

# 복사 모드 해석에 의한 사각형 평면 모노폴 안테나의 대역폭 예측

전중창\*, 심재륜\*\*, 김태수\*\*\*

## Bandwidth Prediction for the Rectangular Planar Monopole Antenna by Radiation Mode Identification

Joong-Chang Chun\*, Jae-Ruen Shim\*\*, Tae-Soo Kim\*\*\*

**요약** 본 논문에서는 광대역 사각형 평면 모노폴 안테나의 복사 모드를 해석함으로써 사각형 평면 모노폴이 광대역 특성을 갖는 원리를 규명하고 대역폭 예측 공식을 제시한다. 사각형 평면 모노폴 안테나는, 설계와 제작이 용이한 장점으로 인하여, 기존의 원통 실린더형 모노폴을 대체하여 UWB(Ultra Wide Band) 및 다중 밴드용 안테나로서 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 설계에 있어서 실린더형 모노폴의 설계 원리를 준용하고 있으며, 광대역이 실현되는 원리의 규명과 상측 대역의 주파수 범위를 예측할 수 있는 공식이 아직 발표되어 있지 않다. 본 연구에서 사각형 평면 모노폴은 주파수에 따라 상이한 이중 복사 모드를 가짐으로써 광대역 특성이 구현됨을 보였으며, 각 모드의 형성 원리에 근거하여 대역폭을 예측할 수 있는 공식을 제시하였다. 주파수 범위 예측 공식을 기존에 발표된 제작 결과에 적용하여 10 % 이내의 정확도가 얻어짐을 확인하였다.

**Abstract** In this paper, we have illuminated the radiation modes of rectangular planar antennas to interpret the nature of the wideband characteristic upon which formulas for bandwidth prediction are presented. Rectangular planar antennas are being investigated by many researchers in virtue of relatively simple design and fabrication procedures to replace the cylindrical monopoles. But the design principle for rectangular planar antennas is still based on that of cylindrical monopoles, and the nature of the wideband characteristic and the formula to estimate the upper band frequency are not analyzed yet. In this research, we have shown the patterns of the radiation modes explaining the wideband characteristic and also proposed the upper band frequency with minor modification for the lower band frequency formula based on mode formation principles. Finally we have confirmed the validity of our results, within 10 % accuracy, by the application to some published results.

**Key Words** : radiation mode, rectangular planar antenna, wide band, UWB, multiple band

### 1. 서론

무선랜(WiFi)으로 대표되는 무선 멀티미디어 서비스의 활성화에 이어서 UWB 통신이 새롭게

부각되어 각종 데이터 통신 및 레이더 응용에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이에 따라 더욱 광대역을 갖는 안테나의 필요성이 제기된다. 선형 모노폴 안테나는 구조가 간단하고 전방향성

This paper was studied by 2013, Kyungnam University of Science and Technology funding.

\*Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Gyeongsang National University of Science and Technology, Gyeongsang, Korea(jcchun@gntech.ac.kr)

\*\* Division of Digital Media Engineering, Busan University of Foreign Studies, Busan, Korea

\*\*\* Division of Steel IT Engineering, Uiduk University, Gyeongbuk, Korea

Received January 10, 2015

Revised January 30, 2015

Accepted February 8, 2015

을 갖는 복사특성으로 인하여 이동통신 분야에서 널리 사용되어 왔으며, 원통형 실린더 구조를 사용함으로써 광대역 특성을 구현할 수 있었다[1]. 그러나 원통형 실린더 모노폴은 가공과 설치가 어려운 단점을 내포하고 있으며, 반면에 평면 모노폴은 간단한 구조로서도 광대역 특성을 나타내어 UWB 안테나로 원통형 실린더 모노폴을 대체하는 연구가 많이 이루어지고 있다[2]~[8]. 평면형 모노폴은 구조가 간단하고 광대역을 구현할 수 있는 장점이 있지만 동작 특성의 이론적 해석이 간단하지 않은 점이 있다. 따라서 안테나 설계는 실린더형 모노폴의 설계 원리를 바탕으로 CAD 소프트웨어에 주로 의존하고 있으며, 광대역이 실현되는 원리의 규명이나 상측 대역의 주파수 범위를 예측할 수 있는 공식이 아직 발표되어 있지 않은 상태이다.

본 연구에서는 CST Microwave Studio 시뮬레이션을 통하여 평면형 모노폴의 복사 모드 패턴을 규명하고, 주파수에 따른 이중 모드의 형성이 광대역 특성을 나타내는 요인이 됨을 보였다. 그리고 특성 모드의 형성 원리에 근거하여 하측 대역의 주파수 범위를 예측할 수 있는 기존 공식을 보완과 함께 상측 대역의 주파수 범위를 예측할 수 있는 공식을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 주파수 범위 예측 공식의 정확성을 검증하기 위해서 기존에 발표된 제작 결과를 활용하였으며, 10% 오차 이내에서 측정값과 일치함을 확인하였다.

## 2. 사각형 평면 모노폴의 복사 모드 해석

사각형 평면 모노폴의 구조를 그림 1에 도시하였다. 본 연구에서 사용된 안테나의 구조는  $W=20$  mm,  $L=24$  mm,  $w_f=2$  mm,  $p=2.5$  mm,  $t=0.2$  mm,  $R=125$  mm이며, 이 안테나의 10 dB 대역폭은 2.301 GHz~6.15252 GHz이다.[8] 안테나의 표면전류 분포는 CST 소프트웨어를 이용하여 구하였으며, 동작 주파수에 따라 사각형 도체에 각기 다른 패턴의 복사 모드가 형성된다.

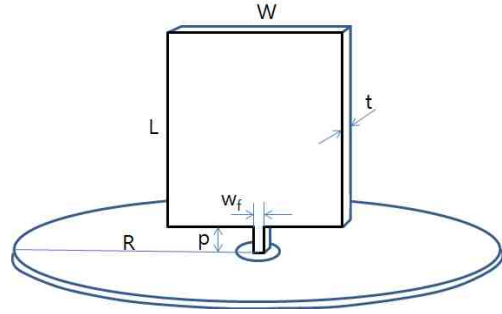


그림 1. 사각형 평면 모노폴의 구조[8]

Fig. 1. Geometry of rectangular planar monopole[8]

### 2.1 정재파 모드(Standing wave mode)

먼저 저주파 대역인 2.5 GHz에서의 전류 분포를 그림 2에 도시 하였다. 위상을 45도 간격으로 변화시켰을 때의 표면전류가 도시되어 있으며, 위상 180도 이후에는 전류 방향이 반대로 변화된다. 여기에서 수직 길이 방향으로 도체 평면의 정재파에 의한 공진 모드가 형성됨을 볼 수 있다. 즉, 평면 모노폴의 수직방향 전체에 걸쳐서 정재파가 형성됨을 알 수 있으며, 저역 경계 주파수(lower edge frequency of bandwidth)는 모노폴의 길이가  $\lambda/4$ 인 주파수에서 결정된다. 유효전류 경로 길이는 원통형 모노폴의 길이와 등가 반경의 합이며, 이에 대한 공진 주파수는 식 1과 같다[1],[4]. 그러나 그림 2의 전류 분포에서 급전부 및 평판 가장자리에서 표면전류 밀도가 높은 것을 볼 수 있으며, 이것은 급전부의 길이  $p$ 가 공진모드의 형성에 많은 영향을 끼친다는 것을 의미한다. 따라서 이점을 고려하여 기존의 식 1에 급전부의 길이  $p$ 를 포함시켜서 식 2의 공식을 유도하였다.

$$f_L = \frac{72}{L + \frac{W}{2\pi}} \quad (\text{GHz}) \quad (1)$$

$$f_L = \frac{75}{L+p+\frac{W}{2\pi}} \text{ (GHz)} \quad (2)$$

제3절에서 기술할 대역폭 예측공식의 비교 검토에서, 식 2를 사용함으로써 식 1보다 더 정확하게 하측 대역의 경계 주파수를 계산할 수 있다.

### 2.2 진행파 모드(Traveling wave mode)

그림 3은 고주파 대역인 5.5 GHz에서의 전류 분포를 나타낸 것으로, 평판의 수직 길이 방향의 진행파 전류분포와 평판 하단 모서리에서 수평방향으로 더 강한 정재파 전류분포가 형성됨을 볼 수 있다. 이 고주파 대역의 복사에서는, 도체 평면의 수직 길이 방향으로서는 진행파가 형성되므로 도체 평면의 길이 L은 상측 대역의 경계 주파수

결전에 영향을 거의 미치지 못하게 된다. 따라서 이 모드의 공진 주파수는 식 3과 같이 급전부 길이 p와 평판 너비 W/2에 의하여 결정된다.

$$f_H = \frac{72}{p+\frac{W}{2}} \text{ (GHz)} \quad (3)$$

그리고 원통 실린더형 모노폴에서와 같이 단축률을 감안하여 비례상수를 72로 설정하였다.

### 2.3 특성 모드 해석

평면 안테나의 특성모드는 도체 평판의 형태와 크기에 의하여 결정되는 전류분포를 의미한다 [2]. 참고문헌 [2]를 참조하면, 특성모드를 형성하는 고유전류  $J_n$ 은 아래의 고유치 방정식으로부터 구하여진다.

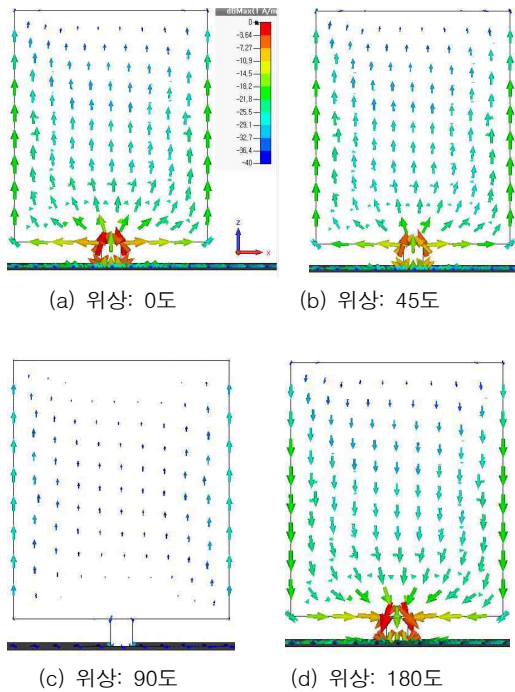


그림 2. 2.5GHz에서 도체 평판의 전류 분포  
Fig. 2. Surface current distribution at 2.5GHz

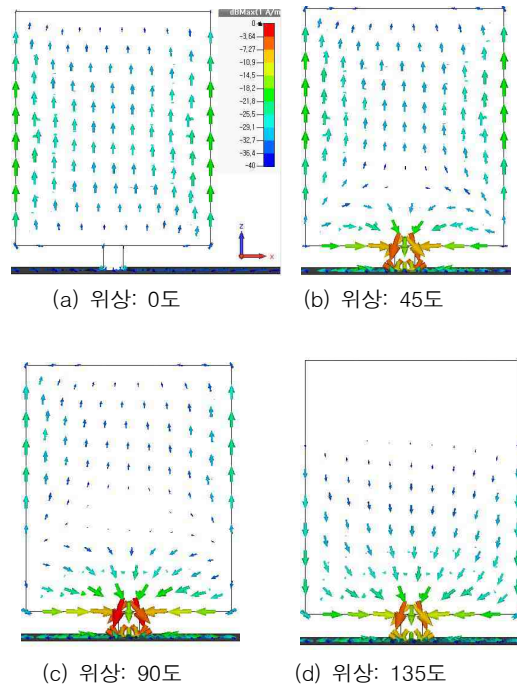


그림 3. 5.5GHz에서의 전류 분포  
Fig. 3. Surface current distribution at 5.5GHz

표 1. 평면 안테나의 주파수 대역 계산[5-8]  
Table 1. Bandwidth of rectangular planar antenna

Ref	W (mm)	L (mm)	p (mm)	측정( $f_L-f_H$ ) (GHz)	$f_L$ (GHz)				$f_H$ (GHz)	
					식 1	오차(%)	식 2	오차(%)	식 3	오차(%)
[5]	55	55	3.0	1.230-2.190	1.129	-8.2	1.128	-8.7	2.361	7.8
[6]	60	60	3.6	1.000-1.980	1.035	3.5	1.025	2.5	2.143	8.2
[7]	30	30	2.5	1.985-4.481	2.070	4.3	2.012	1.4	4.114	-8.2
[8]	20	24	2.5	2.301-6.157	2.649	15.1	2.527	9.8	5.760	-6.4

$$X(J_n) = \lambda_n R(J_n) \quad (4)$$

여기서  $\lambda_n$ 은 고유치를,  $R$ 과  $X$ 는 임피던스 연산자의 실수부와 허수부를 의미하며, 사각 평면도체에 대한 특성모드는 그림 4와 같이 구하여진다.[2] 여기에서 모드  $J_1$ 과  $J_2$ 는 기본 공진모드를 나타내며, 모드  $J_3$ 과  $J_4$ 는 고차 모드를 의미한다. 그림 2와 그림 4를 비교하면, 사각형 평면 모노폴이 저주파 대역의 정재파 모드에서 동작할 때 복사 모드는 특성모드  $J_1$ 로 형성된다고 볼 수 있다. 한편 사각형 평면 모노폴이 고주파 대역의 진행파 모드에서 동작할 때에는 평판의 아래 모서리 부분에서는 특성모드  $J_4$ 가 형성되고, 평판의 수직 길이방향으로는 진행파가 혼재되어 있다. 따라서 상측 대역에서 수평방향의 공진모드  $J_4$  및 수직방향의 진행파에 의하여 광대역 특성이 구현된다.

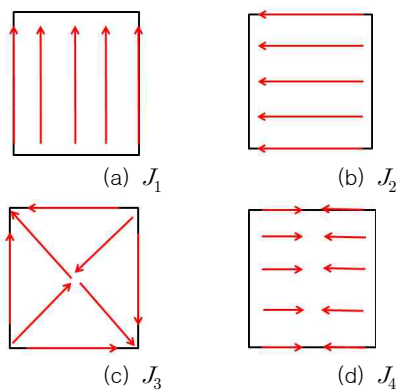


그림 4. 사각 도체평면의 특성 모드[2]  
Fig. 4. Characteristic modes of rectangular plate

### 3. 복사 모드 해석에 의한 대역폭 예측 공식의 적용

기존의 여러 참고문헌[5-8]에 발표된 평면 안테나에 대하여 계산된 주파수 대역 결과를 표 1에 나타내었다. 하측 대역의 경계 주파수  $f_L$ 을 계산하기 위해서 기존에 널리 사용된 식 1을 사용하면  $W < L$ 인 경우에 15.1%의 오차가 발생한다. 이에 비하여 본 논문에서 새롭게 제시한 식 2를 사용하면 10% 이내의 정확도를 보인다. 식 3으로 도출된 상측 경계 주파수  $f_H$ 의 계산도 10% 이내의 정확도를 보인다.

### 4. 결론

본 논문에서는 사각형 평면 모노폴의 복사 모드 해석을 통하여 광대역이 형성되는 요인을 규명하였다. 복사 모드는 저주파 대역에서는 수직 방향의 기본 공진모드로 형성되지만, 상측 고주파 대역에서는 수평 공진모드와 수직 방향의 진행파 모드가 동시에 형성됨을 보였다. 그리고 저주파 대역과 고주파 대역의 복사모드 특성을 고려하여 대역폭을 10% 이내의 정확도로 예측할 수 있는 공식을 도출하였다.

본 논문은 사각형 평면 안테나의 복사에 기여하는 전류 패턴을 시각적으로 제시함으로써 안테나의 광대역 특성을 이해하는 데에 도움을 주고, 아울러 복사 모드 해석에 의한 대역폭 예측 공식은 평면 안테나 설계 시 의미 있게 활용될 수 있다.

REFERENCES

[1] Joong-Chang Chun, "Wideband cylindrical monopole antenna for multiband wireless applications," *Microwave and Opt. Technol. Letters*, Vol. 51, No. 1, Wiley, pp. 15-17, Jan. 2009.

[2] Cabedo-Fabres, E. Antonino-Daviu, A. Valero-Nogueira, M. F. Bataller, "The theory of characteristic modes revisited: a contribution to the design of antennas for modern applications," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, pp. 52-68, 2007.

[3] K. P. Ray, S. S. Thakur, "Ultra wide band vertex truncated printed pentagon monopole antenna," *Microwave and Opt. Technol. Letters*, Vol. 56, No. 10, pp. 2228-2234, Oct. 2014.

[4] K. P. Ray, "Design Aspects of Printed Monopole Antennas for Ultra-Wide Band Applications," *International Journal of Antennas and Propagation*, Vol. 2008, 6, pp. 1-8, 2008.

[5] M. J. Ammann, "Impedance Bandwidth of the Square Planar Monopole," *Microwave Opt. Technol. Letters*, Vol. 24, No. 3, pp. 185-187, Feb. 2000.

[6] J. A. Evans, M. J. Ammann, "Planar Monopole Design Considerations Based on TLM Estimation of Current Density," *Microwave Opt. Technol. Letters*, Vol. 36, No. 1, pp. 40-42, Jan. 2003.

[7] S. W. Su, K. L. Wong, C. L. Tang, "Ultra-Wideband Square Planar Monopole Antenna for IEEE 802.16a Operation in the 2-11-GHz Band," *Microwave Opt. Technol. Letters*, Vol. 42, No. 6, pp. 463-466, Sept. 2004.

[8] S. W. Su, K. L. Wong, Y. T. Cheng, W. S.

Chen, "Finite-Ground-Plane Effects on the Ultra-Wideband Planar Monopole Antenna," *Microwave Opt. Technol. Letters*, Vol. 43, No. 6, pp. 535-537, Dec. 2004.

저자약력

전 중 창 (Joong-Chang Chun) [중신회원]



- 1983년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
- 2003년 2월 ~ 현재 : 경남과학기술대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

안테나 및 마이크로파 회로, 레이더, 전자장 수치해석

심 재 루 (Jaeruen Shim)



- 1990년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 1999년 8월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 부산외국어대학교 이공대학 디지털미디어학부 교수

<관심분야>

RF, 무선통신, 사물인터넷, IT인력양성, 벤처비즈니스

김 태 수 (Tae Soo Kim) [중신회원]



- 1987년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1991년 3월 : 요코하마국립대학 전자정보공학과 (공학석사)
- 1995년 3월 : 요코하마국립대학 전자정보공학과 (공학박사)
- 1996년 2월 ~ 현재 : 위덕대학교 철강IT공학부 교수

<관심분야>

디지털 신호처리, 영상인식, 무선랜