

# 빔 형성기를 적용한 단말기의 성능향상 연구

정희원 김 계 원\*, 이승 구\*, 김 민 상\*, 박 병 훈\*\*, 고 학 림\*

## Performance Analysis of Smart Antenna System in Mobile Terminals

Kye Won Kim\*, Seung Goo Lee\*, Min Sang Kim\*, Byung Hoon Park\*\*,  
Hak Lim Ko\*<sup>o</sup> *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 단말기에 스마트 안테나의 적용에 의한 성능향상을 연구하였다. 특히 본 연구에서는 단말기에 스마트 안테나의 적용에 의한 크기 및 하드웨어와 계산량의 복잡도를 줄이기 위한 스위칭 빔 방식의 빔형성 구조도를 설계하고 제작하였으며, 제작한 단말용 스마트 안테나 테스트베드를 이용하여 상용 WCDMA 채널 환경에서 측정을 수행하고, 측정된 데이터를 분석하여, 단말에 스마트 안테나 시스템의 적용에 의한 페이딩 감소 정도 및 링크버짓 향상 정도에 대한 분석을 수행하였다. 측정 데이터의 분석결과 단말에 2 x 2 배열 안테나를 이용한 스마트 안테나 적용 시에 빔 이득은 물론 약 3dB의 페이딩 이득이 있음을 알 수 있었다.

**Key Words** : Smart Antenna, Beamforming, Fading Reduction, Link Budget, WCDMA

### ABSTRACT

In this paper, we have studied the implementation and adaptation of a smart antenna system for mobile terminals. We have designed a smart antenna system with switching beam structure in order to reduce the hardware and computational complexity. Additionally we have analyzed the reduction of the effect of multipath fading due to beamforming using real measurement data from commercial CDMA cellular channel environments. After analyzing the measurement data, we found out that the effect of fading reduces by ~3dB due to the effect of 2 x 2 beamforming in mobile terminals with 6dB beamforming gain.

### 1. 서 론

향후 무선통신 시스템에서는 비트 에러율이 낮은 고속 데이터 통신이 요구되고 있으며, 이 경우 반송주파수의 증가와 대역폭의 증가로 인한 셀 반경의 감소와 다중경로 페이딩 영향의 증가 등의 문제에 의해 시스템의 성능이 저하될 수 있다. 따라서 현재 스마트 안테나 시스템의 적용으로 상기의 문제를 해결하려 하고 있다.

스마트 안테나 시스템<sup>1-3)</sup>은 복수개의 배열 안테나 소자를 이용하여 각각의 안테나 소자에서 수신되는 신호들의 이득 및 위상을 조절하여 원하는 방향으로만 신호를 송·수신함으로써, 원하는 방향의 신호에 대한 이득을 증가시키고, 원하지 않는 방향의 간섭을 최소화시킴으로써 시스템의 성능을 향상시킨다<sup>1-3)</sup>. 현재까지의 스마트 안테나 시스템에 대한 연구는 중국의 TDS-CDMA 시스템에서 보이는 바와 같이 주로 기지국 위주로 수행되어왔다. 이는 스마트 안테나 시스템

※ 이 논문은 2009년도 호서대학교 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임. (2009-0578)

\* 호서대학교 정보통신공학과 배열신호처리 연구실(hlko@hoseo.edu) (°: 교신저자),

\*\* 인덕대학 컴퓨터전과 (bhpark@induk.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-07-312, 접수일자 : 2010년 7월 21일, 최종논문접수일자 : 2010년 9월 8일

에서는 복수개의 안테나 및 RF단의 사용에 의한 하드웨어의 복잡도 증가, 빔형성 가중치의 추정에 의한 계산량 및 소비전력이 증가하고, 따라서 단말에 스마트 안테나 기능의 추가는 단말의 크기 및 가격 상승의 요인이 되기 때문이었다.

하지만 향후의 통신 시스템은 센서통신, ad-hoc 통신, relay 통신 및 클라우드 컴퓨팅 등 주로 단말기 위주의 통신이 주를 이룰 것으로 예상되며, 이동통신 시스템에서도 단말기에 스마트 안테나 기능이 포함되면, 단말기에서 기지국 방향으로의 빔형성에 의한 빔 이득 및 원하는 방향 신호만의 송수신에 의한 다중경로 페이딩 영향 감소 등에 의해 고속의 데이터 통신을 보다 안정적으로 수행할 수 있을 것으로 예상된다.

하지만 단말에의 스마트 안테나 기술 적용은 단말에서의 빔형성에 의한 하드웨어의 복잡도와 빔형성 알고리즘에 의한 계산량의 증가 등으로 인해 단말의 크기가 커지고, 가격 상승 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 빔형성에 의한 단말의 복잡도 및 계산량을 최소화하기 위하여 스위칭 빔 방식의 빔형성 기법을 이용한 단말기용 스마트 안테나 시스템을 제작하였다. 본 연구에서 제작한 단말기용 스위칭 빔 안테나 시스템에서는 2 x 2 배열 안테나와 버틀러 매트릭스를 이용하여 빔 형성이 수행되게 하였으며, 버틀러 매트릭스의 출력 신호 중에서 원하는 빔 방향의 신호만을 선택하여 단말로 신호를 송·수신하기 위한 빔 선택기를 제작하고, 이를 WCDMA 단말기에 연결하였다. 또한 제작된 스마트 안테나 테스트 베드와 단말기를 이용하여 WCDMA 기지국 환경에서 DM 측정을 통하여 단말기에서의 빔 형성에 의한 성능을 분석하였다.

또한, 일반적으로 복수개의 안테나를 사용하여 원하는 신호의 방향으로만 빔 형성을 수행하면 빔 이득이 발생하고, 상용 WCDMA 기지국을 이용한 측정에서는 전력 제어 등의 기능이 자동적으로 포함되기 때문에, 본 측정 및 측정 데이터를 이용한 빔형성기의 링크버짓 향상정도 분석에서는 빔 형성에 의한 페이딩 영향의 감소 정도에 중점을 두어 분석하였다.

II. 단말기용 스마트 안테나 테스트 베드 제작

일반적으로 스마트 안테나 시스템은 적응 빔 안테나 방식과 스위칭 빔 안테나 방식으로 구현될 수 있다. 적응 빔 안테나 방식은 신호가 송·수신되는 방향을 적응적으로 추정하여 원하는 방향으로만 빔을 형성하여 신호를 송·수신 하는 방식이고, 스위칭 빔 방

식은 통신 방향을 미리 복수개의 작은 빔 방향으로 나누어 놓고, 원하는 신호의 방향을 추정하여, 추정된 빔 방향으로만 신호를 송·수신 하는 방식이다. 일반적으로 적응빔 방식이 스위칭 빔 방식에 비해 성능이 우수하나 하드웨어의 복잡도나 계산량이 증가하는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 단말에서 스마트 안테나 기능의 추가에 의한 크기 및 하드웨어의 복잡도나 계산량의 증가를 최소화시키고, 현재의 이동통신 모델을 그대로 사용하면서도, 단말에서의 빔 형성에 의한 링크버짓의 향상 정도를 분석하기 위해서 스위칭 빔 방식의 스마트 안테나 시스템을 구현하였다.

그림 1에 본 연구에서 적용한 단말용 스위칭 빔 안테나 시스템의 구조도가 보인다. 그림 1에서 보이는 바와 같이 본 연구에서는 2 x 2 배열 안테나를 사용하였으며, 배열 안테나 후단에 4 x 4 버틀러 매트릭스를 구현하여 네 개의 서로 다른 빔 방향 신호가 형성되게 하였다. 버틀러 매트릭스는 아날로그 빔 형성기의 일종으로 복수개의 안테나에서 송·수신된 신호의 위상을 제어하여 원하는 방향으로 빔이 형성되게 한다. 또한, 빔 선택기를 이용하여 서로 다른 빔 방향을 갖는 네 개의 버틀러 매트릭스의 출력 신호 중에서 원하는 빔 방향을 선택하고, 스위치를 제어하여 한 빔 방향의 신호만이 모뎀으로 수신되게 하였다. 또한 단말기에서의 신호 전송 시에도 같은 빔 방향으로 신호가 전송되게 하였다.

그림 2(a)에 본 연구에서 설계한 2 x 2 배열 안테나

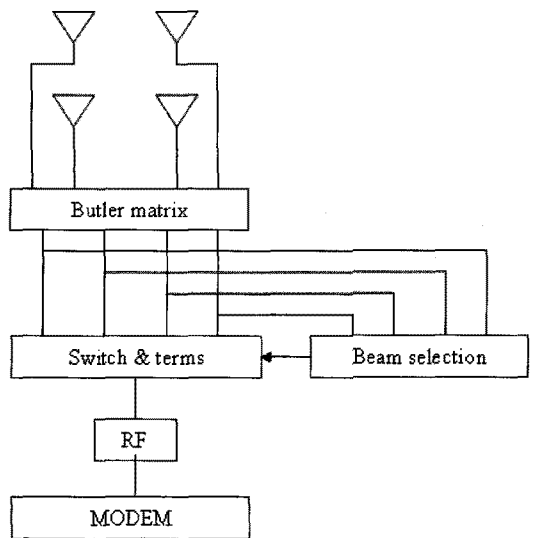
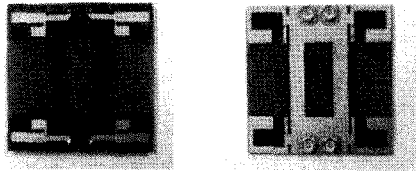
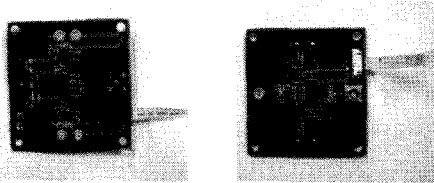


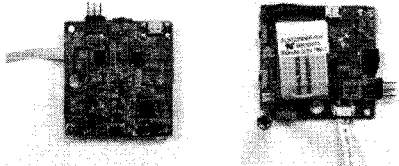
그림1. 본 연구에서 구현한 단말용 스위칭 빔 안테나 방식의 구조도



앞면 뒷면  
(a) 2 x 2 배열 안테나



앞면 뒷면  
(b) 4 x 4 버틀러 매트릭스



앞면 뒷면  
(c) 빔 선택기 및 스위치

그림 2. 본 연구에서 제작한 단말용 스위칭 빔 안테나의 회로도

가 보이고, 2(b)에 4 x 4 버틀러 매트릭스가 보인다. 버틀러 매트릭스에서는 phase shifter를 이용하여 2(a)의 배열 안테나로 송·수신되는 신호를 90°의 빔 폭을 갖는 네 개의 빔 방향 나누어 준다. 또한 그림 2(c)에 빔 선택기 및 스위치의 회로도가 보인다. 본 연구에서의 빔 선택기에서는 power detector를 이용하여 버틀러 매트릭스에서 출력된 네 방향의 신호 중에서 가장 큰 전력을 갖는 빔 방향이 선택되게 하였으며, 이 정보를 스위치에 전달하여 선택된 빔 방향으로만 신호가 송·수신되게 하였다.

그림 3에 그림 2(a), (b), (c)를 결합하여 구성한 단말용 스위칭 빔 안테나 시스템의 테스트베드가 보인다. 우리는 그림 3의 테스트베드를 이용하여 상용 WCDMA 기지국 환경에서 DM 측정을 수행하였고, 측정된 데이터를 분석하여 단말에서 빔형성에 의한 링크버짓의 향상 정도를 분석하였다. 그림 4(a)에 일반적인 WCDMA 단말기를 이용한 DM 측정 환경이 보여지고, 그림 4(b)에 본 연구에서 개발한 단말용 스위칭 빔 테스트 베드를 이용한 DM 측정 환경이 보인다.

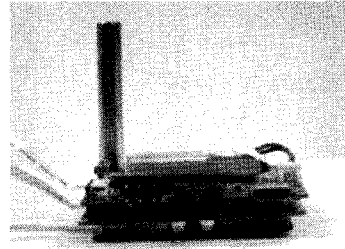
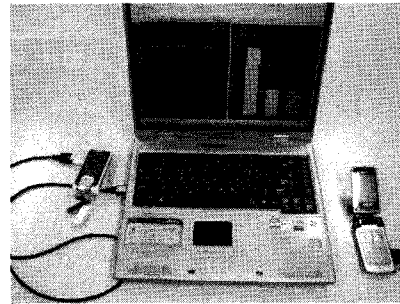


그림 3. 그림 2의 회로도가 결합된 단말용 스위칭 빔 안테나 테스트베드



(a) 상용 WCDMA 단말기를 이용한 DM 측정



(b) 그림 3의 스위칭 빔 방식의 테스트베드를 이용한 DM 측정

그림 4. 빔형성 방식과 omni 안테나의 성능 비교를 위한 DM 측정

### III. 측정 결과 및 분석

본 연구에서는 그림 4(b)에서 보이는 단말용 스위칭 빔 안테나 테스트베드를 이용하여 충청남도 천안 지역에서 DM 측정을 수행하였으며, 측정 결과를 분석하여 단말에서의 빔형성 기법 적용에 의한 링크버짓의 향상 정도를 분석하였다. 일반적으로 빔형성에 의한 링크 버짓 향상은 빔 이득과 서로 다른 방향으로부터 전송되는 다중경로 페이딩 효과의 감소에 의한 페이딩 마진의 감소로 나타날 수 있는데, 본 측정 및 측정 데이터 분석은 상용 WCDMA 기지국에서 수행

되었기 때문에 자동적인 전력제어가 수행됨으로써, 본 분석에서는 배열 안테나의 사용에 의한 빔 이득 관점 보다는 다중경로 페이딩 효과의 감소 정도에 중점을 두었다.

그림 5에 측정을 수행한 지역의 지도가 보인다. 그림 5의 환경은 아파트 밀집지역이며, 그림 6에 그림 5의 측정 환경에서 WCDMA 단말의 안테나를 이용하여 측정된 신호의 정형화된 수신신호의 순시전력과 빔 형성 기법 적용 시의 측정된 순시전력이 보인다.

그림 5에서 보이는 바와 같이 본 측정은 건물이 많은 도심 환경에서 단말이 정지된 상태에서 측정이 수행되었으며, 10초 동안 매 0.01초 간격으로 순시 평균 수신 전력을 측정하였다. 또한, 스위칭 빔 방식에서의 빔 선택은 버틀러 매트릭스의 네 개의 빔 신호 중에서 가장 크게 수신되는 빔 방향을 선택하였으며, 빔 방향의 선택은 매 10ms를 주기로 갱신되게 하였다.

그림 6에서 보이는 바와 같이 빔형성기를 사용한 경우가 전 방향 안테나를 사용한 경우에 비해 순시 수신 신호 전력의 변화가 적었다. 즉, 전 방향 안테나를

사용한 경우 수신 전력의 변화 폭은 12.06dB이고 standard deviation은 1.9인 반면에 빔 형성기를 사용한 경우 수신 전력의 변화 폭은 8.8dB이고 standard deviation은 1.17 이었다.

그림 7에 그림 6의 신호에 대한 페이딩 CDF가 보인다. 본 연구에서의 페이딩에 대한 CDF는 다음과 같이 추정하였다. 안테나에 수신된 신호를  $r(t)$ 라 하면,  $r(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = m(t) + f(t) \tag{1}$$

여기서  $f(t)$ 는 페이딩 신호이고,  $m(t)$ 는 평균값 신호이다. 일반적으로  $m(t)$ 는 송신기와 수신기 사이의 거리에 의해 결정되며, 송신기와 수신기 사이의 통신거리가 증가할수록 감소한다. 따라서 송신기와 수신기의 거리에 관계없이 수신신호의 페이딩 특성만을 분석하기 위해서는 수신신호에서  $m(t)$  성분을 제거하여야 한다.  $m(t)$ 를 계산하기 위해서는 전송 신호의 40파장 이상의 거리에 대해 평균을 취해야 한다<sup>4)</sup>. 따라서  $m(t)$ 는 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$m(t) = \frac{1}{\Delta t} \int r(t) dt \tag{2}$$

여기서  $\Delta t$ 는 송신 신호의 40 파장에 해당되는 시간으로 차량의 속도에 의해 달라진다. 우리는 식 (3)을 통하여 전 방향 안테나에 수신된 순시전력  $r(t)$ 로부터의 페이딩 신호  $f_{omni}(t)$ 와 버틀러 매트릭스에 의해 빔 형성이 수행되어 출력되는 빔형성 신호전력  $r_{bf}(t)$ 로부터의 페이딩 신호  $f_{bf}(t)$ 를 각각 구하였다.

$$\begin{aligned} f_{omni}(t) &= r(t) - \frac{1}{\Delta t} \int r(t) dt \\ f_{bf}(t) &= r_{bf}(t) - \frac{1}{\Delta t} \int r_{bf}(t) dt \end{aligned} \tag{3}$$

또한, 빔형성 기법에 의한 페이딩 이득을 분석하기 위하여  $f_{omni}(t)$ 와  $f_{bf}(t)$ 의 CDF를 다음과 같이 계산하였다.

$$CDF_{omni} = P\{x \leq x_0\} \tag{4}$$

$$CDF_{bf} = P\{x_{bf} \leq x_0\}$$

여기서  $x$ 는  $CDF_{omni}$ 의 random variable로  $f_{omni}(t)$ 의 fading depth를 나타내고,  $x_{bf}$ 는  $CDF_{bf}$ 의

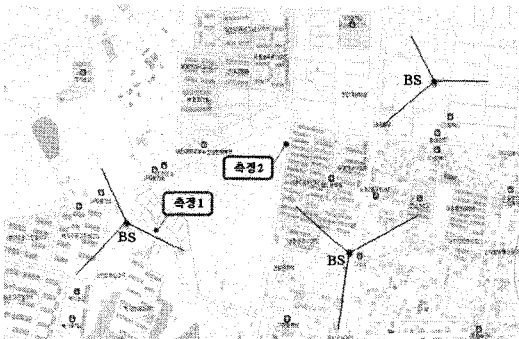


그림 5. 측정이 수행된 지역의 지도 I (아파트 밀집지역)

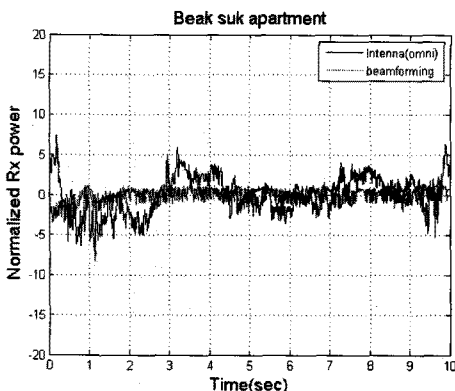


그림 6. 그림 5의 채널 환경에서 수신된 신호의 전력 비교

random variable로  $f_{bf}(t)$ 의 fading depth를 나타낸다.

그림 7에 그림 6의 수신 신호 전력에 대한 페이딩 CDF가 보인다.

그림 7에서 보이는 바와 같이 단말에 빔 형성기를 사용하지 않는 경우에는 약 -7.6dB나 이보다 큰 페이딩이 약 0.1%의 확률로 발생하고, -5.7dB나 이보다 큰 페이딩이 약 1%의 확률로 발생한다. 하지만 단말에 스위칭 빔 방식의 빔 형성기를 사용한 경우에는 -3.5dB 보다 큰 페이딩이 0.1%의 확률로 그리고 -2.9dB 보다 큰 페이딩이 1%의 확률로 발생하여, 빔 형성에 의해 페이딩 효과가 크게 감소함을 알 수 있다.

그림 8에 또 다른 측정 지역(시골 지역)의 지도가 보이고, 그림 9에 그림 8의 채널 환경에서 단말의 전 방향 안테나와 스위칭 빔 안테나를 이용하여 각각 신호를 수신한 경우에 대한 정규화된 순시 수신 전력(페이딩 특성)이 보이며, 그림 10에 그림 9의 정규화된 수신전력을 이용하여 구한 페이딩의 CDF가 보인다.

그림 10에서 보이는 바와 같이 그림 8의 채널 환경

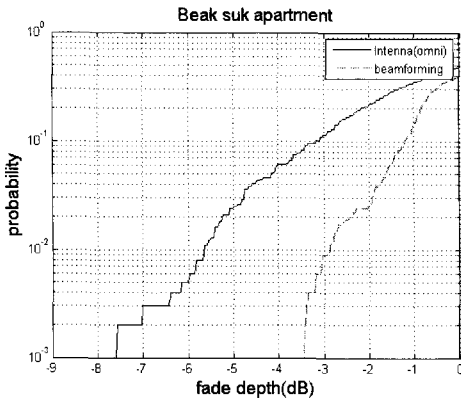


그림 7. 그림 6의 수신 전력에 대한 페이딩 CDF

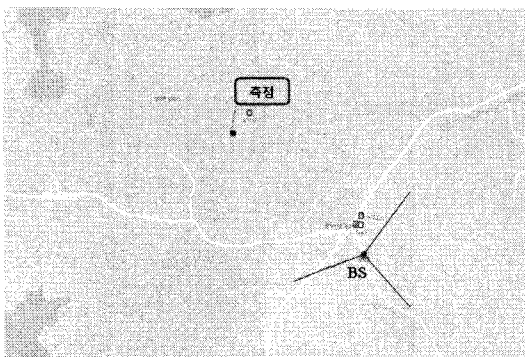


그림 8. 측정이 수행된 지역의 지도 II (시골 지역)

에서도 단말에 스위칭 빔 방식을 사용하는 경우  $10^{-3}$ 의 확률에서 약 3dB의 페이딩 이득이 있음을 알 수 있다.

그림 11에 대형 상가 및 아파트가 밀집되어 있는 측정 지역의 지도가 보인다. 본 측정에서 차량은 약 60Kmph의 속도로 이동하며 신호를 송·수신하였다. 그림 12에 그림 11의 채널 환경에서 전 방향 안테나와 스위칭 빔 안테나로 신호를 수신한 경우에 대한 정규화된 순시 수신 전력을 이용한 페이딩 특성이 보이며, 그림 13에 그림 12의 정규화된 수신전력을 이용하여 구한 페이딩의 CDF가 보인다.

그림 13에서 보이는 바와 같이 대형 상가가 많은 도심지의 이동채널 환경에서도 단말에 스위칭 빔 방식을 사용하는 경우  $10^{-3}$ 의 확률에서 약 2dB의 페이딩 이득이 있음을 알 수 있다.

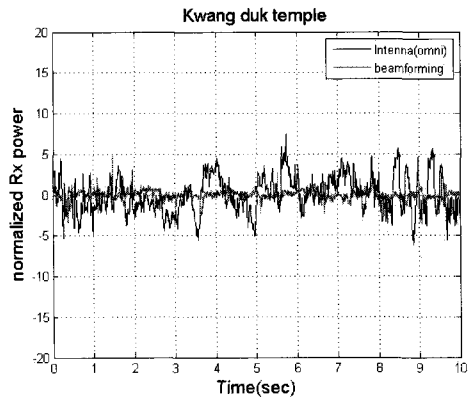


그림 9. 그림 8의 채널 환경에서 수신된 신호의 페이딩 비교

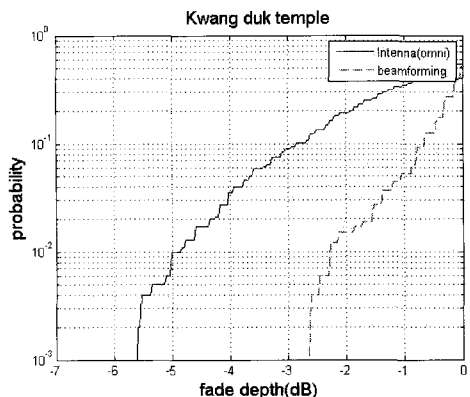


그림 10. 그림 9의 페이딩 신호에 대한 페이딩 CDF

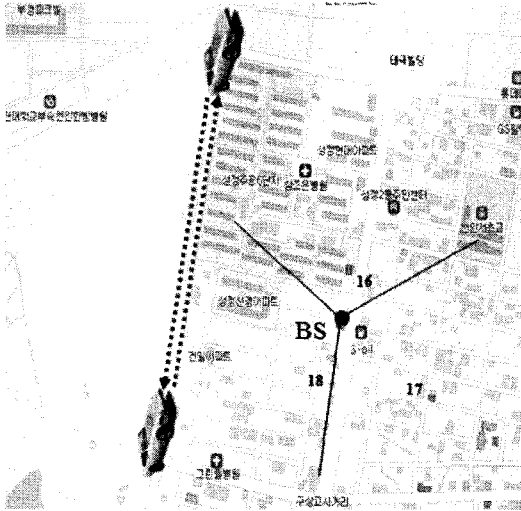


그림 11. 측정이 수행된 지역의 지도 III (아파트 및 상가 밀집 지역)

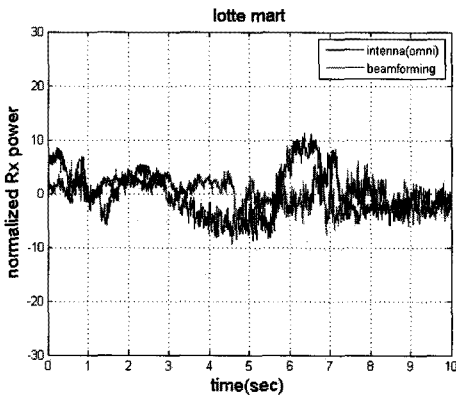


그림 12. 그림 11의 채널 환경에서 수신된 신호의 페이딩 비교

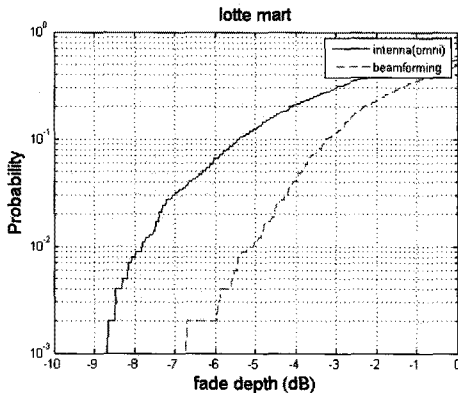


그림 13. 그림 12의 페이딩 신호에 대한 페이딩 CDF

#### IV. 결론

향후의 통신 시스템에서는 고속의 데이터 통신이 보다 안정적으로 수행되어야 하며, 이를 위해서 본 연구에서는 단말에 빔 형성 기법의 적용에 의한 성능향상을 연구하였다. 특히, 단말에서 빔 형성에 의한 하드웨어의 복잡도나 빔형성에 의한 계산량을 최소화시키기 위하여 스위칭 빔 방식을 이용한 빔 형성 기법을 이용하였으며, 2 x 2 평면 배열 안테나, 4 x 4 버틀러 매트릭스 및 빔 선택기와 스위치 회로로 구성된 단말용 스위칭 빔 안테나 테스트베드를 제작하고, 이를 이용하여 상용 WCDMA 기지국 채널 환경에서 이용한 측정을 수행하였다.

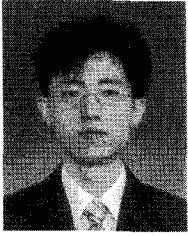
측정 데이터 분석 결과 단말에 2 x 2 배열 구조를 갖는 스위칭 빔 안테나 구조를 적용하였을 때, 빔 이득은 물론 평균 3dB의 페이딩 이득이 있음을 알 수 있었다. 이를 이용하여 단말에 스위칭 빔 안테나의 적용에 의한 링크버지의 향상 정도를 분석하면 4개의 안테나 사용에 의한 빔 이득 6dB을 포함하여 약 9dB의 이득이 예상된다.

#### 참고 문헌

- [1] J. C. Liberti, Jr. and T. S. Rappaport, Smart Antennas for Wireless Communications, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, N.J., 1999.
- [2] L. C. Godara, Smart Antennas, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2004.
- [3] F. Gross, Smart Antennas for Wireless Communications with MATLAB, McGraw-Hill, New York, NY, 2005.
- [4] W. C. Lee, "Estimate of Local Average Power of a Mobile Radio Signal," IEEE Trans. on Vehicular Technol., Vol.134, pp.22-27, Feb. 1985.

김계원 (Kye-Won Kim)

정회원

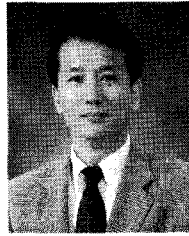


1997년 2월 호서대학교 정보통신공학과 학사  
 1999년 2월 호서대학교 정보통신공학과 석사  
 1999년~2003년 (주)텔레이브전 임연구원  
 2005년~2009년 : (주)코라텍 선임연구원

2007년~현재 : 호서대학교 정보통신공학과 박사과정  
 2009년~현재 : 호서대학교 산학협력단 산학Coordinator  
 <관심분야> Smart Antenna, MIMO, MIMO Repeater, MIMO-Beamforming

박병훈 (Byeong-Hoon Park)

정회원



1986년 2월 연세대학교 전기공학과 학사  
 1986년 2월 연세대학교 전기공학과 석사  
 1986년 2월 연세대학교 전기컴퓨터공학과 박사  
 1988년 3월~1994년 2월 삼성종합기술원 선임연구원

2000년 3월~현재 : 인덕대학 컴퓨터전자과 부교수  
 <관심분야> 스마트 안테나 시스템, 이동통신

이승구 (Seung-Goo Lee)

정회원



2005년 2월 호서대학교 정보통신공학과 학사  
 2007년 2월 호서대학교 정보통신공학과 석사  
 2007년~현재 호서대학교 정보통신공학과 박사과정  
 <관심분야> Smart Antenna, 4G 이동통신, MIMO

고학림 (Hak-Lim Ko)

정회원



1983년 2월 숭실대학교 전자공학과 학사  
 1986년 8월 : Fairleigh Dickinson Univ. 전기공학과 석사  
 1995년 8월 North Carolina State Univ. 전기 및 컴퓨터공학과 박사

1996년 3월~현재 호서대학교 정보통신공학과 교수  
 <관심분야> 스마트 안테나 시스템, 이동통신, 수중통신, 해양통신

김민상 (Min-Sang Kim)

정회원



2008년 2월 호서대학교 정보통신공학과 학사  
 2010년 2월 호서대학교 정보통신공학과 석사  
 2010년~현재 호서대학교 정보통신공학과 박사과정  
 <관심분야> Smart Antenna, MIMO, 수중통신