO 기술에 상향방향의 수신감도를 높이기 위해 다이버시티(diversity)<sup>[3]</sup> 기술이 적용되어 수신단의 안테나가 4개로 증가된 기지국을 가정하였다. 4Tx-4Rx의 경우는 가장 최근에 개발된 빔포밍 (beamforming) 기술이 적용되는 기지국을 가정하였다.

무선 채널환경은 AWGN(additive white Gaussian noise), Ped-B 3 km/h, Veh-A 30 km/h 등 총 3 가지 경우를 가정하였다. 이는 이론적인 AWGN 채널환경 및 보행자의 채널환경인 Ped-B 3 km/h, 그리고 이동 중인 차량에 해당하는 채널환경인 Veh-A 30 km/h 에 대해 모두 고려하기 위함이다. FRP (frequency reuse pattern) 은 1 과 3 을 가정하였는데, FRP=1 의 의미는 모든 섹터마다 동일한 주파수 대역을 사용한다는 의미이고, FRP=3 이라는 의미는 3 개의 섹터가 있을 때에 각 섹터마다 다른 주파수를 대역을 사용한다는 의미이다.

한편, 그림 2에서 보듯이 IEEE 802.16e 표준에 정해진 Mobile WiMAX 프레임의 구조에서 DL

(downlink) 서브프레임의 앞부분에 DL MAP<sup>[4]</sup> 이라는 부분이 있는데, 이는 DL Burst 부분에 대한 지도 정보로서 기지국내의 모든 단말에게 전달되어야 하는 부분이다. 따라서, 빔포밍 기술이 적용되는 4Tx-4Rx 기지국에서도 DL MAP 부분은 빔포밍 기술이 적용되지 않는다. 즉, DL MAP 부분은 가장 기본적인 다이버시티 기술만 적용되어 전송되므로 빔포밍 기술이 적용되는 데이터 영역에 비해 짧게 전송된다. 따라서, 하향방향의 커버리지는 이러한 DL MAP 부분에 의해 결정된다고 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 DL MAP 부분의 MCS (modulation and coding scheme) 레벨을 QPSK 1/12, 1/8, 1/4 로 변경하면서 이에 따른 최적 출력파워를 도출하였다.

참고로, DL MAP의 MCS 레벨을 QPSK 1/12 로 할 경우 DL MAP 부분이 차지하는 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 심볼의 숫자가 늘어나므로 그만큼 데이터를 보낼 수 있는 부분의 영역이 좁아지게 된다. 따라서, DL MAP 의 MCS 레벨을 낮출수록 (QPSK 1/4 -> 1/8 -> 1/12로 바꿀수록) 하향 방향의 커버리지는 증가하지만, 그만큼 하향방향의 데이터 전송속도(data rate)가 감소하게 된다.

또한, 상향링크의 최소보장 데이터 전송속도는 50 kb/s 로 가정하였다. 이는 대부분의 해외 통신 사업자들이 요구하는 성능 값이다. 이를 만족시키는 MCS 레벨은 QPSK 1/4 에 해당한다.

### III. 최대허용감쇄량 도출

하향링크와 상향링크의 최대허용감쇄량을 도출하기 위해서는 각 방향으로의 링크버짓(link budget)을 계산하여야 한다. 본 논문에서는 일반적인 Mobile WiMAX 시스템의 전송조건인 PUSC (partial usage of subchannels) permutation 을 가정하고, 채널 대역폭이 10 MHz 인 경우로 가정하였다. 또한, Mobile WiMAX 단말의 송신안테나는 1 개, 수신안테나는 2 개를 가정하였다. 단말의 출력파워는 200 mW 로 가정하였다. 이를 바탕으로 아래의 각 경우에 대해 상향링크와 하향링크에 대한 최대허용감쇄량을 도출하였다.

#### 3.1 2Tx-2Rx 기지국의 경우

2x2 MIMO 기술이 적용된 2Tx-2Rx 기지국에서 FRP=1, Ped-B 3km/h 경우에 대한 하향 링크버짓을 표 2 에 나타내었다. 표 2에서 링크버짓을 작성하기 위해 가정한 기지국의 출력파워는 각 출력 패스(path) 당 4 W 를 가정하였다. 2Tx 기지국의 출력은 두개의

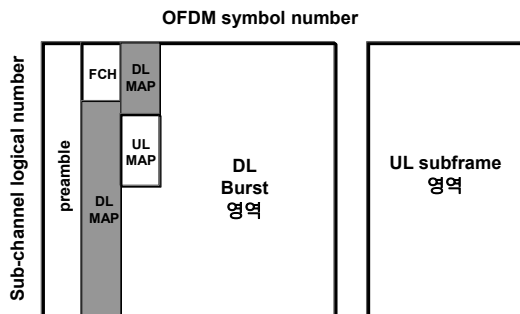


그림 2. Mobile WiMAX 프레임 구조

표 2. 2Tx-2Rx 기지국의 하향 링크버짓 (FRP=1, Ped-B 3km/h)

항목	단위	QPSK 1/4	QPSK 1/8	QPSK 1/12
<b>시스템 가정</b>				
# of Tx antenna		2	2	2
# of Rx antenna		2	2	2
# of tones		840	840	840
Tone Spacing	KHz	10.94	10.94	10.94
# of data tones / subch.		24	24	24
# of pilot tones / subch.		4	4	4
# of subch. / symbol		30	30	30
Subchannel BW	KHz	306.25	306.25	306.25
Total BW allocated	KHz	9187.5	9187.5	9187.5
<b>송신단</b>				
BS maximum power	dBm	36.0	36.0	36.0
Antenna gain / branch	dBi	17.5	17.5	17.5
Antenna combine gain	dB	3.0	3.0	3.0
Pilot power boosting	dB	2.50	2.50	2.50
Loss due to pilot power	dB	-1.1	-1.1	-1.1
Cable Loss	dB	0.5	0.5	0.5
<b>TX EIRP</b>	<b>dBm</b>	<b>54.9</b>	<b>54.9</b>	<b>54.9</b>
<b>수신단</b>				
Thermal noise density	dB	-174.00	-174.00	-174.00
RX noise figure	dB	7.00	7.00	7.00
RX noise density	dB	-167.0	-167.0	-167.0
Noise Bandwidth	KHz	7875.0	7875.0	7875.0
Noise Bandwidth	dB-Hz	68.96	68.96	68.96
RX noise power	dB	-98.04	-98.04	-98.04
RX antenna gain	dBi	-1.0	-1.0	-1.0
RX diversity gain	dB	4.8	4.5	4.5
Required SINR	dB	5.5	2.2	0.4
<b>RX sensitivity</b>	<b>dB</b>	<b>-96.3</b>	<b>-99.3</b>	<b>-101.1</b>
<b>기타</b>				
Interference Margin	dB	6.4	2.1	1.3
Penetration loss	dB	8.00	8.00	8.00
Fading margin	dB	5.40	5.40	5.40
<b>MAPL</b>	<b>dB</b>	<b>131.4</b>	<b>138.7</b>	<b>141.4</b>

페이스이므로, 기지국의 총 출력파워는 8 W 가 된다.

표 2에서는 DL MAP 의 MCS 레벨이 QPSK 1/4, QPSK 1/8, QPSK 1/12 인 세가지 경우에 대해서 송신단과 수신단의 링크버짓을 구하여 최대허용감쇄량 (MAPL)을 구하였다. 각 항목에 대한 자세한 내용은 참고문헌 [5, 6]를 참고하기 바란다. 표 2에 대응하여 2Tx-2Rx 기지국, FRP=1, Ped-B 3km/h 인 경우에서 상향 링크버짓을 도출하면 표 3과 같다.

표 2와 표 3을 비교하면 각 환경조건에서 최적 출력파워를 도출할 수 있다. 예를 들어 DL MAP 을 QPSK 1/8 로 설정하는 경우, 하향링크의 최대허용감쇄량은 138.7 dB 이고 상향링크의 최대허용감쇄량은 134.9 dB 이므로 그 차이는 138.7 - 134.9 = 3.8 dB 가 된다. 이 계산의 의미는 하향링크 방향으로의 출력파워가 3.8 dB 만큼 낭비되고 있다는 뜻이다. 따라서, 표 2에서 가정한 페스당 4 W (=36 dBm)의 기지국의 출력파워에서 3.8 dB 만큼을 낮춘 32.2 dBm (약 1.7 W)의 값이 기지국의 최적 출력파워가 될 것이다.

이와 같이 최적출력파워를 산출하기 위해서는 표 1에서 제시한 다양한 조건에서 상/하향 방향으로의 최

표 3. 2Tx-2Rx 기지국의 상향 링크버짓 (FRP=1, Ped-B 3km/h)

	단위	값
<b>시스템 가정</b>		
Data Rate	Kbps	50
MCS level		QPSK 1/4
# of Tx antenna		1
# of Rx antenna		2
# of tones		840
Tone Spacing	KHz	10.9
# of data tones / subch.s		16
# of pilot tones / subch.s		8
# of tones		72
Total # of subch.s / symbol		35
# of subch.s to meet throughput		3
Subchannel BW	KHz	262.5
Total BW	KHz	787.5
<b>Transmitter</b>		
Device maximum power	dBm	23.0
Antenna gain	dBi	-1.0
Pilot power boosting	dB	0.0
Loss due to pilot powers	dB	-1.8
<b>TX EIRP</b>	<b>dBm</b>	<b>20.2</b>
<b>Receiver</b>		
Thermal noise density	dBm	-174.0
RX noise figure	dB	4.0
RX noise density	dBm	-170.0
Noise Bandwidth	KHz	525.0
Noise Bandwidth	dB-Hz	57.2
RX noise power	dB	-112.8
RX antenna gain	dBi	17.5
RX diversity gain	dB	4.6
Cable loss	dB	0.5
Required SINR	dB	8.2
<b>RX sensitivity</b>	<b>dB</b>	<b>-126.2</b>
<b>Others</b>		
H-ARQ Coding Gain	dB	3.7
Interference Margin	dB	1.8
Penetration loss	dB	8.0
Fading Margin	dB	5.4
<b>MAPL</b>	<b>dB</b>	<b>134.9</b>

대허용감쇄량을 도출하는 것이 필요하다. 표 4에서는 2Tx-2Rx 기지국의 경우에서 FRP=3, Ped-B 3km/h 인 경우에 대한 하향 링크버짓을 나타내었다. 표 4의 링크버짓을 표 2와 비교해 보면, 나머지 항목들은 동일한 값을 가지나 FRP=1 과 FRP=3 의 차이로 인해 interference margin 이 줄어든 것을 볼 수 있다. 이로 인해 하향방향으로의 최대허용감쇄량이 수 dB 가량 증가된 것을 알 수 있다.

마찬가지로 FRP=3, Ped-B 3km/h 인 경우에서 2Tx-2Rx 기지국의 상향 링크버짓을 산출할 수 있는데, 이를 표 5에 나타내었다. 표 3과 표 5에서 알 수 있듯이 FRP=1 과 FRP=3 의 차이는 interference margin 뿐이며, FRP=3 에서는 섹터간의 주파수 간섭이 줄어들어 interference margin이 줄어들었으며, 이로 인해 최대 허용감쇄량이 증가되었다.

표 4. 2Tx-2Rx 기지국의 하향 링크버젝 (FRP=3, Ped-B 3km/h)

항목	단위	QPSK 1/4	QPSK 1/8	QPSK 1/12
<b>시스템 가정</b>				
# of Tx antenna		2	2	2
# of Rx antenna		2	2	2
# of tones		840	840	840
Tone Spacing	KHz	10.94	10.94	10.94
# of data tones / subch.		24	24	24
# of pilot tones / subch.		4	4	4
# of subch. / symbol		30	30	30
Subchannel BW	KHz	306.25	306.25	306.25
Total BW allocated	KHz	9187.5	9187.5	9187.5
<b>송신단</b>				
BS maximum power	dBm	36.0	36.0	36.0
Antenna gain / branch	dB	17.5	17.5	17.5
Antenna combine gain	dB	3.0	3.0	3.0
Pilot power boosting	dB	2.50	2.50	2.50
Loss due to pilot power	dB	-1.1	-1.1	-1.1
Cable Loss	dB	0.5	0.5	0.5
<b>TX EIRP</b>	<b>dBm</b>	<b>54.9</b>	<b>54.9</b>	<b>54.9</b>
<b>수신단</b>				
Thermal noise density	dB	-174.00	-174.00	-174.00
RX noise figure	dB	7.00	7.00	7.00
RX noise density	dB	-167.0	-167.0	-167.0
Noise Bandwidth	KHz	7875.0	7875.0	7875.0
Noise Bandwidth	dB-Hz	68.96	68.96	68.96
RX noise power	dB	-98.04	-98.04	-98.04
RX antenna gain	dB	-1.0	-1.0	-1.0
RX diversity gain	dB	4.8	4.5	4.5
Required SINR	dB	5.5	2.2	0.4
<b>RX sensitivity</b>	<b>dB</b>	<b>-96.3</b>	<b>-99.3</b>	<b>-101.1</b>
<b>기타</b>				
Interference Margin	dB	0.5	0.2	0.1
Penetration loss	dB	8.00	8.00	8.00
Fading margin	dB	5.40	5.40	5.40
<b>MAPL</b>	<b>dB</b>	<b>137.4</b>	<b>140.6</b>	<b>142.5</b>

표 5. 2Tx-2Rx 기지국의 상향 링크버젝 (FRP=3, Ped-B 3km/h)

	단위	값
<b>시스템 가정</b>		
Data Rate	Kbps	50
MCS level		QPSK 1/4
# of Tx antenna		1
# of Rx antenna		2
# of tones		840
Tone Spacing	KHz	10.9
# of data tones / subch.s		16
# of pilot tones / subch.s		8
# of tones		72
Total # of subch.s / symbol		35
# of subch.s to meet		3
Subchannel BW	KHz	262.5
Total BW	KHz	787.5
<b>Transmitter</b>		
Device maximum power	dBm	23.0
Antenna gain	dB	-1.0
Pilot power boosting	dB	0.0
Loss due to pilot powers	dB	-1.8
<b>TX EIRP</b>	<b>dBm</b>	<b>20.2</b>
<b>Receiver</b>		
Thermal noise density	dBm	-174.0

RX noise figure	dB	4.0
RX noise density	dBm	-170.0
Noise Bandwidth	KHz	525.0
Noise Bandwidth	dB-Hz	57.2
RX noise power	dB	-112.8
RX antenna gain	dB	17.5
RX diversity gain	dB	4.6
Cable loss	dB	0.5
Required SINR	dB	8.2
<b>RX sensitivity</b>	<b>dB</b>	<b>-126.2</b>
<b>Others</b>		
H-ARQ Coding Gain	dB	3.7
Interference Margin	dB	0.9
Penetration loss	dB	8.0
Fading Margin	dB	5.4
<b>MAPL</b>	<b>dB</b>	<b>135.8</b>

한편 무선 채널환경을 AWGN 이나 Veh-A 30 km/h 로 바꾸었을 때에도 링크버젝을 산출할 수 있으나, 공간의 제약상 본 논문에서는 그 최대허용감쇄량의 결과값만 다음 장인 “IV. 최적출력파워 도출”에서 나타내도록 하겠다.

### 3.2 2Tx-4Rx 기지국의 경우

2x2 MIMO 기술이 적용된 2Tx-2Rx 기지국에서 상향방향의 커버리지를 증대하기 위하여 수신 안테나를 4 개로 늘린 기지국이 2Tx-4Rx 기지국이다. 2Tx-4Rx 기지국은 다이버시티 효과로 인해 상향방향의 최대허용감쇄량이 늘어나게 된다. 따라서, 하향방향의 링크버젝 및 최대허용감쇄량은 2Tx-2Rx 경우와 동일하며, 상향방향의 링크버젝만 달라지게 된다. 2Tx-4Rx 기지국에서 FRP=1, Ped-B 3km/h 인 경우에 대한 상향 링크버젝을 나타내면 표 6과 같다. 2Tx-2Rx 경우인 표 3과 비교해 보면, 수신안테나 개수의 증가로 인해 다이버시티 이득 (diversity gain) 이 3.9 dB 정도 증가되어 최대 허용감쇄량도 그에 따라 증가된 것을 알 수 있다.

마찬가지로 2Tx-4Rx 기지국에서 FRP=3, Ped-B 3km/h 인 경우에서 상향방향의 링크버젝을 구하면 2Tx-2Rx 기지국의 FRP=3, Ped-B 3km/h 경우인 <표 5>의 값에서 다이버시티 이득만 3.9 dB 가 증가되며, 그 결과 최대 허용감쇄량은 139.7 dB 가 된다. 이 경우에 대한 링크버젝은 따로 표기하지는 않겠다.

### 3.3 4Tx-4Rx 기지국의 경우

빔포밍 기술이 적용된 4Tx-4Rx 기지국에서 하향링크의 데이터부분(DL Burst 영역)은 각 목표가 되는 단말에게 빔포밍이 되도록 빔포밍 기술이 적용될 수

표 6. 2Tx-4Rx 기지국의 상향 링크버짓 (FRP=1, Ped-B 3km/h)

	단위	값
<b>시스템 가정</b>		
Data Rate	Kbps	50
MCS level		QPSK 1/4
# of Tx antenna		1
# of Rx antenna		2
# of tones		840
Tone Spacing	KHz	10.9
# of data tones / subch.s		16
# of pilot tones / subch.s		8
# of tones		72
Total # of subch.s / symbol		35
# of subch.s to meet throughput		3
Subchannel BW	KHz	262.5
Total BW	KHz	787.5
<b>Transmitter</b>		
Device maximum power	dBm	23.0
Antenna gain	dBi	-1.0
Pilot power boosting	dB	0.0
Loss due to pilot powers	dB	-1.8
<b>TX EIRP</b>	<b>dBm</b>	<b>20.2</b>
<b>Receiver</b>		
Thermal noise density	dBm	-174.0
RX noise figure	dB	4.0
RX noise density	dBm	-170.0
Noise Bandwidth	KHz	525.0
Noise Bandwidth	dB-Hz	57.2
RX noise power	dB	-112.8
RX antenna gain	dBi	17.5
RX diversity gain	dB	8.5
Cable loss	dB	0.5
Required SINR	dB	8.2
<b>RX sensitivity</b>	<b>dB</b>	<b>-130.1</b>
<b>Others</b>		
H-ARQ Coding Gain	dB	3.7
Interference Margin	dB	1.8
Penetration loss	dB	8.0
Fading Margin	dB	5.4
<b>MAPL</b>	<b>dB</b>	<b>138.8</b>

있으나, DL MAP 부분은 기지국에 있는 모든 단말에게 전송되어야 하므로 빔포밍 기술이 적용되지 못한다. 따라서, 하향링크의 최대 허용감쇄량은 하향링크의 최악조건인 DL MAP 기준으로 해야할 것이다. 이러한 경우에 FRP=1, Ped-B 3km/h 인 경우에 대한 하향 링크버짓을 나타내면 표 7과 같다. 표 7에서는 기지국의 각 송신 path 당 2 W 의 출력을 가정한 상태에서 링크버짓 표를 작성하였다.

한편 4Tx-4Rx 기지국의 상향 링크버짓은 기본적으로 2Tx-4Rx 기지국의 경우와 동일하다. 왜냐하면, 빔포밍 기술은 하향링크에만 적용되는 기술로서, 상향링크에는 다이버시티 이득만을 얻게 되므로 2Tx-4Rx 기지국과 동일한 상향 링크버짓을 가지게 된다. 따라서, FRP=1, Ped-B 3km/h 인 경우에 대한 상향 링크버짓은 표 6과 동일하게 되며, FRP=3, Ped-B 3km/h

표 7. 4Tx-4Rx 기지국의 하향 링크버짓 (FRP=1, Ped-B 3km/h)

항목	단위	QPSK 1/4	QPSK 1/8	QPSK 1/12
<b>시스템 가정</b>				
# of Tx antenna		4	4	4
# of Rx antenna		2	2	2
# of tones		840	840	840
Tone Spacing	KHz	10.94	10.94	10.94
# of data tones / subch.		24	24	24
# of pilot tones / subch.		4	4	4
# of subch. / symbol		30	30	30
Subchannel BW	KHz	306.25	306.25	306.25
Total BW allocated	KHz	9187.5	9187.5	9187.5
<b>송신단</b>				
BS maximum power	dBm	33.0	33.0	33.0
Antenna gain / branch	dBi	17.5	17.5	17.5
Antenna combine gain	dB	6.0	6.0	6.0
Pilot power boosting	dB	2.50	2.50	2.50
Loss due to pilot power	dB	-1.1	-1.1	-1.1
Cable Loss	dB	0.5	0.5	0.5
<b>TX EIRP</b>	<b>dBm</b>	<b>54.9</b>	<b>54.9</b>	<b>54.9</b>
<b>수신단</b>				
Thermal noise density	dB	-174.00	-174.00	-174.00
RX noise figure	dB	7.00	7.00	7.00
RX noise density	dB	-167.0	-167.0	-167.0
Noise Bandwidth	KHz	7875.0	7875.0	7875.0
Noise Bandwidth	dB-Hz	68.96	68.96	68.96
RX noise power	dB	-98.04	-98.04	-98.04
RX antenna gain	dBi	-1.0	-1.0	-1.0
RX diversity gain	dB	4.8	4.5	4.5
Required SINR	dB	4.8	1.3	-0.5
<b>RX sensitivity</b>	<b>dB</b>	<b>-97.0</b>	<b>-100.2</b>	<b>-102.0</b>
<b>기타</b>				
Interference Margin	dB	4.6	1.6	1.0
Penetration loss	dB	8.00	8.00	8.00
Fading margin	dB	5.40	5.40	5.40
<b>MAPL</b>	<b>dB</b>	<b>133.9</b>	<b>140.1</b>	<b>142.5</b>

인 경우에는 2Tx-4Rx 기지국의 FRP=3, Ped-B 3km/h 경우와 같게 되며, 따라서 <표 5>의 값에서 다이버시티 이득이 3.9 dB 가 증가된 139.7 dB의 최대 허용감쇄량을 가지게 된다.

#### IV. 최적 출력파워 도출

III 장에서와 동일한 방법을 사용하면 AWGN 및 Veh-A 30 km/h 의 무선채널 환경조건에서도 상/하향 링크의 링크버짓을 구할 수 있고, 이를 통해 상/하향 링크의 최대허용감쇄량을 구할 수 있다. 본 논문에서는 공간의 제약상 이 두 가지 채널환경조건에 대해서는 최대허용감쇄량의 결과값만을 제시하고, 이를 이용하여 각 경우에 대한 최적 출력파워를 도출하도록 하겠다.

##### 4.1 상/하향 최대허용감쇄량 비교

그림 3은 2Tx-2Rx 기지국의 FRP=1 경우에 대해 상/하향 최대허용감쇄량을 한번에 비교한 그림이다.

DL MAPL (dB)

DL MAP MCS level	QPSK 1/4	QPSK 1/8	QPSK 1/12
FRP=1 AWGN	137.5	142.4	144.6
	138.4		
FRP=1 Ped-B (3km/h)	131.4	138.7	141.4
	134.9		
FRP=1 Veh-A (30km/h)	N/A	136.3	139.0
	134.6		

UL MAPL (dB)

그림 3. 2Tx-2Rx 기지국의 상/하향 최대허용감쇄량 비교 (FRP=1)

예를 들어, FRP=1, AWGN, DL MAP이 QPSK 1/4 인 경우에는 하향링크의 최대허용감쇄량이 137.5 dB 이고 상향링크의 최대허용감쇄량이 138.4 dB이므로, 하향링크의 최대허용감쇄량이 0.9 dB 낮다. 따라서, 이 경우에는 링크버짓을 작성할 때 가정하였던 페스당 4 W의 기지국 출력파워를 0.9 dB 만큼 올려야 상/하향간의 커버리지가 동등하게 맞추어질 것이다.

그림 3의 다른 예를 보면, FRP=1, Ped-B 3km/h, DL MAP이 QPSK 1/8 인 경우에는 하향링크의 최대 허용감쇄량이 138.7 dB 이고, 상향링크의 최대허용감쇄량이 134.9 dB 이므로, 하향링크의 최대허용감쇄량이 3.8 dB 높다. 따라서, 이 경우에는 링크버짓을 작성할 때 가정하였던 페스당 4 W의 출력파워를 3.8 dB 만큼 낮추어야 최적 출력파워가 될 것이다. 이와 같이 그림 3과 같은 상/하향 최대허용감쇄량 비교그림을 이용하여 각 경우에 대한 최적 출력파워를 도출할 수가 있다. 한편, 그림 3에서 FRP=1, Veh-A 30 km/h, DL MAP 이 QPSK 1/4 일때 하향 최대허용감쇄량이 N/A (not applicable) 로 표기된 이유는 그 경우에 대해서는 간섭(interference)의 양이 너무 심해 통신자체가 불가능한 조건이기 때문이다. 이 경우에 대한 하향 링크버짓의 상세한 값을 본 논문에서 표기하지는 않았지만, 이 채널의 경우에 대해 QPSK 1/4 신호를 받아들이기 위해 수신단에서 요구되는 SINR (signal to interference and noise ratio) 값은 7.1 dB 인데, 19셀 시뮬레이션을 통해 이를 만족하는 기지국의 출력파워를 시뮬레이션 해보면, 아무리 출력값을 높여도 인접 기지국의 간섭 때문에 7.1 dB 의 SINR을 만족할 수 없다는 뜻이다.

DL MAPL (dB)

DL MAP MCS level	QPSK 1/4	QPSK 1/8	QPSK 1/12
FRP=1 AWGN	138.2	142.8	144.8
	140.6		
FRP=1 Ped-B (3km/h)	133.9	140.1	142.5
	138.8		
FRP=1 Veh-A (30km/h)	130.2	138.2	140.6
	138.8		

UL MAPL (dB)

그림 4. 4Tx-4Rx 기지국의 상/하향 최대허용감쇄량 비교 (FRP=1)

이와 같이 그림 3과 같은 상/하향 최대허용감쇄량 그림을 다른 조건에서도 나타낼 수 있으며, 다른 한 가지 예로 그림 4에서는 4Tx-4Rx 기지국의 FRP=1 경우에 대한 상/하향 최대허용감쇄량을 비교하여 나타내었다.

#### 4.2 최적 출력파워 도출

그림 3 및 그림 4와 같은 각 경우에 대한 상/하향 최대허용감쇄량 비교 그림과 수식 (1) 을 이용하면 각 경우에 대한 최적 출력파워를 도출할 수 있다. 이를 정리하여 그림 5에서는 DL MAP을 QPSK 1/12로 설정할 때에 AWGN, Ped-B 3 km/h, Veh-A 30 km/h 의 모든 채널조건에서 동작할 수 있는 최적의 출력파워를 정리하였다. 예를 들어, 그림 5에서 2Tx2Rx, FRP=1 의 경우에 최적 출력파워가 1.6 W로 계산된 과정은 그림 3에서 QPSK 1/12 의 AWGN, Ped-B 3 km/h, Veh-A 30 km/h 채널 3 가지 조건을 모두 만족하기 위해서는 Veh-A 30 km/h 의 경우가 되고, 이 경

DL MAP QPSK 1/12	2Tx2Rx	2Tx4Rx	4Tx4Rx
FRP = 1	1.6 W	4.5 W	1.6 W
FRP = 3	1.3 W	3.5 W	1.3 W
FRP = 1, 3 모두 고려	1.6 W	4.5 W	1.6 W

그림 5. DL MAP이 QPSK 1/12로 설정되었을 때의 기지국의 최적 출력파워 (W/carrier/path)

DL MAP QPSK 1/8	2Tx2Rx	2Tx4Rx	4Tx4Rx
FRP = 1	3 W	8 W	2.5 W
FRP = 3	2 W	5 W	2 W
FRP = 1, 3 모두 고려	3 W	8 W	2.5 W

그림 6. DL MAP이 QPSK 1/8로 설정되었을 때의 기지국의 최적 출력파워 (W/carrier/path)

우에 하향 링크버짓의 값이 139.0 dB 로 134.6 dB 를 보이는 상향 링크버짓 값보다 4.4 dB 의 마진을 보이므로, 링크버짓을 작성할 때에 가정하였던 4 W의 출력에서 4.4 dB 만큼을 줄인 1.6 W의 값이 최적 출력 파워의 값이 되겠다.

이와 같은 방법을 사용하여 그림 6에서는 DL MAP을 QPSK 1/8로 설정할 경우에 대한 최적 출력 파워를 정리하였고, 그림 7에서는 DL MAP을 QPSK 1/4로 설정할 경우에 대한 최적 출력파워를 나타내었다. 단위는 모두 W/carrier/path 이다.

그림 7에서 N/A (not available) 로 표기된 부분은 기지국의 출력파워를 아무리 높여도 간섭으로 인해 통신 자체가 불가능한 조건이다. DL MAP의 MCS 레벨을 QPSK 1/12 -> 1/8 -> 1/4 로 올릴때마다 DL MAP 이 DL 서브프레임에서 차지하는 비중이 줄어들기 때문에 하향 데이터의 throughput이 약 10% 가량씩 증가하지만, 그에 따라 기지국의 출력파워는 증가시켜야 통신이 가능함을 알 수 있다. 따라서, Mobile WiMAX 기지국을 설계함에 있어서는 throughput과 기지국 출력파워를 trade off 하여 DL MAP의 MCS 레벨을 결정하고, 그에 따라 기지국의 최적 출력파워를 결정할 수 있을 것으로 생각된다.

DL MAP QPSK 1/4	2Tx2Rx	2Tx4Rx	4Tx4Rx
FRP = 1	N/A	N/A	16 W
FRP = 3	4 W	10 W	4 W
FRP = 1, 3 모두 고려	N/A	N/A	16 W

그림 7. DL MAP이 QPSK 1/4로 설정되었을 때의 기지국의 최적 출력파워 (W/carrier/path)

본 논문에서는 여러 가지 경우에 대한 최적 출력파워를 도출했지만, 그림 7에서 보듯이 DL MAP의 MCS 레벨을 QPSK 1/4까지 증가시켰을 경우에는 통신이 가능한 조건이 많지 않고, 통신이 가능한 4Tx-4Rx 기지국의 경우에도 송신 패스당 16 W 라는 상당한 고출력이 요구되므로 DL MAP의 MCS 레벨은 QPSK 1/8 정도로 설정하는 것이 데이터의 throughput 과 기지국의 경제성을 고려할 때에 실제 시스템에 쓰일 수 있는 가장 적절한 값으로 생각된다. 따라서, DL MAP을 QPSK 1/8로 설정한 경우인 <그림 6>의 경우가 실제 시스템에 적용될 수 있는 가장 적절한 조건에서 기지국의 최적 출력파워를 도출한 값이라 할 수 있겠다.

### V. 결 론

본 논문에서는 에너지 소모를 최소로 줄여야 하는 미래의 환경에서 Mobile WiMAX 기지국이 가져야 할 최적 출력파워를 정의하였고, 이를 산출하는 방법에 대해 논하였다. 다양한 채널 환경조건 및 기지국 조건들에 대하여 상/하향 최대허용감쇄량을 도출하였고, 도출된 상/하향간의 최대허용감쇄량을 비교하여 각 조건들에서 기지국이 가져야 할 최적의 출력파워를 도출해 내었다. 또한, 그 결과를 바탕으로 실제 Mobile WiMAX 시스템에 적용될 수 있는 가장 적합한 DL MAP의 MCS 레벨을 찾아내었으며, 그 경우에 대한 최적 출력파워를 정리하여 나타내었다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김성만, "Beamforming 기술이 적용된 Mobile WiMAX 기지국의 최적 출력파워 도출에 관한 연구", 2009년도 한국통신학회 추계종합학술발표회, paper 7C-2, Nov. 2009.
- [2] Ying Li, Yan Zhang, YuDong Qi, and Hongda Fan, "Coverage and capacity in WiMAX and TD-SCDMA evolution: a comparative study", *Proceedings of 2009 International Conference on Communications and Mobile Computing*, Leipzig, Germany, pp.1473~1477, June 2009.
- [3] Jeffrey G. Andrew, Arunabha Ghosh, and Rias Muhamed, *Fundamentals of WiMAX*, Prentice Hall, chapter 5, 2007.
- [4] IEEE Std 802.16e-2005, Feb. 2006.
- [5] Mobile WIMAX - Part I:A Technical Overview



and Performance Evaluation, WiMAX forum white paper, Mar. 2006.

- [6] WiMAX Forum Mobile Radio Conformance Tests (MRCT) Release 1.0 Approved Specification, WiMAX forum, April 2008.

김 성 만 (Sung-Man Kim)

중신회원



1999년 2월 KAIST 전기및전자공학과 공학사

2001년 2월 KAIST 전자전산학과 석사

2006년 2월 KAIST 전자전산학과 박사

2009년 3월~현재 경성대학교 전기전자공학과 교수

<관심분야> Mobile WiMAX, 광통신