광대역 특성의 다중 미앤더 스트립 모노폴 안테나

이윤호°, 정종호
아주대학교 전자공학과
E-mail: youknow@ajou.ac.kr

Multiple Meander Strip Monopole Antenna with Broadband Characteristic

Yun-Ho Lee°, Jong-Ho Jung
School of Electrical and Computer Engineering, Ajou Univ.

Abstract

본 논문에서는 광대역 특성을 가지면서 소형화가 용이한 다중 미앤더 스트립 모노폴 안테나 구조를 제안하였다. 제안한 안테나 구조는 스트립으로 이루어진 수직한 모노폴 안테나를 미앤더 형태로 구부림으로써 안테나 높이를 감소시킬 수 있으며, 구부리는 회수가 증가할수록 대역폭이 늘어나는 특성을 갖는다. 제안한 다중 미앤더 스트립 모노폴 안테나 구조로부터 최근 주목을 받고 있는 UWB 통신 대역폭을 포함하는 2.9 GHz에서 10.85 GHz까지의 넓은 대역폭과 전방향에 대한 최대/최소 복사이득의 차가 0.1 dBi 이내인 우수한 모노폴 안테나 복사패턴을 갖는 크기 14 mm×14 mm×14mm의 광대역/소형 안테나를 설계하였다.

Key word: Broadband antenna, Monopole antenna, Height reduced antenna

Ⅰ. 서론

최근 UWB (Ultra WideBand) 통신과 관련하여 학교, 기업은 물론 국가적 차원에서 기술 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 차세대 무선통신의 핵심으로 대두되고 있는 UWB 통신에서는 일반적인 무선통신 방식에서 기저대역 (baseband) 신호를 전송하기 위해 사용하는 반송파(carrier)를 사용하지 않고 신호의 시간폭이 1 나노초(nano second)에서 수 피코초 (pico second) 밖에 되지 않는 낮은 전력의 펄스(pulse)를 사용한다. 넓은 주파수 대역에 걸쳐 낮은 전력의 신호를 전송하기 때문에 기존의 시스템보다 전력 소비량이 적으며, 가용 주파수 대역을 따로 할당하지 않고 기존의 협대역 시스템에 이용되고 있는 주파수 대역을 공유함으로써 한정된 주파수 자원을 효율적으로 이용할 수 있는 장점이 있다. 또한 매우 정교한 물체 추적 능력은 레이다(Radar)나 GPRS (Ground Penetration Radar System) 등의 이미징 (imaging) 시스템에 사용할 수 있고, 일반 무선랜에 비해 10배 이상에 달하는 데이터 전송속도의 구현이 가능하다 [1]. 이러한 UWB 통신 기술에서는 3.1 GHz에서 10.6 GHz까지의 넓은 주파수 대역을 사용하기 때문에 넓은 주파수 범위의 신호를 송, 수신 할 수 있는 광대역 안테나가 반드시 필요하다. 또한 기술발전에 따른 통신 장비들의 소형화에 발맞추어 소형 안테나가 필수적으로 요구됨에 따라 UWB 통신 기술에 적합한 광대역/소형 안테나 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

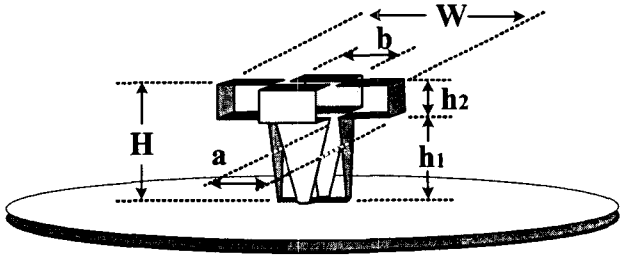
UWB의 대역폭을 만족하는 광대역 특성을 갖는 안테나로는 바이코니컬 (biconical) 안테나, 혼 (horn) 안테나, 리플렉터 (reflector) 안테나, 스파이럴 (spiral) 안테나, 대수주기 (log periodic) 안테나 등이 있다. 그러나 바이코니컬 안테나와 혼 안테나, 리플렉터 안테나의 경우 비교적 큰 크기로 인하여 소형 안테나에 대한 요구를 만족시키기 어려우며, 스파이럴 안테나와 대수주기 안테나의 경우는 단일 주파수나 협대역의 사인파(sinusoidal wave)가 아닌 광대역의 주파수 신호로 이루어진 임펄스 신호(impulse signal)에 대하여 저주파와 고주파 간의 복사 시간차에 따른 분산(dispersion)이 발생하게 되어 송,수신 신호에 왜곡(distortion)을 초래하게 된다 [2~5].

본 논문에서는 UWB 통신 대역폭을 만족하는 광대역 특성을 가지면서 소형화가 용이한 다중 미앤더 스트립 모노폴 안테나 (multiple meander strip monopole antenna) 구조를 제안하였다. 제안한 안테나 구조는 기존에 발표된 광대역 특성의 폴디드 멀티스트립 모노폴 안테나(folded multistrip monopole antenna)[6]에 대하여 'ㄱ' 형태의 스트립을 반복적으로 연결한 것으로, 복수의 미앤더링 된 구조로 되어 있으며, 미앤더링 회수가 증가함에 따라 대역폭이 증가하는 특성을 나타내고 있다. 제안한 안테나 구조를 이용하여 UWB 통신 대역(3.1 GHz~10.6 GHz)을 만족하는 2.9 GHz~10.82 GHz의 광대역 특성을 갖는 안테나를 설계 하였으며, 제안한 안테나의 우수한 전방향 복사 패턴(omnidirectional radiation pattern)은 전방향 통신이 요구되는 무선랜(Wireless LAN)이나 무선팬 (WPAN: Wireless Personal Area Network) 등에 적합할 것으로 예상된다.

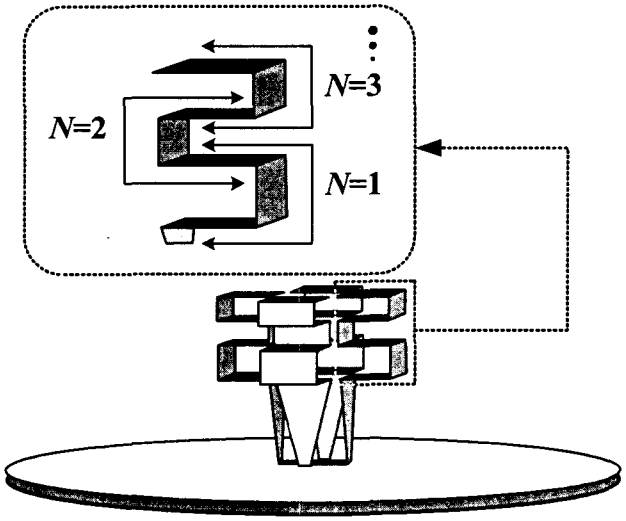
Ⅱ. 안테나 구조 및 기본 특성

기존에 제안한 폴디드 멀티스트립 모노폴 안테나는 수직한 스트립의 끝 부분을 'ㄱ' 형태로 구부림으로써 전체적인 안테나 높이를 감소시킬 수 있으며, 평행한 스트립 사이에서 발생하는 커패시턴스 (capacitance) 성분이 협대역 모노폴 안테나에서 지배적인 인덕턴스 (inductance) 성분을 보상해 줌으로써 대역폭을 크게 개선시킬 수 있었다. 본 논문에서는 기존의 폴디드 멀티스트립 모노폴 안테나를 기본 구조로 하여 더 넓은 대역폭의 구현이 가능한 다중 미앤더 스트립 모노폴 안테나를 제안하였다. 기존의 폴디드 멀티스트립 모노폴 안테나와 제안한 다중 미앤더 스트립 모노폴 안테나 구조를 그림 1에 나타내었다.

제안한 안테나는 그림 1에서와 같이 미앤더링 (meandering) 된 네 개의 동일 복사소자가 접지면 기판상의 십자 (+) 모양의 스트립 각 끝에 연결되어 사방으로 대칭을 이루고 있으며, 십자 스트립의 한 가운데에 접지면을 통하여 동축선으로 신호가 인가된다. 높이 h_1의 수직한 스트립은 기판상의 십자 스트립과 서로 폭이 다른 수평 스트립을 연결하기 위하여 테이퍼링(tapering) 되어 있으며, 수평한 스트립들은 모두 동일한 a와 b 값을 갖는다. 그림 1(a)가 기존에 제안했던 폴디드 멀티스트립 모노폴 안테나이다. 폴디드 멀티스트립 모노폴 안테나의 끝에 그림 1(b)와 같이 'ㄱ' 모양 스트립을 반복 연결한 것이 제안한 다중 미앤더 스트립 모노폴 안테나 구조이며, 그림에서와 같은 방식으로 스트립의 미앤더링 된 회수를 N으로 정의하였다. 그림 1(a)의 안테나는 N=1이 되며, 이를 기준으로 'ㄱ' 모양의 스트립을 한번씩 더 연결할 때마다 N은 1이 증가하게 된다. 이하의 설명에서는 N 번 미앤더링 된 안테나를 N으로 표시하였다. 기존에 발표된 N=1은 그림 1(a)에서 테이퍼링 된 수직 스트립의 길이 h_1=8 mm, 수평한 스트립 사이의 간격 h_2=1.5 mm, 수평 스트립의 길이 a=4.5 mm로 설계 되었다. 원형 접지면의 반지름이 30 mm일 때 4.7 GHz~8.4 GHz까지 약 1.8:1의 측정 대역비를 얻을 수 있었으며, 이때 접지면을 제외한 복사소자는 15(W)×15(W)×9.5(H) ㎣의 크기를 갖는다. 이와 같은 설계변수를 갖는 기존의 폴디드 멀티스트립 안테나에 h_2와 동일한 높이(1.5 mm)와 a과 동일한 길이(4.5 mm)를 갖는 'ㄱ' 모양 스트립을 반복 연결하여 N에 따른 반사손실의 변화를 알아보았다. N=1, 2, 3에 대한 계산된 반사손실을 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 결과에서 N이 증가하면서 복사소자의 전체적인 길이가 길어지게 되므로 안테나의 공진길이가 증가하여 정합 주파수가 점점 낮아지고, 대역폭은 넓어지는 것을 알 수 있다.



(a) 폴디드 멀티스트립 모노폴 안테나



(b) N의 정의

그림 1. 다중 미앤더 스트립 모노폴 안테나 구조.

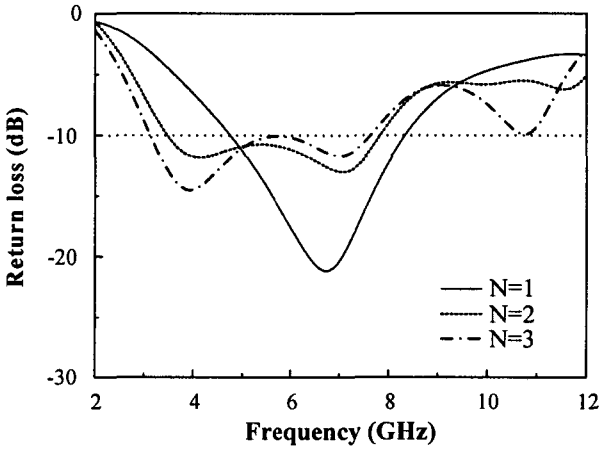


그림 2. N에 따른 반사손실의 변화.

그림 2의 결과로부터 N에 따른 시작 주파수 f_L과 상한 주파수 f_H, 각 N의 전체적인 높이 H와 단일 복사 소자의 스트립 전체 길이 S, 시작 주파수 f_L의 $\lambda_o/4$ 길이에 대한 안테나의 높이 비율(HR: Height Ratio) 및 대역비를 표 1에 정리하여 나타내었다.

표 1. N에 대한 특성 비교.

	f_L(GHz)	f_H(GHz)	H(mm)	S(mm)	HR(%)	대역비
N=1	4.7	8.4	9.5	18.5	59.5	1.8:1
N=2	3.48	7.82	11	24.5	51.1	2.2:1
N=3	3.15	7.6	12.5	30.5	52.5	2.4:1

표 1에서 N=1, 2, 3에 대한 시작 주파수 f_L의 $\lambda_o/4$ 길이를 기준으로 한 안테나 높이 비율 HR은 50%에서 60% 사이이며, 대역비가 각각 1.8:1, 2.2:1, 2.4:1로 N이 증가함에 따라 대역폭이 점점 증가하고 있다. 이러한 다중 미앤더 스트립 모노폴 안테나의 특성은 와이어의 길이를 증가시키고, 구부리는 회수를 늘려 안테나를 소형화 할수록 대역폭이 줄어드는 와이어(wire) 모노폴 안테나의 특성과는 대조되는 것이다 [7, 8].

이와 같은 다중 미앤더 스트립 안테나의 기본적인 특성을 바탕으로 하여 본 논문에서는 UWB 통신에 사용하기 적합한 대역폭을 갖는 N=5에 대하여 특성을 분석하고 설계, 제작하였다. 안테나 특성을 계산하는 데에는 상용 EM 시뮬레이터인 CST사의 MicroWave Studio를 사용하였으며, 안테나의 반사손실을 측정하는 데에는 HP 8510C 벡터 네트워크 분석기(Vector Network Analyzer)를 사용하였다.

Ⅲ. 안테나 설계 및 제작

제안한 N=5를 구성하는 주요 설계변수를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에 나타낸 안테나의 여러 설계 변수들 가운데 안테나의 전체적인 높이를 결정하는 h_n(n=1~6)과 수평한 스트립의 길이 a는 안테나의 정합 특성을 결정짓는 주요 설계 변수로 작용한다. 각각의 설계변수가 반사손실에 미치는 영향을 알아보기 위하여 주요 설계변수에 따른 특성 변화를 그림 4에 나타내었다.

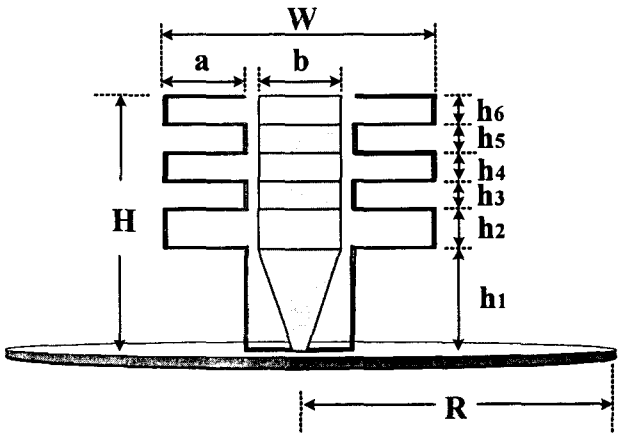
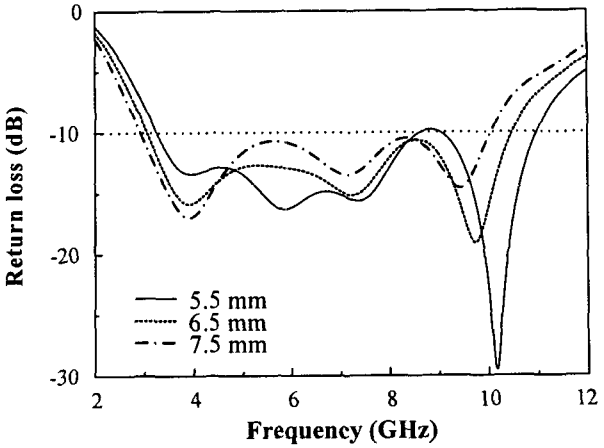
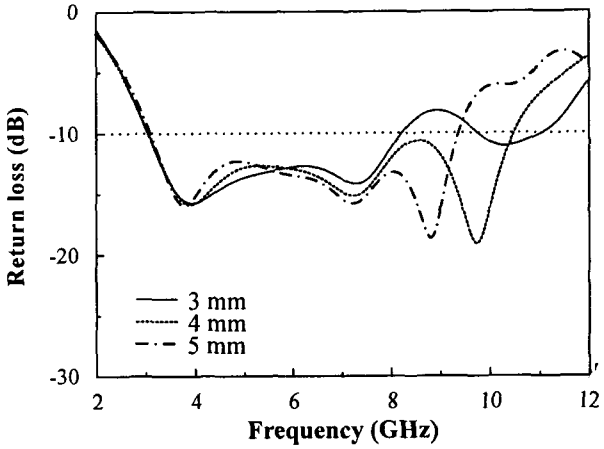


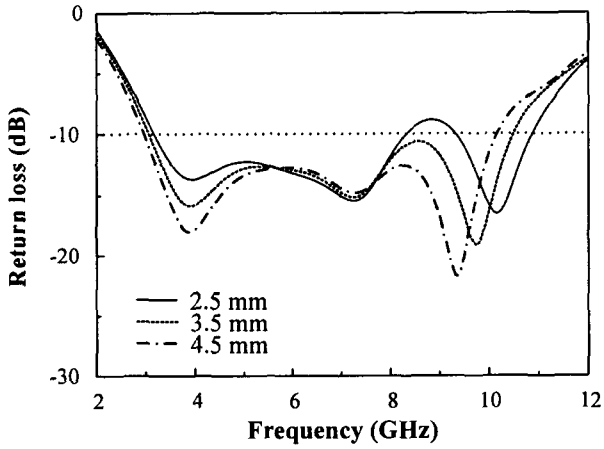
그림 3. 안테나 설계변수.



(a) h_1에 따른 반사손실의 변화



(b) a에 따른 반사손실의 변화



(c) h_2에 따른 반사손실의 변화

그림 4. 설계변수에 따른 반사손실의 변화.

그림 4(a)에서 h_1의 길이에 따라 안테나의 정합 주파수 대역이 상, 하로 이동되는 것을 볼 수 있으며, 전체적으로 반사손실의 변화가 작고 대역폭이 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 그림 4(b)에서 a의 변화에 따른 시작 주파수의 변화와 8 GHz 이하의 주파수에서의 반사손실의 변화는 거의 없으며, 고주파 영역에서의 변화가 비교적 크게 나타나고 있다. 그림 4(c)에서 높이 h_2의 변화에 따른 안테나의 특성은 h_1과 마찬가지로 정합 주파수 대역을 변화시키며, h_2를 조절함으로써 고주파에서의 정합특성을 개선시킬 수 있음을 알 수 있다. 높이 h_3~h_6 역시 h_2와 유사한 영향을 미치며, 마주보는 복사소자 간의 간격이 넓어져 W가 커질수록 전체적인 정합특성은 나빠진다. 그림 4의 결과로부터 안테나의 정합 주파수 대역을 결정짓는 주요 변수는 안테나의 전체적인 높이를 이루는 h_n이며, 수평한 스트립의 길이 a가 안테나의 공진길이에 미치는 영향은 h_n에 비하여 작고, a와 높이 h_2~h_6를 조절함으로써 고주파 영역의 정합특성을 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 그림 4의 결과는 다른 N의 값을 갖는 미앤더 스트립 모노폴 안테나 구조에 대해서도 동일하게 적용된다. 이와같은 특성을 갖는 설계변수들의 최적화 과정을 통하여 구한 안테나의 설계변수 값들을 표 2에 나타내었다. 그림 4의 결과들은 변화시키고자 하는 설계변수 값을 제외한 나머지 설계변수들을 표 2와 동일하게 하여 계산한 것이다. 표 1과 표 2로부터 알 수 있듯이 제안한 안테나는 전체적인 스트립의 길이에 비하여 실효 공진길이(effective length)가 비교적 짧다. 이는 스트립 사이에 발생하는 결합 (coupling) 때문에 안테나의 전기적 길이(electrical length)가 짧아지기 때문이며, N이 증가하거나 높이 h_2~h_6가 작아질수록 실효 공진길이는 더욱 짧아진다. 안테나의 접지면은 두께 1.6 mm이고 비유전율 ε_r이 2.2인 RT Duroid 5880 기판을 사용하였으며, 복사소자는 두께가 0.1 mm인 동판을 이용하여 제작하였다. 표 2의 설계값으로 제작한 안테나의 반사손실을 그림 5에 나타내었다.

표 2. 안테나의 설계값.

(unit: mm)

설계변수	W	a	b	H	h_n						R
	-	-	-	-	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	-
설계값	14	4	4.5	14	6.5	3.5	1	1	1	1	50

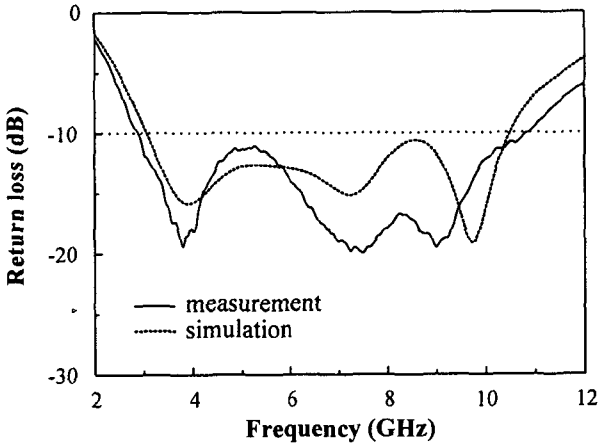
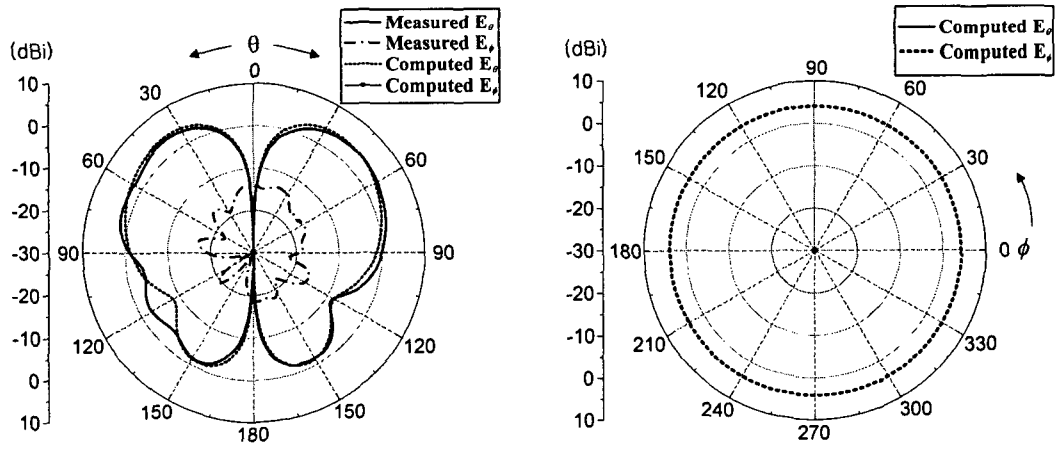


그림 5. 제작한 안테나의 반사손실.

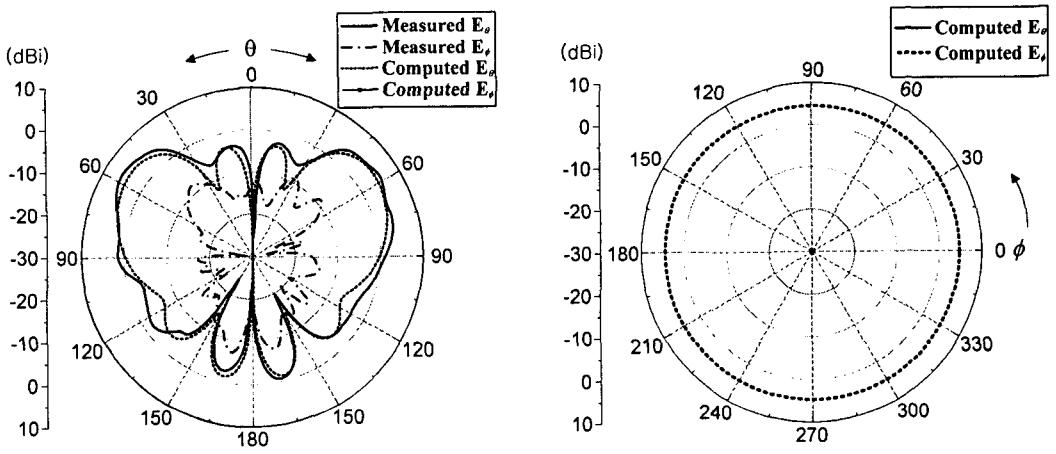
그림 5에서 제작한 안테나의 측정 반사손실의 전체적인 경향은 계산된 결과와 잘 일치하고 있으나, 계산된 반사손실에서 10 GHz 부근에서 발생하는 공진이 약 1 GHz 정도 저주파 쪽으로 이동되어 있고, 측정 대역폭은 조금 더 넓게 나타나고 있다. 이는 제안한 안테나의 수평한 스트립 사이의 간격인 높이 h_3~h_6가 1 mm 정도로 좁기 때문에 안테나 제작시에 발생한 오차로 인한 결과로 예상된다. 안테나의 측정 대역폭은 시작 주파수 2.9 GHz부터 상한 주파수 10.8 GHz까지이며, 표 2에서 알 수 있듯이 접지면을 제외한 안테나가 차지하는 부피는 $14(W)\times14(W)\times14(H)$ ㎣이다. 안테나의 높이는 계산된 반사손실의 시작 주파수(3 GHz)의 $\lambda_o/4$ 길이인 25 mm와 비교하여 약 56% 정도이다. 제안한 안테나가 최근 주목을 받고 있는 UWB 통신의 주파수 대역인 3.1 GHz~10.6 GHz를 포함하는 광대역 특성을 가지면서도 일반적인 광대역 모노폴 안테나[9,10]에 비하여 크기가 소형이라는 것을 알 수 있으며, UWB 통신에 필요한 광대역/소형 안테나에 대한 요구를 잘 만족한다고 할 수 있다.

제안한 다중 미앤더 멀티스트립 모노폴 안테나 구조는 유전체 상에 위치한 십자(+) 모양 스트립의 정중앙에 동축선 급전되기 때문에 각각의 복사 소자에 입력 신호가 동위상으로 인가되고 마주보는 다중 미앤더 스트립 간의 수평한 스트립에 흐르는 전류는 180° 역위상이 된다. 180°의 위상차로 인하여 네 개의 다중 미앤더 스트립에서 복사되는 신호는 θ=0° 축상에서 서로 상쇄되고, θ가 증가하면서 복사이득이 커지게 되어 안테나는 수직편파의 전방향성의 코니컬 빔 (conical beam) 복사패턴을 갖게 된다 [11]. 그림 6에 ϕ=0° 단면에 대한 안테나의 측정/계산된 E-평면 복사패턴과 E-평면 복사패턴에서 최대 이득을 갖는 θ에 대한 계산된 H-평면 복사패턴을 대역폭의 처음, 중간, 끝 주파수 영역으로 나누어 나타내었다. 그림 6의 E-평면 복사패턴에서 동일 편파(E_θ)는 계산 결과와 큰 차이 없이 잘 일치하고 있으나, 교차편파(E_ϕ)의 경우 계산된 결과에서는 -30 dBi 이하로 거의 발생하지 않은 것에 비해 측정 결과에서는 제작/측정상의 오차로 인하여 비교적 크게 나타나고 있다. 계산된 H-평면 복사패턴에서 최대 복사이득과 최소 복사이득의 차가 0.1 dBi 이내이며, 전대역에 걸쳐 우수한 전방향 복사특성을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이러한 복사특성은 다른 N의 다중 폴디드 멀티스트립 모노폴 안테나에서도 동일하게 나타난다.



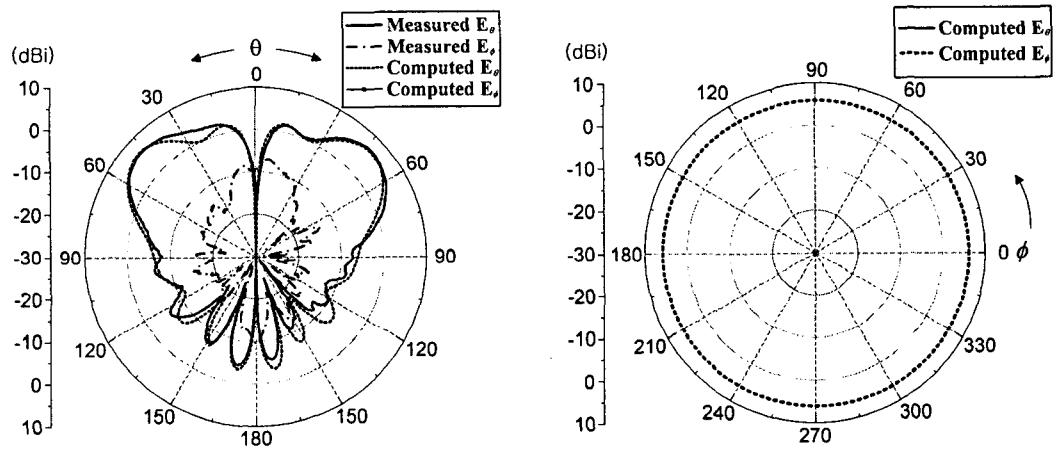
E-평면 (ϕ=0°) H-평면 (θ=40°)

(a) 4 GHz



E-평면 (ϕ=0°) H-평면 (θ=45°)

(b) 7 GHz



E-평면 (ϕ=0°) H-평면 (θ=45°)

(c) 10 GHz

그림 6. 안테나 복사패턴.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 수직한 스트립을 'ㄱ' 형태로 구부려 안테나의 소형화와 광대역 특성 구현이 가능한 기존의 폴디드 멀티스트립 모노폴 안테나 구조에 'ㄱ' 모양의 스트립을 반복 연결함으로써 더 넓은 대역폭을 얻을 수 있는 다중 미앤더 멀티스트립 모노폴 안테나 구조를 제안하였다. 미앤더링 된 회수 N이 증가하면서 대역폭이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 제안한 N=5의 안테나로부터 3.7:1의 측정 대역비를 얻을 수 있었다. 제안한 안테나가 갖는 2.9 GHz~10.85 GHz의 대역폭은 최근 주목을 받고 있는 UWB 통신의 가용 주파수 대역인 3.1 GHz~10.6 GHz을 포함하는 것이며, 이러한 광대역 특성과 더불어 14(W)×14(W)×14(H) ㎣의 복사소자 크기는 현대의 무선통신에서 필수적인 광대역/소형 안테나에 대한 요구를 잘 만족시키고 있다. 또 전방향으로 동일한 이득을 갖는 우수한 전방향 복사특성은 UWB용 무선 랜이나 무선 홈 네트워크 (home network) 용 안테나로 활용이 가능하리라 예상된다.

참고 문헌

[1] 이형수, 신철호, "UWB 기술 정의 및 특성," 한국전자파학회지, vol. 13, no. 3, pp. 3-8, 2002년 7월.

[2] 김종규, 허유강, 조영기, "UWB 안테나 기술동향," 한국전자파학회지, vol. 13, no. 3, pp. 24-31, 2002년 7월.

[3] C. A. Balanis, *Antenna theory - Analysys and Design*, John Wiley & Sons, 1997.

[4] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, 1998.

[5] J. D. Taylor, *Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems*, CRC press, 1995.

[6] 이윤호, 정종호, 박익모, "광대역의 폴디드 멀티스트립 모노폴 안테나," 춘계 마이크로파 및 전파통신 학술대회 논문지, vol. 26, no. 1, 2003년 5월.

[7] S. R. Best, "On the performance properties of the Koch fractal and other bent wire monopoles", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, no. 6, June 2003.

[8] J. Rashed and C. T. Tai, "A new class of resonant antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 39, no. 9, pp. 1428-1430, Sept. 1991.

[9] N. P. Agrawall, G. Kumar, and K. P. Ray, "Wide-band planar monopole antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, no. 2, pp. 294-295, Feb. 1998.

[10] T. Taniguchi and T. Kobayashi, "An omnidirectional and low-VSWR antenna for the FCC-approved UWB frequency band," *IEEE AP-S Int. Symp. Digest*, vol. 3, pp. 460-463, Columbus, Ohio, June 2003.

[11] S. Lindenmeier, J. F. Luy, and P. Russer, "A multifunctional antenna for terrestrial and satellite radio applications," *IEEE MTT-S Int. Symp. Digest*, vol. 1, pp. 393-396, Phoenix, Arizona, May 2001.