

휴대 단말기용 하이브리드 MIMO 안테나

Hybrid MIMO Antenna for the Mobile Handset

손 태 호
(Taeho Son)

요 약

모노폴과 IFA(Inverted F Antenna)가 함께 동작하는 하이브리드 안테나를 이용한 MIMO(Multi Input Multi Output) 안테나를 설계한다. 안테나 공간을 줄이기 위하여 Vlade(Vertical lade)기법을 적용하며, 데이터통신을 위해 베어보드 상 하단에 대각선으로 급전하는 MIMO 안테나를 설계한다. 설계를 위한 각 부분 길이를 변수로 하여 반사손실 특성의 변화를 나타낸다. LTE700, CDMA, GSM, DCS, PCS 및 WCDMA의 6중 주파수대역에서 동작하는 안테나를 설계하고 이를 구현한다. 구현된 안테나에 대한 반사손실 측정결과, VSWR 3:1 기준으로 설계대역 전체를 만족하였다. 또한 안테나에 대한 방사특성은 LTE700/CDMA/GSM 주파수대역에서 평균이득 -3.76 ~ -2.53dBi 및 42.06 ~ 55.84%의 효율, DCS/PCS/ WCDMA 주파수대역에서는 평균이득 -3.27 ~ -1.21dBi 및 47.08 ~ 75.6%의 효율을 보였다. MIMO특성 중 중요한 요소인 2안테나 간의 분리도는 전 밴드에서 -8.14 ~ -25.77dB로써 양호한 특성을 보였다.

핵심어 : 내장형안테나, 하이브리드안테나, MIMO안테나, 블레이드, 이동단말기

Abstract

A hybrid MIMO(Multi Input Multi Output) antenna which is operating both a monopole and a IFA(Inverted F Antenna) is designed. It's applied Vlade(Vertical lade) technique to reduce antenna space, and a diagonally fed MIMO antenna is designed on the bare board for the data communication. Return losses due to variables of antenna length are simulated for the design. Antenna for the hexa-frequency band of LTE700, CDMA, GSM, DCS, PCS and WCDMA is designed and implemented. This antenna is satisfied 3:1 VSWR over the whole design band by the measurement of return loss. And average gains and efficiencies were -3.67 ~ -2.53dBi and 42.06 ~ 55.84% for LTE700/CDMA/GSM frequency band, -3.27 ~ -1.21dBi and 47.08 ~ 75.6% for DCS/PCS/WCDMA frequency band. The isolation between 2 antenna that is one of important factors for the MIMO system was measured good performance as -8.14 ~ -25.77dB over the whole service band.

Key words : Internal antenna, Hybrid antenna, MIMO antenna, Vlade, Mobile handset,

† 본 연구는 순천향대학교 학술연구비의 일부 지원으로 수행하였음
주저자 : 순천향대학교 정보통신공학과 교수
† 논문접수일 : 2013년 5월 2일
† 논문심사일 : 2013년 5월 26일
† 게재확정일 : 2013년 6월 18일

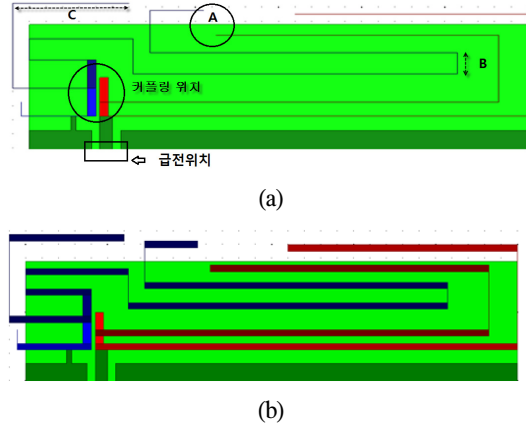
I. 서 론

요즘 휴대 단말기는 데이터통신을 근간으로 하고 있다. 3G 및 4G 단말기는 물론 2G 단말기까지도 데이터 서비스를 시행하고 있기 때문이다. 이러한 데이터통신을 위하여 MIMO시스템이 적용되고 있어서 휴대 단말기에는 여러 개의 안테나가 소용되고 있다. 더구나, 기존의 많은 상용 이동서비스와 함께 동작하도록 설계됨으로써 단말기 안테나는 다중대역 특성을 가져야 한다. 이러한 서비스의 다양성에 따라 단말기 내 공간이 더욱 협소하게 되어 안테나의 공간에도 많은 제약이 따르고 있다. 이는 대역폭을 좁게 하고 안테나의 평균이득 및 방사효율을 저하시키는 요인이 되고 있다. LTE(Long Term Evolution)가 상용화됨에 따라 MIMO시스템의 4G 서비스가 현재 제공되고 있다. 그러나 LTE700 대역은 주파수가 낮은 관계로 MIMO시스템 적용이 용이하지 못한 실정이다. 이는 스마트폰 크기가 0.25~0.35 파장의 작은 공간에 700MHz대 안테나를 2개 이상 설치하기가 매우 어렵기 때문이다. 이에 따라 소형임에도 낮은 대역을 커버하고, 효율이 높은 안테나에 관한 연구가 진행되고 있다 [1-4].

본 연구는 LTE700을 포함하는 휴대 단말기용 MIMO안테나 설계에 관한 연구이다. 안테나의 광대역화를 위해 하이브리드 안테나를 사용한다.[4-6] 시스템 급전을 모노폴에 급전하고 커플링을 이용하여 IFA가 동작하도록 함으로써 모노폴과 IFA가 동시에 동작하여 광대역특성을 갖도록 한다. 안테나의 소형화를 얻기 위해 방사도체가 기판과 수직으로 형성되는 Vlade기법을 적용한다.[6,7] 하이브리드 안테나를 기판 상하면에 설치하고 대각선 급전의 MIMO안테나로 설계한다. LTE700(704~787MHz), CDMA(824~894MHz), GSM(880~960MHz), DCS (1710~1880MHz), PCS(1850~1990MHz), WCDMA (1920~2170MHz) 6중 이동통신 서비스대역에서 동작하는 하이브리드 MIMO 안테나를 설계하고 이를 베어 보드(bare board)에 구현한다. 구현된 안테나를 측정하여 이론치와 비교하며, 이를 고찰한다.

II. 하이브리드 안테나의 구조

<그림 1>은 본 연구의 안테나인 하이브리드 안테나의 구조에 대한 그림을 나타낸 것이다.

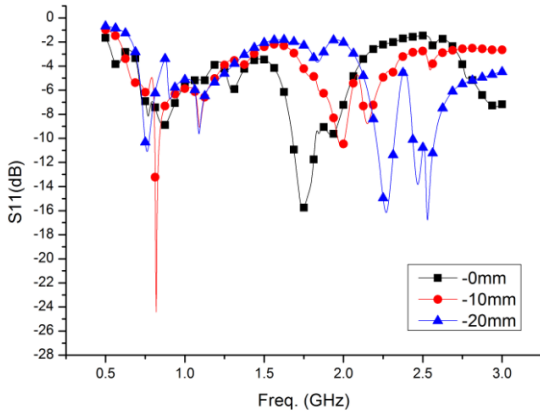


<그림 1> 하이브리드 안테나구조(정면(a), 기울임(b))
<Fig. 1> Structure of hybrid antenna (front(a), inclined(b))

<그림 1>에서 안테나는 가로x세로 69.5x14.5mm 크기이다. 안테나의 방사도체는 <그림 1-b>와 같이 기울였을 때 그림과 같이 기판과 수직으로 세워진 Vlade 구조이다. Vlade 구조는 안테나도체를 세움으로써 소형화에 유리한 것은 이미 알려진 사실이다 [6,7]. <그림 1>에서 안테나에 대한 시스템의 급전은 좌하단에 급전된다. +급전은 2가닥의 모노폴에 급전되고, 동그라미로 그려진 원 부분의 커플링을 거쳐 단락 및 개방 스텝(stub)을 갖는 IFA로 커플링된다. 따라서 1개의 급전으로 모노폴과 IFA가 동작하는 하이브리드가 된다. 이러한 커플링구조의 하이브리드는 소형의 안테나임에도 불구하고 700MHz대의 낮은 대역 공진특성과 광대역 특성을 가지고 있다. 위 안테나는 IFA가 단락 스텝뿐만 아니라 개방 스텝을 포함하고 있다. 단락 스텝의 경우 단말기 제조회사에서 설계재원으로 주어지기 때문에 설계 변수로서 역할을 하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 개방 스텝을 설계 변수로 적용하였다. 개방 스텝 길이에 따른 특성변화는 뒤에 나타내기로 한다.

<그림 1> 안테나에 대한 설계 특성으로는 많은 것이 있으나, 본고에서는 특히 중요한 3가지에 대

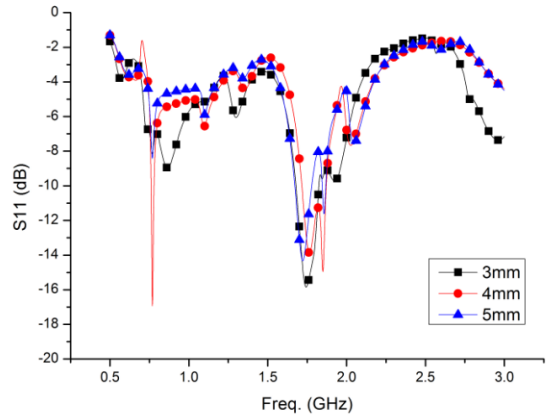
한 변화를 나타내고자 한다. 먼저 모노폴과 IFA의 길이가 그림의 길이와 10mm, 20mm 짧아질 때 변화에 따른 반사손실 특성의 변화를 나타내면 다음 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 그림 1의 A 길이 변화에 따른 반사손실
<Fig. 2> Return losses due to A length variation in the Fig. 1

<그림 2>에서 길이가 짧을수록 800MHz대 낮은 대역에서는 큰 변화는 없지만 대역폭이 좁아져 낮은 주파수 적용이 불가하게 나타나고 있다. 또한 높은 주파수대역에서는 1700MHz대역을 벗어나 높은 주파수로 공진이 옮겨지는 것을 알 수 있다. 모노폴과 IFA 하이브리드 안테나의 경우 IFA 길이에 의해 낮은 주파수를 맞추고, 모노폴의 길이로 대역특성을 맞추고 있다. 그러나 Vlade를 적용하여 선로 간격이 좁을 경우, 모노폴과 IFA가 길이에 대해 구분이 잘 되지 않고 서로 종속적으로 변화하기 때문에 설계가 쉽지 않다.[7] 따라서 다른 연구와 같이 모노폴 및 IFA 길이에 따른 변화를 나타내지 않고 <그림 2>에서와 같이 두 안테나 길이가 함께 변화할 때 특성을 나타낸 것이다.

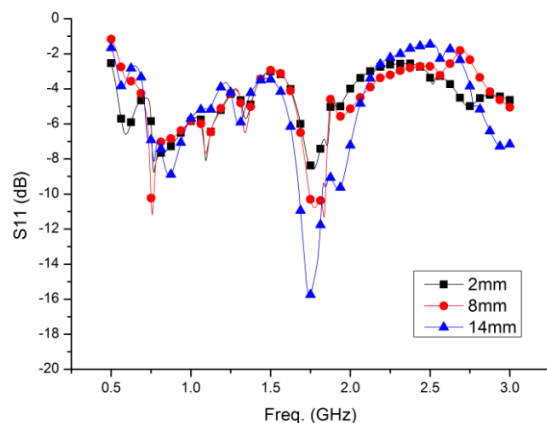
다음은 IFA 선로 간격인 <그림 1>의 B부분 변화에 따른 반사손실 특성을 시뮬레이션하여 나타낸다.



<그림 3> 그림 1의 B 길이 변화에 따른 반사손실
<Fig. 3> Return losses due to B length variation in the Fig. 1

<그림 3>은 IFA 선로 폭을 3~5mm, 1mm간격으로 했을 때 반사손실 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 공진주파수 특성은 거의 변화가 없으나, 대역폭과 반사손실 크기에 변화를 주고 있다. 폭이 넓어질수록 대역폭이 좁아지고 반사손실이 나빠짐을 알 수 있다. 이는 IFA 선로 폭인 B부분이 증가하면 모노폴과 가까워져 간섭을 일으키기 때문으로 사료된다.

<그림 4>는 <그림 1>의 C부분인 IFA의 개방 스텝 길이 변화에 따른 반사손실 특성을 시뮬레이션한 것이다.

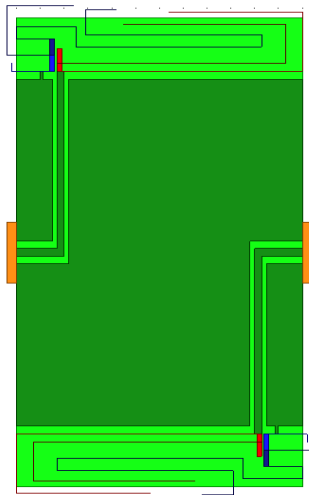


<그림 4> 그림 1의 C 길이 변화에 따른 반사손실
<Fig. 4> Return losses due to C length variation in the Fig. 1

개방 스텝의 길이를 2, 8, 14mm로 6mm 간격으로 늘리면 <그림 4>에서와 같이 높은 주파수 대역에서 공진주파수가 낮아짐을 알 수 있다. 이는 개방 스텝의 길이가 높은 주파수에 영향을 미침을 나타내고 있다. 하지만 낮은 주파수대역에는 그다지 영향을 미치지 않고 있다.

III. MIMO 안테나 설계 및 제작

II장에서 시행한 시뮬레이션을 토대로 LTE700, CDMA, GSM, DCS, PCS 및 WCDMA의 6중 이동통신 서비스대역에서 동작하는 하이브리드 MIMO 안테나를 설계하고 이를 베어보드에 구현한다. 베어보드에의 구현은 비록 실제 단말기 상황과는 다르지만, 선행연구 안테나에 대한 구현에서는 업계에서도 널리 사용하는 방법이다. 본 연구에서 사용된 베어보드의 치수는 가로x세로x높이가 114x69.5x 0.8mm이다. 이는 기존 4G 상용제품의 보드 크기와 동일한 치수이다. MIMO시스템 적용을 위하여 안테나를 <그림 5>와 같이 보드 상하에 위치시키고 대각선으로 급전한다. 대각선 급전방식은 MIMO안테나에서 널리 적용하는 방식이다.[3]



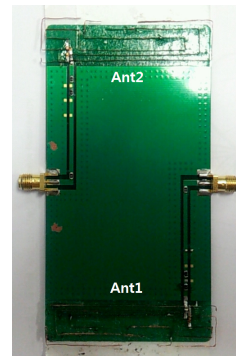
<그림 5> 설계된 MIMO 안테나 형태
<Fig. 5> Shape of designed MIMO antenna

<그림 5>와 같이 설계한 MIMO 안테나에 대한 치수별 제원은 다음 <표 1>과 같다.

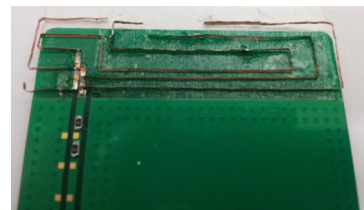
<표 1> 설계된 안테나의 길이 제원
<Table 1> Length spec. of the designed antenna

| Description | | Length [mm] |
|---------------|-------|-------------|
| Monopole | upper | 93.0 |
| | lower | 91.5 |
| IFA | | 119.0 |
| Open stub | upper | 35.0 |
| | lower | 10.0 |
| Gap of feeder | | 5.0 |

<표 1>과 같이 최종 설계된 안테나를 FR4 기판을 이용하여 구현한 그림은 다음 <그림 6>과 같다.



(a)

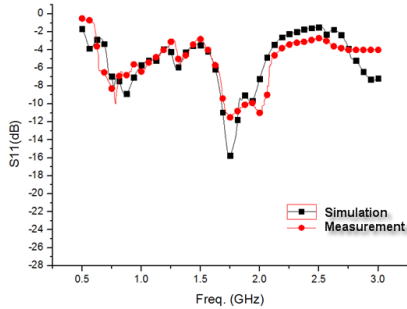


(b)

<그림 6> 구현한 안테나(정면(a), 확대(b))
<Fig. 6> Implemented antenna(front view(a), expanded view(b))

안테나에 대한 구현은 PCB(Printed Circuit Board)로 된 베어보드에 동판을 이용하였다. 커플링 부분과 Vlade 부분은 납땜으로 뺐하였다. <그림 6>과 같이 구현된 안테나의 측정은 휴대 단말기 안테나 측

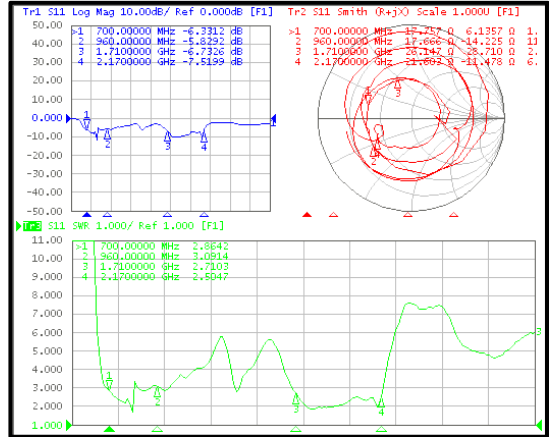
정방식인 네트워크 분석기에 의한 반사손실과 무반사실에서의 방사패턴, 안테나이득 및 효율 등의 방사특성이다. 먼저 Agilent사 네트워크 분석기에 의해 측정된 안테나의 반사손실과 설계 시뮬레이션 특성을 비교한 그림은 다음 그림과 같다.



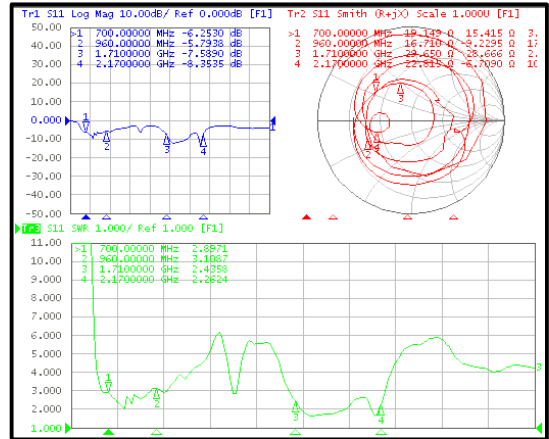
<그림 7> 측정 및 시뮬레이션 반사손실 비교
<Fig. 7> Comparison return loss between measurement and simulation

<그림7>에서 보듯이 측정치는 시뮬레이션과 잘 일치하고 있다. 낮은 주파수 대역에서는 700MHz대 LTE대역에서 GSM대역까지, 높은 주파수 대역에서는 DCS대역에서 WCDMA대역까지 휴대폰 업체의 안테나 규격인 VSWR 3:1(S11 = -6dB)을 잘 만족하고 있다.

<그림 6>의 구현된 안테나 1과 2에 대한 측정된 세부적인 반사손실을 나타내면 다음 <그림 8>과 같다.



(a)



(b)

<그림 8> 각 안테나의 세부 반사손실(안테나1(a), 안테나2(b))
<Fig. 8> Detailed return losses of each antenna (antenna1(a), antenna2(b))

<그림 8>에서 (a)는 <그림 6>의 안테나1에 대한 반사손실을 측정된 것이고, (b)는 안테나2에 대한 반사손실을 측정된 것이다. <그림 8>에서 조금의 오차가 발생하는 것은 2개의 안테나 제작이 동일하지 않기 때문이다. 대각선 급전의 경우 제작이 동일할 경우 특성이 같다. 하지만 2 안테나 모두가 설계 대역인 6중 대역을 VSWR 3:1 혹은 반사손실 -6dB 내에 있는 넓은 대역특성을 보이고 있다.

MIMO 안테나의 또 다른 중요특성은 2 안테나간의 분리도(isolation)이다. 분리도의 경우 주파수가 낮을수록 높은 분리도를 얻기 힘들다. 2 안테나 간 분리도를 위한 연구는 많이 있으나 대부분 안테나

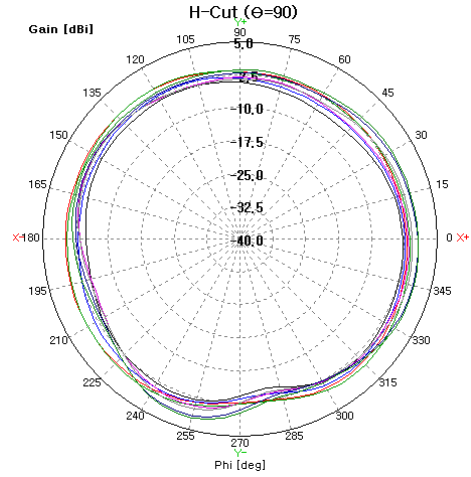
사이 접지 모양을 변화시키는 방법에 관한 연구이다. 휴대 단말기의 경우, 안테나 사이에는 여러 부품과 시스템이 있기 때문에 이러한 연구결과물을 적용하기 불가하다. MIMO 시스템의 통신채널에서 분리시킬 수 있지만, 근본적으로 시스템적으로는 안테나 간 분리도를 최소 -8dB 요구하고 있다. 본 연구에서 2 안테나 간 분리도를 측정한 그림은 다음 <그림 9>와 같다.



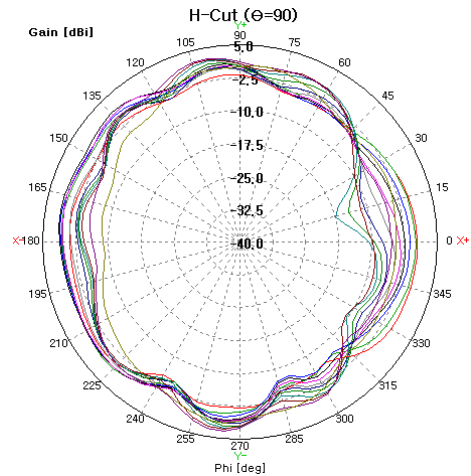
<그림 9> 2 안테나 분리도
<Fig. 9> Isolation between 2 antennas

<그림 9> 2 안테나 간 분리도는 LTE대역의 가장 낮은 주파수인 700MHz에서 -8.14dB이고 WCDMA 대역의 가장 높은 주파수인 2170MHz에서 -20.418dB이다. 설계 대역인 6중 전체 대역에서는 -8.14 ~ -25.77dB로써 시스템의 최저 분리도인 -8dB를 만족하고 있다.

제작 안테나 1에 대한 2D (2 Dimensional) 방사패턴 특성은 <그림 10>과 같다. <그림 10>은 H면 방사패턴을 나타낸 것이다. 휴대 단말기 경우 H면, E1면, E2면 방사패턴이 있다. E1 및 E2면 패턴은 그다지 중요하지 않다. 이는 휴대 단말기가 수평방향으로 무지향 특성을 가져야 하며, 수직방향으로의 지향성 유무는 중요하지 않기 때문이다.



(a) LTE/CDMA/GSM

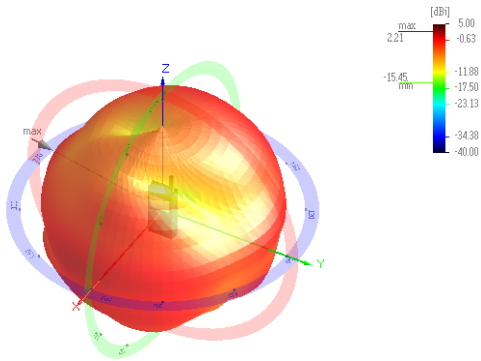


(b) DCS/PCS/WCDMA

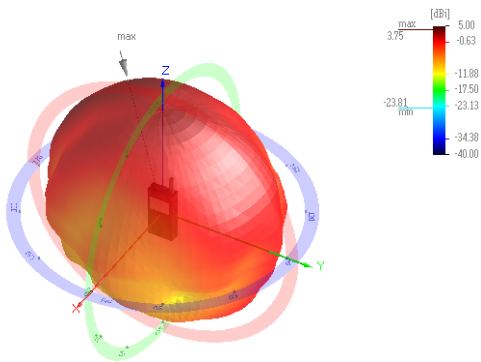
<그림 10> 측정된 H면 방사패턴
<Fig. 10> Measured H-plane radiation pattern

방사패턴의 측정은 H면, E1면 및 E2면이 측정된다. 여기서 H면 패턴이란 휴대 단말기를 세웠을 때 수평패턴을 말하고, E1면 패턴은 단말기 앞뒤방향 패턴이며, E2면 패턴은 단말기 측면방향 패턴이다. 이는 휴대 단말기 패턴의 정의에 따른 것이다. <그림 10>에서 주파수 표시를 하지 않은 것은 <표 2>에 나타난 주파수별 효율 및 평균이득을 보면 알 수 있기 때문이다. <그림 10>의 H면 방사패턴은 LTE/CDMA/GSM의 낮은 주파수대역에서는 무지향성 패턴을 보인다. DCS/PCS/WCDMA의 높은 주파

수대역에서도 거의 무지향 특성을 보이고 있다. 일부 대역에서 15도 방향으로 약간의 찌그러짐이 나타나고 있으나, 이는 높은 주파수 대역에서 나타나는 현상으로 널(null)이 발생하지 않는 한 패턴으로서 문제가 되지 않는다. 안테나 2에 대한 방사패턴도 <그림 10>의 안테나 1 특성과 유사하여 나타내지 않기로 한다. H, E1 및 E2 방사패턴을 모두 볼 수 있는 안테나 1에 대한 3D 방사패턴을 나타내면 다음 그림과 같다.



(a) 830MHz



(b) 1940MHz

<그림 11> 측정된 3차원 방사패턴
<Fig. 11> Measured 3 dimensional radiation pattern

<그림 11>의 방사패턴은 지면상 낮은 주파수대역인 LTE700~GSM의 중심주파수인 830MHz에서, 높은 주파수대역인 DCS-WCDMA의 중심주파수인 1940MHz에서의 3D 방사패턴을 보였다. 안테나 2의 3D 방사패턴 역시 <그림 11>과 같기 때문에 생략하기로 한다.

이득 및 효율 측정은 방사 패턴 측정과 동시에

이루어진다. 이를 나타내면 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> 측정된 방사효율 및 평균이득
<Table 2> Measured radiation efficiency and average gain

| Freq. [MHz] | Ant1 | | Ant2 | |
|-------------|----------|-----------|----------|-----------|
| | Eff. [%] | Gav [dBi] | Eff. [%] | Gav [dBi] |
| 700 | 42.40 | -3.73 | 47.55 | -3.23 |
| 740 | 48.34 | -3.16 | 50.97 | -2.93 |
| 780 | 42.06 | -3.76 | 42.99 | -3.67 |
| 820 | 43.00 | -3.67 | 39.93 | -3.99 |
| 860 | 44.32 | -3.53 | 47.57 | -3.23 |
| 900 | 48.94 | -3.10 | 49.98 | -3.01 |
| 940 | 55.37 | -2.57 | 55.17 | -2.58 |
| 960 | 55.84 | -2.53 | 55.60 | -2.55 |
| 1710 | 47.08 | -3.27 | 53.87 | -2.69 |
| 1750 | 60.65 | -2.17 | 66.85 | -1.75 |
| 1790 | 63.75 | -1.95 | 68.50 | -1.64 |
| 1830 | 71.04 | -1.48 | 75.60 | -1.21 |
| 1870 | 73.91 | -1.31 | 75.45 | -1.22 |
| 1910 | 64.91 | -1.88 | 65.94 | -1.81 |
| 1950 | 61.62 | -2.10 | 63.55 | -1.97 |
| 1990 | 67.58 | -1.70 | 69.18 | -1.60 |
| 2030 | 67.33 | -1.72 | 68.59 | -1.64 |
| 2070 | 60.44 | -2.19 | 62.50 | -2.04 |
| 2110 | 58.68 | -2.31 | 63.83 | -1.95 |
| 2170 | 58.04 | -2.36 | 57.02 | -2.44 |

측정결과 안테나 1은 LTE700/CDMA/GSM밴드에서 평균이득 -3.76 ~ -2.53dBi 및 42.06 ~ 55.84%의 효율이 측정되었고, DCS/PCS/WCDMA밴드에서는 평균이득 -3.27 ~ -1.31dBi 및 47.08 ~ 73.91%의 효율을 보였다. 또한 안테나 2는 LTE700/CDMA/GSM밴드에서 평균이득 -3.67 ~ -2.55dBi 및 42.99 ~ 55.6%의 효율이 측정되었고, DCS/PCS/WCDMA밴드에서는 평균이득 -2.69 ~ -1.21dBi 및 53.87 ~ 75.6%의 효율을 보였다. <그림 8>의 반사손실 측정에서와 같이, 2개 안테나가 같은 구조임에도 불구하고 방사효율 및 평균이득에서 약간의 오차를 보이고 있는 것은 안테나를 구현할 때 정확하게 같게 구현하지 못하였기 때문이다. 그럼에도 2개 안테나의 방사특성은 오차범위 내 거의 같게 측정되었다고 볼 수 있다. 이들 특성은 데이터 휴대 단말 이동통신용 뿐만 아니라 차량 ITS(Intelligent Transportation System) 등의 안테나로 적용되기에 충분한 특성이라고 생각한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 모노폴과 IFA가 동작하는 하이브리드 안테나를 이용하여 데이터통신 휴대 단말기를 위한 MIMO안테나를 설계하였다. 시스템 급전은 모노폴에 급전하고 커플링에 의해 IFA가 동작하도록 하였다. 안테나의 크기를 줄이기 위해 방사도체가 기관과 수직으로 세워진 Vlade기법을 적용하였다. 같은 형태의 2개 안테나를 기관 상하면에 위치시키고 대각선 급전을 하였다. 안테나 설계는 LTE700의 데이터 통신대역 이외 상용 이동통신대역 모두를 커버하는 LTE700/CDMA/GSM/DCS/PCS/WCDMA의 6중 대역을 만족하도록 설계하였다. 실제 단말기 크기의 베어보드에 구현한 안테나를 측정한 결과 설계대역에서 VSWR 3:1이하를 만족하였다. 방사특성은 2개 안테나 공히 LTE700/CDMA/GSM밴드에서 평균이득 -3.67 ~ -2.53dBi 및 42.06 ~ 55.84%의 효율이 측정되었고, DCS/PCS/ WCDMA밴드에서는 평균이득 -3.27 ~ -1.21dBi 및 47.08 ~ 75.6%의 효율을 보였다. 휴대 단말기 경우 많은 시스템과 부품이 안테나 주위에 산재하여 특성에 영향을 미치므로 본 연구결과와 같게 나오지 않겠지만, 이 연구의 설계방식은 휴대 단말기 설계 실무에 도움을 줄 수 있으리라 생각한다.

참고문헌

- [1] Taeho Son, Youngmin Jo "Multiband miniature FPCB antenna for the mobile phone", Technical Digest of KJJC 2011(Fukuoka), pp.218-220, November 2011
- [2] Fang-Hsien Chu, Kin-Lu Wong, "Planar printed strip monopole with a closely-coupled parasitic shorted strip for eight-band LTE/GSM/UMTS mobile phone" IEEE Trans. on Antenna and Propagation, vol. 58, no. 10, pp.3426-3431, October 2010
- [3] Yu-Jiun Ren, "Ceramic based small LTE MIMO handset antenna", IEEE Trans. on Antenna and Propagation, vol. 60, no. 6, pp.2880 - 2885, June 2012
- [4] Seungjin Lim, Taeho Son, "Hybrid antenna for the all band mobile phone service including LTE", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic and Science, vol. 22, no. 7, pp.737-743, July 2011
- [5] Gitak Yoo, Taeho Son, et al. "Design of the hybrid MIMO antenna for the 4G all band mobile communication service", The Proceeding of the Microwave and Wave Propagation Spring Conference, vol. 35, no. 1, pp.47, May 2012
- [6] Gyujong Oh, Taeho Son, "Vlade hybrid antenna for the mobile phone handset terminal", The Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, vol. 11, no. 4, pp.165-169, August 2011
- [7] Moonkyu Chun, Taeho Son, "Vlade solution for the efficiency improvement of mobile phone antenna", The Proceeding of the Korea ITS Fall Conference, vol. 10, no. 1, pp.128-130, May 2011

저자소개



손 태 호 (Taeho Son)

1990년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)
1986년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)
1979년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학사)
1990년 ~ 현 재 : 순천향대학교 정보통신공학과 교수
2007년 ~ 현 재 : (주)스카이크로스 기술고문
2002년 ~ 2007년 : (주)에스비텔콤, (주)하이트랙스 기술고문
2000년 ~ 2003년 : (주)넷시텔레콤 위촉 연구소장
1999년 ~ 2000년 : University of Illinois 연구교수
1992년 ~ 1994년 : 천문우주연구원 객원연구원
1980년 ~ 1981년 : 영국 Ferranti사 연구원
1978년 ~ 1987년 : 금성정밀(주) 중앙연구소 근무
<관심분야> 위성통신, 휴대폰, RFID용 안테나설계, 자동차용 전장품 개발