

단말기용 소형 내장형 안테나 기술 동향

문정익 · 최동혁 · 박성욱

한국정보통신대학원
대학교 공학부

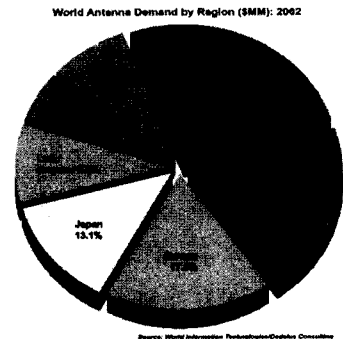
I. 서 론

현재의 이동 통신 시장은 매우 빠른 속도로 변화하고 규모의 성장성도 예측하기 어려울 만큼 유동적이다. 하지만 세계의 유수한 통계기관에서 내다보는 통신시장의 전망은 <표 1>과 같이 낙관적이다.

그리고 최근의 보고에 따르면 안테나 시장은 무선 인프라 시장의 3.5%를 차지하고 있으며 2006년까지 매년 11.7%로 성장을 할 것으로 예상하고 있다. 특히, 중국이나 라틴 아메리카와 같이 통신시장이 급성장하고 있는 지역의 수요는 향후 안테나 시장의 경향을 크게 좌우할 것으로 예상되고 있다. [그림 1]의 통계자료는 2002년 현재 세계 안테나 시장 규모를 지역별로 살펴본 것이다^[1].

[그림 1]에서 말하는 안테나는 본문에서 언급하고자 하는 내장형 안테나 뿐만 아니라 기지국용, 중계기용, 위성안테나 등과 같은 외장형도 포함하고 있으나 소비규모는 서로 비슷한 경향을 가질 것으로 예상할 수 있다.

내장형 안테나의 주요 시장이 되는 이동통신 단말기 시장의 경우 우리나라에서 약 6,000만대의 단말기가 생산되고, 현재 수요에서 단말기당 평균 0.5달러의 안테나 가격을 고려하면, 국내시장 규모는 연간 약 3천만 달러(약 390억원)의 시장으로 예측된다. 세계 시장은 2001년을 기준하여 약 4억대의 단말기가 판매(IDC 2001)된 것을 감안하면, 세계시장은 연간 약 2억 달러(약 2,600억원)의 시장으로 산출된다.



[그림 1] 세계 안테나 시장의 지역별 수요

<표 1> 세계 이동통신장치 출하대수 추이 및 전망

[단위: 천대]

| 구 분 | | 연 도 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|------|----------------|-----|---------|---------|---------|-----------|-----------|---------|
| 세계시장 | 이동통신단말기 | | 412,731 | 506,525 | 586,248 | 650,824 | 704,429 | 739,204 |
| | GPS | | 4,726 | 7,246 | 9,484 | 12,911 | 15,720 | |
| | Bluetooth App. | | 25,387 | 124,296 | 232,845 | 341,235 | 451,947 | |
| | 계 | | 442,844 | 638,067 | 828,577 | 1,004,970 | 1,172,096 | |

[자료: Gartner Group(2001.3), Gartner Dataquest(2000.12), Burgeoning Bluetooth, IDC, April 2000]

그리고 시장이 성숙된 이후의 단말기 출하량 증가는 단말기 교환 주기를 얼마나 짧은 기간으로 유도하여 단말기 대체 수요를 증가시킬 수 있는지에 좌우될 것이며 2005년까지 세계 단말기 출하량은 9.9%의 성장을 보일 것으로 예측되고 있으며, 아시아/태평양 지역은 10% 이상 성장할 것으로 낙관하고 있다. 이러한 시장규모를 가지고 있는 안테나 시장에서 최근에 내장형 안테나는 새로운 이슈가 되고 있으며 이미 많은 연구를 통하여 성능이 우수하고 다양한 모델의 제품들이 출시되고 있다.

다음에 언급하게 되는 본문에서는 내장형 안테나의 기술 동향을 살펴보고 앞으로의 연구방향을 어떻게 설정할 것인지 고민해 보도록 하겠다.

II. 본 론

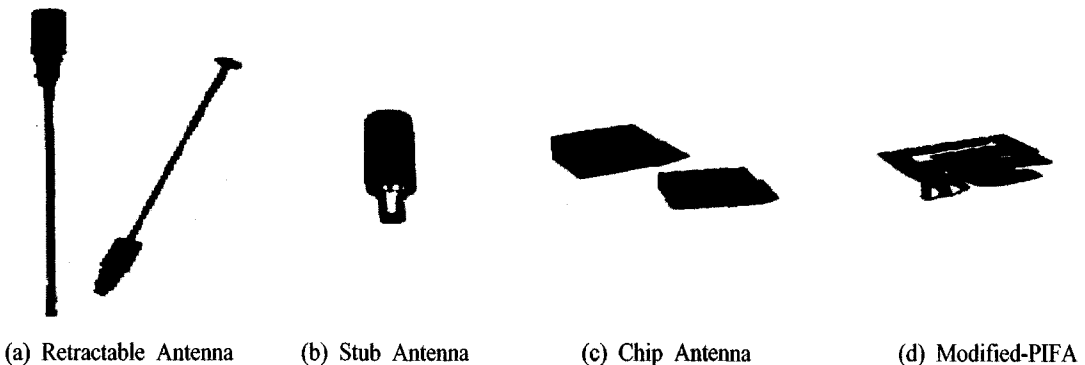
2-1 휴대용 단말기의 안테나 개발 추이와 내장형 안테나의 필요성

안테나는 사용 주파수에 대한 반파장 공진길이를 만족하는 다이폴 안테나가 기본적인 모델이 된다. 그리고 접지면이 완전도체에 가까운 경우를 가정하여 파장의 1/4를 사용하는 모노폴 안테나는 내부가 도전성 페인트로 도포된 휴대폰과 같은 휴대용 통

신기에서 많이 사용하게 되었다. 초기 800 MHz 대역의 Cellular 폰을 사용하게 되었을 때 안테나는 retractable한 구조를 가지고 있으며 전파환경이 좋지 못한 장소에서는 10 cm 가량 되는 모노폴 안테나를 사용하고 기지국간의 단순 통신이나 전파환경이 좋은 곳에서는 헬리컬 안테나를 통하여 송수신하는 방법을 사용하는 게 일반적이었다.

얼마 후 PCS가 상용화되고 사용주파수도 1700 MHz부터 1800 MHz 대역을 사용함에 따라 안테나의 크기도 자연적으로 줄어들게 되었고 설계와 공정기술의 발달로 휴대폰에서 사용하는 여러 가지 능동, 수동 소자들이 소형화가 되거나 하나의 모듈로 통합되어 결과적으로 휴대폰의 크기가 혁신적으로 작아지게 되었다. 이러한 추세에 맞추어 통신에서 중요한 수동소자인 안테나도 소형화라는 목표와 통신 서비스를 받는 사용자들이 기존의 모노폴 안테나가 가지고 있던 무지향성 방사패턴이 인체 두부에 미치는 영향을 고려하여 SAR(Specific Absorption Rate)을 크게 개선할 수 있는 안테나를 요구하는 분위기와 공감을 이루게 되었다.

본문에서는 이러한 안테나 개발 추세에 맞추어 내장형 안테나(Intenna, Internal Antenna)를 주제로 과거에서 현재의 기술에 이르기까지 다양한 모델을 예시하고 설명하고자 한다. 아래 [그림 2]는 휴대용



[그림 2] 휴대폰용 안테나의 개발 추이와 몇 가지 예들(a,b는 외장형, c,d는 내장형)

단말기에 사용되어온 안테나와 현재의 내장형 안테나 예를 보여주고 있다^[2]. 초기의 retractable 안테나부터 현재의 변형된 PIFA(Planar Inverted-F Antenna)에 이르기까지 기술의 발전을 한눈으로 확인할 수 있으며 그림의 (c)와 (d)는 내장형 안테나의 대표적인 모델들로 손꼽을 수 있다.

2-2 내장형 안테나의 종류

내장형 안테나로 사용하기에 적절한 안테나의 형태는 유전상수가 높은 물질을 사용한 chip type 안테나와 PIFA의 변형구조이다. 초기에는 전자의 경우를 많이 연구하였으나 제작공정과 가격면에서 경쟁력이 떨어지는 경향이 있어 후자의 경우를 선호하고 있는 추세이기도 하지만 LTCC(Low Temperature Cofied Ceramic) 공정을 사용한 모듈화 경향에 힘입어 적층형 배열 안테나 설계도 관심주제로 떠오르고 있다.

2-2-1 Chip type 안테나

(1) 유전상수가 높은 물질을 이용한 chip type 안테나

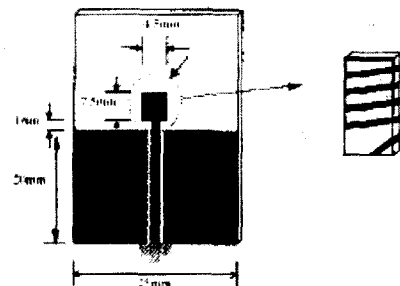
실제 휴대용 단말기의 안테나로 과장의 1/4 정도의 길이를 가진 과거의 안테나 모델을 개선하고자 유전상수가 높은 세라믹을 사용하여 [그림 2]의 (c)와 같은 chip 형태의 안테나를 개발하였다. 초기에 이런 chip 안테나는 안테나 분야에 종사하는 많은 사람들의 높은 관심을 받았으나 사용하는 세라믹의 유전상수가 9.0정도의 알루미늄이나 그 이상의 유전상수를 가지는 물질을 사용하므로 협대역 특성(VSWR < 2, 10% 이하)을 가지게 되는 단점을 가지게 되었다. 협대역 특성을 개선하고자 유전상수가 서로 다른 물질을 접합시키는 이른바 perturbation method를 적용하는 사례가 있었으나 부피가 커지게 되고

작업 공정이 번거로운 것에 비해 큰 효과를 거두지 못하여 실제 제품에는 사용되지 않았다^[3]. 그러나 결과적으로 PCB(Printed Circuit Board) 표면에 실장되는 chip은 높은 유전상수를 가지게 되고 PCB는 4.6이하의 유전상수를 가지게 되어 자연적으로 perturbation 효과가 발생하여 공진 주파수가 낮아지고 대역폭이 증가하는 효과를 얻을 수 있게 된다.

(2) Chip의 표면에 적절한 형태의 금속패턴을 도포한 안테나

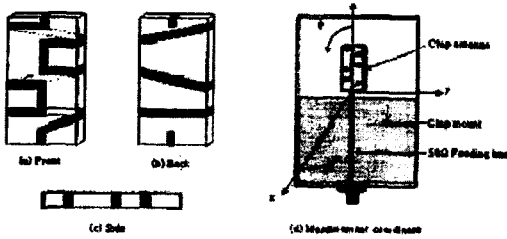
위에서 설명한 chip 안테나의 또 다른 단점으로는 방사체가 유전체 내부에 존재하게 되면 방사되는 에너지의 양보다 내부적으로 손실되거나 저장되는 양이 많아 자연적으로 낮은 방사이득을 가지게 되어 안테나 특성보다는 단순한 resonator가 된다. 따라서, chip 상에 스크린 프린터를 사용하여 여러 가지 방사패턴을 형성하게 되는데 초기에는 [그림 3]과 같이 헬리컬 모양을 chip 상에 도포하여 PCB 상에 실장하는 chip 안테나가 선보였다^[4].

헬리컬형의 chip 안테나 개발 이후 chip 안테나의 개발 추이는 점차 chip 상에 도포되는 금속체의 전기적인 길이를 증가시키는 새로운 안테나 구조로 바뀌게 되는데 chip 안테나에서 방사체의 전기적인 길이를 증가시킨다는 것은 두가지 의미로 해석해 볼

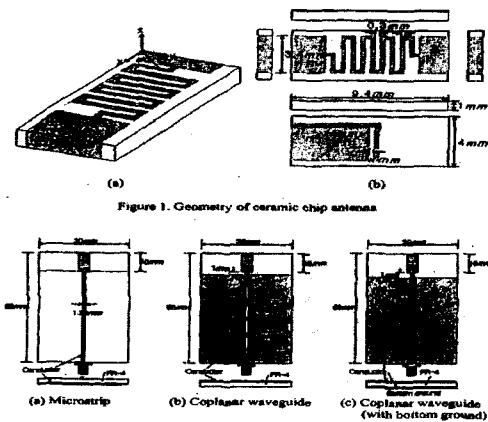


[그림 3] 헬리컬 chip 안테나

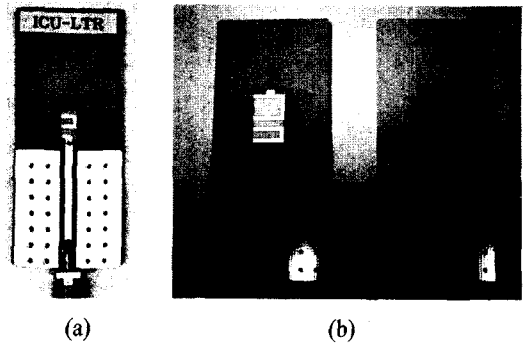
수 있다. 첫째, 방사체의 전기적인 길이가 늘어나면 보다 작은 크기의 안테나에 대한 제작이 가능해진다는 것이고, 두 번째는 같은 크기의 chip 안테나를 유전상수가 낮은 유전체를 사용하여 제작할 수 있으므로 광대역 특성을 갖는 안테나 설계가 가능하다는 잇점을 가지게 되는 것이다. 따라서 신호의 시간 지연을 주기 위한 목적으로 회로설계에서 많이 이용되었던 meander 라인이 chip 안테나 패턴에 이용되었으며 아래 그림에서와 같이 전류가 수직과 수평성분이 존재하는 구조를 가지게 되어 cross-polarization 되는 에너지의 양이 직선형의 모노폴보다는 높을 수밖에 없는 약점을 가지게 된다. 그 예로서 변형된 meander 라인을 응용한 안테나들을 다음의 그림에서 예시하였다^{[5]~[7]}.



[그림 4] Meander line을 응용한 chip 안테나(I)^[5]



[그림 5] Meander line을 응용한 chip 안테나(II)^[6]

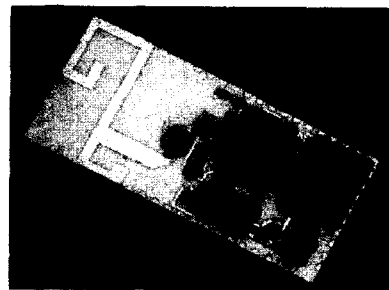


[그림 6] Meander line을 응용한 chip 안테나(III)^{[7],[8]}

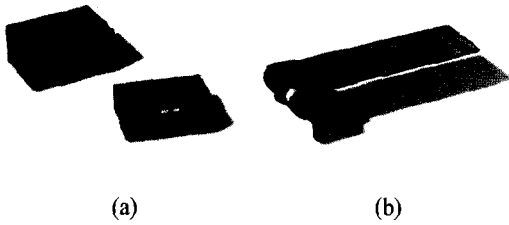
또한, LTCC 공정을 이용하여 여러 층의 green sheet 상에 금속패턴을 형성시켜 chip 안테나 혹은 평판형 안테나를 제작함으로써 보다 섬세하고 크기가 작은 내장형 안테나들이 꾸준히 개발되고 있다^[9].

그러나 유전상수가 높은 세라믹을 사용할 경우 가공과정이 용이하지 않고 제작비용이 상대적으로 높아지며 제작이 완료된 이후에 chip 상의 패턴을 조절하는 것이 쉽지 않다. 따라서 이같은 단점들을 보완하고자 현재는 아래 [그림 8]과 같이 bulk형 합성수지 상에 방사패턴을 형성하여 chip 형 안테나를 개발하고 있는 추세이다^[2].

2-2-2 PIFA를 변형한 평판 안테나



[그림 7] LTCC 공정을 이용한 Bluetooth용 안테나^[9]

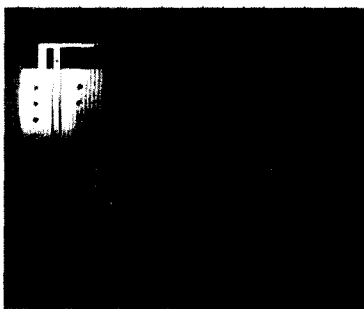


[그림 8] Plastic Bulk상에 방사패턴을 실장한 chip 안테나^[2]

휴대용 통신기기 중에서 특히 휴대폰의 경우는 multi-layer 공정과 모듈화를 통하여 상당한 부피로 감소시킨 상태에서 안테나 설계는 제작과정이 좀더 간단한 평판 안테나로 관심이 모아지고 있는 추세이다.

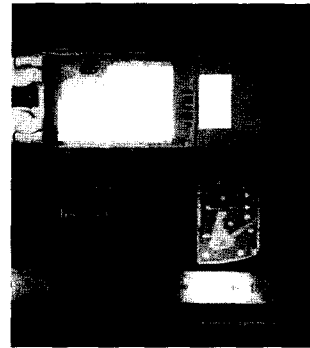
이러한 개발 경향을 만족시키는 안테나의 대표적인 모델로 [그림 9]와 같이 PIFA(Bluetooth 대역)가 각광을 받고 있으며 현재 이를 응용한 여러 가지 안테나들이 선보이고 있다.

PIFA는 회로적으로 방사체의 한쪽을 단락 시키고 다른 한쪽은 개방을 시킨 후 급전부 방향으로 적당한 길이를 형성하여 리액턴스를 최소화 시키는 공진 구조를 가지고 있으며 접지면상에 적당한 높이로 설치할 경우 SAR을 줄이는데 좋은 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

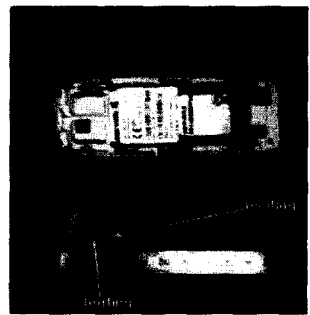


(a) 앞면 (b) 뒷면

[그림 9] PIFA(Bluetooth 대역) 안테나 예



(a)



(b)

[그림 10] 실제 휴대폰에 탑재되어 사용중인 내장형 안테나 예

다음은 PIFA를 응용하여 실제 휴대폰에 장착되어 상용화된 안테나 모델을 살펴보고자 한다. [그림 10]의 (a)와 (b)는 현재 GSM용으로 사용되는 휴대폰 단말기의 안테나 모델이며 (a)와 (b) 모두 소형화된 단말기의 부피를 늘이지 않는 범위에서 안테나를 장착하기 위한 연구가 진행되었음을 보여주고 있다. (a)의 경우 안테나의 크기는 $40 \times 22 \times 8$ mm로 휴대용 단말기 배터리 상단부에 장착되는 구조이며, (b)의 경우 변형된 PIFA를 사용하여 GSM과 DCS 대역에서 동시에 동작할 수 있는 구조이다. 특히 (b)의 경우는 부피를 최소화하기 위하여 휴대폰 케이스의 뒷면에 $40 \times 20 \times 9$ mm 크기로 장착한 점

을 살펴 볼 수 있다. 또한 이중 공진을 위하여 여러 가지 모양으로 slot를 만들어 서로 다른 공진 경로를 형성하고 있다.

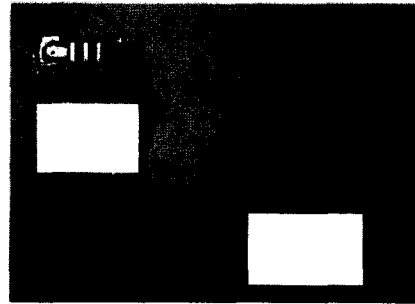
이상과 같이 내장형 안테나의 다양한 모델들을 살펴보았다. 다음으로는 내장형 안테나가 가지고 있는 문제점들을 간단히 살펴보도록 하자.

2.3 내장형 안테나의 문제점과 해결점 모색

현재 우리나라에서 발표되고 있는 소형/내장형 안테나에 관한 논문을 살펴보면, PCB상에 안테나와 급전부만 존재하는 경우에 대한 계산 및 실험결과를 서술한 것이 대부분이다. 따라서, 설계된 안테나를 실제 상용화 제품에 실장하는 경우에는 설계 환경을 고려하지 못한 탓에 여러 가지 문제에 봉착하게 되며 이를 해결하기 위하여 더 많은 시간과 노력이 필요한 경우가 흔하게 발생하고 있다. 이와 같은 문제는 먼저 안테나 설계자가 장착환경을 충분히 고려하지 못한 때문이라 할 수 있으나 시스템을 전반적으로 설계하는 기술자들이 안테나의 특성을 고려하지 않고 다른 부분에 대한 설계가 다 끝난 다음 남는 자리에 적당히 안테나 실장부분을 남겨놓은 채 성능이 좋은 안테나를 찾고 있기 때문이다. 실제로 Bluetooth 서비스를 위한 제품설계에서 신호처리나 전원부에 대한 설계를 우선시 한 다음 적당한 면적을 안테나에 할당하여 재설계하는 경우를 본 바가 있다.

그러나, 이런 현상은 안테나 설계자가 개선하기 힘든 점이며 앞으로 내장형 안테나의 실장환경은 더욱 더 열악해 것으로 본다. [그림 11]의 경우는 내장형 안테나의 장착환경을 보여주는 좋은 예로서 원으로 표시된 부분이 칩형 안테나가 실장될 위치를 나타내고 있다.

그림과 같이 실장되는 경우 대부분 안테나의 리액턴스 성분에 변화가 발생하여 공진주파수가 이동



[그림 11] 내장형 안테나의 장착 환경



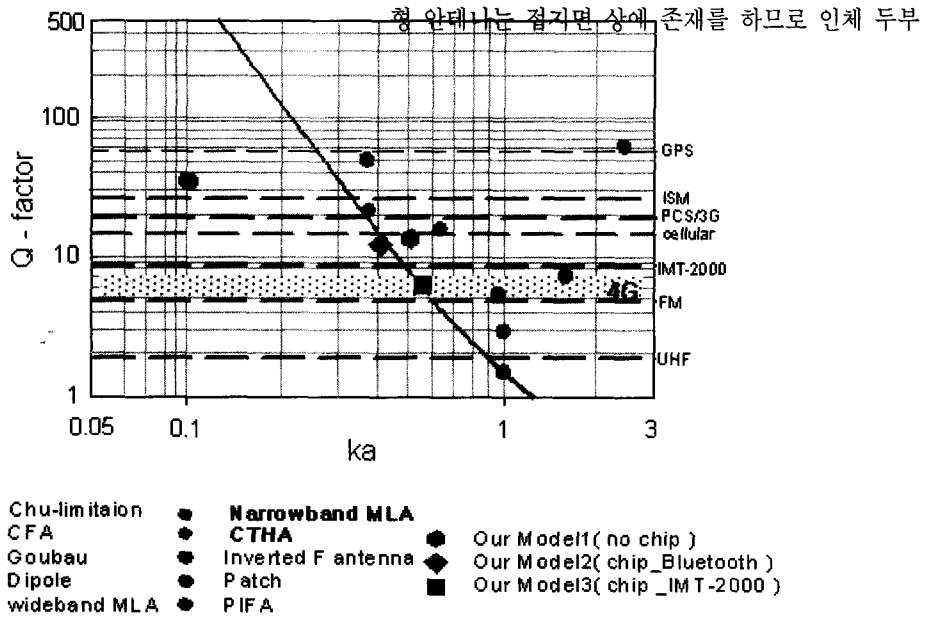
[그림 12] 임피던스 특성이 개선된 내장형 안테나

하거나 반사손실이 매우 나빠지게 되어 원하는 안테나 성능을 가질 수 없게 된다. 따라서, 다음 [그림 12]의 원에 나타난 바와 같이 lumped inductor 혹은 capacitor를 사용하여 강제로 임피던스 매칭을 시켜 사용하고 있다.

2.4 앞으로의 내장형 안테나 개발 기술

2.4.1 안테나 동작 환경을 고려한 설계

앞으로의 내장형 안테나 개발은 새로운 모델개발과 더불어 동작환경을 고려한 설계 작업이 무엇보다도 필요하다. 기존의 내장형 안테나 모델의 동작 원리를 전혀 이해하지 못한 채 물리적인 구조에 약



[그림 13] 상용 안테나의 ka 에 따른 Q-factor 및 물리적인 안테나의 크기 제한

간의 변형을 더하여 새로운 모델을 제안하는 방법은 좋지 못하며 단기간 내에 설계의 한계에 부딪치게 된다. 따라서 단순한 구조를 가진 내장형 안테나에 대한 분석을 시작으로 안테나와 접지면간, 안테나와 신호선간에 발생하는 현상들을 논리적으로 분석하고 이를 라이브러리로 만드는 작업이 필수적이다. 이러한 작업을 위해선 전자기적인 시뮬레이션 뿐만 아니라 회로시뮬레이션을 통하여 적절한 등가 회로와 파라미터를 추출하는 작업이 병행되어야 할 것이다.

2.4.2 SAR 감소 뿐만 아니라 손의 영향을 고려한 내장형 안테나

외장형 안테나에서 내장형 안테나로 연구의 초점이 바뀌기 시작한 동기 중에 하나는 바로 SAR 감소를 위한 해법을 찾기 위해서다. 특히, 휴대폰의 내장

로 전달되는 방사 에너지량을 줄이는데 도움이 된다. 그러나, 내장형 안테나를 사용하는 휴대용 단말기의 경우는 통화시 사람의 손으로 감싸게 되어 오히려 외장형 안테나보다 통화품질이 나빠질 수 있다. 따라서, 내장형 안테나의 경우는 인체의 두부뿐만 아니라 손에 의한 영향까지 고려한 설계가 중요시 된다.

2.4.3 초소형 안테나 기술 연구

1948년의 Chu박사^[10] 및 1982년 Hansen박사^[11]가 주장한 소형 안테나 한계 이론에 최근 의문이 제기되면서 소형 안테나 한계 이론의 근본적인 오류를 지적하는 Grimes^{[12]~[14]}, Mclean^[15]의 대표적인 논문들이 발표되면서 소형 안테나의 고효율의 원리적인 규명과 적용에 대한 많은 연구가 진행 중이다.

위의 [그림 13]를 보면 알 수 있듯이, 현재 대부분

설계 및 제작되어지는 안테나의 Q-factor는 Chu 박사에게 의해 계산된 안테나의 크기에 대한 물리적인 공진 특성 곡선을 충실히 따르는 것을 알 수 있다. 하지만 안테나의 전기적인 크기를 줄이기 위한 노력의 일환으로 새롭게 이슈화되어지고 있는 CFA (Cross Field Antenna)의 경우는 물리적인 제한선 이하에서도 상용 안테나의 Q-factor 특성을 보임으로서 전기적으로 작은 크기에서도 충분히 상용 안테나로의 제작이 가능할 것으로 판단되어진다. 물론 CFA는 근접 전계 특성의 개선을 위해 대칭 수직 정렬된 두 안테나간의 위상차와 적절한 전류비를 공급해야 하는데, 안테나 입력단에서의 실제 제작이 굉장히 힘이 들고, 또한 비용이 상대적으로 높아질 뿐더러 특성 측정에서 상당한 문제점들이 지적되어지고 있다.

III. 맺 음 말

이상으로 '내장형 안테나' 라는 주제로 핸드폰 단말기용 안테나의 한정된 분야로 살펴보았다. 최신의 안테나 기술로 관심을 받고 있는 휴대형 단말기 내장형 안테나 기술은 각 회사별 단말기의 구조에 따라 다양한 모델이 출시되고 통신기기의 기구물 구조 및 SAR 영향을 고려한 디자인뿐만 아니라, 고효율의 방사특성을 가진 소형 내장형 안테나 연구가 활발히 연구되어지고 있다.

참 고 문 헌

[1] <http://www.microflash.com>, World Information Tech.
 [2] The InTenna Group(www.intenna.com)
 [3] 문정익, 박성욱, "PCS 및 IMT-2000 이중대역용 광대역 세라믹 유전체 안테나 설계", 한국전자과학회 논문지, 11(6), pp. 996-1006, 2000년 9월.

[4] 이종환, 우종명, 김현학, 김경용, "PCS용 표면실장형 칩 유전체 세라믹 안테나 설계", 한국전자과학회 논문지, 11(1), pp. 55-62, 2000년 1월.
 [5] Sangman Moon, "Folded meander line and multilayered dielectric chip antenna for surface mount", *Microwave Conference, 2001. APMC 2001*. vol. 2 , pp. 472-475, 2001.
 [6] Jeemyun Lee, Chanik Jeon and Bomson Lee, "Design of ceramic chip antenna for bluetooth applications using meander lines", *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2002. IEEE* , vol. 4, pp. 68-71, 2002.
 [7] 문정익, 박성욱, 이덕재, 왕영성, 이충국, "소형 고이득 Bluetooth용 칩형 유전체 안테나 설계", 한국전자과학회 논문지, 12(6), pp. 983-993, 2001년 10월.
 [8] Dae-Sik Yim, Seong-Ook Park and Chung-Kook Lee, "A novel small size and wide-band internal chip antenna for IMT-2000", *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2002. IEEE* , vol. 3, pp. 18-21, 2002.
 [9] <http://www.ltcc.de/>
 [10] L. J. Chu, Physical Limitations of Omni-Directional Antennas, *Journal of Applied Physics*, 1948.
 [11] R. C. Hansen, "Fundamental Limitations in Antennas", *Proceedings of the IEEE*, vol. 69, no. 2, Feb. 1981.
 [12] Dale M. Grimes, Craig A. Grimes, "The Complex Poynting Theorem Reactive Power, Radiative Q, and Limitations on Electrically Small Antennas", *IEEE*, 1995.
 [13] Craig A. Grimes, "The Poynting Theorems and the Potential for Electrically Small Antenna", *IEEE*, 1997.

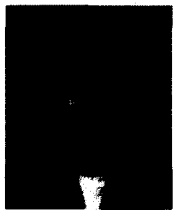
[14] Craig A. Grimes, Gang Liu, Keat Ghee Ong and James E. Lumpp, Jr, "Time and Frequency Domain Numerical Modeling of Outbound and Standing Power from Perpendicularly Oriented,

Electrically Small TM Dipoles", *IEEE*, 1998.

[15] J. S. Mclean, "The Application of the Method of Moments to the Analysis of Electrically-small "Compound" Antenna", *IEEE*, 1995.

≡필자소개≡

문 정 익



1996년 2월: 영남대학교 전기공학과 (공학사)

1998년 2월: 영남대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)

2000년 2월: 한국정보통신대학원대학교 공학부 (공학석사)

2000년 3월~현재: 한국정보통신대학원

대학교 공학부 박사과정

[주 관심분야] 전자장 수치해석, 소형/고효율 안테나 설계

최 동 혁



1999년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)

2001년 2월: 한국정보통신대학교 공학부 (공학석사)

2001년 3월~현재: 한국정보통신대학교 공학부 박사과정

[주 관심분야] 능·수동 시스템 전자장 수치해석 및 설계

박 성 욱



1987년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1993년 8월: 한국통신 인력개발본부

1997년 3월: Arizona State University, Electrical Engineering (공학박사)

1997년 9월~현재: 한국정보통신대학원대학교 조교수

[주 관심분야] 광대역 소형 안테나의 설계 및 분석, 전자파의 복사 및 산란, 전자장 수치 해석 기법 등.