

Slot-loading에 의한 UHF 대역 평면 안테나의 소형화 설계

전중창¹ · 이동현² · 김태수³

¹진주산업대학교 전자공학과,

²포항공과대학교, ³위덕대학교 정보통신공학과

Miniaturization of UHF Planar Antenna Employing Slot-loading

Joong-Chang Chun¹ · Dong-Hyun Lee² · Tae-Soo Kim³

¹Jinju National University,

²Pohang University of Science and Technology, ³Uiduk University

E-mail : jcchun@jinju.ac.kr

요 약

평면 안테나는 막대형 모노폴 안테나에 비하여 돌출부위가 없으므로 옥외 계측자동화 시설의 데이터 전송에 효과적으로 사용될 수 있다. 그러나 UHF 대역에서는 크기로 인하여 평면 안테나의 사용이 상당히 제한되고 있다. 본 논문에서는 400MHz UHF 대역의 ISM 밴드를 사용하는 AMR (Automatic Meter Reading) 시스템에 적용할 수 있는 평면 안테나의 소형화 설계를 연구하였다. 평면 안테나는 FR-4 기판의 마이크로스트립 패치 구조이며, 소형화는 패치에 슬롯을 장하하여 설계되었다. 먼저 직사각형 슬롯을 사용하여 슬롯이 안테나 소형화에 미치는 영향을 파악한 후 보다 복잡한 형태의 슬롯을 적용하여 UHF 대역에서 37.9% 크기가 감소된 안테나를 제작하였다. 제작된 안테나는 야외 설치를 위한 안테나 보호용으로 표면에 에폭시 코팅처리가 이루어졌으며, 공진 주파수 변화에 대한 에폭시 코팅의 영향도 분석되었다.

ABSTRACT

Planar antennas are very efficient for the use of the out-door data transmission applications due to their low-profile characteristics. But the size of the antenna in UHF band blocks the practical usage. In this paper, a miniaturized planar antenna is investigated for the application of AMR system in UHF band. The designed antenna is fabricated in the form of the microstrip patch on the FR-4 substrate. The miniaturization is achieved by slot-loading on the patch. First, effects of simple slots on the size reduction are analyzed, followed by the design using more complex slots resulting in the reduction ratio of 37.9% in 425.6 MHz and bandwidth of 3.8 MHz. The effect of epoxy coating for the protection is also investigated.

키워드

UHF 안테나, 안테나 소형화, 슬롯 장하 평면 안테나, AMR 안테나

1. 서 론

평면 안테나는 막대형 모노폴 안테나에 비하여 외부로 돌출되지 않으므로 옥외 계측자동화 시설

의 데이터 전송에 효과적으로 사용될 수 있다. 그러나 평면 안테나는 기본적으로 반 파장의 길이를 가지므로, UHF 대역에서는 그 크기로 인하여

산업현장에서의 사용이 상당히 제한되고 있다. 본 논문에서는 400MHz UHF 대역의 ISM 밴드를 사용하는 AMR (Automatic Meter Reading) 시스템에 적용할 수 있는 평면 안테나의 소형화 설계를 연구하였다. 평면 안테나의 소형화는 프랙털^[1] 구조를 채택하는 방법과 패치에 슬롯^[2-4]을 장하하는 방법, 미앤더 루프^[5,6]를 사용하는 방법 등이 알려져 있다. 본 논문에서의 설계 목표는 지면 매립이 가능하도록 상향 단일 빔을 가지며, 크기 20cm 이하, 두께 5cm 이하인 평면 안테나이다. 미앤더 루프는 양 방향성을 가지는 반면에, 슬롯 장하 형태는 단일 방향을 가지므로, 이 조건에 적합한 구조는 슬롯 장하 형태이다. 먼저 직사각형 슬롯을 사용하여 슬롯이 안테나 소형화에 미치는 영향을 파악한 후 보다 복잡한 형태의 슬롯을 적용하였다. 제작된 안테나는 중심 주파수 425.6MHz에서 대역폭 3.8 MHz를 가지며, 슬롯이 없는 패치에 비하여 37.9% 크기가 감소되었다. 제작된 안테나는 야외 설치를 위한 안테나 보호용으로 표면에 에폭시 코팅처리가 이루어졌으며, 공진 주파수 변화에 대한 에폭시 코팅의 영향도 분석되었다.

II. 슬롯 장하에 의한 소형화 효과분석

직사각형 슬롯을 사용하여 슬롯이 안테나 소형화에 미치는 영향을 분석하도록 한다. 시험에 사용된 안테나는 유전율 4.4, 두께 20mm인 FR-4 기판에, 그림 1에 보인 것과 같이, 한 변의 길이가 74.3 mm인 정사각형 패치를 기본 구조로 하여 두 개의 20×4 mm 슬롯 위치 S_y 에 따라 공진 주파수 변화를 분석하였으며, 시뮬레이션에는 CST Microwave Studio를 사용하였다. 표 1은 시뮬레이션 결과를 보이고 있으며, 공진 주파수 감

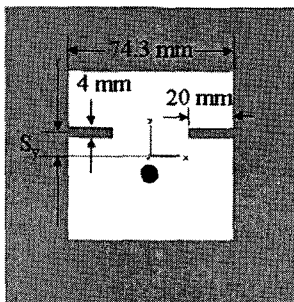


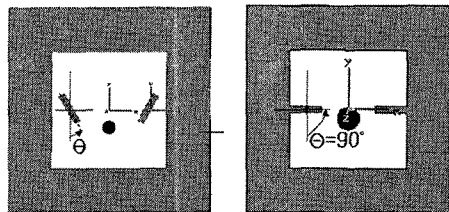
그림 1. 이중 슬롯이 장하된 패치 안테나

표 1. 슬롯 위치에 따른 공진주파수의 변화

S_y (mm)	공진주파수(MHz)	대역폭(MHz)	감소율(%)
기본패치	900.0	8.25	-
0	745.0	2.70	17.2
5	746.4	2.75	17.1
10	757.6	3.03	15.8
20	803.8	4.91	10.7
-5	752.0	2.75	16.4
-10	761.8	3.03	15.4
-20	803.1	4.43	10.8

소 효과는 $S_y=0$ 즉, 슬롯이 패치 중앙에 위치할 때 가장 크게 나타난다. 그리고 공진 주파수 감소율이 증가할수록 대역폭이 감소함을 볼 수 있다.

그림 2는 슬롯의 방향에 따른 공진주파수 감소 효과를 시뮬레이션하기 위한 배치도이다. 슬롯의 크기는 그림 1과 동일하며, 슬롯 회전각 θ 에 따른 공진주파수의 변화를 표 2에 제시하였다. $\theta=0^\circ$ 인 경우는 패치 표면전류 방향과 평행하여 비복사 슬롯으로 작용하므로 공진주파수 감소 효과가 미미하며 $\theta=90^\circ$ 일 때에 감소 효과가 가장 크게 된다. 이 외에 공진주파수의 감소에 영향을 미치는 요소는 슬롯의 위치와 길이가 있다. CST 시뮬레이션 결과, 슬롯을 패치 중앙보다 가장자리에 배치하여야 주파수 감소효과가 나타나며, 슬롯 길이가 길어지면 주파수 감소효과는 더 증가하지만 표면전류 경로교란이 더 심해지는 관계로 대역폭이 매우 좁아지는 단점이 발생하였다.



(a) 회전방향 θ 의 정의 (b) $\theta=90^\circ$ 인 패치
그림 2. 회전된 슬롯을 갖는 패치 안테나

표 2. 슬롯 회전에 따른 공진주파수의 변화

회전각(θ)	공진주파수(MHz)	대역폭(MHz)	감소율(%)
기본패치	900.0	8.25	-
0°	875.9	8.16	2.6
30°	893.4	11.12	0.7
60°	885.7	7.68	1.5
90°	745.0	2.70	17.2
120°	800.0	3.73	11.1
150°	893.4	8.19	0.7

III. 슬롯 안테나의 소형화설계 및 측정

본 연구에서 제안된 안테나의 패치구조를 그림 3에 보였다. 안테나 크기 감소율을 증가시키기 위해 슬롯을 추가하였으며, 설계조건은 동작 주파수 424MHz, 대역폭 1MHz 이상, 크기 20cm 이하이다. 이를 위해 최적화된 설계 파라미터 값을 표 3에 나타내었다. 실험에는 유전율 4.4, 두께 20mm를 갖는 FR-4 기판이 사용되었으며, f_x , f_y 는 급전위치를 나타낸다.

그림 4는 패치 크기를 최적화하는 과정으로 패치 크기 L 변화에 따른 공진 주파수 변화를 보인다. 패치 크기가 L=100mm일 때 공진 주파수 429MHz를 얻을 수 있으며, 이것은 슬롯이 없을 경우의 691 MHz에 비하여 37.9% 감소한 값이다. 그러나 대역폭이 6%로 좁아지는 단점이 존재한다. 그림 5는 429 MHz에서 복사패턴 시뮬레이션 결과이다.

설계된 안테나는 FR-4 기판을 사용하여 제작되었으며, 안테나 보호를 위해서 두께 1.5mm의 에폭시 코팅을 실시하였다. CST 시뮬레이션 단계에서는 에폭시 코팅효과가 감안되지 않았으며, 제작 측정 결과 에폭시 코팅 전에는 공진 주파수가 약 3% 증가한다. 그러나 표 4에 보인 것과 같이 에폭시로 코팅된 안테나의 공진 주파수는 0.8% 이내로 시뮬레이션과 측정값이 일치한다.

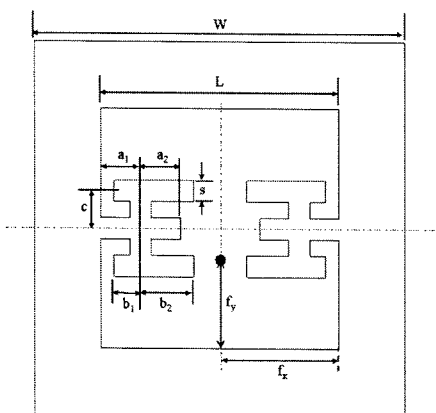


그림 3. 설계된 슬롯 안테나의 패치구조

표 3. 안테나 설계 치수 (단위: mm)

a_1	16.5	S	5.0
a_2	16.5	f_x	50.0
b_1	10.5	f_y	38.0
b_2	22.5	L	100.0
C	14.0	W	180.0

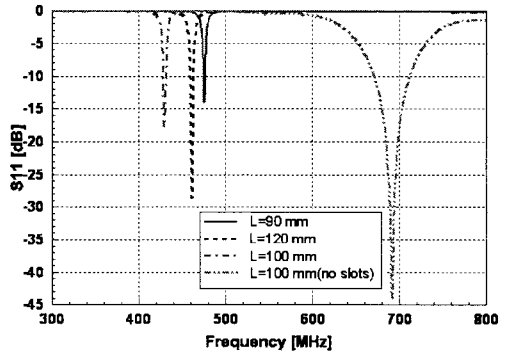


그림 4. 패치 크기에 따른 공진 주파수의 변화

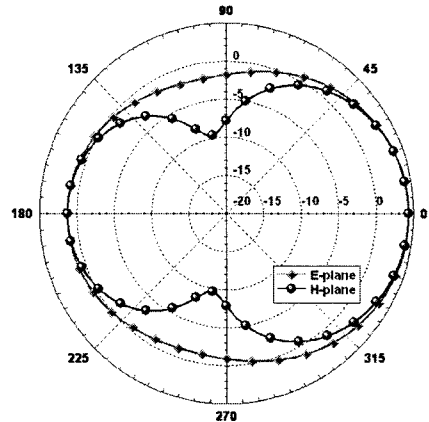


그림 5. 429 MHz에서 복사패턴 시뮬레이션 결과

표 4. 패치 크기 및 코팅에 따른 주파수 변화 (길이: mm, 주파수: MHz)

패치크기 (L)	설계값		측정값			
	f_0	BW	코팅 전 f_0	코팅 전 BW	코팅 후 f_0	코팅 후 BW
90	475	2.1	491.8	4.1	473.0	3.0
100	429	2.4	441.8	4.8	425.6	3.8
120	461	2.8	477.0	11.7	460.6	7.7

(f_0 : 중심 주파수, BW: 대역폭)

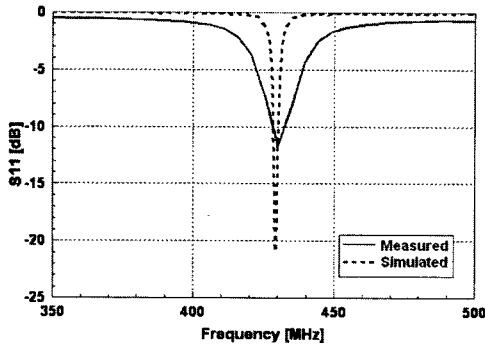


그림 6. 반사손실(S_{11})의 시뮬레이션과 측정결과 비교
(패치크기 $L=100\text{mm}$, 코팅 후 측정)

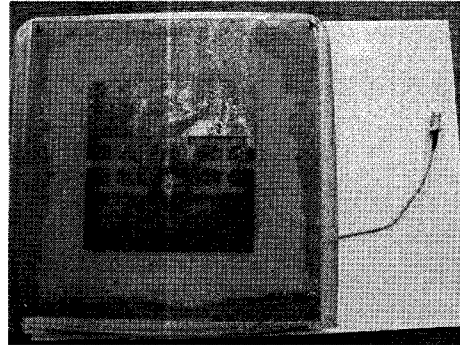


그림 7. 슬롯 장하 UHF 안테나의 제작 사진
(중심주파수: 425.6MHz, 크기: 180×180mm)

그림 6은 안테나 입력단 반사손실에 대한 시뮬레이션과 에폭시 코팅 후의 측정 결과를 비교한 것이며, 두 결과가 잘 일치하고 있다. 본 연구의 슬롯 안테나의 경우, 시뮬레이션과 측정 사이의 오차가 에폭시 코팅에 의하여 보정이 이루어졌다. 제작된 안테나의 사진을 그림 7에 보였다. 안테나 이득은 -5dBi로 측정되었으며, 접지면이 충분히 넓지 못한 점과 FR-4 기판의 유전손실에 의하여 이득이 감소된 것으로 판단된다.

III. 결론

본 논문에서는 400MHz UHF 대역 평면 안테나의 소형화 설계 연구가 이루어졌다. 안테나 소형화를 위해서 슬롯의 위치와 방향은 패치 중심부의 가장자리에서 표면전류와 직각 방향으로 설치하는 것이 효과적이며, 슬롯 길이가 길어지면 주파수 감소효과는 더 증가하지만 대역폭이 매우 좁아지는 단점이 발생한다. 제작된 안테나는 중심주파수 425.6MHz에서 대역폭 3.8 MHz를 가지며, 슬롯이 없는 패치에 비하여 37.9% 크기가 감소되었다. 제작된 안테나는 보호용으로 표면에 에폭시 코팅처리가 이루어졌으며, 공진 주파수 변화에 대한 에폭시 코팅의 영향이 분석되었다. 슬롯에 의하여 소형화된 안테나는 대역폭이 매우 감소하게 되며, 이를 완화하기 위해서 기판 두께를 늘릴 필요성이 있다. 그러나 기판 두께가 증가하면 유전손실도 증가하므로 이득이 감소하게 된다. 본 논문에서 제작된 안테나는 424MHz ISM 밴드를 사용하는 AMR 시스템의 협대역 데이터 통신에 적용할 수 있다.

참고문헌

- [1] J. Kim, J. Yook, H. Park, "Fractal-shape small size microstrip patch antenna," *Microwave and Optical Technology Letter*, Vol. 34, No. 1, pp. 15-17, 2002.
- [2] L. Desclos, "Size reduction of planar patch antenna by means of slot insertion," *Microwave and Optical Technology Letter*, Vol. 25, No. 2, pp. 111-113, 2000.
- [3] R. Bhattacharjee, B. Gupta, D.R. Poddar, S.K. Chowdhury, "Dual slot-loaded compact microstrip patch antenna," *Microwave and Optical Technology Letter*, Vol. 28, No. 4, pp. 277-278, 2001.
- [4] H.T. Nguyen, S. Noghianian, L. Shafai, "Microstrip patch miniaturization by slots loading," *IEEE Antennas and Propagation International Symposium*, pp. 215-218, 2005.
- [5] J. Kim, K. Kim, J. Yook, H. Park, "Compact stripline-fed meander slot antenna," *Electronics Letters*, Vol. 37, No. 16, pp. 995-996, 2001.
- [6] H.Y. Wang, J. Simkin, C. Emson, K.J. Lancaster, "Compact meander slot antennas," *Microwave and Optical Technology Letter*, Vol. 24, No. 6, pp. 377-380, 2000.