접힌 기생 패치를 이용한 확장된 대역폭을 갖는 하이브리드 메타 물질 안테나

Bandwidth Improved Hybrid Metamaterial Antenna Using Folded Parasitic Patch

고 승 태 · 이 정 해

Seung-Tae Ko · Jeong-Hae Lee

요 약

본 논문에서는 접힌 기생 패치를 이용하여 확장된 대역폭을 갖는 하이브리드형 메타 물질 안테나를 제안한다. 안테나의 대역폭을 확장하기 위해서 버섯 구조 안테나의 영차 공진 모드와 일반적인 패치 안테나의 기본 모드인 TM_{010} 모드를 이용하였다. 일반적인 패치 안테나 내부에 사각 형태의 홀을 에칭하고, 외부에 접힌 기생 패치를 추가함으로써 안테나의 크기 변화 없이 TM_{010} 모드의 공진 주파수를 영차 공진 모드의 공진 주파수 쪽으로 근접시킬 수 있다. 따라서 제안된 안테나는 영차 공진 모드부터 TM_{010} 모드까지 동작하는 넓은 대역폭을 가지게 된다. 결과적으로 측정된 안테나의 비대역폭은 12 %이고, 동작 주파수 대역에서 75 % 이상의 방사 효율을 갖는 것으로 확인되었다.

Abstract

In this paper, using a folded parasitic patch, a hybrid metamaterial antenna having the enhanced bandwidth is presented. To obtain a broad bandwidth of the antenna, a zeroth-order resonance(ZOR) mode of a mushroom antenna and a TM_{010} mode of a conventional patch antenna are combined. By employing an etched rectangular hole and a folded parasitic patch in the conventional patch antenna, a resonance frequency of the TM_{010} mode can be down-shifted toward that of the ZOR mode without changing the size of the antenna. Therefore, the proposed antenna has broad bandwidth which ranges from the ZOR mode to the TM_{010} mode. As a result, a fractional bandwidth of the proposed antenna is measured as 12 % and a radiation efficiency is above 75 % in whole band.

Key words : Folded Parasitic Patch, Broad Bandwidth, Zeroth-Order Resonance, TM_{010} Mode

I. 서 론

최근 무선통신 서비스의 가속화와 다양한 주파수
재원의 등장으로 소형화, 고효율, 광대역의 안테나
의 개발이 대두되고 있다. 이런 추세에 맞춰 메타 물

질의 고유한 성질을 이용한 다양한 메타 물질 안테
나들이 제안되었다^{[1]~[3]}. 특히 과거 메타 물질의 특
징 중 하나인 무한 파장을 가진 영차 공진 모드를 이
용한 안테나는 그 특성상 안테나의 물리적 길이에
무관하기 때문에 소형화에 장점을 가지는 것이 검증

「이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0013273).」

홍익대학교 전자정보통신공학과(Department of Electronic Information and Communication Engineering, Hongik University)

· Manuscript received December 29, 2011 ; April 12, 2012 ; April 13, 2012. (ID No. 20111229-170)

· Corresponding Author : Jeong-Hae Lee (e-mail : jeonglee@hongik.ac.kr)

되었다^{[4]~[7]}. 또한, 패치, 비아 그리고 접지면으로 구성된 기본적인 평면형 버섯 구조를 이용하여 영차 공진 안테나의 설계가 가능하다. 그러나 소형화의 장점에도 불구하고 현재까지 제안된 영차 공진 안테나들은 대역폭이 좁은 단점을 가지고 있다. 최근 이런 단점을 극복하기 위해서 이중 공진^[8], 높은 투자율을 가진 기판^[9] 또는 shorted ring을^[10] 이용하여 대역폭을 개선한 안테나가 제안되었지만, 안테나의 크기와 방사 효율의 감소 등의 문제로 실제 응용 분야에서의 활용은 여전히 극복해야 할 과제이다.

본 논문에서는 이런 문제점을 극복하기 위해서 버섯 구조 안테나의 영차 공진 모드와 소형화된 패치 안테나의 TM_{010} 모드를 결합한 하이브리드형 메타 물질 안테나를 제안하였다. 우선 단일 버섯 구조 안테나에서는 영차 공진 모드와 TM_{010} 모드 모두 발생할 수 있지만, 일반적으로 두 모드들의 주파수 차이가 크고 각 모드의 주파수들을 독립적으로 조절할 수 없기 때문에 두 모드의 결합은 불가능하다. 따라서 두 모드를 결합하기 위해서는 영차 공진 모드를 갖는 버섯 구조 안테나와 TM_{010} 모드를 갖는 일반적인 패치 안테나를 이용해야 한다. 하지만, 두 개의 안테나를 사용할 경우, 안테나의 크기가 커지게 되는 두 가지 요인을 해결해야 한다. 첫째, 두 개의 안테나의 사용으로 발생하는 크기의 증가를 해결해야 한다. 이를 극복하기 위해서 일반적인 패치 안테나의 내부에 버섯 구조 안테나를 삽입한 하이브리드형 구조를 제안한다. 두 번째, 버섯 구조보다 상대적으로 큰 패치 안테나의 크기의 변화 없이 TM_{010} 주파수를 내부에 삽입된 버섯 구조 안테나의 영차 공진 주파수 쪽으로 낮추어야 한다. 이를 위해서 사각형의 홀을 패치 안테나 중앙에 에칭하였고, 양 끝 부분에 접힌 기생 패치를 추가하였다. 위와 같은 방법으로 본 연구에서 최종 제안된 안테나를 하이브리드 메타 물질 패치 안테나라고 명칭한다. 제안된 구조로부터 두 모드가 결합될 수 있도록 안테나를 최적화하였고, 시뮬레이션과 측정 결과를 통해 그 특성을 검증하였다. 또한, 동일한 주파수에서 동작하는 단일 버섯 구조 영차 공진 안테나, 단일 TM_{010} 패치 안테나들과 대역폭을 비교 분석하였다.

II. 사각 홀이 삽입된 패치 안테나

(a) 안테나 구조
(a) Antenna structure

(b) 전기장 분포
(b) Electric field

그림 1. 사각 홀이 에칭된 패치 안테나의 구조와 TM_{010} 모드에서의 전기장 분포

Fig. 1. Patch antenna with etched rectangular hole and distributed electric field at TM_{010} .

그림 1(a)는 사각 홀이 에칭된 패치 안테나의 구조를 나타낸 것으로 일반적인 사각 패치 안테나에 가운데 사각형의 홀을 에칭한 구조이다. 기본적으로 일반적인 패치 안테나는 패치와 접지면으로 구성되고 L_p 방향으로 반파장에 해당되는 TM_{010} 모드를 가지고 있다. 그림 1(b)는 안테나 내부에서 TM_{010} 모드의 전기장 분포를 나타낸 것이다. 사각 홀이 에칭되었음에도 불구하고 일반적인 패치 안테나와 동일하게 안테나 내부에서 정확히 반파장의 공진이 형성되는 것을 볼 수 있다. 또한, 시뮬레이션을 통해 에칭된 홀에 의한 방사 패턴의 변화는 없는 것으로 확인되었다.

표 1은 시뮬레이션을 통해 에칭된 사각 홀의 크기에 따른 TM_{010} 모드의 공진 주파수 변화를 정리한 것이다. 안테나의 각 파라미터는 다음과 같다. $W_p=15$ mm, $L_p=10$ mm, $h=3.175$ mm이고, 접지면의 크기는 $55\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 이다. 표에서 볼 수 있듯이 사각 홀이 커짐에 따라 TM_{010} 모드의 주파수가 낮아짐을 알 수 있다. 실제로 사각 홀에 의해서 패치 표면에 흐르

표 1. 사각 홀의 크기에 따른 TM_{010} 모드의 공진 주파수

 Table 1. Resonance frequency of TM_{010} mode versus the size of a rectangular hole.

$W_h=L_h$	1 mm	3 mm	5 mm	7 mm	9 mm
$f_{TM_{010}}$ [GHz]	7.71	7.63	7.40	7.05	6.75

는 전류의 거리가 증가됨에 따라 패치의 L_p 가 더 길어지는 현상이 발생한다. TM_{010} 모드는 패치의 길이에 의해 결정되기 때문에 패치의 길이가 길어지게 되면 공진 주파수는 낮아지게 된다. 결과적으로 사각 홀을 이용하여 방사 패턴의 변화 없이 일반적인 패치 안테나보다 전기적으로 소형화된 패치 안테나의 설계가 가능해진다.

III. 버섯 구조가 삽입된 패치 안테나

앞선 장에서 사각 홀에 의해서 패치 안테나의 TM_{010} 모드의 공진 주파수가 낮아짐을 확인하였다. 본 논문의 목표는 영차 공진 모드와 TM_{010} 모드를 결합하여 대역폭을 확장하는 데 있기 때문에 먼저 그림 2와 같이 사각 홀 내부에 버섯 구조 안테나를 삽입한 하이브리드 구조를 제안한다. 제안된 패치 안테나는 외곽 부분에 사각 홀이 에칭된 패치 안테나, 내부에 비아와 패치로 구성된 버섯 구조 안테나, 두 안테나에 동일한 급전을 위한 원형 패치 그리고 각 안테나와의 매칭을 위한 갭으로 구성되어 있다. 실제로 50 Ω 의 coaxial probe가 원형 패치와 연결된다. 제안된 구조는 다음과 같은 두 가지 장점을 가지고 있다. 첫째, 두 개의 모드를 발생시키는 독립적인 방사체를 가지고 있기 때문에 두 모드의 주파수를 독립적으로 조절할 수 있다. TM_{010} 모드의 공진 주파수

 그림 2. 버섯 구조 안테나가 삽입된 패치 안테나
Fig. 2. Patch antenna with mushroom antenna.

그림 3. 입력 임피던스

Fig. 3. Input impedance.

는 사각 홀의 크기 또는 패치의 길이를 이용하여 주파수 조절이 가능하다. 또한, 버섯 구조에 의해 발생하는 영차 공진 모드는 버섯 구조의 크기와 비아의 반지름을 이용하여 주파수를 조절할 수 있다. 둘째, 두 개의 방사체를 사용함에도 불구하고 패치 안테나 내부에 버섯 구조를 삽입하였기 때문에 소형화된 안테나를 설계할 수 있다.

그림 3은 제안된 패치 안테나와 각 안테나가 독립적으로 있을 경우에 따른 입력 임피던스를 나타낸 것이다. 시뮬레이션 된 안테나의 파라미터는 다음과 같다. $W_p=15$ mm, $L_p=10$ mm, $h=10$ mm, $W_i=11.4$ mm, $L_i=6.4$ mm, $W_r=9.4$ mm, $L_r=4.4$ mm, $\epsilon_r=1$ 이고, 안테나의 소형화를 위해 접지면의 크기를 외곽 패치 안테나와 동일하게 설정하였다. 우선 그림 3에서 발생하는 각 공진 모드들이 실제로 영차 공진 모드와 TM_{010} 모드로 동작하는지 검증하기 위해 안테나 내부에서 형성되는 전계 분포와 방사 패턴 그리고 전류 분포를 확인하였다. 결과적으로 3.2 GHz 근방에서 보이는 공진은 일반적인 영차 공진 모드와 동일한 특성을 가지고 있는 것이 확인되었고, 6.6 GHz 근방에서 발생하는 공진은 TM_{010} 모드로 확인되었다.

그림 3에서 볼 수 있듯이 버섯 구조가 제거되고 외곽 패치 안테나만 있을 경우 TM_{010} 모드만 발생함을 알 수 있다. 반대로 버섯 구조만 존재할 경우, 시뮬레이션 주파수 내에서 영차 공진 모드만 발생하는 것이 확인하였다. 표 2에서 각 경우에 대한 결과를 정리하였다. 표에서 볼 수 있듯이 제안된 구조에서는 영차 공진 모드와 TM_{010} 모드가 모두 발생됨을

표 2. 안테나에 따른 공진 모드

Table 2. Resonance modes versus various antennas.

	f_{ZOR} [GHz]	f_{TM010} [GHz]
Proposed patch antenna	3.23	6.59
Without mushroom antenna	×	6.65
Without outer patch antenna	3.29	×

볼 수 있고 또한, 각 안테나가 독립적으로 있을 경우들과 비교하여 각각의 모드 주파수가 유지됨을 알 수 있다.

IV. 접힌 기생 패치가 삽입된 하이브리드 메타 물질 패치 안테나

앞선 장에서는 사각 홀을 이용하여 패치 안테나의 TM_{010} 모드의 주파수를 낮추고, 버섯 구조 안테나를 사각 홀 내부에 삽입하여 하이브리드 형태의 패치 구조를 제안하였다. 결과적으로 제안된 패치의 구조를 이용하여 영차 공진 모드와 TM_{010} 모드를 동시에 발생시킬 수 있고, 각각의 모드를 독립적으로 조절할 수 있다. 또한, 두 개의 안테나가 결합되었음에도 불구하고 소형화 된 안테나를 설계할 수 있다. 하지만 그림 3에서 확인한 것처럼 두 모드를 결합하기에는 아직 주파수 차이가 큰 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 TM_{010} 모드의 주파수를 영차 공진 모드 주파수 쪽으로 더 낮추어 두 모드를 결합할 수 있는 방안으로 기생 패치를 이용하였다. 그림 4에 기생 패치가 삽입된 하이브리드 패치 안테나의 구조를 나타내었다. 그림 2의 구조에서 외곽 패치의 양 끝단에 기생 패치를 첨가하여 단순히 패치의 길이가 확장된 형태를 가지고 있다. 표 3에 기생 패치의 길이(l_e)에 따른 공진 주파수를 정리하였다. 먼저 영차 공진 모드는 기생 패치의 길이와 무관하게 변하지 않는 것을 확인할 수 있다. 이와는 반대로, TM_{010} 모드의 주파수는 기생 패치가 길어짐에 따라 낮아지는 현상을 볼 수 있다. 이는 III장에서 확인한 결과와 마찬가지로 외곽 패치의 변화는 단지 TM_{010} 모드에만 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 결과적으로 기생 패치를 이용하면 TM_{010} 모드의 주파수와 영차 공진 모드 주파수의 차이를 줄일 수 있다. 하지만, 기생 패

그림 4. 기생 패치가 삽입된 하이브리드 메타 물질 패치 안테나 구조

Fig. 4. Hybrid metamaterial patch antenna with a parasitic patch.

표 3. 기생 패치의 길이에 따른 공진 주파수의 변화

Table. 3. Changing of the resonance frequency versus a length of the parasitic patch.

l_e	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm
f_{ZOR} [GHz]	3.23	3.22	3.19	3.18
f_{TM010} [GHz]	6.59	6.40	6.21	6.07

치의 추가로 인해 패치 전체의 크기는 커지게 되어 소형화에는 단점으로 작용한다.

그림 5는 최종적으로 제안하는 안테나 구조로서 기생 패치가 90° 로 접힌 형태를 가지고 있다. 그림 5와 같이 기생 패치를 접으면 방향으로 접게 되면 기생 패치에 의한 안테나의 크기 변화는 없어지게 되어 소형화 유리하게 된다. 표 4는 접힌 기생 패치의 길이에 따른 공진 주파수를 정리한 것으로 기생 패치가 접힌 상태에서도 길이가 늘어남에 따라 TM_{010} 모드의 주파수가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이

표 4. 접힌 기생 패치의 길이에 따른 공진 주파수의 변화

Table. 4. Changing of the resonance frequency versus a length of the folded parasitic patch.

l_e	0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm
f_{ZOR} [GHz]	3.23	3.22	3.23	3.22	3.19
f_{TM010} [GHz]	6.59	6.41	6.20	5.94	5.66

그림 5. 접힌 기생 패치가 삽입된 하이브리드 메타 물질 패치 안테나 구조

Fig. 5. Hybrid metamaterial patch antenna with a folded parasitic patch.

표 5. 제안된 안테나의 설계 과정

Table 5. Design procedure of the proposed antenna.

Step	Structure	Note
1		Conventional patch antenna
2		Patch antenna with an etched hole
3		Hybrid metamaterial patch antenna
4		Hybrid metamaterial patch antenna with a folded parasitic patch

는 기생 패치가 접히지 않았을 경우와 동일한 특성을 보여준다. 결과적으로 접힌 기생 패치를 이용하여 안테나의 크기가 변화 없이 TM_{010} 모드를 영차 공진 모드 쪽으로 낮출 수 있다.

표 5는 일반적인 패치 안테나부터 본 논문에서 제안하는 안테나까지의 설계 과정을 정리한 것이다. 첫 번째는 일반적인 패치 안테나로 안테나의 길이에 대한 반파장 공진인 TM_{010} 모드를 기본 모드로 가지고 있고 영차 공진은 발생하지 않는다. 두 번째 단계에서는 일반적인 패치 안테나에 사각 홀을 에칭하여 TM_{010} 모드의 주파수를 낮추고, 버섯 구조 안테나를 삽입될 공간을 확보한다. 세 번째 단계에서는 홀 내부에 버섯 구조 안테나를 삽입하여 영차 공진 모드를 발생시킨다. 따라서 안테나의 전체적인 크기가

변화 없이 영차 공진 모드와 TM_{010} 모드가 동시에 발생하고, 이 두 모드를 독립적으로 조절할 수 있다. 그러나 세 번째 단계에서는 두 모드를 합치기에는 아직 주파수 차이가 크다. 마지막 단계는 본 논문에서 최종적으로 제안하는 구조로 접힌 기생 패치를 외곽 패치 끝단에 삽입한 구조를 가지고 있다. 따라서 안테나의 크기 변화 없이 TM_{010} 모드의 주파수를 영차 공진 주파수 쪽으로 근접시켜 두 모드를 합칠 수 있다. 결과적으로 대역폭이 확장된 안테나를 설계할 수 있다.

V. 측정 결과

그림 6은 최적화 과정을 거쳐 제작한 안테나의 구조와 사진을 나타낸 것이다. 실제로 최적화 과정에서는 두 구조 간의 간격을 이용하여 방사체들이 가지는 고유 특성이 유지될 수 있도록 커플링을 줄이면서 두 모드가 적절히 융합되도록 하였다. 최적화된 안테나의 각 파라미터의 길이 다음과 같다. $W_p=15$ mm($0.205 \lambda_0$), $L_p=10$ mm($0.137 \lambda_0$), $W_h=11$ mm($0.151 \lambda_0$), $L_h=6$ mm($0.082 \lambda_0$), $W_i=6$ mm($0.082 \lambda_0$), $L_i=3.6$ mm($0.049 \lambda_0$), $h=8.14$ mm($0.112 \lambda_0$), and $l_e=6$ mm

(a) 안테나 구조
(a) Antenna structure

(b) 제작 사진
(b) Photograph

그림 6. 제작된 안테나 구조와 사진

Fig. 6. Fabricated antenna and photograph.

($0.082 \lambda_0$)이다. 또한, 접지면의 크기는 안테나 외곽 패치의 크기와 동일하게 설계하였다. 따라서 최적화된 안테나의 전기적 크기(k_r)는 0.87이며, 일반적으로 반파장으로 동작하는 패치 안테나의 크기보다 소형화되었다. 안테나를 구현하기 위해 패치와 그라운드에 RT/duroid 5880($\epsilon_r=2.2$)의 기판을 이용하였다. 제작된 사진을 보면 기판이 안테나 옆으로 확장되어 홀이 뚫려 있는 것을 알 수 있다. 실제로 홀 안에 플라스틱 볼트를 넣고 고정하여 안테나가 안정적으로 유지되도록 하였다. 시뮬레이션과 측정을 통해 플라스틱 볼트와 확장된 기판은 안테나 특성에 영향이 없는 것으로 확인되었다.

그림 7에 제작된 안테나의 측정된 반사 손실과 시뮬레이션 결과 값을 비교하였다. 먼저, 영차 공진 모드와 TM_{010} 모드가 근접 주파수에서 합쳐져 넓은 대역폭이 확보됨을 알 수 있다. 또한, 제안된 안테나에서 각각의 방사체, 즉 외곽 패치와 내부 버섯 구조에 대한 반사 손실을 볼 수 있다. 한 개의 방사체만 있을 경우, 단일 공진만 발생함을 알 수 있다. 여기서 발생하는 단일 공진들이 실제로 영차 공진 모드와 TM_{010} 모드인지 검증하기 위해서 단일 방사체에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 결과적으로 내부의 버섯 구조만 있을 경우에 공진 모드에서의 표면 전류, 내부에서 발생하는 전계 분포, 그리고 방사 패턴이 일반적인 영차 공진의 특성과 동일한 것을 확인하였다. 마찬가지로 외곽 패치만 있을 경우에도 일반적인 TM_{010} 모드의 특성과 동일한 것이 확인되었다.

그림 7. 안테나의 S_{11}
Fig. 7. S_{11} of the antenna.

시뮬레이션 결과를 보면 제안된 안테나는 3.99 GHz에서 4.45 GHz까지 동작하고, 11 %의 비대역폭을 가지고 있다. 여기서 영차 공진 모드와 TM_{010} 모드는 각각 4.04 GHz와 4.31 GHz로 확인되었다. 측정 결과를 살펴보면 동작 주파수는 3.87 GHz부터 4.36 GHz로 12 %의 비대역폭을 보여준다. 또한, 영차 공진 모드의 주파수는 3.93 GHz이고, TM_{010} 모드의 주파수는 4.21 GHz로 측정되었다. 결과적으로 공진 주파수의 차이를 제외하고 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 알 수 있다.

표 6은 제안된 안테나와 각각의 단일 안테나 대하여 시뮬레이션 결과로 얻어진 비대역폭을 정리한 것이다. Case 1은 제작된 안테나에서 내부의 버섯 구조 안테나가 제거되었을 경우이다. 따라서 영차 공진 모드는 발생하지 않고 4.33 GHz에서 TM_{010} 모드로만 동작하게 된다. 이때의 비대역폭은 4.9 %로 확인되었다. Case 2는 제안된 안테나에서 외곽 패치 안테나가 제거되었을 경우로 버섯 구조 안테나만 가지고 있다. 따라서, 4.25 GHz에서 영차 공진 모드로만 동작하는 것을 알 수 있고, 이때의 비대역폭은 3.0 %로 확인되었다. Case 3은 제안된 안테나로 case 1과 case 2의 안테나들이 합쳐진 형태이며, 영차 공진 모드와 TM_{010} 모드를 모두 가지고 있다. 두 개의 안테나가 합쳐져도 각각의 고유한 공진 주파수가 유지됨을 알 수 있다. 또한, 두 공진 모드가 근접 주파수에서 결합되어 결과적으로 앞서 두 안테나보다 두 배 이상 넓은 대역폭을 가지게 된다.

그림 8은 제작된 안테나의 방사 패턴을 나타낸 것이다. 먼저 영차 공진 모드를 살펴보면 반사 손실 결과를 기준으로 시뮬레이션 주파수와 측정 주파수는

표 6. 세 가지 안테나의 특성 비교

Table 6. Comparison of characteristics among three cases.

Case	1	2	3
Antenna	Outer patch antenna	Inner mushroom antenna	Fabricated antenna
f_{ZOR} [GHz]	×	4.25	4.04
f_{TM010} [GHz]	4.33	×	4.31
Bandwidth	4.9 %	3.0 %	11.0 %

그림 8. 방사 패턴

Fig. 8. Radiation patterns.

각각 4.04 GHz와 3.93 GHz이다. 그리고 TM₀₁₀ 모드의 시뮬레이션 주파수는 4.31 GHz이고, 측정 주파수는 4.21 GHz이다. 그림 8(a)의 시뮬레이션 방사 패턴은 오직 수직 방향으로 (+z 방향) null이 발생한 것을 알 수 있다. 만약 내부의 버섯 구조만 있고 외각패치가 제거되었을 경우에는 영차 공진이 갖는 일반적인 전방향성의 방사 패턴이 확인되었지만, 제안된 안테나처럼 외부 패치와 결합되었을 경우 방사체간에 발생하는 커플링 영향으로 아래쪽의 null이 상쇄되었음을 알 수 있다. 또한, 실제 측정과 시뮬레이션 결과와 비교하여 차이가 발생함을 볼 수 있다. 이 차이의 원인은 두 가지 측면에서 확인할 수 있다. 첫째, 그림 6(b)의 제작 사진에서 볼 수 있듯이 실제 제작

시 접힌 기생 패치가 안테나에 연결될 때 납이 사용되는 과정에서 제작 오차가 발생하였다. 이로 인해 전파가 산란되어 방사 패턴에 영향을 미쳤으리라 사료된다. 둘째, 실제 측정 시 고려되지 않은 연결 케이블, 측정 환경 등이 원인으로 확인된다.

TM₀₁₀ 모드의 경우를 살펴보면 그림 8(c)에서 후방쪽으로 (-z 방향) 전파의 방사량이 큰 것을 알 수 있다. 이는 소형화를 위해 접지면의 크기를 패치와 동일하게 설계하였기 때문에 발생하게 된다. 실제로 접지면을 패치보다 크게 하면 후방 방사가 줄어드는 것을 시뮬레이션으로 확인하였다.

그림 8(a)의 null에서 발생하는 오차를 제외하고 전반적으로 측정된 안테나의 방사 패턴은 시뮬레이

션 결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 마지막으로 제작된 안테나의 영차 공진 모드에서 최대 이득은 3.42 dBi, 방사 효율은 78 %로 측정되었다. TM_{010} 모드에서는 3.51 dBi의 최대 이득을 가지고 방사 효율은 95 %로 확인되었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 영차 공진 모드와 TM_{010} 모드가 결합된 확장된 대역폭을 갖는 하이브리드형 메타 물질 패치 안테나를 제안하였다. 버섯 구조 안테나의 영차 공진 모드와 일반적인 패치 안테나의 TM_{010} 모드를 결합하기 위해서 패치 안테나 내부에 사각 홀을 에칭하고 버섯 구조 안테나를 삽입하였다. 또한, 접힌 기생 패치를 이용하여 안테나의 소형화를 유지하면서도 TM_{010} 모드의 주파수를 영차 공진 모드 주파수 쪽으로 근접시킬 수 있다. 따라서 제안된 안테나는 영차 공진 모드부터 TM_{010} 모드까지 동작하고 각각의 단일 안테나로 작동했을 경우와 비교하여 2.2 ~ 3.7배로 대역폭이 확장되었음을 확인하였다. 측정 결과, 제안된 안테나의 비대역폭은 12 %로 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였고 또한, 동작 주파수 대역에서 75 % 이상의 방사 효율을 갖는 것으로 측정되었다.

참 고 문 헌

- [1] F. Qureshi, M. A. Antoniadis, and G. V. Eleftheriades, "A compact and low-profile metamaterial ring antenna with vertical polarization", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 4, pp. 333-336, 2005.
- [2] F. Bilotti, A. Alu, and L. Vegni, "Design of miniaturized metamaterial patch antennas with m -negative loading", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 56, no. 6, pp. 1640-1647, Jun. 2008.
- [3] J. -X. Niu, "Dual-band dual-mode patch antenna based on resonant-type metamaterial transmission line", *Electron. Lett.*, vol. 46, no. 4, pp. 266-268, Feb. 2010.
- [4] J. G. Lee, J. H. Lee, "Zeroth order resonance loop antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 3, pp. 994-997, Mar. 2007.
- [5] J. H. Park, Y. H. Ryu, J. G. Lee, and J. H. Lee, "Epsilon negative zeroth-order resonator antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 12, pp. 3710-3712, Dec. 2007.
- [6] J. H. Park, Y. H. Ryu, and J. H. Lee, "Mu-zero resonance antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 6, pp. 1865-1875, Jun. 2010.
- [7] S. W. Lee, J. H. Lee, "Electrically small MNG ZOR antenna with multilayered conductor", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 9, pp. 724-727, 2010.
- [8] J. Zhu, G. V. Eleftheriades, "A compact transmission-line metamaterial antenna with extended bandwidth", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 8, pp. 295-298, 2009.
- [9] S. T. Ko, J. H. Lee, "Miniaturized ENG ZOR antenna with high permeability material", *IEEE AP-S/URSI*, Canada, Jul. 2010.
- [10] S. G. Mok, S. T. Kang, and Y. J. Kim, "Widened bandwidth of a metamaterial ZOR patch antenna with a short-circuited ring", *IEEE APWC*, Italy, Sep. 2011.

고 승 태

2006년 2월: 홍익대학교 전자전기
공학부 (공학사)
2009년 2월: 홍익대학교 전자정보
통신공학과 (공학석사)
2009년 3월~현재: 홍익대학교 전
파통신공학과 박사과정
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리

미터파 회로설계, Metamaterial 안테나 설계

이 정 해

1985년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학사)
1988년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학석사)
1996년 3월 UCLA 전기공학과 (공
학박사)
1993년 3월~1996년 2월: General Ato-

mics 교환연구원

1996년 3월~1996년 8월: UCLA 전기공학과 Postdoctor

1996년 9월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 소자, 안테나,
Metamaterial RF 소자, 무선전력 전송