http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2011.22.10.1016

Pilot 채널을 이용한 WCDMA 기지국의 최대 전기장 강도 예측

Maximum Electric Field Strength Prediction of WCDMA Base Station Using Pilot Channel

이 영 수 · 윤 현 구* · 장 병 준**

Yeong-Su Lee · Hyungoo Yoon* · Byung-Jun Jang**

요 약

본 논문에서는 코드 영역에서의 pilot 채널의 전기장 강도를 측정하여 WCDMA 기지국에서 방사되는 전기장 강도의 최대값을 예측하였다. 사용된 방법의 타당성을 제시하기 위하여 자체 제작한 시험 기지국에서 광선 추적법을 이용한 이론값과 전체 대역에 대한 전기장 강도 측정 결과와 비교하여 90 % 이상 일치함을 확인하였다. 그리고 실제 운용 중인 기지국을 대상으로 채널 전체에 대한 전기장 강도 측정 결과를 논문에서 제안한 방법으로 예측한 결과와 비교하였다. 비교한 결과, pilot 채널을 이용하면 최대 트래픽 상태의 전기장 강도를 예측할 수 있음을 확인하였다. 본 측정방법은 국내 무선국 전기장 강도 검사에 효과적으로 적용될 수 있다.

Abstract

In this paper, we predict a maximum electric field strength of WCDMA base station using a pilot channel in a code domain. In order to verify the feasibility of our method, we compare our predicted value on a self-designed test base station with a general electric field strength measurement value at a full-traffic load condition and with a calculated value by a ray-tracing technique. Predicted results show above 90 % agreement with the general measurement and calculation values. We also show that our prediction method can be applied to electric field measurement on a real operating base station. Therefore, it is concluded that our prediction method be an effective method to measure a maximum electric field strength in a base station inspection test.

Key words : Electric Field, Base Station, Field Measurement, Pilot Channel, WCDMA

Ⅰ. 서 론

최근 들어 스마트폰 사용자의 급증과 무제한 데이터 요금제로 촉발된 3G 이동 통신 서비스 경쟁의 심화로 이동 통신 사업자는 기지국 및 중계기를 증설하고 있어, 주거 환경 가까이에 이동 통신 기지국이 설치되는 경우가 증가하고 있다. 이에 따라 기지국 전자파의 인체 노출 유해성에 대한 국민들의 관심이 고조되고 있으며, 관련 민원도 지속적으로 발생되고 있는 상황이다. 이에 정부에서는 체계적인 전자파 관리 제도를 마련하여 시행 중에 있다.

현재의 기지국 전자파 강도 관리는 국제기준 중 가장 엄격한 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)의 인체 보호 기준

「본 연구는 2011년도 국민대학교 교내연구비 및 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구 결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1121-0005).」

한국방송통신전파진흥원(Korea Communication Agency)

*명지전문대학 컴퓨터전자과(Department of Computer and Electronic Engineering, Myongji College)

**국민대학교 전자공학과(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

· 논 문 번 호 : 20110719-073

· 교 신 저 자 : 장병준(e-mail : bjjang@kookmin.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 8월 16일

을 따른 전파법 제47조의 2(전자파인체보호기준 등) 항에 의거하여, 30W 이상의 고출력 기지국에 대해서는 전자파 강도 측정을 의무적으로 실시하고 있다. 측정 방법은 전파연구소고시 제2010-46호에 따라, 스펙트럼 분석기 및 등방성 프로브를 이용하여 전자파 강도의 공간평균값을 6분간 측정하도록 되어 있다[1]. 그러나 CDMA(Code Division Multiple Access)와 WCDMA(Wideband CDMA) 방식을 사용하는 국내 이동 통신 시스템은 해당 기지국에 접속하고 있는 가입자의 수와 트래픽의 양에 따라 기지국의 출력이 시간에 따라 변하게 된다. 또한, 최근 스마트폰의 도입 확산으로 FA 별로 데이터 전용 또는 음성 전용으로 사용되고 있어서 FA별로 출력의 차이가 존재한다. 이에 대한 고려 없이 사용주파수 대역 전체에 대해 6분의 전자파 강도 측정만으로는 최대 전자파 강도를 측정할 수 없는 문제가 있다. 2008년 발행된 ITU K.61에 의하면 기지국 전자파 강도 측정은 'full traffic' 상태에서 진행하고, 측정이 불가능할 경우에는 제어 채널을 측정한 후 이를 바탕으로 full traffic 상태를 예측하도록 되어 있다[2].

이에 본 연구에서는 FA와 트래픽에 따라 출력의 변화가 없는 WCDMA 기지국의 pilot 채널의 전기장 강도를 코드 영역(code domain)에서 측정하고, 이를 이용하여 full traffic 상태에서의 기지국 전기장 강도를 예측하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법의 타당성을 보이기 위해 시험기지국을 설치하여 기존의 채널 대역 전체에서 전기장 강도의 측정 결과 및 광선 추적법을 이용하여 전기장 강도를 계산한 결과와 상호 비교하였다. 또한, 실제 운용 중인 기지국을 선정하여 본 논문에서 제안한 방법을 적용하고, 이를 기존 방법과 비교하였다.

Ⅱ. 최대 전기장 강도 예측 이론

2-1 전기장 강도 예측

기지국 전기장 강도를 측정할 때는 기지국 안테나와 측정 안테나 사이에 가시 경로(LOS: Line-Of-Sight)가 확보되어야 하며, 여러 위치 중 전기장 강도가 최대가 되는 지점에서 측정한 값을 해당 기지국의 전기장 강도로 정의한다. 일반적으로 두 안테나 사이의 전파 경로는 가시 경로와 주변 건물이나 구조물에 반사된 후에 입사되는 다중 경로로 나뉘므로, 측정 안테나에서의 전기장 강도는 직접파와 반사파의 합으로 표현할 수 있다. 다행히, 실제 전기장 강도 측정은 기지국 안테나에서 10 m 이내의 LOS 환경이므로, 반사파의 영향은 그리 크지 않으므로, 그림 1과 같이 지면 반사 경로(R')와 측정 안테나에서 거리 x_2[m]에 위치한 가장 가까운 1개의 구조물에서 반사된 반사 경로(R'')를 고려한 광선 추적법(ray tracing technique)을 사용하여 계산할 수 있다.

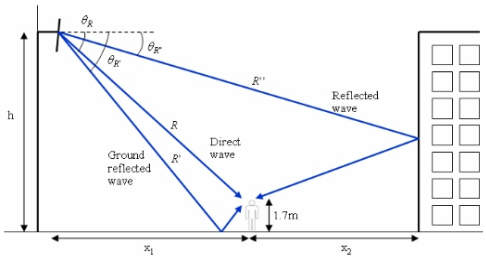

그림 1. 기본적인 전파 경로
Fig. 1. Basic wave propagation paths.

$$\vec{E} = \sqrt[2]{60EIRP}\cdot F(\phi_R,\theta_R)\cdot \exp(-j\beta R)/R\cdot \vec{\Phi_T} + \sqrt[2]{60EIRP}\cdot F(\phi_{R'},\theta_{R'})\cdot \Gamma_{R'}\cdot \exp(-j\beta R')/R'\cdot \vec{\Phi_T} + \sqrt[2]{60EIRP}\cdot F(\phi_{R''},\theta_{R''})\cdot \Gamma_{R''}\cdot \exp(-j\beta R'')/R''\cdot \vec{\Phi_T} \quad (1)$$

여기서 EIRP(Effective Isolatioed Radiated Power)는 기지국 송신 출력과 안테나 이득의 곱이며, $F(\phi,\theta)$는 기지국 안테나 방사 패턴, β는 전파 상수, Φ_T는 송신 안테나의 편파 벡터, $\Gamma_{R'}$ 및 $\Gamma_{R''}$는 반사 계수를 의미한다.

2-2 CPICH 채널을 이용한 전기장 강도 예측

현재 국내 이동 통신은 2세대 CDMA 방식을 거쳐 대부분이 3세대 방식인 WCDMA를 사용하고 있다. 두 방식 모두 pilot 채널을 사용하므로 이를 이용한 전기장 강도 예측이 가능하지만, 본 논문에서는 WCDMA 시스템만을 고려하기로 한다.

먼저 WCDMA 방식의 기지국의 순방향 링크(기지국 → 단말기)의 채널 구조를 살펴보면 여러 개의 물리 채널로 구성되어 있다[3]. 이러한 다양한 채널 중에서 CPICH(Common PIlot CHannel)은 pilot 채널로서 암호화는 되어 있으나, 변조되어 있지 않은 채널로 각 셀마다 오직 하나만 존재한다. 단말기는 기

지국과 연결되어 있는 동안 셀 선택을 유지하기 위해 CPICH 채널의 출력 레벨을 지속적으로 예측한다. 이러한 CPICH 채널은 단말기의 경우 핸드오버(handover) 등에서 사용되지만, 항상 안정된 신호를 내보내고, 일정 비율의 전력을 가지고 있기 때문에 EIRP 측정에서 활용될 수 있다[4].

CPICH 채널과 셀의 최대 출력의 비는 γ로 정의하며, 사업자가 기지국 설치 시 설정하며, 그 값은 특별한 경우를 제외하고는 변경되지 않는다. 따라서 측정 지점에서 수신되는 특정 기지국의 CPICH 채널의 전력($P_{CPICH_measured}$)을 측정할 수 있다면, 해당 기지국이 full traffic 상태일 때 측정 지점에서의 최대 수신 전기장 강도 $E_{\max}$는 식 (2)와 같이 예측될 수 있다[5].

$$E_{\max} = \sqrt{\frac{\eta P_{CPICH,measured}}{\gamma A_{eff}}} \quad [\mathrm{V/m}] \tag{2}$$

여기서, η는 자유 공간의 고유 임피던스, A_{eff}는 측정 안테나의 유효 개구면을 나타낸다.

Ⅲ. Pilot을 이용한 기지국 전기장 강도 예측

본 절에서는 Ⅱ장에서 설명한 전기장 강도 예측 이론의 타당성을 검증하기 위해 국민대학교에 설치된 시험용 기지국에 대한 전기장 강도 측정을 실시하였다. 또한, 실제 운용 중인 이동 통신 기지국을 대상으로 본 논문에서 제안한 모델의 타당성을 검증하였다. 대상 기지국은 한국전파진흥원의 도움을 받아 경기도 수원시 당수동에 위치한 기지국을 무작위로 선정하여 측정하였다.

3-1 시험기지기국 측정 환경 및 결과

도심에 위치한 이동 통신 기지국은 대부분 건물의 옥탑에 설치되므로, 이와 유사하도록 국민대학교 공학관 옥상에 그림 2와 같은 시험 기지국을 설치하였다. 시험 기지국은 그림 1에서 지면 반사파 이외에는 다른 반사 경로가 주변에 없는 환경이다. 송신 안테나는 (주)에이스안테나에서 제작한 15.0 dBi의 최대 이득을 갖는 기지국 안테나 (XDPI-15-65B-0T)를 사용하였으며, WCDMA 신호원은 Agilent사의 E 4437 ESG 신호발생기에서 2122.8 MHz의 중심 주파수에서 WCDMA Test mode 1번 신호를 발생하였다.

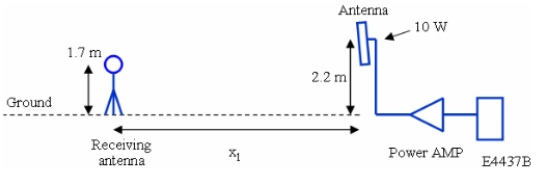

그림 2. 국민대학교 시험기지국 측정 환경
Fig. 2. EMF test environment of base station at Kookmin university in Seoul.

Test mode 1번 신호는 full traffic 상태의 신호를 출력하며, 출력의 −10 dB의 크기로 CPICH 채널을 송신한다. 신호발생기의 출력 레벨과 자체 제작된 고출력 증폭기를 이용하여 10 W 출력이 안테나 입력단자에서 측정되도록 power meter를 이용하여 교정하였다. 전기장 강도 측정 장비는 한국전파진흥원에서 기지국 전기장 강도 측정용으로 실제 사용하는 1.7 m의 삼각대 위에 설치된 3축 등방성 프로브를 이용한 EMF 측정 장비를 사용하였고 측정 기준도 동일하게 적용하였다. 단, 스펙트럼 분석기를 Anritsu사의 WCDMA 측정 옵션을 가지고 있는 MS2712E로 대체하여 CPICH 채널의 전기장 강도를 측정할 수 있도록 하였다. 측정 SW를 이용하여 CPICH 채널과 full traffic 상태에서의 전기장 강도를 각각 측정할 수 있도록 하였다.

그림 3은 국민대 시험 기지국에서 측정한 전기장 강도 결과이다. 그림에서 가로 축은 기지국과 측정 지점과의 거리를 의미하며, 세로는 전기장 강도를 의미한다. 실선은 광선 추적법으로 계산한 결과이고, 'o' 표시는 pilot 채널 전력 측정 후 식 (2)를 이용해

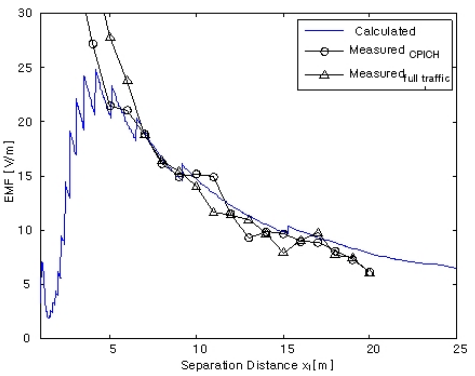

그림 3. 국민대학교 시험기지국의 측정 결과
Fig. 3. Measurement result at the KMU test base station.

환산한 결과이고, '△'는 full traffic 상태일 때 측정한 전기장 강도 값이다. 광선 추적법과 식 (2)를 이용한 결과는 원역장을 가정한 경우이므로, 5 m 이내의 near field 에서는 차이가 발생하였다. 그러나 5 m 이상에서는 full traffic 상태로 측정한 결과와 pilot을 이용한 결과와 90 % 이상 일치하는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법이 전기장 강도 측정에 사용될 수 있음을 확인할 수 있다. 측정의 정확도를 위해 6분 측정한 평균값을 기록하였다.

3-2 운용중인 기지국 측정 환경 및 예측 결과

수원시 당수동 기지국은 건물 옥탑 위에 안테나가 설치된 3 섹터 형상의 기지국이다. 당수동 기지국은 수신 안테나 주변에 아파트 건물이 있어 그림 1에서 가시 경로, 지면 반사, 1개의 반사체가 모두 있는 환경이다. 주요 측정 장비는 3-1절에 설명한 내용과 같으며, 옥상에 설치된 여러 안테나 중에서 6FA를 운용 중인 SK 텔레콤의 기지국 안테나 한 개를 대상으로 하였다. FA 별로 CPICH 출력을 측정한 후 식 (2)를 이용하여 구한 전기장 강도는 표 1과 같다. 전기장 강도 측정 시 주변 환경에 따라 값이 변동되므로 측정은 10분 간 측정을 진행하였고, 6번 반복하여 측정값을 얻었다. 측정 후 팩터 γ을 곱하여 모든 FA별 전기장 강도의 합을 구하면 최소 3.23 V/m에서 최대 3.42 V/m의 결과값을 얻었다. 반면, 동일한 위치에서 6 FA 대역 전체에 대해 기존의 전기장 강도 측정법으로 측정하면 6분 평균 결과가 2.0 V/m에서 2.81 V/m가 된다. 측정값이 변화가 큰 것은 인근에 운용 중인 모든 기지국에 의한 전기장 강도가 합해질 뿐만 아니라 시간에 따라 트래픽이 변하기 때문인 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 대역 전체에 대한 전기장 강도 측정은 트래픽에 따라 변화가 클 뿐만 아니라, full traffic일 때의 전기장 강도보다는 작은 값이 측정된다. 또한, 해당 기지국의 FA별로 특화된 측정값을 제공할 수 없음을 알 수 있다. 하지만 본 연구에서 사용한 방법을 활용하면, 각 기지국의 FA별로 최대 전기장 강도 값을 예측할 수 있다. 기지국 전기장 강도의 측정은 인체의 영향을 최소화하기 위한 보호 차원에서 관리하여야 하므로 본 논문에서 예측한 최대 출력값을 예측하는 측정 방법이 필요하다고 판단된다. 단, 이를 위해서는 기지국별로 팩터 γ에 대한 값을 측정자가 알고 있어야 한다.

표 1. FA별 전기장 강도 예측 결과
Table 1. Prediction results with respect to FAs.

	FA1	FA2	FA3	FA4	FA5	FA6	Total
1	1.51	1.59	1.39	1.05	1.20	1.08	3.23
2	1.39	1.55	1.51	1.24	1.20	1.12	3.30
3	1.43	1.67	1.47	1.20	1.20	1.12	3.34
4	1.47	1.51	1.51	1.20	1.20	1.16	3.31
5	1.47	1.51	1.55	1.16	1.08	1.16	3.27
6	1.47	1.43	1.59	1.16	1.36	1.32	3.42

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 WCDMA의 CPICH 채널이 트래픽에 상관없이 일정한 출력이 발생되는 것을 이용하여 기지국의 full traffic 상태에서의 전기장 강도 값을 예측하였다. 제시한 측정법을 검증하기 위하여 국민대 시험 기지국에서 full traffic 상태에서 측정한 결과 및 광선 추적법을 사용한 결과와 비교하여 원역장에서 90 % 이상 일치함을 확인하였다. 또한, 실제 운용 중인 WCDMA 기지국 환경에 적용하여 최대 전기장 강도를 예측하였다. 본 연구 결과를 바탕으로 다양한 환경에서의 전기장 강도 측정을 수행한다면, 실제 기지국 검사에 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] TTA 단체표준, 기지국 주변에서 인체 노출에 대한 전자파 강도 측정 방법, TTAS.KO-06.0125.

[2] IUT-T K.61, Guidance on measurement and numerical prediction of electromagnetic fields for compliance with human exposure limits for telecommunication installations, Feb. 2008.

[3] 이상근, CDMA/WCDMA 전파분석, 홍릉과학출판사, 2009년.

[4] 장병준, 문성원, 임재봉, "가시선 환경에서 Pilot 채널을 이용한 WCDMA 기지국의 EIRP 측정", 한국전자파학회논문지, 22(5), pp. 545-551, May 2011.

[5] Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape Report, Basis for a UMTS measurement recommendation, Apr. 2004.