

## 무선통신 안테나 개발 및 측정 기술

한국전자통신연구원 윤재훈, 최재익, 채종석

차 례

- I. 무선통신 개발 기술 동향
- II. 안테나 개발 기술 동향
- III. 안테나 측정 기술 동향
- IV. 추후 안테나 개발 기술 방향

### I. 무선통신 개발 기술 동향

년대	기술 분류	기술 발전 방향
1990 년대	무선통신 기술	- 아날로그에서 디지털 - 유선전화에서 무선전화 - 군사위성에서 통신위성 - 무선방송에서 유선방송
	안테나 기술	- 제작기술에서 해석기술 - 지속적인 성능위주 개발
2000 년대	무선통신 기술	- 협대역에서 광대역디지털 - 원거리통신에서 근거리통신 - 고정위성에서 이동위성통신 - 아날로그방송에서 디지털방송
	안테나 기술	- 해석기술에서 자동설계기술 - 성능에서 기능/적응화기술

표 1. 2000년대의 국내 무선통신/안테나 기술

안테나 기술의 동향을 이해하기 위해서는 국내의 무선통신기술의 동향을 우선적으로 살펴볼 필요가 있다. 안테나 기술은 무선통신 기술과는 실과 바늘의 관계를 유지하며 발전해가고 있다. 우선 1990년대(1990~1999년)의 무선통신 기술을 국내를 중심으로

로 살펴보면, 셀룰러, 개인휴대통신인 코드다중분할 접속(CDMA: Code Division Multiple Access) 통신방식의 상용화로 아날로그에서 디지털 기술 시대를 열어 놓았다고 볼 수가 있다. 이러한 상용화 기술은 1999년 말에 국내에서만 1천8백5십만 대의 단말기 가입자 수를 유지시킨 것으로 볼 때, 유선전화에서 무선전화시대로 접어 들게 한 것임에 틀림 없다. 위성통신 분야에서는 무궁화 위성 등처럼 군사 위성보다는 통신위성의 개발에 주력하였고, 케이블 TV처럼 방송기술은 무선방송 서비스를 포함한 유선 방송 서비스가 시작되었다. 지난 100여년의 무선통신의 역사 중에서 1990년대는 무선통신의 대폭적인 발전을 예고한 해라고 해도 과언이 아닌 듯 싶다. 무선통신은 군이나 경찰에서 사용하는 전유물로 인식되었던 것을 세계인으로부터 주목받는 나라로 만든 해였기 때문이다.

2000년대(2000~2010년)에는 IMT-2000/ 광대역코드다중분할접속(W-CDMA: Wideband-CDMA)통신, 4세대 이동통신처럼 광대역 디지털 이동통신의 개발이 이루어지고 있으며, 이에 대한 실용 시스템 개발 및 시스템 표준화가 진행 중에 있고

기술 분야	안테나 종류
이동 통신	- 기지국안테나: 방향성판넬안테나(directional panel antenna), 듀얼편파다이버시티안테나(dual polarization diversity antenna), 다이폴배열안테나(dipole array antenna), 듀얼편파배열안테나(dual polarized array antenna), 패치배열안테나(patch array antenna), 집적능동배열안테나(integrated active array antenna) 등 - 단말기안테나: * 외장형안테나: 슬리브안테나(sleeve antenna), 헬리컬안테나(helical antenna), 모노폴안테나(monopole antenna), 휘판안테나(whip antenna), 리트랙터블안테나(retractable antenna) 등. * 내장형안테나: 역F안테나(PIFA antenna), 듀얼L형안테나(dual-L type antenna), 공동기형안테나(cavity back type antenna), 캡형안테나(end cap antenna), 프랙탈안테나(fractal antenna), PBG 안테나, 유전체칩안테나(ceramic chip dielectric antenna), 차폐안테나(shield antenna), EID 안테나 등
근거리통신	인쇄형배열안테나(printed array antenna), 도파관안테나(waveguide antenna), 누설파안테나(leaky wave antenna), TSA 안테나, 준야기안테나(quasi Yagi antenna), 집적패치안테나(integrated patch antenna), 듀얼급전안테나(dual feed antenna), 듀플렉스안테나(duplex antenna), 재반사배열안테나(retrodirective array antenna), 보타이안테나(Bow-tie antenna), 야기슬롯안테나(Yagi slot antenna), LPDA 등
위성 통신	- 위성통신안테나: 광대역 적응형 위상배열 안테나(Broadband adaptive phase array antenna), DBF (Digital Beam Forming) 안테나, 다중대역 다중빔 안테나(multiband multibeam antenna), 온 웨이퍼(On-Wafer) 안테나, flat top antenna 등
방송/고온초전도체	- 방송용안테나: TRASAR 안테나, 다이폴 안테나(dipole antenna), 다이폴 패널 안테나(dipole panel antenna), 슬롯 배열 안테나(slot array antenna), 헬리컬 안테나(helical antenna), 쌍루프 안테나(dipole loop antenna), 베트윙(batwing) 안테나, HDTC 안테나 - 고온초전도안테나: 사각, 디스크 및 섭동준 사각/원판형 패치 배열 초전도체 수동 안테나, 조셉슨 안테나, 믹서초전도체 안테나 등

표 2. 기술 분야별 안테나 종류

2000년대에는 일부 시스템이 실용 서비스화 될 것으로 보인다.

원거리 통신에 의존하고 있는 이동통신 서비스 기술과 함께 무선 근거리 통신망 (LAN: Local Area Network), 초광대역 통신 (UWB: Ultra Wideband), 개인 근거리 통신망 (PAN: Personal Area Network) 등처럼 근거리 통신 분야가 매우 급속하게 발전되고 있다. 고속/대용량 통신이 가능하도록 하고, 가전기기의 무선화를 위해서는 원거리 통신보다는 근거리 통신 기술을 통한 구현 가능성이 높기 때문에 많은 나라에서 이 분야에 대한 개발이 집중되고 있다. 또한 디지털 무선 방송 서비스에 따른 부가적인 방송 서비스 기술이

대량으로 개발될 것으로 보인다. 이처럼 이동통신/근거리통신/ 위성통신 /방송기술 등 전반에 걸친 무선통신 개발이 매우 활발하게 전개되고 있다.

무선통신 분야는 반도체 혹은 컴퓨터관련 IT(Information Technology) 분야처럼 화산이 폭발하는 듯한 기술 발전은 기대하기 어렵다. 그러나 서서히 달구어가는 바위처럼 지속적인 개발 노력과 시간을 요구하며 발전해 갈 것으로 보인다. 무선 분야는 다른 분야와는 달리 해결해야 할 기술적인 과제와 다양성으로 인해 다양한 분야에서 꾸준한 개발 노력과 시간이 필요로 한다. 어느 특정인에 의해 어느날 갑자기 찾아오는 기술이 아니라 학계와 민간 그리고 정부의 꾸준한 노력의 결실들이 모여 시장성이 확보

되어 가는 기술이다.

안테나 기술은 매우 많은 노하우 기술을 요구하고 있다. 게다가 인체 관련 단말기 전자파 적합성 규제와 같이 안테나 기술은 반드시 전파 환경에 적응해야 하는 기술 과제를 안고 개발되어야 할 것이다. 또한 다양한 무선 서비스 시장의 증가로 인해 안테나 기술은 안테나로서의 기능 이외의 RF 회로 기능을 갖춘 기능형 안테나 혹은 무선 환경에 능동적으로 대처하는 적응형 안테나의 개발이 활성화 될 것으로 보인다.

MM(Moment Method), FEM(Finite Element Method), FDTD(Finite Difference Time Domain Method), BEM(Boundary Element Method), CGM(Conjugate Gradient Method) 등 수치해석의 발달에 힘입어, 1990년대에는 안테나 이득, 전력효율 개선, PCB(Printed Circuit Board) 일체형 안테나 구조 개발처럼 구조 개선 및 성능 위주의 개발이 주류를 이루었으나, 2000년대에는 체계적인 자동 설계 기술 개발을 통해 전파 환경에 적응하고 인체의 영향을 줄일 수 있는 안테나 기술 개발, 능동 회로와 일체형을 이루는 집적 안테나 개발, 초광대역 안테나 개발, 소형 저주파대역 통신 안테나 개발, 그리고 재반사형 안테나와 같은 적응형 안테나 개발, 듀플렉서 일체형 혹은 발진기 일체형과 같은 기능형 안테나 개발 등 다양한 형태의 안테나 개발이 있을 것으로 사료된다.

그러나 이러한 안테나 개발을 위해 선행적으로 해결해야 할 기술적 과제가 있다. 첫 번째로 컴퓨터가 자동으로 안테나를 설계하기 위한 고속 계산 알고리즘의 개발이 선행되어야 하며, 기능화 집적화 구현을 위해 능동 회로와 전자기 해석이 동시에 가능한 소프트웨어 기술의 개발이 반드시 필요하다. 이러한 기술은 현재 많은 학자들이 노력하고 있어 2000년대에 개발이 이루어질 것으로 보인다. 소프트웨어 기술은 개발에 따른 산업 전반에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 국내에서도 보다 체계적인 연구 개발이 필요

할 것으로 보인다.

두번째로 안테나 성능 시험을 정확하고 합리적으로 평가할 수 있는 교정 및 측정 기술이 함께 발전해 나가야 한다. 안테나는 기능화/적용화 기술로 발전해 나가기 때문에 안테나의 성능을 정확히 측정할 수 있는 새로운 측정 기술이 개발되어야 한다. 안테나 교정 기술은 안테나 자체에 대한 성능 평가보다는 무선 시스템 전반적인 평가 기술을 포함해야만 할 것이다. 즉 무선통신 단말기에 장착되는 안테나는 그 자체의 성능만 별도로 평가하지 않고, 단말기의 성능도 동시에 포함하여 평가되어야 할 것이다. 게다가 대부분의 안테나 평가 방식은 3차원의 1점 측정 방식인 교정/측정 기술에 기반을 이루고 있기 때문에 경제성이 결여되고, 측정 시간이 많이 소요되며, 안테나레인지, 야외시험장, 전자파무향실처럼 대규모의 시설이 필요로 하는 문제점을 지니고 있다 [1~4]. 보다 경제성을 지닌 안테나 측정 및 교정 시설에 대한 개발이 이루어져야 할 것이다. 다음 장에서는 무선통신 분야별 안테나 기술의 발전 동향을 살펴볼 것이다.

## II. 안테나 개발 기술 동향

무선통신 분야별로 적용되고 있는 안테나의 종류를 표2에 나타내었다. 현재 개발되고 있는 안테나의 종류가 매우 많기 때문에 그 일부분만 표기하였다. 각 무선통신 분야별 안테나 기술의 발전 방향을 살펴보면 아래와 같다.

셀룰러, 개인휴대통신용 이동통신기지국 안테나로는 방향성판넬 안테나 (directional panel antenna), 다이버시티 안테나(diversity antenna)가 많이 사용되어 왔다. IMT-2000/W-CDMA통신, 4세대 이동통신 상용화처럼 고속 데이터 서비스가 보편화되고, 비의도적인 간섭 신호의 방출로 인해 주변 전자파 환경은 날로 복잡화되어 갈 것이다. 이러한 환경에 적응할 수 있는 빔추적 안테나에 이어, 기능형 안테나, 적응형 안테나 시스

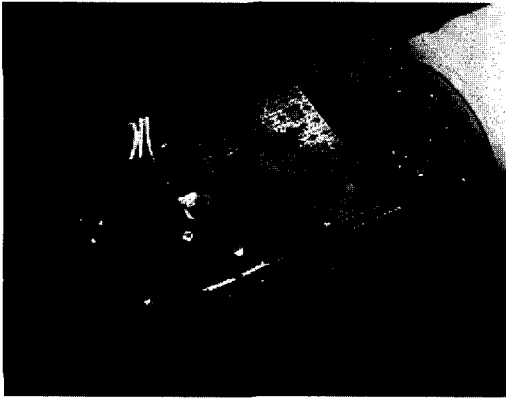


그림 1. 단말기용 프랙탈안테나 (fractal antenna system, inc.자료)

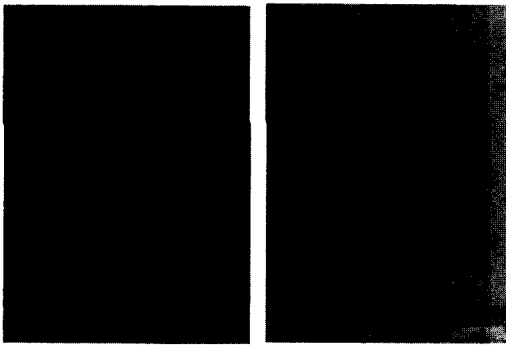


그림 2. 초광대역안테나

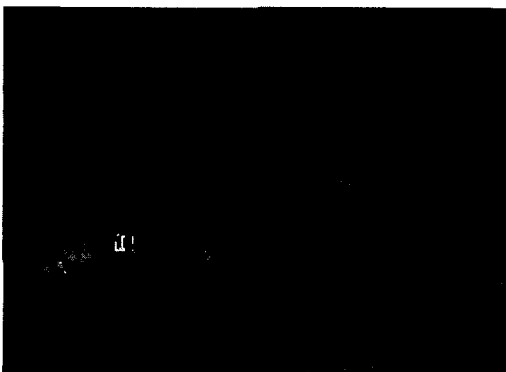


그림 3. 위성방송 수신안테나

템 기술이 활발하게 개발될 것으로 보인다. 그러나 이동통신 기지국 안테나의 실수요자인 이동통신 서비스 업체들로서는 기지국 안테나 시스템의 경제성을 고려할 수 밖에 없다. 따라서 성능 개선 모델의 개발이 곧바로 상용으로 이어지기는 더욱더 어려운 상태이다. 시설이 설치되지 않을 때보다도 기존 시설이 설치되어 있는 경우, 기존 시설을 바꾸기는 더욱더 어려운 것이다. 그러나 외국의 이동통신 서비스의 수요가 급증하고 있고 보다 새로운 고속 광대역의 무선 서비스를 요구하고 있어 2000 년대에도 지속적으로 기지국 안테나 시스템에 대한 연구 개발이 이루어질 것으로 보인다.

이동통신용 단말기 안테나는 모노폴 안테나와 헬리컬안테나가 혼용으로 여전히 사용되고 있고, 이들이 단말기 안테나 국제 시장을 대다수 점유하고 있다. 그러나 근래에는 듀얼 공진 안테나처럼 셀룰러와 개인휴대 이동통신 및 GPS수신 겸용안테나의 사용이 급증하고 있는 추세이다. 이러한 안테나들은 현재 사용 주파수 대역에서 복사효율 및 안테나 이득이 많이 개선되고 있다. 그러나 아직도 단말기 안테나로부터 여기되는 전자파가 인체에 영향을 주지 않는다고 볼 수가 없어, 미래의 세계 단말기 시장을 확보하기 위해서는 반드시 전자파 영향을 감소시킬 수 있는 대책 기술 개발이 필요한 것으로 보인다. 대안적인 방법의 하나가 내장형 안테나 개발이다. 내장형 안테나들은 전자파비흡수율을 떨어뜨릴 수 있지만, 현재 초기 제안 상태에 있으며, IMT-2000, 4세대 이동통신 단말기 안테나 용으로 사용하기에는 주파수 대역이 좁고, 안테나 복사 효율이 떨어지는 기술적인 문제를 여전히 가지고 있는 실정으로 광대역, 복사효율 개선 기술 개발이 절실히 필요하다고 볼 수가 있다. 이동통신 단말기 안테나는 다양한 형태의 안테나 개발이 이루어지고 있는 데, 이들 중에서 프랙탈 안테나[5]를 그림1에 나타내었다. 이러한 안테나는 전기적인 길이가 작은 실장 영역에서 구현하기 위한 기술로 전기적인 공진 길이를 공간적으로 배치시키는 기

술이다. 표2에서처럼 이 외에도 전자파흡수율을 줄이기 위해 차폐안테나, 전파흡수체안테나, 유전체칩 안테나 등에 대한 개발이 이루어지고 있다 [6~9].

근거리 무선 통신 분야에서는 무선LAN 상용화 기술, UWB 통신 기술, ITS통신 기술, PAN 등의 개발이 활성화 되고 있다. 특히 이러한 분야에서는 안테나 기술 개발이 매우 활발하게 추진될 것으로 보인다 [10~16]. 밀리미터파 통신용 안테나 분야에서는 전통적으로 사용하는 혼안테나, 렌즈안테나가 사용되다가 근래에 들어, 전력증폭기 또는 발진기와 안테나 엘리먼트가 일체가 된 능동집적 안테나가 활발히 연구되고 있다. 이러한 안테나에 있어서 Beam steering 방법을 특히 저렴하게 실현할 수 있도록 MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuit)와 결합된 기술이 개발되고 있다. 또한 배열안테나를 구성하는 안테나 엘리먼트가 비 선형적이어도 방사 패턴이 유지되는 재반사배열안테나 개발이 ITS(Intelligent Traffical System) 분야에서 진행되고 있다. 즉 안테나의 RF 기능화 적응화가 진행되고 있는 것이다. 이러한 분야에서 많은 연구 결과들이 나오고는 있지만, 멀티서비스의 기본 요구인 필연적 다중대역을 만족시켜야 하나 능동소자의 협대역 특성이 한계를 여전히 갖고 있고, 안테나에 곧바로 연결되는 듀플렉서의 분리도 성능 규격(> 50dB)를 만족하기 위한 기술 구현이 현 단계에서는 어려움이 있으며, 전자기적 현상 해석과 능동회로 해석이 동시에 가능한 소프트웨어의 미개발로 인해 여전히 개발되어야 할 숙제가 많은 분야이다. 2000년대에는 이러한 문제점을 해결하기 위한 노력들이 있을 것으로 보인다. 특히 이러한 분야의 개발은 국내에서 많은 관심을 가져야 할 것으로 보인다. 개발에 따른 기술적인 파급효과가 매우 높은 기술이다. 그림2에서는 UWB 안테나를 나타내고 있는데, 근래에 미국 Time-Domain사가 개발한 안테나 크기를 명함 크기로 줄여 UWB통신에 적용이 가능함을 보여주었으며[17], 최근 한국전자통신 연구원에서는 바늘의 절

반 크기에 해당하는  $2.5\text{cm} * 0.2\text{cm} * 0.2\text{cm}$ 로 줄여, 2.8 MHz ~ 7.5 GHz까지 안테나 효율을 90% 이상 확보하고, 이득편차를  $\pm 1\text{dB}$ , S11파라미터를  $-10\text{dB}$  이하로 유지시켜 UWB시스템의 소형화에 가장 큰 걸림돌을 제거할 수 있을 것으로 사료된다(그림2의 그림 참조).

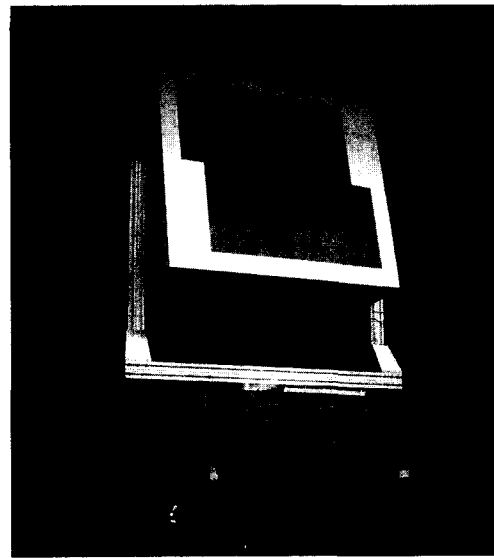


그림 4. 선박탑재 위성통신 능동형 안테나

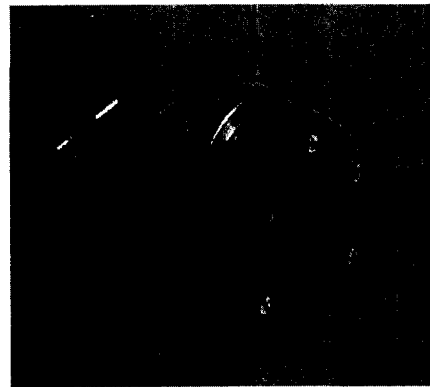


그림 5. 구형빔형성 배열안테나(flat top antenna)

위성통신 분야에서 광대역 적응형 안테나는 독일의 Univ. of arlsruhe, 미국의 Boeing사, NASA에서 활발하게 연구하고 있고, DBF 안테나는 일본의 Japan Defence Agency, 영국의 Roke Manor Research Lab에서 개발하고 있으며, 다중대역 다중빔 안테나는 미국 COMSAT Lab 과 Rome Lab에서 개발하고 있다. 또한 온웨이퍼 (On-Wafer) 안테나는 프랑스의 Thomson-CSF에서 기술 연구 중에 있는 등 위성통신 송수신안테나는 선진국을 중심으로 개발되었다. 한국전자통신 연구원에서도 그림 3처럼 반기계식 위성방송 수신안테나, 그림4의 전전자식 선박탑재 위성통신 능동형 송수신안테나가 개발되었으며, 빔제어를 위한 위성본체 탑재용 배열안테나가 개발 중에 있다. 그림5는 안테나 패턴을 기존의 정현파 형태에서 구형으로 생성하기 위해 제작된 구형빔형성 배열안테나(flat top antenna)[18]로서 빔스캐닝 손실 최소화, 동일빔 내의 성능 저하 최소화 할 수가 있다. 또한 인접 빔간의 간섭 억제 효과, 주파수 간섭 최소화하기 위해 제작된 것이다. 위성 통신 수신용 안테나로 활용이 가능하다. 국내에서도 위성통신 분야의 새로운 안테나 제작의 가능성을 열어놓고 있는 상태이다.

방송용 안테나의 경우, 일본의 안테나기켄사에서 쌍루프 안테나와 같은 방사패턴과 이득이 얻어지며 발룬(balun)이 없이 광대역 특성을 갖도록 반사판이 있는 변형 배트윙(batwing)안테나가 연구가 진행되고 있고, 미국의 Harris사에서 뉴욕에 원래 있던 6개의 배트윙 안테나를 3개의 배트윙 안테나(TAB-3M)로 줄이고 그 위에 Harris Wavestar(TWSC-30)을 설치, 디지털 방송과 기존의 NTSC 방송을 동시에 서비스중이며, Dielectric 사에서는 NTSC 안테나 위에 HDTC 안테나를 설치한 적층형 안테나를 이용하여 디지털 방송의 가시영역을 최대로 한 구조가 연구 중에 있다. 디지털 방송에서 특히 방송 사각지역을 없애기 위해 소형 중계기의 설치가 필요하다. 이러한 기술을 지원하기

위해서는 송수신 분리도가 높은 안테나의 개발이 관건일 것이다. 동일 주파수대역의 신호를 증폭시켜 복사시켜야 하므로 매우 어려운 기술적인 과제를 안고 있는 것이다.

고온초전도 수동 배열 안테나는 미국의 Hanscom AFB, General Electric Corp. Univ. Houston, MIT 링컨Lab, NASA Lewis 연구센터, Case West Reserve대학, 유럽의 버밍햄대학, ICI Superconductor사, 일본의 Yamagata Univ. (山形大學), NEC 등에서 많은 연구가 진행되고 있으며, 패치 배열 안테나의 경우 급전방법에 있어 다양한 기술이 개발되고 있다. 이러한 안테나는 시스템 감도, 공간적/스펙트럼 선택도, 다중경로 전파 전파능 향상을 위한 빔-형성망(BFN)에 활용이 가능하나 현재 상용성을 갖추기 위한 저가형 안테나 기술 개발이 시급히 이루어져야 할 것으로 보인다. 또한 고온초전도 배열 능동 안테나는 미국의 UCLA, 독일의 Wuppertal Univ./ 로젠베르그 대학과 이동/위성기술 연구소, 프랑스의 LGER(파리대학), 영국의 케임브리지 대학, 일본의 ISTEK - SRL, CRL - Kansai Lab., 대판대학, NTT -IR Lab, 동경공업대, 동북대학 RIEC 등에서 많은 연구가 진행되고 있으며, 대수주기적 안테나에 조셉슨 접합 기술 구현 대한 연구가 활성화되고 있으며, 이러한 기술들은 밀리미터파/서브-밀리미터 파믹서-안테나 시스템 (steer-able), 초전도 발진기 개발에 활용될 것으로 보인다.

### Ⅲ. 안테나 측정 기술 동향

본 절에서는 안테나 성능 측정 시설 및 교정 기술에 대해 소개하고자 한다. 안테나 성능 측정 시설은 안테나 복사패턴, 안테나 이득, 안테나 효율, 편파 측비 특성 등 상업적으로 사용되고 있는 이동통신용, 위성통신용, 근거리 통신용, 방송용 등의 기지국/단말기용으로 사용되고 있는 각종 안테나들의 성능을

측정하는 시설을 의미하며, 안테나 교정 기술은 안테나의 성능을 평가하기 위해 안테나 인자를 측정하여 보정을 실시할 수 있는 기술을 의미한다. 그러나 측정 시설에 있어서는 동일한 시설을 사용해야 하므로 큰 차이가 없다고 볼 수 있다.

안테나 성능 측정 시설은 ANSI/IEEE Std 146 [1]에 명기되어 있는 대표적인 측정 시설인 안테나 레인지(antenna range), elevated range, 접지 반사 레인지 (ground-reflection range), 슬렌트 레인지(slant range), 콤팩트 레인지 (compact range), 이미지면 레인지(image-plane range), 전파무향실 (fully anechoic chamber)이 있다. 이들은 대형 안테나 측정 혹은 위상 배열안테나처럼 매우 균일한 위상 특성을 유지해야 하는 경우, 매우 큰 공간이 필요하고 제작에 있어 매우 비싼 경비가 필요하다. 이 외에도 측정 공간을 줄인 근역장측정시스템 (near field measurement system), 테이퍼 챔버(tapered chamber)가 있으며, 이동차량 혹은 휴대폰처럼 안테나 사용 환경이 지상의 접지면을 포함해야 하는 안테나를 평가하는 경우, 전자파반무향실 (semi-anechoic chamber), 야외시험장 (open site)을 활용하고 있다. 그림6은 한국전자통신연구원 이 보유하고 있는 전자파 반무향실과 근역장 측정시스템의 사진을 나타내고 있다. 이러한 시설들도 역시 대부분은 매우 넓은 설치 공간이 필요하거나 매우 고가의 시설을 요구하고 있다. 이 외에도 안테나 교정 시설로는 TEM 라인(TEM Line) 처럼 표준 전자기장 조성을 통한 교정 방법을 지원하는 시설들이 포함된다. 이러한 TEM 라인은 안테나 총복사량, 안테나 이득, 안테나 복사패턴 등 안테나 성능 측정도 가능하다.

안테나에 대한 교정 방법은 보편적으로 3가지 방법이 사용되고 있다. 첫번째로 전자파무향실, 안테나 레인지, 테이퍼챔버 등에서 표준안테나를 사용하여 교정하는 표준안테나법 (standard antenna method), 그리고 두번째로는 야외시험장 혹은 반전

자파무향실 내에서 3개의 안테나를 활용하여 시험장 감쇄량 (site attenuation) 측정을 통해 교정하는 표준시험장법 (standard site method), 세번째로는 TEM 라인과 같이 전자기장의 세기가 잘 알려져 있고 전자기장의 세기가 균일한 균일영역(uniform area)내에서 실시하는 표준전자장법(standard field method)이 있다.

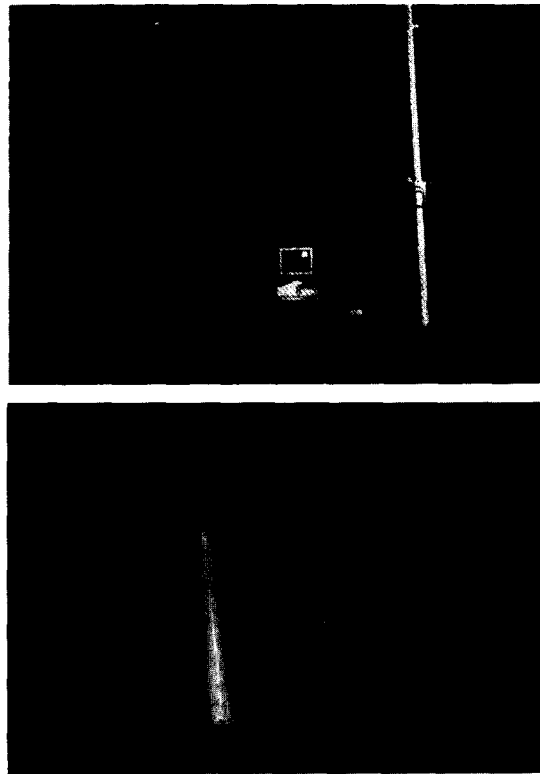


그림 6. 전자파반무향실과 근역장 측정시설

표준안테나법의 경우는 국제적으로 공인된 안테나를 이용하여 교정하는 방법이다. 현재 국제적으로 전자파 측정용 안테나로 거론되고 있는 종류는 표3과 같다. 이러한 안테나는 전자파장해(EMI) 규격처럼 국제적으로 규제되고 있는 법규를 시행할 때 활용되기도 하는 안테나이다. 이들 안테나는 미국 국립 표준 및 기술국 (NIST: National Institute of

표 3. 전자파 측정용 기존 안테나

주파수대역	안테나 종류
1KHz~300MHz	· 비평형루프안테나 (unbalanced loop antenna, 1KHz~50MHz) · 수직모노폴안테나 (vertical monopole antenna, 30KHz~300MHz)
30M~1GHz	· 가변다이폴안테나(tunable dipole antenna, 30M~1GHz) · 바이코니컬다이폴안테나(biconical antenna, 30~200MHz) · 대수주기안테나(log periodic antenna, 200MHz~1GHz) · 바이코니컬대수주기안테나(biconical log perdiodic antenna, 30MHz~1GHz) · 디스크원통다이폴안테나(disk-loaded thick cylindrical antenna, 30MHz~1GHz)
1GHz~40GHz	· 대수주기안테나(log periodic antenna, 200MHz~18GHz) · 표준 이득 혼(standard gain horns, 1~40GHz) · 이중쇄기형 도파관혼(double-ridged guide horns, 1~40GHz) · 직사각형 도파관혼(rectangular wave guide horns, 1~40GHz) · 최적 이득 혼(optimum gain horns, 1~40GHz) · 대수주기안테나(log periodic antenna, 200MHz~18GHz) · 디스크콘안테나(discone antenn, 1~10GHz) · 반사판안테나(reflector antenna, 1~40GHz)

Standards and Technolgy)에서 보유하고 있는 안테나로 교정하여 활용되는 것이 국제적 관례로 정착되고 있다. 특히 이들 공인된 안테나로부터 교정받고 사용하는 안테나는 주기적으로 교정을 재실시하여 사용되어야 할 것이다. 이러한 방식만으로 전세계의 안테나 교정을 관리하기는 매우 어렵게 현실이다. NIST가 보유하고 있는 1차 표준안테나를 활용하여 교정을 받은 2차 표준안테나를 안테나 업체가 보유하고 이를 활용하여 재교정된 3차 표준안테나가 시중에서 사용되는 것이 통례이기 때문이다. 이러한 측정법은 교정오차가 심하다는 것이 학계의 지적 사항이기도 하다. 그러나 표준안테나법은 교정 과정이 까다롭지 않아 가장 널리 사용하고 있는 교정방식이라고 볼 수가 있다 [19].

표준안테나 중에서 30 MHz~1GHz대역의 표준다이폴안테나와 1GHz~40GHz대역의 표준혼 안테나가 교정법에서 많이 사용되고 있다. 유럽 일본을 위시한 타국가에서는 전자의 표준전자기장교정 방법은 입력되는 전력이 정해질 때, 일정공간 다이폴안테나에 대해서 보편적으로 인정하고 있으나, 아직도 표준혼안테나는 현재 CISPR, IEC를 위시한

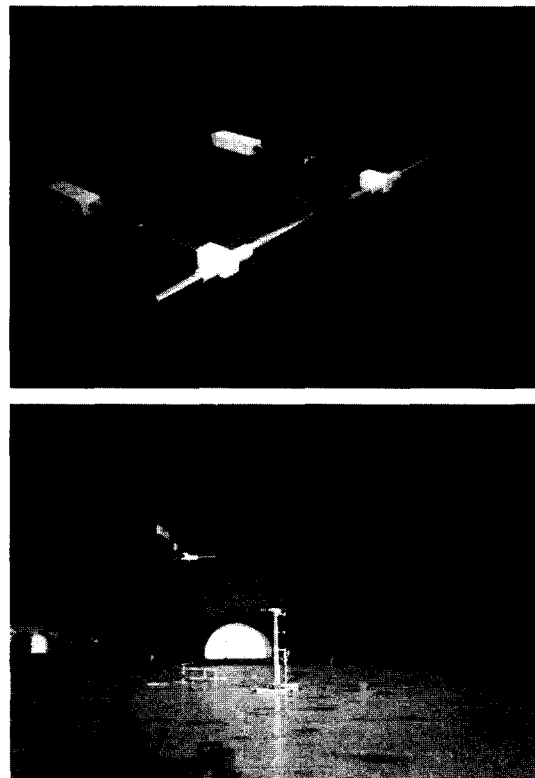


그림 7. 디스크원통다이폴안테나 및 야외시험장



국제 표준화 기구에서 논의 중에 있다 [2]. 이러한 모델들 중에서 국내의 산업기술시험원과 NIST가 함께 제작한 그림 7의 디스크원통다이폴안테나의 경우는 가변다이폴 안테나의 문제점인, 주파수에 따른 길이 조정의 문제점을 해결하기 위한 모델로, 3개의 광대역 특성의 디스크원통다이폴 안테나[20]를 활용하여 30MHz~1GHz까지 사용할 수 있도록 제안하고 있다. 이 안테나는 전방향성을 유지시키고 있어, 표준 안테나로 활용하기에 매우 적합한 모델로 국제적으로 관심도가 높은 안테나이다. 현재 무선LAN, IMT-2000, 4세대 이동통신처럼 무선통신서비스가 1GHz ~ 10 GHz에서 집중적으로 개발되고 있다. 국제적으로 이러한 대역에서 표준안테나로 활용할 수 있는 전방향성 특성을 갖는 안테나 개발이 시급히 필요한 것 같다.

표준시험장법(3)은 전자파반무향실 및 야외시험장의 성능을 평가하는 방식인 시험장감쇄량 측정법으로부터 유추한 방식으로 주로 전자파장해 측정용 안테나처럼 전방향성 안테나에 대한 안테나 팩터 및 안테나 이득을 측정할 때 많이 사용되는 방식이다. 이는 시험장인 전자파반무향실 과 야외시험장의 성능에 의거 측정의 정확도가 결정된다. 이러한 평가 방식은 표준안테나를 활용하지 않는다는 점에서 매우 획기성이 있는 것으로 보이고 있으며, 전자파 측정 규제에서 측정 오차에 대한 시비가 있을 때에 이러한 방식의 안테나 팩터 측정을 통해 국가간 이해 관계를 해결해주는 역할을 하기도 한다. 각 국가별 가장 좋은 시험시설에서 측정하여 그 평균치를 사용하는 방식을 채택하고 있는 것이 국제적 관례화 되어 가고 있다.

표준전자장법은 공간 상에 어느 일정 지역에 전자기장 세기 및 편파가 매우 균일하게 분포하고 있고 그 세기 및 편파의 방향을 알고 있는 영역 (균일영역, uniform area)을 활용하여 교정하는 방법이다[4, 21~29].

이러한 기술은 새로운 타입의 TEM 라인과

stripline 모델들이 개발되므로 인해 최근들어 많은 관심을 가지고 있는 분야이다. 이러한 기술 분야에서 교정시설로 활용할 수 있는 시설을 살펴보면 보면 표 4와 같다. 전송선로 혹은 도파관내부에 유기되는 매우 균일한 전자파를 활용하는 기술이 바로 TEM 라인 기술이다. TEM 라인 [21~29]은 밀폐형 TEM 과 개방형 TEM 라인으로 구분이 가능하다. 밀폐형 TEM 라인은 외부도체를 갖는 형태를 특징을 지니고 있으며, 개방형 TEM 라인은 외부도체가 없는 형태를 특징으로 한다. 따라서 전자의 경우는 특별한 보조 시설없이도 사용이 가능한 반면, 후자는 외부전자파 환경과 격리할 수 있는 전자파무반사실과 같은 별도의 시설을 필요로 한다.

표 4. 기존 TEM라인의 종류 및 분류

분류	소분류	기존 시설의 종류
밀폐형 TEM 라인	양단 도파관	대칭형TEM셀, 비대칭형TEM셀, 결합전송선로셀, 6단자TEM셀, 원통형TEM셀, 3차원셀 등.
	한단 도파관	EMES, GTEM cell, WTEM cell, XTEM cell, YTEM cell 등
개방형 TEM 라인	양단 스트립 라인	스트립라인셀(Stripline cell), 곡선형스트립 라인 셀 (Curved stripline cell) 등.
	한단 스트립 라인	EUROTEM, tapered TEM cell, broadband gigahertz field simulator, Dual polarization BGF 등.

밀폐형 TEM 라인은 한단도파관과 양단도파관으로 구분이 가능하며, 후자는 양단에 입출력 포트가 설치되어 임의의 전파임피던스를 갖는 표준전자파 발생이 가능한 반면, 공진의 발생에 의해 사용주파수 대역에 제한을 받는다. 전자는 임의의 전파임피던스를 갖는 표준전자파 발생이 불가능한 반면 한쪽면을 종단하여 사용주파수 대역을 확장시킨 구조를 갖는다. 이는 원역장의 성격을 갖는 전자파만을 발생시킬

수 있다. 이러한 모델 중에서 결합전송선로셀은 근역장에서 발생하는 표준 자기장 및 전기장 발생이 가능한 시설로 프로브 교정 분야에서 활용이 매우 용이한 시설로 국내에서 제작된 모델이다. 그림8에서는 결합전송선로셀의 사진을 보여주고 있다. 결합전송선로셀의 경우 TEM cell보다도 매우 균일한 전자기장이 조성되고 사용주파수대역이 넓게 사용할 수 있다 [21].

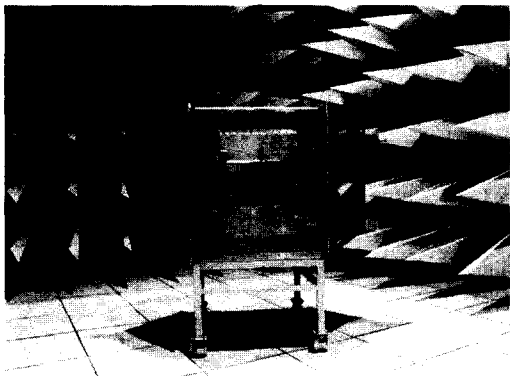


그림 8. 결합전송선로셀

한단 도파관의 기술 개발 방향을 살펴보면 크로포드 TEM cell의 공진 발생의 문제점을 해결하기 위해 1979년 한쪽단을 종단하는 구조에 테이퍼되는 구조를 지니게 하여 구면파 발생을 유도하여 공진주파수를 넓힌 EMES가 영국에서 개발되었고, 1982년 이러한 구조에서 모서리파의 발생을 억제시키고, 내부분포 저항판을 탑재하여 상용화시킨 GTEM cell이 독일에서 개발되어 널리 사용하게 되었다. 이러한 모델은 수직 편파만을 발생시킬 수 있는 시설이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 덴마크에서 TTEM cell이 1990년에 제안되었으나, 내부 전자기장의 균일도가 매우 저하되는 구조를 지니고 있어 상기 시설을 상용화시키지는 못하였다. 동일한 해에 GTEM cell의 균일도 저하에 문제점을 개선시킨 WTEM cell이 이탈리아에서 개발되었으나 이러한 구조 역시 수직 편파만 제공되는 구조이다. 수직/수평 편파를

제공하는 기술 구현은 매우 중요하다. 전자파장해, 전자파 내성, 전자파 환경 측정, 안테나 교정, 안테나 성능 측정 등은 이들 모든 편파에 대해서 시험을 요구하고 있기 때문이다. X-TEM cell, EUROTREM, Y cell은 전자기장의 균일도를 높이고 동시에 수직/수평 편파 모두 제공이 가능한 시설로 표준전자기장 교정이 가능한 모델이다. 안테나 교정 기술로서 가장 경제성이 높은 방식은 세가지 방식 중에서 역시 표준전자장법이라 할 수가 있다. 이러한 기술은 작은 공간에 외부 전자파 환경과 무관하게 측정이 가능하고 소형으로 제작될 수 있어 무선통신의 평가 시스템 구성에 적합하고, 응용기술이 매우 높아 타 기술의 뿌리를 제공한 원천기술이기도 하다. 앞서서도 언급하였듯이 무선LAN, UWB시스템, IMT-2000, 4세대이동통신 등처럼 다양한 무선서비스에 적합한 표준전자파 발생기술을 시급히 개발하여 국내 산업체에 보급되어야 할 것 같다.

무선통신분야처럼 국내기술 수준이 이미 국제화되어 있는 경우, 관련 표준 규격화 기술을 수동적으로 유도할 수는 없다. 자칫 관련 산업의 침체를 유발할 수도 있기 때문이다. 이러한 산업은 능동적으로 대처해야만 할 것 같다. 국내의 무선통신 산업이 국제적 수준을 넘어설 수 있도록, 미국 IEEE 혹은 ANSI 등의 안테나 측정 표준 지침서 [1~4]를 참조하고, 현재 개발되어 가고 있는 안테나 측정 및 교정 시설에 대해 보다 적극적으로 수용하여, 새로운 무선서비스에 맞는 안테나 측정 지침서를 시급히 국내에서 마련해야 할 것으로 보인다.

#### IV. 추후 안테나 개발 기술 방향

무선통신의 멀티미디어화, 고속화, 단말기의 경량화 추세에 따라 초광대역 무선 통신과 같이 통신 용량을 증대시키기 위한 서비스에 적합한 광대역 안테나 기술, 초전도체 안테나 기술, 이동 및 휴대 적합한 소형, 경박형 안테나, 이동 단말기의 인체 영향 극소

화한 안테나 등의 연구가 활발하게 추진되고 있으며, 방송, 위성, 군사, 산업 및 의료, 탐사 분야에 있어서도 안테나 기술을 한 단계 높이기 위한 많은 연구가 수행되고 있다. 열악한 전파 환경에서도 고품질 저비용의 서비스를 제공해야 하는 이동통신 기지국 분야에서는 고속 데이터 전송 시 ISI를 줄여 BER를 개선하고, 장치 혼합 셀 환경에서 고속 데이터에 의한 강한 간섭 신호의 영향을 크게 감소시키며, Hot Spot 지역에 원만한 서비스의 제공을 뒷받침하기 위한 스마트 안테나/ 지능형 안테나 기술의 체계적인 개발이 필요할 것이다.

이동통신 단말기 분야에서는 1997년부터 “신규 단말기에 대한 전자파 적합성 규제”가 미국의 FCC를 중심으로 실시되고 있고, 유럽, 일본 및 국내에서도 2000년 이후 이에 대한 규제가 실시되고 있다. 또한 현재의 전자파흡수율의 규제치를 점차적으로 낮추갈 전망으로 이에 대비한 중장기 계획 세워 보다 체계적인 단말기 내장형 안테나와 같은 전자파흡수율 저감형 안테나에 대한 개발이 이루어질 것으로 보인다.

근거리 통신분야에서는 적극적으로 기능형 /적용형 /지능형 안테나 개발을 유도하여 무선LAN, UWB, PAN 등의 분야에 적용이 가능한 집적안테나, 듀플렉스안테나, 재반사배열 안테나 등의 상용 안테나 기술 개발이 활성화 되어야 할 것이다.

위성통신 분야에서는 이동통신과의 통합을 통하여 개인통신, 광역통신, 멀티미디어 통신으로 확장되고 있고, 이를 위해서는 위성 멀티미디어 통신의 이동 단말기를 위한 소형 능동위상배열 안테나 기술 개발이 필요하다. 또한 마이크로파/밀리미터파 대역에서 고온 초전도 박막의 표면 저항은 일반 금속(normal metal)에 비해 매우 작아, 고효율화/고성능의 안테나 개발이 가능하다. 따라서 수요가 급증하고 있는 무선 멀티미디어 서비스 요구에 대처하고, 밀리미터 파 대역까지 응용을 확대하기 위해서는 고온초전도 안테나 기술개발과 능동 집적 안테나 기술 개발에 대한 원천기술의 확보가 필요한 실정이다.

안테나 측정 및 교정 기술은 중소기업이 부담하기엔 너무 비용이 크고, 투자를 한다고 해서 상품이 제작으로 연결되는 기술이 아니다. 게다가 이는 안테나 기술에 있어 없어서는 안되는 기술로 표준화 및 법제도화 그리고 무선시스템의 성능과 매우 밀접하므로, 중소기업체가 개발하기엔 내용 및 규모에 있어 부담스런 기술이라고 볼 수가 있다. 무선통신기술이 발전해나가기 위해서는 안테나 교정 및 측정 기술이 함께 있어야 한다. 따라서 교정 및 측정 기술은 정부 주도 하에 미국 IEEE나 ANSI의 안테나 교정 및 측정에 관한 표준 지침을 참고하고, 현재 개발된 기술을 반영하여 국내 실정에 맞는 안테나 측정관련 표준 지침서를 마련해야 할 것으로 보인다. 한 발 더 나아가 정부는 21세기 무선통신시스템에 적합한 저렴한 안테나 교정 시설 개발에 중점을 두어 민간에 보급할 수 있도록 하여야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] IEEE Std 149-1979, "IEEE Standard Test Procedure for Antenna", 1979
- [2] CISPR 16-1, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods, part 1 : Radio disturbance and immunity measuring apparatus", 1993.
- [3] ANSI C 63.4-1992, "Methods of measurement of radio-noise emissions from low-voltage electrical and electronic equipment in the range of 9 kHz to 40 GHz", 1992.
- [4] IEEE Std. 1309-1996, "IEEE Standard for calibration of electromagnetic field sensors and probes, excluding antenna from 9kHz to 40GHz", 1996
- [5] N. Cohen, "Fractal antenna application in

- wireless telecommunications," electronics industries forum of New England, Professional program proceeding, pp.43~49, 1997
- [6] K. Quassim. "Antenna for personal communications", IEE Colloquium on Radio frequency design in mobile radio transceiver, pp. 1~5, 1994
- [7] J. R. Sheng-Gen, T. Becks, et al, "N antenna and their applications in portable hadsets," IEEE Transaction on AP, vo: 45, no. 10, pp. 1475~1483, October 1997
- [8] H. Matsuhima et al, "Electromagnetically coupled dielectric chip antenna," 1998 IEEE AP international syposium, pp. 1954~1957, 1998
- [9] M. Geissier and D. Heberling, "An optimized antenna for mobile phones", 1998 IEEE AP international syposium, pp. 118~121, 1998
- [10] K. Chang, R.A. York, P.S. Hall and T. Itoh, "Active Integrated Antenna," IEEE MTT Trans., vol.50, no.3, pp.937~944, March 2002
- [11] V. Radisic, Y. Qian and T. Itoh, "Injection and Phase Locking Techniques for Beam Control," IEEE MTT Trans., vol.46, no.11, pp.1920~1929, November 1998
- [12] W.R. Deal, V. Radisic, Y. Qian and T. Itoh, "Integrated Antenna Push-Pull Power Amplifiers," IEEE MTT Trans., vol.47, no.2, pp.1418~1424, November 1999
- [13] W.R. Deal, V. Radisic, Y. Qian and T. Itoh, "Push-Pull Power Amplifiers integrated with microstrip leaky-wave antenna," Electronics Letters, vol.35, no.22, pp.1891~1893, October 1999
- [14] S. Lin, Y. Qian and T. Itoh, "Quadrature Direct Conversion Receiver Integrated Quasi-Yagi Antenna," IEEE MTT -S, pp.1285~1288, June 2000
- [15] R.Y. Miyamoto, Y. Quan, and T. Itoh, "An active retrodirective transponder for remote information retrieval on demand," IEEE MTT Trans., vol.49, no.9, pp.1658~1662, September 2001
- [16] M.J. Cryan, P.S. Hall, S.H. Tang, and Jizhang Sha, "Integrated Active Antenna with Full Duplex Operation," IEEE MTT Trans., vol.49, no.4, pp.677~864, April 2001
- [17] H.G. Schantz, "Radiation in efficiency of UWB antenna", IEEE Symposium on UST, pp. 351~355, 2002
- [18] S. Y. Eom et al., "Multi-disk radiating structure with a flat-topped element pattern for a planar array antenna," Electronics Letters, Vol. 38, No. 2, Jan. 17, 2002.
- [19] M. K. Kanda, "Standard Antenna for Electromagnetic Interference Measurement and Method to Calibrate Them," IEEE Trans. Electromag. Compat., vol. 36, no.4, pp.261~273, November 1994
- [20] Won-Seo Cho, Motohisa Kanda, Ho-Jung Hwang, and Michael W. Howard, "Validation of an EMC Test Site from 30 to 300 MHz Using a Disk-Loaded Thick Cylindrical Dipole Antenna," IEEE Trans. Electromag. Compat., vol. 42, no.2, pp. 172-180, May 2000.

- [21] J. H. Yun, H. J. Lee, and H. J. Hwang, "Straight Coupled Transmission Line Cell for Generating Standard Electro-magnetic Fields," IEEE Transaction on EMC, vol. 44, no.4, pp.1~7, November 2002.
- [22] F. B. J. Leferink, "A Triple TEM cell: three polarization in one setup," Proc. 10th Inter. Symp. on EMC, Zurich, pp.573-578, 1993.
- [23] J. H. Yun, H. J. Lee and J. K. Kim, "Design and analysis of six port-TEM cell for generating standard electromagnetic field," Electronics Letters, vol. 32, no. 23, pp. 2127-2128, 1996.
- [24] L. Carbonini, "A new transmission-line device with double-polarization capability for use in radiated EMC tests," IEEE Transactions on EMC, vol. 43, no. 3, pp. 326 -339, 2001.
- [25] D. Hansen and D. Ristau, "Antenna factors of the new EUROTEM cell for fully compliant emission and immunity testing," Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics, 2000, pp. 378-382.
- [26] M. Klingler, S. Egot, J.-P. Ghys, and J. Rioult, "On the use of three-dimensional TEM cells for total radiated power measurements," IEEE Symp. On EMC, pp.123-128, 2001.
- [27] J. H. Yun, K. Y Cho, H. J. Lee and J. K. Kim, "A new type TEM cell for generating standard EM fields," EMC'98 ROMA, pp. 813-815, 1998.
- [28] D. Konigstein and D. Hansen, "A new family of TEM cells with enlarged bandwidth and optimized working volume," Proc. 7th Inter. Symp. on EMC, Zurich, pp.127-132, 1987.
- [29] M. L. Crawford, "Generation of standard EM fields using TEM transmission cells," IEEE Trans. on EMC, vol. 16, pp.189-195, 1974.



#### 윤재훈

1980년 : 중앙대학교(공학사) 1984년 : 중앙대학교(공학석사) 1999년 : 중앙대학교(공학박사) 1990년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원 주 관심분야 : 표준 전

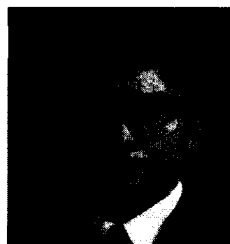
자파 발생기술, 전자파 적합성, 그리고 안테나 교정 기술 개발



#### 최재익

1981년 : 고려대학교 전자공학(공학사) 1983년 : 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사) 1995년 : 고려대학교 대학원 전자공학과(공학박사) 1983년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구

원, 미국 UCLA 객원연구원 주 관심분야 : 위성통신/이동통신 안테나 및 RF 기술 등



#### 채종석

1977년 : 한국항공대학교(공학사) 1979년 : 연세대학교(공학석사) 1989년 : 연세대학교(공학박사) 1978년 ~ 1983년 : 국방과학연구소 연구원