

이중 오프셋 급전을 이용한 광대역 슬롯 루프 안테나의 설계

정회원 조 영 빈, 준회원 나 종 덕, 정회원 전 계 석

Design of wide-band slot loop antenna by using dual offset-fed

Young-Bin Cho *Regular Members*, Jong-Duk Na *Associate Members*,
Kye-Suk Jun *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 UWB용 소형 안테나를 설계하기 위해 폭이 넓은 안테나의 슬롯면내에 구형 루프를 추가하고 이중 급전 방법을 사용한 슬롯루프 안테나를 제안하였다. 이 안테나는 3개의 기하학적인 공진 구조에 의해 다중 공진 모드를 발생시키는 새로운 구조이며, 각각의 공진 주파수에 따른 임피던스 정합은 이중 급전점의 오프셋 길이를 변화하여 얻을 수 있다. 제작된 안테나는 중심 주파수가 6.755 GHz이며, 슬롯의 크기는 12.5 mm × 50 mm 이고 슬롯 내의 구형 루프의 크기는 10.5 mm × 27.5 mm 이다. 실험 결과 슬롯루프 안테나의 비대역폭은 VSWR 2:1 기준으로 63.21 %로 측정되었으며 이는 이론값과 5% 범위 이내에서 일치하였다. 또한 안테나의 최대 이득은 7.42 dBi로 측정되었다.

ABSTRACT

This paper is about the design of a small wide-band slot loop antenna, which consists of dual offset-fed and rectangular loop within the slot on a substrate. The proposed antenna is a novel structure generating a multi-resonances due to three geometrical resonance structures. The impedance matching of this antenna can be accomplished by changing the offset position of dual-fed at resonance frequencies. In this experiment, the slot of a fabricated antenna has a center frequency of 6.755 GHz, 12.5 mm × 50 mm in size and the rectangular loop has 10.5 mm × 27.5 mm in size. The measured result is fractional bandwidth 63.21% with VSWR 2:1, which is agreed with the simulated result within 5% of error, and the maximum antenna gain is 7.42 dBi.

I. 서 론

인터넷 및 통신 기술은 고속화와 대용량화의 추세로 발전되고 있으며, 많은 양의 데이터를 갖는 멀티미디어 데이터 통신을 가능하게 하였다. 따라서 다량의 멀티미디어 데이터 무선 전송을 위해서는 시스템의 광대역화가 요구되며, 이러한 추세에 부합하여 최근에는 초광대역 통신 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

초광대역(UWB) 통신 방식은 1950년대 이후로 국방 관련 통신 시스템 및 레이더에 적용되어 왔다.

이러한 UWB 통신 방식은 이미 1990년대에 상용화를 위한 여러 가지 연구가 진행되었고, 2002년에 FCC로부터 3.1 GHz 이상의 주파수 대역 통신의 허가를 얻었다. 최근에는 상용화를 위하여 IEEE 802.15.3 워킹 그룹을 통해 UWB 통신의 표준화 작업이 활발하게 논의되고 있다. 이 방식은 시간영역에서 폭이 좁은 펄스파를 전송시켜 통신하는 방식이므로 주파수 영역에서는 매우 넓은 대역폭을 요구한다. FCC에서 UWB 신호는 중심 주파수에 대한 대역폭의 비율인 비 대역폭이 20% 이상 혹은 500MHz이상의 RF 대역폭을 갖는 것으로 정의하고

* 경희대학교 전자공학과 마이크로파 연구실(ybcho@khu.ac.kr)
논문번호 : 030341-0806, 접수일자 : 2003년 8월 6일

있으며 상업용 기술로 사용할 수 있도록 UWB 장치의 주파수와 방사전력을 일부 제한한 형태로 규정하였다^[1].

또한 FCC의 제한적인 규제를 만족하는 UWB 안테나들은 다양한 형태로 연구되어 왔으나 그 크기가 매우 크기 때문에 소형화가 필요하며 웨어러블 컴퓨터 제품들에 적용하기 위해서는 휴대하기 간편한 형태가 되어야 한다. 이런 경우 이득과 효율은 다소 저하되는 반면 광대역, 소형, 그리고 넓은 방사패턴을 갖는다^[2]. 따라서 최근에는 이러한 요구조건에 부합하는 광대역 마이크로스트립 슬롯안테나 구조가 연구되고 있다. 슬롯안테나는 1940년대부터 연구되어 왔고^[3] 슬롯 구조는 마이크로스트립 패치 안테나보다 다소 넓은 대역을 갖는 특징이 있지만^[4] 전방향성을 가지기 때문에 패치 안테나보다 이득이 적고 폭이 넓은 슬롯의 경우 전계가 폭 방향뿐만 아니라 길이 방향으로도 존재한다^[5].

슬롯안테나는 구조에 따라 사각형^[4], 원형^[6], 테이퍼형(tapered)^[7], 고리형(annular)^[8]으로 분류될 수 있으며, 단일 급전의 경우 급전선의 위치에 따라 중심급전(center-fed), 오프셋 급전(offset-fed)으로 구별된다. 오프셋 급전은 급전점의 위치를 조정하여 안테나의 입력 임피던스를 조절할 수 있기 때문에 정합회로가 별도로 필요하지 않으며 광대역 특성을 갖는다^{[9][10]}. 그러나 기존의 슬롯루프 안테나^[14]에 단일 오프셋 급전 방법을 사용하여 임피던스 정합을 하려면 루프의 형태가 x, y 축에 대해서 비대칭 형태를 취하므로 설계가 용이하지 않은 단점이 있다.

그 외에 광대역을 얻기 위한 기법으로는 급전선을 2개로 분지하는 이중급전 방법^[11], T자형^[12], 십자형^[13], 포크형^[14], H자형^[15] 등이 있으며 이런 구성에 따른 마이크로스트립 급전선을 갖는 안테나는 VSWR 2:1 기준으로 110~120% 이상의 비대역폭을 갖는 것으로 나타났다.

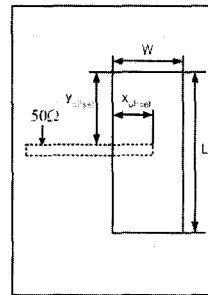
본 논문에서는 UWB 용 소형 안테나를 설계하기 위해 폭이 넓은 슬롯안테나에 구형 루프를 추가하고 이중급전 방법을 사용하여 넓은 주파수에서 안정적으로 다중 공진이 일어날 수 있는 새로운 구조를 제안한다. 기존의 단일 급전 슬롯루프 안테나의 문제점을 해결하기 위하여 이중급전을 함으로써 슬롯과 구형 루프의 형태가 x, y 축에 대하여 대칭적인 구조를 갖도록 하여 설계의 용이성을 개선시켰으며, 급전선의 오프셋 위치를 조정하여 임피던스를 변화시킴으로써 최적의 정합이 이루어지도록 하였다. 제안된 구조의 공진 모드를 분석하기 위하여 슬

롯의 구조를 세 가지 형태의 등가 공진 구조로 가정하고 전체 구조와의 공진 주파수 특성을 비교하여 그 결과가 일치함을 확인하였다.

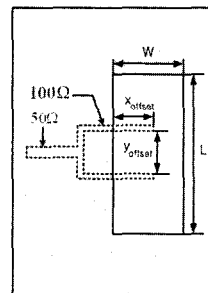
II. 마이크로스트립 슬롯안테나와 급전선의 구조 및 설계

2.1 이중급전 마이크로스트립 슬롯안테나의 설계

입력 임피던스 정합에 영향을 미치는 것은 급전선의 구조, 슬롯의 모양, 그리고 급전선의 중심과 슬롯의 중심과의 오프셋 정도이다^[16]. 이중급전 마이크로스트립 슬롯안테나를 설계하기 위하여 우선적으로 일반적인 슬롯안테나에 저임피던스 특성을 얻을 수 있는 이중급전 형태의 급전선을 설계하고, 그 슬롯안테나의 슬롯 내부에 구형 루프를 삽입하여 다중 공진 모드가 발생하도록 하였다. 다음으로 급전선의 오프셋 길이를 구하기 위하여 오프셋 위치 변화에 따른 임피던스 변화를 Ansoft사의 Ensemble 7.0으로 시뮬레이션하여 그 결과에서 최적의 위치를 선정하였다.



(a) 단일 급전 슬롯안테나의 구조



(b) 이중급전 슬롯안테나의 구조

그림 1. 단일 및 이중급전 슬롯안테나의 구조

그림 1은 단일 급전 슬롯안테나와 이중급전 슬롯안테나의 구조를 보여준다. 슬롯의 모양은 넓은 슬

롯의 형태이며 그림 1에서 보는 바와 같이 이중급전 슬롯안테나는 50Ω과 2개의 100Ω 마이크로스트립 라인이 병렬로 연결된 형태로서 x_{offset} 과 y_{offset} 의 길이를 조절하여 안테나의 반사손실이 최소가 되는 급전 위치로 최적화 시켰다^[11].

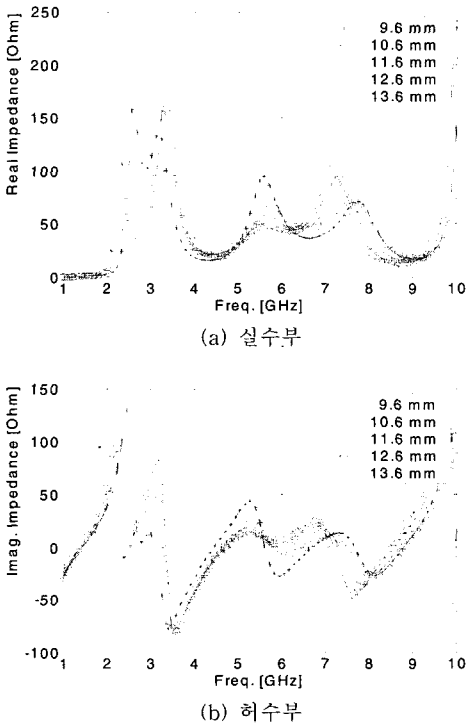


그림 2. 이중급전 슬롯안테나의 x_{offset} 변화에 따른 임피던스 변화

설계 시 입력 임피던스 그래프에서 실수값이 50Ω에 가깝고 허수값이 0에 가까운 경우에 임피던스가 정합되어 공진이 일어나며 중심주파수 6.67 GHz에서 공진하도록 슬롯 크기와 오프셋 길이를 설정하였다. 그림 2와 그림 3에서 보면 정합되는 대역이 넓음을 확인할 수 있으며 광대역 안테나로써 사용할 수 있음을 알 수 있다.

그림 4는 단일 급전 슬롯안테나와 이중급전 슬롯안테나의 반사 손실 특성을 비교하고 있다. 단일 급전 슬롯안테나의 폭 W는 12.5 mm이고 길이 L은 34.5 mm이며 오프셋의 위치인 x_{offset} 와 y_{offset} 는 각각 8.3 mm, 14.97 mm로 결정하였다.

이중급전 방식의 경우 슬롯의 폭 W는 15 mm, 슬롯의 길이 L은 34.5 mm, 그리고 이중급전의 오

프셋 위치 x_{offset} 와 y_{offset} 는 각각 9.6 mm, 10.864 mm로 결정하였다.

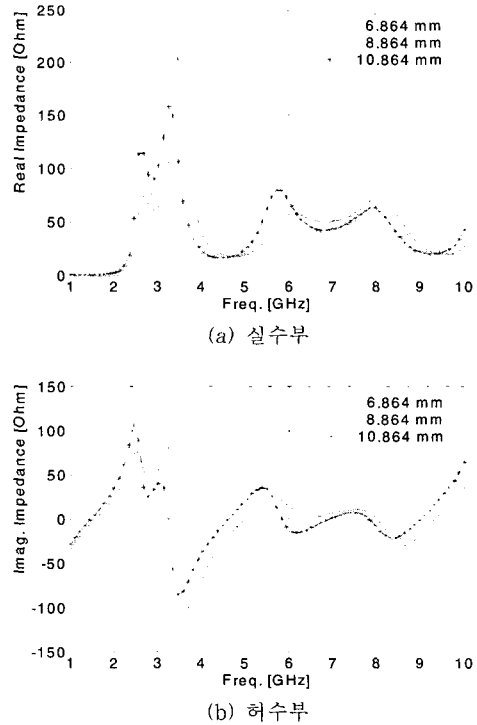


그림 3. 이중급전 슬롯안테나의 y_{offset} 변화에 따른 임피던스 변화

이중급전 방식의 경우 중심주파수가 6.67 GHz이고 -10 dB기준의 대역폭이 3.32 GHz 비대역폭이 45.95 %로서 단일 급전을 사용한 슬롯안테나의 대역폭에 비해 1.4 GHz 정도 더 증가하였다.

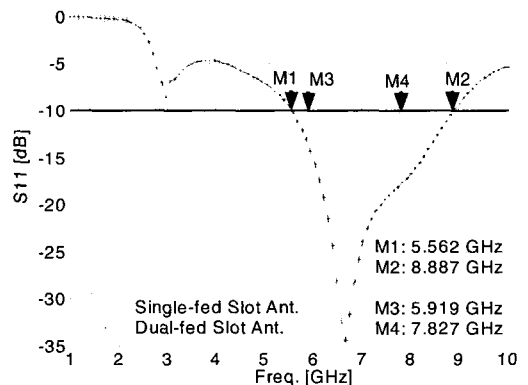


그림 4. 단일 및 이중급전 슬롯안테나의 반사 손실

2.2 이중급전 슬롯루프 안테나의 해석

이중급전 슬롯루프 안테나의 구조는 그림 5에서 보여주는 바와 같이 슬롯루프의 길이 방향 중심에 대하여 대칭이 되도록 이중급전선이 구성된다. 슬롯루프 안테나는 구조적으로 다중 공진의 특성을 가지고 있으며, 그로 인하여 광대역에서 사용할 수 있는 특성을 나타낸다^[15]. 단일 급전 슬롯안테나의 경우 대칭적 중앙 급전이 아닌 비대칭 오프셋 급전에 의한 임피던스 변화로 인하여 길이 방향으로 대칭이 되면 임피던스 정합이 되지 않는다. 그러나 이중 급전의 경우 길이 방향으로 대칭이 되면 x_{offset} 와 y_{offset} 에 의해 임피던스 정합이 용이하게 이뤄지며 y_{offset} 이 중심에 대하여 대칭적으로 이동하게 된다.

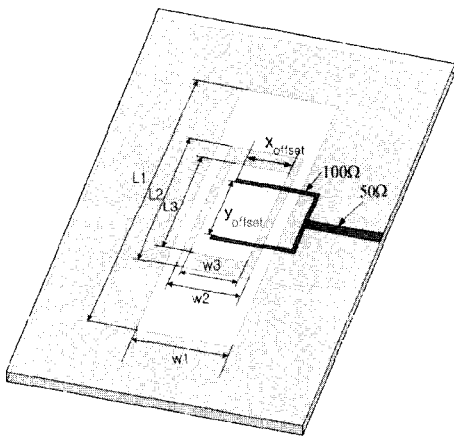
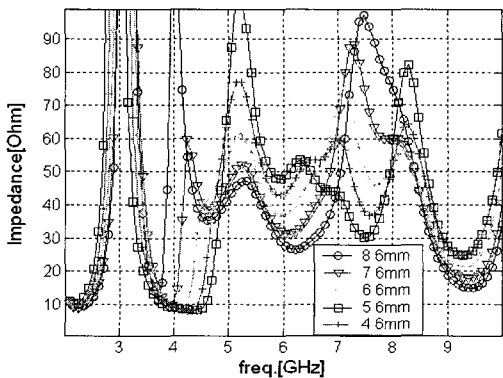
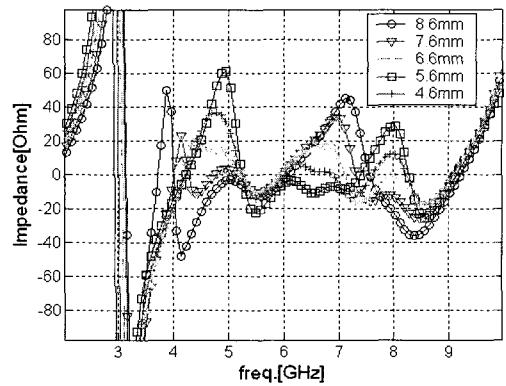


그림 5. 제안된 이중급전 슬롯루프 안테나 구조

이중급전에 의한 임피던스 최적화를 위하여 오프셋 길이에 따른 임피던스를 시뮬레이션 하였으며, 길이 변화에 따른 특성 임피던스에 가장 가까운 지점을 선택하여 설계하여 임피던스를 정합시켰다.



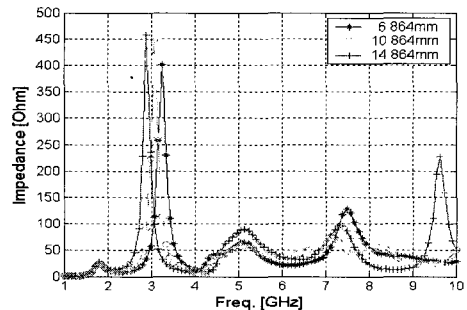
(a) 실수부



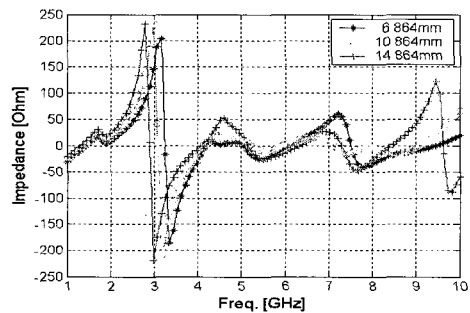
(b) 허수부

그림 6. x_{offset} 의 변화에 따른 임피던스 특성

그림 6과 그림 7에서 오프셋 변화에 의한 안테나 특성을 비교한 결과에 따라 최적화된 오프셋 길이 $x_{offset} = 6.6 \text{ mm}$, $y_{offset} = 10.864 \text{ mm}$ 인 이중급전 슬롯루프 안테나를 설계하였고 그 반사손실 특성을 그림 8에 나타내었다. 여기서 안테나의 VSWR 2:1 대역폭은 4.6 GHz로 비대역폭은 68.67%의 광대역 특성을 나타내고 있다.



(a) 실수부



(b) 허수부

그림 7. y_{offset} 의 변화에 따른 임피던스 특성

단일 급전에서는 각각 떨어진 3개의 공진점(A, B, C)이 발생하였는데^[15] 이중급전에 의해 대역폭이 넓어지면서 세 개 이상의 대역이 각각 공진을 이루며 커플링 효과에 의해 광대역 특성을 보인다. 이러한 효과를 실제 설계에 적용하기 위해서는 구조적 등가화 및 특성 해석이 필요하다. 슬롯루프 안테나의 다중 공진 구조는 그 물리적 구조의 형태에 의해 다중 모드로 공진되고, 공진 구조에 따른 각각의 공진 주파수가 동시에 정합됨으로써 광대역 특성을 얻을 수 있다고 가정할 수 있다.

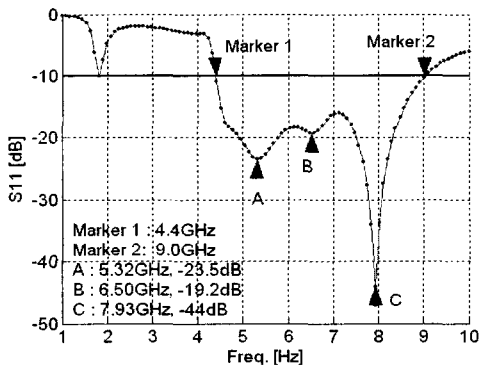


그림 8. 최적화된 이중급전 슬롯루프 안테나의 반사 손실

그러한 가정을 바탕으로 3 개의 주요 공진 모드가 그림 9와 같이 3가지 슬롯의 물리적 구조 형태에 따름을 등가화 하였다. 즉, slot-1 영역은 슬롯루프 안테나의 외부 단일 슬롯에 의한 공진 부분이고, slot-2 영역은 슬롯루프 안테나의 내부 단일 슬롯에 의한 공진 부분이며, 그리고 slot-3 영역은 점선으로 나타난 이중급전선의 인근 부분과 구형 루프에 의한 공진 부분이다. 위와 같은 세 가지 등가 슬롯 영역을 가정하고 이를 검증은 위하여 3 개의 슬롯 영역을 개별적으로 시뮬레이션 하였다.

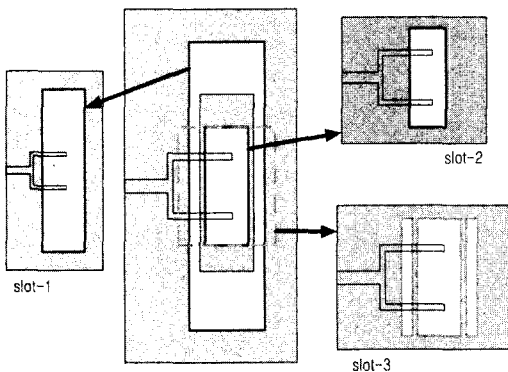


그림 9. 이중급전 슬롯루프 안테나의 구조적 등가 영역 분할

그림 9에서 slot-2 바깥부분의 가로 방향으로 넓은 도체 루프가 slot-1의 공진주파수와 slot-2의 공진주파수를 변화시킴으로써 발생하는 불연속성으로 인해 반사손실의 급격한 변화가 하위 대역폭에서 발생한다. 따라서 그림 8의 약 4.4 GHz 부근에서 급격한 반사손실 변화는 루프의 영향에 의한 공진 주파수의 변화로 고려된다.

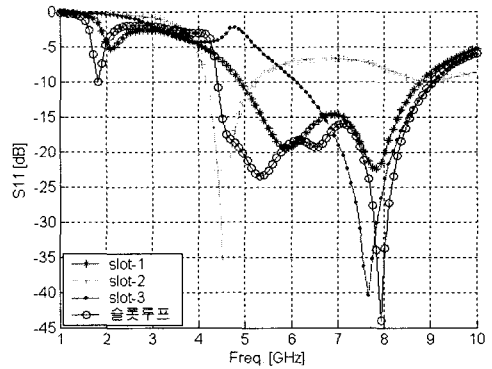
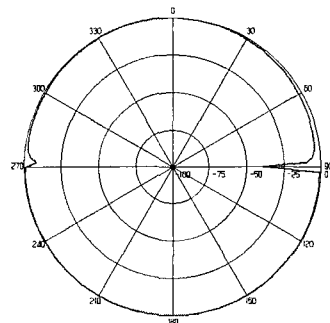
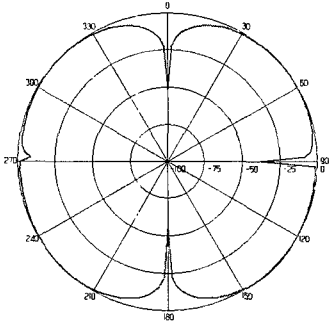


그림 10. 각 슬롯 모양에 의한 반사 손실과 비교 (—*—: slot-1, -+-+: slot-2, ····×····: slot-3, —○—: 이중급전 슬롯루프 안테나)

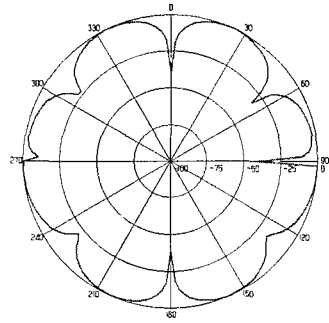
그림 10은 각각의 슬롯 영역에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주는데 각각의 슬롯, 즉 slot-1, slot-2, slot-3의 영역의 공진 주파수가 각각 4.5 GHz, 6.775 GHz, 7.6 GHz 임을 볼 수 있다. 여기서 실제 슬롯루프 안테나는 slot-2와 같이 바깥 부분이 무한 접지면이 아니고 루프 외곽에 다시 slot-1의 슬롯 부분이 존재하기 때문에 실제의 슬롯루프 안테나와 slot-2의 공진주파수가 차이가 나게 된다. 하지만 각각의 슬롯에 대한 공진주파수에 대한 반사 손실 특성은 슬롯루프 안테나 전체 구조의 반사 손실 특성과 거의 일치함을 알 수 있다.



(a) $\phi = 0^\circ$ @ 5.5 GHz (E_θ)



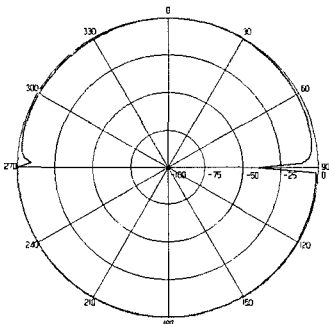
(b) $\phi = 90^\circ$ @ 5.5 GHz (E_θ)



(f) $\phi = 90^\circ$ @ 7.8 GHz (E_θ)

그림 11. 이중급전 슬롯루프 안테나의 주파수별 방사 패턴

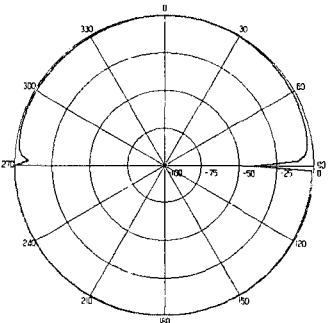
그림 11은 이중급전 슬롯루프 안테나의 방사패턴을 보여준다. 여기서 그림 8의 이중급전 슬롯루프 안테나의 공진점 A, B, C 부근의 공진주파수에서의 방사패턴을 나타내는데 전방향성 방사패턴을 가지며 이득은 5.5 GHz에서 약 1.5 dBi, 6.3 GHz에서 약 1.3 dBi, 7.8 GHz에서 약 2.4 dBi로 낮은 값을 갖는다.



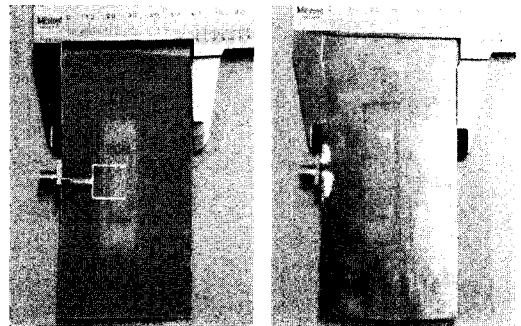
(c) $\phi = 0^\circ$ @ 6.3 GHz (E_θ)

III. 이중급전 슬롯루프 안테나의 제작 및 측정

이중급전 슬롯루프 안테나는 유전율 4.4, 높이가 31 mils인 FR4 기판에 제작하였고 그림 12는 실제 제작된 슬롯루프 안테나의 마이크로스트립 라인 측과 접지면 측을 보여주고 있다. 제작된 안테나의 슬롯 크기는 12.5 mm × 50 mm 으로서 매우 소형임을 알 수 있다.



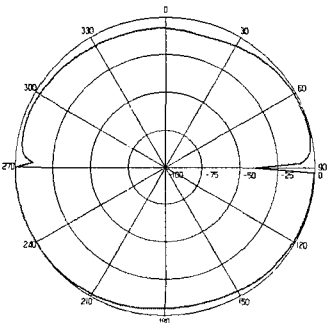
(d) $\phi = 90^\circ$ @ 6.3 GHz (E_θ)



(a) 상단면

(b) 하단면

그림 12. 제작된 이중급전 슬롯루프 안테나 사진



(e) $\phi = 0^\circ$ @ 7.8 GHz (E_θ)

그림 13은 안테나의 S11 반사손실 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 보여주며, 그 값은 표 1에 나타내었다. 표 1에서 알 수 있듯이, 시뮬레이션에서는

VSWR 2:1에서의 비대역폭이 68.67 %인 반면에, 실제 제작한 안테나를 측정하면 63.21 %를 얻었으며 그 차이는 약 5 % 이고, 이것은 제작 상에서 발생하는 오차로써 분석된다.

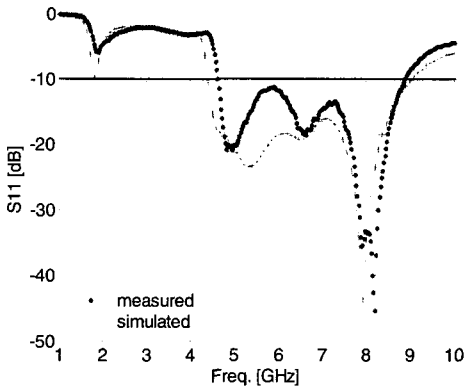
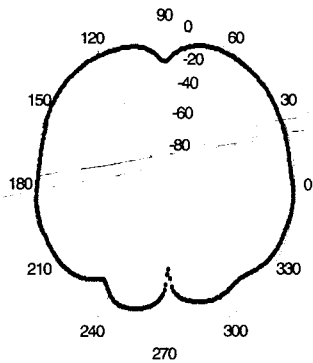


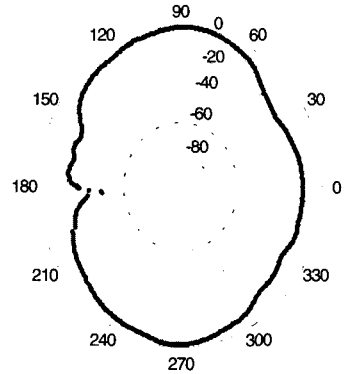
그림 13. 단일 슬롯루프 안테나의 반사손실 시뮬레이션 값과 측정값 비교

그림 14는 이중급전 슬롯루프 안테나의 방사패턴 측정 결과를 보여준다. 통과대역에서 각각 5.5 GHz, 6.3 GHz, 7.8 GHz에서의 전계의 θ 성분을 x-y 평면($\phi=0^\circ$)과 x-z 평면($\phi=90^\circ$)을 따라 측정된 값을 보여주고 있다. x-y 평면에서는 급전선의 모양이 z축을 중심으로 대칭이기 때문에 주파수에 관계없이 좌우대칭이지만, x-y 평면은 급전선의 불연속적인 지점에서 전계의 방사가 많이 이루어지므로 주파수가 높아질수록 측면(90° 방향 부근)에서 찌그러짐을 볼 수 있다.

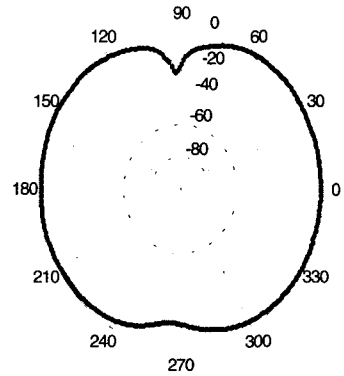
안테나의 이득은 측정된 결과 최대 7.42 dBi 이며, 대역내의 각 주파수별 이득의 평균값은 5.73 dBi 이다.



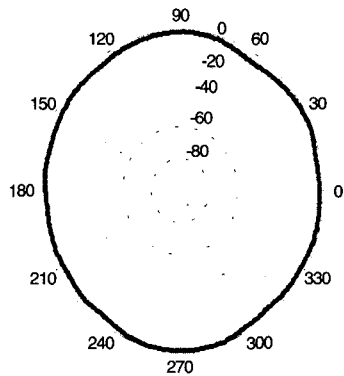
(a) $\phi=0^\circ$ @5.5 GHz (E_θ)



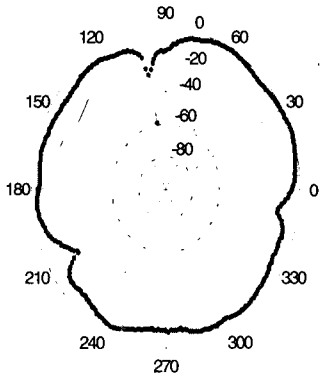
(b) $\phi=90^\circ$ @5.5 GHz(E_θ)



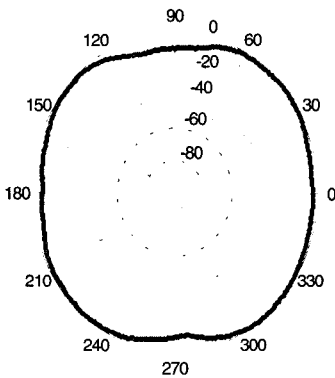
(c) $\phi=0^\circ$ @6.3 GHz (E_θ)



(d) $\phi=90^\circ$ @6.3 GHz(E_θ)



(e) $\phi = 0^\circ$ @7.8 GHz (E_θ)



(f) $\phi = 90^\circ$ @7.8 GHz(E_θ)

그림 14. 이중급전 슬롯루프 안테나의 주파수별 방사 패턴 측정결과

IV. 결론

본 논문에서는 UWB 용 소형 안테나를 설계하기 위해 폭이 넓은 슬롯안테나의 슬롯면내에 구형 루프를 추가하고 이중급전 방법을 사용한 슬롯루프 안테나를 제안하였다. 폭이 넓은 슬롯안테나에 대체로 된 구형 루프를 삽입하고 이중급전을 함으로써 임피던스 정합이 잘 이루어지도록 하여 광대역 특성이 개선되도록 설계하였다.

시뮬레이션을 통해 기본적인 슬롯을 갖는 단일 급전형 안테나에서 27.74%의 비대역폭을 얻었으며, 이중급전으로 45.95%의 비대역폭 갖는 안테나를 설계하였다. 또한 광대역에서의 임피던스 정합을 위하여 다중 공진 특성을 갖는 슬롯루프 안테나에 이중

급전선을 적용하였고, 이에 따라 제작된 안테나는 슬롯의 크기가 12.5 mm × 50 mm이고 슬롯 내의 구형 루프의 크기는 10.5 mm × 27.5 mm 로 최적화했다.

측정한 결과 중심주파수가 6.755 GHz이며 VSWR 2:1 기준으로 비대역폭은 약 63.21%를 얻었는데, 이 결과는 시뮬레이션에 비해 비대역폭이 약 5% 낮아진 결과를 얻었지만 이는 제작상의 오차로 고려되며 제안된 이중급전 슬롯루프 안테나는 방사부가 모두 접지면에 부착된 형태로써 후방 방사를 막는 접지면이 없기 때문에 거의 전방향성 패턴을 갖는 특징을 갖지만, 실제 측정한 안테나의 이득은 최대 7.4 dBi를 갖는다. 이러한 광대역 특성을 가지며 이득이 높은 소형 이중급전 슬롯루프 안테나는 향후 UWB 통신에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] FCC Notice of Proposed Rule Making, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission System," *ET-Docket*, pp. 98-153.
- [2] 김종규, 허유강, 조영기, "UWB 안테나 기술동향", *전자과학회 학회지*, pp.24-32, 2002.
- [3] H.G. Booker, "Slot Aerials and Their Relation to Complementary Wire Aerials," *IEEE (London), Part IIIA*, Vol. 93, pp. 620-626, 1946.
- [4] H.G. Akhavan, D. Mirshekar-Syahkal, "Characteristics of fundamental and first higher-order modes of microstrip-fed slot antennas", *Tenth International Conference on Antennas and Propagation*, (Conf. Publ. No. 436), vol. 1, pp. 74-77, April 1997,
- [5] M. Kahrizi, T. K. Sarkar, Z.A. Maricevic, "Analysis of a wide radiating slot in the ground plane of a microstrip line", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 41, pp. 29-37, jan. 1993.
- [6] K. Prasad, L. Shafai, "Higher order mode excitation in circular loop and annular slot antennas" *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 1987 , vol. 25, pp. 824-827, June 1987.

[7] M.C. Greenberg, K.L. Virga, "Characterization and design methodology for the dual exponentially tapered slot antenna", *IEEE International Symposium 1999 Antennas and Propagation Society*, vol. 1, pp. 88-91, July 1999.

[8] Hooman Tehrani, Kai Chang, "A multi-frequency microstrip-fed annular slot antenna", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 2, pp. 632-635, July 2000.

[9] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, "Antenna theory and design", *John Wiley & Sons*, 2nd Edition, 1997.

[10] Collier, M. "Microstrip Antenna Array for 12GHz TV," *Microwave journal*, vol. 20, pp. 67-71, Sept. 1977.

[11] J. Y. Sze, K. L. Wong, "Bandwidth enhancement of a microstrip-line-fed printed wide-slot antenna", *IEEE Trans. Antenna and propagation*, vol. 49, no. 7, pp. 1020-1024, July 2001.

[12] M.K. Kim, K. Kim, Y.H. Suh, I. Park, "A T-shaped microstrip-line-fed wide slot antenna", *IEEE AP-S Int. Symp.*, vol. 3, pp. 1500-1503, 2000.

[13] Y. W. Jang, "Broadband cross-shaped microstrip-fed slot antenna", *Electronics Letters*, vol. 36, no. 25, pp. 2056-2057, Dec. 2000.

[14] Y. W. Jang, "Experimental study of large bandwidth three-offset microstripline-fed slot antenna", *IEEE Microwave Wireless Compon Letters*, vol. 11, no. 10, pp. 425-427, Oct. 2001.

[15] 조영빈, 김병수, 김장권, 전계석, "DGS 필터가 부착된 슬롯루프 안테나 설계", *2002 한국통신학회 추계종합학술대회 논문집*, vol.26, pp.160, 2002년 11월 23일.

[16] 이행렬, 김일권, 육종관, 박한규, "폭이 넓은 평면 슬롯안테나의 광대역 특성", *한국전자과학회논문지*, 제 14 권, 제 3호, pp. 260-267, 2003년 3월.

조 영 빈(Young-Bin Cho)

정회원



1996년 2월 : 경희대학교

물리학과 졸업

1998년 2월 : 경희대학교

전자공학과 석사

1997년 12월~2000년 5월 : 전자부품연구원 위촉연구원

1998년 9월~1999년 10월: 전파연구소 이천분소 연구보조사

2002년 9월~2003년 3월 : 전자부품연구원 위촉연구원

1999년 9월~현재 : 경희대학교 교양학부 강사

1998년 3월~현재 : 경희대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야> 안테나, 마이크로파 능동 및 수동 회로 설계, 전자파 해석

나 종 덕(Jong-Duk Na)

준회원



2001년 8월 : 경희대학교

전자전파계열학과 졸업

2003년 8월 : 경희대학교

전자공학과 석사

2003년 9월~현재 : 경희대학교 정보처리처 연구조교

<주관심분야> 안테나, 마이크로파 수동회로 설계

전 계 석(Kye-Suk Jun)

정회원

한국통신학회 논문지 제26권 제9B호 참조