

논문 2014-51-10-4

잔향챔버내에서 공간 상관도에 의한 MIMO 시스템의 성능평가

(Performance Evaluation of MIMO System by Spatial Correlation in Reverberation Chamber)

김 중 성*

(Jong-Sung Kim[Ⓢ])

요 약

잔향챔버내에 모드 스테러가 회전하는 조건에서 2x2 MIMO 시스템에 대한 다중경로 페이딩에 대한 공간 코릴레이션을 구한다. 잔향 챔버내에서 2x2 MIMO 시스템에 기초한 다중경로 환경에 대한 공간 상관도를 계산한다. 이 방식은 안테나 다이버시티 시스템에서 다이버시티 이득에 대한 가능성을 정량화하는데 이용할 수 있다.

Abstract

The spatial correlation (SC) for a multipath environment based on a 2x2 MIMO system are computed on the observation planes in the Rayleigh/Rician fading channels inside a mode stirred chamber. The correlation coefficients were obtained and compared for different distances and orthogonal polarization between two transmit antennas. The proposed method is useful for quantifying the potential diversity gain in antenna diversity systems.

Keywords : Spatial Correlation, Reverberation Chamber, FDTD

I. 서 론

MIMO 시스템은 무선통신에서 송수신측에 다수의 안테나를 배열하여 송수신 링크의 수를 증가시켜 채널 용량을 증대시키는 구조로서 최근에 많은 관심이 증대되고 있다. MIMO 시스템은 최대 가용 용량에 의해 특성이 좌우되는데 다른 채널 신호간에 상관도 (correlation coefficient)가 높으면 채널 용량이 감소한다^[1~2]. 상관도는 송수신측에서의 안테나 배열에서 배열

요소간의 상호 커플링(mutual coupling)에 의해서 영향을 받는다. MIMO 의 채널용량이 안테나 요소에 도달하는 전파간의 상관도에 관계한다는 사실에 의거 많은 연구가 이루어지고 있다. 상관도는 편파, 안테나 요소의 패턴, 안테나간의 간격 및 전력 스펙트럼(PAS)에 관계된다^[3].

최근에 잔향챔버(RC: reverberation chamber)를 이용하여 MIMO 안테나의 특성 평가에 널리 이용되고 있다. RC 는 특히, NLOS 환경에서 자주 일어나는 다중경로 페이딩과 같은 실제 통신환경과 통계적으로 유사한 특성을 갖는다^[4]. RC 내에서 모드 스테러의 회전에 의해서 영향을 받는 대부분의 무선전파 채널은 소규모의 페이딩 효과를 갖는다. 이 채널은 금속성 벽체의 고 전도도로 인하여 많은 다중경로 성분이 존재하여 긴 잔향 시간을 갖는다. 이 조건에서 RC 의 경계조건은 PEC 이고, 여기에 경계조건의 변화를 위해서 초고주파 흡수체

* 정회원, 경성대학교 정보통신공학과
(Department of Information and Communication Engineering, KyungSung University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: jskim@ks.ac.kr)

※ 이 논문은 2014학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

접수일자: 2014년07월31일, 수정일자: 2014년09월25일
게재확정: 2014년10월06일

를 부착하여 전파의 도달시간을 제어할 수 있다^[5-6].

이 논문에서는 MIMO 시스템의 성능을 예측하기 위하여 공간 상관도를 이용한다. MIMO 시스템에서 다수의 송신 안테나에 의한 필드를 임의의 위치에서 저장하고 이를 이용하여 안테나간의 상관도를 구한다. 이를 회전하는 모드 스테러의 모든 각도에 대해서, 안테나간의 거리와 편파 조건에 따라서 공간 상관도를 분석할 수 있다. 이 상관도가 MIMO 시스템의 다이버시티 이득과 채널용량과 같은 시스템의 성능을 예측하는 방안이 될 수 있음을 나타낸다.

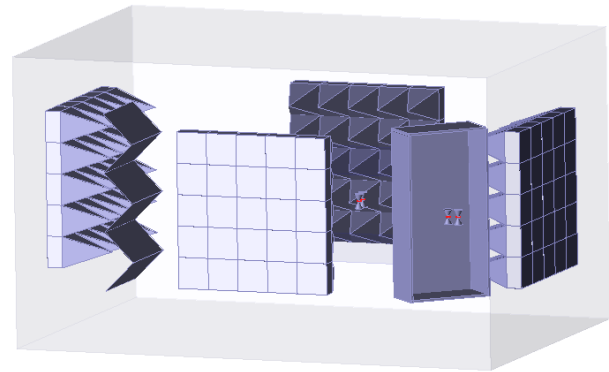
II. RC 내에서 MIMO 시스템의 공간 상관도

1. RC 의 구조

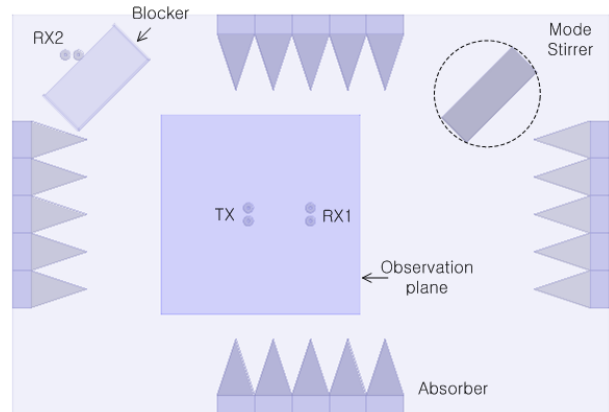
RC 의 구조는 그림 1 에 나타내었다. RC는 4.8 (W) x 3.2 (L) x 2.8 (H) m³ 의 크기를 가지며 내부에 수직 방향으로 접혀진 도체 재질의 스테러가 내장되어 있다.

모드 스테러는 17.0 (W) x 48.0 (L) x 102.0 (H) cm³ 의 크기를 가지며 중심점을 회전축으로하여 회전한다. 이 구조의 기저대역 모드의 주파수는 60 MHz 이고 최저 가용 주파수(LUF: Lowest Usable Frequency)는 300 MHz 이다. RC 내부의 4개의 벽면에는 실제 통신 환경과 유사한 조건을 충족하기 위하여 피라미드형 흡수체를 부착하였다. 하나의 벽면에는 피라미드형 흡수체가 4x4 의 형태로 16개를 부착하였다. 흡수체를 부착하여 실제 무선 전파환경과 유사한 조건을 적용하는 것이 가능하다. 도체 벽면 전체를 흡수체로 부착하지 않은 것은 벽면의 일부는 흡수체로 하고 나머지 부분은 전반사 조건을 적용하여 실제 통신환경과 유사한 조건의 적용이 가능하다. 여기에서 흡수체가 차지하는 벽면의 면적을 조정하거나, 흡수체가 부착된 벽면의 수를 변화하여 통신환경의 제어가 가능하다.

그림 2에는 그림 1에서 적용한 흡수체의 반사계수의 계산 결과를 나타낸 것이다. PEC 위에 피라미드형 흡수체는 직육면체와 사각뿔로 구성되는데, 직육면체는 두께가 15 cm, 넓이는 30 cm x 30 cm 의 크기이다. 사각뿔은 직육면체 위에 4.5 cm 높이를 갖는다. 흡수체의 유전율은 3.0 이고 전도도는 3.25 S/m 이며, 이에 대한 반사계수의 계산 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 피라미드형 흡수체에 평면파를 수직으로 입사하는 조건에서 0.5-3.0 GHz 의 주파수 범위에서 20 dB 이하



(a)



(b)

그림 1. RC 내부에 위치하는 MIMO 안테나 시스템:
(a) 3차원도, (b) 평면도

Fig. 1. Geometry of the RC with MIMO antennas included: (a) 3-D view, (b) cross-sectional view.

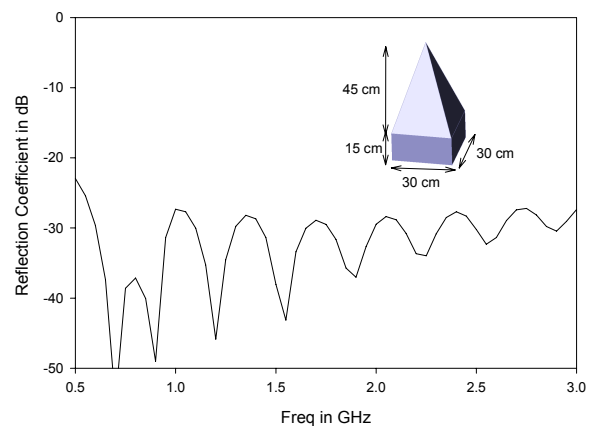


그림 2. 수직 입사하는 평면파에 대한 금속판상에 놓인 피라미드 흡수체의 반사계수

Fig. 2. Specular reflectivity for a metal-backed pyramid absorber at normal incidence.

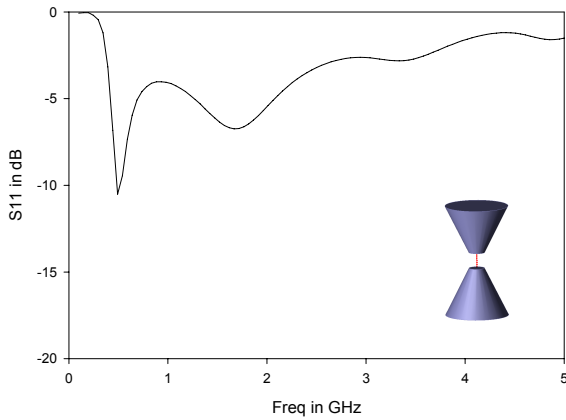


그림 3. 바이코니컬 안테나의 반사계수 변화
Fig. 3. Return Loss of Biconical Antenna.

의 반사계수를 나타내었다. 이 계산에서 주기적인 배열 경계조건(Periodic boundary condition)을 적용하였다^[7].

RC 내부에 필드를 여기하는 안테나는 50°의 원추각과 12 cm의 수직 길이를 갖는 바이코니컬 안테나를 이용하였다. 그림 3에는 바이코니컬 안테나의 형상과 이에 대한 반사계수의 계산결과를 나타내었다. 최대주파수 2.5 GHz 범위에서 5 dB 이하의 반사계수를 나타내었다. 바이코니컬 안테나는 무지향성이며 광대역 특성으로 인하여 넓은 범위에 걸쳐서 RC의 시험 신호원으로서 적합하다.

MIMO 시스템에서 2개의 송신 안테나에 의한 필드간의 공간 상관도를 정량적으로 분석하기 위하여 RC의 바닥으로부터 30 cm의 높이의 위치에 75 (W) x 75 (L) cm²의 크기의 관측면에서 전계를 저장한다.

중심에 위치하는 10 cm의 간격을 두고 동일한 2개의 바이코니컬 안테나가 송신 안테나이다. 송신 안테나에 의하여 여기되는 필드가 RC 내부에서 전파하며, 이에 대한 전자파 수치해석 방법으로는 FDTD를 적용한 상용 시뮬레이션 소프트웨어인 GEMS를 이용하였다. 최소 셀의 크기를 5.0 mm로 설정하고 비선형으로 셀을 분할하여 553 x 392 x 338 개의 3차원적인 셀 분할을 하였다. FDTD 해석에서 모드 스테러는 15°의 간격으로 단계적으로 각도가 증가하여 회전하는 형태를 고려하였다. 회전하는 스테러의 효과를 그림 1의 관측면에서 필드값의 변화로서 관측이 가능하다. 3개의 직교성분의 전계를 100 MHz의 간격으로 21 개의 주파수에서 저장하였다.

2. RC 내에서 전계

RC 내에서의 전계에 대한 확률분포함수는 가우시안 분포를 갖는다. 그림 1에서 2개의 송신 안테나가 생성하는 전계를 관측면에서 저장한다. 이에 대한 전계를 간격이 d인 2개의 송신 안테나와 관측 평면의 관계로 그림 4와 같이 나타내었다. 관측면에서 분포하는 전계는 2개의 안테나에 의해서 생성된다. 이 전계는 2개의 성분으로 구성되는데 1차 성분은 비 스테어링(unstirred) 에너지이다. 이는 안테나로부터 직접적으로 발생하는 성분으로 직접파에 해당하여 모드 스테러의 회전에 영향을 받지 않는다. 2차 성분은 스테어링(stirred) 에너지로서 안테나로부터 방사되는 모든 에너지 중에서 회전하는 모드 스테러의 페들과 RC 벽면에서의 반사와 상호작용을 갖는다. 그림 4의 관측면에서 Ez 성분을 스테어링 성분(Edz)과 비스테어링 성분(Edz)의 합으로 나타낸다^[6].

$$E_z = E_{sz} + E_{dz}$$

여기에서 E_{sz} 는 실수부와 허수부의 합이다.

$$E_{sz} = E_{s_zr} + jE_{s_zi}$$

실수부와 허수부의 평균은 0 이고 분산은 다음과 같이 표현된다.

$$\langle E_{s_zr}^2 \rangle = \langle E_{s_zi}^2 \rangle = \sigma^2$$

위의 E_{s_zr} 과 E_{s_zi} 는 모두 Rayleigh 분포를 갖는다. Edz는 직접파 성분으로 Rician 분포를 갖는다^[6].

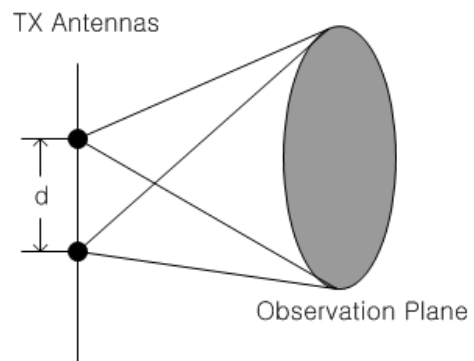


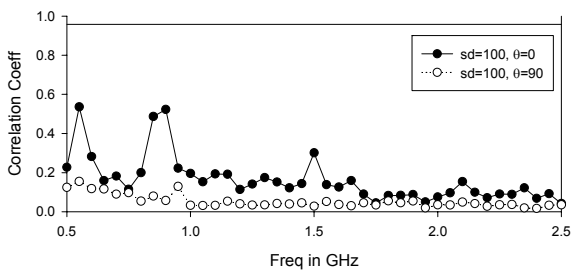
그림 4. MIMO 송신부 구성
Fig. 4. Configuration of MIMO transmitting antennas.

3. 공간 상관도(Spatial Correlation Coefficient) 계산

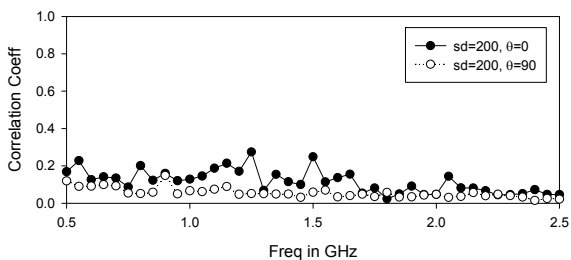
그림 1에서 송신측에는 2개의 송신 안테나가 10 cm의 간격을 두고 위치하는데 이 2개의 안테나에 의해서 발생하는 필드를 관측면에서 각각 저장한다. 이를 모드스터리의 회전각도와 주파수에 따라서 저장한다. 필드를 xy 평면에 위치하는 관측면에서 저장하고 이를 파수(k_x, k_y) 영역의 값으로 푸리에 변환에 의하여 구한다. 안테나 1에 의해서 생성된 전계를 $E_1(k_x, k_y)$, 안테나 2에 의해서 생성된 전계를 $E_2(k_x, k_y)$ 로 나타낼때 상관도는 아래의 식과 같다^[7].

$$\rho = \frac{\int_{k_y} \int_{k_x} \widetilde{E}_1(k_x, k_y) \widetilde{E}_2^*(k_x, k_y) dk_x dk_y}{\sqrt{P_1 P_2}}$$

P_1, P_2 는 평균 수신전력의 크기이다. 송신 안테나에 의한 필드가 직교할 경우에는 0의 값을 갖게되고 유사



(a)



(b)

그림 5. RC 내에서의 MIMO 송신 안테나간의 편파 다이버시티에 따른 공간 코릴레이션 지수 변화: (a) d=100 mm, (b) d=200 mm

Fig. 5. Spatial correlation coefficients between field distributions by polarization diversity between two MIMO antennas: (a) d=100 mm, (b) d=200 mm.

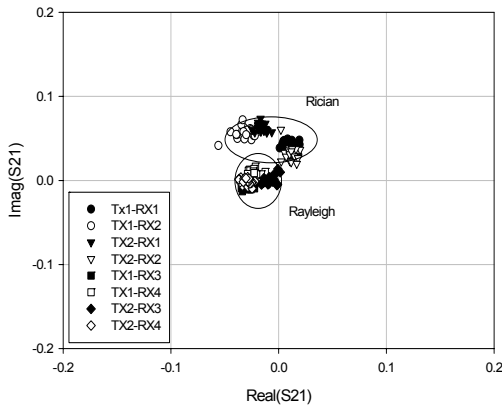
성이 강하여 동일 신호일 경우에는 1.0의 상관도를 나타낸다. 그림 5에는 2개의 MIMO 송신 안테나간의 간격 변화에 따른 관측 전개 사이의 공간 상관도의 변화를 0.5-2.5 GHz의 주파수 범위에서 나타내었다. 안테나간의 간격을 10 cm와 20 cm의 경우에 공간 상관도의 계산 결과를 나타낸 것이다. 송신 안테나간의 간격이 10 cm 일 경우에는 0.6-1.0 GHz의 주파수 영역에서 필드의 직교성이 0.3에서 0.5 사이의 상관도를 나타내어 다른 주파수에 비해서 상대적으로 직교성이 떨어짐을 알 수 있다. 송신 안테나 간격을 20 cm로 증가함에 따라서 공간 상관도가 낮아진다. 그러나 0.7-0.95 GHz의 주파수에서는 다른 영역에 비해서 상관도가 높은데 이는 안테나 간의 상호 커플링이 높은 주파수 영역이기 때문이다. 그림 5의 결과로부터 안테나간의 간격에 따라서 공간 상관도의 주파수 특성을 알 수 있다. 이로부터 주파수에 따른 송신 안테나간의 상호 커플링 특성을 예측할 수 있다.

MIMO 시스템에서 안테나의 편파 특성이 채널 용량에 밀접한 관계를 갖는다. 송신 안테나의 편파 다이버시티 변화에 따른 공간 상관도의 변화를 구하여 그림 4에 나타내었다. 그림 5(a)에는 안테나간의 간격이 10 cm인 경우에 2개의 안테나가 평행하게 배열된 경우와 직교로 배열한 경우에 대한 코릴레이션 계수를 나타낸 것인데 직교인 경우가 전영역에서 낮은 상관도를 나타내었으며 저주파 영역에서도 0.2 이하의 낮은 값을 유지하였다. 그림 5(b)는 안테나간의 간격이 20 cm인 경우인데, 90°도의 서로 직교하는 경우가 낮은 상관도를 나타내었다. 이 결과로부터 안테나간의 간격을 크면서 직교로 배열하는 경우가 MIMO 시스템의 상관도가 낮은 값을 나타내었다.

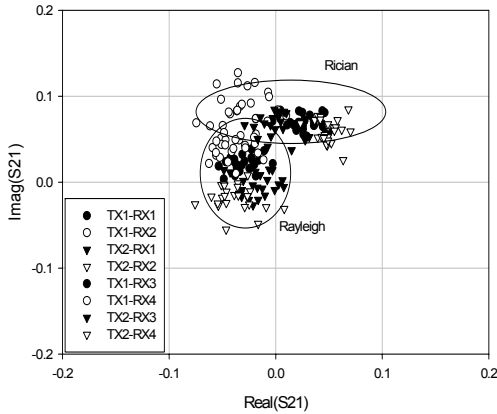
III. MIMO 시스템의 성능분석

1. MIMO 시스템의 구성

S21은 무선 전파채널의 전달함수이므로 S21의 통계적 특성은 RC 내에서의 필드 성분의 통계적 특성이다. 그림 1의 RC 내에는 2개의 2x2 MIMO 채널이 존재하는데, 하나는 Rician 채널이고, 다른 하나는 Rayleigh 채널이다. 중심에 위치하는 2개의 송신 안테나는 Rician/Rayleigh 채널이 공유한다. Rician 채널을 형성하는 MIMO 수신 안테나는 송신측으로부터 30 cm 떨



(a) 흡수체 조건1



(b) 흡수체 조건2

그림 6. 복소 S21 의 분포도

Fig. 6. Scatter plots of the calculated complex S21.

어진 위치에 동일한 안테나가 2개가 위치한다. 이들간에는 직접 전송과 성분이 존재하며 이는 스테어링에 의해 영향을 받지 않기 때문에 Rician 채널을 형성한다. 이와는 별도로 그림 1 의 RC 단면의 좌상측에는 2개의 바이코니컬 안테나가 위치하는데 이들간에는 차단 블록이 위치하여 직접과 성분이 존재하지 않으며 스테어링에 의해서 영향을 받는 다중경로 성분이 주를 이룬다. 여기에서 S21 은 RC 내에서 측정되는 복소 형태의 산란 파라미터이다.

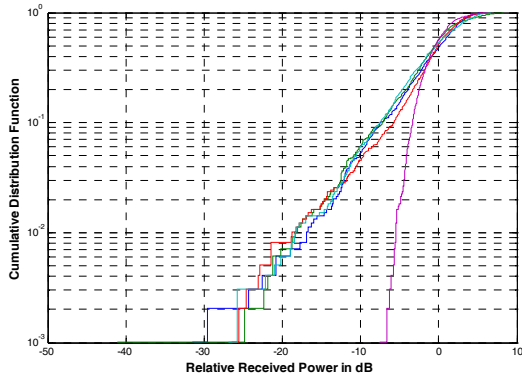
그림 6(a) 는 그림 1의 나타난 2개의 MIMO 채널에 대한 S21 을 모드 스테링이 회전하는 조건을 적용하여 그 결과를 나타내었다. 2x2 MIMO 채널이므로 4개의 링크가 존재하며, 각 링크당 스테링의 회전에 따라서 S21 값의 이동형태를 하나의 마커로 구분하여 나타내

었다. 그림 6(a)는 4개의 벽면에 모두 흡수체가 부착된 상태(흡수체 조건 1)에서의 S21 을 나타낸 것이다. 그림 1에서 챔버의 Q 를 변경하고자 흡수체가 부착된 벽면을 4개에서 1개로 줄여서 S21 의 결과(흡수체 조건2)를 그림 6(b) 에 나타내었다. 그림 6(a) 및 6(b)에서 중심부에는 Rayleigh 채널이고 중심에서 일정거리 떨어진 위치에는 Rician 채널에서의 전송결과를 나타내었다. 그림 6(a) 의 4개의 벽면의 흡수체로 인하여 다중경로 성분의 크기가 작아진다. 그림 6(b) 는 그림 6(a) 에 비하여 흡수체가 작아서 전반사 성분이 많아서 다중경로 성분이 많아진다. 이는 스테링이 회전하는 가운데 전파의 잔향시간이 길어지며, 그 결과로 S21 의 값이 중심점에서 넓은 범위에 분포하여 표준편차가 커진다. Rayleigh 채널은 직접과 성분이 존재하지 않으므로 원점으로 분포하며 Rician 채널은 직접과에 의하여 원점에서 일정거리 떨어진 위치를 중심으로 분포한다. 그림 5에서 나타난 바와 같이 2가지 흡수체 조건 또는 손실 조건에 대해서 경우 모두 S21 의 평균치는 동일하다. 이는 챔버에서 직접과 성분은 스테링의 회전이나 흡수체 조건과 무관하고 송수신 안테나의 특성과 거리에 관계되기 때문이다. 표준편차에서는 그림 5(a) 보다 (b)의 경우가 더 큰 값을 나타낸다. 이는 흡수체의 조건에 따라서 다중경로 성분이 다르기 때문이다. 즉 흡수체가 작은 경우에는 다중경로 성분이 감소하는데 시간이 많이 걸린다.

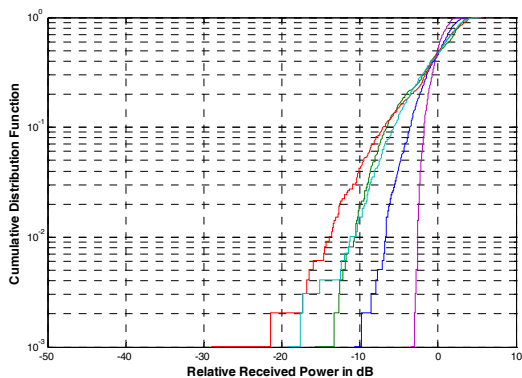
무선 채널의 K 지수는 RC에서 측정된 S21 에 의해서 다음과 같이 표현된다.

$$K = \frac{A^2}{2\sigma^2} = \frac{(|\langle S_{21} \rangle|)^2}{\langle |S_{21} - \langle S_{21} \rangle|^2 \rangle}$$

여기에서 분자의 직접과는 스테링에 의해 영향을 받지 않으며, 송수신 안테나의 거리와 이득에 관계된다. $\langle S_{21} \rangle$ 은 측정된 S21 의 기댓값이며 S21 분포도의 중심과 원점간의 거리 A 에 해당한다. σ 는 스테링에 의해 S21 의 분포된 영역이 원형을 갖는데 이의 반지름에 해당하는 것으로 챔버의 특성을 나타내는 함수이며, 안테나 특성과는 관계없다. σ 는 다중경로 성분에 관계되며 챔버의 크기, 주파수 및 Q에 관계된다. RC 벽면의 흡수체의 부착 조건에 따라서 σ 가 달라지는데 이는 흡수체에 적은 경우에는 Loss 가 작아서 다중경로 성분이 차지하는 비중이 높다. 그러나 흡수체가 많을 경우



(a)



(b)

그림 7. 1.3 GHz 의 주파수에서 Rician 채널에 대한 누적분포 함수 (a) Rayleigh 채널 (b) Rician 채널
Fig. 7. CDFs of the measured S21 at 1.3 GHz (a) Rayleigh channel (b) Rician channel.

에는 Loss 가 커서 다중경로 성분이 미약하게 되어 S21 이 일정 영역에만 분포한다.

2. 다이버시티 이득

그림 7에는 그림 1에 나타난 2개의 2x2 MIMO 시스템에 대하여 1.3 GHz 의 주파수에서 S21의 계산값에 대한 누적분포 함수(CDF: Cumulative Distribution Function)를 나타내었다. 모든 커브가 0 dB 의 값에서 50% 를 통과하도록 정규화되었다. 그림 7(a)은 1.3 GHz 의 동작 주파수에서 2x2 Rayleigh 채널의 RC 내에서 정규화된 S21 의 계산값의 CDF 를 나타낸 것이다. 4개의 채널에 대한 CDF 를 나타내었는데 이들은 Rayleigh 분포와 유사하지만 왼쪽으로 약간 벗어나 있다. 이는 안테나의 방사 효율로 인한 손실을 나타낸다. 4개의 MIMO 링크 중에서 선택 과정을 수행하면 개선된 CDF

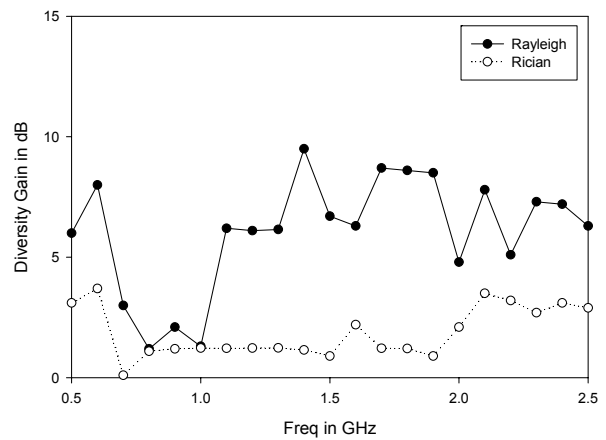


그림 8. Rayleigh/Rician 채널의 다이버시티 이득
Fig. 8. Diversity Gain of Rician and Rayleigh Channels.

을 얻을 수 있다. 다이버시티 이득은 기준 CDF 값(예, 1%)에서 선택과정을 거친후의 CDF 와 개별 CDF 사이의 수신전력의 차이이다. 그림 7(a)에서 1% CDF 레벨에서 다이버시티 이득은 10dB 이다. 이는 20 dB 의 페이딩 마진에서 99%의 시간에서 충분히 양질의 신호를 수신하기 위하여 이상적인 안테나 대신에 2x2 MIMO 안테나를 이용하면 3 dB 의 페이딩 마진을 줄일 수 있다. 다이버시티 이득은 안테나간의 간격을 늘리거나 2개의 안테나를 직교로 배열하여 쉽게 늘릴 수 있다. 그림 7(b)에는 1.3 GHz에서 Rician 분포를 갖는 LOS 링크의 CDF 를 나타낸 것이다. 2x2 MIMO 에 의한 다이버시티 이득이 Rayleigh 채널에 감소되는 경향을 나타내는데, 이는 직접파 성분이 스테어링에 의해서 영향을 받지 않기 때문이다.

그림 8에는 그림 7에 나타난 다이버시티 이득을 구하는 과정을 0.5-2.5 GHz 의 주파수 범위에서 얻은 결과를 나타내었다. Rayleigh 채널에 대해서는 0.7-1.0 GHz 의 범위를 제외하고 5.0-10.0 dB 의 다이버시티 이득을 갖는다. 0.7-1.0 GHz 의 범위에서는 바이코니컬 안테나간의 상호 커플링이 커서 다이버시티 이득이 작아진다. Rician 채널에 대해서는 0.5-2.0 GHz 의 범위에서는 약 2.0 dB, 2.0-2.5 GHz 에서는 약 3.0 dB 의 다이버시티 이득을 갖는다. 동일한 조건에 대한 공간 상관도 특성 결과를 나타내는 그림 5(a)에서도 0.7-1.0 GHz 에서는 상관도가 높고 그 이상의 주파수에서는 낮은 상관도를 나타내었다. 이로부터 그림 5(a)에 나타난 공간 상관도 특성과 유사한 주파수 특성을 나타낸다는

것을 알 수 있다. Rician 채널에서 다이버시티 이득이 떨어지는 이유는 직접파 성분이 존재하므로 채널 스위칭 효과가 적어서 결과적으로 채널 용량의 증대 효과가 작다. 이에 비하여 Rician 채널에 대한 다이버시티 이득은 2-4 dB 정도 근처이며 동일 주파수에 대해서 Rayleigh 채널에 비해서 이득의 크기가 크지 않다. 이는 LOS 성분이 강하기 때문에 다중패스 페이딩에 의한 다이버시티의 이득이 크지 않음을 나타내었다.

III. 공간 상관도와 MIMO 시스템의 상관 관계

MIMO 시스템은 송수신 링크의 다양화로 다이버시티 이득을 통하여 채널용량을 증대시킨다. MIMO 시스템은 안테나의 특성과 주위 경계조건에 따라서 채널 상호간의 특성의 독립성이 달라진다. 송수신 안테나와 경계조건을 동시에 고려하기 위하여 RC 내에서 송신 안테나에서 발생하는 필드를 관측면에서 저장한다. 개별 안테나의 필드간의 상관도를 계산하는데 이는 안테나의 독립성을 나타내는 파라미터이다. 이를 통하여 MIMO 시스템의 특성을 예측하는 것이 가능하다.

본 논문에서는 MIMO 시스템의 2개의 송신 안테나가 각각 생성하는 전계를 RC 중심에 위치하는 2차원 관측면에서 저장한다. 이를 2차원 파수 영역의 전계값으로 변환 후 이들간의 상관도를 구하여 그 결과를 주파수에 따라서 나타내었다. 이는 송신 안테나간의 채널의 독립성에 대한 예측치를 나타낸 것이다. 이 과정에서 송신 안테나간의 간격과 편파 방향의 변화에 대한 공간 상관도를 구하여 채널 독립성에 대한 성능을 분석하였다.

공간 상관도의 계산 결과를 2x2 MIMO 시스템에 대한 다이버시티 이득을 구하여 상호 비교하였다. 2개의 무선채널, 즉, Rician 채널과 Rayleigh 채널을 설계하여 이에 대한 다이버시티 이득을 구하였다. Rayleigh 채널에 대한 다이버시티 이득은 주파수에 따라서 다른 특성을 나타내는데 공간 상관도 특성이 우수한 영역에서 다이버시티 이득이 우수한 특성을 나타내었다. Rician 채널에 대해서는 다이버시티 이득의 개선 효과가 작는데 이는 직접파 성분이 존재하므로 채널 스위칭 효과가 작다.

공간 상관도의 계산에서 관측 데이터 특성이 Rayleigh 채널의 특성과 유사한 것은 관측 데이터가 비

스터링 성분보다 스테리링 성분이 도미넌트하기 때문이다. 이는 RC에서 송신 안테나의 위치와 비교해서 관측면의 위치에 따라서 Rayleigh 특성이나 Rician 특성에 대한 예측 결과가 달라진다는 것을 나타낸다.

IV. 결 론

RC 내에 MIMO 시스템을 구성하고 이에 대한 성능 파라미터를 추출이 가능하다. MIMO 시스템의 특성을 예측하기 위해서는 송신 안테나간의 공간 상관도 특성을 주파수 변화에 따라서 구한다. 공간 상관도가 낮은 값을 나타내는 경우에는 MIMO 채널이 상호 독립적이어서 다이버시티 이득이 증가하고 이는 채널 용량의 증대를 가져온다. 다이버시티 이득과 공간 상관도 특성을 비교하여 채널 용량을 예측한다.

이를 통하여 RC 내에서의 모드 스테리링의 스테리링 특성, MIMO 시스템의 다이버시티 이득에 의하여 채널 용량의 증대를 예측하기 위하여 관측 평면에서의 필드간의 상관도 특성을 구하는 것이 RC 내에서의 MIMO 시스템의 성능을 이해하는데 좋은 방안이 됨을 검증하였다.

REFERENCES

- [1] J. F. Valenzuela-Valdes, A. M. Martinez-Gonzalez, and D. A. Sanchez-Hernandez, "Diversity gain and MIMO capacity for nonisotropic environments using a reverberation chamber," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 8, pp. 112 - 115, 2009.
- [2] J. F. Valenzuela-Valdes, A. M. Martinez-Gonzalez, and D. A. Sanchez-Hernandez, "Emulation of MIMO nonisotropic fading environments with reverberation chambers," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 7, pp. 325 - 328, 2008.
- [3] A. Sorrentino, G. Ferrara, and M. Migliaccio, "The reverberating chamber as a line-of-sight wireless channel emulator," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 56, no. 6, pp. 1825 - 1830, Jun. 2008.
- [4] J. Gonzalez and L. Ponce de Leon, "Rayleigh propagation environment simulation in iDEN reverberation chamber. power delay profile and uniformity implications," in *Proc. IEEE Antennas*

- Propag. Soc. Int. Symp., Charleston, SC, Jun. 1
--5, 2009, p. 222.
- [5] J. H. Choi, Y. S. Sin, and S. O. Park,
“Performance evaluation of 2x2 MIMO handset
antenna arrays for mobile WiMAX applications,”
Microw. Opt. Technol. Lett., vol. 51, no. 6, pp.
1558 - -1561, Jun. 2009.
- [6] P. Corona, G. Ferrara, and M. Migliaccio,
“Reverberating chamber electromagnetic field in
presence of an unstirred component,” IEEE
Trans. Electromagn. Compat., vol. 42, no. 2, pp.
111 - -115, Nov. 2000.
- [7] Zheng Lou and Jian-Ming Jin, “High-order
finite-element analysis of periodic absorbers,
MOTL, Vol.37, No.3, pp.203-207, 2003.
- [8] C. L. Holloway, D. A. Hill, J. M. Ladbury, P.
F. Wilson, G. Koepke, and J. Coder, “On the use
of reverberation chambers to simulate a Rician
radio environment for the testing of wireless
devices,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 54,
no. 11, pp. 3167 - -3177, Nov. 2006.

————— 저 자 소 개 —————

김 증 성(정회원)

2012년 2월 대한전자공학회 논문지

TC 편 49권 2월호 참조