

변형된 접지면을 이용한 초광대역 프린티드 모노폴 안테나

An Ultra Wideband Printed Monopole Antenna Using Modified Ground Plane

김 명 범 · 정 종 호 · 박 익 모

Myoung-Bum Kim · Jong-Ho Jung · Ikmo Park

요 약

본 논문에서는 초광대역 특성을 가지는 프린티드 모노폴 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 마이크로스트립 급전구조를 사용하였으며, 변형된 접지면과 복사소자 사이에 형성된 테이퍼 구조는 입력 임피던스의 변화를 개선시킴으로써 광대역 특성을 구현하였다. 제안한 안테나를 최적화 시킨 후, 제작·측정한 결과 $VSWR \leq 2$ 를 기준으로 하한 주파수 0.89 GHz에서 상한 주파수 30 GHz 이상의 초광대역 특성을 갖는다. 안테나의 복사형태는 $\theta=0^\circ$ 방향에서 복사 이득이 아주 낮고, θ 값이 증가하면서 복사 이득이 증가하는 코니컬 빔 복사 패턴을 갖는다.

Abstract

In this paper, we propose a microstrip line fed printed monopole antenna which has an ultra-wideband characteristic. Proposed antenna can improve the bandwidth characteristic with the taper structure formed by modified ground plane and radiating element. Measured impedance bandwidth ratio of the antenna is more than 30:1; from the lower frequency of 0.89 GHz to the upper frequency of more than 30 GHz for $VSWR \leq 2$. The antenna has conical radiation pattern that has low radiation gain to $\theta=0^\circ$ direction and higher radiation gains as θ increases.

Key words : Monopole Antenna, Printed Monopole Antenna, Ultra Wideband Antenna

I. 서 론

최근 무선통신 기술이 내일을 알 수 없을 만큼 빠르게 발전함에 따라 음성 위주의 협대역 통신에서 벗어나 음성과 동영상의 대용량 데이터를 주고받을 수 있는 멀티미디어 통신이 가능한 광대역 통신으로 주파수 사용대역이 넓어지고 있다. 이러한 영향으로 유선망으로 구축되었던 네트워크 환경이 Wireless Local Area Network(WLAN) 등을 이용한 유·무선 통신망으로 발전하게 되었고, 노트북이나 Personal Digital Assistant(PDA)와 같은 개인용 휴대장비의 보급이 보편화되면서 기존의 유선통신 장비가 갖던 시

간과 공간의 제약을 해결하게 됨으로써 실내와 실외의 경계가 무너지고 개인의 작업 공간이 변화하게 되는 계기가 마련되었다. 따라서 점차 통신장비의 개인화와 휴대성을 보장해 주기 위해 하나의 통신 장비로 여러 가지 통신 서비스를 제공받을 수 있는 광대역 안테나의 개발이 요구되는데, 이러한 통신 체계에 사용할 수 있는 광대역 안테나 구조로는 바이코니컬(biconical) 안테나, 혼(horn) 안테나, 리플렉터(reflector) 안테나, 스파이럴(spiral) 안테나, 대수 주기(log periodic) 안테나, 디스크 모노폴(disc monopole) 안테나^{[1],[2]} 등이 있다. 그 중에서 디스크 모노폴 안테나의 경우, 복사 소자의 길이를 조절하여 원하는

「본 논문은 2004년도 유비쿼터스 컴퓨팅 프론티어 사업단의 연구비를 지원받았습니다.」

아주대학교 전자공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20041126-153

· 수정완료일자 : 2005년 2월 1일

주파수 대역에 맞는 안테나를 간단히 제작할 수 있는 이점을 가지며, 복사소자를 테이퍼 하거나 변형시켜 임피던스를 개선시키는 방법^{[3]-[6]}과 급전방식을 변형시키는 방법^[7] 등을 이용하여 광대역 특성을 얻을 수 있었다. 하지만 이러한 대역폭 확장 방법 역시 통신 주파수 전체를 효율적으로 사용하기 위한 대역폭을 얻진 못하였다. 이에 본 논문에서는 거의 모든 통신대역에서 사용 가능한 초광대역 프린티드 모노폴 안테나(ultra-wideband printed monopole antenna)를 제안하였다.

본 논문에서 제안한 프린티드 모노폴 안테나는 접지면과 복사소자 사이를 테이퍼링(tapering)하여 주파수에 따른 입력 임피던스(input impedance)의 변화를 개선시켜 광대역 특성을 구현하였다. 변형된 접지면과 복사소자 사이의 테이퍼링은 가상의 원을 이용하였으며, 테이퍼된 폭은 급전선로 끝단에서 가장 좁고 접지면 상단으로 올라갈수록 넓어지는 곡선형 형태를 갖는데, 이렇게 곡선형으로 테이퍼된 슬롯구조를 이용함으로써 제안한 안테나는 복사소자에 의한 디스크 공진뿐만 아니라 테이퍼된 슬롯에 의한 공진도 함께 구현할 수 있었다. 제안한 안테나는 복사소자 형태에 따라 크게 두 부분으로 서술하였다. 먼저 프린티드 원형 모노폴 안테나의 중요 설계변수 특성과 복사 패턴 형태를 살펴보고, 다음으로 반원과 사각 디스크가 결합된 형태의(rectangular disc with circular base) 복사소자를 갖는 프린티드 모노폴 안테나 설계변수 특성과 복사 패턴 경향을 고찰하였다. 최적화된 설계값을 이용하여 실제 안테나를 제작·측정한 결과 $VSWR \leq 2$ 를 기준으로 약 30:1의 대역비를 구현하였는데, 프린티드 원형 모노폴 안테나의 하한 주파수는 0.94 GHz를 만족하였고, 반원과 사각 디스크가 결합된 복사소자를 갖는 프린티드 모노폴 안테나의 하한 주파수는 0.89 GHz를 만족하는 우수한 특성을 나타내었다. 안테나의 복사형태는 $\theta = 0^\circ$ 방향에서 복사 이득이 아주 낮고, θ 값이 증가하면서 복사 이득이 증가하는 코니컬 빔 복사 패턴을 갖는다.

II. 원형 프린티드 모노폴 안테나

2.1 구조 및 동작원리

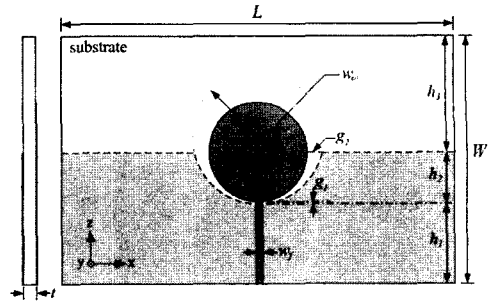


그림 1. 프린티드 원형 모노폴 안테나 구조

Fig. 1. Basic structure of the printed circular monopole antenna.

안테나의 복사소자를 테이퍼 하거나 디스크 형태를 변형시켜 임피던스 대역폭을 넓히는 다양한 구조의 디스크 모노폴 안테나 구조들이 제안되었다^[2]. 그 중 원형 모노폴 안테나의 경우 매우 넓은 임피던스 대역폭을 가지며, 다른 디스크 형태에 비해 안테나 실효공진 길이(effective length)가 길기 때문에 안테나 크기를 줄이는데 효과적이다^{[8],[9]}. 이에 본 논문에서는 마이크로스트립 급전구조를 갖는 프린티드 원형 모노폴 안테나를 제안하였으며, 변형된 접지면과 복사소자 사이에 형성된 테이퍼 구조를 이용하여 대역폭을 확장시키는 방법에 관한 연구를 수행하였다. 그림 1에 제안한 안테나를 나타내었다.

그림 1에서와 같이 제안한 안테나는 기관의 한 면에는 복사소자를 인쇄하고 반대면에는 접지면을 형성한 평면 구조로서 50 Ω 마이크로스트립 급전선 끝단에 복사소자가 연결되어 있고, 복사소자는 원형 디스크 형태로 구현하였다. 원형 복사소자 z 축의 길이는 정합시키고자 하는 시작 주파수의 대략 $\lambda/4$ 길이에 해당한다. 안테나의 접지면은 복사소자와 유사한 가상의 원을 형성한 후 급전선 끝단부터 접지면 상단의 높이 h_2 만큼을 남겨두고 나머지 부분은 전부 식각하였다. 이와 같이 복사소자가 접지면 위로 돌출된 구조는 기존에 제안되었던 디스크 형태의 모노폴 안테나^{[2],[8]-[11]}와 제안한 안테나가 구분되는 특징으로 이러한 형태는 기존에 연구되었던 볼케이노 스모크 안테나(Volcano Smoke Antenna)^{[12],[13]}와 유사하다. 또한, 제안한 안테나의 변형된 접지면과 복사소자 사이에 형성된 테이퍼 구조는 슬롯폭이 급전선 끝단에서 가장 좁고 접지면 상단으로 올라갈수록

넓어지는 곡선형 형태로 접지면과 복사소자 사이의 관내파(guided wave)와 자유공간 상으로 복사되는 복사파(radiated wave)와의 반사손실을 최소화 하기 위해 사용된 정합구조로써 슬롯라인 길이에 따라 슬롯폭이 변화함으로써 주파수에 따른 입력 임피던스의 변화를 개선시켜 광대역 특성을 구현할 수 있다. 제안한 안테나는 복사소자 길이에 의한 저주파 대역에서의 디스크 공진뿐만 아니라 테이퍼된 슬롯라인에 의해 고주파 대역에서 공진 특성을 구현할 수 있고 슬롯라인 길이를 조절하여 주파수에 따른 임피던스 특성을 개선시킴으로써 광대역 안테나를 구현할 수 있다. 이는 복사소자를 z 축의 방향으로 g_1 만큼 이격시킴으로써 상대적으로 슬롯 폭이 작은 급전선로 끝단에 집중되었던 전·자계에 의한 영향을 완화시켜줌으로써 주파수에 따른 입력 임피던스의 변화를 개선시킬 뿐만 아니라 슬롯라인에 의한 공진이 발생하여 광대역 안테나로 동작하게 된다.

안테나의 중요한 설계변수로는 복사소자 양 측면의 접지면 높이(h_2)와 offset position(w_{os})이 있다. 여기서 offset position이란 복사소자의 정중앙(R_i)과 접지면을 테이퍼링 하기 위한 가상의 원형 디스크 정중앙 사이(R_o)의 거리이다. 이렇게 offset position만큼 편심 설계하여 곡선형으로 테이퍼링 시킴으로서 안테나의 다른 설계변수 g (급전선로의 끝단과 복사소자 사이의 거리)과 g_x (접지면 상단과 복사소자 사이의 거리)를 얻을 수 있는데, 설계변수 R_o 를 이용한 접지면 테이퍼는 복사소자와 접지면 상단 사이(g_x)의 간격, 그리고 급전선로의 끝단과 복사소자 사이의 거리(g_1)를 쉽게 조절할 수 있다. 마지막으로, 제안한 안테나의 유한 접지면(finite-ground plane)의 크기는 시작주파수에 따른 영향과 복사 패턴의 영향을 고려하여 설계하였다^{[14],[15]}.

2-2 설계변수 및 특성

제안한 안테나의 해석 및 설계를 위하여 상용 EM 시뮬레이터인 CST사의 MWS(Microwave Studio)를 사용하였으며, 안테나의 반사손실은 HP 8510C 벡터 네트워크 분석기(Vector Network Analyzer)를 이용하여 측정하였다. 안테나에 사용된 기판은 비유전율 ϵ_r 이 3.38인 RO4003을 사용하였으며 기판의 두께는

0.508 mm로 하였다. 기판의 크기는 $240(W) \times 140(L)$ mm²이며, 원형 복사소자의 반경 R_i 는 30 mm이고, 50 Ω의 특성 임피던스를 갖는 마이크로스트립 급전선로의 w_f 는 1.15 mm이다.

제안한 안테나의 반사손실 특성을 개선시켜주는 주요 설계변수로는, 그림 1에서와 같이 g_1 (급전선로의 끝단과 복사소자 사이의 거리)과 h_2 (복사소자 양측에 인쇄된 변형된 접지面の 높이), 그리고 R_o (접지면을 테이퍼링 하기 위한 가상의 원형 디스크 반경)로 나타낼 수 있다. 각각의 주요 설계변수가 반사손실에 미치는 영향을 알아보기 위하여 주요 설계변수에 따른 특성 변화를 나타내었다.

그림 2의 설계변수 g_1 는 w_{os} 만큼 z축으로 편심 설계된 복사소자와 급전선로 끝단 사이의 간격으로 다른 설계변수의 값은 $h_2=30$ mm, $R_o=40$ mm로 고정시킨 후, g_1 만을 변화시키면서 안테나 특성을 살펴보았다. g_1 의 값은 0.1 mm로 시작하여 0.2 mm 간격으로 안테나의 반사손실 변화를 살펴보았다. 시작 주파수의 변화는 거의 보이지 않았으며, 다만 g_1 의 간격에 따라 5 GHz 이하와 20 GHz 이상의 주파수 대역에서 정합을 벗어나는 부분이 발생하였다. 이러한 결과는 슬롯 폭이 좁은 곳(급전선과 복사소자가 결합되는 슬롯부분)에 전·자계가 상대적으로 집중되기 때문에 복사소자를 z축으로 일정간격 이격시킴으로써 슬롯폭이 변화하게 되어 임피던스 변화가 개선되었기 때문이다. 특히 이러한 특성은 g_1 의 간격을 0 mm로 하였을 때 확인할 수 있다. 또한 g_1 값에 따라서 20 GHz 이하의 주파수 대역 정합 특성이 변화하는 것

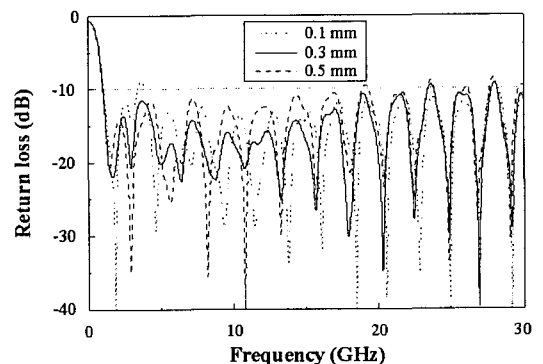


그림 2. 설계변수 g_1 에 따른 반사손실
Fig. 2. Return loss with respect to g_1 .

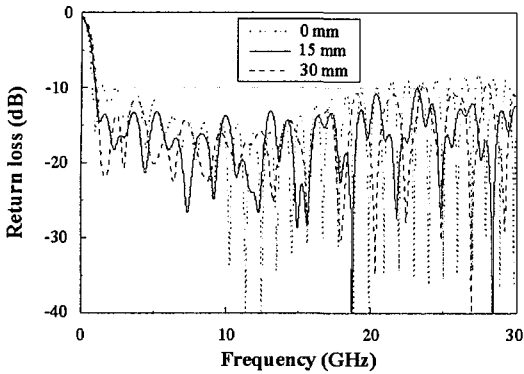


그림 3. 설계변수 h_2 에 따른 반사손실
Fig. 3. Return loss with respect to h_2 .

을 볼 수 있는데, 이를 통해 설계변수 g_1 이 20 GHz 이하의 주파수 대역에서 정합 특성을 결정짓는 주요 변수임을 확인할 수 있다. EM 시뮬레이션 결과를 통해 $g_1=0.3$ mm일 때 가장 우수한 반사 손실 특성을 얻을 수 있다.

그림 3은 $g_1=0.3$ mm, $R_o=40$ mm로 고정하고 설계변수 h_2 를 변화시킨 것이다. h_2 의 높이는 일반적인 프린티드 모노폴 안테나^[6]의 접지면 높이인 0 mm에서 점차 증가시켰다. 높이에 따라 시작 주파수가 약간 변화하였으며, 급전선 끝단에서 접지면 상단 사이의 테이퍼된 슬롯 길이가 짧아지면서 공진점이 많아지고, 5 GHz 이하와 20 GHz 이상의 주파수 대역에서 정합을 벗어나는 부분이 발생하였다. 그림 2와 비교하였을 때 20 GHz 이상의 주파수 대역에서는 설계변수 h_2 가 반사손실 특성을 개선시키는 변수로 작용함을 보였다. EM 시뮬레이션 결과에서 h_2 의 높이가 15 mm일 때 가장 우수한 특성을 보였다.

마지막으로, 그림 4에서는 $g_1=0.3$ mm, $h_2=15$ mm로 고정하고, R_o 를 변화시켜서 반사손실 특성을 살펴보았다. R_o 의 값은 접지면 상단과 복사소자 사이의 간격으로 테이퍼된 슬롯라인의 폭을 결정짓는 중요 변수로써 35 mm를 시작으로 5 mm씩 증가시켰다. R_o 의 시작값 35 mm는 복사소자와 접지면 사이의 임피던스 변화를 최소화 하기 위한 값으로 35 mm보다 작을 경우 반사손실 특성이 급격히 안 좋아지게 되어 R_o 의 값은 최소한 35 mm보다 커야 한다. EM 시뮬레이션 결과에서와 같이 20 GHz 이하의 주파수 대역에서는 R_o 의 반경에 따라 공진주파수가 변화하

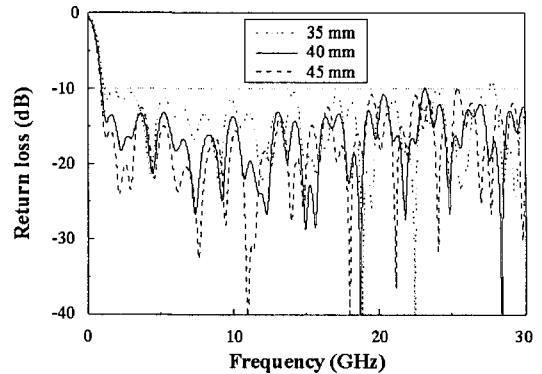


그림 4. 설계변수 R_o 에 따른 반사손실
Fig. 4. Return loss with respect to R_o .

고 있지만 정합을 벗어나진 않는다. 하지만 20 GHz 이상으로 넘어가면 R_o 의 값에 따라 정합을 벗어나는 구간도 발생하였다. 이에 R_o 의 최적값은 20 GHz 이상의 주파수 대역에서의 영향을 고려하여 그림 2와 3을 통해서 이미 두 설계변수에 적용한 특정한 값 40 mm일 때 가장 우수한 값을 얻을 수 있다.

설계변수의 EM 시뮬레이션 결과로부터 20 GHz 이하의 주파수 대역에서는 설계변수 g_1 이 정합특성에 영향을 주고 있으며, 20 GHz 이상의 주파수 대역에서는 설계변수 h_2 와 R_o 가 반사손실 특성을 결정짓는데 지배적인 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있다. 주요 설계변수의 파라미터 값들을 통해 제안된 안테나는 $g_1=0.3$ mm, $h_2=15$ mm, $R_o=40$ mm일 때 가장 우수한 결과를 얻었으며, 하한 주파수 0.95 GHz를 시작으로 30 GHz 이상의 초광대역 특성을 만족하였다. 표 1에 프린티드 원형 모노폴 안테나의 최적화된 설계값을 나타내었으며, 설계값을 이용하여 실제 제작한 안테나의 반사손실 특성을 EM 시뮬레이션 계산값과 비교하여 그림 5에 나타내었다. 측정 결과 제작된 프린티드 원형 모노폴 안테나는 $VSWR \leq 2$ 를 기준으로 하한 주파수 0.94 GHz부터 상한 주파수 30 GHz 이상의 초 광대역 특성을 만족하였는데, 그림 5에서와 같이 제작된 안테나의 하한 주파수가 계산값보다 약 0.01 GHz 낮게 구현됨으로써 계산 결과와 거의 일치하는 우수한 특성을 보였다. 하지만, 제작된 안테나의 반사손실 그래프가 계산값과 비교하여 주파수 축을 중심으로 공진점이 좌우로 조금씩 이동된 것을 볼 수 있는데, 이는 SMA 커넥터와 50 Ω 마

표 1. 최적화된 프린티드 원형 모노폴 안테나의 설계변수

Table 1. The optimized design parameter of the printed circular monopole antenna.

| 설계변수 | 설계값(mm) |
|-------|---------|
| R_i | 30 |
| R_o | 40 |
| g_1 | 0.3 |
| g_2 | 8.78 |
| h_1 | 45 |
| h_2 | 15 |
| h_3 | 80 |
| t | 0.508 |
| w_f | 1.15 |
| L | 240 |
| W | 140 |

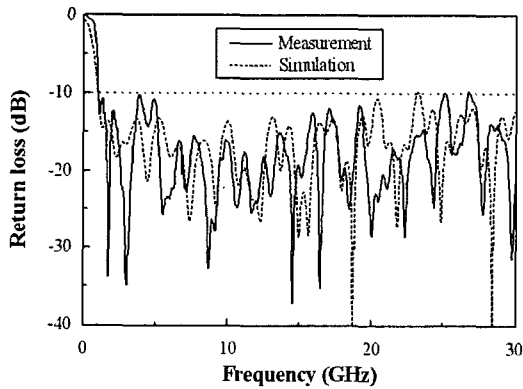


그림 5. 최적화된 프린티드 원형 모노폴 안테나의 반사손실 특성

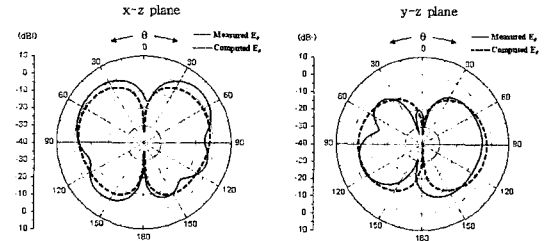
Fig. 5. Return loss of the optimized printed circular monopole antenna.

이크로스스트립 급전선 접합시 발생할 수 있는 오차로 사료된다. 하지만, 이러한 오차에도 불구하고 전체적으로 계산값과 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

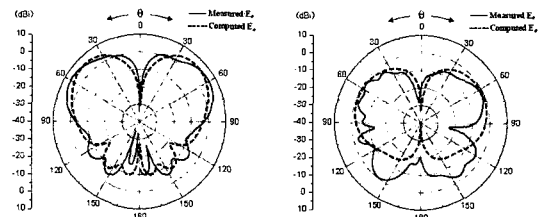
프린티드 원형 모노폴 안테나의 복사 패턴 측정은 장비상의 제약으로 9 GHz까지 측정하였는데, 그림 6에서와 같이 측정값과 계산값이 거의 일치하는 결과를 나타냄으로써 9 GHz 이상의 복사 패턴 역시 EM 시뮬레이션 계산 결과와 유사하리라 사료되어 그림 6에 1 GHz를 시작으로 9 GHz까지 2 GHz마다 x-z 평

면 ($\phi=0^\circ$)과 y-z 평면 ($\phi=90^\circ$)의 측정 결과를 계산값과 비교하여 각각의 동일 편파 복사 패턴을 나타내었다.

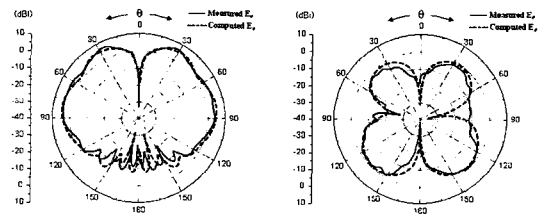
그림 6에서와 같이 x-z 평면 복사 패턴 측정 결과



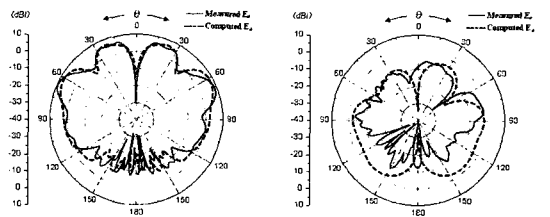
(a) 1 GHz



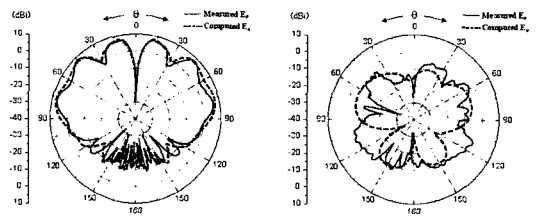
(b) 3 GHz



(c) 5 GHz



(d) 7 GHz



(e) 9 GHz

그림 6. 안테나의 복사 패턴

Fig. 6. Radiation patterns.

복사 이득과 패턴 경향이 EM 시뮬레이션 계산 결과와 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 안테나의 복사 패턴 형태는 7 GHz에서 $\theta=39^\circ$ 방향으로 한 개의 리플(ripple)이 발생하고, 9 GHz에서는 $\theta=30^\circ$, $\theta=60^\circ$ 의 두 방향에서 리플이 발생하는 경향을 보였다. 최대 복사 방향에서의 안테나 복사 이득은 1 GHz에서 측정값에 비해 계산값이 작게 나타나고 있지만, 주파수가 증가할수록 유사한 복사 이득을 갖는데, 1 GHz에서 $\theta=46^\circ$ 방향으로 3.76 dBi이며, 5 GHz에서 $\theta=29^\circ$ 방향으로 6.33 dBi, 그리고 9 GHz에서는 $\theta=45^\circ$ 방향으로 8.75 dBi의 복사 이득을 나타냄으로써 주파수가 올라갈수록 점차 이득이 증가하였다. 교차 편파는 EM 시뮬레이션 계산 결과와 측정 결과 모두 약 -9 dBi의 평균값을 갖는다. 다음으로 y-z 평면 복사 패턴 측정 결과 복사 이득과 패턴 경향이 EM 시뮬레이션 계산 결과와 유사하지만, 복사 패턴 형태의 경우 고주파로 갈수록 특정 θ 방향으로 발생하는 널(null)에 의해 약간의 차이를 보였다. 교차 편파는 EM 시뮬레이션 계산 결과 -40 dBi 이하로 거의 발생하지 않았지만, 실제 복사 패턴 측정 결과 약 -15 dBi의 평균값을 나타내었다.

III. 반원과 사각 디스크가 결합된 프린티드 모노폴 안테나

앞에서 제안한 프린티드 원형 모노폴 안테나(printed circular monopole antenna)는 복사소자와 유사한 가상의 원을 이용하여 접지면을 테이퍼한 구조로서 곡선형으로 테이퍼된 슬롯에 의해 주파수에 따른 입력 임피던스의 변화를 점진적으로 개선시켜 광대역 특성을 구현할 수 있었다. 하지만, 복사 패턴 측정 결과 y-z 평면의 경우 복사 이득이 아주 낮고 널(null)에 의한 영향으로 복사 패턴 형태가 좋지 않은 결과를 나타내었다. 이에 프린티드 원형 모노폴 안테나의 복사 패턴을 개선시키기 위해 복사소자의 디스크를 변형시킨 모노폴 안테나를 제안하였다.

그림 7에서와 같이 제안한 안테나는 반원과 사각 디스크가 결합된 프린티드 모노폴 안테나로써 프린티드 원형 모노폴 안테나를 기본구조로 설계하였다. 기관의 한 면에는 복사소자를 인쇄하고 반대면에는 접지면을 형성한 평면구조를 가지며, 50 Ω 마이크

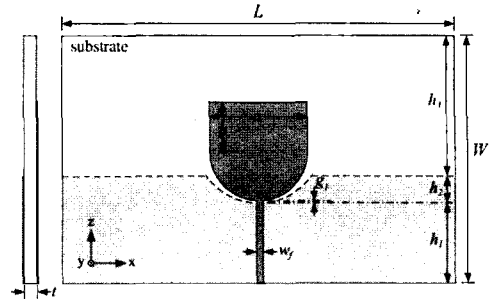


그림 7. 프린티드 모노폴 안테나 구조(반원과 사각 디스크가 결합된 복사소자)

Fig. 7. Basic structure of the printed monopole antenna (rectangular disc with circular base).

로스트립 급전선 끝단에 복사소자를 인쇄하였다. 복사소자의 형태는 반원과 사각 디스크가 결합된 구조(rectangular disc with circular base)로서 반원의 반경 R_0 는 30 mm이고, 사각 디스크의 크기는 $60(a) \times 30(b)$ mm²로 구현하였다. 복사소자 z 축의 길이는 정합 시키고자 하는 시작 주파수의 대략 $\lambda/4$ 길이에 해당한다. 프린티드 원형 모노폴 안테나의 복사소자 길이와 동일하지만, 사각 디스크에 의해 안테나의 실효공진 길이(effective length)는 약간 길어지게 된다. 그 밖에 다른 설계변수는 원형 모노폴 안테나의 최적화된 설계값을 기본으로 하였다.

안테나의 중요 설계변수 g_1 , h_2 , R_0 와 제안한 복사소자를 실제 안테나 크기의 유한 접지면(finite ground plane)에 설계한 뒤, 앞서 설계된 프린티드 원형 모노폴 안테나와 같은 방법으로 설계변수 특성을 살펴본 결과 복사소자의 실효공진 길이에 의해 하한 주파수가 변화하였지만 거의 유사한 특성을 나타내었다. 이는 제안한 안테나 역시 정합 특성을 결정짓는 변형된 접지면과 복사소자 사이에 형성된 테이퍼 구조를 곡선형으로 구현하여 주파수에 따른 임피던스 변화를 개선시킴으로써 광대역 특성을 얻을 수 있기 때문이다. 표 2에 반원과 사각 디스크가 결합된 프린티드 모노폴 안테나의 최적화된 설계값을 나타내었으며, 설계값을 이용하여 실제 제작한 안테나의 반사손실 특성을 EM 시뮬레이션 계산값과 비교하여 그림 8에 나타내었다. 반사손실 측정 결과 $VSWR \leq 2$ 를 기준으로 하한 주파수 0.89 GHz에서 상한 주파수 30 GHz 이상을 만족함으로써 EM 시뮬레

표 2. 최적화된 프린티드 모노폴 안테나의 설계변수 (반원과 사각 디스크가 결합된 복사소자)

Table 2. The optimized design parameter of the printed monopole antenna(rectangular disc with circular base).

| 설계변수 | 설계값(mm) |
|-------|---------|
| R_i | 30 |
| R_o | 40 |
| a | 60 |
| b | 30 |
| g_1 | 0.3 |
| g_2 | 8.78 |
| h_1 | 45 |
| h_2 | 15 |
| h_3 | 80 |
| t | 0.508 |
| w_f | 1.15 |
| L | 240 |
| W | 140 |

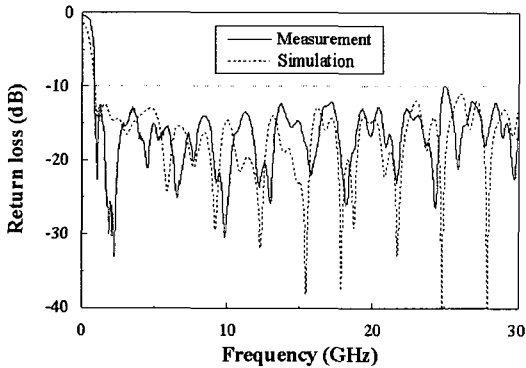


그림 8. 프린티드 모노폴 안테나의 반사손실 특성 (반원과 사각 디스크가 결합된 복사소자)

Fig. 8. Return loss of the printed monopole antenna (rectangular disc with circular base).

이선에 의해 계산된 하한 주파수 0.84 GHz와 거의 유사한 결과를 보였다. 하지만, 그림 8에서와 같이 측정된 반사손실 특성이 EM 시뮬레이션 반사손실 결과에 비해 주파수 축을 중심으로 공진점이 좌우로 이동된 것을 볼 수 있는데, 이는 안테나 제작에 사용된 SMA 커넥터와 커넥터에 사용된 지그(zig) 사이의 특성뿐만 아니라 SMA 커넥터와 50 Ω 마이크로스

트립 급전선 사이의 부정합에 의한 오차로 사료된다. 하지만 전체적으로 계산값과 측정값이 거의 일치하는 우수한 특성을 확인할 수 있다.

반원과 사각 디스크가 결합된 프린티드 모노폴 안테나의 복사 패턴 측정 역시 측정 장비의 제약으로 9 GHz까지 측정하였다. 그림 9에 1 GHz를 시작으로 9 GHz까지 2 GHz마다 x-z 평면($\phi=0^\circ$)과 y-z 평면($\phi=90^\circ$)의 동일 편파 복사 패턴을 나타내었다.

그림 9에서와 같이 x-z 평면 복사 패턴 측정 결과 동일 편파의 복사 이득과 패턴 경향이 EM 시뮬레이션 계산 결과와 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 이는 프린티드 원형 모노폴 안테나의 x-z 평면 복사 패턴 결과와 거의 비슷한 결과로써 안테나의 복사 형태는 7 GHz에서 $\theta=76^\circ$ 방향으로 한 개의 리플(ripple)이 발생하고, 9 GHz에서는 $\theta=32^\circ$, $\theta=53^\circ$ 방향으로 두 개의 리플이 발생하였다. 안테나 복사 이득은 주파수가 증가함에 따라 상대적으로 접지면 크기가 커지게 되므로 후방 복사(back radiation)가 줄어들게 되어 고주파로 갈수록 전방 복사 이득이 증가하는 경향을 보였는데, 1 GHz에서 $\theta=55^\circ$ 방향으로 3.43 dBi이며, 5 GHz에서 $\theta=72^\circ$ 방향으로 4.42 dBi, 그리고 9 GHz에서는 $\theta=78^\circ$ 방향으로 6.32 dBi의 이득을 나타내었다. 교차 편파의 경우 EM 시뮬레이션 계산 결과와 측정 결과 모두 약 -11 dBi의 값을 갖는다. 다음으로 제안한 안테나의 y-z 평면 복사 패턴 측정 결과 복사 이득과 패턴 경향이 EM 시뮬레이션 계산 결과와 비교적 잘 일치하였다. 이는 앞서 살펴본 프린티드 원형 모노폴 안테나의 y-z 평면 복사 패턴 결과에 비해 전방 복사 이득과 널(null)에 의한 영향이 개선되는 특성을 보였다. 그리고 EM 시뮬레이션 계산 결과에서 -40 dBi 이하로 거의 발생하지 않은 교차 편파가 실제 측정 결과에서는 약 -15 dBi의 평균값을 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 모노폴 안테나와 슬롯에 의한 특성이 결합된 새로운 안테나 구조를 제안하였다. 제안한 안테나는 변형된 접지면과 복사소자 사이를 곡선형으로 테이퍼시켜 안테나의 주파수에 따른 입력 임피던스 변화를 개선시킴으로써 광대역 특성 구현

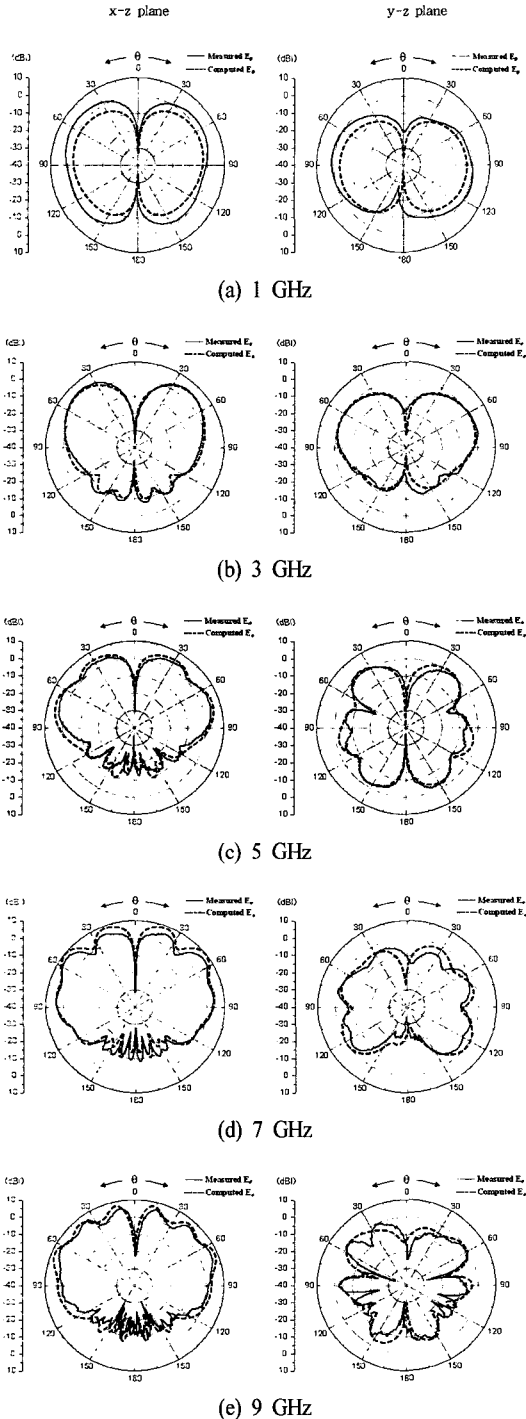


그림 9. 안테나의 복사 패턴
Fig. 9. Radiation patterns.

을 용이하게 하였으며, CST사의 MWS를 이용하여 최적화 시켰다.

복사소자 디스크 형태에 따라 설계변수 특성과 복사 패턴을 살펴보았는데, 먼저 원형 모노폴 안테나의 경우 복사소자의 반경 R_0 는 30 mm로 고정하고, 중요 설계변수인 g_1 과 h_2 그리고 R_0 를 변화시키면서 안테나의 반사손실 특성을 관찰하여 최적화된 안테나를 설계하였다. 최적화된 설계값을 기준으로 제작한 안테나의 반사손실 측정 결과 $VSWR \leq 2$ 를 기준으로 하한 주파수 0.94 GHz에서 상한 주파수 30 GHz 이상의 우수한 특성을 만족하였다. 다음으로 안테나의 복사 패턴을 개선시키기 위해 제안한 반원과 사각 디스크가 결합된 프린티드 모노폴 안테나의 경우 반원의 반경은 30 mm이며, 사각 디스크는 $60(a) \times 30(b)$ mm²로 구현하여 최적화시킨 뒤 안테나의 반사손실을 측정한 결과 $VSWR \leq 2$ 를 기준으로 하한 주파수 0.89 GHz에서 상한 주파수 30 GHz 이상의 초광대역 특성을 구현하였다. 안테나의 복사형태는 $\theta = 0^\circ$ 방향에서 복사 이득이 아주 낮고, θ 값이 증가하면서 복사 이득이 증가하는 코니컬 빔 복사 패턴을 갖는데, 복사 패턴 측정 결과 프린티드 원형 모노폴 안테나 복사 패턴에 비해 반원과 사각 디스크가 결합된 프린티드 모노폴 안테나의 복사 패턴이 우수한 경향을 보였다. 특히 y-z 평면 복사 패턴의 경우 전방 복사 이득이 증가하고 널(null)에 의한 영향이 개선되었다. 복사 패턴의 이러한 경향은 복사소자에 형성되는 전류 분포 특성에 의한 영향 때문이며, 최대 복사 방향으로의 안테나 이득은 1 GHz에서 3.43 dBi를 시작으로 주파수가 올라갈수록 증가하는 경향을 보였으며, 복사 패턴을 측정한 1 GHz에서 9 GHz까지의 복사 이득은 약 6 dBi의 평균값을 나타내었다.

이러한 결과는 제안한 안테나가 거의 모든 통신대역에서 사용 가능한 광대역을 구현하고자 하는 현 추세에 부합하는 결과로서 주파수 분배에 따른 중복투자의 문제점을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 각종 통신체계의 변화에 효율적으로 대응할 수 있으리라 사료된다. 특히 제안한 안테나는 평판 구조를 이용함으로써 제작시 대량 생산이 용이한 이점을 가질 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory & Design*, 2nd Ed., New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [2] G. Kumer, K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, Arctech House, 2003.
- [3] J. M. Johnson, Y. Rahmat-Samii, "The tab monopole", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 45, no. 1, pp. 187-188, Jan. 1997.
- [4] M. J. Ammann, "A wideband monopole for reconfigurable multiband radio terminals", *IEEE AP-S Int. Symp. Digest.*, vol. 1, pp. 170-173, Jul. 2001.
- [5] 이종필, 박성욱, 이상근, "광대역 기판 인쇄형 모노폴 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 12 (6), pp. 958-964, 2001년 10월.
- [6] S. Y. Suh, W. L. Stutzman, and W. A. Davis, "A new ultrawideband Printed monopole antenna: The planar inverted cone antenna(PICA)", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 52, no. 5, pp. 1361-1365, May 2004.
- [7] K. L. Wong, Y. F. Lin, "Stripline-fed printed triangular monopole", *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 17, pp. 1428-1429, Aug. 1997.
- [8] P. P. Hammoud, F. Colomel, "Matching the input impedance of a broadband disc monopole", *Electron. Lett.*, vol. 29, no. 4, pp. 406-407, Feb. 1993.
- [9] N. P. Agrawal, G. Kumar, and K. P. Ray, "Wideband planar monopole antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, no. 2, pp. 294-295, Feb. 1998.
- [10] N. Kuga, H. Arai, "Wideband crossed elliptical disk monopole antenna", *IEEE AP-S Int. Symp. Digest.*, vol. 3, pp. 624-627, Jun. 2003.
- [11] S. Y. Suh, W. L. Stutzman, and W. A. Davis, "Multi-broadband monopole disc antennas", *IEEE AP-S Int. Symp. Digest.*, vol. 3, pp. 616-619, Jun. 2003.
- [12] L. Paulsen, J. B. West, W. F. Perger, and J. Kraus, "Recent investigations on the volcano smoke antenna", *IEEE AP-S Int. Symp. Digest.*, vol. 3, pp. 845-848, Jun. 2003.
- [13] J. Yeo, Y. Lee, and R. Mittra, "Design of a wideband planar volcano-smoke slot antenna(PVSA) for wireless communications", *IEEE AP-S Int. Symp. Digest.*, vol. 2, pp. 655-658, Jun. 2003.
- [14] J. Huang, "The finite ground plane effect in the microstrip antenna radiation patterns", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 31, no. 4, pp. 649-653, Jul. 1983.
- [15] M. Weiner, "Monopole element at the center of a circular ground plane whose radius is small or comparable to a wavelength", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 35, no. 5, pp. 488-495, Jul. 1987.
- [16] J. Liang, C. C. Chiau, X. Chen, and C. G. Parini, "Printed circular disc monopole antenna for ultrawideband applications", *Electron. Lett.*, vol. 40, no. 20, pp. 1246-1247, Sep. 2004.

김 명 범



2002년 2월: 청주대학교 전자공학부 (공학사)
 2003년 2월~현재: 아주대학교 전자공학부 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 초고주파 회로 설계

정 종 호



2001년 8월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
 2003년 8월: 아주대학교 전자공학부 (공학석사)
 2003년 9월~현재: 아주대학교 전자공학부 박사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 초고주파 회로 설계

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자
공학과 (공학사)

1989년: 일리노이대학교 전기전자
및 컴퓨터공학과 (공학석사)

1994년: 일리노이대학교 전기전자
및 컴퓨터공학과 (공학박사)

1994년~1996년: LG전자기술원

1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 초고주파 수동소자(안테나 포함) 설계 및
해석