

# Beyond 4G 기술 동향 : 편파안테나 기술

전광현·회 빙·장경희 (인하대학교), 박형숙·박윤옥 (ETRI)

## I. 서론

최근 스마트 폰의 등장 및 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하는 이동 통신 기기의 등장으로 인하여, 사용자의 데이터 요구량이 증가하고 있으며, 고품질의 음성 서비스 및 멀티미디어 서비스가 요구되고 있다. 이러한 요구를 만족시키고자 무선 통신 환경에서 음성 서비스를 비롯한 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하고, 고품질 및 고속의 데이터 전송을 지원하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구의 일환으로 공간영역의 채널을 이용하는 Multiple Input Multiple Output (MIMO) 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

MIMO 기술이란 송수신 양단에 다중안테나를 사용함으로써 한정된 주파수 자원 내에서 채널 용량을 증대하여 높은 데이터 전송률을 제공하거나 채널의 다이버시티를 활용하여 무선링크의 신뢰도를 향상시키는 기술이다. 다중안테나를 이용하는 기술로서는 배열 안테나를 이용하는 레이더 기술, 수중 공간에서의 소나 기술, 무선 통신 시스템의 빔형성 기법 등이 예전부터 연구되어 왔으며, 최근 무선 통신 시스템에서의 용량 증가에 대한 요구가 늘어나면서, 이러한 MIMO 기술 연구에 대한 관심이 증가되어 왔다. 하지만, MIMO 시스템은 송수신단의 다수개 안테나로 인하여 송신 단에서는 설치비용 및 운영비용의 증가를 초래하고, 수신 단에서는 작은 모바일 기기에 설치의 어려움이 있다. 이와 같은 단점을 극복하고, MIMO 시스템의 장점을 극대화하기 위하여 편파 안테나를 활용한 시스템에 대한 연구가 요즈음 시작되고 있다.

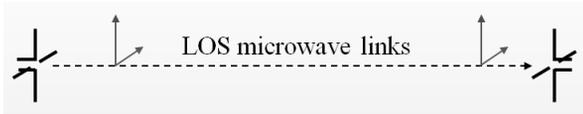
편파 안테나 시스템은 안테나의 편파를 이용함으로써, 패턴 다이버시티 (Pattern Diversity)에 의하여 채널의 자유도를 증가시킬 수 있다. 그 뿐만 아니라, 기존 다중안테나 시스템에 활용되고 있는 기술인 spatial multiplexing, Tx diversity,

Rx diversity 등의 기술을 각 편파 안테나 성분에 적용하여 또 다른 차원의 이득을 얻을 수 있으나, 아직은 편파 안테나 시스템에 대한 연구가 초기 단계이며, 편파 안테나 시스템에 기존의 MIMO 기술을 적용하는 연구 역시 초기단계이다. 또한, 무선 구간 내에서의 신호처리 모델로서, 이동 및 무선 통신 시스템 개발에 필요한 알고리즘 구현 및 기술 검증에 사용될 수 있는 편파 채널 모델에 대한 연구 및 표준화도 시급한 상태이다.

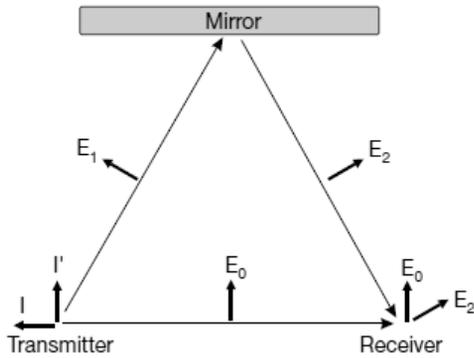
본 고에서는 서론에 이어, II 장에서는 편파 안테나 기술 연구 동향에 대하여 알아보며, III 장에서는 기존의 편파 안테나 채널 모델들과 본 연구진이 제안한 간단하면서도 실제 채널 환경과 유사한 편파 안테나 채널 모델을 소개한다. IV 장에서는 제안한 편파 안테나 채널 모델 하에서 편파 안테나 시스템에 의한 성능 향상에 대하여 논하며, V 장에서 결론을 맺는다.

## II. 편파 안테나 기술 연구 동향

2001년 Michael R. Andrews 등이 네이처지를 통해 3중 편파안테나를 이용한 무선 통신에서의 채널 용량 증가에 대한 논문을 발표 하였으며, 이 연구는 scatterer 환경에서 추가적인 채널 자유도를 획득함으로써, 얻을 수 있는 채널 용량 증가에 대한 연구이다. <그림 1>은 자유공간에서 직접경로 성분만 존재할 경우, 송신 이중 편파 안테나의 전기장이 온전히 수신 이중 편파 안테나에 전송될 수 있음을 보이며, 서로 수직인 편파 안테나의 전기장 신호 및 전파 방향은 서로 영향을 미치지 않기 때문에 2개의 채널 자유도를 얻을 수 있다. <그림 2>는 수평 안테나 (I) 와 수직 안테나 (II)를 가지는 이중 편파 안테나의 수평 성분 전기장이 직접경로를 통해 수신 이중

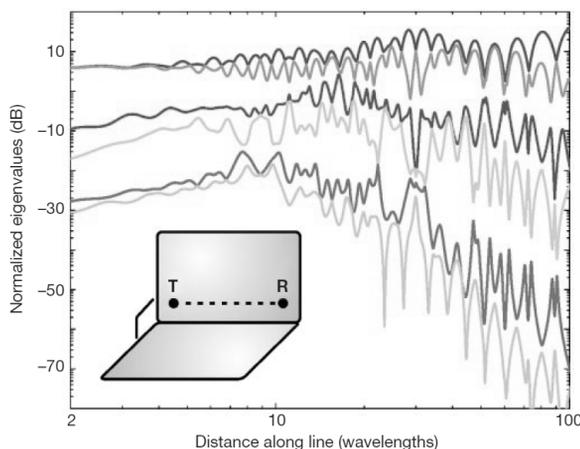


〈그림 1〉 자유 공간에서 이중 편파 안테나의 직접경로 성분



〈그림 2〉 자유 공간에서 하나의 반사체를 가진 이중 편파 안테나 시스템

편파 안테나에 기여를 하지 못하는 상태에서, 이상적인 반사체를 통하여 수평 성분의 전기장이 수신 이중 편파 안테나의 신호성분에 기여함을 나타낸다. 수직 안테나는 전기장  $E_0$ 를, 수평 안테나는 전기장  $E_1$ 를 방사한다. 그리고 전기장  $E_1$ 은 반사체에 반사되어 전기장  $E_2$ 를 발생시키게 되어, 송신 이중 편파 안테나는 총 3개의 채널 자유도를 갖는다. 하지만, 수신 이중 편파 안테나에서 전기장  $E_1$ 은 기여를 못하기에 2개의 채널 자유도만을 갖는다. 〈그림 3〉은 자유공간에서 이상적인 두 개의 반사체가 존재하는 경우, 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 거리에 따른 채널의 고유값을 나타내며, 3개의 전기장 채널 고유값과 전기장에 상응하는 3개의 자기장 채널 고유값을 보여준다. 이를 통하여, 송수신단에 적절한 편파 안테나를 사용하면 3개의 채널 자유도를 얻을 수 있으며, 이로 인한 채널 용량 증가를 기대할 수 있다. 또한, 전기장에 직교하는 자



〈그림 3〉 자유공간에서 두개의 반사체가 존재하는 경우, 이중 편파 안테나 시스템의 채널 고유값

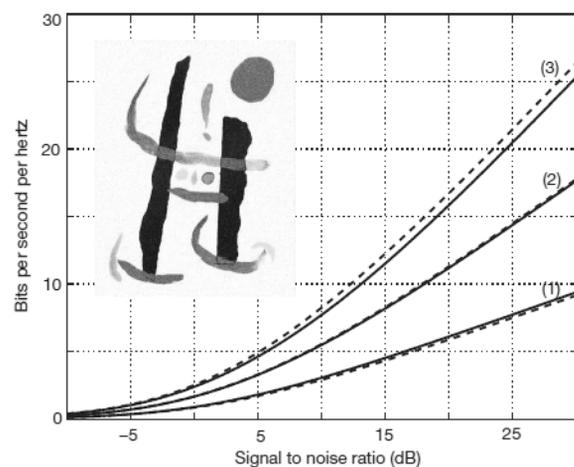
기장 성분을 활용할 수 있는 경우에는 총 6개의 채널 자유도를 얻을 수 있다.

〈그림 4〉는 자유공간에서 이상적인 두 개의 반사체가 존재하는 경우, 다중 편파 안테나 시스템의 채널 용량을 측정하는 결과이다. (1), (2), (3)의 각 숫자는 각각 단일 안테나 시스템, 이중 편파 안테나 시스템, 삼중 편파 안테나 시스템을 나타내며, 점선은 이론 값, 실선은 실측 값에 의한 시스템 용량을 나타낸다. 신호 대 잡음비 (SNR)가 25 dB인 경우, 삼중 편파 안테나 시스템은 단일 안테나 시스템과 비교하여 약 3배의 시스템 용량 증가를 보이며, 이는 편파 안테나 사용에 의한 자유도 증가에 기인한다. 이러한 연구 등에 의하여 편파 안테나 시스템 분야는 B4G 이동 통신 시스템 선행 연구의 핵심 연구 분야 기술 중 하나로서 관심을 받기 시작하고 있다.

편파 안테나 시스템에서는 Cross-Polarization Discrimination (XPD)으로 정의되는 탈분극 현상이 일어나며, 이러한 현상의 원인을 안테나의 잘못된 설계로 인하여 안테나 자체의 직교성을 잃는 경우와 무선 채널 전파 환경에 따른 신호의 탈분극 현상으로 구분할 수 있다. XPD는 동일 편파 안테나의 신호와 서로 다른 편파 안테나의 신호 비로 나타내지며, 식 (1)로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 XPD &= \frac{\text{Co-channel RxPower}}{\text{Cross-channel RxPower}} \\
 &= \frac{\text{RxPower}(VV)}{\text{RxPower}(VH)} \text{ or } \frac{\text{RxPower}(HH)}{\text{RxPower}(HV)} \text{ etc.} \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서, (VV)는 수직 송신 안테나와 수직 수신 안테나 사이의 링크를 나타내며, (VH)는 수직 송신 안테나와 수평 수신 안테나 사이의 링크, (HV)는 수평 송신 안테나와 수직 수신 안테나 사이의 링크, 그리고 (HH)는 수평 송신 안테나와 수평 수신 안테나 사이의 링크를 나타낸다.



〈그림 4〉 다중 편파 안테나 시스템에 의한 용량 증가

### Ⅲ. 편파 안테나 채널 모델 연구 동향

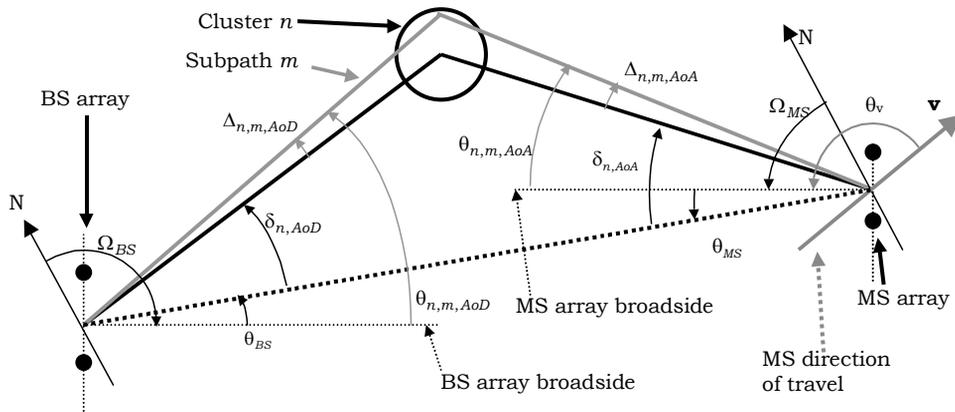
채널 모델은 무선 구간 내에서의 신호 처리를 위한 모델 중 하나로, 이동 및 무선 통신 시스템 개발에 필요한 알고리즘 구현 기술 검증에 위하여 반드시 필요한 연구 분야이다. 공간 다중 안테나 채널 모델에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으며, 이미 표준화된 채널 모델을 제공하고 있다. 하지만, 현재 편파 안테나 채널 모델에 대한 연구는 아직 초기 단계로서, 표준화된 채널 모델이 시급한 실정이다. 본 절에서는 대표적인 편파 안테나 채널 모델인 SCM-E 편파 안테나 채널 모델과 S.C. Kwon 과 G.L. Stuber에 의하여 제안된 3-D geometry 기반의 확률적 채널 모델을 간단히 소개한다. 또한, 본 연구진이 제안한 간단하면서도 실제 채널 환경과 유사한 특성을 지닌 Practical and Simple (PS) 편파 안테나 Rayleigh 채널 모델 및 Rician 다중 경로 채널 모델을 소개한다.

#### 1. SCM-E 편파 안테나 채널 모델

SCM-E 채널 모델은 2003년 3GPP/3GPP2 ad-hoc 회의에서 채택된 채널 모델인 SCM 채널 모델을 확장한 채널 모델로서, MIMO 시스템 성능 평가를 그 목적으로 한다. SCM 채널 모델은 <그림 5>와 같이 전파 ray의 물리적 현상을 이용한 확정적인 방법 (deterministic model)과, 여기에 사용된 채널

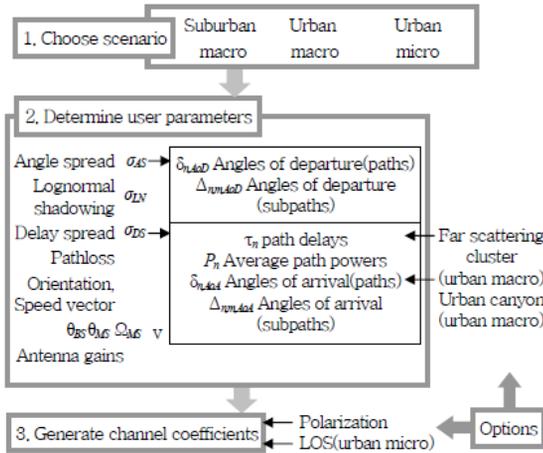
파라미터 (전력, 수신 도래각, 지연 확산, 도래각 확산 등)를 확률적으로 생성하여 결합시킨 ray 기반의 확률적 채널 모델이라 할 수 있다.

SCM의 채널 행렬 생성과정은 <그림 6>과 같이 세 종류의 전파환경 중 시나리오의 선택과 단말기의 거리 및 안테나를 기준으로 하는 각도를 선택하면서 시작된다. 따라서 이 모델의 성능평가는 시스템 레벨 시뮬레이션에 국한되며 선택되는 시나리오에 따라 생성되는 채널 파라미터의 값이 각기 다르다. 또한, 편파 안테나 채널 모델은 시나리오 선택 중 추가적인 선택사항에 의하여 제공되고 있다. SCM 모델이 확정적이라는 표현은 Rayleigh 페이딩을 구현하는데 있어서 모든 채널 파라미터가 확정적이라는 사실에 있다. 즉, 식 (2)는 어느 순간의 무선 채널 모사 환경을 나타낸 뿐, 다른 ensemble을 표현하는 경우에는 채널 파라미터의 값이 변하게 된다. 다시 말하면, 어느 한 순간의 무선 채널 모사 환경마다 매우 다양한 도래 각이 생성됨을 알 수 있다. 하지만 서로 다르게 생성되는 채널 계수는 평균적인 관점에서 볼 때 일정한 값을 갖는다. 또한, SCM은 ray 기반의 채널모델이므로 안테나 형상에 영향을 받지 않는 특징이 있다. 식 (2)는 (S × U) MIMO 채널에서 n번째 다중경로 채널의 계수  $h_{u,s,n}$  을 나타낸다. 이 때 생성되는 다중경로의 수(n)와 각각의 다중경로(M) 정현파의 합으로 페이딩을 구현한다. 편파 안테나에 따른 4개의 독립적인 채널을 (2×2) 행렬로 생성하고, VH와 HV 채널 링크에



<그림 5> Pseudo ray-tracing 모델에 기반한 SCM 채널 모델

$$h_{u,s,n}(t) = \sqrt{\frac{P_n \sigma_{SF}}{M}} \sum_{m=1}^M \begin{bmatrix} \chi_{BS}^{(v)}(\theta_{n,m,AoD}) \\ \chi_{BS}^{(h)}(\theta_{n,m,AoD}) \\ \chi_{MS}^{(v)}(\theta_{n,m,AoA}) \\ \chi_{MS}^{(h)}(\theta_{n,m,AoA}) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \exp(j\Phi_{n,m}^{(v,v)}) & \sqrt{r_{n1}} \exp(j\Phi_{n,m}^{(h,v)}) \\ \sqrt{r_{n2}} \exp(j\Phi_{n,m}^{(v,h)}) & \exp(j\Phi_{n,m}^{(h,h)}) \\ \exp(jkd_s \sin(\theta_{n,m,AoD})) & \exp(jkd_u \sin(\theta_{n,m,AoA})) \end{bmatrix} \times \exp(jk \|\mathbf{v}\| \cos(\theta_{n,m,AoA} - \theta_v) t) \quad (2)$$



〈그림 6〉 3GPP SCM의 채널 행렬 생성 과정

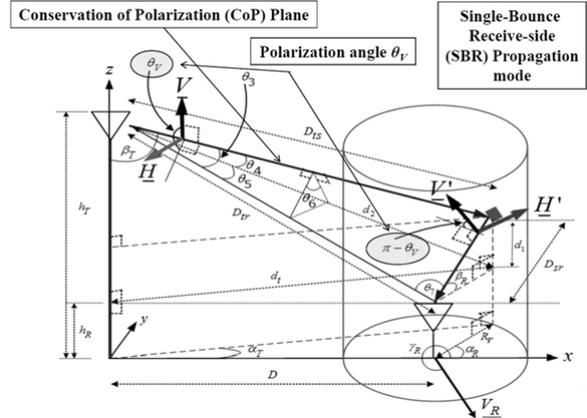
XPD 값( $r_n$ )을 곱함으로써, SCM 채널 모델에 편파 안테나 특성요소를 추가한다. SCM-E 편파안테나 채널모델은 기본적으로 SCM-E 채널에 필요한 다양한 파라미터 (전력, 수신 도래각, 지연 확산, 도래각 확산 등)를 고려해야 하며, 2-D 채널 모델만을 제공함으로써 다중 편파 안테나를 위한 채널 모델링에 어려움이 있다. 또한, 채널 자체적으로 combining을 적용함으로써, 별도의 multiplexing이나 다른 Rx combining과 같은 MIMO 기술을 적용하기가 어려운 단점을 가지고 있다.

### 2. 3-D Geometry 기반의 확률적 채널 모델

3-D geometry 기반의 확률적 채널 모델은 주어진 환경 조건에서 이중 편파 안테나에 의한 XPD 값을 스스로 계산하여 채널에 반영하며, 〈그림 7〉에 3-D geometry 기반의 확률적 채널 모델을 나타낸다. 3-D geometry 기반의 채널 모델은 어느 한순간의 채널 계수가 XPD 값을 구하기 위하여 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 거리, 송신 안테나와 scatterer 사이의 거리, 수신 안테나와 scatterer 사이의 거리를 고려하며, 3차원 scatterer 환경을 고려하기 위한 scatterer 원통의 반경, azimuth 각도, elevation 각도 등의 함수로서 식 (3), (4)와 같이 표현된다. 또한, scatterer의 위치는 scatterer 원통 표면에서 확률적으로 결정되기 때문에, 안테나와 scatterer 사이의 azimuth 각도와 elevation 각도에 대한 확률이 식 (5), (6)과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} A_{VV} \\ A_{HV} \end{bmatrix} = A_V \begin{bmatrix} f_{VV}(D, D_{is}, D_{sr}, R_r, \alpha_R, \beta_R) \\ f_{HV}(D, D_{is}, D_{sr}, R_r, \alpha_R, \beta_R) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\bar{A}_{VV} = \int_{\alpha_R=0}^{2\pi} \int_{\beta_R=0}^{\beta_{R,Max}} A_V e^{j2\pi(f_c + f_D)\{(D_{is} + D_{sr})/c_0\}} f_{VV}(D, R_r, \alpha_R, \beta_R) p(\beta_R) p(\alpha_R) d\beta_R d\alpha_R \quad (7)$$



〈그림 7〉 3-D Geometry 기반의 확률적 채널 모델

$$\begin{bmatrix} A_{VH} \\ A_{HH} \end{bmatrix} = A_V \begin{bmatrix} f_{VH}(D, D_{is}, D_{sr}, R_r, \alpha_R, \beta_R) \\ f_{HH}(D, D_{is}, D_{sr}, R_r, \alpha_R, \beta_R) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$p(\alpha_R) = \frac{\exp[k \cos(\alpha_R - u)]}{2\pi I_0(k)}, \quad (5)$$

$$p(\beta_R) = \frac{\pi}{4 |\beta_{R,Max}|} \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{\beta_R}{\beta_{R,Max}}\right). \quad (6)$$

위와 같은 채널 계수 함수를 사용하여, 식 (7)과 같이 확률적으로 원통 표면에 존재하는 scatterer를 azimuth 각도와 elevation 각도에 대한 이중 적분을 함으로서 채널을 생성한다. 3-D geometry 기반의 확률적 채널 모델은 SCM 채널 모델과 같이 주변 환경에 따른 파라미터가 확정적이다. 그렇기 때문에, 3-D geometry 기반의 확률적 채널 모델은 정확한 채널 묘사를 위하여, Tx와 Rx 사이의 거리, scatter와 Tx 사이의 거리, scatterer와 Rx사이의 거리, 원통의 반경, azimuth 각도, elevation 각도 등 많은 파라미터를 고려해야 하며, 삼각함수 및 이중 적분의 사용 등으로 인한 복잡한 계산으로 시뮬레이터 구성에 어려움이 존재한다.

### 3. PS 3-D 삼중 편파 안테나 Rayleigh 채널 모델

본 연구진은 기존의 SCM-E 편파 안테나 채널 모델과 몇몇의 연구진이 제안한 편파 안테나 채널 모델에서 나타나는 많은 파라미터로 인한 채널의 복잡성과 기존 MIMO 기술을



터를 나타낸다.

$\bar{H}$ 는 안테나 특성과 전파환경에 따라 신호가 변화하는 특성을 지니나,  $\bar{H}$ 에 있어서는 그러한 신호의 변화 특성이 나타나지 않는다. 간접 경로 신호와 직접 경로 신호의 XPD 값을 각기 식 (12)와 (13)에 나타낸다.

$$\begin{aligned} E\{|\tilde{h}_{v,v}|^2\} &= E\{|\tilde{h}_{h,h}|^2\} = 1, \\ E\{|\tilde{h}_{v,h}|^2\} &= E\{|\tilde{h}_{h,v}|^2\} = \alpha \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \bar{h}_{vv}^2 &= \bar{h}_{hh}^2 = 1, \\ \bar{h}_{vh}^2 &= \bar{h}_{hv}^2 = \alpha_f \end{aligned} \quad (13)$$

Rician factor 값은 신호의 변화하는 성분과 변하지 않는 성분의 비로 표현한 값이기 때문에 삼중 편파 안테나에 따른 Rician factor 값을 식 (14)로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & k_{1,3} \\ k_{1,2} & k_{2,2} & k_{2,3} \\ k_{1,3} & k_{3,2} & k_{3,3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k & \frac{\alpha_f k}{\alpha} & \frac{\alpha_f k}{\alpha} \\ \frac{\alpha_f k}{\alpha} & k & \frac{\alpha_f k}{\alpha} \\ \frac{\alpha_f k}{\alpha} & \frac{\alpha_f k}{\alpha} & k \end{bmatrix} \quad (14)$$

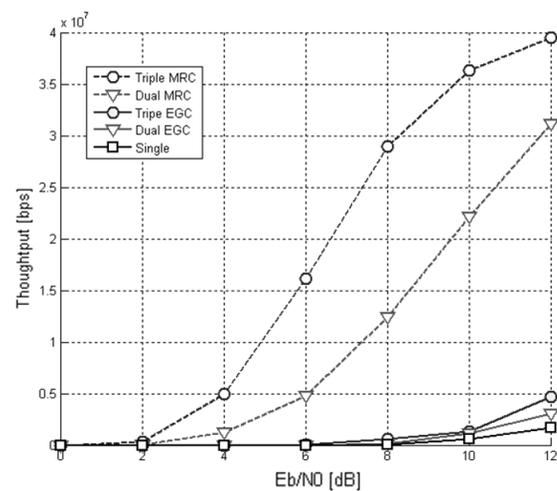
이와 같은 채널 모델은 macro 및 micro 셀을 위한 채널 모델이기 때문에, PS 편파 안테나 다중 경로 채널 모델링을 위하여 ITU-R Veh.A 채널 모델의 지연 프로파일과 전력 프로파일을 사용한다.

#### IV. 편파 안테나 시스템에 의한 성능 향상

〈표 2〉는 3.3 절 및 3.4 절에 소개한 PS 삼중 편파 안테나 Rician 다중 경로 채널 하에서 다중 안테나 시스템의 용량 증가를 확인하기 위한 시스템 파라미터를 나타낸다. 편파 안테나 시스템 환경은 macro 및 micro cell에서 3, 30, 60 km/h의 이동성을 갖도록 하며, 20 MHz의 대역폭을 사용한다. 또한, 1.8 GHz에서 실측한 XPD 값을 사용하기 위해서 반송파 주파수는 1.8 GHz를 이용하며, QPSK 변복조를 사용하여 채널검증 및 성능을 확인한다. Rician 채널 모델을 구성하기 위하여 Rician factor는 일반적인 도심환경에서 관측되는 9 dB를 사용하며, scatterer 반경은 10 m로 가정한다. 20 MHz의 대역폭을 사용하기에, 간단한 실험을 위해서 패킷 구조는 5 us의 주기를 가지며, 100개의 심볼들로 구성되도록 한다. 또

〈표 2〉 편파안테나 시스템을 위한 파라미터

Center Frequency	1.8 GHz
Band Width	20 MHz
Target Cell	Macro / Micro Cell
Mobility	3, 30, 60 km/h
Scatterer Radius	10 m
Rician Factor	9 dB
LOS XPD	14 dB
NLOS XPD	5.8 dB
Packet Duration	5 us
Modulation	QPSK
Equalizer	1-tap time-domain Eq.



〈그림 9〉 PS 편파 안테나 Rician 다중 경로 채널 하에서 편파 안테나 시스템에 의한 용량 증가

한, 파일럿 밀도는 5%로 설계한다. 〈그림 9〉는 PS 편파 안테나 Rician 다중 경로 채널 하에서의 채널 자유도 증가와 다이버시티 이득에 의한 편파 안테나 시스템의 용량 증가를 보여준다. 점선은 수신부 안테나에 MRC 기술을 적용한 경우의 용량을, 그리고 실선은 EGC 기술을 적용한 경우의 용량을 나타낸다. 또한, 네모는 단일 안테나 시스템, 세모는 이중 편파 안테나 시스템, 동그라미는 삼중 편파 안테나 시스템의 용량을 각기 나타낸다. 12 dB의 Eb/N0에서 삼중 편파 안테나 시스템에 MRC를 적용한 경우, 단일 안테나 시스템과 비교하여 약 20배 정도의 시스템 용량 향상을 보이며, 이중 편파 안테나에 MRC를 적용한 경우와 비교하여 약 1.3배의 시스템 용량 향상을 보인다.

#### V. 결론

편파 안테나 시스템은 안테나의 편파를 이용함으로써, 패턴 다이버시티 (Pattern Diver -sity)에 의하여 채널의 자유도

를 증가시킬 수 있다. 그 뿐만 아니라, 기존 다중안테나 시스템에 활용되고 있는 기술인 spatial multiplexing, Tx diversity, Rx diversity 등의 기술을 각 편파 안테나 성분에 적용하여 또 다른 차원의 이득을 얻을 수 있으나, 아직은 편파 안테나 시스템에 대한 연구가 초기 단계이며, 편파 안테나 시스템에 기존의 MIMO 기술을 적용하는 연구 역시 초기단계이다. 또한, 무선 구간 내에서의 신호처리 모델로서, 이동 및 무선 통신 시스템 개발에 필요한 알고리즘 구현 기술 검증에 사용될 수 있는 채널 모델에 대한 연구 및 표준화도 시급한 상태이다. 본 고에서는 편파 안테나 시스템 연구 동향을 살펴 보았으며, 기존의 편파 안테나 채널 및 본 연구진이 제안한 간단하면서도 실제 채널환경과 유사한 편파 안테나 채널 모델을 소개하였다. 또한, 제안된 편파 안테나 채널 모델 하에서 Rx combining 기술 중, EGC와 MRC 적용에 의한 채널 용량 증가를 보였다. 그 결과, MRC를 적용한 삼중 편파 안테나 시스템은 단일 안테나 시스템과 비교하여 약 20배의 시스템 용량 향상을 보이며, MRC를 적용한 이중 편파 안테나 시스템과 비교하여 약 1.3배의 시스템 용량 향상을 보인다. 이는 편파 안테나 시스템 사용에 의한, 채널 자유도와 다이버시티 이득의 증가에 기인함을 알 수 있다.

**참고문헌**

[1] M.A. Jensen and J.W. Wallace, "A review of antennas and propagation for MIMO wireless communications (invited paper)," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol.52, pp.2810-2824, Nov., 2004.

[2] G.F. Foschini and M.J. Gans, "On limits of wireless communication in a fading environment when using multiple antennas," *Wireless Pers. Commun.*, Vol.6, No.3, pp.311-335, 1998.

[3] M.R. Andrews, P.P. Mitra and R. Carvalho, "Tripling the capacity of wireless communications using electro-magnetic polarization," *Letter to Nature*, nature 409, pp.316-318, Jan., 2001.

[4] 3GPP, *Spatial Channel Model for Multiple Input Multiple Output MIMO Simulations*, Vol. TR25.996, v6.1.0, Sep., 2003.

[5] S.C. Kwon and G.L. Stuber, "3-D geometry-based statistical modeling of cross-polarization discrimination in wireless communication channels," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.*, May, 2010, pp.1-5.

[6] K.H. Jeon, B. Hui, K.H. Chang, H.S. Park, Y.O. Park "SISO polarized flat fading channel modeling for dual polarized antenna systems," in *Proc. ICOIN*, Feb., 2012, pp.368-373.

[7] R.U. Nabar, et. al., "Performance of multiantenna signaling techniques in the presence of polarization diversity," *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol.50, No.10, Oct., 2002.

[8] J.A. Lempiainen and J.K. Laiho- Steffens, "The performance of polarization diversity schemes at a base station in small/micro cells at 1800 MHz," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol.47, No.3, pp.1087-1092, Aug., 1998.

[9] ITU-R Rec. ITU-R M.1225, *Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000*, 1997.



**전 광 현**

2009년 2월 강원대학교 전기전자공학과 (공학사).  
 2010년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학석사).  
 <관심분야> 4세대 이동통신, Mobile Ad-hoc Network, RFID/USN Systems, 편파 안테나 시스템



**회 빙**

2005년 7월 중국 동북대학교 정보통신공학과 (공학사).  
 2009년 8월 인하대학교 정보통신대학원 (공학석사).  
 2009년 8월~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사과정.  
 <관심분야> OFDM/MIMO Systems, MIMO Detection Algorithm, WiMAX, 3GPP LTE

**장 경 희**

1985년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학사).  
 1987년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학석사).  
 1992년 8월 Texas A & M Univ., EE Dept. (Ph.D.).  
 1989년~1990년 삼성종합기술원 주임연구원.  
 1992년~2003년 한국전자통신연구원, 이동통신연구소 무선전송방식연구팀장.  
 2003년~현재 인하대학교 전자공학과 교수.  
 <관심분야> 4세대 이동통신 및 3GPP LTE 무선전송방식, WMAN 및 DMB 시스템 무선전송기술, Cognitive Radio, Cross-layer Design, Cooperative Relaying System, RFID/USN Systems, Mobile Ad-hoc Network, 해상/수중 통신, 편파 안테나 시스템 등

**박 윤 옥**

1986년 2월 한양대학교 전자공학과(공학사).  
 1997년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 (공학석사).  
 2011년 2월 충남대학교 정보통신공학과(공학박사).  
 1985년~1987년 삼성전자 종합연구소 연구원.  
 1987년~현재 한국전자통신연구원 팀장(책임연구원).  
 <관심분야> 디지털 통신, CDMA, OFDMA, MIMO

**박 형 숙**

1990년 2월 전남대학교 전자공학과(공학사).  
 1992년 2월 전남대학교 전자공학과(공학석사).  
 2006년~현재 전남대학교 전자공학과 박사과정.  
 1992년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원.  
 <관심분야> 디지털 통신, CDMA, OFDMA, MIMO