

대칭 미앤더 급전 선로를 이용한 사다리꼴 평면 UWB 안테나 설계

Design for Trapezoidal Planar UWB Antenna Using Symmetry Meander Feedline

김 태 근 · 민 경 식

Tae-Geun Kim · Kyeong-Sik Min

요 약

이 논문은 저주파수 영역에서 광대역을 실현하기 위해 대칭형 미앤더 급전 선로를 이용한 사다리꼴 평면 UWB 안테나의 설계를 제안한다. 제안된 설계 안테나의 크기는 $15.5 \times 21 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 이며, 설계에 고려된 유전체는 4.4의 복소 비유전율을 가진다. 계산된 대역폭은 9.52 GHz(1.31~10.83 GHz)이고, 측정된 대역폭은 반사 손실 -10 dB 이하에서 9.1 GHz(1.5~10.6 GHz)이며, 이 대역은 UWB 안테나 대역폭을 만족한다. 또한, 시뮬레이션상 복사 패턴과 측정 패턴이 각각의 주파수에서 서로 잘 일치하는 것을 보여주고 있다.

Abstract

This paper presents a design for trapezoidal planar UWB(Ultra Wide-band) antenna using symmetry meander line to realize broad bandwidth at low frequency region. The size of proposed design antenna is $15.5 \times 21 \times 1.6 \text{ mm}^3$ and dielectric substrate considered in design has 4.4 of relative permittivity. The calculated bandwidth is from 1.31 GHz to 10.83 GHz and the measured return loss is 1.5 GHz to 10.6 GHz at -10 dB below, and satisfies with the UWB antenna's bandwidth. The simulated and measured radiation patterns show fine agreement with each other at each frequency.

Key words : UWB Antenna, Trapezoidal Planar, Symmetric Meander Feed Line, Microstrip Antenna

I. 서 론

최근 무선 통신 기술의 발달과 함께 다양한 무선 서비스들이 연구 개발되고 있다. 이에 따라 다양한 서비스를 동시에 수용할 수 있는 광대역 통신 시스템(UWB: Ultra-Wideband)의 필요성도 대두되었다. 그리고 2002년 미국 FCC(Federal Communication Commission)가 UWB의 민간 사용 규제를 해지함에 따라 상업적 사용이 허가되면서, 본격적으로 상용화가 가

능해졌다. UWB 통신 시스템의 장점으로는 전송량이 500 Mbps~1 Gbps로 초고속 전송 속도를 가지며, 저전력 송신이 가능하다는 것이다. 그리고 3.1~10.6 GHz를 만족하는 광대역 안테나가 필수이며, 파장이 약 28~96 mm이므로 소형의 안테나가 요구된다. 이미 개발된 UWB 안테나로는 원형이나 타원형, 사각형의 광대역 모노폴 안테나^{[1]~[3]}, 슬롯트와 혼 구조^{[4],[5]}, 삼각뿔 구조의 모노폴 안테나^[6] 등이 있다.

본 논문에서는 광대역 설계를 위해 사다리꼴 구조

「본 연구는 Post BK-21 사업, (주)파트론의 안테나 소형·광대역화 위탁사업 및 중소기업청과 부산광역시 지원하는 2008년도 산학연 공동기술개발 컨소시엄 사업 지원으로 이루어졌습니다.」

한국해양대학교 전파공학과(Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime University)

· 논 문 번 호 : 20090529-09S

· 수정완료일자 : 2009년 8월 14일

의 평면 안테나를 사용하였다. 그리고 저주파수 대역폭의 확장과 소형화를 위해 급전선 부분에 미앤더 라인 대칭 급전 구조를 사용하였다.

2장에서는 사다리꼴 안테나의 이론적 구조와 설계를 시뮬레이션으로 제시하였고, 3장에서는 시뮬레이션의 제약을 바탕으로 안테나를 제작하여 반사 손실, 복사 패턴과 이득을 측정하여 제안한 안테나의 성능을 검증하였다. 4장에서는 지금까지의 결과를 토대로 결론을 도출하였다.

II. 안테나 설계

프린티드 안테나는 대역폭이 좁다는 점과 전력 용량이 작다는 단점을 가지고 있으나, 초고주파수 영역에서는 집적화가 쉽고 구조와 크기를 조절하여 안테나의 특성을 조절할 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있어서 현재까지 안테나 연구에 많이 사용되고 있다^[7]. 프린티드 안테나가 소형이 되면 전류 밀도가 높아져 Q 값이 높아지게 된다. 이에 따라 지향성이 강해지며 고이득 특성을 가질 수 있게 된다.

$$Q = \frac{\text{Resonant Frequency}}{3 \text{ dB Bandwidth}} \quad (1)$$

본 논문에서 제안하는 대역폭 증가 방법 중 하나는 식 (1)처럼 안테나의 지향성을 조절하여 Q 의 값을 줄여 대역폭 확장을 시도한다.

반면, UWB 시스템이 저전력·근거리 통신에 이용되는 점을 감안하여, 낮은 Q 값으로 인한 이득 감소는 트레이드 오프한다. 그림 1에 마이크로스트립 사각 패치 안테나를 나타내었다. 사용된 안테나의 기판은 유전율이 4.4이고, 두께가 1.6 mm인 FR4_epoxy 기판을 고려하였다. 설계에 고려된 안테나 기판의 전체 크기는 $21 \times 15.5 \text{ mm}^2$ 이다. 사각 패치면의 크기는 $11 \times 12.7 \text{ mm}^2$ 이며, 급전 선로의 폭과 길이는 각각 2.2 mm와 7.8 mm이다. 이 때 그라운드 크기가 $21 \times 15.5 \text{ mm}^2$ 일 때, 안테나의 공진 주파수는 그림 2에서 보는 것처럼 12.56 GHz에서 나타나고 있다. 그라운드의 크기가 안테나 뒷면의 전체를 덮고 있기 때문에 그림 1(a)의 정면 방향(Z축 방향)으로 지향성이 생기며, 공진 주파수에서 Z축으로 최대 2.2 dB의 이득을 가지고 있다. 그림 2에서 그라운드의 크기가 X축 방향으로 a 의 값이 작아질수록 대역폭이 늘어

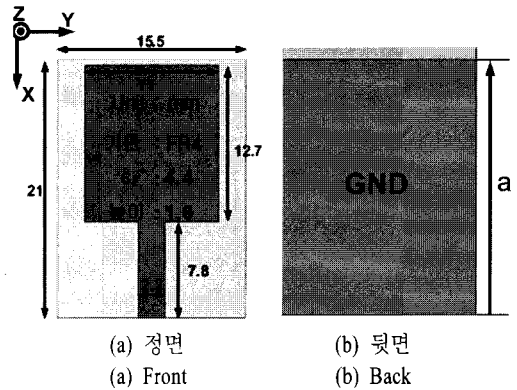


그림 1. 사각 평면 패치 안테나
Fig. 1. Rectangular microstrip patch antenna.

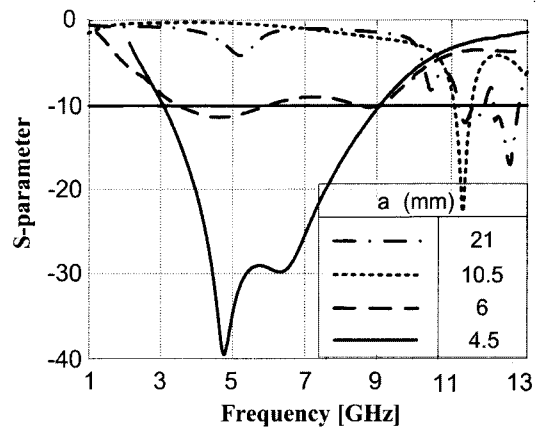


그림 2. 그라운드면 'a'의 크기에 따른 대역폭 특성 변화
Fig. 2. Variation of bandwidth characteristic with respect to the 'a' of the groundplane.

나는데, 이것은 그림 3을 보면, 패치면 뒤의 그라운드 크기가 줄어들며 따라 안테나 반치폭이 늘어남을 볼 수 있다. 그리하여 그라운드 크기가 줄어들며 따라 안테나의 지향성이 무지향성으로 변하면서 이득이 줄어들게 된다. 그림 2에서 보면 a 가 4.5 mm일 때, 대역폭이 가장 넓지만 공진 주파수 4.71 GHz에서의 최대 이득은 2 dB로 그라운드의 크기가 21 mm였을 때보다 지향성이 낮아져 최대 이득이 줄어들게 되었다. 그라운드의 크기는 a 가 4.5 mm일 때, 대역폭이 가장 넓었으므로 이 값을 이후의 설계에도 적용하였다.

본 논문에서 제안하는 대역폭 증가 방법 중 두 번째는 임피던스 매칭에 의한 대역폭 증가 방법이다. 사각 패치 안테나에 L자형 홈을 뚫어줌으로써 임피

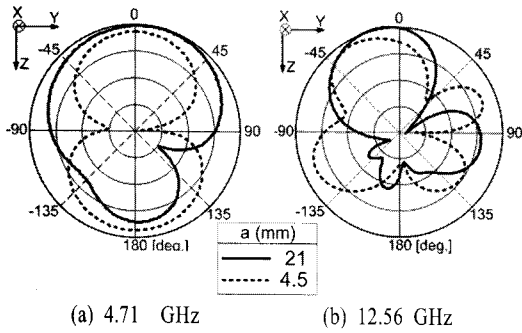


그림 3. 그라운드 크기 'a'에 따른 공진 주파수에서 전계면 비교
Fig. 3. E-plane comparison by the ground size of 'a' at the each resonance frequency.

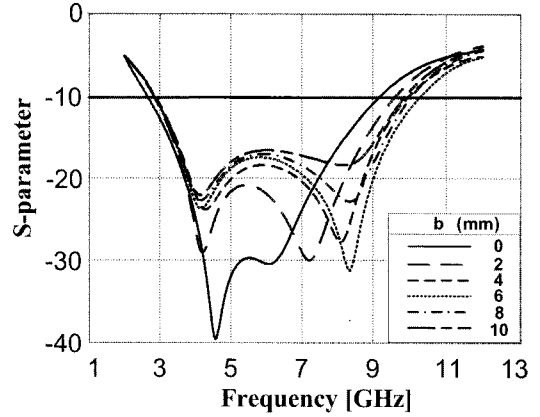


그림 5. 사각 패치면의 홈 'b'에 따른 대역폭 변화
Fig. 5. Variation of bandwidth characteristic with respect to the 'b' size.

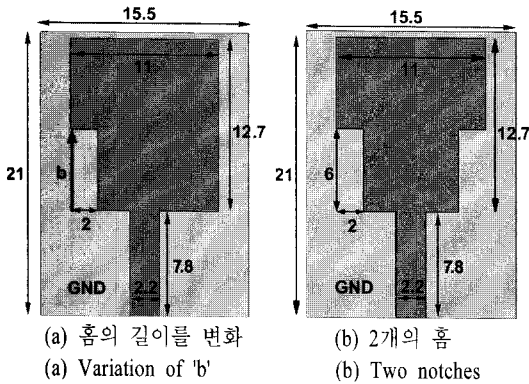


그림 4. 사각 패치면에 홈을 낸 프린트드 안테나
Fig. 4. Microstrip patch antenna with notch.

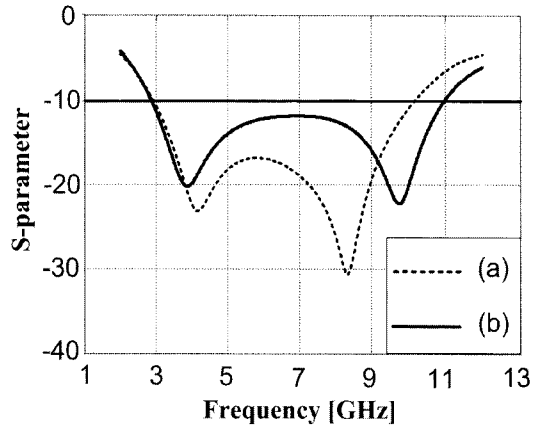


그림 6. 홈 수에 따른 계산된 대역폭 특성(b=6 mm)
Fig. 6. The simulated bandwidth characteristics by the number of notch(b=6 mm).

던스 제어에 의한 대역폭 확장 방법이 발표되었다^[8]. 그림 4의 안테나 그라운드 크기는 그림 2에 나온 결과인 15.5×4.5 mm²로 고정하였다. 그림 4(a)에서 사각 패치 안테나의 홈 b의 길이에 따라 대역폭 특성이 바뀌는 것을 볼 수 있다. 홈이 없을 때에는 그림 2에서 처럼 4.71 GHz에서 공진하며, -10 dB 이하의 반사 손실을 기준으로 6.1 GHz(3~9.1 GHz)의 대역폭을 나타내고 있다. 한편, 그림 5와 같이 사각 패치에 홈이 생기면서 이중 공진 특성이 나타나고 대역폭이 증가되고 있다. 그리고 홈의 길이가 길어지면 패치면의 전체 크기가 줄어들기 때문에 공진 주파수가 고주파수로 이동하게 되고, 홈 b의 길이가 6 mm일 때, 임피던스 변화가 완만하여 대역폭이 7.1 GHz(3~10.1 GHz)로 가장 광대역 특성을 보이고 있다. 하지만 6 mm보다 길어지게 되면 임피던스 정합이 나빠져 이중 공진은 발생하더라도 대역폭이 6

mm 때보다 줄어들게 된다. 이를 이용하여 홈의 갯수에 따른 대역폭 변화를 관찰하기 위해 그림 4(b)의 안테나를 설계하였다. 그림 6에 나타난 것처럼 홈 하나일 때보다, 두 개일 때가 대역폭이 더 넓은 특성이 나왔다. 앞서 설명했듯이 패치면의 크기가 작아져서 두 번째 공진 주파수가 고주파수 영역으로 더욱 이동하고 임피던스 변화가 완만해져 대역폭이 더 늘어나게 된 것이다. 패치면 부분에서 홈이 한쪽에 있을 때보다 양쪽 대칭으로 있을시 좀 더 안정적인 임피던스 변화가 생기는 것을 의미한다. 홈이 양쪽 대칭으로 점차적으로 넓어지는 형태일 때 임피던스 변화가 완만해지는 것을 이용하여, 패치면을

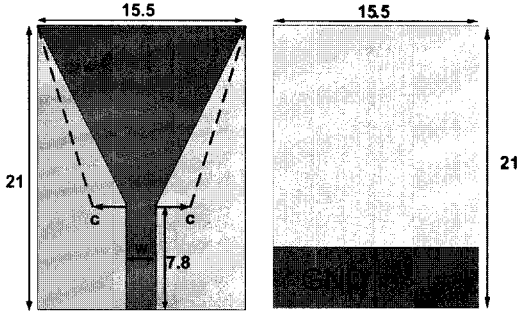


그림 7. 사다리꼴 평면 패치 안테나
Fig. 7. Trapezoidal planar patch antenna.

직사각형 형태가 아닌 사다리꼴 형태를 취하였을 시, 완전한 임피던스의 변화로 인한 대역폭 확장을 기대할 수 있다. 실제 사다리꼴의 형태에 따른 임피던스의 관계를 기술한 논문에서도 이를 찾아볼 수 있다⁹⁾.

그림 7에서 패치면을 사다리꼴 구조로 변경하여 안테나의 대역폭 특성을 분석하였다. 급전선의 폭 w 는 2.2 mm로 고정하였다. 사다리꼴 밑변의 길이 c 에 따라 대역폭이 변하고 있는데, c 가 0 mm일 때는 급전선의 폭과 일치하는 것을 의미하며, 6.65 mm일 때 사각 패치 모양이 된다. 그림 8에서 c 의 길이가 커져 본래의 사각형 패치에 가까워질수록 이중 공진 특성이 사라지고 대역폭이 줄어들음을 볼 수 있다. 그림 7에서 알 수 있듯이 사다리꼴 밑변의 길이에 따라 대역폭 변화가 민감함을 알 수 있다. 그림 5, 6과 8을 분석해 보면 공통된 특성을 찾을 수 있는데, 패치면의 형태가 바뀌면 고주파수인 10 GHz 대역에서 대역폭 변화는 민감하나, 저주파수인 3 GHz 대역에서는 대역폭 변화가 매우 미미함을 알 수 있다. 이것은 저주파수 공진에 영향을 주는 전류가 급전선 부분에서 그라운드 면과 임피던스 매칭이 일어나기 때문에 대역폭이 변하지 않는 것이다. 이를 증명하기 위해 그림 7의 급전선 폭을 변화시켜 저주파수 영역에서의 대역폭 변화를 계산해 보았다.

그림 9의 결과로부터 알 수 있는 것처럼 패치면의 형태를 변경시킬 때보다 저주파수 대역에서의 대역폭 변화가 크게 나타나고 있다. 이 결과를 바탕으로 저주파수 대역에서의 대역폭 제어를 위해 급전 선로의 전기적인 길이를 증가시켜 대역폭을 확장하는 방법으로 미앤더라인 급전 선로를 제안하였다.

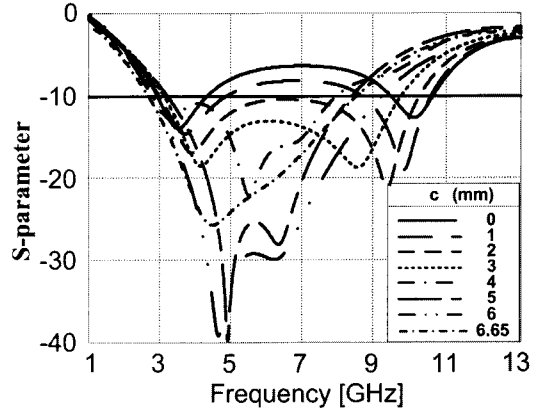


그림 8. 'c' 길이 변화에 의한 대역폭
Fig. 8. Bandwidth by variation of length 'c'.

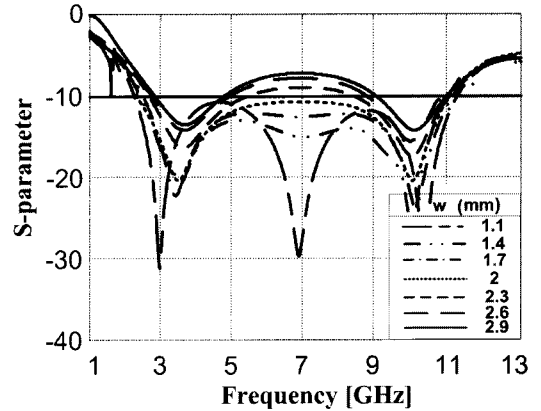

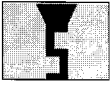
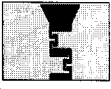
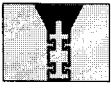


그림 9. 급전선 폭(w)에 따른 대역폭 변화
Fig. 9. Variation of bandwidth characteristic with respect to the 'w' of the feeding line.

표 1에 전류 세기의 비교를 위해 비교주파수를 3 GHz와 각 안테나별 저주파수 대역의 공진 주파수로 나타내었다. 첫 번째 급전선의 구조는 공진 주파수가 3.7 GHz이지만 두 번째 구조는 2.8 GHz, 세 번째 구조는 1.98 GHz에서 공진이 된다. 네 번째 급전구조는 1.5 GHz에서 공진 주파수가 나타났다. 이것은 미앤더라인을 통해 인덕턴스 성분이 커지므로 이중 공진 중 첫 번째 공진 주파수가 저주파수로 내려가게 되는 것이다. 표 1의 두 번째 구조와 네 번째 구조를 비교해 보면, 두 번째 미앤더 급전선의 전류의 세기는 3 GHz에서 최대 280 A/m이지만, 네 번째 대칭형 미앤더 급전선에서의 전류 세기는 최대 1,948 A/m로 매우 강하게 나타나고 있다. 따라서 본 논문

표 1. 급전선 설계에 따른 전류 세기 변화
Table 1. Variation of current strength by feeding line design.

Feedline design	Frequency	Return loss[dB]	MAX [A/m]	MIN [A/m]
	3 GHz	-10.5	125	0.008
	3.6 GHz	-13.5	122	0.008
	3 GHz	-26	280	0.2
	2.8 GHz	-34	280	0.2
	3 GHz	-8	725	0.1
	1.98 GHz	-28	1,857	0.5
	3 GHz	-24	1,948	0
	1.5 GHz	-40	2,100	0.2

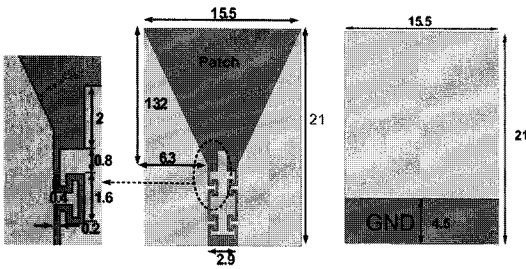


그림 10. 제안된 설계 안테나 구성
Fig. 10. Configuration of the proposed design antenna.

에서는 네 번째의 급전 구조를 제안하였다.

그림 10은 최종 설계된 안테나의 파라미터를 나타내고 있다. 이 안테나는 9.52 GHz(1.31~10.83 GHz)의 대역폭을 가지고, 계산된 공진 주파수별 이득은 1.5 GHz에서는 1.07 dB, 3 GHz에서는 1.23 dB, 10.6 GHz에서는 2.86 dB의 특성을 보였다.

III. 측정 및 고찰

제안된 안테나 파라미터의 타당성을 검증하기 위해, 설계된 안테나의 제원으로 제작 및 측정을 하였다. 제작된 안테나의 반사 손실 및 대역폭 측정은 Anritsu사의 Vector network analyzer 37369D를 사용하였으며, 안테나의 지향성을 측정하기 위하여 16×8×6 m³ 전파 암실을 이용하였다. 유전체 기판은 복소 비유전율 4.4에 높이 1.6 mm를 가지는 FR4 기판을 사용하였고, 제작된 안테나 사진을 그림 11에 나타

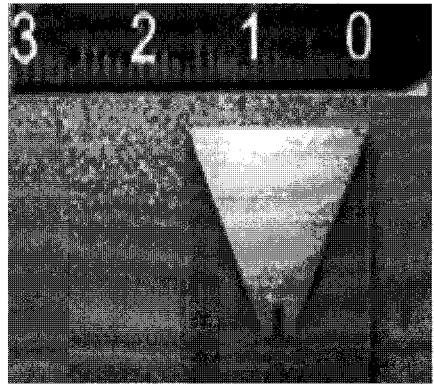


그림 11. 제작된 안테나 사진
Fig. 11. Photograph of a fabricated antenna.

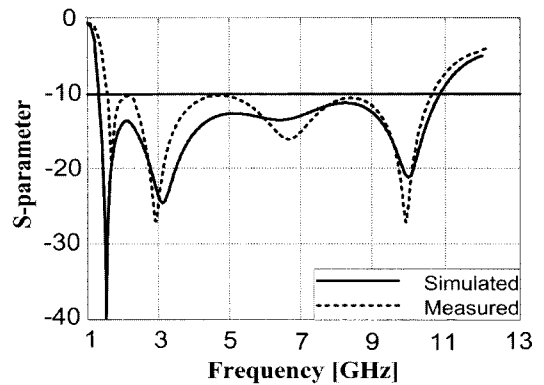


그림 12. 시뮬레이션과 측정 반사 손실 비교
Fig. 12. Comparison of the simulated and measured return loss.

내었다.

그림 12는 실제 제작하여 측정된 안테나와 그림 10의 계산된 안테나의 반사 손실 및 대역폭을 보여준다. 계산된 대역폭은 9.52 GHz(1.31~10.83 GHz)이고, 실제 제작하여 측정된 반사 손실 -10 dB 이하의 대역폭은 9.1 GHz(1.5~10.6 GHz)였다. 그림 13에 시뮬레이션상의 복사 패턴과 측정된 복사 패턴의 결과를 주파수 별로 비교하여 보았다. 그림 13으로부터 알 수 있는 것처럼 계산된 전자계 복사 패턴들이 각각의 주파수에서 측정된 값들과 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

그림 12와 13을 보면, 미앤더 대칭 급전선의 디자인이 섬세하고 복잡하여 애칭시 급전 회로의 패턴이 거칠함에도 불구하고 전체적으로는 계산 값들과 매우 비슷한 특성을 보이고 있어서 만족할만한 안테나

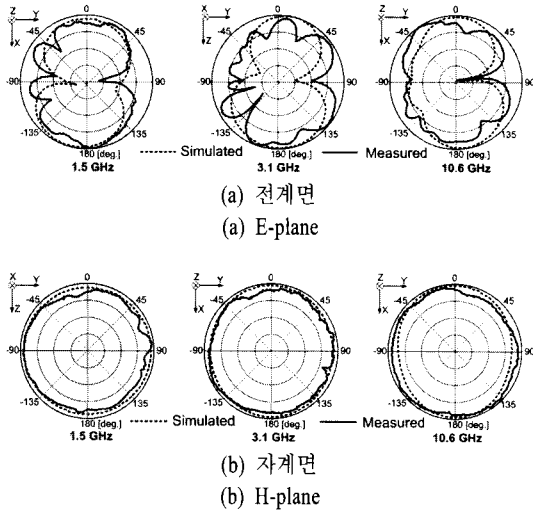


그림 13. 시뮬레이션값과 측정값 복사 패턴 비교
Fig. 13. Comparison of the simulated and measured radiation pattern.

측정 결과를 얻었다고 사료된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 사다리꼴 평면 복사 소자와 대칭형 미앤더 급전 선로를 이용하여 저주파수 대역을 획기적으로 확장시킨 안테나를 제안하였다. 설계 안테나의 대역폭이 9.52 GHz(1.31~10.83 GHz)로, 저주파수 대역은 기존의 UWB 안테나보다 약 1.27 GHz 하향되었다. 따라서 제안된 안테나는 기존의 UWB 안테나 보다 127 % 더 넓은 대역폭을 가진다. 본 논문에서 제안하는 안테나는 저주파수 대역폭 확장 방법에 따라 각종 저전력 사용 무선 서비스 및 근거리용 홈 네트워크의 다양한 서비스에 더욱 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] M. J. Ammann, Z. N. Chen, "Wideband monopole antennas for multiband wireless systems", *IEEE*

Antenna and Propagation Magazine, vol. 45, no. 2, pp. 1146-1150, Apr. 2003.

[2] 차상진, 이현진, 임영석, "Ultra wide-band용 타원형 모노폴 안테나 설계", *대한전자공학회논문지*, 41(5), pp. 651-656, 2004년 8월.

[3] Nikolay Telzhensky, Yehuda Leviatan, "Planar differential elliptical UWB antenna optimization", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 11, pp. 3400-3406, Nov. 2006.

[4] S. Y. Suh, W. L. Stuzman, and W. A. Davis, "A new ultra wideband printed monopole antennas: The planar inverted cone antenna", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 5, pp. 1361-1365, May 2004.

[5] A. Diet, A. Azoulay, A. Joisel, and B. Duchene, "A UWB microstrip antenna design and simulation", *Wireless Technology, 2006 9th European Conference on* vol. 10-12, pp. 399-402, Sep. 2006.

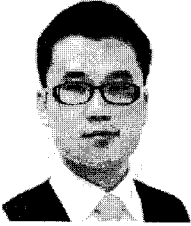
[6] C. C. Lin, Y. C. Kan, L. C. Kuo, and H. R. Chuang, "A planar triangular monopole antenna for UWB communication", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 10, pp. 624-626, 2005.

[7] J. R. James, P. S. Hall, and C. Wood, *Microstrip Antenna Theory and Design*, *Inspec. IEE*, pp. 21-36, 1981.

[8] Jihak Jung, Wooyoung Choi, and Jaehoon Choi, "A compact broadband antenna with an L-shaped notch", *IEICE TRANS. COMMUN.*, vol. E89-B, no. 6, pp. 1968-1971, Jun. 2006.

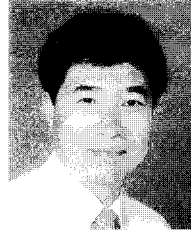
[9] Zhi Ning Chen, Y. W. M. Chia, "Impedance characteristics of trapezoidal planar monopole antennas", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 27, no. 2, pp. 120-122, Oct. 2000.

김 태 근



2009년 2월: 한국해양대학교 전파공학
학과 (공학사)
2009년 3월~현재: 한국해양대학교
전파공학과 석사과정
[주 관심분야] MDM(Magneto-Dielectric
Material), UWB 소형 안테
나 설계 등

민 경 식*



1989년 2월: 한국해양대학교 전자통
신공학과 (공학사)
1991년 2월: 한국해양대학교 전자통
신공학과 (공학석사)
1996년 2월: 일본동경공업대학교 전
기전자공학과 (공학박사)
1997년 3월~현재: 한국해양대학교
전파공학과 교수
[주 관심분야] FDTD 해석법 및 프로그램 개발, RFID,
MDM(Magneto-Dielectric Material), MIMO 안테나, 위성
통신 및 이동통신용 안테나 설계 등

* 교신저자