

광대역 기판 인쇄형 톱날구조를 갖는 모노폴 안테나 설계

The Design of Wideband Printed Saw Tooth Monopole Antenna

김남기 · 고진현 · 하재권 · 이승엽*

Nam-Ki Kim · Jin-Hyun Go · Jae-Kwon Ha · Seung-Yeop Rhee*

요 약

본 논문에서는 안테나 방사부를 톱날의 모노폴 구조를 가지면서 이면(裏面)의 접지 면적을 변화시키는 임피던스 정합 방법을 적용하여 광대역 특성을 갖는 안테나를 제안한다. 제안된 안테나의 길이는 $\lambda/4$ 파장보다 작고, 대역폭은 2:1 VSWR의 범위에서 89.6 %, 0.8 GHz~2.0 GHz에서의 안테나 이득은 -0.02 dBi~ 2.54 dBi를 얻었으며 방사패턴은 모노폴 안테나와 유사한 패턴을 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose a printed monopole antenna called the saw tooth monopole antenna(STMA) with a very wide band. And impedance matching of the antenna for the wideband is achieved using a special matching structure to vary ground size of back plate. The proposed antenna is smaller than general $\lambda/4$ monopole antenna in size but provides a 2:1 VSWR bandwidth of about 89.6 %. The radiation pattern is omni-directional at 0.8 GHz~2.0 GHz with gain of about -0.02 dBi~ 2.54 dBi.

Key words : Printed Antenna, Monopole, Broadband

I. 서 론

최근 이동 통신 시장은 매우 빠른 속도로 변화하고 규모의 성장성도 예측하기 어려울만큼 발전하고 있어서, 이동 통신 장치에 사용되고 있는 RF 부품의 종류는 매우 다양화, 소형화되고 있다. 이에 따라 전기적 신호를 전자파 신호로 변화해 주는 안테나도 기본적인 기능 향상 이외에도 제품의 다양화 및 기능향상에 부합되도록 설계 제작해야 하는 상황이다. 특히, 향후 이동통신 서비스 및 기기들은 하나의 단말기로 다수의 서비스들을 제공해야 한다. 따라서, 단말기는 멀티 모드(Multi-Mode) 기능을 가져야 하며 소형, 경량, 박형의 구조적인 제한과 기능 및 성능을 가져야 하기 때문에 안테나의 성능은 시스템 성능을 좌우하는 결정인 소자로 대두되고 있다. 그러므로

이동 혹은 휴대용 단말 장치 기술 개발의 관건은 안테나 기술발전과 그 맥을 같이 할 것으로 예상된다.

일반적으로 이동통신 단말기에는 동일 기판상에 형성된 $\lambda/4$ 모노폴 형태의 안테나가 사용된다. 이처럼 단말기 내에 장착될 경우 안테나 자체의 크기가 문제점이 될 뿐만 아니라 확보될 수 있는 접지면의 크기가 안테나의 크기에 비해 상대적으로 작게 될 수밖에 없다. 그리고 모노폴 안테나의 특성인 좁은 대역폭은 또 다른 매우 큰 단점이다^{[1],[2]}.

선형 모노폴 안테나의 대역폭 단점을 개선을 위해 안테나의 지름을 늘리는 방법을 일반적으로 사용했으며, 다른 방법으로는 선형 모노폴 형태를 평면화 시킨 평면 모노폴 안테나 형태를 사용하였다. 이처럼 평면 모노폴에 대한 연구는 1940년대 코니컬과 삼각형 모양의 모노폴 안테나에 대해 실험적 및 이

블루웨이브텔(주)(BluewaveTel Co., Ltd.)

*국립여수대학교 전자통신과(Dept. of Electronic Communication Engineering, Yosu National Univ.)

· 논문 번호 : 20040327-035

· 수정완료일자 : 2004년 9월 21일

론적으로 연구가 이루어진 이래로, 안테나의 모양을 변형시켜 직사각형, 정사각형, 육각형, 미앤더(meander) 형태 등 다양한 형태의 모노폴 안테나를 만들어 광대역 특성을 구현한 방법들이 현재까지 연구되어지고 있다^{[3]-[7]}.

본 논문에서는 Cellular와 PCS 그리고 IMT-2000의 대역폭을 모두 포함하면서 안테나의 크기를 낮은 대역의 공진 파장의 1/4 이하로 줄일 수 있는 모노폴 구조를 갖는 광대역 안테나를 설계 제작하고자 한다.

제안된 안테나는 기존의 단일 역삼각형 모노폴 안테나에 같은 모양의 역삼각형 모양의 안테나를 탑로딩(top loading)한 구조를 갖는다. 이렇게 함으로써 안테나 전체 길이를 단축시킬 수 있으며 협대역 특성을 개선시킬 수 있게 된다. 또한 이와 같은 형태의 모노폴 안테나의 정합을 위해, 급전부를 접지면의 요철을 이용하여 광대역으로 임피던스 정합을 구현하였다.

II. 안테나 설계

2-1 톱날형 평면 모노폴 안테나 구조

매우 간단한 구조와 제작의 용이성으로 인해 현재도 많이 사용되고 있는 모노폴 안테나는 전체적인 길이가 공진 주파수 파장의 약 1/4인 공진형 안테나이다. 따라서 크기는 1/2 파장의 다이폴 안테나보다는 작지만 임피던스 대역폭이 매우 좁다는 단점을 가지고 있다. 이러한 기존의 모노폴의 단점을 개선하기 위해 선형 모노폴 안테나인 경우는 안테나에 사용된 도체의 지름을 증가시키는 방법, 안테나 선단에 스파이럴 또는 원판과 같은 부하를 장착하는 방법과 안테나 부분을 원추형으로 만드는 방법 등을 사용하였다^{[3]-[7]}. 그러나 이와 같은 방법들은 소형화되고 있는 이동통신 시스템에 부착하기에는 부피가 커지는 문제점이 있다. 최근에는 모노폴 안테나 부분을 사각형, 삼각형, 원형, 타원형 등과 같은 모양으로 평면화시켜 광대역 특성을 얻는 동시에 안테나의 부피를 작게 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 평면형 모노폴 안테나의 대역폭 특성을 개선하기 위한 방법으로 그림 1과 같이 역삼각형 모양을 톱날형으로 변형시킨 안테나를 연구하고자

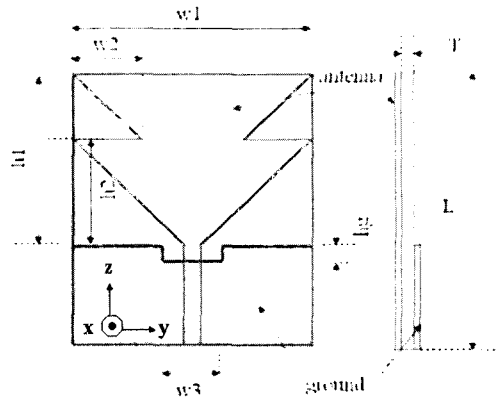


그림 1. 톱날모양의 평면 모노폴 안테나 구조
Fig. 1. Geometry of Saw tooth monopole antenna (STMA).

한다.

그림 1의 위에 있는 역 삼각형 모양은 탑 로딩 역할을 함으로써 안테나 길이를 줄이는 역할을 하게 된다. 그리고 두 삼각형 사이에서의 커패시턴스 성분으로 안테나 임피던스의 주파수 변화를 작게 하여 광대역 임피던스 특성을 이룰 수 있게 된다.

따라서 이 구조는 일반적으로 평면 삼각형 모노폴 안테나에서 변보다는 꼭지점에 급전을 하여 대역폭을 넓히는 방법과 안테나 끝단에 부하를 장착시키는 방법을 동시에 적용하여 대역폭 특성을 개선하는 방법이다.

또한, 안테나 뒷면은 급전부까지는 도체 부분을 남겨 안테나의 급전선인 마이크로스트립 선로 접지로 사용하였다. 그리고 급전선과 접지면이 만나는 지점에서 안테나부의 이면인 접지면의 일정 면적을 제거하여 급전선과 안테나를 직접 정합시키는 구조를 갖도록 하였다.

2-2 파라미터 변화에 대한 특성 변화

제안된 구조의 주요 설계 변수는 표 1에 나타내었다. 그림 1에 나타난 안테나의 설계 변수들 가운데 안테나의 전체 높이를 결정하는 것은 h_1 으로 800 MHz 대역에서도 안테나를 쓰기 위해서 60.5 mm를 초기 값을 결정하였다. 이 길이는 800 MHz를 기준으로 일반적인 1/4 파장 안테나 길이인 약 93.8 cm보다 1/3 줄어든 길이이다. 그리고 안테나의 급전선은

표 1. 제안한 안테나에 대한 파라미터 수치
Table 1. The value of parameters of antenna.

| Parameter | Value (mm) | Parameter | Value (mm) |
|-----------|------------|-----------|------------|
| w_1 | 80 | h_2 | 37 |
| w_2 | 23 | h_g | 5 |
| w_3 | 20 | T | 3.2 |
| h_1 | 60.5 | L | 95 |

50 Ω 마이크로스트립 선로를 이용하였다. 튜널형 평면 모노폴 안테나 구조의 각 치수에 대한 최적화된 파라미터 값은 표 1과 같다.

표 1과 같은 여러 설계 변수가 안테나 반사 손실에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 설계 변수에 따른 특성변화를 그림 2에 나타내었다.

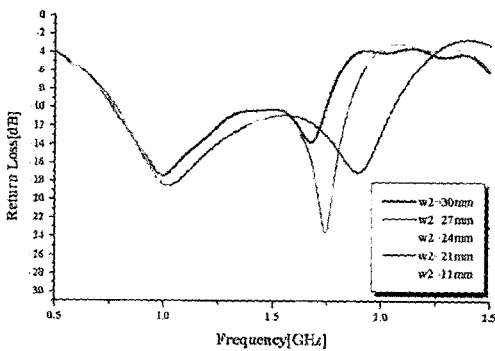
각 파라미터 영향을 연구하기 위해 상용화 툴인

CST사의 Microwave studio를 이용하여 시뮬레이션 결과를 고찰하였다.

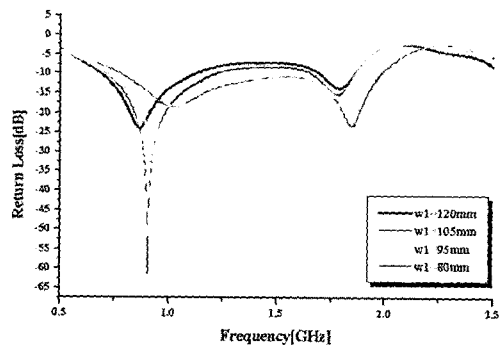
그림 2(a)는 w_2 의 변화에 대한 반사손실 변화를 그린 것이다. w_2 는 튜널링한 역 삼각형의 밑면으로 이 길이가 변화함에 따라 고주파 대역의 특성이 많이 변화함을 알 수 있다. 특히, 이 부분은 안테나의 전체 길이를 줄이는 데 큰 역할을 함과 동시에 대역폭에도 민감하게 영향을 주는 것을 알 수 있다.

그림 2(b)의 각도 변화에 따른 반사 손실특성을 보면 각도가 커질수록 저주파특성이 우세하고 각도가 줄어들수록 고주파 특성이 두드러지는데 각도가 45°일 경우 즉, w_1 길이가 80 mm일 때 주파수 특성이 좋아지면서 임피던스 특성이 50 Ω에 가장 근접하면서 대역폭이 넓어지는 것으로 나타났다.

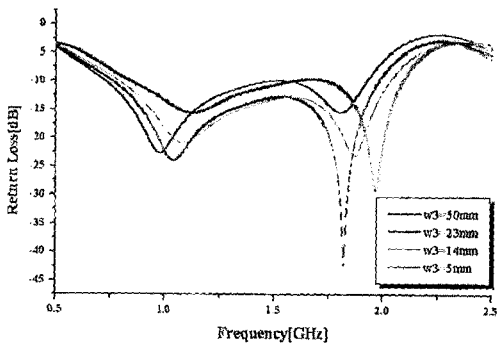
그림 2(c) 접지면의 요철 부분의 폭(w_3) 변화에 따른 특성을 시뮬레이션한 결과를 나타냈다. 시뮬레이



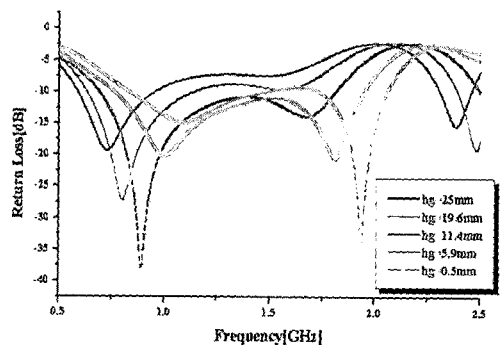
(a) w_2 에 따른 반사손실 변화
(a) Return loss for different w_2



(b) w_1 에 따른 반사손실 변화
(b) Return loss for different w_1



(c) w_3 에 따른 반사손실 변화
(c) Return loss for different w_3



(d) h_g 에 따른 반사손실 변화
(d) Return loss for different h_g

그림 2. 주요 설계 파라미터 변화에 따른 반사손실

Fig. 2. Return loss with various values of main parameters.

선 조건은 모든 파라미터는 최적의 값으로 고정시킨 상태에서 폭(w_3)을 변화시킨 것이다. 폭이 넓어질수록 낮은 주파수 대역에 영향을 주며, 폭이 좁아지더라도 대역폭에는 크게 영향을 주지는 않았다.

그림 2(d) 접지면의 요철 부분의 길이를 나타내는 h_g 에 따른 반사손실 특성 변화를 시뮬레이션한 결과이다. h_g 의 작은 변화에 반사 손실이 많이 변화함을 알 수 있다. h_g 의 변화에 따라 낮은 주파수 대역에서는 작은 임피던스 변화가 있지만 고주파 대역에서는 많은 변화가 생긴다. 이를 적절히 이용하면 안테나와 50 Ω 급전선과 간단한 구조로 직접 매칭을 이룰 수 있고 그 특성도 광대역이 된다. 특히 이 파라미터를 통해 안테나 설계할 때 커패시턴스 또는 인덕턴스 하계 정합에서 벗어난 것을 보상해 줄 수 있다.

그림 3은 단일 역삼각형 모노폴 안테나(RTMA: Reverse Triangular Monopole Antenna)와 튕날형 모노폴 안테나(STMA)와의 계산치 결과를 비교해 보면, 먼저 RTMA는 0.5 GHz부터 2.5 GHz까지 계산된 결과는 $VSWR \leq 2$ 에서 주파수 대역이 0.98 GHz~1.54 GHz로 중심 주파수 1.26 GHz를 기준으로 44 %의 대역폭을 가진다. 기본적인 모노폴 안테나보다 넓은 주파수 대역을 보인다. 단일 역삼각형 모노폴에 탐로딩 역할을 하는 로드를 추가하면 두 번 공진이 일어나 대역폭이 증가하게 된다. STMA는 주파수 대역이 0.77 GHz~1.98 GHz으로 중심 주파수 1.375 GHz를 기준으로 대역폭이 88 %이다. 제안된 구조의 안테나는 단순한 역삼각형 모델보다 중심 주파수는 거의 변화지 않았고, 주파수 대역폭은 88 %로 대역폭

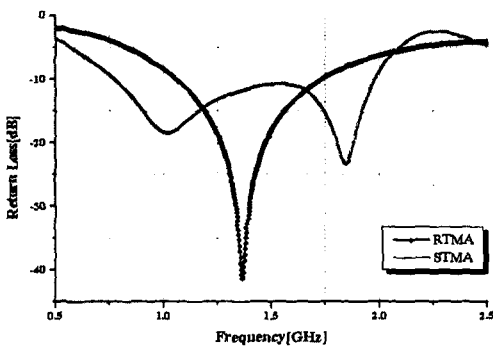


그림 3. 단일역삼각형 모노폴과 튕날형 모노폴의 반사 손실 비교
Fig. 3. Comparison of return loss of RTMA and STMA.

확장 효과가 우수함을 알 수 있다. 이와 같은 시뮬레이션 결과를 보면 본 논문에서 제안한 광대역 특성을 얻기 위한 임피던스 정합 방법의 효과는 뛰어나다고 할 수 있다.

III. 제작 및 측정

앞에서 연구한 파라미터 변화에 따른 특성변화를 토대로 안테나의 길이는 1/4 파장보다 작고 튕날모양의 방사부 그리고, 이면의 유한 그라운드를 갖고 임피던스 대역폭이 88 %($VSWR=2$) 되는 광대역 안테나를 설계, 제작하였다. 보다 넓은 대역폭을 얻기 위해 기판의 높이를 더 크게 할 수 있으나, 복사패턴의 저하와 안테나 크기의 증가로 어려움이 있어, 본 논문에서는 두께 3.2 mm이고 유전율이 4.4인 FR-4 에폭시 기판으로 안테나를 제작되었다. 그리고 안테나부 이면의 유한그라운드면의 일부분을 조절하여 효율적이면서 간편한 임피던스 정합을 취하였다.

그림 4는 위에서 제안한 안테나의 실제 제작된 모습이다. 이렇게 구현된 안테나는 Agilent사 E8362B PNA series Network Analyzer를 이용해 주파수 변화에 따른 입력임피던스 및 반사손실을 측정하였다.

그림 5는 본 논문에서 제안한 방법으로 제작된 STM 안테나의 측정된 반사손실과 입력 임피던스의 궤적을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과 거의 일치함을 알 수 있었다. 실험결과와 측정결과의 입력 임피던스 궤적의 추이를 보면 거의 일치하며, 적용대역 전체적으로 S_{11} 값이 -10 dB 이하이며 임피던스 궤적 또한 50 Ω 근처로 매칭됨을 확인할 수 있다. 중심 주파수는 1.437 GHz이고 대역폭은 0.793 GHz

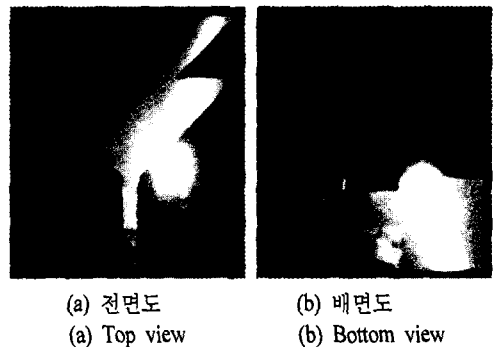
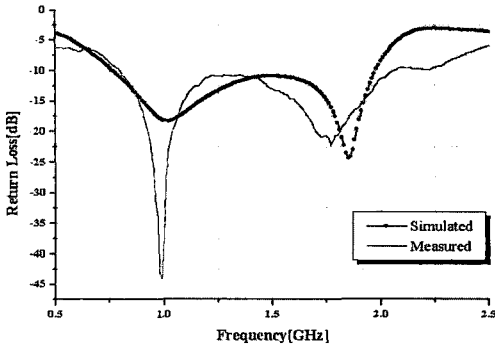
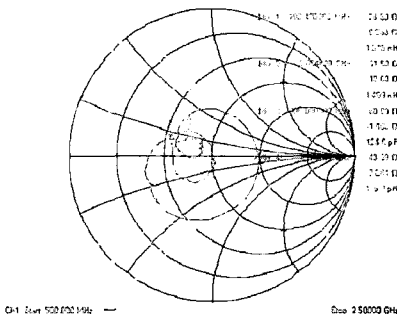


그림 4. 제안한 안테나 모델의 사진
Fig. 4. Photograph of proposed antenna.



(a) 제안한 안테나의 반사손실 계산값과 측정값
(a) Return loss simulated and measured of proposed antenna



(b) 제작된 안테나의 임피던스 궤적
(b) Smith chart of manufactured antenna

그림 5. 제작된 안테나의 측정 결과
Fig. 5. Measured results of fabricated antenna.

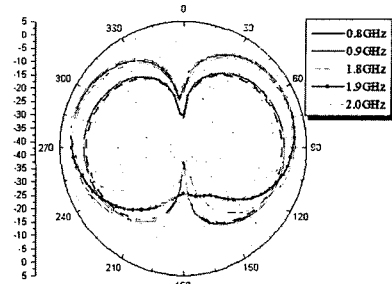
표 2. 최적화된 안테나의 계산치와 측정치의 비교
Table 2. Comparison between simulation and measurement.

| 구분 | 중심 주파수 | 주파수 대역 (VSWR ≤ 2) | 대역폭 |
|-------|-----------|----------------------|--------|
| 시뮬레이션 | 1.375 GHz | 0.77 GHz ~ 1.98 GHz | 88 % |
| 측정값 | 1.437 GHz | 0.793 GHz ~ 2.08 GHz | 89.6 % |

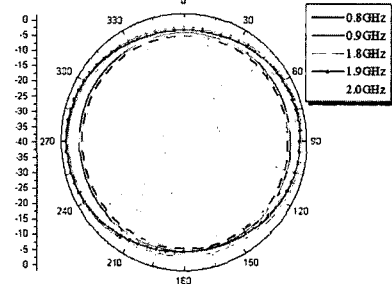
~2.08 GHz로 약 89.6 %이고, 계산 결과와의 차이는 중심 주파수에서 4.4 % 상향됐고, 대역폭은 1.6 % 증가했다.

표 2를 통해 계산된 값과 측정된 값을 비교해 놓았다. 측정값이 계산된 값보다 중심주파수가 상향되었으나, 대역폭은 유사함을 알 수 있었다.

일반적으로 안테나는 소형화하면 이득(효율), 대역이 감소하고, 안테나의 크기가 일정하다면 이득(효율)과 대역은 trade-off 관계에 있다. 시뮬레이션을



(a) yz-plane ($\theta = 90^\circ$)



(b) xy-plane ($\phi = 90^\circ$)

그림 6. 주파수별 계산치 방사패턴(E-plane, H-plane)
Fig. 6. Simulated radiation pattern.

통해 제안된 안테나의 용적에서 원하는 성능과 특성을 만족시키는 최적의 파라미터를 도출해서 얻은 방사패턴이 그림 6에서 보여주고 있다. 일반적인 1/2 파장 다이폴 안테나의 방사패턴을 가지며, 다이폴 소자의 주위에, 도넛형상의 방사 패턴을 가지며 그 전개방향은 다이폴 소자와 평행이다.

안테나 패턴 측정은 무반사실에서(5 m×10 m×5 m)에서 수행하였으며, ORBIT사에서 나온 MIDAS 3.6을 사용하였다. 제작된 안테나를 송신 안테나로 사용하고 수신 안테나로는 0.8 GHz~5 GHz까지 사용가능한 BBHA 9120A Double Ridge Broadband Horn Antenna를 사용했다. 그림 7은 제작된 안테나의 사용주파수 대역 내에서 0.8 GHz, 0.9 GHz, 1.8 GHz, 1.9 GHz, 2.0 GHz의 방사패턴 측정 결과이다. 주파수별로 각각 yz면($\theta=90^\circ$), xy면($\phi=90^\circ$)에서 측정한 방사패턴이다. 앞의 그림 6에서 살펴본 계산된 방사 패턴과 유사하게 나타남을 보인다. 측정된 방사패턴은 주파수대역 내에서 양호하나 0.8 GHz과 0.9 GHz에서 패턴이 매끄럽지 못한 이유는 제안된 안테나의 접지면의 면적이 공진 파장에 비해 충분히 확보하지 못했기에 발생된 것으로 보인다. 이 문제는

IV. 결 론

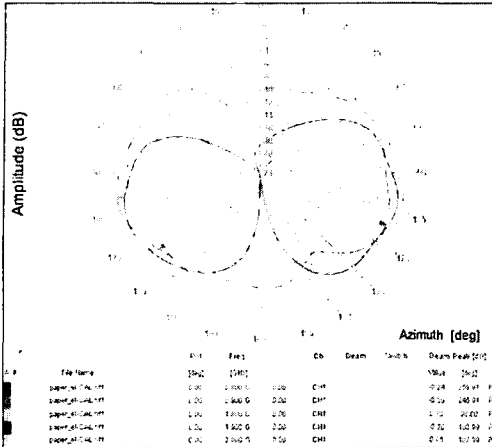
본 논문에서는 기존의 모노폴 안테나의 대역폭 특성 개선과 낮은 주파수 대역에서의 안테나 크기를 줄일 수 있는 탑 로딩된 역삼각형 모노폴 안테나에 대해 연구하였다.

안테나 부분은 단일 삼각형의 모노폴 안테나에 또 다른 역삼각형을 탑 로딩하는 구조로 하여 안테나 크기를 줄이는 효과와 더불어 아래의 역삼각형과의 전자적 결합으로 발생하는 리액티브 성분을 이용하여 대역폭을 향상시켰다. 그리고 안테나와 50 Ω 급전선을 직접적으로 정합시키기 위해, 별도의 정합회로 없이 방사부 뒷면의 접지면을 요철모양으로 만들어 정합을 시켰다. 이 정합 방법은 효율적이면서 간단한 임피던스 정합을 할 수 있는 구조이고, 제작과정에서 공진 주파수의 조율을 쉽게 할 수 있는 장점도 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

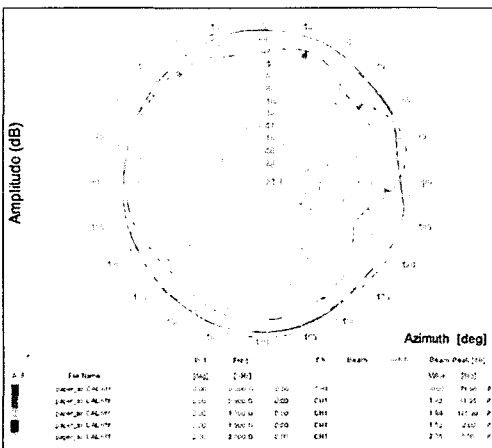
본 논문에서 제안한 방법을 적용했을 때 단일 역삼각형일 경우의 대역폭 44 %보다 두 배 증가한 89.6 %로 증가하였다. 또한, 방사패턴은 일반적인 모노폴 안테나와 유사하고 방사이득은 대역폭내 -0.02 dBi~2.54 dBi를 얻어 임피던스 광대역 특성뿐만 아니라 방사패턴도 광대역 특성을 가짐을 확인하였다. 따라서 제안한 안테나는 Cellular와 PCS 그리고 IMT-2000 대역의 무선통신용으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] K. Fujimoto, J. R. James, *Mobile Antenna Systems Handbook*, Artech House, 1994.
- [2] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory : Analysis and Design*, John Willy and Sons, Inc, pp. 441-449, 1997.
- [3] C. H. Papas, R. King, "Input impedance of wide-angle conical antenna fed by a coaxial line", *Proc. IRE*, vol. 37, pp. 1269-1271, 1949.
- [4] Girish Kumar, K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, Artech House, 2003.
- [5] Narayan Prasad Agrawal, Girish Kumar and K. P. Ray, "New wideband monopole antenna", *IEEE AP-S Digest*, vol. 1, pp. 248-251, 1997.



(a) yz-plane($\phi = 90^\circ$)



(b) xy-plane($\phi = 90^\circ$)

그림 7. 주파수별 측정치 방사패턴
Fig. 7. Measured radiation patterns.

면밀한 검토와 보완 설계를 통해 해결될 수 있을 것이다. 안테나의 이득은 xy면에서 시뮬레이션에는 0.5 dBi~3.2 dBi이고 측정 결과는 -0.02 dBi~2.54 dBi를 얻었다. 측정 오차가 발생하는 이유는 측정시 제작된 안테나와 측정용 표준혼 안테나간의 정확한 수평을 맞추지 못한 문제와 시뮬레이션 환경에서는 도체를 손실없는 완전도체로 가정하고 계산을 했기 때문에 계산치와 측정치간에 0.66 dBi 정도의 오차가 발행했다. 주파수 대역 방사 패턴을 보면 전형적인 모노폴 안테나의 패턴을 갖고 있음을 알 수 있다. 이득은 사용 주파수 대역 내에서 -0.02 dB~2.54 dB로 나타나 무선통신 시스템에서 잘 적용되리라 사료된다.

[6] A. Elsherbeni, C. P. huang and C. E. Smith, "Wide band meander line antenna for wireless communication systems", *IEEE AP-S Digest*, vol. 1, pp. 17-20, 2000.

[7] 이정필, 박성욱, 이상근, "광대역 기관 인쇄용 모노폴 안테나 설계", 한국전자과학회 논문지, 12(6), pp. 958-964, 2001년 10월.

김 남 기



동소자

2002년 8월: 목원대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 7월~2004년 6월: 블루웨이브텔(주) 전임 연구원
2004년 7월~현재: 인탑스(주) 주임 연구원
[주 관심분야] 안테나 설계, RF 수

하 재 권



원 선임연구원

1980년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1982년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
1994년~1998년: 한국전자통신연구원

1989년~1990년: Rockwell International(Texas, USA) Visiting Engineer
1998년~2000년: 목원대학교 정보통신공학과 Brainpool 교수 (정보통신부)
1999년 10월: 제1회 정보통신 벤처 창업 경진대회 입상 (정보통신부)
2000년 6월~현재: 블루웨이브텔(주) 대표이사
2001년 8월~현재: IT 국제 표준화 Antenna and RF 전문가 (ITU-R, 정보통신부)
[주 관심분야] Antenna and RF circuits for ITS system, Multi-band antenna, Satellite DBS antenna, Beam tilting antenna

고 진 현



Antenna design, Satellite DBS antenna, Beam tilting antenna

1998년 2월: 목원대학교 정보통신공학과 (공학사)
2000년 2월: 목원대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2000년 6월~현재: 블루웨이브텔(주) 선임연구원
[주 관심분야] Antenna design, Satellite DBS antenna, Beam tilting antenna

이 승 엽



통신과 부교수

1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1993년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1993년 9월: 국립 여수대학교 전자

[주 관심분야] 안테나, 초고주파 회로설계 및 전자파 해석, 광을 이용한 마이크로파 소자 제어