

논문 2009-46TC-12-8

Software Defined Radio (SDR) 무전기용 접힌 평면 구조의 초광대역 안테나

(Folded Ultra Wideband Monopole Antenna for SDR Application)

오 준 화*, 오 일 영**, 육 중 관**

(Jun-Hwa Oh, Il-Young Oh, and Jong-Gwan Yook)

요 약

본 논문에서는 부하 저항을 갖는 접힌 구조의 모노폴 안테나를 제안 하였고, 설계 변수들이 안테나의 반사손실 특성에 미치는 영향에 대해 분석 했다. 제안한 안테나의 임피던스 대역폭(VSWR < 3)은 30 ~ 2000 MHz이고, 이는 HF/VHF/UHF 대역을 모두 포함한다. 진행파 안테나로 동작하게 하기 위해 안테나에 여섯 개의 부하 저항을 이용하여 안테나의 끝에서 발생하는 반사파를 많이 줄일 수 있었다. 부하 저항에 의해서 감소되는 방사 효율 감소를 줄이기 위해 안테나의 끝부분에 부하 저항을 달았고, 부하 저항들의 저항 값은 반사 손실 특성이 좋은 Klopfenstein taper를 이용하였다. 제안한 안테나는 모노폴 안테나와 같이 전방향성 방사패턴을 갖는다. 급전부분과 제안한 안테나의 입력단 부분에서의 광대역 임피던스 변환을 위해 급전 부분과 안테나의 입력단 사이에 10 ~ 1900 MHz에서 동작하는 발룬(Balun)을 이용하였다. 제안한 안테나의 광대역 특성과 방사패턴은 다대역 다기능 통신기에 이용될 수 있을 것으로 예상된다.

Abstract

We propose a folded monopole antenna with loads, and analyze the roles of design parameters which affect the return loss of the proposed antenna. VSWR < 3 bandwidth of the antenna is 30 ~ 2000 MHz, ranging from the HF/VHF/UHF bands. For operating travelling antenna, we connect six loads at the end of the antenna. The reflected wave is drastically reduced due to the six loads. For improved return loss properties, we use Klopfenstein taper that determine positions and values of six loads. The propose antenna has omni-directional radiational patterns like that of conventional monopole antennas. For wideband impedance transformation, we use the balun which operating frequency region is 10 ~ 1900 MHz. We expect the proposed antenna has important role for the wideband and multi-rolld multi-functional communication systems.

Keywords : UWB monopole antenna, monopole antenna, Klopfenstein taper, SDR antenna, TMMR antenna

I. Introduction

광대역 안테나 설계 기술은 하나의 시스템으로 통합되어 가는 군 통신 체계 개발의 흐름에 맞는 차세대 핵심 전략 기술로 전 세계적으로 활발히 연구되고 있는 분야이다^[1~2]. 초광대역 특성을 얻기 위해서 일반적으로

콘(cone) 형태의 안테나를 많이 이용한다. 하지만, 콘 형태의 안테나는 제작이 어렵다는 단점이 있을 뿐 아니라 차량에 적용하기 쉽지 않다는 단점이 있다. 또한 많은 초광대역 안테나들은 고차모드에 의해서 전방향성 방사패턴 특성을 유지하지 못한다.

진행파 안테나는 초광대역 특성을 유지하면서도 전방향성 방사패턴 특성이 다른 초광대역 안테나들에 비해 우수 하다. 본 논문에서 제안한 안테나도 진행파 안테나가 갖는 초광대역 특성과 우수한 전방향성 방사패턴 특성을 이용하여 초광대역 모노폴 안테나를 설계 하였다. 진행파 안테나로 동작하게 하기 위해 안테나에

* 정희원, 삼성전자
(Samsung Electronics)

** 정희원, 연세대학교
(Yonsei University)

접수일자: 2009년11월13일, 수정완료일: 2009년12월14일

부하 저항을 달아 반사파를 제거 하였다. 부하저항은 안테나의 방사효율을 떨어뜨리기 때문에 부하저항은 안테나의 끝에 연결하였다. 부하 저항들에 의해 감소하는 전류를 부드럽게 감소시키기 위해서 Klopfenstein taper 기법을 이용하여 부하 저항의 위치와 부하 저항의 값을 결정하였다^[3]. 제안한 안테나는 30 MHz에서부터 동작하기 때문에 모노폴 안테나의 크기인 $\lambda_0/4$ 길이를 갖는다고 하여도 적어도 약 2.5 m의 길이를 갖아야 한다. 2.5 m 길이는 자동차들에 적용하기에 무리가 있으므로 안테나의 크기를 줄일 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 안테나의 크기를 줄이기 위해서 접힌 구조의 모노폴 안테나를 이용했다.

진행과 안테나의 특성을 얻기 위해서 Green function 과 경계조건 그리고 Klopfenstein taper 기법을 이용하여 부하 저항의 값과 위치를 최적화 하였다. 제안한 안테나를 설계하는데 필요한 설계 변수들이 안테나의 특성에 미치는 영향을 모의실험을 통하여 분석하고 각 변수들의 값을 최적화 하였다. 최적화된 안테나의 특성을 측정된 결과와 비교 분석하였다.

II. Antenna Design and Simulation results

그림 1.은 제안한 안테나의 구조와 설계에 필요한 변수들을 나타내고 있다. 안테나 설계에는 비유전율이 4.4 이고 두께 1 mm인 FR4 인쇄회로기판을 이용했으며, 크기는 60 mm × 2000 mm 이다. 제안한 안테나는 기본적인 평면형 접힌 모노폴 안테나의 모양을 띄고 있다. 제안한 안테나의 전체 길이가 3000 mm인데 이는 제안한 안테나의 최저 동작 주파수인 30 MHz에서의 모노폴 안테나의 길이인 $\lambda_0/4$ 보다 길다. 제안한 안테나의 길이를 $\lambda_0/4$ 보다 길게 설정한 이유는 안테나의 끝 부분에 연결할 부하 저항들이 달릴 공간을 확보하기 위함이다. 최적화된 제안한 안테나는 안테나의 길이(h1) 1800 mm, 안테나와 접힌 부분과의 거리(k) 50 mm, 접힌 길이(h2) 1150 mm 그리고 패턴의 폭 5 mm를 갖는다. 부하저항은 여섯 개를 사용하였으며, 각각의 위치는 안테나의 끝에서부터 200 mm 간격으로 위치한다. 즉, 위치 0은 안테나의 끝을 의미한다. 각 저항의 값들은 반사계수 특성이 좋은 Klopfenstein taper기법을 이용하여 구했고, 각 저항들의 위치와 저항 값은 표 1.에 정리했다.

제안한 안테나의 설계 및 해석을 위해서 상용 모의실

험 도구인 CST와 HFSS를 이용하였다. 모의실험을 할 때에는 임피던스 변환을 하였고, 측정을 할 때에는 광대역 임피던스 변환을 위해 마이크로스트립 구조의 임피던스 변환기와 10 ~ 1900 MHz에서 동작하는 광대역 발룬을 사용하였다. 또한 안테나의 입력 임피던스의 급격한 변화를 줄이기 위해서 안테나의 입력 부분을 tapered line으로 설계하였다. 제안한 안테나가 30 ~ 2000 MHz에서 동작할 수 있도록 설계 변수들인 h1, h2, k, w를 변화 시켜가며 모의실험을 했고, 각 변수들이 안테나의 특성에 어떠한 영향을 미치는 지에 대해 알아보았다.

부하 저항의 개수가 많을수록 방사 효율의 저하가 커지므로 부하 저항의 수는 여섯 개로 그 수를 고정하였다. Klopfenstein taper에 의해서 결정된 부하저항의 위치와 저항 값과 최적화된 안테나 설계 변수들의 값으로 해석한 반사손실을 그림 2에 나타내었다. 모의실험 할 때에는 안테나의 입력부분과의 정합을 위해서 안테나의 급전부분에서 임피던스 변환을 하였다. 최적화된 변수들과 Klopfenstein taper를 적용한 제안한 안테나의 모의실험 결과 30 ~ 2000 MHz 대역 모든 구간에서 VSWR < 3을 만족하는 것을 알 수 있다.

표 1. 제안한 안테나의 부하 저항의 위치와 저항 값
Table 1. Positions and values of the resistors.

| | | | | | | |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 저항값 (Ω) | 400 | 360 | 312 | 256 | 220 | 200 |
| 위치 (cm) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |

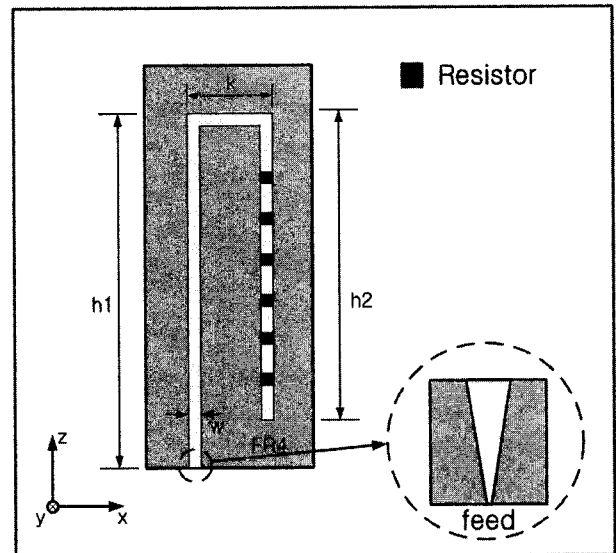


그림 1. 제안한 부하저항을 갖는 접힌 구조의 모노폴 안테나의 구조

Fig. 1. Geometry of the proposed antenna.

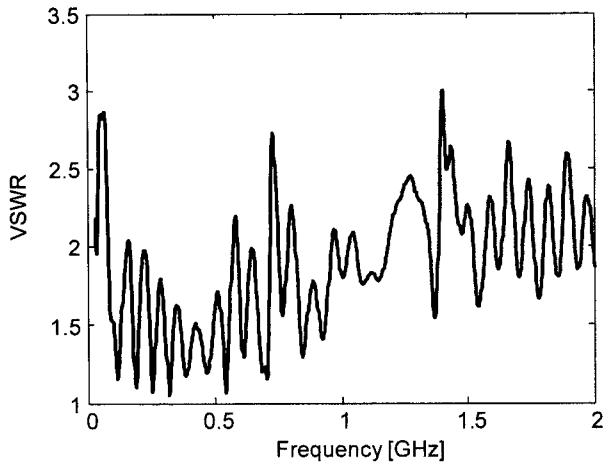


그림 2. 제안한 안테나의 모의실험 한 VSWR
Fig. 2. VSWR of the proposed antenna.

그림 3은 여러 주파수에서 계산된 제안한 안테나의 방사패턴을 나타낸다. 전 대역에 걸쳐서 전방향성 특성이 나타나는 것을 알 수 있으며, 30 MHz에서 약 -1 dBi 이득을 얻었다. 또한 전 대역에 걸쳐서 계산된 이득이 -4 ~ 4 dBi 의 분포를 갖는다. 주파수가 높아질수록 방사패턴이 물결치는 것을 볼 수 있다. 주파수가 높아질수록 안테나의 전기적 길이가 1λ 보다 길어 보여 발생하는 고차 모드 때문에 발생하는 것이다. 그렇기 때문에 제안한 안테나는 주파수가 높을수록 많은 사이드로브(side lobe)를 갖게 된다. 이렇게 사이드로브가 많아지는 것은 광대역 안테나의 일반적인 특징이다.

III. Properties of design parameters

본 장에서는 제안한 안테나의 설계변수들이 안테나의 특성에 어떠한 영향을 미치는 가에 대해서 분석을 하였다. Klopfenstein taper 값을 갖는 부하 저항의 영향을 알아보기 위해 기본적인 평면형 모노폴 안테나와 평면형 모노폴 안테나에 부하 저항을 달았을 때의 반사손실 특성을 비교했다. 또한 접힌 구조와 접히지 않은 평면형 구조의 반사손실을 비교함으로써 접힌 구조의 영향을 분석하였다. 그림 4는 모의 실험을 한 구조들을 알려준다. 그림 5 (a)는 3 m 길이의 기본형 모노폴 안테나와 기본형 모노폴 안테나의 끝에 Klopfenstein taper 값을 갖는 부하 저항을 적용했을 때의 반사손실을 나타낸 그림이다. 부하 저항을 적용하지 않았을 때에는 정합이 거의 되지 않았지만, 부하 저항을 적용함으로써 인해 정합정도가 전 대역에 걸쳐서 좋아진 것을

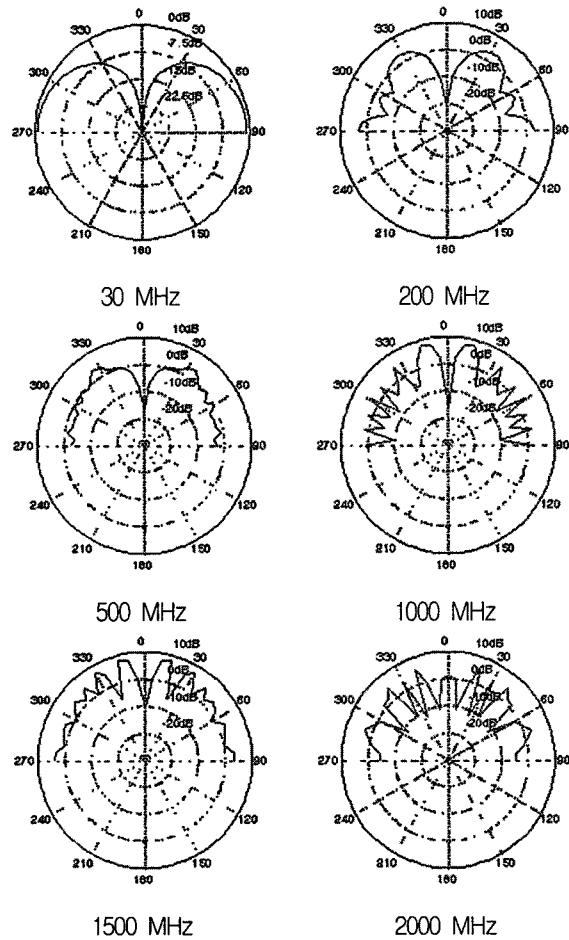


그림 3. 제안한 안테나의 모의 실험한 방사패턴
Fig. 3. Radiation patterns of the proposed antenna.

확인할 수 있다. 이는 제안한 안테나가 주어진 대역에서 진행과 안테나처럼 동작하고 있는 것을 말해준다.

제안한 안테나는 매우 낮은 주파수인 30 MHz 에서부터 동작을 하기 때문에 안테나의 크기 역시 매우 중요한 설계 요소가 된다. 안테나의 크기를 줄이기 위해 접힌 구조를 적용하였다. 부하 저항을 적용한 상황에서, 접히지 않은 구조와 접힌 구조에 대해 800 MHz 까지 모의 실험한 반사손실 특성은 그림 5 (b)에 나와 있다. 접힌 구조를 적용했을 때에는 약 100 MHz 이하 주파수 부분에서 반사손실이 -6 dB ($VSWR > 3$)이상으로 올라가는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 접힌 부분에서 발생하는 임피던스 불연속과 전류 방향의 변화로 인해서 입력 임피던스가 변하기 때문에 발생한다. 입력 임피던스의 변화로 인해서 접힌 구조의 반사손실 정도와 공진 주파수가 접히지 않고 부하 저항을 달았을 때의 특성과 다르게 나타나는 것이다. 접힌 구조를 적용했을 때에는 100 MHz 보다 낮은 주파수에서는 반사손실 특성이 좋

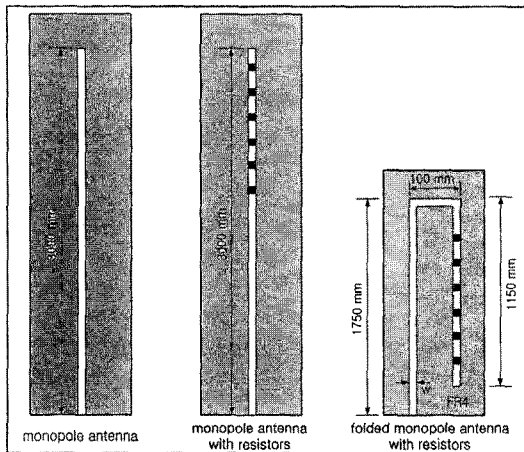
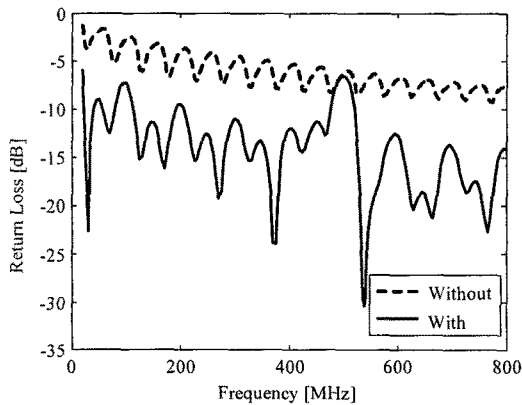
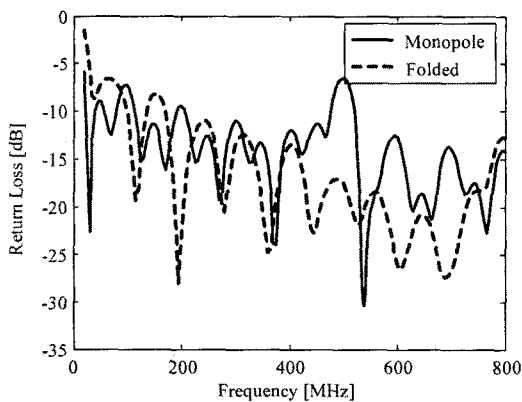


그림 4. 모노폴 안테나와 접힌 구조의 모노폴 안테나
 Fig. 4. Geometries of monopole antennas and folded monopole antenna.



(a) 부하 저항의 유무에 따른 반사손실 특성



(b) 평면형 구조와 접힌 구조의 반사손실 특성

그림 5. (a) 부하 저항의 유무에 따른 반사손실 특성, (b) 부하 저항이 있을 때의 접힌 구조와 평면형 구조의 반사손실 특성

Fig. 5. (a) Return loss properties with resistors and without resistors, (b) Return loss properties folded structure and monopole structure.

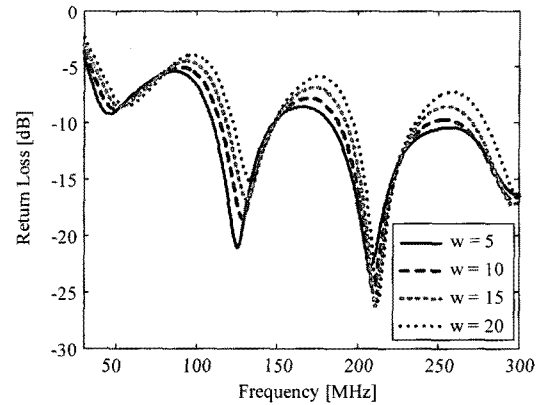


그림 6. 패턴 폭(w)을 변화 시켰을 때의 반사손실 특성
 Fig. 6. Return loss properties of pattern width.

지 않았지만, 그 이상의 주파수에서는 좋은 성능을 유지하는 것을 확인했다. 이는 낮은 주파수 부분에서의 반사손실 특성을 개선하면, 작은 크기를 갖는 초광대역 안테나로서 이용할 수 있다.

제한한 안테나는 접힌 구조를 적용함으로써 인해서 낮은 주파수에서의 반사손실 특성이 안 좋아지는 것을 확인하였다. 접힌 구조에서 낮은 주파수의 반사손실 특성을 개선하기 위해 안테나 설계 변수인 안테나의 길이(h_1), 접힌 길이(h_2), 패턴 폭(w), 접힌 길이까지의 거리(k)의 값을 변화시켜 가며 각 변수가 안테나의 특성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고, 최적화 된 값을 추출했다. 각 변수의 최적화 값을 이용하여 30 ~ 2000 MHz 대역에서 제안한 안테나의 반사손실 특성을 $VSWR < 3$ 로 유지할 수 있다.

2. 안테나의 길이 (h_1)

광대역 안테나는 가장 낮은 공진 주파수에 의해 크기

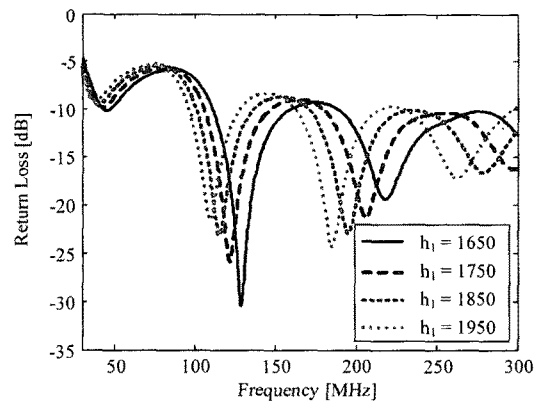


그림 7. 안테나 길이(h_1) 변화에 따른 반사손실 특성
 Fig. 7. Return loss properties of antenna height.

의 제한을 받는다. 본 논문에서 제안한 안테나는 가장 낮은 공진 주파수가 30 MHz 이기 때문에 일반적인 모노폴 안테나를 사용할 경우 2500 mm의 길이를 갖게 된다. 하지만 제안한 안테나는 광대역 특성을 얻기 위해 부하 저항을 달아주었기 때문에 안테나의 길이가 기본 평면형 모노폴 안테나에 비해 길어지게 되었다. 안테나의 크기를 줄이기 위해 접힌 구조를 적용하여 안테나의 총 길이를 줄였다.

제안한 안테나의 총 길이는 안테나 설계 변수인 h_1 에 의해서 결정된다. 그림 7에서 알 수 있듯이 h_1 이 짧아짐에 따라 공진 주파수가 올라가는 것을 알 수 있다. 즉 h_1 의 길이가 안테나의 가장 낮은 공진 주파수를 결정한다. 하지만 공진 주파수의 변화에 비해 반사손실 특성의 변화는 크지 않은 것을 알 수 있다. 그렇기 때문에 가장 낮은 동작 주파수를 어떠한 값으로 설정하느냐에 따라서 안테나의 길이를 변화시킬 수 있다.

3. 접힌 길이 (h_2)

제안한 안테나의 접힌 부분은 광대역 특성을 얻기 위해서 부하 저항들을 달아주는 부분이라고 생각할 수 있다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 접힌 길이의 변화는 공진 주파수에 많은 영향을 미치지 않는다. 즉, 제안한 안테나에서 접힌 구조는 부하 저항을 위한 추가적인 부분이라고 할 수 있다. 또한 접힌 길이에 의해서 부하 저항의 위치가 결정되기 때문에 반사손실 특성과 공진 주파수에 있어서 일정한 경향성을 보이지 않는다.

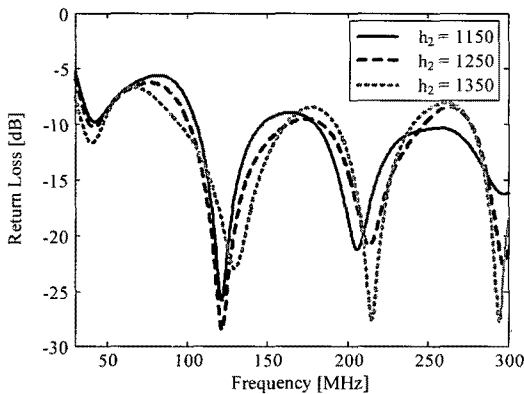


그림 8. 접힌 길이(h_2) 변화에 의한 반사손실 특성
Fig. 8. return loss properties of folded length.

4. 접힌 길이까지의 거리 (k)

접힌 길이까지의 거리(k)는 안테나 설계에 중요한 설

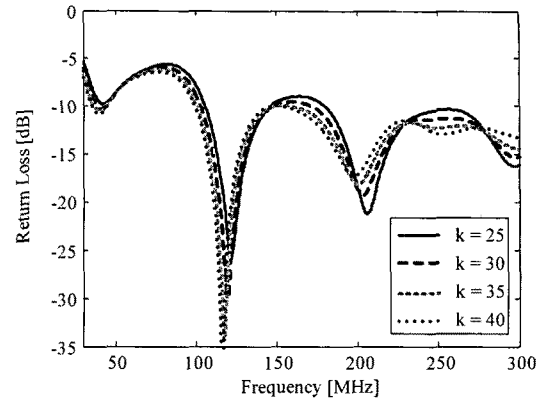


그림 9. 접힌 길이까지의 거리(k) 변화에 따른 반사손실 특성
Fig. 9. Return loss of distance between monopole and folded line.

표 2. 설계 변수가 안테나 특성에 미치는 영향
Table 2. Effects of design parameters.

| | 특성 |
|-------|--------------------------|
| h_1 | 최저 공진 주파수 결정 |
| h_2 | 부하 저항을 위한 추가적인 부분 |
| k | 클수록 반사손실 향상 |
| w | 작을수록 반사손실 향상 및 공진 주파수 감소 |

계 변수 중 하나이다. 모노폴 안테나와 부하 저항이 달려있는 접힌 부분까지의 거리가 너무 가까울 경우 모노폴 안테나와 접힌 부분 사이에 커플링(coupling)이 발생하고 전류의 흐름역시 모노폴 안테나와 접힌 부분은 반대이기 때문에 방사에 영향을 미치게 된다. 그리고 모노폴 안테나와 접힌 부분의 길이가 멀어지는 경우는 안테나의 크기가 커지게 되는 단점이 있다. 커플링에 의한 영향을 많이 받지 않고 적당한 크기를 유지하는 k 값을 찾아야 한다. 그림 9에 거리를 20 ~ 40 cm로 변화 시키면서 계산한 반사손실 특성이 나와 있다. 거리가 멀어질수록 대부분의 대역에서 정합 정도가 향상 되는 것을 볼 수 있다.

본 절에서는 제안한 안테나의 설계 변수들이 안테나의 반사손실 특성에 어떠한 영향을 미치는지 분석해 보았다. 안테나의 광대역 특성은 Klopfenstein taper 기법을 이용해 부하 저항의 값을 이용해 얻을 수 있었다. 정합 정도는 패턴 폭을 좁게 해 입력 임피던스를 높여 줌으로써 $VSWR < 3$ 을 얻을 수 있었다. 안테나의 크기를 결정하는 변수인 안테나의 길이(h_1)와 접힌 부분과의 거리(k)를 조절함으로써 최적화 된 안테나 설계 변수들의 값을 결정할 수 있었다. 제안한 안테나의 설계

변수들이 안테나의 정합 정도와 반사손실 특성에 미치는 영향의 정도를 표 2에 정리했다.

IV. Fabrication and Measurement

그림 10은 제안한 안테나의 모의 실험한 VSWR 결과와 측정된 VSWR 결과를 나타냈다. 모의실험과는 다르게 측정된 VSWR 결과는 낮은 주파수에서 $VSWR > 3$ 이상을 나타내고 있다. 제작한 안테나는 처음 측정할 때에 임피던스 변환기로 마이크로스트립 구조를 사용하였다. 하지만 임피던스 변환기로 사용한 마이크로스트립 구조가 주파수에 민감하기 때문에 모의 실험 결과와 다른 VSWR 특성이 나타난다. 순수하게 안테나의 특성을 알아보기 위해 주파수에 안정적인 임피던스 변환기를 이용해 재

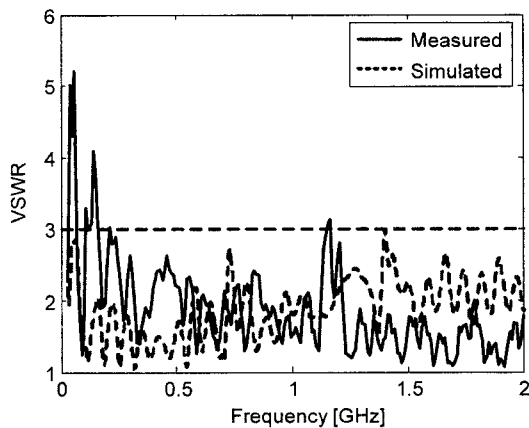


그림 10. VSWR 모의 실험 결과와 측정 결과
Fig. 10. VSWR of measurement and simulation.

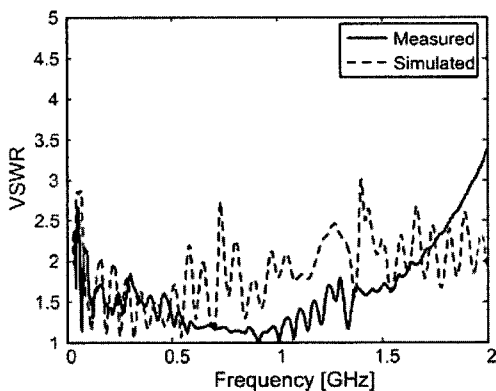


그림 11. 광대역 발룬을 달았을 때의 VSWR 특성
Fig. 11. VSWR of measurement and simulation with ultra wide band balun.

측정을 했다. 광대역 임피던스 변환기로 10 ~ 1900 MHz에서 동작하는 광대역 발룬을 이용하였다. 광대역 발룬을 이용해서 측정된 결과가 그림 11에 나와 있다. 측정 결과 낮은 주파수에서 잘 동작하는 것을 알 수 있다. 하지만 2 GHz 부분으로 올라가면서 VSWR 특성이 안 좋아지는데 광대역 발룬이 1900 MHz 까지 동작하고, 발룬과 안테나를 연결하는 과정에서 납땜 등의 영향에 의해 나타난 결과라고 할 수 있다.

III. Conclusion

본 논문은 Klopfenstein taper를 평면형 모노폴 안테나에 적용해 $VSWR < 3$ 대역폭이 30 ~ 2000 MHz인 초광대역 안테나를 제안했다. 또한 parametric study를 통하여 안테나 설계 변수들인 안테나 패턴 폭, 안테나 길이, 접힌 길이, 접힌 부분과 평면형 모노폴 과의 거리를 최적화 하였고 각 변수들이 안테나의 특성에 미치는 영향에 대해서 분석했다. 안테나의 크기를 줄이기 위해서 접힌 구조를 적용하였으며, 안테나 입력단에서의 안정적인 임피던스 변환을 위해서 광대역 임피던스 변환기를 이용하였다. 제안한 안테나 구조는 다대역 다기능 무선 통신 시스템의 단말용 안테나로 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

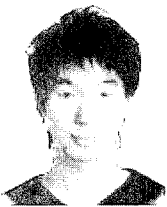


그림 12. Klopfenstein taper 부하저항을 이용한 접힌 구조의 모노폴 안테나
Fig. 12. Photograph of the proposed antenna.

참고 문헌

- [1] Donald N. Black, Jr. and Thereas A. Brunasso, "An Ultra-Wideband Bicon Antenna", *IEEE 2006 International conference on Ultra-Wideband*, pp. 327-332, Sep. 2006.
- [2] E.E. Altshuler, "The travelling-Wave Linear Antenna", *IRE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-9, pp. 324-329, July 1961.
- [3] D.M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3rd ed. New York: Wiley, 1998.
- [4] Jun-Hwa Oh, "Characterization of a Broadband Reactively and Resistively Loaded Antenna", *Yonsei university: a master's thesis*, 2009.

저자 소개



오 준 화(정회원)
2007년 연세대학교 전자공학과
(공학사)
2009년 연세대학교 전자공학과
(공학석사)
<주관심분야 : 안테나>



오 일 영(정회원)
2007년 연세대학교 전자공학과
(공학사)
2007년~현재 연세대학교
전자공학과 통합과정
<주관심분야 : 안테나, 수치해석>



육 종 관(평생회원)
1998년 University of Michigan
전기전자공학과
(공학박사)
2000년 3월~현재 연세대학교
전기전자공학과 교수

<주관심분야 : 마이크로파 시스템 해석 및 설계,
RF MEMS, Computational Electromagnetics,
Bio-radar and sensors, EMI/EMC, 안테나>