

# 소방무선대역을 포함하는 인빌딩용 다중대역 중계기 안테나 설계

## Design of Multiband Repeater Antenna with Fire-Fighting Band for In-Building Mobile Communication

김 성 민 · 민 경 식

Sung-Min Kim · Kyeong-Sik Min

### 요 약

본 논문은 인빌딩 이동통신용 소방무선대역을 포함하는 다중대역 중계기 안테나의 설계를 제안한 것이다. 제안된 안테나는 원형 평판 위에 중심 모노폴과 4개의 기생소자로 구성되어 있다. 다중대역에서 양호한 반사계수를 실현하기 위해서 4개의 기생소자와 중심 모노폴 사이의 상호 결합을 이용하였다. 기생소자와 중심 모노폴 사이의 거리, 중심 모노폴과 4개의 기생소자 각각의 높이와 같은 중요한 파라미터들이 다중대역에서 양호한 안테나 특성을 얻기 위해 모의실험되었다. 기생소자와 중심폴의 지름은 용이한 설계와 제작을 위해서 10 mm로 고정하였다. 측정된 반사계수, 2-D 패턴, 그리고 이득 값은 모의 실험된 값들과 잘 일치하였다.

### Abstract

This paper proposes the design of multiband repeater antenna with fire-fighting band for in-building mobile communication. The proposed antenna is composed of a center monopole and 4 parasitic elements on a circular plate. In order to realize good reflection coefficients at the multiband, mutual coupling between 4 parasitic elements and center monopole antenna is considered. The important parameters such as distance between parasitic element and a center monopole, and each height of a center monopole and 4 parasitic elements are simulated to obtain good antenna characteristics at the multiband. The diameter of 4 parasitic elements and a center monopole was fixed to 10 mm for easy design and manufacturing. The measurement results of reflection coefficients, 2-D patterns and gain agreed well with their simulation ones.

Key words: Monopole Antenna, Multiband, Parasitic Element, Fire-Fighting Radio Service, In-Building Mobile Communication.

### I. 서 론

MIMO, Wi-Fi, 4G 등 다양한 이동통신 서비스를 위해 국내외적으로 많은 통신 인프라가 구축되고 있다<sup>[1],[2]</sup>. 통신환경 측면에서 옥외의 경우, 이동통신서비스가 원활하

게 이루어지고 있다. 하지만 건물의 내부나 해양플랜트 구조물과 같은 곳에서는 전파음영지역이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서 인빌딩용 안테나들이 연구되어왔다<sup>[3],[4]</sup>. 본 연구에서 고려된 안테나 구조는 전파음영지역 해소와 지향성 제어를 쉽게 할 수 있

「이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2013R1A1A205944)와 중소기업청에서 지원하는 2014년도 중소기업기술개발지원사업(No.S2128775)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.」

한국해양대학교 전파공학과(Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University)

· Manuscript received April 18, 2016 ; Revised June 1, 2016 ; Accepted June 22, 2016. (ID No. 20160418-043)

· Corresponding Author: Kyeong-Sik Min (e-mail: ksmin@kmou.ac.kr)

는 ESPAR 구조를 고려하였다<sup>[5]</sup>. ESPAR 안테나는 단일 급전구조와 다수의 기생소자로 이루어져 있다. 다수의 기생소자를 이용하여, 제어하고자 하는 안테나의 지향성을 얻는 것이 특징이다. 본 논문에서 제안하는 ESPAR 구조의 안테나는 기존 ESPAR 안테나의 기생소자 연결을 다르게 하였다. 본 논문에서는 기생소자를 그라운드에 직접 연결하여, 기존의 ESPAR보다 더 강한 상호결합 특성을 가지도록 하여 공진 주파수별 지향성 제어를 할 수 있을 뿐만 아니라, 기생소자의 길이를 조정하여 다중공진 특성을 구현하도록 하였다.

건물 내부에서 이용되는 소방안전에 대한 전파환경 역시 전파음영지역이 발생하는 문제를 가지고 있다<sup>[6]</sup>. 특히 최근에 건물 내의 소방무선서비스의 의무화 법규가 시행되었고, 고층건물에서 소방무선서비스가 반드시 지원되어야 한다는 강제 규정도 만들어지고 있다.<sup>[7]</sup> 따라서 본 논문에서는 이동통신대역과 소방무선주파수 대역인 440~450 MHz에서 동시에 동작 가능한 다중공진 안테나를 설계하고자 한다. 이동통신대역과 소방무선 주파수가 간섭이 생기는 문제를 제기할 수 있는데, ‘건축물 내 이동통신 구내선로설비 공동구축 및 공동사용 활성화’를 위한 법제화 방안연구<sup>[8]</sup>에 따르면 소방무선주파수와 이동통신주파수의 전파간섭은 거의 없는 것으로 실험적으로 판명되었다.

본 논문에서 설계될 안테나는 원형평판구조를 가지는 모노폴 안테나이다. 안테나 크기는 건물의 천장에 설치하는 것으로 가정하여 그라운드의 크기를 포함한 원형평판의 지름을 200 mm $\phi$ , 모노폴의 최장 길이를 200 mm 이하로 하는 설계 범위로 진행하였다. 또한, 제작의 용이성과 실용성을 고려하여 설계된 안테나의 중심 모노폴(CP: Center Monopole)과 기생소자의 지름은 10 mm $\phi$ 로 고정하여 설계하였다. CP는 소방무선주파수에 동작되어지며, 기생소자들은 이동통신주파수와 Wi-Fi 대역에서 동작한다. 설계된 안테나는 440~450 MHz(소방무선대역), 824~894 MHz(LTE band 5), 1,710~1,880 MHz(DCS), 1,850~1,990 MHz(PCS), 1,920~2,170 MHz(WCDMA1), 2,400~2,470 MHz(Wi-Fi 802.11 b/g)에서 공진을 한다. CP와 기생소자의 높이, CP와 기생소자 간의 거리를 조절하여서 다중공진 특성을 얻고, 임피던스 정합 특성을 구하였다.

모든 대역에서 -10 dB 이하의 반사계수 특성을 가지며, 0 dBi 이상의 이득을 얻을 수 있었다.

## II. 설계 안테나의 구조

그림 1은 모노폴 안테나와 기생소자로 이루어져 있는 제안된 안테나의 설계 구조이다. 원형평판의 중심에 CP를 위치시키고, 프루브 급전을 하고 다중공진을 시키기 위하여 주변에 기생소자(PPA, PPB, PPC, PPD)를 위치시킨 구조이다. 여기서 PPA는 Parasitic Pole A라는 의미를

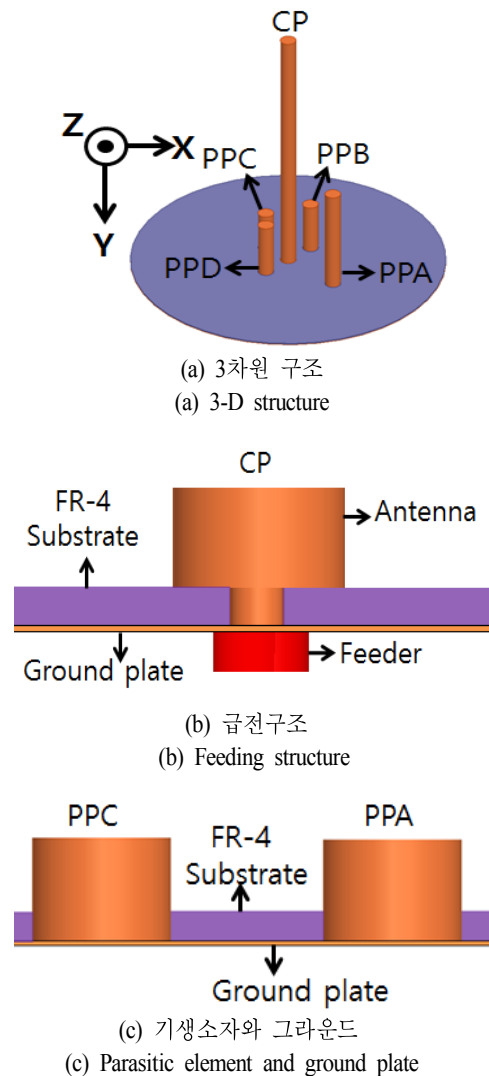


그림 1. 제안된 모노폴 안테나의 구조  
Fig. 1. Structure of a proposed monopole antenna.

표 1. 제안된 안테나의 설계 파라미터

Table 1. Design parameters of the proposed antenna.

변수	CP	PPA	PPB	PPC	PPD
폴의 지름 (mm $\Phi$ )	10	10	10	10	10
폴의 높이(mm)	184	76	37.5	40	25
CP와 기생소자 사이의 거리(mm)	-	20	12	13	12
CP를 기준으로 한 기생소자의 각도( $^{\circ}$ )	-	0	270	180	90

가지고 있다. 또한, A, B, C, D는 기생소자의 번호를 나타낸다. CP와 기생소자는 FR-4 epoxy기판을 통과하여 그라운드와 연결되어 있다. 안테나의 유전체 두께는 1 mm이며, 비유전율은 4.4+j0.04인 FR-4 epoxy기판을 사용하였다. 원형평판 그라운드의 크기는 천정설치를 고려하여 200 mm $\Phi$ 로 고정하였다. 관심대역에서 반사계수는 -10 dB 이하, 이득은 0 dBi 이상을 목표로 설계하였다. 안테나 모의실험 프로그램으로 ANSYS사의 HFSS를 사용하였다.

표 1은 파라미터 스터디를 통하여 얻은 최종 설계된 안테나의 파라미터를 나타내었다. CP와 기생소자 사이의 거리는 CP의 중심과 각 기생소자들의 중심까지의 거리를 나타낸 것이다. 표 1에서 제시한 파라미터들을 구하기 위한 설계과정은 본문 III과 IV에 설명하였으며, 설계의 시작은 그라운드와 CP를 가지는 모노폴 안테나를 먼저 설계한 후에 기생소자를 하나씩 추가하면서 임피던스의 정합을 구하는 순서로 하였다.

### III. 급전 CP 소자 설계

그림 2는 CP의 높이변화에 따른 모의실험 결과 값이다. 모노폴 안테나인 CP의 높이가 높아질수록 안테나의 공진점이 저주파수로 이동한다. 이는 폴의 길이가 길어질수록, 인덕턴스의 크기가 증가하기 때문이다. CP의 높이가 184 mm일 때, 445 MHz에서 -19 dB의 최적의 값을 가진다.

그림 3은 CP의 높이를 184 mm로 고정했을 때 CP의 지름 변화에 따른 반사계수 모의실험 결과 값이다. CP의 지름의 변화는 주파수에 거의 의존하지 않고, 임피던스의

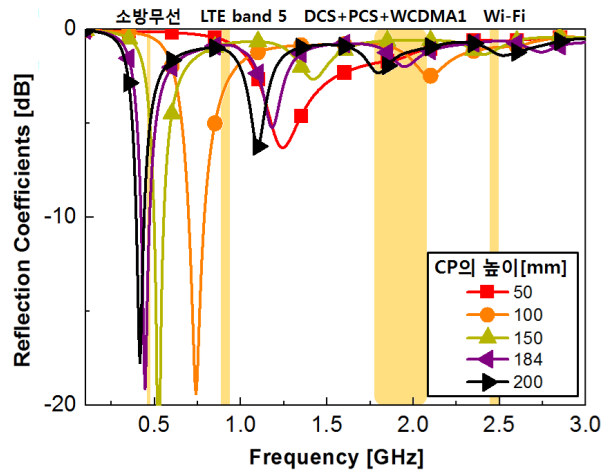


그림 2. CP의 높이 변화에 의한 모의실험된 반사계수  
Fig. 2. Simulated reflection coefficients as a function of variation of a CP height.

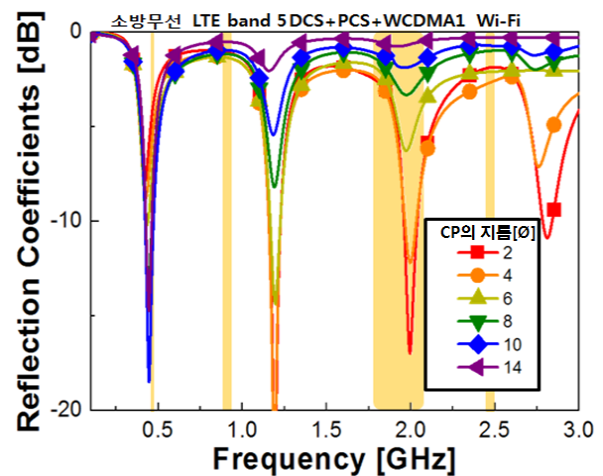


그림 3. CP의 지름에 따른 모의실험된 반사계수  
Fig. 3. Simulated reflection coefficients as a function of variation of a CP diameter.

순저항 값에만 영향을 준다. 따라서 445 MHz에서 CP의 지름이 커지면, 안테나의 저항이 입력저항에 가까워져서 주파수의 천이가 거의 없이 반사계수가 향상되고, 대역폭이 다소 넓어지는 특징을 가지고 있다. CP의 높이가 10 mm일 때 가장 좋은 값을 가지고 지름이 더 증가하여도 대역폭의 변화는 거의 없다. 제작의 용이성을 위해서 CP와 기생소자의 지름을 10 mm $\Phi$ 로 설정을 하였다.

IV. 기생소자 설계

그림 4는 CP와 기생소자인 PPA만 존재할 때의 결과 값이다. PPA와 CP사이의 거리를 20 mm로 고정한 후에, PPA의 높이변화에 따른 반사계수를 구하기 위하여 모의 실험하였다. PPA의 높이변화에 따라 공진 주파수가 달라지는 것을 볼 수 있다. 또한, PPA의 높이변화가 소방무선 주파수(445 MHz)에 영향을 거의 주지 않는 것을 알 수 있다. 그림 2와 그림 3을 통해서 알 수 있는 것처럼, CP는 기생소자의 상호 결합에 많은 영향을 주지만, 그림 4를 통해 본 CP는 기생소자에 의한 상호 결합 영향을 작게 받는다는 것을 알 수 있다.

PPB의 경우에는 PPB의 높이의 변화로만 1,800 MHz에서 -10 dB 이하의 반사계수 값을 얻을 수 없었기 때문에, PPB와 CP 사이의 거리를 조절하여 공진을 얻고자 하였다. 그림 5에서 PPB의 높이, CP와 PPB사이의 거리에 따른 반사계수의 변화를 나타내었다. CP와 PPB사이의 거리가 멀어지면 반사계수가 크게 증가하였다. DCS+PCS의 공진대역인 1,800 MHz에서 CP와 PPB의 거리가 11 mm, CP와 PPB의 거리가 12 mm일 때 -10 dB이하의 값을 얻을 수 있다.

그림 6은 CP와 PPB사이의 거리가 11 mm와 12 mm일 때의 반사계수를 비교하였다. CP와 PPB의 거리를 11 mm

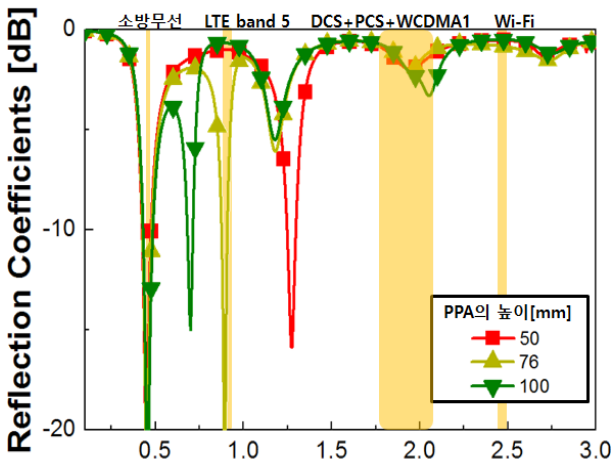


그림 4. PPA의 높이에 따른 모의실험된 반사계수  
Fig. 4. Simulated reflection coefficients as a function of variation of a PPA height.

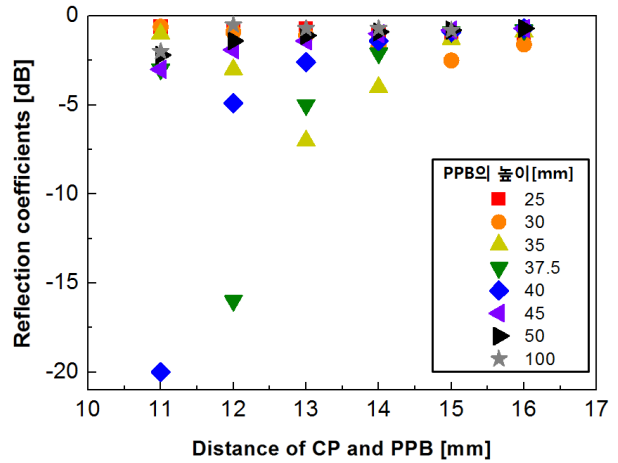


그림 5. PPB의 값의 변화에 따른 모의실험된 반사계수(1,800 MHz)  
Fig. 5. Simulated reflection coefficients as a function of variation of a PPB height(1,800 MHz).

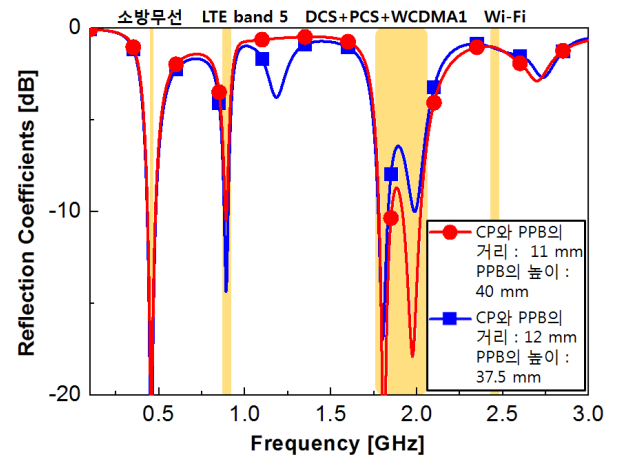


그림 6. PPB의 값의 변화에 따른 모의실험된 반사계수  
Fig. 6. Simulated reflection coefficients as a function of variation of a PPB.

로 사용하면 LTE 대역에서 반사계수가 다소 향상된다. 따라서 PPB의 높이를 37.5 mm, CP사이의 거리는 12 mm로 선택하였다. 거리가 10 mm의 경우, 기생소자와 CP가 서로 접하게 되어 사용할 수 없다. 따라서 둘 사이의 거리는 반드시 10 mm이상 이격되어야 한다.

그림 7은 PPB의 높이와 거리를 구한 그림 5의 설계 방법을 이용하여 PPC의 최적 높이와 거리의 값을 도출하였

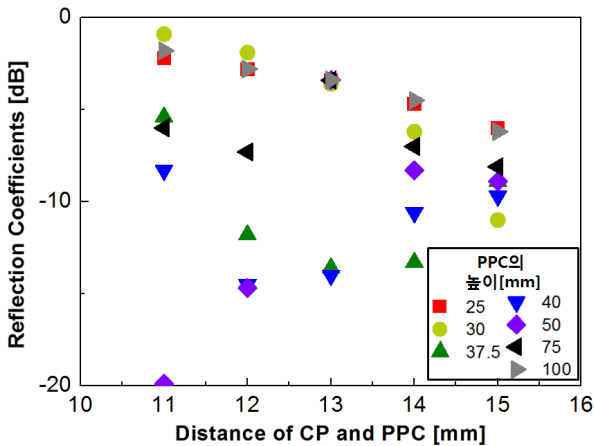


그림 7. PPC의 값의 변화에 따른 모의실험된 반사계수(2,100 MHz)

Fig. 7. Simulated reflection coefficients as a function of variation of a PPC height(2,100 MHz).

다. PPC에서  $-10$  dB이하를 만족하는 결과 값은 4가지의 경우가 있다. 소방무선주파수와 LTE 대역을 고려하였을 때 가장 좋은 결과 값을 가지는 경우는 PPC의 높이가 40 mm이고, CP와 PPC의 사이가 13 mm일 때이다.

그림 8은 PPD 높이 변화에 따른 2,450 MHz에서의 반사계수 변화이다. PPD의 높이가 2,450 MHz의 약  $\lambda/4$  길

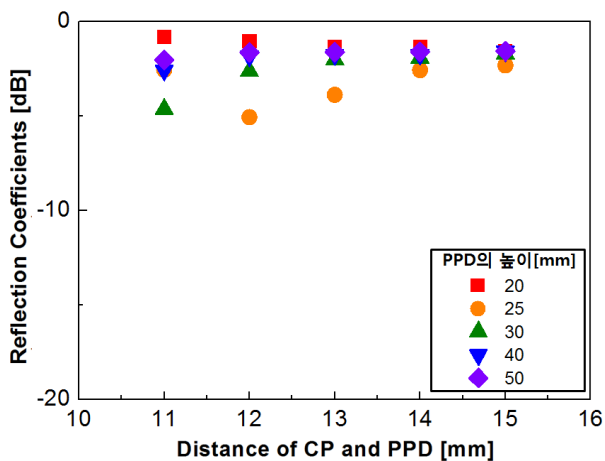


그림 8. PPD의 값의 변화에 따른 모의실험된 반사계수(2,450 MHz)

Fig. 8. Simulated reflection coefficients as function of variation of a PPD height(2,450 MHz).

이인 25 mm, PPD와의 거리가 12 mm일 때  $-6$  dB의 최적 값을 가진다.

CP를 기준으로 각도에 따른 기생소자들의 위치가 변하게 되면, 반사계수와 방사패턴이 변할 수 있다. 이러한 변화를 알아보기 위한 모의실험 모델을 그림 9에 제시하였다. 그림 10은 그림 9를 바탕으로 기생소자의 각도에 따른 반사계수의 모의실험 결과 값으로 기생소자 사이의 각도가 클수록 더 좋은 반사계수 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 각도가 작아서 거리가 가까우면 기생소자간의 결합이 강해져서 강한 상호결합에 의해 발생하는 반사계수 특성이 나빠지는 것을 알 수 있다. 기생소자간의 각도가 가장 멀리 떨어져 있는  $90^\circ$ 일 때, 가장 양호한 특성을 얻을 수 있었다.

그림 11은 각각의 공진주파수에서 모의실험된 안테나의 전류분포를 나타낸다. 그림 12로부터 알 수 있는 것처럼, 각각의 주파수마다 CP와의 상호결합이 다르게 일어남을 알 수 있다. 그림 11(a)는 소방무선주파수인 445 MHz에서 CP에 강하게 전류가 흐르는 것을 볼 수 있으며, (b)

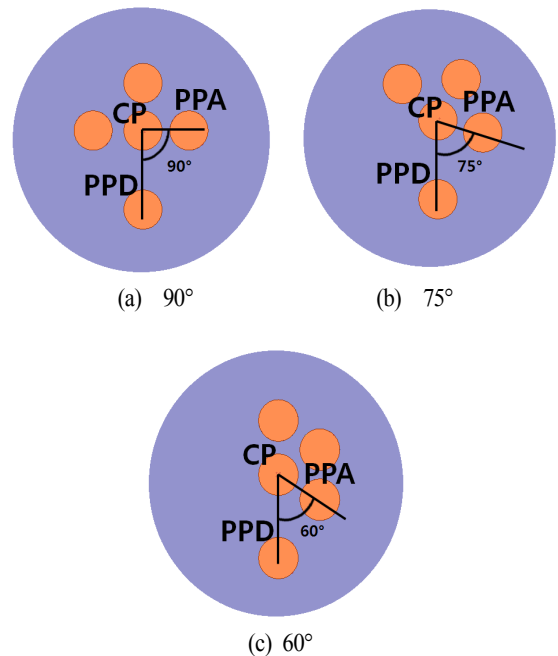


그림 9. 각도 표현에 의한 기생소자의 변화된 위치  
Fig. 9. Varied position of parasitic pole element by angle expression.

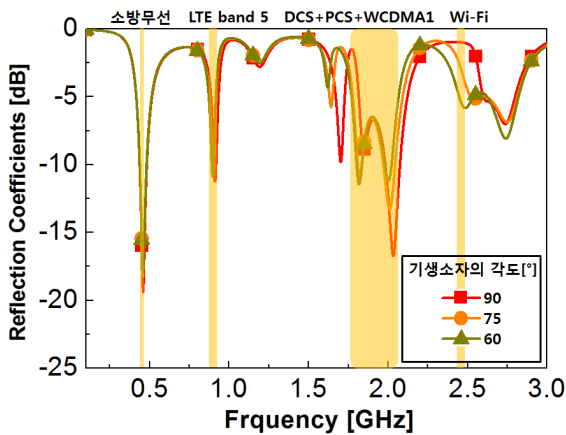


그림 10. 기생소자의 각도에 따른 모의실험된 반사계수  
 Fig. 10. Simulated reflection coefficients for different parasitic element angles.

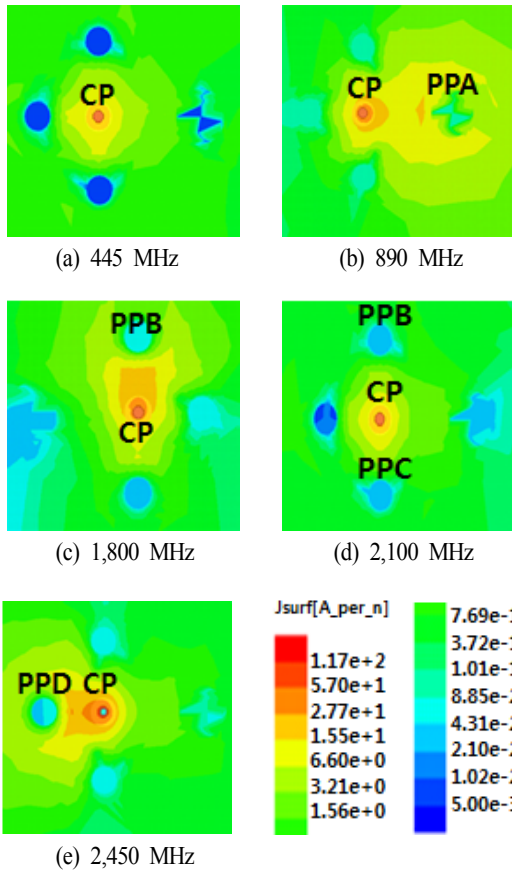
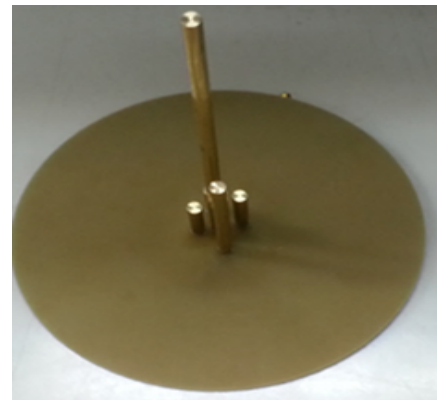


그림 11. 각각의 공진주파수에서 모의실험된 전류분포  
 Fig. 11. Simulated current distribution at each resonance frequency.

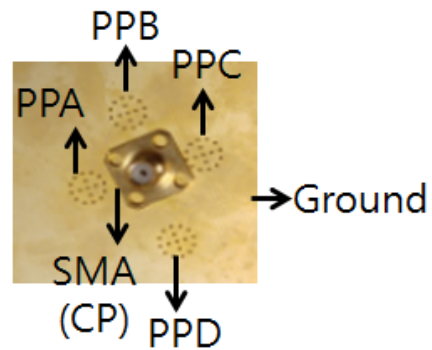
는 LTE band 5 대역인 890 MHz에서 CP와 PPA의 강한 상호결합이 발생하는 전류분포를 나타내고 있다. 마찬가지로 현상으로, (c)는 DCS+PCS 대역인 1,800 MHz에서 CP와 PPB 사이의 강한 상호 결합을 알 수 있다. 또한, (d)는 WCDMA1 대역인 2,100 MHz에서, (e)는 Wi-Fi 대역인 2,450 MHz에서 CP와 PPD 사이에 강한 상호 결합이 일어난다.

### V. 제작 및 측정

그림 12는 실제 제작한 안테나를 나타낸다. FR-4 epoxy 기판과 지름이 200 mm인 원형평판 위에 지름이 10 mm의 원형금속막대로 된 중심폴과 4개의 기생소자로 구성



(a) 안테나 사진  
 (a) Antenna photograph



(b) 뒷면(SMA 컨넥터에 의한 급전)  
 (b) Back side(feeding by SMA connector)

그림 12. 제작된 안테나의 사진  
 Fig. 12. Photograph of a fabricated antenna.

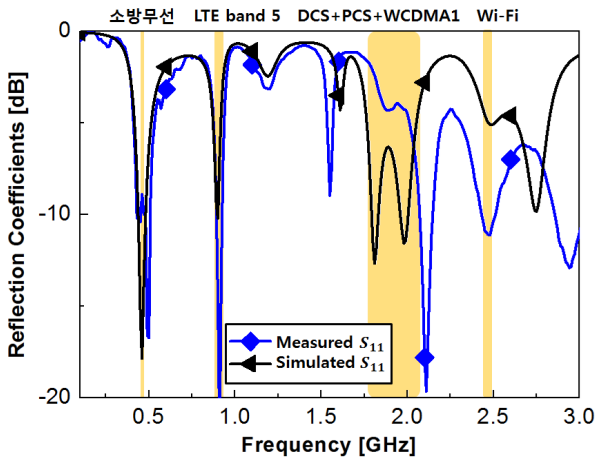


그림 13. 모의실험과 측정된 반사계수 비교  
Fig. 13. Simulated and measured reflection coefficients of design antenna.

되어 있다. 제작된 안테나의 반사계수 측정은 Anritsu사의 Vector Network Analyzer 37369D를 사용하였으며, 안테나의 방사특성과 이득은 16 m×8 m×6 m 크기의 전파암실에서 측정하였다. 측정한 결과를 모의실험 값과 비교하여서 설계의 타당성을 입증하였다.

그림 13은 HFSS의 모의실험 반사계수와 VNA로 측정된 반사계수의 비교 그래프이다. 저주파수 대역에서는 반사계수의 크기가 차이가 거의 없지만, 1,700 MHz 이상에서는 측정값이 시뮬레이션과 약간의 오차를 보이고 있다. 이는 버니어 캘리퍼스를 이용하여 실측길이를 측정해 본 결과, 0.5 mm 이하의 오차를 보이고 있고, 이런 것들이 원인으로 사료된다. 그림 14에서는 소방무선, LTE band 5, DCS+PCS, WCDMA1, Wi-Fi의 중심주파수에서 모의실험된 2-D 방사패턴과 측정된 방사패턴을 비교하였다. X-Y면의 경우, X-Z면과 거의 동일한 패턴을 가지기 때문에 표기하지 않았다.

각각의 공진주파수에서 0 dBi 이상의 최대이득을 얻을 수 있었다. 고주파수로 갈수록 방사 패턴이 특정 방향으로 다소 치우치게 된다<sup>[9]</sup>. 예를 들면, 890 MHz의 경우에는 X축 방향으로 PPA가 존재하며, 그림 12(b)를 보면 PPA와 CP 사이에 강한 결합이 생긴다. 따라서 모의실험과 측정된 지향이득을 그림 16(b)로부터 분석해 보면,  $\theta = 90^\circ$  위치에서의 이득이  $\theta = -90^\circ$ 에서 보다 약 8 dBi 이

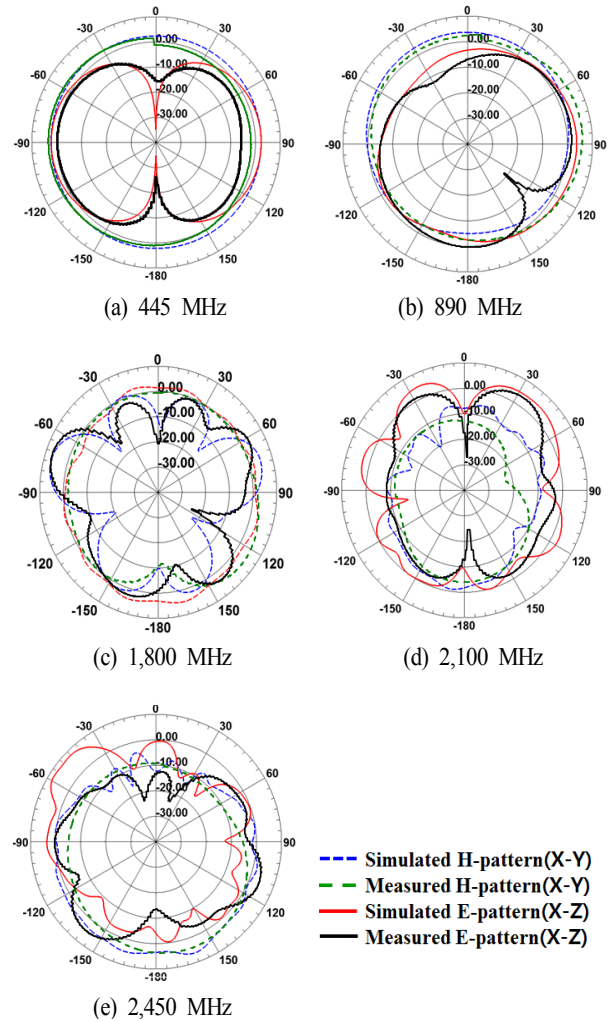


그림 14. 모의실험과 측정된 2-D 방사패턴 비교  
Fig. 14. Simulated and measured 2-D radiation pattern of design antenna.

상의 값을 가진다. 이는 PPA와 CP 사이에 강한 전류 결합에 기인하는 것으로 사료된다. 890 MHz에서의 전류 결합 특성과 마찬가지로 1,800 MHz, 2,100 MHz, 2,450 MHz에서도 CP와 기생소자간의 상호결합에 의해서  $\theta = 90^\circ$  위치와  $\theta = -90^\circ$ 의 위치의 이득 값에 차이가 생긴다. 하지만, 그라운드의 지름을 200 mm $\phi$ 로 제한하였기 때문에 450 MHz에서는 후방부엽 패턴이 강하게 나타나서 지향 특성을 거의 가지지 못한다. 이는 향후 연구과제로 지향 특성을 개선할 필요가 있다.

표 2는  $\theta = 90^\circ$ 와  $\theta = -90^\circ$ 에서의 모의실험과 측정된

표 2. 모의실험과 측정된 이득 비교

Table 2. Comparison between simulated and measured gain.

		주파수(MHz)				
		445	890	1,800	2,100	2,450
모의 실험된 이득 (dBi, $\Phi=0^\circ$ )	$\theta=90^\circ$	2.2	3.6	0.5	-7.1	-11
	$\theta=-90^\circ$	2.2	-5.2	2.9	-1.6	3.4
	두 위치의 평균 이득	2.2	-0.8	1.7	-4.3	-3.8
측정된 이득 (dBi, $\Phi=0^\circ$ )	$\theta=90^\circ$	-2.1	3.1	-1.4	-8.7	-5.2
	$\theta=-90^\circ$	0.1	-5.2	2.4	-1.4	0.4
	두 위치의 평균 이득	-1.1	-1	0.5	-5	-2.4

이득 그리고 두 위치에서의 이득을 평균한 값을 나타낸다. 측정된 이득은 모의실험된 이득과 대체로 일치하였다. 측정된 두 위치에서의 평균 이득은 각각의 공진주파수인 445 MHz에서 -1.1 dBi, 890 MHz에서 -1 dBi, 1,800 MHz에서 0.5 dBi, 2,100 MHz에서 -5 dBi, 2,450 MHz에서 -2.4 dBi의 이득을 얻었다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 건물 내에서 이용되는 이동통신 서비스를 위하여 소방무선대역을 포함하는 중계기용 안테나를 제안하였다. 중앙 급전용 모노폴 안테나와 기생소자의 상호 결합을 이용하여 다중공진 특성을 얻었다. 설계와 제작의 용이성을 위해 CP와 기생소자의 지름은 10 mm $\Phi$ 로 고정하였고, CP와 기생소자의 거리, 높이 등을 모의실험을 통해 반복적으로 조절하면서 -10 dB 이하의 반사계수를 구하였다. 설계 의도대로 CP는 소방무선주파수, PPA는 LTE band 5, PPB는 DCS+PCS와 WCDMA1, PPC는 WCDMA1, PPD는 Wi-Fi에서 공진 특성을 보인다. 설계한 안테나를 제작하여 측정을 하였으며, 측정된 반사계수, 방사패턴 그리고 이득의 결과는 모의실험 값과 잘 일치하였다. 다만, WCDMA1 대역과 Wi-Fi 대역에서의 반사계수 및 이득 개선이 요구되며, 이는 향후 연구과제로 두 고자 한다.

## References

- [1] 김남현, 노광현, 강영진, "이동통신 기지국을 위한 적층된 원형 마이크로스트립 안테나 설계", 대한전자공학회논문지 TC편, 37(2), pp. 83-90, 2000년 2월.
- [2] 최학윤, "이동통신 기지국 안테나를 위한 급전회로 설계", 대한전자공학회논문지 TE편, 41(2), pp. 111-115, 2004년 6월.
- [3] Youngki Lee, Jeageun Ha, and Jaehoon Choi, "Design of a wideband indoor repeater antenna with high isolation for 3G system", *Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 9, no. 1, pp. 697-700, Jul. 2010.
- [4] Y. K. Lee, J. P. Kim, J. P. Ja, and J. H. Cho, "Design of a microstrip patch array antenna for WCDMA indoor repeater systems", *International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications 2009(ICEAA '09)*, vol. 2, no. 1, pp. 361-364, Oct. 2009.
- [5] Bashir Alshami, Hassan Aboulmour, and Mohamad Dib, "Design of a broadband ESPAR antenna", *2009 Mediterranean Microwave Symposium*, pp. 1-6, 2009. 11.
- [6] 손은수, 박태선, 김종락, 윤명호, "소방무선 현장 안전을 위한 무선통신망 운영에 관한 연구", 한국소방학회논문지, 27(1), pp. 60-65, 2013년 2월.
- [7] 전내석, "무선통신보조설비의 화재안전기준(NFSC 505) 해설", (주)대명디앤피, pp. 1-6 2013년.
- [8] 김진영, 윤상필, 송정웅, 노희구, 권순봉, "건축물 내 이동통신구내선로 설비 공동 구축 및 공동 사용 활성화를 위한 법제화 방안 연구", (사)한국통신사업자연합회, 방송통신정책연구 10-진흥-나-18, pp. 71-83, 2010년.
- [9] 최진규, 장국한, 유흥균, "철도 무선통신을 위한 단일 RF 체인을 사용하는 고이득 빔포밍 패치 ESPAR 안테나 설계 및 분석", 한국전자과학회논문지, 26(8), pp. 710-717, 2015년.



김 성 민



2013년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)  
2016년 6월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학석사)  
[주 관심분야] MIMO 안테나, 이동통신용 인빌딩 중계기 안테나, NLJD/MMTD용 원편파 안테나 설계 등

민 경 식



1989년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
1991년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
1996년 9월: 동경공업대학 전기전자공학과 (공학박사)  
1997년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 정교수

[주 관심분야] FDTD 해석법 및 프로그램 개발, RFID, MDM(Magneto-Dielectric Material) 안테나, Pico/Femto Cell용 MIMO 안테나, NLJD/MMTD용 안테나 시스템, 해상 무선 통신 및 이동 통신용 안테나 설계, 전파법규 및 전파정책 기획연구 등