

가시선 환경에서 Pilot 채널을 이용한 WCDMA 기지국의 EIRP 측정

EIRP Measurements of WCDMA Base Station Using Pilot Channel in Line-of-Sight Environments

장 병 준 · 문 성 원* · 임 재 봉

Byung-Jun Jang · Sungwon Moon* · Jae-Bong Lim

요 약

본 논문에서는 WCDMA 기지국에서 방사되는 유효 등방성 복사 전력(EIRP)을 가시선 환경에서 pilot 채널을 이용하여 측정하는 방법을 기술하였다. 특히, 국내 기지국 검사에 적용될 수 있도록 실제 운용 중인 기지국을 대상으로 측정하였다. 측정된 결과와 Friis 전송 공식에 의해 추정된 EIRP 예측값과 송신 안테나 정보를 이용한 EIRP 계산값을 비교한 결과, -2 dB의 편차를 갖는 결과를 얻었다. 이러한 -2 dB 편차는 실험용 기지국 안테나로 확인한 결과, 편파 부정합에 의한 것으로 판별되어 제거할 수 있음을 확인하였다. 본 측정 방법을 활용하면 WCDMA 기지국 검사 시 기존의 공중선 전력으로 검사하는 방법 이외에 EIRP를 직접 측정하여 검사할 수 있다.

Abstract

In this paper, we described a measurement method of an EIRP(Effective Isotropic Radiated Power) of a WCDMA base station using a pilot channel in line-of-sight environments. Especially we measured it in real base station environments in order to apply this method to domestic base station inspection test. Estimated EIRP results from measured value is -2 dB lower than theoretical values, which is calculated by the data of transmit antenna. The deviation of -2 dB is verified as a polarization mismatch between the base station antenna and a receiver antenna, and it can be calibrated. Therefore, we verified that our measurement method could be an effective tool to measure an EIRP in WCDMA base station inspection test.

Key words : EIRP, WCDMA, Line-of-Sight, Base Station, Field Measurement, Pilot Channel, WCDMA

I. 서 론

최근 들어 3G 이동 통신 서비스가 본격화됨에 따라 기지국의 수가 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 기지국을 관리하기 위하여 정부에서는 전파법에 근거하여 준공 검사, 정기 검사 등을 실시하여 출력 적합

여부를 시험하고 있다. 현재 국내에서 실시하고 있는 기지국 검사 방법을 살펴보면 공중선 전력(송신기로부터 안테나의 급전선에 공급되는 전력)을 기준으로 출력 적합 여부를 판정하고 있다. 하지만 공중선 전력은 실제 공중으로 방사되는 출력이 아니며, 실제 방사되는 출력은 케이블 손실 및 안테나 이득

「본 연구는 2011년도 국민대학교 교내연구비 및 한국전파진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임.」
국민대학교 전자공학부(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

*(주)시스다인(Sysdyne)

· 논문 번호 : 20110119-007

· 교신저자 : 임재봉(e-mail : jblim@kookmin.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 4월 5일

에 의해서 변하게 되며, 이는 등가 유효 방사 전력 (Effective Isotropic Radiated Power: EIRP)으로만 정확하게 표현될 수 있다. 따라서 기지국 검사 시 EIRP 값을 기반으로 무선국을 검사하는 것이 필요하다. 단, EIRP 값을 정확히 측정하기 위해서는 주변 건물과 지표면의 반사 및 굴절 등을 피해야 하므로 가시선(line-of-sight) 환경에서 측정해야 한다^{[1],[2]}.

한편, 국내 이동 통신 환경은 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 방식을 주로 사용하고 있는데, WCDMA 이동 통신 방식은 가입자 수와 트래픽 정도에 따라 최대 출력이 시간에 따라 변하게 된다. 일반적으로 이동 통신 사업자는 최대 출력으로 허가를 받지만, 대부분의 실제 운영 시간에는 가입자 수 및 트래픽에 따라 최대 출력 이하로 운용되는 것이 보통이다. 따라서 가시선 환경이 만족되어 WCDMA 신호의 EIRP를 측정할 수 있다고 하더라도 대부분의 운용 시간 동안 허가된 최대 출력보다 낮은 값이 측정되게 된다. 따라서, 오랜 시간 장비를 설치한 후 최대 출력인 경우를 감지하여 측정해야 하는 문제점이 있다. 다행히 WCDMA의 물리 채널 중에서 pilot 채널은 일정한 크기를 가지므로 pilot 채널의 EIRP를 측정한 후 최대 출력으로 환산한다면 이론적으로 기지국의 최대 EIRP 값을 측정할 수 있다. 이러한 방식은 독일의 FNA 등 일부 선진국에서 기지국 검사 시 실시하고 있는 것으로 파악되고 있다^[3].

이에 본 논문에서는 가시선 환경에서 WCDMA 기지국의 EIRP 값을 pilot 채널을 이용하여 측정하는 방식을 국내 환경에 처음으로 적용하였다. 이를 위한 측정 장비 및 측정 SW를 구축하고, 이를 실제 운용 중인 기지국에 적용한 결과를 보인다. 또한 측정 값과 Friis 전송 공식에 의해 추정된 EIRP 예측 값을 송신 안테나 정보를 이용한 EIRP 계산 값과 비교하여 측정 정확도를 파악함으로써 향후 국내 무선국 검사 시 적용 가능성을 살펴보고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 pilot 채널을 이용한 WCDMA 기지국의 EIRP 측정 원리를 살펴보고, 적용 한계를 제시한다. 제 3장에서는 실제 국민대학교에 위치한 기지국에 대한 측정 결과를 제시하여 본 연구에서 사용한 측정 방법의 타당성을 제시하고, 4장에서 결론을 맺는다.

II. Pilot 채널을 이용한 기지국 EIRP 측정 이론

2-1 EIRP 정의

출력 전력이 P_t 인 송신 안테나에서 거리 R 만큼 떨어진 위치에 있는 수신기에서의 전력 밀도 S 는 송신 안테나가 등방성 안테나에 대한 상대 이득 G_t 를 가지고 있다고 하면 식 (1)과 같이 주어진다^[4].

$$S = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} = \frac{EIRP}{4\pi R^2} \quad [W/m^2] \quad (1)$$

이와 같이 특정 방향에 위치한 수신기에서의 전력 밀도는 안테나 입력 전력과 이득의 곱인 $P_t G_t$ 에 의해 결정되며, 이 값을 유효 등방성 복사 전력(EIRP)이라 한다. 예를 들어 이득이 10 dBi인 안테나를 사용하는 1 W(30 dBm)의 송신기를 가정하면, EIRP는 10 W(40 dBm)이 된다. 따라서 동일한 공중선 전력이라 할지라도 그림 1에서처럼 안테나 이득에 따라 빔 특성이 달라진다. 그림의 두 안테나는 공중선 전력이 1 W로 동일하지만 안테나 이득의 차이로 EIRP는 20배 차이가 남을 알 수 있다.

식 (1)에 수신 안테나의 이득(G_r)을 고려하면 식 (2)와 같은 Friis의 전송 공식을 유도할 수 있다.

$$P_r = EIRP \cdot G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad [W] \quad (2)$$

식 (2)로부터 수신 전력을 측정하고, 주파수와 거리와 수신 안테나 이득을 알고 있다면 거꾸로 EIRP를 환산할 수 있음을 알 수 있다. 다음으로, EIRP와 전기장 세기(E), 자기장 세기(H), 전력 밀도의 관계식은 원역장(far field)이라고 가정할 경우 식 (3)~(5)와 같이 주어진다.

$$E = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{\eta \cdot EIRP}{2\pi}} = \frac{\sqrt{60 \cdot EIRP}}{R} \quad [V/m] \quad (3)$$

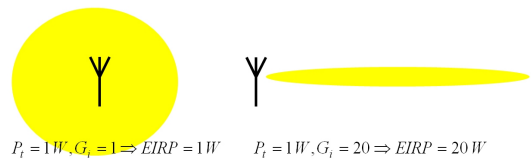


그림 1. EIRP에 따른 빔 특성
Fig. 1. Beam characteristics with respect to EIRP.

$$\frac{E}{H} = \eta \text{ [}\Omega\text{]} \quad (4)$$

$$S = \frac{1}{2}EH = \frac{E^2}{2\eta} = \frac{\eta H^2}{2} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (5)$$

여기서, 전기장과 자기장은 전파의 진행 방향에 수직하게 되고, η 는 자유 공간의 고유 임피던스이다.

EIRP 측정은 반드시 반사파가 영향을 주지 않는 자유 공간 혹은 무반사실에서 이론식을 토대로 가장 최단거리에서 측정되어야 한다. 즉, 반드시 반사파가 없는 조건에서 측정이 이루어져야 EIRP를 정확하게 구할 수 있는 것이다. 반사파가 없는 조건이란 무반사실(full anechoic chamber)이나 바닥면에 해당 주파수 대역에서 흡수율이 20 dB 이상인 흡수체를 충분한 면적에 설치한 오픈 사이트 혹은 반사파가 무시될 수 있는 2개의 고층 건물 간에서 측정이 가능하다.

2-2 WCDMA 시스템의 CPICH 채널

국내 이동 통신 방식은 아날로그 방식이 종료되었고, 2세대 CDMA 방식을 거쳐 3세대 WCDMA 방식이 정착되는 시기이므로 EIRP 측정을 국내 이동 통신 환경에 적용하기 위해서는 WCDMA 기지국의 EIRP를 측정할 수 있어야 한다. 먼저 WCDMA 방식의 기지국의 순방향 링크(기지국 → 단말기)의 채널 구조를 살펴보면 그림 2와 같이 여러 개의 물리 채널로 구성되는 것을 알 수 있다^[5].

이러한 채널 중에서 CPICH(Common Pilot Channel)은 pilot 채널로서 암호화는 되어 있으나, 변조되어 있지 않은 채널로 각 셀마다 오직 하나만 존재한다. 단말기는 기지국과 연결되어 있는 동안 셀 선택을 유지하기 위해 CPICH 채널의 출력 레벨을 지속적으로 예측한다. CPICH 채널은 어떤 특정한 정보를 가지고 있지 않으며, 30 kbps의 고정된 bit rate를 갖는 미리 정의된 비트 시퀀스를 따르게 된다. 이러한 CPICH 채널은 단말기의 경우 핸드오버(handover) 등에서 사용되지만, 항상 안정된 신호를 내보내고, 일정 비율의 전력을 가지고 있기 때문에 EIRP 측정에서 활용될 수 있다. CPICH 채널과 셀의 최대 출력의 비는 factor r 로 정의된다. r 의 범위는 셀 최대 출력의 1%에서 30%까지 변화가 가능하며, 대부분

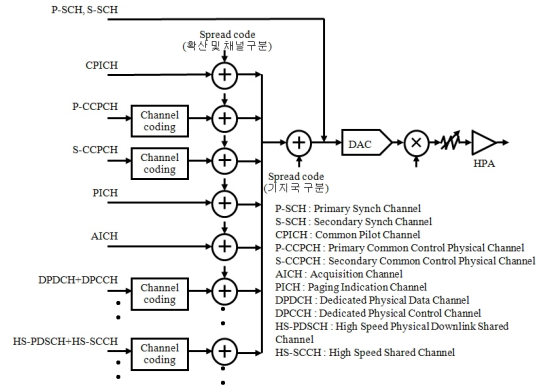


그림 2. WCDMA의 순방향 링크의 채널 구성
Fig. 2. WCDMA forward link channel configurations.

의 마이크로 셀은 10~15%, 피코셀의 경우는 1~5% 정도로 사업자가 망 설치 시 조정하게 된다. 이제 특정 기지국의 CPICH 채널의 전력(P_{CPICH})을 측정할 수 있다면 해당 기지국의 EIRP $P_i G_i$ 는 식 (6)과 같이 계산할 수 있다^[6].

$$EIRP = P_i G_i = P_{CPICH} \cdot \frac{1}{r} \cdot G_i \quad (6)$$

III. Pilot 채널을 이용한 기지국 EIRP 측정

3-1 실제 운용 중인 기지국 EIRP 측정

앞에서 설명하였듯이 WCDMA 기지국의 CPICH 채널을 측정 후 식 (2)와 식 (6)을 이용하여 기지국의 EIRP 값을 예측할 수 있는지 측정을 통해 검증하였다. 식 (2)가 성립하려면 다음과 같은 조건이 성립되어야 한다.

- 송신 안테나와 수신 안테나는 방해물이 없는 자유 공간 상에 놓여 있어야 하며, 다중 경로(multipath) 성분이 없어야 한다.
- 안테나의 주 빔 방향이 서로 일치하여야 하며, 편파 특성도 동일해야 한다.

이러한 조건이 만족하는 기지국으로 국민대학교 공학관에 위치한 SK Telecom의 기지국을 대상으로 하였다. 해당 기지국은 α -섹터만 존재하는 기지국으로 3-way 분배기에 의해 3개의 안테나(A, B, C)로 분배되어 입력된다. 안테나는 ㈜에이스테크놀로지

의 고이득 기지국 안테나로 이득은 17.5 dBi, 수평 방향으로 3 dB 빔 폭은 65°, 수직 방향으로 3 dB 빔 폭은 7°를 갖는다. 이 안테나는 수직 방향으로 -2°의 틸트(tilt) 각을 가지고 있으며, 기계적으로 -5°의 틸트각을 갖는다. 기지국 출력에서부터 안테나까지의 길이는 안테나 A의 경우 75.3 m, 안테나 B의 경우 65 m, 안테나 C의 경우 88 m이다. 주파수는 6개의 FA가 운용되고 있으며, 각 FA당 CPICH 채널의 설정은 2 W(33 dBm)으로, 최대 출력은 FA당 15 W로 설정되어 있는 것으로 SK Telecom으로부터 확인하였다. 측정 위치 및 기지국 안테나의 위치는 그림 3과 같다. 대상 건물의 구조는 ‘ㄱ’자 모양으로 되어 있고, 기지국 안테나가 모서리에 위치해 있어 안테나 3개 중 안테나 A만이 다른 모서리에서 바라볼 경우 가시선 환경이 된다. 따라서 안테나 A에 대해 EIRP 측정 조건인 가시선 환경을 만족하므로 본 논문에서 제시한 방법을 적용할 수 있을 것으로 판단되었다. 그림 3(a)는 측정 지점인 국민대학교 공학과의 위에서 본 평면도를 보여주고 있고, 그림 3(b)는 측정지점에서 바라 본 안테나 A의 전경이다.

측정 위치는 그림 3(a)와 같이 안테나에 대해서 방위각 0도, 직선 거리 27.62 m인 지점에서 기지국 안테나에 최대한 맞추어 5분간 연속으로 측정하였다. 측정 안테나는 R&S사의 HE300A를 사용하였고, 측정 대역에서의 이득은 4.14 dBi(안테나 Factor=32.1

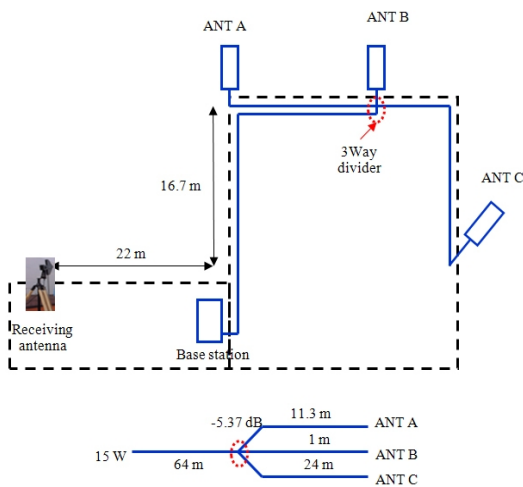


그림 3. EIRP 측정 위치도(서울시 국민대학교 내)
Fig. 3. EIRP measurement scenario(Kookmin University, Seoul, Korea).

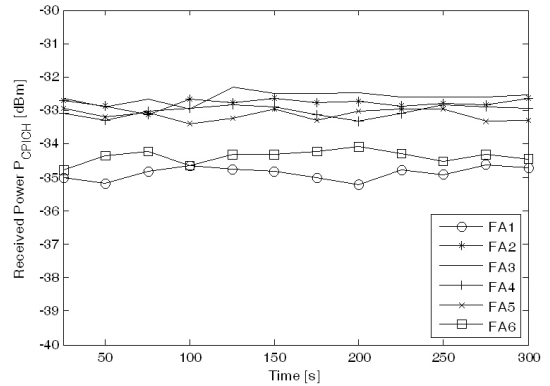


그림 4. 시간에 따른 FA별 pilot 채널 전력의 변화
Fig. 4. Pilot channel power variations with respect to time.

dB(1/m))이다. 측정 안테나는 옥상 바닥의 영향을 없애기 위해 2 m 높이의 삼각대를 이용하여 측정하였다. 측정장비는 Anritsu사의 WCDMA 측정 옵션을 가지고 있는 MS2712E 스펙트럼 분석기를 사용하여 CPICH 출력을 측정하였다. 이 장비는 자동 PN 코드 검색 기능을 가지고 있어 측정 대상 기지국을 쉽게 확인할 수 있다. 자체 프로그래밍한 측정 소프트웨어를 이용하여 5분간 연속적인 데이터를 기록할 수 있도록 하고, 이 결과로부터 기지국의 출력 전력을 예측하였다. 그림 4는 6개 FA에 대해 5분간의 CPICH 채널의 출력을 나타낸 것이다. 가시선 환경이 제공되어 있어 5분 동안의 최대값과 최소값의 차이가 FA별로 최대 0.66 dB 편차 내에서 일정한 값을 출력하고 있음을 알 수 있다. 이로부터 CPICH 채널은 가입자 트래픽에 상관없이 일정함을 확인할 수 있었다. 그림 4에서 FA1과 FA6의 경우는 최근 데이터 트래픽의 증가에 따라 기지국 증설로 추가된 FA로 2 dB 정도 낮게 setting된 것으로 파악되어 EIRP 계산 시 FA2~FA5의 4개의 FA만을 사용하였다.

이제, 송신 안테나 정보를 이용하여 계산한 안테나 A의 EIRP 이론값은 표 1과 같이 FA 당 34.65 W (~45.39 dBm)가 계산된다. 이 때 케이블 손실은 LS 산전의 급전용 동축 케이블의 케이블 규격(HFC-FR-22D)을 참조하여 100 m 당 6.5 dB의 손실을 고려하였고, 케이블과 커넥터 연결 시마다 0.15 dB의 삽입 손실이 발생한다고 가정하였다^[7].

다음으로 4개의 FA 각각에 대해 측정된 pilot 채널값으로부터 식 (6)을 이용하여 최대 출력을 계산

표 1. FA별 pilot 채널의 EIRP 추정값

Table 1. EIRP estimated values of pilot channel with respect to FA.

		FA2	FA3	FA4	FA5
추정값	최소값(W)	20.53	21.40	19.70	19.43
	최대값(W)	23.36	24.91	22.10	21.60
	평균값(W)	21.63 W(43.34 dBm)			
이론값	이론값(W)	이론값=출력 전력-cable loss+ 안테나 이득 =15 W(41.76 dBm)-(4.89 dB+ 5.37 dB+0.6 dB)+14.5 dBi			

한 후 식 (2)를 이용하여 자유 공간의 손실을 보상하여 EIRP값을 추정하였다. 추정된 EIRP값의 최소값은 19.43 W(~42.88 dBm), 최대값은 24.91 W(~43.96 dBm)가 추정되었으며, 4개 FA의 평균값은 21.63 W(~43.34 dBm)로 계산되었다. 이 평균값과 이론적인 EIRP 값의 차이는 -2 dB 정도이므로 이로부터 WCDMA 기지국의 EIRP는 pilot 채널을 통해서 예측할 수 있음을 알 수 있다.

3-2 EIRP 측정 타당성 확인

앞에서 측정한 실제 운용 중인 WCDMA 기지국 안테나의 EIRP를 pilot 채널을 이용하여 추정할 경우 -2 dB 정도 작은 값이 측정되었다. 이러한 차이가 전송선 및 3-way 전력 분배기 등의 삽입 손실의 오차 때문인지, 전력 증폭기의 출력의 차이 때문인지 확인하여야 하나, 실제 운용 중인 기지국에 대해 이를 확인하기는 어렵다. 따라서, 이러한 오차의 원인을 파악하기 위하여 다음과 같은 실험 환경을 구축하여 검증 실험을 추가로 수행하였다. 그림 5와 같이 국민대학교 내에 위치한 두 개의 마주보는 5층 건물 사이에 송신 안테나와 수신 안테나를 설치하였다. 송신 안테나는 (주)에이스테크놀로지사에서 제작한 15.0 dBi의 최대 이득을 갖는 기지국 안테나(XDPI-15-65B-0T)를 사용하였으며, CDMA 신호원은 Agilent사의 E4437B ESG 신호발생기에서 2,140 MHz의 중심 주파수에서 WCDMA test mode 1번 신호를 발생하였다. 이 신호는 최종 출력의 -10 dB의 크기로 pilot 채널을 송신한다. 신호 발생기의 출력 레벨과 자체 제작된 고출력 증폭기를 이용하여 1 W 출력이 안테

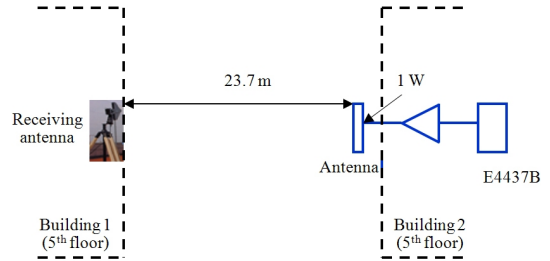


그림 5. 기지국 EIRP 측정 타당성 확인을 위한 실험 장치

Fig. 5. Measurement setup for validation of the base station EIRP measurement.

나 입력 단자에 인가되도록 power meter를 이용하여 교정하였다.

2-1절에서 사용한 방법과 동일하게 측정된 결과와 Friis 전송 공식에 의해 추정된 EIRP 추정값을 실제 EIRP값 비교한 결과, 2-1절의 실제 기지국 측정과 유사하게 -2 dB 작은 값이 측정되었다. 이를 통해 보고된 안테나 정보로부터 유추된 전송 선로 손실, 3-way 전력 분배기의 손실, 전력 증폭기의 출력 등이 어느 정도 타당하다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 현재까지의 모든 실험은 수신 안테나가 수직 편파를 받도록 수직으로 놓여진 상태였으나, 송신 안테나는 수직 방향으로 -45° 방향으로 기울어진 편파특성을 가지고 있다는 것을 실험 후에 안테나 제작사로부터 확인할 수 있었다. 이러한 편파 부정합에 의한 영향이 최대 -3 dB까지 발생할 수 있으므로 본 논문에서 제시한 방법에서 편파 부정합 효과를 보상하면 EIRP 값을 최대 1 dB 이내의 편차로 예측할 수 있음을 알 수 있었다.

물론, 본 연구에서는 특정 위치의 기지국에 대한 측정 결과만이 기술되어 있으며, 안테나 편파 부정합을 고려하지 않은 측정을 수행하였기 때문에 이 결과를 일반화하기는 어려울 것으로 사료된다. 하지만, 가시선 환경에서 WCDMA 기지국의 EIRP를 pilot 채널을 기반으로 측정할 수 있다는 가능성을 확인하였다는 데 그 의미가 있다고 하겠다. 향후에 측정 장치를 정밀한 측정 차량 환경으로 바꾸고, 다양한 기지국 설치 환경에서의 측정을 통해 결과를 도출한다면 국내에서도 EIRP 기반의 기지국 측정이 가능할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 WCDMA의 pilot 채널이 트래픽에 상관없이 일정한 출력이 발생하는 것을 이용하여 기지국의 EIRP 값을 측정할 수 있음을 확인하였다. 특히, 제시한 측정법을 검증하기 위하여 실제 WCDMA 기지국 환경에서 pilot 채널을 측정하면 -2 dB 이내의 편차로 EIRP 값의 측정이 가능함을 확인하였다. -2 dB 편차의 주요 원인은 편파 부정합에 의한 차이임이 확인되어, 편파 부정합을 고려하면 최대 1 dB의 편차 내에서 기지국의 EIRP 값을 측정할 수 있다. 따라서 본 연구 결과를 바탕으로 다양한 환경에서의 EIRP 측정을 수행하는 연구를 추가로 진행한다면, 실제 기지국 검사에 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 조인귀, 윤재훈, "무선기기의 ERP/EIRP 기술 및

측정기술 동향", 한국전자통신연구원, 2008년 6월.

[2] 한국전파진흥협회, 전기통신사업자용 특정소출력증계기 기술기준 분석 보고서, 2010년 1월.

[3] 장병준, 무선국 검사 선진화방안 연구 최종보고서, 2011년 1월.

[4] ITU-T K.52 Document, Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields, 2004.

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

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

[7] LS 전선, 공사지명원 - FM, CDMA, PCS, 무선통신시스템, www.lscable.co.kr

장 병 준



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)
 1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소
 2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원
 2005년 9월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수
 [주 관심분야] 마이크로파 회로, 무선 통신 시스템, RFID/USN, 에너지-IT 융합

문 성 원



1995년 2월: 광운대학교 전기공학과 (공학사)
 1994년 10월~1999년 10월: Hewlett Packard 근무
 1999년 11월~2007년 9월: 한국에질런트 테크놀로지스 근무
 2008년 1월~현재: (주)시스다인 대표이사
 [주 관심분야] EMF 측정 분야, Signal Monitoring, RF Sensor Network, 전파 신호 감시 및 방탐

임 재 봉



1974년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)

1976년: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)

1987년: 서울대학교 전기공학과 (공학박사)

1975년~1981년: 충남대학교 전자

공학과 조교수

1988년: 미국 텍사스 주립대학교 전자공학부 조교수

1990년: 한국통신학회 이사

1990년~2005년: SKT, 흥창, 삼성전자, Netel, A-telsys, SK-Telesys 기술고문

1996년: 제21회 산학협동대상 수상

1981년~현재: 국민대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] GPS 시스템 Application, 셀룰라/IMT-200용 광중계기 설계