

# 무선이동통신 제어환경에서 전파특성 및 알고리즘 분석에 관한 연구

종신회원 강 정 용\*

## The Study of Analysis Algorithm and Wave Characteristic Control Environment for Wireless Communication

Jeong-Yong Kang\* *Lifelong Member*

요 약

정보화 시대 사용자의 IT 이용패턴이 유선의 광대역 정보서비스와 동일한 품질의 다양한 형태의 무선 멀티미디어 서비스를 요구하고 있다. 이러한 시대적 변화는 차세대이동통신(IMT-Advanced) 개발의 필요성으로 대두 되고 있으며, 현재의 음성, 패킷데이터 통신에서 고속 이동 중에 100Mbps, 정지 및 저속에서 1Gbps까지의 데이터 전송속도를 기반으로 하는 유무선 통합의 유비쿼터스 서비스 제공에 필요한 IMT-Advanced 플랫폼 실현을 위한 준비가 필요한 시점이다. 특히, 3-5GHz대역을 중심으로 이동통신 활용 가능대역 확보에 필요한 주파수 재배치 및 기존역무 간 혼신분석 방법론을 개발하고 있으며, 동 결과를 주파수 확보를 위한 국내 IMT-Advanced용 신규대역 확보를 위한 주파수 특성 및 IMT-Advanced용 주파수인 3-5GHz대역 전파특성을 규명하여 국내 무선통신 기술 개발에 필요한 기반 기술 확보 및 전파간섭등 주파수 관리 기술을 확인하였다.

**Key Words** : IMT-Advanced, Wave Characteristic, 간섭 파라미터, Spatial Correlation, MIMO Channel Characteristics

### ABSTRACT

Users of the Information Age, IT usage patterns of the wired broadband information services and various forms of the same quality wireless multimedia services are required.

Changes of these times the next-generation mobile communications (IMT-Advanced) has emerged as the necessity of developing its current voice and packet data communications on the move in the high-speed 100Mbps, 1Gbps in stationary and slow data transmission rates up to fixed-mobile convergence based on needed to provide ubiquitous service platform for the realization of IMT-Advanced is the time for preparation. In particular, 3-5GHz band, focused on mobile communications can be used to secure the necessary frequency band relocated and the existing crosstalk analysis methodology developed for the services rendered, and the frequency of such results to obtain new spectrum for IMT-Advanced for the country to secure the frequency characteristics and IMT-Advanced 3-5GHz band for the radio frequency of the characterization techniques necessary to develop a national wireless communication interference and frequency-based technology acquisition and management skills were identified.

### I. 서 론

우리나라는 IMT-Advanced 후보대역으로 700MHz

대 DTV 전환 대역과 2.3GHz WiBro 대역이 후보주파수에 선정될 수 있도록 대응한바 있으며 특히, IMT-Advanced의 광대역 전송 서비스가 지원될 수

\* 원광대학교 전자제어공학부 무선통신 및 RFID/SUN 연구실(kjy114@wonkwang.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-07-345, 접수일자 : 2010년 7월 30일, 최종논문접수일자 : 2011년 3월 8일

있는 주파수로 3400-4200MHz과 4400-5000MHz대역을 후보대역 선정의 필요성을 제안하여 반영시켰다. 3~5GHz 대역은 건물 내로의 전파 투과 특성이 떨어진다는 이유와 셀룰러 이동통신 보다는 무선 LAN과 같은 기술이 피코셀 또는 hot spot 셀 서비스에 더욱 적합하다는 이유로 3~5GHz대 주파수 논의에 부정적인 입장을 보이고 있으며, 공공용 레이더와 주파수 공유가 어렵다는 분석결과를 제시하고 있는 상황이다.

특히 3400-3700 MHz 주파수 대역은 미국이 공공용 레이더 보호를 위해 공유 가능성에 부정적 입장을 취하고 있고, 위성 이용 국가 및 위성국제기구를 중심으로 4G 주파수 이용에 강한 부정적 입장을 주장하고 있다. 이에 반해 한국, 프랑스, 일본 등 C밴드 위성이용 빈도가 낮은 국가를 중심으로 공유에 긍정적 입장을 주장하고 있다. 미국이 제기하는 공공용 레이더 간 주파수 공유에 대한 부정적 입장을 완화하기 위해 공유기술 및 간섭완화 기술에 대한 연구가 필요하다.<sup>[1]</sup>

특히 일본과 우리나라는 지리적 전파환경이 비슷하고, C밴드 위성 운용 빈도가 높지 않아, 위성 국제기구 및 위성 이용빈도 높은 국가에서 주장하는 부정적인 공유결과에 대응하기 위하여 피 간섭원인 위성지구국 주변의 지형, 지물 및 인공적 보호막에 의해 간섭 확률 및 조정거리가 크지 않음을 주장하는 공유분석결과를 제시하였다.

## II. 무선통신시스템 네트워크 환경

차세대이동통신 서비스를 제공하기 위해서는 광대역의 주파수 대역폭이 제공되어야 할 것이며, 이를 위한 5 GHz이하 국내의 전파자원 중 3.4 GHz에서 5.0 GHz대역이 유일한 IMT-Advanced 후보대역으로 평가되고 있다. 동 대역의 국제적인 합의를 거친 주파수 선정을 위해 위성지구국 등 위성업무와의 간섭분석 및 공유 가능성 도출이 가장 중요한 문제로 대두되었다. 이에 IMT를 선호하는 유럽, 일본 및 한국 등은 3400-4200 MHz, 4500-4800 MHz 주파수 대역에서 위성지구국과의 공유가능성을 도출하기 위한 합동의 노력을 추진 중이며, IMT-Advanced, 위성지구국의 간섭분석 기술 파라미터 및 간섭기준을 판단하기 위한 공유기준 정의와 이에 따른 공유분석 방법을 적극적으로 제시하여 ITU 보고서에 반영하였다. 특히 일본과 우리나라는 지리적 전파환경이 비슷하고, C밴드 위성 운용 빈도가 높지 않아,

위성 국제기구 및 위성 이용빈도 높은 국가에서 주장하는 부정적인 공유결과에 대응하기 위하여 피 간섭원인 위성지구국 주변의 지형, 지물 및 인공적 보호막에 의해 간섭 확률 및 조정거리가 크지 않음을 주장하는 공유분석결과를 제시하였다. 아래 그림은 IMT-Advanced와 위성지구국간 간섭영향 분석을 위한 방법론을 나타낸다. 공유분석 방법은 크게 위성지구국과 IMT-Advanced 기지국간의 간섭계산을 위한 최소경로손실(MCL)방법과, 다수의 IMT-Advanced 단말기 간의 간섭영향을 고려하기 위한 확률 통계적인 분석이 가능한 Monte Carlo 방법이 고려되었다. 3400-4200 MHz, 4500-4800 MHz 주파수 대역에서 위성지구국과의 공유연구 결과, IMT-Advanced의 공유기술과 간섭 파라미터, 지형지물에 따라 제한적인 주파수 공유가 가능하다. 그림 1은 우리나라가 공유연구에서 고려한 간섭분석 방법을 나타낸다.<sup>[2,3]</sup>

2.0-3.4 GHz 주파수 대역의 공유연구 동향을 정리한 것이다. 이 대역 중에서 한국, 호주 등 일부 국가를 중심으로 2300-2400 MHz 대역을 4G 주파수로 활용하는 방안을 제시하여 기존 ITU 공유결과(권고 F.1334)를 참고하기로 하였다. 2700-2900 MHz 대역은 스웨덴 등 일부 유럽 국가에서 공유연구를 제안하여 기존 항공무

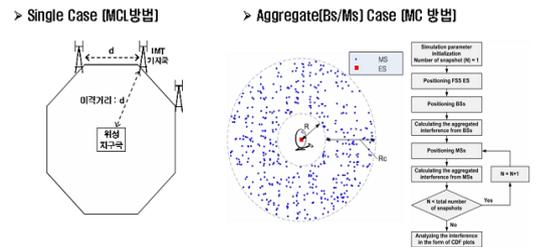


그림 1. C-밴드 위성지구국과 IMT-Advanced 간 간섭 시나리오  
Fig. 1. C-band satellite base stations between interference IMT-Advanced a scenario

표 1. 2~3.4GHz대역 공유대상 및 국내현황  
Tabel 1. 2~3.4GHz band public and interior

공유주파수 (MHz)	공유대상	제안 국가	국내현황
2300-2400	고정 통신	호주, 한국	와이브로, 도서M/W통신 등
2700-2900	기상 및 항공무선항행 레이더	스웨덴	공공용 레이더 및 기상청, 공항 레이더

선향행 및 기상용 레이더 간의 공유 검토를 진행하고 있으나, 이미 세계적으로 인명/안전용 레이더 대역으로 이용 중인 점을 고려하여 미국을 중심으로 대부분 국가에서 공유불가 입장을 제시하였다.

3.4-5.0GHz 대역이 4G 후보주파수로 선정됨에 따라 현재 사용 중인 레이더 및 위성업무간의 주파수 공유가 검토 중이며 이를 표 2에 정리하였다. 특히 3400-3700 MHz 주파수 대역은 미국이 공공용 레이더 보호를 위해 공유 가능성에 부정적 입장을 취하고 있고, 위성 이용 국가 및 위성국제기구를 중심으로 4G 주파수 이용에 강한 부정적 입장을 주장하고 있다. 공유시나리오에 의거한 3400-3700 MHz 주파수 대역에서 레이더와의 공유연구 결과, 항공기 레이더의 경우 약 360km, 선박 레이더의 경우는 약 45km의 무선국 이격이 요구되나 안테나, IMT-Advanced에 공유기술을 적용하면 제한적인 환경에서 주파수 공유가 가능하다.<sup>[4,5]</sup>

WP8F 스펙트럼 분과에서 합의한 간섭분석을 위한 위성지구국과 IMT-Advanced 시스템 계산 파라미터를 기준으로 다음과 같다.

- 단일 위성지구국과 단일 IMT-Advanced 기지국 간의 간섭계산
  - 위성지구국 안테나 양각 5~48° 변화에 따른 간섭조정 거리 : 39~56km
- 단일 위성지구국과 복수(10개) IMT-Advanced 기지국간의 간섭계산
  - 위성지구국 안테나 양각 5~48° 변화에 따른 간섭조정 거리 : 43 ~ 82km
- 단일 위성지구국과 복수 IMT-Advanced 단말기 간의 간섭계산
  - 단말기 이용 분포변화에 따른 간섭조정 거리 : 0.5~1.5km

아래 그림 2은 지형지물에 의한 간섭분석을 실시

표 2. 4~5.0 GHz대역 공유대상 및 국내현황  
Tabel 2. 4-5.0GHz band public and interior

공유연구 대역 (MHz)	공유대상	제안국가	국내현황
3400-3700	공공용 항공, 선박 레이더	미국	방송 이동중계용, 고정M/W
3400-5000	고정위성 지구국	룩셈부르크, 위성기구, 프랑스, 일본, 한국	방송 이동중계용, 고정M/W, 위성지구국, 공공용

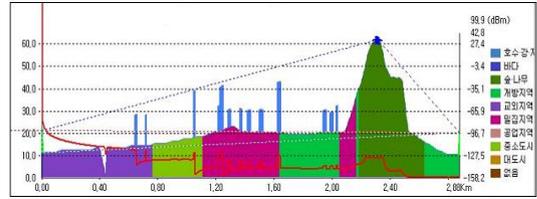


그림 2. 지형/지물에 의한 Path Profile  
Fig. 2. Ground/shelter for Path Profile

하기 위해 전파연구소의 전파관리시스템(RFMS)를 이용하여 우리나라의 실제 운용중인 위성지구국이 IMT-Advanced 신호원으로부터 간섭영향을 피하기 위한 조정영역을 분석한 결과이다.<sup>[6,7]</sup>

### III. 무선통신 환경의 시스템 사양

3.7GHz대 이상 M/W대역의 국내 도심빌딩 환경을 중심으로 다중안테나의 광대역 전파특성 분석하기 위한 듀얼밴드인 3.7GHz와 8GHz대역 전파특성 측정 시스템을 구축하였다.

시스템은 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 광대역 채널 측정 시스템으로 4개의 송신 안테나와 8개의 수신 안테나를 이용하여 100MHz 대역폭을 지원한다. 실외 환경 실험을 위해서는 측정 시스템 이외에 수신차량과 송신국이 필요하다. 본 실험에서는 국내 대표 도심빌딩 환경별 다중안테나의 전파특성과 이에 따른 주파수 이용효율과의 관계를 연구하는 필요성을 고려하여 송신국 설치가 용이하도록 고출력 지원이 가능한 고용량의 송신차량을 이용하였다. 그림 3과 4는 본 실험에 이용된 송신과 수신차량을 나타낸다.

MIMO 광대역 채널 측정 시스템은 최대 100 Mcps의 속도로 PN 신호를 송신하는 송신 시스템과 수신 시스템으로 구성된다. 송신 시스템에서의 송신 신호 흐름은 신호 발생기에서 발생된 신호는 D/A 변환기에 의하여 아날로그 신호로 변환되고 LPF와 Up converter를 통하여 RF 주파수 신호로 변환된 후 파워 증폭기를 거쳐 4개의 안테나에 시분할되어 전송된다. 이 때 송신 시스템에서 사용하는 모든 클럭은 10 MHz Rubidium Oscillator를 사용하여 발생되므로 매우 정확하게 동작된다. 그림 4에서 8개의 수신 안테나 단에서 수신된 신호는 RF 스위치 단에서 시 분할로 선택되며, 선택된 RF 신호는 LNA와 주파수 다운 컨버터를 거쳐 고속 A/D 변환기로 입력된다. 고속 A/D 변환기에서는 입력된 아

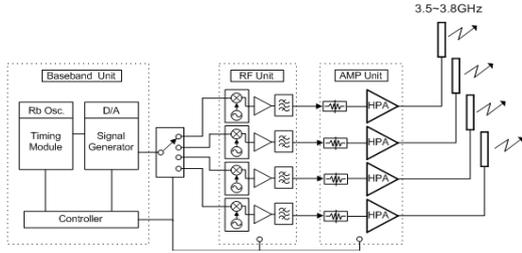


그림 3. 송신 시스템 개요도  
Fig. 3. transmission system block

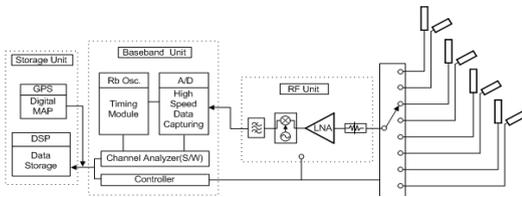


그림 4. 수신 시스템 개요도  
Fig 4. receipt system block

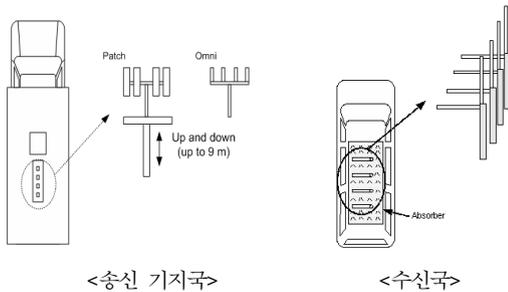


그림 5. MIMO 송수신 측정시스템의 개요도  
Fig. 5. MIMO transmission/receipt measurement system block

날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 채널 분석 모듈로 전환한다. 채널 분석 모듈에서는 고속 A/D 변환기 모듈에서 획득한 신호 데이터를 이용하여 채널의 특성을 분석하는 기능을 담당한다.<sup>[8,9]</sup>

본 측정시스템은 차세대이동통신 시스템 및 서비스 도입을 고려한 100MHz 광대역폭의 4\*8 다중안테나 전파 특성을 실험을 목적으로 개발되었다. 옥외환경에서의 전파특성 실험을 위해 고이득 앰프를 각각의 다중안테나 전단에 배치되어 1W 이하에 송신신호를 출력할 수 있도록 설계하였다.

#### IV. 통신환경 전파특성 및 알고리즘 분석

MIMO 시스템을 이용하여 통신 채널을 통해 전송되어지는 신호는 기존 단일 안테나 시스템 채널

에서 발생하는 전자파 전파 현상과는 다른 현상을 겪게 되며, 이러한 현상에 대한 이해는 시스템의 프로토타입 설정과 테스트 개발에 있어서 비용적인 측면뿐만 아니라 설계 단계에서의 성능 향상과 서비스의 품질 향상에 있어서 매우 중요하다. 다중경로 페이딩을 겪으면서 채널은 각 확산과 시간지연 확산 그리고 도플러 확산을 일으킨다. 각 확산(angular spread) 특성은 공간에 있어 다른 페이딩을 겪음으로서 공간적으로 확산되어 수신되는 정도를 나타내고 이는 공간 상관(spatial correlation)특성을 야기하며, 확산이 심화될수록 일정한 거리가 떨어진 안테나의 신호가 겪는 페이딩의 상관도는 떨어지게 된다. 시간지연 확산은 높은 전송율의 데이터에 대한 시간 분해능을 떨어뜨리는 요인이 되기 때문에, 전송율의 상한은 채널의 시간 지연 특성에 의해 결정되게 된다. 시변 채널에 대해 시간과 공간의 함수로 지연확산을 갖고 수신 되어지는 다중안테나 수신신호는 아래 식과 같다.<sup>[10]</sup>

$$\bar{y}(t,r) = \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{H}(\tau;t,r) \bar{p}(t-\tau) d\tau + \bar{\eta}(\tau;t,r) \quad (1)$$

#### 4.1 공간 상관 (Spatial Correlation)

다중 안테나의 경우에는 안테나 소자간의 거리에 따라서 공간적인 채널의 상관 특성을 갖으며 이에 대한 계수를 공간 상관 계수라 한다. 일반적으로 MIMO 시스템에 있어서 공간 상관 계수는 AS(Angular Spread)와 입사각, 안테나간의 거리의 함수로서 AS가 작을수록 공간 상관 계수는 커지고, 입사각이 안테나 어레이의 방향과 같을수록 커지며, 안테나간의 거리가 멀어질수록 작아진다. 공간 상관도의 정도 차이는 MIMO 전파 채널에서 부채널의 분리도와 채널 용량 성능을 결정짓는 중요 파라미터이다. 식 (1)은 송수신 안테나에 있어서 편파와 원역장 방사 패턴이 같을 때 기지국에서  $k_1$ 과  $k_2$ 번째 송신 안테나간의  $\ell$ 번째 수신안테나에 대한 복소 공간 상관 계수를 나타낸다.<sup>[11]</sup>

$$\rho_{k_1 k_2}^{BS} = \frac{\langle H_{k_1 \ell} H_{k_2 \ell} \rangle}{\sigma_{k_1 \ell} \sigma_{k_2 \ell}} = \frac{\{E[H_{k_1 \ell} - E(H_{k_1 \ell})]E[H_{k_2 \ell} - E(H_{k_2 \ell})]\}}{\sigma_{k_1 \ell} \sigma_{k_2 \ell}} \quad (2)$$

여기서,  $\langle H_{k_1 \ell} H_{k_2 \ell} \rangle$ 는  $H_{k_1 \ell}$ 와  $H_{k_2 \ell}$  간의 공간 상관 계수식이고,  $E[\cdot]$ 와  $\sigma_{k\ell}$ 은 각각 평균값과  $k$

번째 안테나와  $\ell$  번째 안테나간의 페이딩에 대한 표준편차이다. 이동국에서의 공간 상관 계수는 기지국에서의 공간 상관 계수식 (1)과 같고, 안테나 성분 표시만 바꾸어 정의한다. 식 (1)을 통해 기지국과 이동국에서 공간 상관 행렬  $R_{BS}$ 와  $R_{MS}$ 를 얻으며, 이는 식 (3)과 같다.

$$R_{BS} = \begin{bmatrix} \rho_{11}^{BS} & \rho_{12}^{BS} & \cdots & \rho_{1N_T}^{BS} \\ \rho_{21}^{BS} & \rho_{22}^{BS} & \cdots & \rho_{2N_T}^{BS} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{N_T 1}^{BS} & \rho_{N_T 2}^{BS} & \cdots & \rho_{N_T N_T}^{BS} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_{MS} = \begin{bmatrix} \rho_{11}^{MS} & \rho_{12}^{MS} & \cdots & \rho_{1N_R}^{MS} \\ \rho_{21}^{MS} & \rho_{22}^{MS} & \cdots & \rho_{2N_R}^{MS} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{N_R 1}^{MS} & \rho_{N_R 2}^{MS} & \cdots & \rho_{N_R N_R}^{MS} \end{bmatrix}$$

식 (1)은 임의의  $k$ 번째와  $\ell$ 번째의 송수신 안테나에 대해 독립적인 공간 상관 계수이며, MIMO 채널에서는 모든 전파 경로에 대한 공간 상관 계수를 얻기 위해  $R_{BS}$ 와  $R_{MS}$ 를 식 (4)와 같이 크로네커(Kronecker) 곱을 통해 얻는다.

$$R_{MIMO} = R_{BS} \otimes R_{MS} \quad (4)$$

#### 4.2 채널 용량 및 고유값 분포

MIMO 시스템의 채널 용량은 식 (1)의 수신 신호  $\bar{y}$ 로부터 얻을 수 있는  $\bar{p}$ 에 대한 최대 상호정보(mutual information)의 최대값으로 정의되고, 이는 식 (5)과 같다.

$$C = \log_2 \left[ \det \left( \overline{I_{N_r}} + \overline{H} \overline{R_X} \overline{H^H} \right) \right] bps/Hz, \quad (5)$$

여기서,  $\overline{I_{N_r}}$ 은  $N_r \times N_r$ 의 항등 행렬이고,  $R_X = E \left\{ \overline{p p^H} \right\}$ 은 입력 신호의 공분산 행렬(covariance matrix)을 나타낸다. 채널 용량은 채널  $\overline{H}$ 에 따라 변하는 확률 변수이기에 일반적으로 채널에 대해 평균을 취한 평균 용량(ergodic capacity)으로 시스템의 용량을 비교하며 이는 식 (6)과 같다.<sup>[3,12]</sup>

$$C_E = E_{\overline{H}} \left[ \log_2 \det \left( \overline{I_{N_r}} + \overline{H} \overline{R_X} \overline{H^H} \right) \right] bps/Hz, \quad (6)$$

각각의 송신 안테나가 동일한 평균전력을 갖고, 상호 독립일 경우 식 (5)의  $R_X = (\rho/N_T)I_{N_T}$ 와 같고 이를 통해 식 (5)은 식 (7)가 된다.

$$C = \log_2 \left[ \det \left( \overline{I_{N_r}} + \frac{\rho}{N_T} \overline{H} \overline{H^H} \right) \right] \quad (7)$$

$$= \sum_{i=1}^{\min(N_T, N_r)} \log_2 \left( 1 + \frac{\rho}{N_T} \lambda_i \right) bps/Hz,$$

여기서,  $\rho$  은 송신 안테나로부터 방사되는 전력의 총합을 나타내고  $\lambda_i$ 는  $\overline{H} \overline{H^H}$ 의 영이 아닌 고유값을 나타낸다. 채널의 정보가 알려진 경우는  $\lambda_i$ 를 통하여 분리되어진 채널에 워터필링 알고리즘 등을 사용하여  $\frac{\rho}{N_T}$ 를 서로 다른 전력으로 전송함으로써 채널 용량을 증가시킬 수 있다. 각각 채널의 SINR이 같고, 각각 분리된 채널로 같은 전력의 심볼들이 전송되며, 평균 잡음 간섭의 전력이 같다고 가정하면, 위의 채널 용량은 식 (8)과 같다.

$$C = \sum_{i=1}^{\min(N_T, N_r)} \log_2 (1 + \lambda_i SINR), \quad (8)$$

여기서, 고유값 성분들의 분포는 채널의 분리도를 나타내며, 이는 채널 복원 가능성을 나타내는 중요 파라미터이다.

#### 4.3 지연 시간 파라미터

전력-지연시간 율곡도 PDP (power delay profile)는 초과 지연 시간에 대한 채널 임펄스 응답의 전력에 따른 함수이다. PDP에 대한 일반적인 시불변 정의는 전체 시간과 지연 시간에 의한 임펄스 응답  $h(t, \tau)$ 를 이용하여 다음과 같이 정의한다.

$$P(t, \tau) |_{t=\Delta t=0} = E[h(0, \tau)^2] \quad (9)$$

여기서  $\tau$ 는 초과 지연 시간, 즉 처음 도착한 성분에 대해 다중 경로에 의한 상대적인 지연 시간을 나타내며  $h$ 는 채널 임펄스 응답이다. 이산 시간 시스템에 대해서 이산 지연 시간을 수신하는 다중 경로 성분  $L$ 의 총 전력은 PDP에 포함된다. 즉, 채널에 대한 총 수신 전력은 다음과 같이 주어진다.<sup>[13]</sup>

$$P_t = \sum_{l=0}^{L-1} P(\tau_l) \quad \forall l=0, \dots, L-1 \quad (10)$$

만약 채널에 대해 방향성의 고려했을 때에도 비슷한 정의가 다음과 같이 적용되고 PDDP (power-delay-direction profile)이라고 부른다.

$$P(t, \tau, \psi)|_{t=\Delta t=0} = E[h(0, \tau, \psi)^2] \quad (11)$$

또한, 지연 시간의 PSD (power spectral density)로부터 채널의 시간에 대한 왜곡 특성을 설명할 수 있다. 지연 시간의 PSD로부터 평균 지연 시간은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_i \tau_i R_h(\tau_i)}{\sum_i R_h(\tau_i)} \quad (12)$$

또한 위 식을 이용하여 RDS (rms delay spread)를 구하면,

$$\sigma_\tau = \left[ \frac{\sum_i (\tau_i - \bar{\tau})^2 R_h(\tau_i)}{\sum_i R_h(\tau_i)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

와 같다. 주파수 일관성 대역폭( $B_c$ )는 주파수 상관 함수로부터 구할 수 있고, 이는 RDS와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$B_c \approx \frac{1}{2\pi\sigma_\tau} \quad (14)$$

따라서 RDS는 주파수 일관성 대역폭과 관련해 채널의 다중 경로에 의한 심볼간 간섭 ISI를 설명할 수 있는 중요한 채널 파라미터이다.

## V. 실험 및 결과

### 5.1 측정장비 Calibration

측정 시스템에 대한 Calibration은 채널 사운더의 송수신 장비에 대한 기능들의 정상적인 동작 여부를 확인하고, 실제 측정 시에 발생할 수 있는 오류를 사전에 방지하여, 측정 데이터의 실효성을 사전에 점검함을 그 목적으로 하였다.

Calibration을 위한 주요 수행 내용은 다음과 같다.

- ✧ Baseband 신호의 안정성 확인
- ✧ 채널간 Isolation 측정

- ✧ 각 채널의 Dynamic Range 측정
- ✧ 송신 시스템의 RF 출력 측정
- ✧ 송수신 안테나 Cable의 loss 측정.

### 5.2 RF단의 부정합 보정

RF단 소자의 불완전 정합에 의해 다중 반사된 신호는 실제 채널에서는 존재하지 않는 다중 경로 시간 지연이 나타나게 된다. 이는 측정 시스템의 영향 때문으로 이를 제거하기 위해 다음과 같은 방법을 적용하였다.

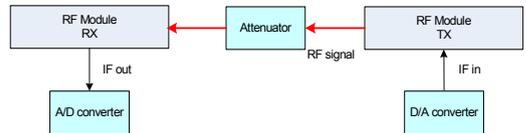


그림 6. back-to-back 측정 시스템의 블록 다이어그램  
Fig. 6. back-to-back measurement system block diagram.

### 5.3 불균일 링크 이득 보정

송수신 시스템의 제작 상 오차와 마이크로파 소자들에 의한 신호 왜곡으로 인해 송수신기 하나의 단과 다른 단 간의 시스템 응답은 차이를 갖는다. 이러한 영향은 각 송수신 단의 시스템 응답을 수집하고, 수집된 값으로부터 적절한 보정 작업을 통해 제거한다.

표 3. Tx Isolation  
Tabel 3. Tx Isolation

	Ant1	Ant2	Ant3	Ant4
Tx1	6.8dB	-25dB	-23dB	-23dB
Tx2	-30dB	6.7dB	-29dB	-32dB
Tx3	-26dB	-28dB	6.5dB	-25dB
Tx4	-35dB	-34dB	-35dB	2dB

Noise level : -40dB, bandwidth 100MHz  
채널별 Isolation 레벨 차이가 30~40dB정도이며, 인접채널의 신호레벨이 5-10dB 정도로 채널간 신호간섭은 크지 않은 것으로 판단됨.

표 4. Rx Isolation  
Tabel 4. Rx Isolation

	Ant1	Ant2	Ant3	Ant4
Rx1	-36.5dB	-66dB	-65dB	-66dB
Rx2	-63dB	-42.2dB	-66dB	-68dB
Rx3	-63dB	-65dB	-37.7dB	-66dB
Rx4	-63dB	-65dB	-63dB	-38.1dB

송신출력을 -5~-10dB로 본다면, 송신 Atten 30dB, cable loss 3dB이므로 AMP Gain은 23~28dB로 보아야 함

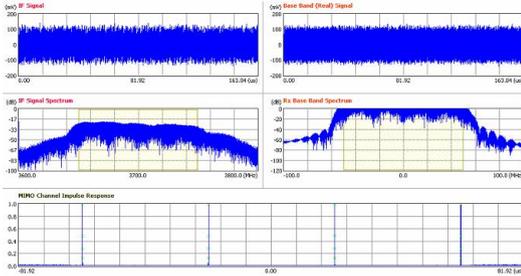


그림 7. 채널 사운더의 기저대역 및 계측기 검출신호 파형  
Fig. 7. Channel sounder sink band and measurement signal wave

## VI. 결 론

본 논문은 3.7GHz대 이상 M/W대역의 국내 도심빌딩 환경을 중심으로 다중안테나의 광대역 전파 특성 분석하기 위한 듀얼밴드인 3.7GHz와 8GHz대역 전파특성 측정 시스템을 구축하였다.

측정을 수행한 결과 송신단 출력이 작아 실외측정에서 거리 및 환경의 고려가 있어야 할 것으로 판단되었다. 특히, 비가시(NLOS) 환경에서는 8GHz대역의 특성 및 낮은 송신 출력을 고려했을 때 신호의 수신이 거의 불가능하고, 수신하는 경우에도 신호가 누락되는 부분이 많아 데이터 분석시 실효성이 떨어질 것으로 판단되었다.

따라서 본 측정에서는 측정 시나리오 수립을 위한 측정 루트 선정 시 가시거리(LOS) 환경으로 측정 범위를 한정하여 실내 및 실외지역에서 측정을 수행하였다.

실제 5GHz이하의 이동통신용 주파수 확보가 가능한 대역을 검토해 볼 때 IMT-2000 미래 수요와 IMT-Advanced 시스템의 향상된 기능을 지원할 수 있는 유일한 대역으로 3~5 GHz가 적합한 대역임을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] ITU-R Report 829 Calculation of the probability of interference, ITU, 2005.
- [2] ITU-R Report 525 Performance functions and protection ratios of analogue and digital modulation systems required for spectrum utilization, ITU, 2006.
- [3] ITU-R Report 974 A procedure for modelling receiver intermodulation characteristics, ITU.

- [4] ITU-R Report 826 Examples of band sharing by employing spread-spectrum techniques, ITU, 2003.
- [5] ITU-R Recommendation SM.1132 General principles and methods for sharing between radiocommunication services or between radio stations, ITU, 2005.
- [6] ITU-R Recommendation SM.1055 The use of spread spectrum techniques, ITU, 2005.
- [7] M. Satyanarayanan, "Pervasive Computing: Vision and Challenges," *IEEE Personal Communications*, August 2007.
- [8] Magdalena Balazinska, Hari Balakrishnan, and David Karger.INS/Twine: "A Scalable Peer-to-Peer Architecture for Intentional Resource Discovery. In *Pervasive 2002 International Conference on Pervasive Computing*", number 2414in LNCS, pp.195-210. Springer-Verlag, August 2005.
- [9] ITU-R 보고서 651, 확산 스펙트럼 기술, 2005.
- [10] ITU-R 보고서 520, 컴퓨터시뮬레이션모델
- [11] FACS주파수 이용방안, 한국전파진흥협회연구보고서, 2006.
- [12] J. Hightower and G. Bordello, "location Systems for Ubiquitous Computing," *IEEE Computer*, Vol.34, No.8, pp.57-66, 2007.
- [13] N T. Burners-Lee, J. Handler, and lassies, "The Semantic Web, *Scientific American*," May 2008.

강 정 용(Jeong-Yong, Kang)

종신회원



1991년 2월 원광대학교 전자공학(공학사)

1996년 8월 원광대학교 전자공학(공학석사)

2003년 8월 원광대학교 전자공학(공학박사)

2005년~2008년 원광대학교 전기전자 및 정보공학부(전임강사)

2008년 3월~현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 겸임교수

<관심분야> Wireless Communication, RFID/USN, OFDM, MIMO, RF주파수 등